XXV МНТК МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Том 2

2018

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

Сборник трудов XXV международной научно-технической конференции

## Том 2

2018 ДОНЕЦК

Министерство образования и науки ДНР
Министерство промышленности и торговли ДНР
Международный союз машиностроителей
Ассоциация технологов-машиностроителей России
Абхазский государственный университет
Брянский государственный технический университет
Воронежский государственный технический университет
Донбасский государственный технический университет
Донецкий национальный технический университет
Донской государственный технический университет
Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
Камчатский государственный технический университет
Луганский национальный университет им. В. Даля
Национальный политехнический университет Армении
Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Севастопольский государственный университет
Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета
Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения при Ташкентском государственном техническом университете им. А.Р. Беруни
СПТК им. маршала инж. войск А.В. Геловани, ООО «Горловский энергомеханический завод», АО «Феодосийский оптический завод», ОАО НИИ «Изотерм», ЧП «Технополис», ЧП «Депла»

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА

**Сборник трудов**

**Том 1**

## XXV
## МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**10 - 16 сентября 2018 г. в городе Севастополе**

**Донецк-2018**

**ББК К5я54**
**УДК 621.01(06)**

Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 10-16 сентября 2018 г. В 2-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2018. Т. 2. – 363 с.

**ISSN 2079-2670**

В сборник включены материалы XXV международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», отражающие научные и практические результаты в области обработки изделий прогрессивными методами, создания нетрадиционных технологий и оборудования. Представлены современные достижения и перспективные направления развития технологических систем, металлорежущего инструмента и оснастки. Освещены современные проблемы материаловедения в машиностроении. Рассмотрены вопросы механизации и автоматизации производственных процессов, управления качеством и диагностики технических систем. Приведены сведения об особенностях моделирования, экономических проблемах производства, вопросах инженерного образования и других актуальных проблемах техносферы.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР и специалистов в области машиностроения и техносферы.

***Сборник издается при содействии Международного союза машиностроителей.***
***Конференция проводится в рамках Международного форума «ТЕХНОСФЕРА - 2018»***

***Адрес международного организационного комитета:***
ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема 58, ДонНТУ
Тел.: +38 (062) 305-01-04, факс: +38 (062) 305-01-04
Моб. тел. +38 (071) 3060879
E-mail: *mntk21@mail.ru*
http://konf-sev.donntu.org или http://konf-sev.donntu.ru

© Авторы статей, 2018 г.
© ДонНТУ, 2018 г.

**ISSN 2079-2670**

# ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЧУГУНА СЧ20 И СТАЛИ 45 ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

**Нагоркин М. Н.** *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
*тел.:+7(960)555-61-25; E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru*

***Abstract:*** *Research objective: revealing the features of the formation of the surface layer of parts made of cast iron and steel 45 by fine finish with diamond burnishing and roll burnishing after surface refinement by milling processing, turning and round grinding.*
***Key words:*** *surface layer, surface refinement, fine finish, diamond burnishing, roll burnishing, parameters of roughness*

Выбор материалов образцов (чугун СЧ20 и сталь 45) был продиктован их широким распространением в машиностроении. Финишная обработка ППД осуществлялась высокопроизводительными методами алмазного выглаживания (АВ) и накатывания шариком (НШ) после чистовой предварительной обработки торцевым фрезерованием, точением инструментами, оснащёнными вставками из гексанита-10, или круглым шлифованием. При практической реализации АВ и НШ использовались одноинденторные устройства упругого действия. Исследования проводились с применением компьютеризированных систем металлографического анализа на базе микроскопа и профилометра-профилографа [1, 2].

Отличительные особенности финишной обработки поверхностей деталей машин указанными методами, касающиеся характера трения (скольжение и качение) между индентором и обрабатываемой поверхностью, приводят к некоторому отличию топографии и микропрофиля обрабатываемых поверхностей.

Результаты металлографических исследований формирования рельефа плоских поверхностей позволили установить, что при обработке ППД образцов из чугуна СЧ20 (рассматривался процесс АВ) имеет место процесс трещинообразования на обработанной поверхности.

На увеличенной микрофотографии фрагментов поверхности (рис. 1) зафиксированы типичные дефекты, возникающие на поверхностях заготовок из чугуна в результате обработки ППД: это наволакивание материала, образование микротрещин и микропроломов. Причем, в процессе АВ эти дефекты образуются с большей интенсивностью, чем при НШ.

а)

б)

Рис. 1. Дефекты поверхностей заготовок из чугуна СЧ20 при алмазном выглаживании: а – наволакивание материала и микропроломы; б – образование микротрещин

В соответствии с выбранной методикой рассматривались корреляционные связи между исследуемыми параметрами качества по значениям коэффициентов парной корреляции. Соответствующие графы корреляционных связей представлены на рис. 2. Статистически значимому для условий анализируемого эксперимента при уровне значимости 5 % и числу степеней свободы 64 соответствует величина $r$ = 0,2. Это значение хотя и далеко от тесной корреляционной связи, но признаётся статистически значимым, и в этом случае количество корреляционных связей в графе максимально, соответственно максимальны и степени вершин deg $Y_i$. Естественно, что с ростом коэффициентов парной корреляции, то есть с ужесточением требований к линейной зависимости между параметрами качества поверхностей, число рёбер у графов снижается, и, начиная с величины $r$ = 0,7, появляются изолированные вершины ρ, Δ$H$, а при значении $r$ = 0,9 – ρ, Δ$H$, b, ν, Δ.

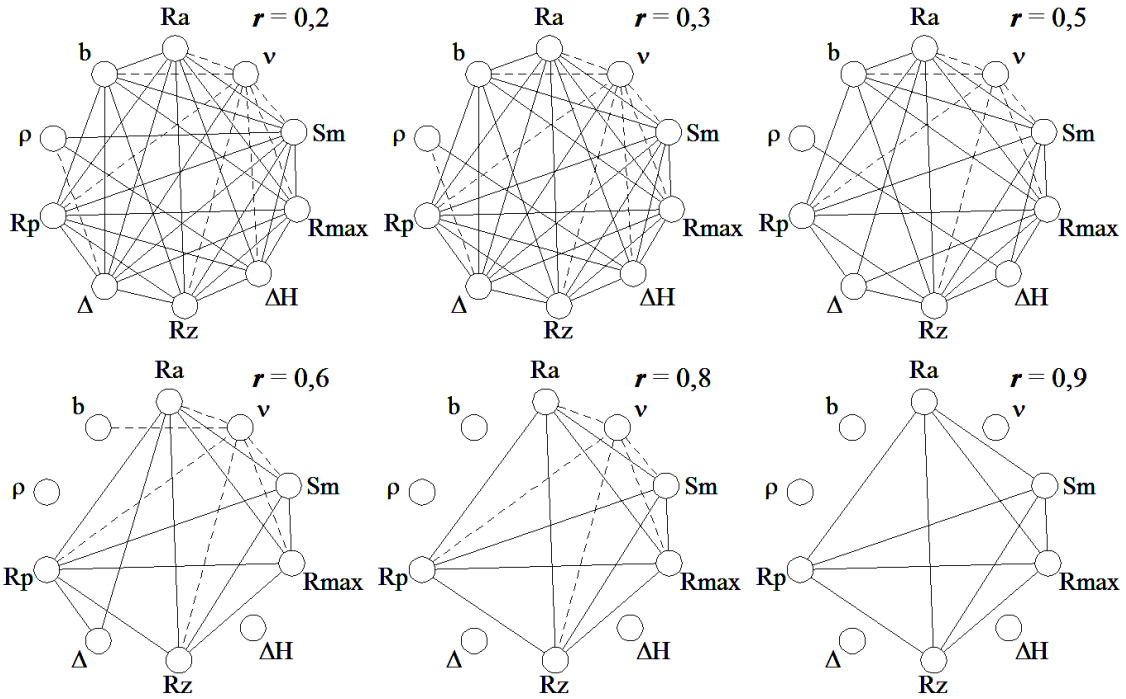



Рис. 2. Графы корреляционных связей связей между параметрами шероховатости поверхностей образцов из чугуна, обработанных алмазным выглаживанием после предварительного торцевого фрезерования

Установлено, что средняя степень вершины $\overline{\deg Y_i}$ изменяется от 7,4 до 2, причем лезвийная обработка обеспечивает более тесную корреляционную связь между рассматриваемыми параметрами, так как колебание $\overline{\deg Y_i}$ составляет от 7,11 до 4,44. Это объясняется теорией резания: лезвийными методами обработки материалов обеспечивается высокая степень регулярности параметров микропрофиля, особенно высотных, которые можно достаточно точно рассчитать геометрическим путём.

Процесс деформирования микропрофиля поверхности методами ППД зависит как от предварительно обработанной поверхности, так и от дополнительно вводимых факторов самого метода, в частности алмазного выглаживания, что обуславливает снижение средней степени вершин графов корреляционных связей при высоких

значениях *r*. Это закономерно, так как процесс пластического деформирования является нелинейным.

Так как обработка ППД устройствами упругого действия не приводит к повышению точности размера, последняя должна обеспечиваться при предварительной чистовой обработке.

В связи с этим, в качестве предварительной обработки при необходимости обеспечения высокой точности целесообразно применять шлифование. Анализ профилограмм формирования микрорельефов и микропрофилей плоских поверхностей деталей из чугуна СЧ20 обработкой АВ после предварительного шлифования периферий абразивного круга показал, что во всех случаях наблюдается процесс, напоминающий процесс охрупчивания исходных неровностей, и заполнение впадин между ними продуктами износа. Степень заполнения впадин исходного микропрофиля растёт с увеличением силы *Q* ППД, а также растут размеры «макрозёрен» на поверхности, о чём можно судить по их паутинообразным границам.

Чрезмерное повышение силы воздействия индентора на поверхность при ППД может привести к её перенаклёпу и хрупкому разрушению отдельных микрообъёмов, что характерно для процессов обработки деталей из чугуна, или к возникновению волнистости при обработке деталей из пластичных материалов. Явление «перенаклёпа» поверхности чугуна ведет к размерному росту продуктов охрупчивания исходных неровностей, увеличению риска появления кратеров на поверхности за счёт её продавливания и росту высотных параметров шероховатости.

Дефекты поверхности деталей из чугуна в виде проломов и кратеров имеет место как после предварительной чистовой обработки, так и после финишной ОУП ППД. При финишной обработке ППД такие дефекты могут, как наследоваться, так и вновь образовываться. Последнее заметнее проявляется при силовой интенсификации обработки ППД.

Анализ микрофотографий поверхности и профилограмм поперечного профиля не позволил выявить реальную физическую сущность эволюции поверхности в процессе ППД. Профилограммы несут чисто геометрическую информацию о высотных и других параметрах микропрофиля. Результаты исследований показывают, что физическая картина формирования рельефа поверхностей деталей из чугуна при предварительной обработке фрезерованием и шлифованием имеет схожую природу [3].

При АВ плоских поверхностей деталей из стали после предварительного шлифования периферией круга не наблюдалось следов «охрупчивания» и «размазывания» обрабатываемого материала по поверхности. Таким образом, при обработке деталей из хрупких материалов методами ППД процесс упрочнения сопровождается «охрупчиванием» микронеровностей, образованных предварительной обработкой, и микрорастрескиванием поверхности, а при обработке деталей из пластичных материалов происходит заполнение впадин профиля за счёт пластического деформирования исходных микронеровностей.

Для выявления сравнительной эффективности обработки плоских поверхностей методами АВ и НШ по степени воздействия на высотные параметры шероховатости удобно воспользоваться коэффициентом их снижения при обработке ППД:

$$K_C(R_i) = \frac{R_{inp}}{R_i},$$

где $K_c(R_i)$ – коэффициент снижения i-го высотного параметра шероховатости обработкой ППД; $R_{inp}$, $R_i$ – значения *i*-го параметра после предварительной обработки и ППД соответственно.

Результаты экспериментальных данных представлены в таблице.

Практический интерес представляет комбинированная обработка [4], включающая следующие этапы: 1) предварительная чистовая, обеспечивающая точность размера; 2) нанесение покрытий, обеспечивающих оптимальность процесса приработки; 3) финишная обработка ППД, обеспечивающая оптимальные физико-механические свойства и микрорельеф. К одному из таких методов относится обработка по схеме «фрезерование (точение) – химическое меднение – ППД» [3, 4].

Анализ микропрофиля поверхностей в этом случае доказывает предпочтительность обработки ППД плоских поверхностей методом АВ. Его эффективность по сравнению с накатыванием шариком при всех прочих равных условиях с точки зрения формирования микропрофиля с минимальными высотными характеристиками ($Ra$, $Rz \rightarrow \min$) и максимальной несущей способностью ($Rp \rightarrow \min$) просматривались для различного качества исходной обработки поверхности как визуально, так и количественно.

Таблица 1.-Значение коэффициентов снижения $K_c(R_i)$ высотных параметров шероховатости при обработке плоских поверхностей методами ППД после предварительного торцевого фрезерования

| Обрабатываемый материал | Вид обработки ППД | Условия обработки | | $K_c(R_i) = R_{inp} / R_i$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $Ra_{np}$, мкм | $Q$, Н | $K_c(Ra)$ | $K_c(Rz)$ | $K_c(Rp)$ |
| Чугун СЧ20 | Алмазное выглаживание ($r$ = 3,5мм) | 3,1 | 50 | 2,0 | 2,0 | 2,04 |
| | | | 100 | 3,41 | 3,04 | 3,36 |
| | | 1,65 | 50 | 1,31 | 1,52 | 1,21 |
| | | | 100 | 3,83 | 4,85 | 3,92 |
| | Накатывание шариком ($r$ = 3,5мм) | 3,1 | 50 | 1,04 | 1,17 | 1,67 |
| | | | 100 | 1,16 | 1,38 | 2,04 |
| | | 1,65 | 50 | 1,17 | 1,37 | 1,62 |
| | | | 100 | 1,2 | 1,2 | 2,38 |
| Сталь 45 | Алмазное выглаживание ($r$ = 3,5мм) | 3,0 | 50 | 1,53 | 1,63 | 2,48 |
| | | | 100 | 3,7 | 3,11 | 3,2 |
| | | 1,2 | 50 | 2,18 | 1,85 | 2,87 |
| | | | 100 | 3,24 | 3,58 | 3,66 |
| | Накатывание шариком ($r$ = 3,5мм) | 3,0 | 50 | 1,52 | 2,08 | 3,06 |
| | | | 100 | 1,32 | 1,82 | 2,45 |
| | | 1,2 | 50 | 1,38 | 2,00 | 1,85 |
| | | | 100 | 1,08 | 1,46 | 1,63 |

**Список литературы: 1.** Фёдоров, В. П. Автоматизация диагностики технологических систем по параметрам качества поверхностей обрабатываемых деталей / В. П. Фёдоров, М. Н. Нагоркин, И. Л. Пыриков [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета – 2012. – № 1 (33). – С. 85 - 94. **2.** Фёдоров, В. П. Моделирование и управление качеством поверхностного слоя деталей с применением современных средств инструментального обеспечения и компьютерных технологий / В. П. Фёдоров, М. Н. Нагоркин, И. Л. Пыриков, М. П. Топорков // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – № 2 (53) – С. 138 - 147. **3.** Нагоркин, М. Н. Параметрическая надёжность технологических систем лезвийной и

упрочняющей обработки инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов по геометрическим параметрам качества и триботехническим характеристикам поверхностей деталей / Нагоркин М. Н., Федоров В. П., Нагоркина В. В., Ковалева Е. В. // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Том VII. Коллективная монография / под ред. А. В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2016. – с. 506 - 688. **4.** Nagorkin M. N., Fyodorov V. P., Nagorkina V. V. Simulation modelling of tribotechnologies system and its parametric reliability assessment on tribotechnical parameters of the joints of sliding friction // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 177 (2017) 012079.

# РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

**Нагоркин М. Н., Федоров В. П., Ковалева Е. В.** *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
*тел.:+7(960)555-61-25; E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru*

**Abstract:** *algorithms for calculating the values of technological parameters of roughness for each of the five methods in accordance with GOST 2.309-73, providing compliance with the requirements of technical documentation with a specified reliability. The corresponding theoretical dependences are presented for calculating the admissible boundaries of the variation of roughness parameters in the process of surface treatment, suitable for practical use.*
**Key words:** *surface roughness parameters, statistical distribution laws, expected value, reliability of providing roughness parameters, design and technological values of parameters of surface roughness.*

В число параметров качества функциональных поверхностей деталей машин, наряду с точностью обработки, физико-механическими свойствами входят и геометрические параметры: шероховатость, волнистость и макроотклонения. Параметры шероховатости наиболее полно стандартизированы как в плане физической трактовки и методик определения, так и в плане обозначений в нормативно-технической документации (НТД) на изделие [1 – 4].

На чертеже детали регламентируются конструкторские значения параметров шероховатости $R_{iK}$, одним из пяти методов в соответствии с ГОСТ 2.309-73 (табл.).

Недостатком современных стандартов на параметры шероховатости является отсутствие требований по надёжности их обеспечения. В большинстве случаев в нормативно-технической документации для параметров шероховатости указывается наибольшее значение (п. 1, табл.), которое затем дублируется в технологической документации на изготовление детали.

Технологическое значение $R_{iT}$ – величина случайная, имеющая соответствующий закон распределения и статистические характеристики (математическое ожидание $\mu(R_{iT})$, среднее квадратическое отклонение $S(R_{iT})$, коэффициент вариации $\nu(R_{iT})$ и др.). Таким образом, вероятность точного обеспечения $R_{iT} = R_{iK}$ стремится к нулю, поэтому необходимо определять интервальное технологическое обеспечение параметров качества обрабатываемых поверхностей, в том числе и параметров шероховатости для конкретных технологических систем обработки [1, 4]. Анализ результатов обработки

поверхностей в различных ТС показывает на возможность обеспечения i-го технологического параметра шероховатости $R_{iT}$ как с различными математическими ожиданиями $\mu_k(R_{iT})$, так и с различными среднеквадратическими отклонениями $S_k(R_{iT})$. Здесь $k$ – номер рассматриваемой ТС.

Возможные предельные случаи плотностей распределения вероятностей $f(R_{ikT})$ представлены на рис. 1. Графическая интерпретация плотности вероятностей (рис. 1, а) показывает, что при возможном равенстве математических ожиданий обеспечиваемых технологических значений параметров шероховатости $\mu_k$ $(R_{iT})$ их средние квадратические отклонения $S_k(R_{iT})$ различны для различных ТС обработки ($k$ = 1, 2, 3). Следовательно надёжность технологического обеспечения параметра шероховатости $R_{iT}$ в заданном интервале $[a, b]$ $(P_1(R_{i1T} \in [a, b]))$ будет различной:

$$P_1(R_{i1T} \in [a, b]) > P_2(R_{i2T} \in [a, b]) > P_3(R_{i3T} \in [a, b]), \qquad (1)$$

где

$$P_k(R_{ikT} \in [a, b]) = \int_{-\infty}^{b} f(x)dx - \int_{-\infty}^{a} f(x)dx\,; \;\; x = R_{ikT}. \qquad (2)$$

Таблица 1. Регламентация параметров шероховатости поверхностей деталей по ГОСТ 2.309-73 и их схематические изображения

| | Вид указания параметров | Обозначение в конструкторской документации | Схематичное изображение границ параметра |
|---|---|---|---|
| 1 | Наибольшее значение | ФПД* Ra 0,32 | 0 0,2 0,4 Ra, мкм 0,32 |
| 2 | Наименьшее значение | Ra 0,1min | 0 0,2 0,4 Ra, мкм 0,1 |
| 3 | Диапазон значений | $R_i$ 0,4 0,1 | 0 0,2 0,5 $R_i$, мкм $R_{i\,min}$ $R_{i\,max}$ |
| 4 | Номинальное значение с предельными отклонениями | $R_i$ 0,6 + 20% | 0 0,6 0,72 0,6 + 20% $R_i$, мкм $R_{i\,min}$ $R_{i\,max}$ |
| 5 | Указание двух и более параметров | Ra 0,25 → параметр высоты шероховатости<br>0,8/ Sm 0,75 → параметр шага на базовой длине 0,8 мм<br>0,8/ $t_{50}$ 70+10% → относительная опорная длина профиля на уровне p = 50% на базовой длине 0,8 мм | |

* ФПД – функциональная поверхность детали

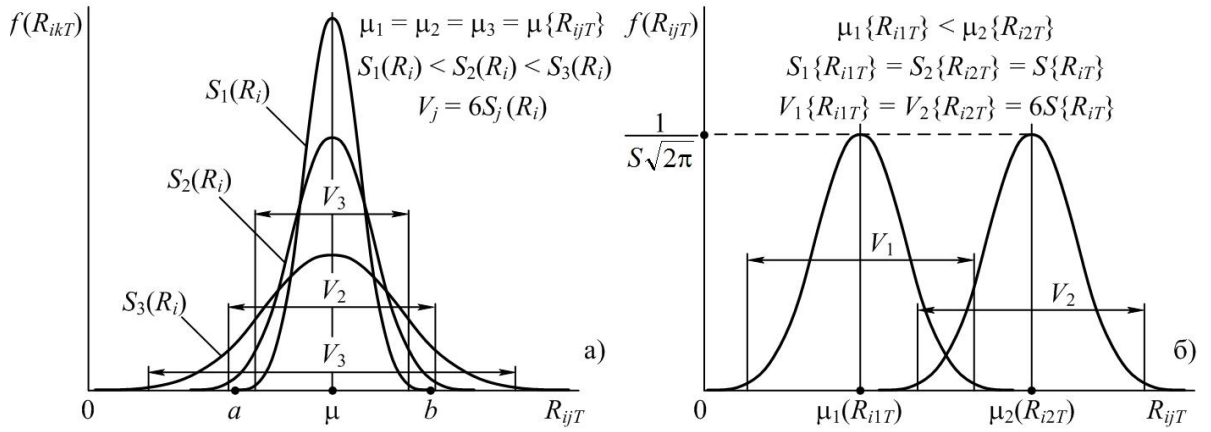



Рис. 1. Плотности вероятности $f(R_{iT})$ нормального распределения технологического значения параметра $R_{iT}$ качества поверхности при различных значениях: а – среднего квадратического отклонения $S_j(R_{iT})$; б – математического ожидания $\mu_j(R_{iT})$

Возможен вариант обработки поверхности детали, когда при равенстве СКО, обеспечиваются различные математические ожидания технологических значений $R_{ikT}$ (рис. 1, б).

В целом при обработке в одной технологической системе (ТС) возможны варианты, показанные на рис. 1, а также входящие в ограничиваемое ими множество методов обработки, когда

$$\mu(R_{ijT}) = \text{const};\ S(R_{ijT}) = \text{var}; \quad (3)$$

$$\mu(R_{ijT}) = \text{var};\ S(R_{ijT}) = \text{var}; \quad (4)$$

$$\mu(R_{ijT}) = \text{var};\ S(R_{ijT}) = \text{const}. \quad (5)$$

В случае, представленном на рис. 1,б, вероятность $P$ обеспечения параметра $R_{ijT}$ в пределах $V_1 = 6S_1\{R_{i1T}\}$ и $V_2 = 6S_1\{R_{i2T}\}$ при условии $S_1\{R_{i1T}\} = S_2\{R_{i2T}\}$ составляет 0,9973, что практически является достоверным событием.

На основе изложенного можно предложить варианты назначения технологических значений параметров шероховатости при разработке технологической документации в соответствии с рекомендуемыми ГОСТ 2.309-73 видами указаний параметров шероховатости.

При регламентации в конструкторской документации наибольшего значения параметра шероховатости (п. 1 табл. 1) при выборе технологического значения, равного конструкторскому, неизбежно теоретическое получение брака «+», которое составит при нормальном распределении в соответствии с «правилом трёх сигм» максимум 49,86%, что не обеспечит выполнения технических условий обеспечения качества по параметрам шероховатости. С целью обеспечения обработки без брака в этом случае целесообразно установить технологическое значение $\mu_2(R_{iT})$:

$$\mu_2(R_{iT}) = R_{iK} - 3S\{R_{iT}\}. \quad (6)$$

Аналогично решается задача определения допустимых технологических значений параметров шероховатости при обеспечении конструкторских регламентируемых минимальных значений $R_{iK\,min}$. В этом случае при назначении технологом $\mu_1(R_{iT}) = R_{iK\,min}$ при нормальном распределении $R_{iT}$ неизбежно теоретическое получение брака ($R_{iT} < R_{iKmin}$) до 49,86% в соответствии с «правилом трех сигм». Обеспечение обработки

поверхности без брака по $i$-тому параметру шероховатости в этом случае возможно при назначении его математического ожидания

$$\mu_2(R_{i2T}) = R_{iK\,min} - 3S\{R_{iT}\}. \quad (7)$$

Соотношение (7) справедливо в случае, когда при настройках ТС на технологическое обеспечение $\mu_1(R_{iT})$ и $\mu_2(R_{iT})$ средние квадратические отклонения $S\{R_{ijT}\}$ будут одинаковы.

Если $S\{R_{ijT}\} \neq$ const, то задача решается аналогично с использованием в зависимостях (6) и (7) соответствующих значений $S\{R_{i1T}\}$ и $S\{R_{i2T}\}$.

Таким образом, зависимости (6) и (7) приобретают вид (8) и (9) соответственно:

$$\mu_2(R_{i2T}) = R_{iK} - 3S\{R_{i1T}\}, \quad (8)$$

$$\mu_2(R_{i2T}) = R_{iK\,min} + 3S\{R_{i2T}\}. \quad (9)$$

Если в случае задания конструкторского значения параметра $R_{iK}$ диапазоном допустимых значений ($R_{iK} \in [A, B]$) назначить математическое ожидание параметра $R_{iT}$ равным минимальному ($\mu_1\{R_{i1T}\} = R_{iK\,min} = A$) или максимальному ($\mu_2\{R_{i2T}\} = R_{iKmax} = B$) значениям, то в соответствии с «правилом трёх сигм» в первом случае возможен брак «–» (≈ 49,9%), а во втором случае – брак «+» (≈ 49,9%). В связи с этим, целесообразно выбрать третий вариант, когда значение $\mu_3\{R_{i3T}\}$ равно, например, середине интервала $[A, B]$:

$$\mu_3\{R_{i3T}\} = \frac{B - A}{2} = \frac{R_{iK\,max} - R_{iK\,min}}{2} = \mu_3\{R_{i3T}\}_{\text{опт}}. \quad (10)$$

При этом для исключения брака важно, чтобы соблюдалось условие

$$6S_3\{R_{i3T}\} \leq R_{iKmax} - R_{iK\,min}. \quad (11)$$

Если это условие не соблюдается, то возможны два варианта:

1) поиск других условий обработки в данной ТС, которые при сохранении значения $\mu_3\{R_{i3T}\}$ привели бы к необходимому уменьшению $S_3\{R_{i3T}\}$;

2) поиск другой ТС обработки, обеспечивающей выполнение условий (10) и (11).

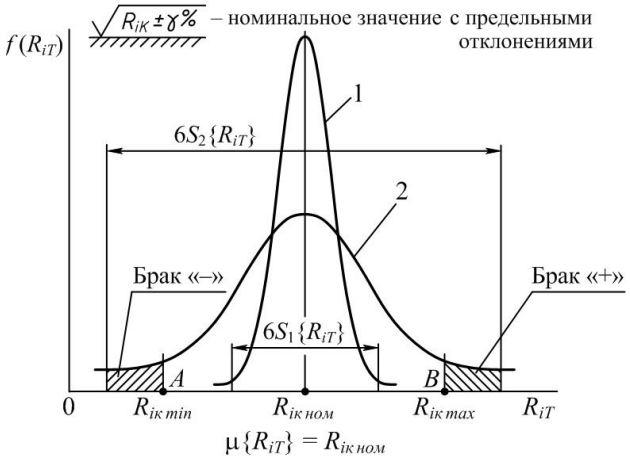



Рис. 2. Схема определения технологического значения параметра шероховатости при задании его номинального значения с симметричными предельными отклонениями

Если эти варианты неприемлемы, решается вопрос о надёжности $P$ обеспечения параметра $R_{iT}$ в заданном интервале $[A, B]$ (($P$ ($R_{iT} \in [A, B]$)) и проводится согласование приемлемости такого решения с конструктором.

В случае задания номинального значения параметра шероховатости с симметричными предельными отклонениями (табл. 1). при его технологическом обеспечении целесообразно выбрать математическое ожидание технологического параметра $R_{iT}$, равное номинальному конструкторскому значению:

$$\mu\{R_{iT}\} = R_{iK\,ном}. \quad (12)$$

При этом с целью исключения брака должно соблюдаться условие:

$$6S\{R_{iT}\} \le R_{iKmax} - R_{iK\,min}. \qquad (13)$$

Для случая 1 это условие соблюдается (рис. 2), а для случая 2 – нет, что приводит к возможности получения брака «–» или «+». Соответствующие вероятности $P$ можно рассчитать по известным зависимостям теории вероятностей:

$$P(R_{iT} > R_{iKmax}) = 1 - \int_{-\infty}^{B} f(x)dx\,, \quad (13)$$

$$P(R_{iT} < R_{iKmin}) = \int_{-\infty}^{A} f(x)dx\,. \qquad (14)$$

В зависимостях (13) и (14) величина $x = R_{iT}$.

При ограничениях значений в НТД двух и более параметров (п. 5 табл.) для каждого из них назначают технологическое решение, используя представленные результаты, и выбирают наиболее приемлемое. Для остальных случаев задания параметров шероховатости в соответствии с ГОСТ 2.309-73 задача регламентации их технологических значений решается аналогично.

**Список литературы: 1.** Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Горленко и др.; под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 447 с. **2.** Нагоркин, М.Н. Параметрическая надёжность технологических систем чистовой и отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин инструментами из сверхтвёрдых синтетических материалов: монография / М.Н. Нагоркин; под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2017. – 304 с. **3.** Фёдоров, В.П. Принципы и средства технологического обеспечения заданных законов распределения параметров качества по обрабатываемой поверхности детали / В.П. Фёдоров, М.Н. Нагоркин // Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки. Коллективная монография / под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2014. – С. 172 - 220. 4. Fyodorov, V.P. Determination of parametric reliability of machining technological systems by simulation technique. / Fyodorov V.P., Nagorkin M. N. Totai A. V. / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 124 (2016) 012053.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОСТАВОК

**Непомилуев В.В., Белова Н.С.** (ФГБОУ ВО "Рыбинский государственный авиационный технический университет" имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия)
*Тел.: +7 (980 )654 22 26; E-mail: vvvvnn@yandex.ru*

***Abstract:*** *In the article are considered the possibilities of the stable quality assurance of the engineering industry products on the basis of perfection of the delivery process by means of organization of the effective feedback from design and material/technical supply stages on the basis of the process quality estimation. In the article is reviewed the possibility of the quality*

*improvement of manufacturing of the engineering industry products on the basis of improvement of the procurement management process by organizing supplier evaluation and feedback from the design and logistics stages.*
***Key words:*** process, machine-building products, quality of manufacturing, effective feedback

Для изготовления и дальнейшей реализации потребителю качественной продукции в машиностроительной отрасли возникает необходимость приобретения оборудования, обеспечения производственного процесса товаро-материальными ценностями, например, сырьем, полуфабрикатами и покупными комплектующими изделиями, т.е. возникает необходимость закупки у поставщиков качественных материалов по приемлемым ценам. Качество закупок рассматривается ГОСТ ISO 9001-2011 как один из базовых элементов СМК.

Качество продукции в машиностроении определяется качеством всех его компонентов (деталей, узлов, сборочных единиц и т.д.) и поэтому существенно зависит от качества продукции поставщиков. Эта зависимость может носить весьма различный характер и определяться многими факторами.

Возможность выбора определяется состоянием рынка закупаемой продукции. Поставщиков можно условно разделить на две части: поставщиков - монополистов и поставщиков, конкурирующих между собой.

На рынке монополистов царит лозунг: "Не хочешь - не бери!". Но закупку продукции осуществить все равно придется, поскольку производитель - монополист. Возможность влияния на стоимость и качество закупаемой продукции у таких поставщиков регулируется законодательством.

На рынке поставщиков, способных конкурировать между собой, существует возможность сделать выбор поставщика по показателям/критериям, которые для себя определил потребитель.

Процессы производства в машиностроительной отрасли регулируются многочисленными нормативными документами. Процессы производства во многих случаях подлежат обязательной сертификации; например, в аэрокосмической отрасли они должны соответствовать требованиям Авиационных правил, которые регламентируют необходимость подтверждения способности процесса изготавливать каждое изделие соответствующее типовой конструкции и обеспечивать безопасность эксплуатации (Руководство 21.2D «Процедуры сертификации и контроля за производством изделий гражданской АТ»).

В таких случаях внесение любых изменений в конструкцию, в том числе и смену покупного комплектующего изделия (ПКИ), крайне нежелательно, поскольку неизбежно повлечет за собой значительные материальные затраты на проведение испытаний изделия с новым комплектующим и последующим проведением действий по подтверждению/изменению сертификата, включая доказательную документацию и плановый аудит надзорных органов.

В соответствии с этим, исходя из требований по сертификации продукции, поставщиков можно разделить на две группы:

- изменение поставщика потребует подтверждения путем сертификации;
- изменение поставщика не потребует подтверждения путем сертификации.

Третьим важным аспектом при классификации поставщиков можно принять значимость покупного изделия в конечном изделии. Например, практически в любом достаточно технически сложном изделии есть особо ответственные детали и сборочные единицы (ДСЕ), качество которых критически важно для его работоспособности и

безопасности.

На основании приведенных выше рассуждений, может быть предложена классификация потенциальных поставщиков, которая позволяет выделить те закупки или тех поставщиков, по которым предприятие сможет проводить выбор в реальных условиях (табл. 1).

Таблица 1. Классификация потенциальных поставщиков

| Поставщик | Монополист | | Значимость в конечном изделии | | Подтверждение путем сертификации | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | да | нет | да | нет | да | нет |
| N1 | | x | | x | | x |
| N2 | x | | x | | x | |
| N3 | | x | x | | | x |
| N4 | | x | | x | x | |

С помощью данной классификации поставщиков можно определить перечень продукции или поставщиков, изменяя которые можно обеспечить требуемое качество поставок при минимальных затратах и, как следствие, обеспечить качество и конкурентоспособность конечной продукции.

Обеспечение качества поставок конечной продукции, нарушение поставщиком обязательств по срокам и объемам поставок являются серьезной проблемой в современном отечественном машиностроении и существующие методики обеспечения качества поставок необходимо преобразовывать.

Традиционно применяемый в промышленности метод выбора поставщика на основе технико-экономического обоснования (ТЭО) не позволяет выполнить анализ множества разнородных и изменчивых факторов, влияющих на процесс закупки, поскольку результаты ТЭО оценивают в денежном выражении только экономические факторы. Таким образом, необходимо доработать методику технико-экономического обоснования выбора технологических решений на основе количественной оценки качества процессов.

Особенностью процесса проектирования машиностроительной продукции является многовариантность возможных решений. Конструктор, выполняющий этот процесс, принимая то или иное решение, по сути, уже во многом определяет будущие проблемы с обеспечением качества поставок. Это объясняется тем, что такое решение сразу же предопределяет круг возможных поставщиков необходимых для его осуществления материалов и комплектующих. Между тем, принимая это решение, конструктор не имеет информации о возможных проблемах с обеспечением качества поставок. Критерием качества принятого конструктивного решения является себестоимость разрабатываемой продукции. Однако эта себестоимость определяется на основе номинальных значений стоимости, используемых материалов и комплектующих, и не учитывает возможных потерь при осуществлении реальных поставок. То есть, вариант, основанный на более дорогих комплектующих от более надежного поставщика, может в итоге оказаться дешевле варианта, основанного на дешевых комплектующих.

С другой стороны, работник закупающего подразделения не имеет компетенций и полномочий для изменения конструктивного решения и вынужден реализовывать на практике зачастую далеко не лучший вариант.

Средством решения описанной проблемы может стать обратная связь между закупающим подразделением и конструкторским отделом и интегральный показатель качества конструктивного решения, включающий в себя оценку возможных проблем с обеспечением качества поставок [1]. Схема предлагаемого измененного процесса приведена на рис. 1.

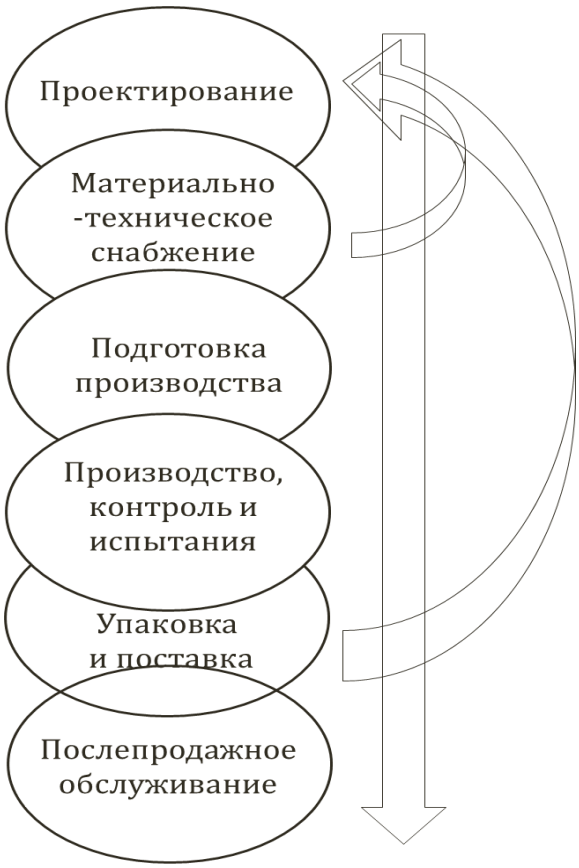



Рис. 1. Предлагаемая схема взаимосвязи процессов при создании продукции

Обратная связь должна обосновывать тот или иной выбор поставщика и, поэтому должна иметь количественное выражение, позволяющее корректно сравнивать риски при осуществлении поставок комплектующих с учетом многочисленных и разнородных факторов, влияющих на качество процесса закупок (включая экономические, политические, законодательные и прочие), использовать имеющиеся данные о качестве поставок от различных поставщиков (включая накопленные данные о стоимости и своевременности поставок).

Анализ по этим направлениям должен быть основан на использовании сопоставимых безразмерных показателей сравнения. Наиболее важными факторами являются, очевидно, совокупная цена, соответствие сроков и соответствие качества поставок. В качестве интегральной оценки предлагается использовать критерий оценки риска поставки R. Для расчета и анализа критерия R удобно использовать классический метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий). В настоящее время FMEA-анализ является одной из стандартных технологий анализа качества изделий и процессов с множеством разнородных и изменчивых факторов, выработаны типовые формы представления

результатов анализа и типовые правила его проведения.

Для оценки критерия риска поставки R предлагается следующая формула:

$$R = c \times C + t \times T + q \times Q,$$

где C - безразмерный индекс оценки стоимости поставки (индекс оценки затрат на обеспечение качества поставки ПКИ);
T - безразмерный индекс оценки риска нарушения сроков (индекс оценки своевременности поставки ПКИ);
Q- безразмерный индекс оценки качества (индекс оценки риска поставки некачественного ПКИ и его последствий в последующей промышленной эксплуатации);
c, t, q – весовые коэффициенты для соответствующих индексов.

Исходные данные для расчета, с учетом имеющегося бюджета предприятия, выделенного на закупку конкретного ПКИ, могут определяться экспертным путем, на основании данных прошлых периодов или путем анализа рынка планируемой к приобретению ПКИ, проведенного на основании информации, находящейся в открытом доступе в информационно-коммуникационной сети «Интернет» и/или в средствах массовой информации. Данную оценку могут выполнять как специалисты, осуществляющие закупки ПКИ, так и работники производственного подразделения, получающие ПКИ для изготовления готового изделия.

При назначении весовых коэффициентов следует руководствоваться положениями Политики в области качества промышленного предприятия, а так же сложившимися экономическими условиями. Пример возможных соотношений между весовыми коэффициентами приведен в таблице 2.

Таблица 2. Значения весовых коэффициентов

| Условия промышленного предприятия | коэффициенты | | |
|---|---|---|---|
| | c | t | q |
| Приоритет срочности поставки, без учета стоимости | 3 | 1 | 2 |
| Приоритет качества поставки, без учета сроков поставки | 2 | 3 | 1 |
| Приоритет минимальной стоимости, без учета сроков поставки | 1 | 3 | 2 |

Имеющийся опыт осуществления реальных поставок наглядно показывает необходимость оценки риска с учетом всех критериев для оптимального выбора поставщика. Обратная связь между закупающим подразделением и конструкторским отделом, приведенная на рис. 1, реализована путем передачи результатов оценки поставщиков предложенным методом. Проектирование машиностроительной продукции с учетом результатов оценки риска поставов позволит повысить качество будущих поставок и, таким образом, обеспечить качество создаваемой продукции.

**Список литературы: 1.** Белова Н.С., Непомилуев В.В. Обеспечение качества продукции машиностроительного предприятия на основе совершенствования процесса поставок // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева. – Рыбинск, 2018. – № 1(44). – С. 90-93.

# СИСТЕМА ТРАССИРОВКИ ПУТИ ОДНОЦВЕТНОГО ОБЪЕКТА

**Никитин И.Е., Николаенко Д.В. (***ДонНТУ, г. Донецк, ДНР***)**
*Тел.: +380508024739; E-Mail: imneek@gmail.com*

***Abstract:*** *Computer vision in our life is becoming more popular every day. There are different directions, where we can use computer vision, but we want make vision for cars. It will be possible to recognize road signs, markup and define short way using our software. In the nearest future everyone will use augmented reality with computer vision and this project make impossible targets possible. We have used open-source library and Python3 language for our purposes and Debian Linux as Operation System.*

Компьютерное зрение является сложной многоуровневой системой с постоянной обработкой потоковых данных. Создание компьютерного зрения для определенной отрасли – одна из важных отраслей программирования в современном мире. Такие компании, как Google, Amazon, Apple и другие работают в этом направлении в различных областях науки и техники. [https://republic.ru/future/google_uluchshil_kompyuternoe_zrenie-837322.xhtml]

В данном проекте компьютерное зрение разрабатывается для определения различных объектов на пути автомобиля, наличие дорожных знаков и других транспортных средств.

В разработке системы трассировки пути используется высокоуровневый язык программирования Python версии 3.6.5. Данный язык был выбран, так как является полностью кроссплатформенным, не требует компиляции кода и не имеет стандартных ограничений по диапазону представления чисел в стандартных форматах представления данных, как в других языках высокого уровня. [https://pep8.ru/doc/dive-into-python-3/4.html]

В связи с необходимостью постоянной обработки большого потока данных, необходима высокая скорость их обработки. Python – язык высокого уровня и на некоторых маломощных устройствах (таких, как одноплатные компьютеры Raspberry Pi) этой скорости может быть недостаточно, поэтому были использованы массивы “NumPy”, имеющие скорость обработки данных выше, чем стандартные массивы и коллекции языка Python, так как библиотека “NumPy” написана на низкоуровневом языке C.

“NumPy” – это пакет для научных вычислений и обработке данных на языке Python. У него имеются следующие преимущества перед стандартными массивами языка Python:

1. Более высокая скорость обработки данных.
2. Средства для использования кода на языках C/C++, Fortran.
3. Встроенные средства для операций линейной алгебры.

В качестве ОС используются дистрибутивы Linux основанные на Debian. В данном случае это Kali Linux (для ПК) и Raspbian (для Raspberry Pi 3). Данное ПО возможно запустить так же и на других дистрибутивах Linux, а также macOS. Для ОС Windows данное ПО недоступно.

**Функции данного ПО:**

1. Определение границ объекта.
2. Трассировка пути и определение относительных координат одноцветного объекта.

Для определения границ объекта был использован фильтр Кэнни (разработан Джоном Кэнни в 1986 году и использует многоступенчатый алгоритм для обнаружения широкого спектра границ в изображениях). Для уменьшения вычислительных затрат, перед обработкой изображение преобразовывается в оттенки серого. Чтобы преобразовать исходное изображение в изображение в градациях серого, необходимо получить его «яркость»-составляющую. Для этого удобно представить изображение в цветовой модели HSV (англ. Hue, Saturation, Value – тон, насыщенность, значение).

Для проведения преобразований изображений была использована open-source библиотека “OpenCV” для языка Python версии 3.4.0. Данная библиотека доступна и для других языков включая C, C++, Java и другие с поддержкой CUDA (вычисление на видеочипах фирмы NVidia).

В качестве исходных данных использовались следующие изображения (рис.1, рис.2).

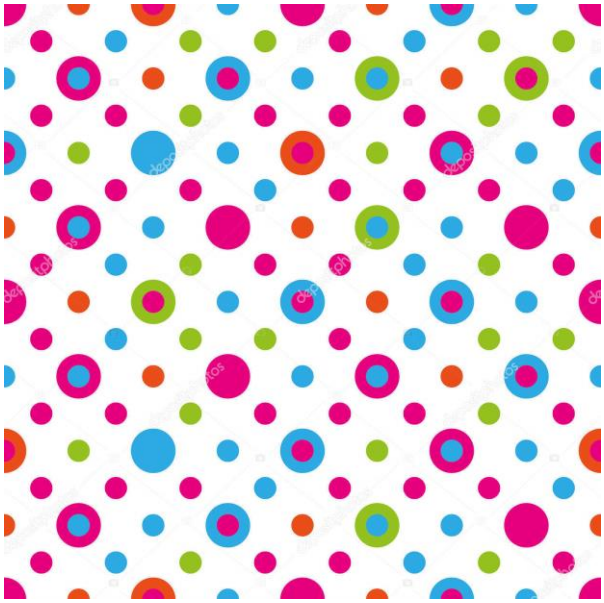


Рис. 1. Входное изображение 1

Рис. 2. Входное изображение 2

Изображения выбраны из соображений наличия на них видимых линий и углов для демонстрации работы алгоритма. После обработки изображения имеют следующий вид (рис.3, рис.4).

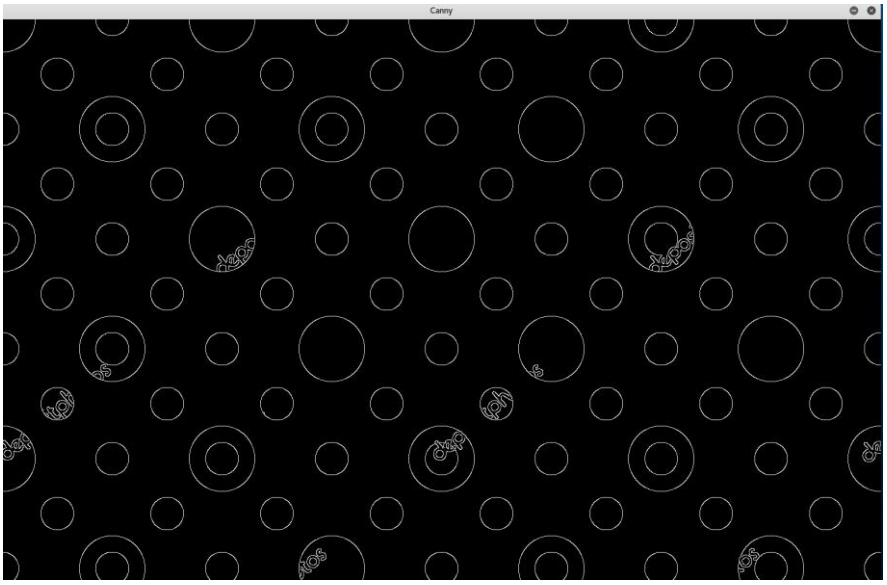



Рис. 3. Изображение 1 после обработки

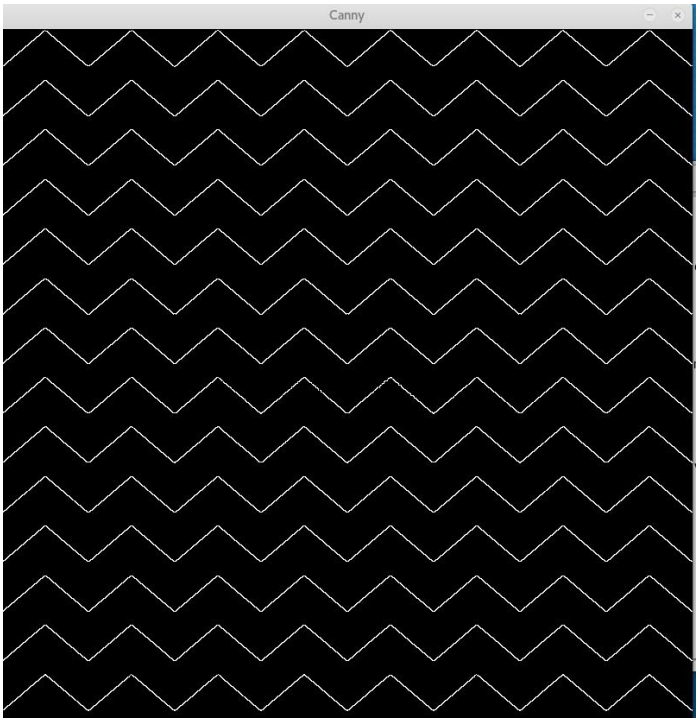



Рис. 4. Изображение 2 после обработки

Из результатов видно, что данный алгоритм подходит для трассировки пути автомобиля по указанной разметке.

Трассировка пути одноцветного объекта происходит следующим образом:

1. изображение переводится из цветовой модели RGB (англ. Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий) переводится в модель HSV;
2. задается нижняя и верхняя границы для определенных оттенков необходимого цвета.

В результате на экране остаются только объекты необходимого нам цвета. Трассировка пути и определение координат объекта имеют следующий вид (рис.5, рис.6)

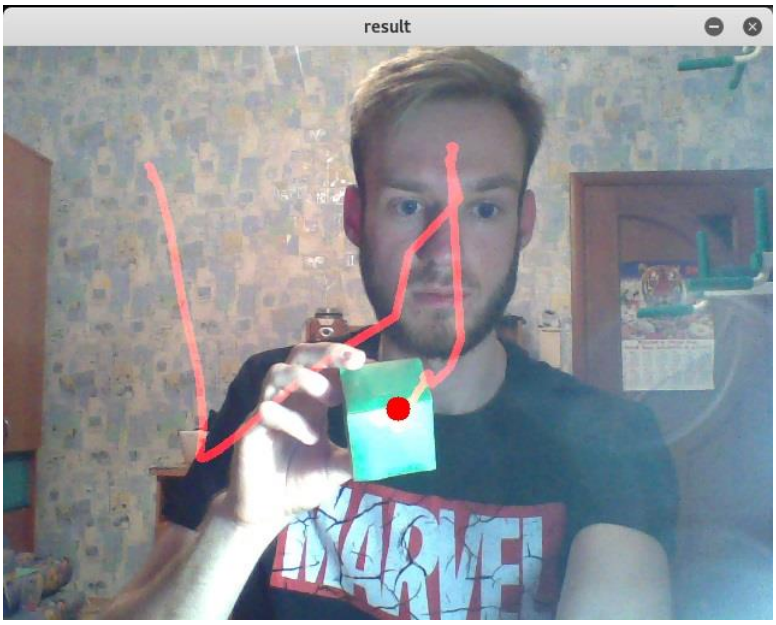



Рис. 5. Трассировка пути

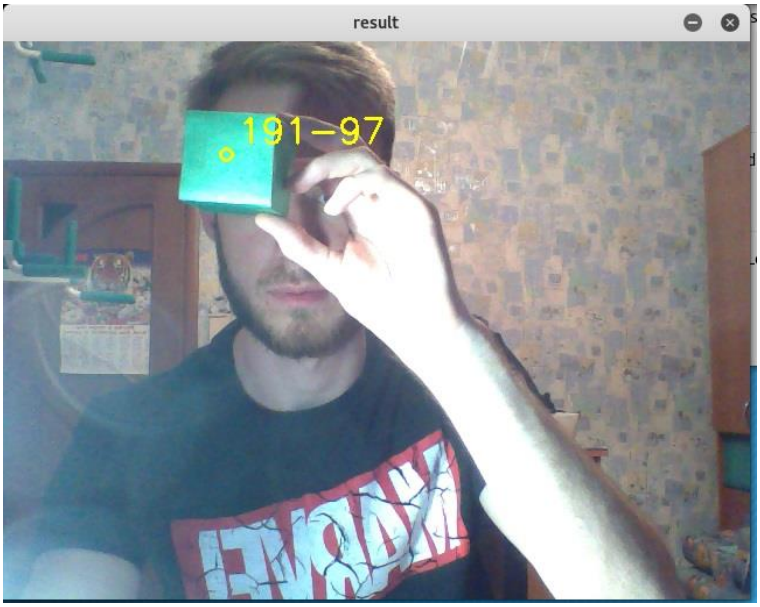



Рис. 6. Отслеживание координат

**Список литературы: 1.** OpenCV: Computer Vision Projects with Python /Joseph Howse, Prateek Joshi, Michael Beyeler. — Packt Publishing Ltd, 2016. — 508с. **2.** Programming Computer Vision with Python /Jan Erik Solem. — Creative Commons, 2012. — 300с. **3.** Практикум по алгоритмизации и программированию на Python /И.А. Хахаев. — Альт Линукс, 2010. — 126с. **4.** Introducing Python /Bill Lubanovic. — O'REILLY, 2015. — 476с. **5.** Automate the Boring Stuff with Python /Albert Sweigart. — No Starch Press, 2015. — 603с.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОРОМОРОЗИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЛЬМЕНЕЙ

**Новичков В.А., Степанова Е.А.**
*(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)*
*Тел. +7(984)1637436; E-mail: len_sta@rambler.ru*

***Abstract:*** *This article gives an analysis of freezers used in the production of ravioli. It is shown that spiral freezing unit are more energy-intensive than fluidizing freezing unit.*
***Key words:*** *spiral short-freezing machines, fluidization quick-freezers, heat inflows*

Устройство и принцип действия скороморозильных аппаратов весьма разнообразны. Основными и наиболее распространенными из них являются:

а) аппараты воздушного охлаждения, в которых продукты замораживаются в интенсивном потоке холодного воздуха;

б) многоплиточные аппараты, где продукт замораживается между полыми металлическими плитами, охлаждаемыми кипящим в них холодильным агентом или циркулирующим холодным рассолом;

в) иммерсионные морозильные аппараты, в которых продукт, предварительно упакованный в полимерную пленку, замораживается в охлаждающей жидкости;

г) аппараты для замораживания продуктов в жидком азоте или фреоне.

Скороморозильные аппараты воздушного охлаждения – это универсальные аппараты, в которых можно замораживать самый разнообразный ассортимент продуктов: мясо и субпродукты в блоках, рыбу в блоках и штучно (кроме рыбы крупных пород), тушки птицы, полуфабрикаты, готовые кулинарные изделия в блоках и отдельными порциями, творог в пачках и блоках, плоды, ягоды, овощи, зеленый горошек и др. В промышленности используют туннельные, конвейерные, флюидизационные морозильные аппараты воздушного охлаждения.

Воздух в спиральных морозильных аппаратах (рис. 1) может циркулировать как горизонтально, так и вертикально. Такие морозильные аппараты применяют для замораживания упакованных и неупакованных продуктов, особенно кулинарных полуфабрикатов. Спиральные скороморозильные аппараты компактны, занимаемая площадь составляет менее 60% площади туннельных аппаратов такой же производительности. Регулирование скорости движения конвейера и воздушного потока позволяет установить оптимальное время замораживания для каждого вида продукта. Для поддержания надлежащего санитарного уровня в состав холодильного оборудования включается специальное моющее устройство для ленты, вынесенное за пределы термоизолированного контура. Основные недостатки - это сложность конструкции и технического обслуживания холодильного оборудования, а также наличие ограничений по виду и форме продукта.

Рис. 1. Скороморозильный спиральный аппарат

Флюидизационные морозильные аппараты (рис. 2) применяют для замораживания продуктов, подлежащих отдельному замораживанию друг от друга, которые могут смерзнуться вместе при замораживании.

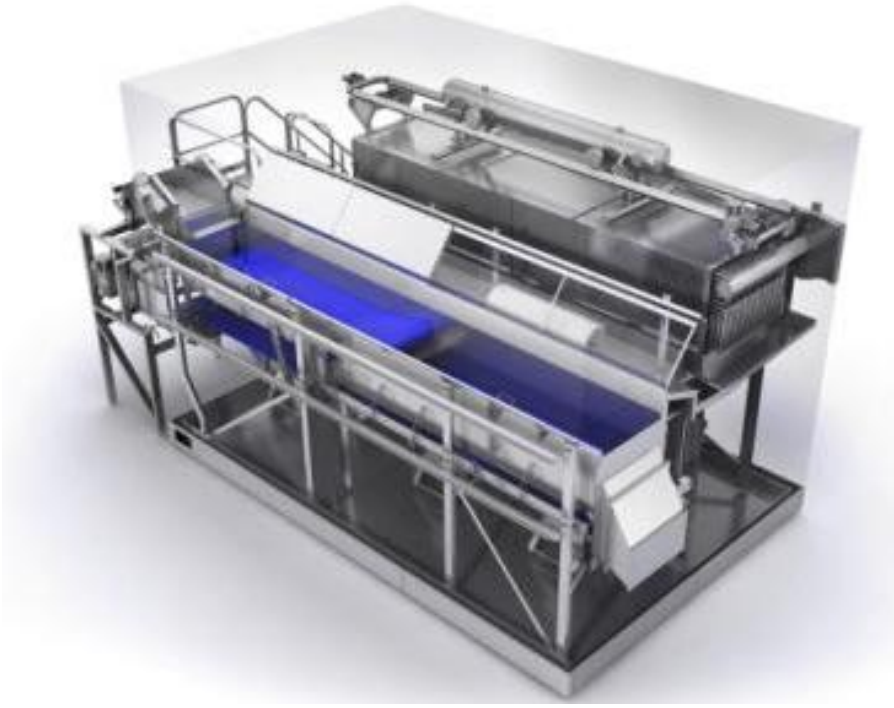


Рис. 2. Флюидизационные морозильные аппараты

Важным условием является непрерывное движение каждой единицы продукта во взвешенном состоянии. Воздух нагнетается вентиляторами в испарители, потом

поступает через лотки вверх. Далее воздух проходит через слой продукта, приподнимает и удерживает продукт во взвешенном состоянии. Продукт в флюидизационном аппарате перемещается в потоке воздуха в лотке с перфорированным дном и (или) на сетчатой ленте конвейера. Перемещение продукта в лотке осуществляется за счет наклона и (или) вибрации лотка.

Продолжительность замораживания продукта зависит от размеров и характеристик продукта, определяется скоростью подачи продукта и высотой слоя. В некоторых типах флюидизационных аппаратах происходит только подмораживание в воздушном слое, а дальнейшее его замораживание осуществляется путем обычного воздушного замораживания.

Флюидизационные морозильные аппараты имеют ряд недостатков: замораживание только мелкоштучных продуктов, значительная потеря массы продукта вследствие испарения, высокие расходы на электроэнергию необходимую для работы вентиляторов.

Ниже приведены приведены результаты расчетов для спиральных (табл. 1) и флюидизационных (табл. 2) морозильных аппаратов на теплопритоки.

Таблица 1. Результаты расчетов спиральным скороморозильным аппаратам

| | |
|---|---|
| Теплоприток через ограждения, кВт | 2,085 |
| Теплоприток от замораживания пельменей, кВт | 14,453 |
| Теплоприток от инфильтрации, кВт | 0,635 |
| Теплоприток от работы электродвигателей вентиляторов, кВт | 2,891 |
| Суммарная тепловая нагрузка на аппарат, кВт | 23,132 |

Таблица 2.- Результаты расчетов по флюидизационным морозильным аппаратам

| | |
|---|---|
| Теплопритоки от продукта, кВт | 76,45 |
| Теплоприток через ограждающие конструкции аппарата, кВт | 2,41 |
| Теплопритоки от двигателей вентиляторов принимаем ориентировочно, кВт | 22,93 |
| Теплопритоки через загрузочные и выгрузочные окна, кВт | 1,35 |
| Суммарная тепловая нагрузка на воздухоохладители, кВт | 104 |

По результатам расчётов, можно сделать вывод, что флюидизационные морозильные аппараты имеют более высокие расходы на электроэнергию, так как теплопритоки больше.

**Список литературы: 1.** Цветков О.Б. Холодильные агенты. Монография: Учебник для ВУЗов / Е.П. Широков. – СПб; 2004. - 203 с. **2.** Скрипников Ю.Г. Прогрессивная технология хранения и переработки овощей: учебное пособие для повышения квалификации. -М: Пищевая промышленность, 1989. — 159с. **3.** Алис – Холодильное оборудование [Электронный ресурс] / Холодильное оборудование. – Киев, 2009. – Режим доступа: http://www.alis.org.ua/ - Дата доступа: 02.12.2012. **4.** Руцкий А.В. Холодильная технология обработки и хранения продовольственных продуктов. — Минск: Вышэйшая школа, 1991. - 194с. **5.** Голянд М.М. Сборник примеров расчётов и лабораторных работ по курсу " Холодильное оборудование": учебное пособие / Б.Н. Малеванный. - М: Лёгкая промышленность, 1981. — 164 с.

# МОРФОЛОГИЯ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОБРАБОТКЕ ПРИ КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

**Овчинников Е.В., Чекан Н.М., Эйсымонт Е.И, Акула И.П.**
*( ГрГУ им.Янки Купалы, ФТИ НАН Беларуси, Гродно, Минск, Беларусь)*
*тел./факс: +375 (152) 684108; e-mail: ovchin@grsu.by*

***Abstract.*** *The paper deals with the formation and application of superhard coatings based on zirconium carbonitride, which allows to achieve increased reliability and durability of the modified products during operation. It is shown that the use of thermal effects, in particular, the treatment of steel substrates coated with ZrCN in cryogenic liquids, leads to a change in the morphology, the distribution of the substance in the surface layers of the coatings. These changes significantly affect the physico-mechanical characteristics of protective layers of coatings.*
***Ключевые слова*****:** *покрытие, структура, морфология, физико-механические параметры.*

**Введение.** Формирование на поверхности деталей машин и механизмов различного рода покрытий обуславливает их повышенную надежность и долговечность при эксплуатации. Для получения высоких значений физико-механических характеристик граничных слоев применяют различные технологические приемы формирования покрытий, позволяющие защитить материал субстрата от воздействия внешних факторов, увеличить межгарантийный срок эксплуатации технологического оборудования и т.п. Обычно к эксплуатационным характеристикам деталей машин и механизмов относят: износостойкость, коррозионную стойкость, отражательную способность, теплосопротивление и т.д. Процесс трения и коррозионного воздействия обычно приводит к выходу из эксплуатации 80-90% от общего количества применяемых деталей и машин в производстве. Одним из основных требований к защитным слоям является то, что они должны обеспечивать существенно лучшую защиту модифицированной детали в агрессивной среде, чем исходный материал.

Повышение износостойкости различного типа инструментов достигается путем применения вакуумных технологий формирования антифрикционных, антиадгезионных слоев. Технологии формирования вакуумных покрытий обладают следующими преимуществами: высокая производительность процесса; возможность получения покрытий в чистых условиях; высокое качество; возможность получения покрытий практически из любых материалов, в том числе сплавов; нанесение многослойных и комбинированных покрытий в едином технологическом цикле; высокая воспроизводимость структуры и свойств формируемых слоев; данная технология является экологически чистой.

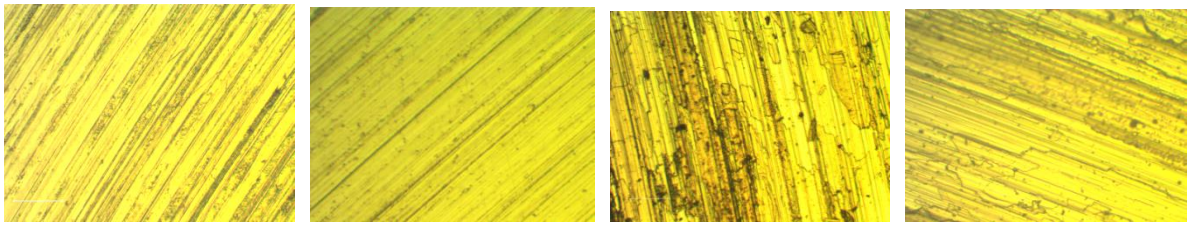
В настоящее время большое внимание уделяют методам получения ультрадисперсных и нанодисперсных фаз в матрице покрытий, формируемых плазмохимическими методами. Установлено, что уменьшение размера структурных элементов (частиц, кристаллов, зерен) материалов ниже некоторой пороговой величины приводит к существенному изменению физических, химических и механических свойств.

Целью исследования является изучение структуры и физико-механических характеристик композиционных покрытий кабонитрида циркония, формируемых на легированных сталях с последующей обработкой при криогенной температуре.

**Методика исследований.** Нанесение композиционных покрытий на базе карботирида циркония осуществлялось в вакуумной установке УВНИПА-1-001, оборудованной катодно-дуговым испарителем с системой электромагнитной фильтрации плазмы, а также ионным источником ИИ-4-0,15. В качестве подложек использовал различные марки стали 12Х18Н10Т. Поверхность подложек из сталей подвергали закалке и шлифовке до чистоты не ниже 11 класса. Перед нанесением проводили чистку и нагрев поверхности образца ионами титана при следующих режимах: ток испарителя, А – 105-110; потенциал на образце, кВ –1.0. Осаждение покрытия проводилось при токе стабилизирующей катушки 1,7 А, токе управляющей катушки 2,0 А и токе дуги 90 А. Давление реакционного газа (азот) находилось в пределах $(0,87\text{-}5)\times10^{-2}$ Па. Во время осаждения покрытия на подложку подавалось напряжение смещения от минус 50 В до минус 100 В. Анализ особенностей структуры композиционных термостойких покрытий, подвергнутых различным видам обработки, осуществляли на универсальном металлографическом микроскопе “ ММР-1600Т ” фирмы “Carl Zeicst” (Германия).

Особенности строения граничных слоев в композиционных покрытиях функционального назначения исследовали с привлечением современных методов физико-химического анализа: ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, атомно-силовой микроскопии. Триботехнические исследования проводили на машине трения типа FT-2, которая работает по схеме «палец-диск» в условиях сухого трения трех сферических образцов диаметром R=1,5 мм по плоской поверхности диска (контртела), выполненного из стали и отшлифованного на ровной плоской поверхности наждачной шкуркой или шлифовальной пастой до среднего арифметического отклонения профиля поверхности $R_a$=0,1 – 0,3 мкм. Испытания проводили при нормальной нагрузке от 20 до 100 Н и линейной скорости скольжения 0,1-0,5 м/с. Для измерения микротвердости покрытий, сформированных на металлах, использовали микротвердомер ПМТ-3. Принцип действия прибора основан на изменении линейной величины диагонали отпечатка, полученного от вдавливания алмазной пирамиды в исследуемый материал под определенной нагрузкой. Коррозионные испытания проводили согласно ГОСТ 9.311-87. Адгезионные характеристики определяли методом скретч-анализа. Для расчёта энергетических параметров вакуумных покрытий использовали метод прямотеневого определения краевого угла смачивания. Использовали жидкости, различающиеся полярностью, для изучения смачивания и расчета сил адгезии, полярных и дисперсионных составляющих поверхностной энергии.

**Результаты исследований.**

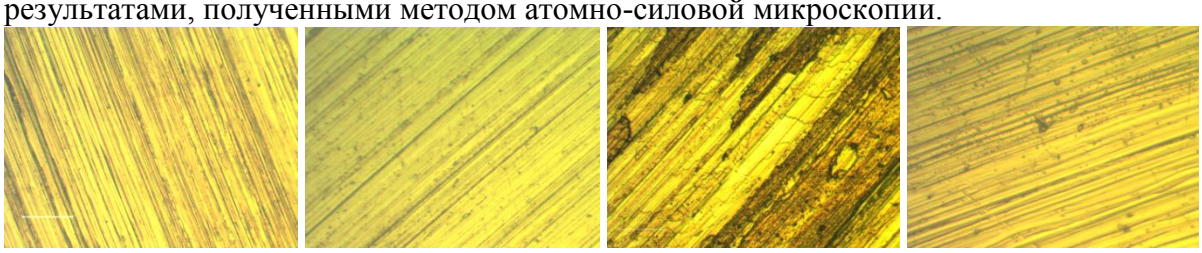


а) б) в) г)

Рис. 1. Морфология покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т. а,б-исходная поверхность субстрата; в,г покрытие ZrCN; а, в – увеличение х300; б,г-увеличение х600.

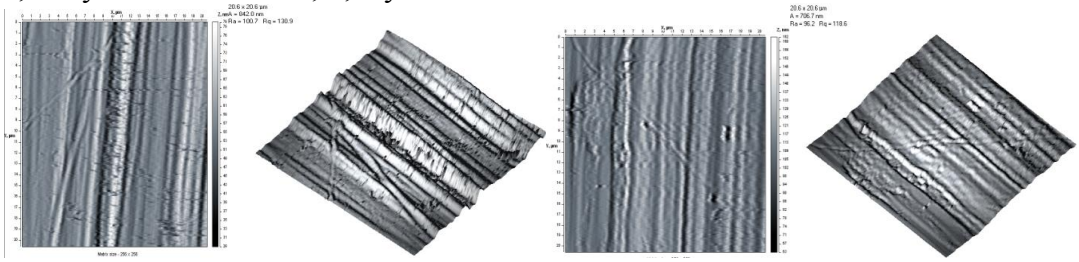
Проведенные исследования морфологии покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т, показывают, что они расположены эквидистантно относительно подложки, фактически повторяют профиль субстрата.

Проведение криогенной обработки исходных образцов в течение 60 минут не приводит к существенному изменению морфологии. Влияние низких температур на вакуумные покрытия карбонитрида циркония приводит к некоторому изменению морфологии (рисунок 2). Данные оптической микроскопии хорошо согласуются с результатами, полученными методом атомно-силовой микроскопии.

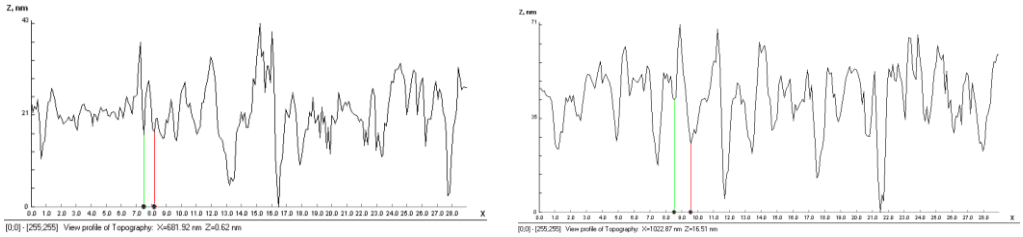


а) б) в) г)

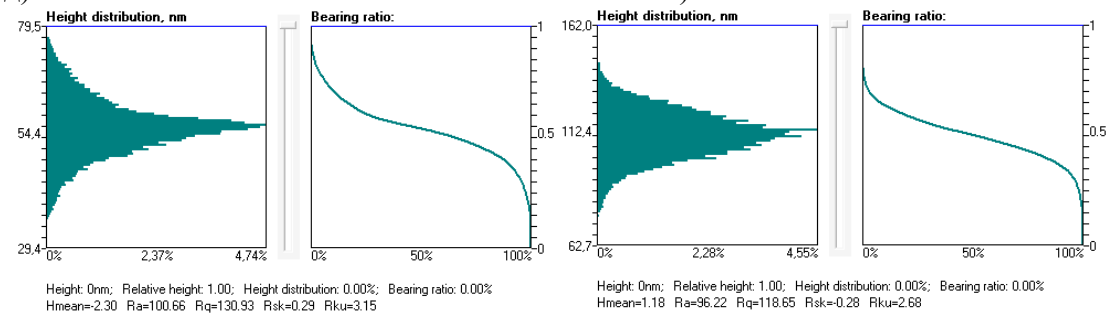
Рис. 2. Морфология покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т, после криогенной обработки. а,б-исходная поверхность субстрата; в,г покрытие ZrCN; а, в – увеличение х300; б,г- увеличение х600.



а) б) в) г)



д) е)




ж) з)

Рис. 3 - Морфология покрытий ZrCN, модифицированных в криогенной жидкости. а,б,д,ж,и – исходное покрытие ZrCN; в,г,е, з – покрытие ZrCN обработано в жидком азоте в течение 60 минут; а,в- 2D-изображение поверхности покрытия; б,г-3D-изображение поверхности; д,е-профиль поверхности покрытий ZrCN; ж,з-распределение высот поверхности покрытий ZrCN.

Согласно данных атомно-силовой микроскопии (рис.3 д,е) при воздействии низких температур происходит увеличение размеров включений, находящихся в покрытии. Результаты исследования, полученные методом профилометрии, подтверждают результаты, полученные атомно-силовой микроскопией (рис.4-6).

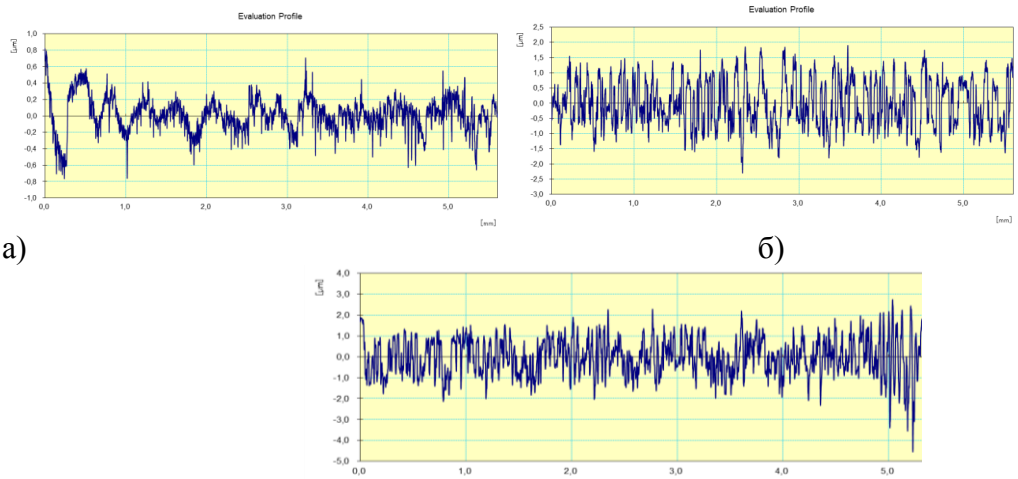



Рис. 4 - Профили поверхностных слоев покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т: а – исходная поверхность стали; б-покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т, в- покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т и модифицированное в криогенной жидкости.

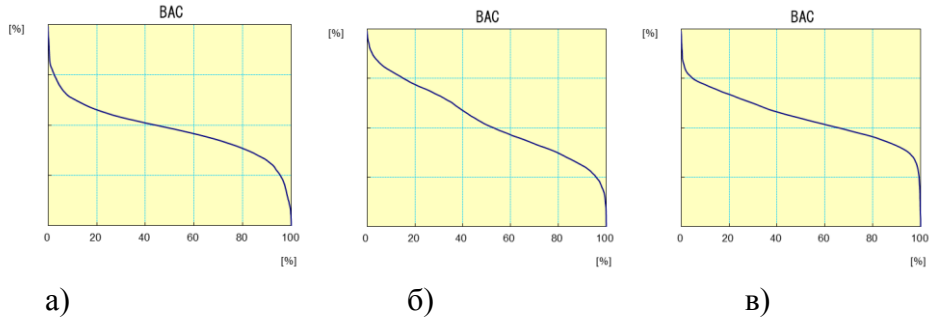



Рис. 5 - Опорные кривые поверхностных слоев покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т: а – исходная сталь 12Х18Н10Т; б-покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т, в- покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т и модифицированное в криогенной жидкости.

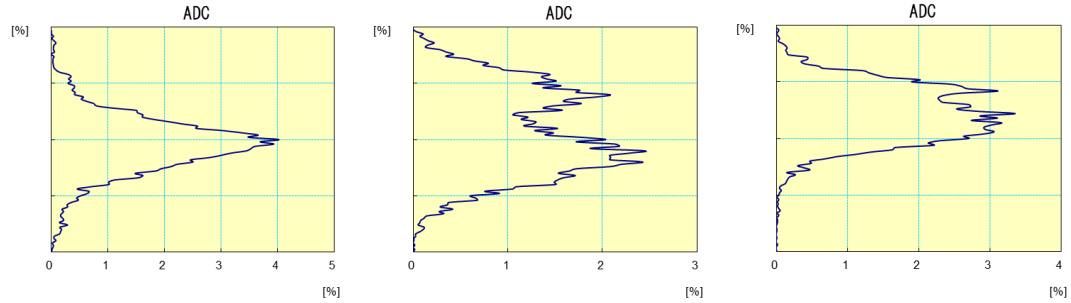



Рис. 6 - Распределение количества вещества в поверхностных слоях покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т: а – исходная сталь 12Х18Н10Т; б-покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т, в- покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т и модифицированное в криогенной жидкости.

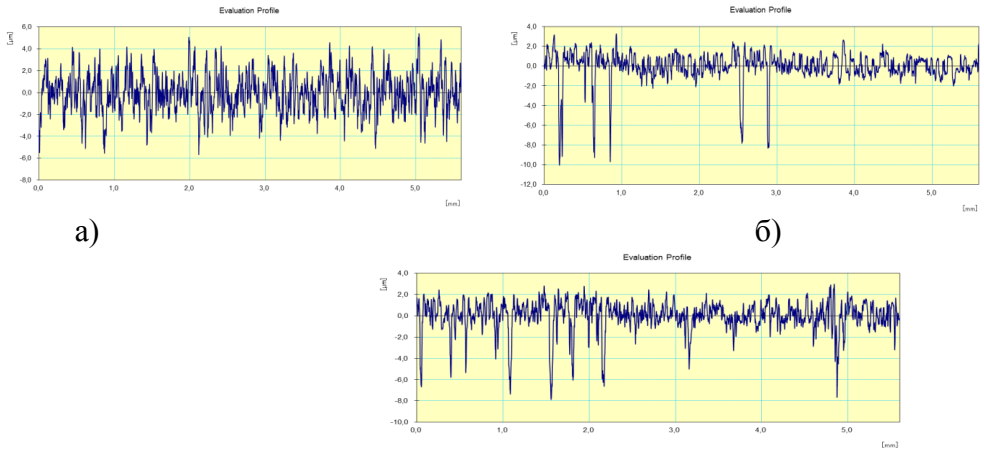
**Заключение.** Таким образом, осаждение покрытий ZrCN на поверхность стали 12Х18Н10Т сглаживает исходный рельеф. В структуре покрытий карбонитрида циркония наблюдается наличие глобулярных образований, количество и размеры которых изменяются при криогенной обработке.

## ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СРЕД НА МОРФОЛОГИЮ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Овчинников Е.В., Чекан Н.М., Эйсымонт Е.И, Акула И.П.**
*( ГрГУ им.Янки Купалы, ФТИ НАН Беларуси, Гродно, Минск, Беларусь)*
*тел./факс: +375 (152) 684108; e-mail: ovchin@grsu.by*

***Abstract.*** *The paper deals with the formation and application of superhard coatings based on zirconium carbonitride, which allows to achieve increased reliability and durability of the modified products during operation. It is shown that the use of thermal effects, in particular the treatment of steel substrates coated with ZrCN in cryogenic liquids, leads to a change in the physical and mechanical characteristics, corrosion resistance, microhardness is increased.*
***Ключевые слова*****:** *покрытие, структура, морфология, физико-механические параметры, коррозия.*

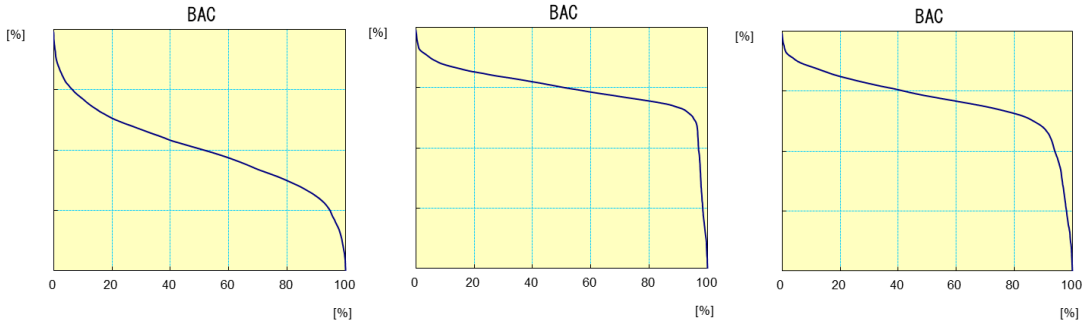
Одной из основных задач современного материаловедения является создание новых материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками. Для этого используются различные физические, химические методы формирования вещества, а также их комбинация. Одним из распространенных технологических приемов является поверхностная модификация материалов. Т.е. нанесение тонкослойных покрытий из газообразного, жидкого, твердого состояния на рабочие поверхности изделий, что приводит к повышению их эксплуатационных характеристик. При формировании вакуумных покрытий применяют различные методы активации поверхности субстрата: механический способ, коронный разряд, термический нагрев, ионным потоком в среде нейтрального газа и т.п. Данная подготовка позволяет существенно изменить адгезионные свойства формируемых покрытий, прочностные и триботехнические характеристики [1-4]. Исследование структуры и физико-механических характеристик вакуумных покрытий ZrCN и подложек, модифицированных низкотемпературной обработкой ( при температуре кипения жидкого азота) проводили методами рентгеноструктурного анализа, оптической микроскопии, растровой электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии. Шероховатость поверхностей вакуумных покрытий, металлических подложек, подвергнутых воздействию криогенных жидкостей, оценивали на профилографе Surftest SJ-210. Представляет интерес изучить стойкость данных покрытий, сформированных на стальных подложках, к воздействию агрессивных сред. В качестве агрессивных сред, воздействующих на стальной субстрат и покрытия на базе ZrCN, применяли соляной туман, а также высококонцентрированную серную кислоту. Проведенные исследования показали повышенную стойкость покрытий ZrCN по отношению к действию серной кислоты, соляного тумана в сравнении с материалом субстрата (рис.1-3).




а) б)

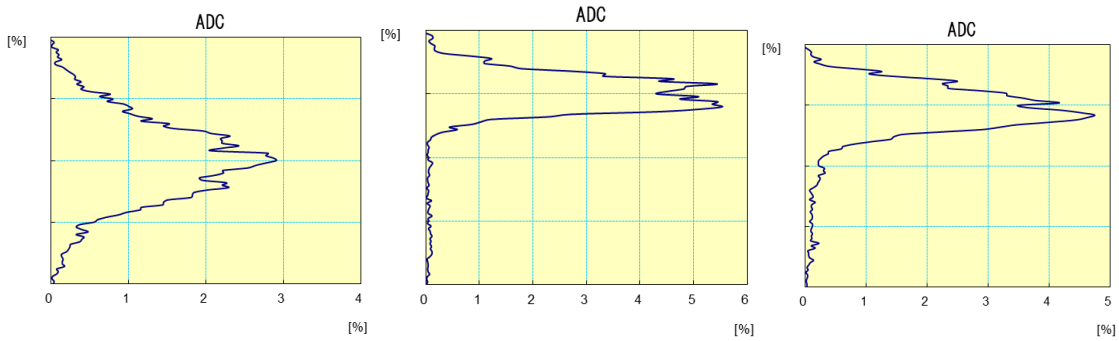
в)

Рис. 1. Профили поверхностных слоев покрытий ZrCN, после коррозионных испытаний в среде $H_2SO_4$ в течение 6 часов: а – поверхность стали 12Х18Н10Т; б-покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т; в- покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т и подвергнутое обработки в жидком азоте в течение 60 минут .




а) б) в)

Рис. 2. Опорные кривые поверхностных слоев покрытий ZrCN, после коррозионных испытаний в среде $H_2SO_4$ в течение 6 часов: а – исходная сталь 12Х18Н10Т; б-покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т, в- покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т и модифицированное в криогенной жидкости.




а) б) в)

Рис. 3. Распределение количества вещества в поверхностных слоях покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т после коррозионных испытаний в среде $H_2SO_4$ в течение 6 часов: а – исходная сталь 12Х18Н10Т; б-покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т, в- покрытие ZrCN, сформированное на стали 12Х18Н10Т и модифицированное в криогенной жидкости.

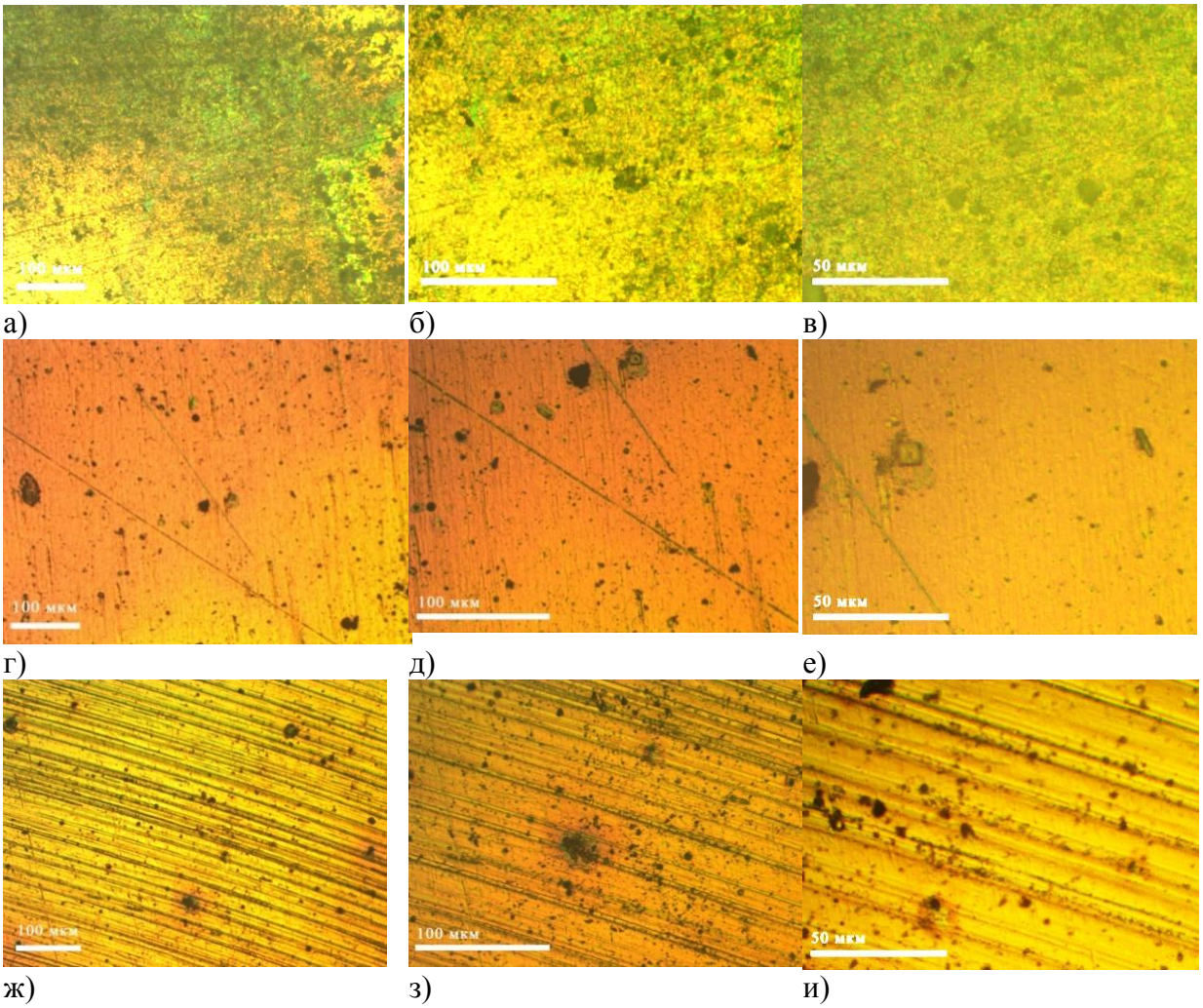



Рис. 4 Морфология вакуумных покрытий ZrCN, сформированных на стали 12Х18Н10Т после проведения испытаний на коррозионную стойкость по ГОСТ 9.311-87: а-в – сталь 12Х18Н10Т; г-е-покрытие ZrCN; ж-и-покрытие ZrCN, обработанное в жидком азоте в течение 60 минут.

Воздействие кислоты на сталь 12Х18Н10Т приводит к травлению исходной поверхности с образованием мелкодисперсных структурных составляющих с максимальным вертикальным размером до 8 мкм (рис.1 а). Влияние $H_2SO_4$ на морфологию покрытий ZrCN и ZrCN, обработанного в криогенной жидкости, не приводит к существенному ее изменению (рис. 1). Однако, параметры, определяющие характеристику поверхности, показывают, что в покрытиях карбонитрида циркония, а также модифицированных покрытиях ZrCN происходит перераспределение количества вещества по толщине покрытия (рис.3).

Для исходной стали 12Х18Н10Т наблюдается равномерное распределение материала покрытия по толщине с наибольшей концентрацией его во второй зоне опорной кривой - соответствующей области средней линии в пределах базовой длины.

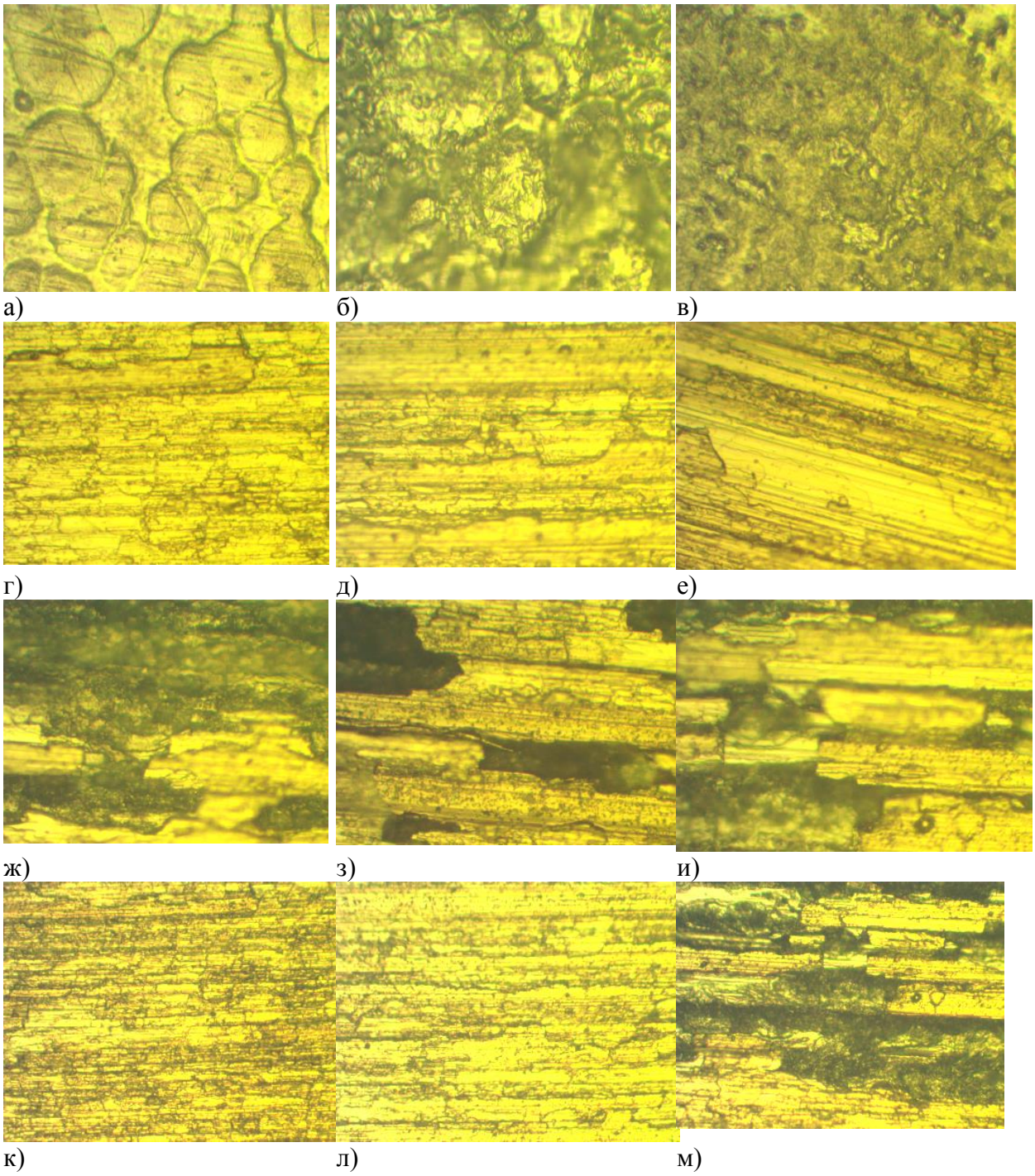



Рис. 5. Морфология покрытий ZrCN после воздействия серной кислоты: а-б) субстрат, изготовленный из стали 12Х18Н10Т; г-и) – покрытие ZrCN; к-м – покрытие ZrCN, модифицированное в жидком азоте в течение 60 минут; б,г,к – обработка в серной кислоте в течение 30 минут; д- обработка в серной кислоте в течение 60 минут; е- обработка в серной кислоте в течение 180 минут; ж- обработка в серной кислоте в течение 240 минут; з,л- обработка в серной кислоте в течение 300 минут; и,м - обработка в серной кислоте в течение 360 минут. х600

Характер данной зависимости распределения материала в поверхностном слое исходного субстрата остается примерно одинаковым при воздействии агрессивной среды (рис. 2-3). Для исходных покрытий ZrCN, а также модифицированных путем криогенной обработки наблюдается увеличение количество вещества в первой зоне опорной кривой, соответствующей выступам в покрытии (рис. 2-3в). Возможно, это связано с неоднородностью покрытия карбонитрида циркония по толщине, наличием пор и дефектов, в результате чего происходит избирательное травление субстрата под слоем покрытия (рис.5).

Согласно результатов морфологических исследований методом оптической микроскопии исходного субстрата и покрытий карбонитрида циркония наибольшей стойкостью к воздействию серной кислоты обладаю покрытия ZrCN, модифицированного при криогенных температурах. В течение 5 часов не наблюдается существенного изменения морфологии поверхностных слоев. Для покрытий карбонитрида циркония изменения морфологии происходит через четыре часа после начала испытаний. Исходный субстрат изменяет морфологию через 30 минут после начала воздействия кислоты.

Проведенные испытания по определению коэффициента трения пары сталь 12Х18Н10Т- сталь ШХ 15 показали значения, находящиеся в области 0,2-0,25. Формирование покрытия ZrCN на поверхности стали 12Х18Н10Т приводит к увеличению значений коэффициента трения пары ZrCN-ШХ15 до 0,25-0,3. Последующая обработка в жидком азоте покрытия карбонитрида циркония, сформированного на стальной подложке, снижает значения коэффициента трения до 0,19-0,22. Проведение обработки холодом покрытий ZrCN увеличивает значения микротвердости на 18-26 % по сравнению с исходными образцами.

Таким образом, осаждение покрытий ZrCN на поверхность стали 12Х18Н10Т сглаживает исходный рельеф. В структуре покрытий карбонитрида циркония наблюдается наличие глобулярных образований, количество и размеры которых изменяются при криогенной обработке. Проведенные исследования показали повышенную стойкость покрытий ZrCN по отношению к действию серной кислоты, соляного тумана в сравнении с материалом субстрата.

**Список литературы**: **1.** Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с. ISBN 5-9221-0582-5. **2.** Gleiter, H. Nanocrystalline materials / H. Gleiter // Progress in Materials Sceince. – 1989. – Vol. 33. – P. 223-314. **3.**Gleiter, H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure / H. Gleiter // Acta mater. – 2000. – Vol. 48. – P. 1-29. **4.** Криогенная технология повышения прочностных характеристик сталей по- ниженной прокаливаемости / Е.В. Овчинников [и др.] // Весн. ГрДУ. Сер. 6. – 2012. – № 3 (137). – С. 49 – 58.

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ВЕКТОРИЗАЦИЯ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Павлыш В.Н., Бурлаева Е.И., Зори С.А.** *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
**Тел.** *+38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru*

***Abstract:*** *The most using algorithms of computer tutoring operates with text documents as elements of vector area, that requirements corresponding text transformation. The task of new composite methods for text information transform into vector model creation is considered.*
***Key words:*** *information, text, method, classifying, document.*

Тенденция распространения и увеличения объемов информации в электронном виде стимулирует активное развитие автоматических систем обработки информации. Данная проблема актуальна для построения систем обработки, анализа, оценивания и понимания информации. Конечной практической целью здесь является поиск наиболее рационального варианта отнесения той или иной текстовой информации в определенную тематическую группу.

Поиск и отнесение по содержанию больших текстов настолько сложная для человека задача, что её выполнение ограниченным числом людей в условиях постоянного поступления новой информации практическим невозможно. В результате для решения этой задачи всё чаще применятся автоматические системы анализа текста [1]. Сложность задачи состоит, во-первых, в сложности обработки естественного языка, а, во-вторых, в определении, насколько хорошо слово или группа слов описывают темы из исходного текста [2].

Для решения этой задачи уже разработан ряд методов [3,4,5], и работа над новыми решениями продолжается [6, 7]. Несмотря на определённые различия, большая часть методов имеет одну общую особенность: используя некоторую эвристику (например, расстояние между словами, частоту использования слов или заранее определённые отношения между словами), найти группу слов, которая точно определяет темы или описывает информацию, содержащуюся в исходном тексте.

С учётом частоты встречаемости общей лексики в текстах разного назначения наиболее естественный путь решения вышеуказанных задач состоит в использовании известной статистической меры TF-IDF [8] для выделения среди слов исходной фразы общей лексики и слов терминов (в том числе в составе сочетаний).

В настоящей работе рассматривается возможности сокращения размерности векторов для поиска в текстовом корпусе описаний близких фрагментов знаний и языковых форм их выражения.

Рассмотрим некоторые из методов автоматической классификации текста, выделим их преимущества и недостатки, что может послужить отправной точкой для разработки более эффективных подходов.

**Уменьшение размерности признакового пространства**

Одной из проблем анализа текстов является большое количество слов в документе. Если каждое из этих слов подвергать анализу, то время поиска новых знаний резко возрастет. В то же время не все слова в тексте несут полезную информацию. Таким образом, удаление неинформативных слов, а также приведение близких по смыслу слов к единой форме значительно сокращают время анализа текстов [9, 10].

Уменьшение размерности позволяет снизить вычислительную сложность алгоритма, при этом важно не ухудшить качество классификации. Предполагается, что ряд термов практически неинформативны.

Иногда предполагается, что ряд термов зависит друг от друга. То есть они с большой вероятностью попадут в один класс или в один документ. Очевидно, что за счет таких признаков можно уменьшить размерность пространства без ухудшения точности алгоритма.

Уменьшение размерности может проходить локально или глобально. Локальность означает, что процедура проводится для каждой категории отдельно, затем оставшиеся слова объединяются в единое пространство. Глобальность подразумевает, что участие принимают сразу все документы обучающей выборки, без учета их принадлежности к той или иной категории.

**Отбор неинформативных признаков**

Существуют различные способы определения признаков, не влияющих на качество классификации.

Разумно предположить, что если какой-либо терм практически не встречается в документах обучающей выборки, он не несет специфической информации, определяющей класс объекта. Когда терм, наоборот, встречается во всех документах и много раз, то он также будет нести мало полезной информации о принадлежности документа к тому или иному классу. Если все классы статистически независимы от какого-либо терма, то он также неинформативен. Такие простые правила, конечно, нуждаются в формализации. Приведем некоторые возможные правила, которые позволяют определить наиболее ненужные признаки.

Интерес в данной статье представляет сравнение влияния использования методов «Стемминг», «Стоп-слова», «Нижняя граница» и *TF-IDF* в разных модификациях алгоритмов.

Все системы тестируются на наборе данных русского языка [11] с использованием английских терминов и названий, при этом тестирование происходит использования алгоритмов на характерных наборах.

Алгоритмы машинного обучения требуют специально подготовленной обучающей выборки, то есть специально размеченных документов, в которых указаны слова, являющиеся самыми важными в данном тексте.

**Мера *TF-IDF***

В задачах анализа текстов и информационного поиска *TF-IDF* есть статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, входящего в некоторый текстовый корпус. Согласно определению, данная мера есть произведение *TF*-меры (отношения числа вхождений слова к общему числу слов документа) и инверсии частоты встречаемости слова в документах корпуса (*IDF*).

*TF-IDF* [12] — это статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, являющегося частью коллекции документов или корпуса.

Вес некоторого слова пропорционален количеству употребления этого слова в документе и обратно пропорционален частоте употребления слова в других документах коллекции [13] и вычисляется по формуле:

$$TF - IDF(w,d,D) = TF(w,d) \times IDF(w,D)$$

*TF* (term frequency — частота терма) — отношение числа вхождения некоторого терма к общему количеству термов документа. Таким образом, оценивается важность

терма $w$ в пределах отдельного документа $d$ [13], частота слова оценивает важность слова $w_i$ в пределах отдельного документа:

$$TF(w,d) = \frac{n_i}{\sum_k n_k}$$

$n_i$ — число вхождений слова *i* в документ;
$\sum_k n_k$ — общее число слов в данном документе.
*IDF* (inverse document frequency — обратная частота документа) — инверсия частоты, с которой некоторое слово встречается в документах коллекции. Учёт *IDF* уменьшает вес широкоупотребительных слов. Для каждого уникального слова в пределах конкретной коллекции документов существует только одно значение *IDF* [13]:

$$IDF(w,D) = \log \frac{|D|}{|(d_i \supset w_i)|},$$

где $|D|$ — количество документов в корпусе;
$|(d_i \supset w_i)|$— количество документов, в которых встречается слово $w_i$.

Когда *TF-IDF* функция применена ко всем словам во всех документах корпуса, слова можно отсортировать по полученным весам. Более высокий *TF-IDF* вес говорит о том, что слово важно для данного документа, и в то же время достаточно редко употребляется в других документах корпуса. Это зачастую можно интерпретировать как знак того, что слово является важным для данного конкретного документа и может быть использовано, чтобы точно описать документ. *TF-IDF* предоставляет хорошую эвристику для определения кандидатов в ключевые слова, и этот метод (и многие его модификации) за годы исследований показал свою эффективность [14]. В связи с эффективностью и простотой, *TF-IDF* продолжает активно применяться и сегодня.

**Метод «Нижняя граница»**

В качестве нижней границы будем используется алгоритм возвращающий первые 100 слов. Данный алгоритм является весьма эффективным, так как требует наименьшего количества вычислительных ресурсов, не требует моделей и при этом его точность и полнота зачастую превышает соответствующие показатели сложных алгоритмов [15].

**Метод «Стоп-слова» («Шумовые слова»)**

Стоп-слова (Шумовые-слова) - это слова, являющиеся вспомогательными и несут малую смысловую нагрузку о содержании документа [16.]. Чаще всего заранее составляется список таких слов и в процессе предварительной обработки они удаляются из текста. К стоп-словам относят предлоги, союзы, местоимения и т. д.

**Метод «Стемминг»**

Стеммингом является морфологический поиск [17], который заключается в преобразовании каждого слова и приведении его к общей форме, главным образом используется отбрасывание окончаний. Эта технология алгоритма морфологического разбора, учитывающая языковые особенности, вследствие чего является языково-зависимым алгоритмом.

Для апробации предложенных композиций методов был создан тестовый корпус, состоящий из пятидесяти текстовых документов, которые описывали факты предметной области «Компьютерная графика».

Модификации вышеописанных методов можно представить следующими дополняющими друг друга комбинациями обработки текста (Табл 1).

Таблица 1. Композиция методов векторного представления текста.

| Сокращение | Композиция методов | Краткое описание |
|---|---|---|
| Т-I | TF-IDF | Использование метода TF-IDF для преобразования текста в вектор без какой-либо еще обработки. |
| Ш+ Т-I | «Шумовые слова»+ TF-IDF | Удаление слов, не несущих смысловой нагрузки, и использование алгоритма TF-IDF для приведения текста к векторному виду. |
| С+ Т-I | «Стемминг» + TF-IDF | Приведение слов в тексте к единой основе и преобразование текста при помощи алгоритма TF-IDF. |
| С + Ш + Т-I | «Стемминг» + «Шумовые-слова» + TF-IDF | Проведение слов в тексте к одинаковой основе, удаление шумовых слов, не несущих в себе смысловую нагрузку текста, и использование алгоритма TF-IDF |
| НГ + TF-DF | «Нижняя граница» + TF-IDF | Используются сразу два алгоритма: «Нижняя граница» и TF-IDF в виде линейной комбинации. |
| Ш+НГ+Т-I | «Шумовые слова» + «Нижняя граница» + TF-IDF | Удаление «Шумовых слов» и использование сразу двух алгоритмов: «Нижняя граница» и TF-IDF. |
| С+ Ш+ НГ + TF-IDF | «Стемминг» + «Шумовые-слова» + «Нижняя граница» + TF-IDF | Приведение слов в тексте к общей основе, затем удалении слов, которые самостоятельно не несут никакой смысловой нагрузки, использование сразу двух алгоритмов: «Нижняя граница» и TF-IDF. |

В результате проведения серии экспериментов можно прийти к выводу о том, что:

- установка «Нижней границы» достаточно неоднозначна, для нее сложно определить *n,* так как ее задача состоит в уменьшении размерности получаемого вектора; однако при слишком большом уменьшении количества слов можно потерять смысловую нагрузку текста;
- удаление стоп-слов всегда приводит к улучшению результатов работы алгоритмов;
- использование стемминга также приводит к улучшению ситуации, так как при приведении к единой форме слов изменяется их вес и количество документов, использующих данное слово.

Оптимальным будет сочетание из «Стемминг» + «Стоп-слова» + TF-IDF, которое позволит облегчить работу метода TF-IDF, избавив от неинформативных слов и приведя к общему виду основания.

**Список литературы:** 1. LeCun, X. Z. Y. Text understanding from scratch / Xiang Zhang Yann LeCun //Computer Science Department. — 2016. 2. Коваль С. А, Лингвистические проблемы компьютерной морфологии. СПб., 2005. 3. Агеев М.С., Добров Б.В., Лукашевич Н.В. Автоматическая рубрикация текстов: методы и проблемы // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2008. Том 150. книга 4. С. 25-40. 4. Polyakov I.V., Sokolova T.V., Chepovsky A.A., Chepovsky A.M. Text classification problem and features set. Vestn. NGU. Ser.: Informatsionnye tekhnologii [Novosibirsk State Univ. Journ. of Information Technologies]. 2015, vol. 13, iss. 2, pp. 55–63 (in Russ.). 5. Yang Y. An evaluation of statistical approaches to text categorization. Information Retrieval Jour. 1999, vol. 1, iss. 1, pp. 69–90 6. Ju R. An Efficient Method for Document Categorization Based on Word2vec and Latent Semantic Analysis. 2015 7. Аношкина Ж.Г. Морфологический процессор русского языка. // Бюллетень машинного фонда русского языка/ отв. редактор В.М. Андрющенко— М., 1996. — Вып.3, с.53-57. 8. Joachims T. A probabilistic analysis of the Rocchio algorithm with TFIDF for text categorization // Joachims_97a. 1997. URL: http://www.cs.cornell.edu/People/tj/publications/joachims_97a.pdf (дата обращения: 10.01.2012). 9.Загорулько Ю.А., Кононенко И.С., Костов Ю.В., Сидорова Е.В. Классификация деловых писам в системе документооборота // Международная конференция ИСТ'2003 "Информационные системы итехнологии" — Новосибирск, 2003 10. Некрестьянов И.С. Тематико-ориентированные методы информационного поиска: Дис. канд. физ-мат. наук: 05.13.11 / С-Пб. гос. унив. — Санкт-Петербург, 2000. 11. Тузов В.А. Компьютерная семантика русского языка. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. – 400 с. 12. S, J. K. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval / Jones K. S // Journal of Documentation. — 1972. 13. Губин М. В. «Модели и методы представления текстового документа в системах информационного поиска», 2005 14. T. Joachims. A probabilistic analysis of the Rocchio algorithm with TFIDF for text categorization// Proceedings of ICML-97, 14th International Conference on Machine Learning, pages 143-151 // Morgan Kaufmann Publishers, 1997 15. Kruengkrai C., Jaruskulchai C. Generic text summarization using local and global properties of sentences //IEEE/WIC International ConferenWeb Intelligence (WI'03). Halifax. Canada, 2003 16. Гращенко Л. А. О модельном стоп-словаре // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук — 2013. — № 1(150). — С. 40-46. 17. Губин М.В., Морозов А.Б. Влияние морфологического анализа на качество информационного поиска // Консорциум «Кодекс». 2006. С.16

# ПРАГМАТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ НАУЧНОГО ТЕКСТА И ЕЁ УЧЁТ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

**Павлыш В.Н., Зайцева М.Н.** *(ДонНТУ, ДонПИ, г. Донецк, ДНР)*
**Тел.** *+38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru*

***Abstract:*** *The task of new vocabulary mastering acceleration during technical text translation is considered. The writing form of translation process is most effective.*
***Key words:*** *information, text, lexicon, translation, method.*

Одним из важнейших требований к современному специалисту является умение оперативно пользоваться научной информацией в своей профессиональной деятельности. В настоящее время разрабатываются такие проблемы лингвистического и экстралингвистического плана, от которых в определенной степени зависит значимость полученной информации в формировании профессиональной подготовки студентов. Особенно важна эта проблема при переводе технических текстов. Некоторые исследователи увязывают перевод специальных текстов с человеческим фактором, со структурой языка и речи, с прагматикой текста и с извлечением текстовой информации.[5, с. 12]

В этой связи задача повышения эффективности усвоения нового лексикона в процессе перевода является актуальной и важной при обучении студентов университетов.

Научный текст - это средство хранения и накопления знаний. Заключенная в нем информация делает его социально значимым. При переводе с одного языка на другой эта социальная значимость должна сохраняться. Для обеспечения адекватного перевода необходимо осмыслить и понять семантический, синтаксический и прагматический аспекты текста, релевантно передать все виды информации. Лингвисты различают в тексте следующие виды информации: основную и дополнительную (М.В.Арнольд), содержательно-фактуальную, содержательно-концептуальную, содержательно-подтекстовую (И.Р.Гальперин), семантическую и эстетическую (А.Моль), когнитивную, языковую и коммуникативную (Л.А.Черняховская).

Учитывая многоаспектность содержания текста, следует выделить три основных типа информации: семантическую, синтаксическую и прагматическую.[3, с. 8]

Научный текст содержит информацию о денотате текста – это семантическое содержание, его семантика. При неточной передаче семантической информации текста, нечетком и неясном донесении информации об объекте, явлениях и процессах реальной действительности снижается его прагматический аспект.

Текст несет также информацию о структурных средствах текста, обеспечивающих материализацию семантического и прагматического содержания. Этот вид информации называют синтаксическим содержанием или синтактикой текста, его структурной организацией.

Адекватная передача способа организации текста, взаимодействия его элементов, их логической последовательности, точная передача символико-графических средств оформления информации повышает прагматический эффект воздействия ее на читателя.

Кроме этих двух видов информации в каждом научном тексте содержится информация о коммуникативных намерениях и целях автора, его отношении к сообщаемым фактам, социальной и мировоззренческой позиции автора, его научной

компетенции. Эта информация составляет коммуникативно-прагматическое содержание текста. Осмысление прагматического содержания и передача его на другой язык является самым сложным уровнем перевода. Анализ научных текстов показал, прагматическая информация присутствует во всех композиционных частях света: введении, обзоре научной литературы, основной части, заключении. Наиболее полно и эксплицитно прагматическая информация представлена во введении, обзоре научной литературы и заключительной части текста. Это связано с тем, что во введении автор, как правило, называет цель своего исследования, актуальность затронутого вопроса, связывая его с общесоциальными и государственными проблемами, в чем проявляется его социальная позиция к исследуемой проблеме. В обзоре литературы автор текста приводит различные мнения ученых по обсуждаемой проблеме, комментирует их, утверждает или опровергает некоторые точки зрения, высказывает эксплицитно или имплицитно свое отношение к ней.

Трудности при переводе прагматической информации связаны с поисками прагматических эквивалентов на родном языке, передающих социальную, мировоззренческую и культурно – этическую позицию автора, его научную компетенцию.

Процесс обучения теории и практики научного перевода можно условно разделить на четыре этапа:

1. Нулевой этап - знакомство со словарями по специальности, словообразование частей речи и грамматических форм.

2. Начальный этап - знакомство с основными моделями словосочетаний правилами их перевода, перевод сложных слов и терминов.

Работа над лексическим материалом будет успешной, если она будет носить упорядоченный характер, а именно, будет построена по логической схеме с постепенным усложнением вплоть до решения творческих проблемных задач. Подготовка по расширению потенциального словаря начинается с интернациональных слов. Научная терминология на основе слов-интернационализмов составляет более 20% общенаучной лексики, ибо, как известно, транслитерация является одним из основных приемов в области технического перевода при передаче наименований новых понятий и явлений. При работе с данной лексической группой возникают трудности, связанные с ошибочным отождествлением понятий по признаку их графической, грамматической и семантической общности. Проблема «ложных друзей» переводчика является естественным результатом семантической эволюции терминов-интернационализмов в процессе их функционирования в различных языковых средах.

Вторая группа - это производные и сложные слова, которые составляют 25% всех знаменательных слов текста. Принимая во внимание, что в терминологических системах ведущую роль играют словообразовательные элементы, заимствованные из греческого и латыни, при переводе их на русский язык необходимо соблюдать правило, координирующее использование приемов транслитерации и ассимиляции составных частей слова. Благодаря умению выделить на основе базовой единицы и словообразовательной модели значение незнакомого слова потенциальный лексический запас студентов увеличивается почти в десять раз.

Активизация пассивных знаний происходит и за счет многозначных и конвертируемых слов, которые играют определенную роль при умении соотнести известное значение с контекстом предложения и установить смысловые связи между его составными частями на уровне ситуации. Определить значение незнакомых слов в

определенном контексте помогают общеизвестные факты, графики, диаграммы, а также совпадение сочетаемости слов в родном и иностранном языках.

3. Первый переводческий этап - знакомство с основными понятиями лингвистики текста, видами содержания текста, способами достижения эквивалентности перевода.

4. Продвинутый этап - тренировка в способах достижения эквивалентности перевода, работа с оригинальными научными текстами и их устный и письменный перевод.

Разумеется, полезна и необходима тесная связь преподавателей кафедры иностранных языков и выпускающих кафедр при отборе текстов по специальности, что позволяет студентам глубже знакомиться со своей будущей профессией, расширить свой кругозор и понять необходимость знания иностранного языка.

В современных условиях изучение иностранных языков и развитие методов перевода тесно связываются с использованием компьютерных технологий. Процесс информатизации образования и связанное с этим использование возможностей средств новых информационных технологий (СНИТ) в процессе обучения приводит не только к изменению организационных форм, но и к возникновению новых методов обучения.

Математизация и информатизация предметных областей, интеллектуализация учебной деятельности, общие интеграционные тенденции процесса познания окружающей информационной, экологической, социальной среды, поддерживаемые использованием СНИТ, приводят к расширению и углублению изучаемых предметных областей интеграции изучаемых предметов или отдельных тем. Это обусловливает изменение критериев отбора содержания учебного материала. Они основываются на необходимости интенсификации процесса интеллектуального становления и саморазвития личности обучаемого, формирования умений формализовать знания о предметном мире, извлекать знания, пользуясь различными современными методами обработки информации.

Таким образом, в связи с развитием процесса информатизации и образования изменяется объем и содержание учебного материала, происходит реструктурирование программ учебных предметов (курсов), интеграция некоторых тем или самих учебных предметов, что приводит к изменению структуры и содержания учебных предметов (курсов) и, следовательно, структуры и содержания образования.

Параллельно этим процессам происходит внедрение инновационных подходов к проблеме уровня знаний студентов, основанных на разработке и использовании комплекса компьютерных тестирующих, диагностирующих методик контроля и оценки уровня усвоения [1]. Изменение содержания и структуры образования, представлений об организационных формах, методах обучения и контроля за его результатами приводит к изменению частных методик преподавания.

Реализация возможностей СНИТ в процессе обучения и связанное с этим расширение спектра видов учебной деятельности приводят к качественному изменению дидактических требований к средствам обучения, учебной книге. Это наглядно демонстрируется на примере программных средств учебного назначения [2].

Педагогические программные средства - совокупность компьютерных программ, предназначенных для достижения конкретных целей обучения, они являются главной частью компьютерного программно-методического комплекса, включающего кроме педагогических программных средств методическое и дидактическое сопровождение данных программ.

Средства вычислительной техники должны поступать в систему образования с программным обеспечением, ориентированным на задачи обучения различным дисциплинам. Проблема создания и использования компьютерных учебных программ продолжает оставаться актуальной [3].

В настоящее время нет единой общепринятой классификации учебных программных средств, хотя во многих работах в зависимости от методических целей, реализация которых оправдывает применение компьютеров, выделяются следующие типы.

Вывод: Письменные переводы позволяют быстрее усваивать новую лексику и терминологию благодаря ее повторному фиксированию. Сами студенты предпочитают делать переводы письменно, т.к. их легче анализировать, корректировать и редактировать. При этом лучше понимаются и запоминаются трудные языковые явления, активизируется мыслительная работа студентов в тех случаях, когда создается атмосфера состязательности (один текст переводят два-три студента). Применение компьютерных технологий является важным современным средством повышения эффективности высшего образования.

**Список литературы:** 1. Гальперин И.Р. Текст как объект лингвистического исследования. – М.: Наука, 1981. – 139с. 2. Крюков А.Н. Межъязыковая коммуникация и проблема понимания //Перевод и коммуникация. – М.: ИЯЗ РАН, 1997. С. 73-83 3. Николаева Т.М. Лингвистика текста. Современное состояние и перспективы. //Новое в зарубежной лингвистике. Вып. 8.- М.: Прогресс, 1978. С. 5-39 4. Рецкер Я.И. Теория перевода и переводческая практика.- М.: «Международные отношения», 1974. 244с. 5. Тороп П.Х. Процесс перевода и некоторые методологические проблемы переводоведения. //Труды по знаковым системам XV (Ученые записки ТГУ): Типология культуры. Взаимное воздействие культур. – Тарту: ТГУ, 1982.с. 10-23

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

**Павлыш В.Н., Перетолчина Г.Б.** *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
**Тел.** *+38 (062) 301 03 91; E-mail: pavlyshvn@mail.ru*

***Abstract:*** *The mathematical model of coal seam hydrodynamic mastering, based on nonlinear particular derivative equation, is considered. The using of mathematical modeling provides more effective process of technological schemes projecting.*
***Key words:*** *process, technology, project, parameter, mathematical model.*

В настоящее время известно большое количество способов и технологических схем нагнетания жидкостей в угольные пласты, предназначенных для повышения безопасности подземных горных работ. Применение способов и схем предварительного гидравлического воздействия для борьбы с проявлениями опасных свойств угольных пластов является обязательным на шахтах и регламентировано нормативными документами [1].

Однако эффективность воздействия по уменьшению числа опасных явлений в шахтах и их интенсивности не всегда высока. Одной из причин этого является то, что на этапе проектирования предварительная оценка схем весьма затруднена ввиду сложности

процесса. Применение математического моделирования позволяет улучшить качество принимаемых проектных решений. С этой целью разрабатывается подсистема автоматизированного проектирования технологических схем гидравлической обработки угольных пластов [2].

Процесс проектирования включает ряд этапов, в том числе рассмотрение и оценка вариантов проектов, обоснование и верификация принимаемых проектных решений. По мере усложнения технологий, расширения числа возможных вариантов проектов возникает необходимость автоматизации процесса проектирования с применением методов математического моделирования и компьютерных технологий. В этой связи тема статьи является актуальной.

Многообразие горно-геологических и горнотехнических условий, фильтрационных и коллекторских характеристик угольных пластов, технологических схем нагнетания не позволяет разработать рекомендации для всех случаев применения гидродинамического воздействия. В то же время при выборе конкретной схемы или способа не всегда учитываются некоторые факторы, существенно влияющие на результат обработки, кроме того, зачастую неизвестна степень влияния того или иного фактора на эффективность воздействия. При составлении паспорта на ведение работ это приводит к необходимости либо принять типовые рекомендации без учета некоторых свойств пласта, тем самым в недостаточной степени использовать эффект гидравлического воздействия, либо проводить трудоемкие натурные исследования. С этой точки зрения помощь проектировщику может оказать система автоматизированного проектирования (САПР) гидравлического воздействия на угольный пласт, позволяющая выбрать схему, технологию и параметры нагнетания с учетом конкретных условий без проведения всего комплекса шахтных исследований.

Проектирование схем гидравлического воздействия на угольный пласт должно включать выбор способа, технологической схемы, оборудования и параметров нагнетания при максимально возможном учете всех влияющих факторов. Такой учет может быть сделан заблаговременно с использованием имитации процесса распространения жидкости в пласте на программной модели, реализуемой на ЭВМ. При этом проектирование будет включать три стадии: описательную, расчетную и моделирование. На первой стадии проектировщик составляет описание угольного пласта и вмещающих пород, технологической схемы горных работ на данном участке, определяет цель воздействия. На второй стадии производится выбор способа и технологической схемы нагнетания, с учетом анизотропии устанавливается распределение проницаемости, предварительно определяются параметры нагнетания. Эта стадия заканчивается составлением комплекта исходных данных для моделирования, которые могут быть описательными и числовыми. И наконец, последняя стадия ставит своей целью апробирование (прокрутку) выбранного способа, схемы и параметров на модели, исследование различных вариантов и, при необходимости, корректировку исходных данных и проведение повторных расчетов [3].

Моделирование гидравлического воздействия с использованием численных методов и ЭВМ представляет собой расчет изменения во времени поля давлений нагнетаемой жидкости в заданной области и определение на его основе распределения жидкости в массиве. Процесс напорного движения жидкости в трещиноватой среде, какой является угольный пласт, описывается дифференциальным уравнением фильтрации, конкретная область воздействия и технологическая схема задаются в виде исходных данных, начальных и граничных условий.

Алгоритмы и программы описанной ниже модели являются открытыми, т.е. могут быть дополнены практически любыми условиями и исходными данными.

*Математическая постановка задачи.*

Процесс фильтрации жидкости в угольном пласте описывается нелинейным дифференциальным уравнением параболического типа:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = div\left(\lambda(P) gradP\right),$$

где $\lambda(P) = \begin{cases} \dfrac{k}{\mu n_Э} P & \text{- на контуре потока жидкости;} \\ \chi = \dfrac{k}{\mu} E_y & \text{-} \end{cases}$

$\chi$ - коэффициент пьезопроводности;

$E_y$ - модуль упругости вещества угля.

В качестве начального условия принимается равенство нулю давления жидкости в каждой точке:

$$P(x, y, z, 0) = 0.$$

В зависимости от вида рассматриваемой области, схемы расположения скважин и режима их работы могут использоваться следующие типы граничных условий.

На нагнетательной скважине:

а) задано давление нагнетания

$$P(\Gamma_c, t) = P_H(t),$$

где $\Gamma_c$ - координаты скважины;

в частном случае $P_H(t) = const.$

б) задан темп нагнетания

$$q(t) = \frac{k}{\mu} S_c \frac{\partial P(\Gamma_c, t)}{\partial n}$$

где $S_c$ - площадь поверхности фильтрующей части скважины, в частном случае $q(t) = const$;

в) задано соотношение между давлением и темпом нагнетания (нагрузочная характеристика насосов с пневмодвигателем):

$$P(\Gamma_c, t) = f(q(t)),$$

где - $f(x)$ функция, определяющая конкретную характеристику.

На отточной скважине или оконтуривающих выработках

$$P(\Gamma_1, t) = 0,$$

где $\Gamma_1$ - координаты отточной скважины или выработки.

На контакте с непроницаемыми боковыми породами

$$\frac{\partial P(\Gamma_2, t)}{\partial n} = 0,$$

где $\Gamma_2$ - координаты поверхности контакта.

Если линия скважины является границей расчетной области, то на всем ее протяжении, за исключением фильтрующей части, также ставится условие непроницаемости.

На остальных границах задается условие постоянства потока:

$$\frac{\partial P(\Gamma,t)}{\partial n} = const.$$

Для решения краевой задачи принят конечно-разностный метод, основы которого для нелинейных параболических уравнений с разрывными коэффициентами разработаны А.А. Самарским [4].

Общий алгоритм решения является универсальным и даёт возможность моделировать все применяемые схемы. Основная программа составлена для двумерной постановки задачи, причем рассматриваемая область может лежать как в плоскости пласта (рис.1а), так и в перпендикулярной ей (рис.1, б).

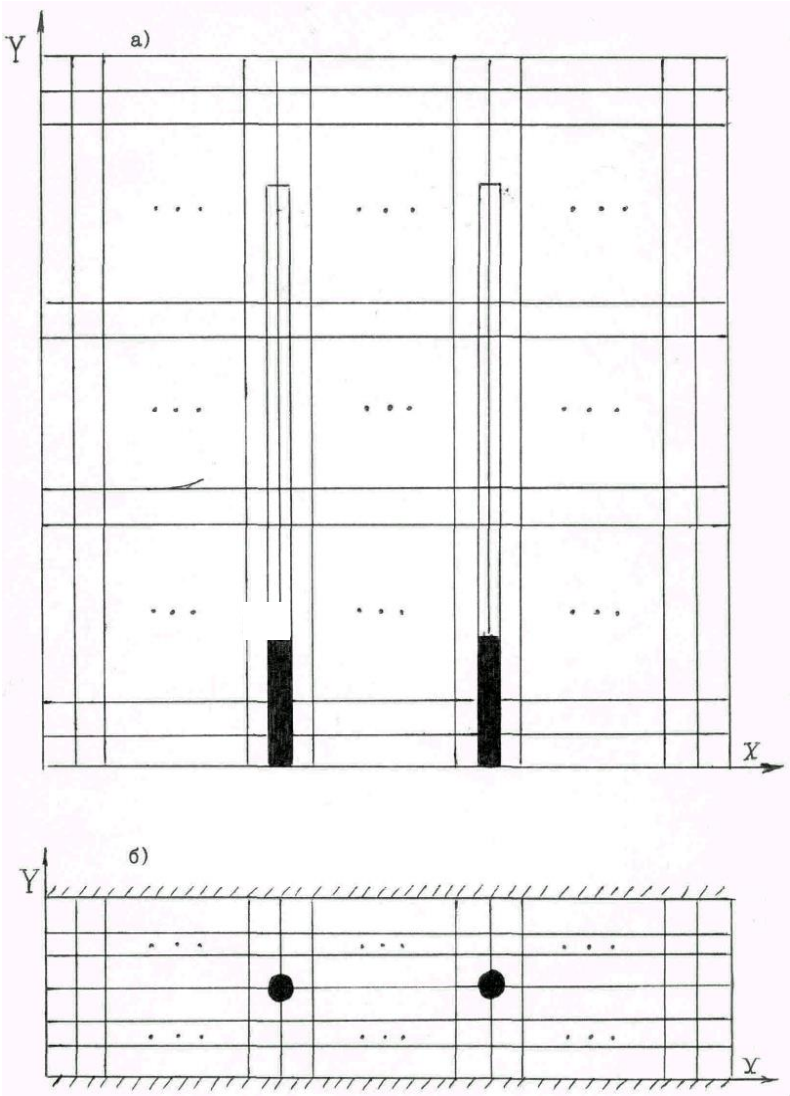



Рис. 1. Расположение сеточной области: а - параллельно напластованию; б - перпендикулярно напластованию.

Укрупненная блок-схема программы представлена на рис. 2.

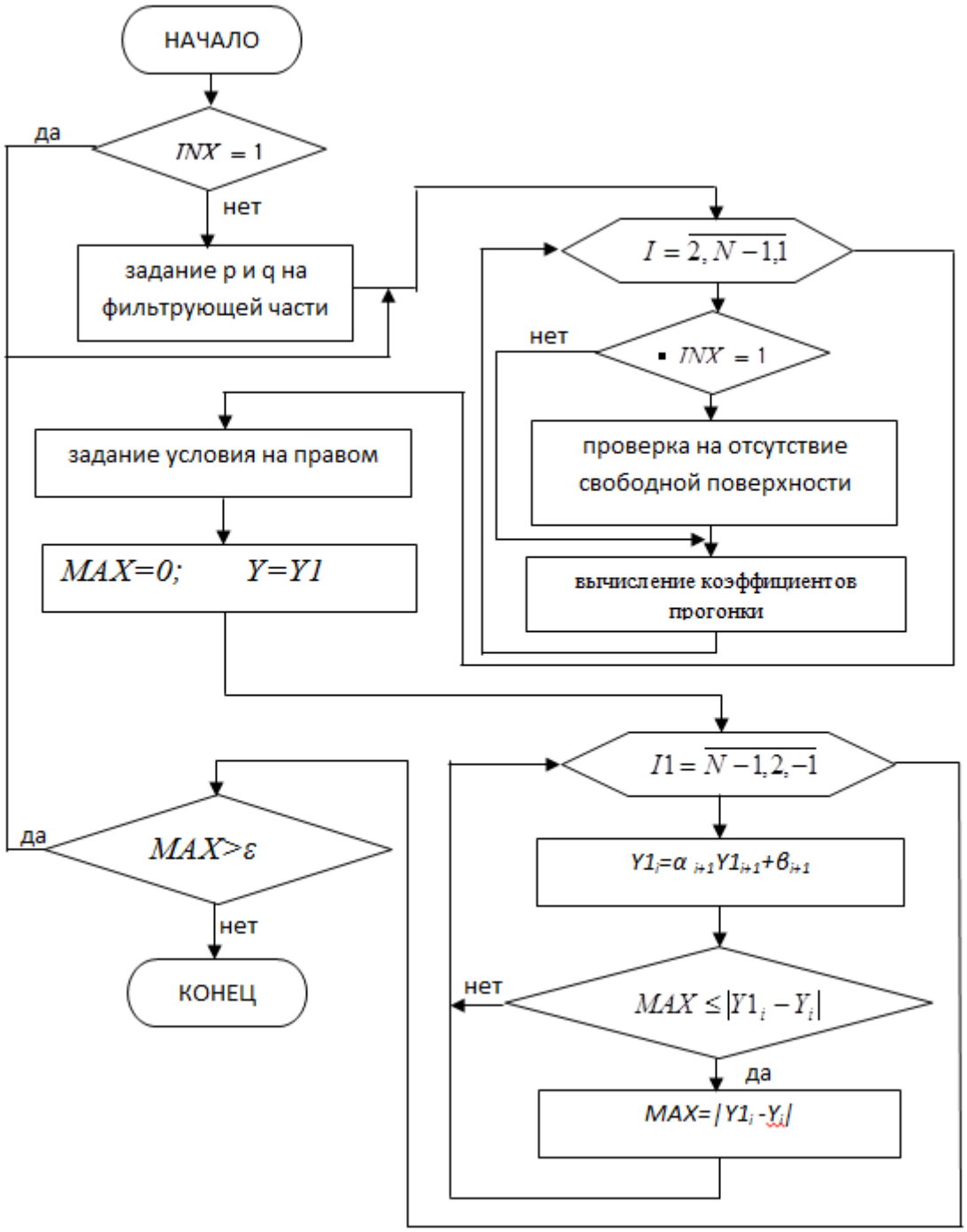



Рис. 2. Укрупнённая блок-схема программы решения краевой задачи

Различные варианты схем, режимов и положения области решения задаются набором исходных данных и заменой некоторых операторов программы.

**Список литературы:** 1. ДНАОП 1.1.30-1.XX-04. Безопасное ведение горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям (1-я редакция). – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 268с. 2. Павлыш В.Н. Развитие теории и совершенствование технологии процессов воздействия на угольные пласты:

Монография. - Донецк: РВА ДонНТУ, 2005. - 347с. 3. Москаленко Э.М. Павлыш В.Н., Штерн Ю.М. Рекомендации по автоматизации проектирования гидродинамического воздействия на угольный пласт: Учеб. пособие. - М., 1981. - 61с. 4. Самарский А.А. Теория разностных схем. - М.: Наука, 1977. - 656с.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕРАВНОВЕСНЫХ СТРУКТУР В ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ

**Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Асташинский В.А. Оковитый В.В.**
*(БНТУ, г. Минск, Беларусь)*
*Тел./Факс: (017)293-92-23; E-mail: scvdmed@bntu.by*

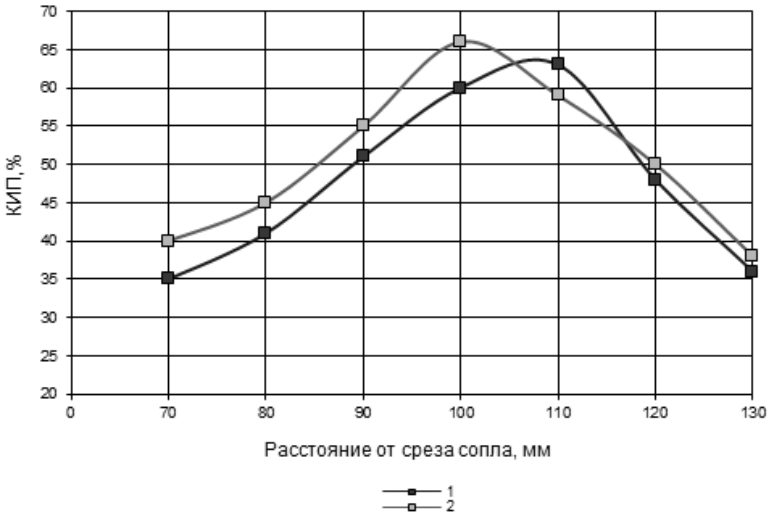
***Abstract:*** *The paper studied the influence of temperature in the base-coat system on the formation of elements of nonequilibrium structures of composite plasma coatings. Production of non-equilibrium state of the structure is possible with plasma spraying coatings with specific process parameters, ensuring ultra-fast cooling of the melt particles sprayed material. It should be noted that the possibilities and processes for producing such structures in the plasma sprayed coatings are not well understood. This applies primarily to the coatings from composite powders based on ceramics.*
***Key words:****temperature mode, the system cover-base, non-equilibrium structure, process parameters, plasma coating*

**Введение.** Получение неравновесных состояний структур возможно при плазменном напылении покрытий с определенными технологическими параметрами, обеспечивающими сверхбыстрое охлаждение расплава частиц напыляемого материала. Необходимо отметить, что возможности и процессы получения таких структур при плазменном напылении покрытий изучены недостаточно. Это относится прежде всего к покрытиям из композиционных порошков на основе керамики [1-8].

Учитывая актуальность проблемы, целью представленных исследований является изучение процессов и разработка технологических основ формирования неравновесных структур плазменно - напыленных композиционных частиц на основе керамики. Для достижения поставленной цели предусмотрено исследовать влияние температурного режима напыления на формирование таких структур плазменных покрытий из керамических порошков. Решение указанных задач нашло отражение в представленном статье. При этом в качестве объекта исследований служили плазменные покрытия $Al_2O_3$-$Cr_2O_3$-$TiO_2$ –твердая смазка, перспективные для защиты деталей от изнашивания в неблагоприятных условиях трения при граничной смазке, повышенных контактных нагрузках и температурах.

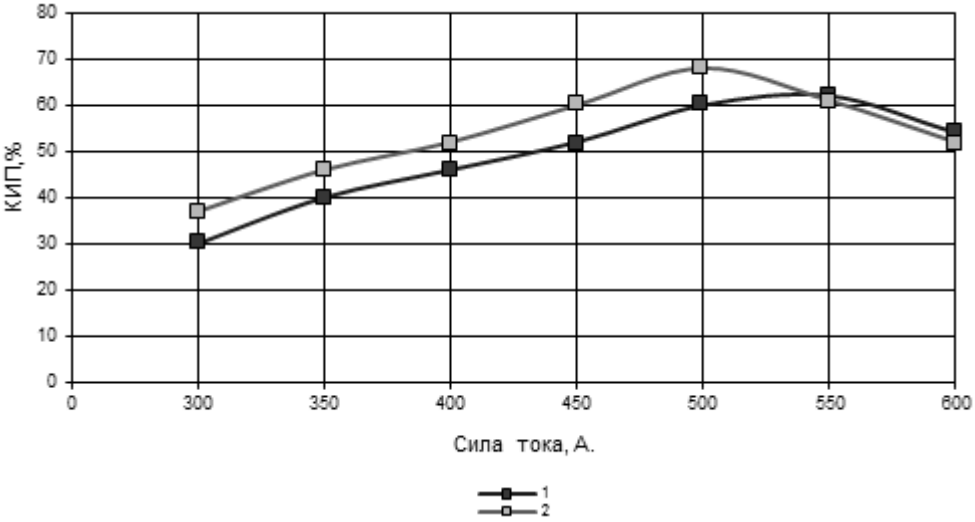
При обосновании технологических приемов проанализированы возможности увеличения количества соударяющихся с подложкой композиционных частиц порошка в жидкофазном состоянии, т.е.увеличение мощности дуги плазмотрона. Это можно достичь за счет оптимизации режимов напыления или применением специальной насадки плазмотрона конструкции БНТУ [9]. В процессе плазменного напыления действует большое число факторов, оказывающих влияние на свойства получаемых покрытий. Важнейшими из них при прочих равных условиях являются: расход плазмообразующего и транспортирующего газов, расход распыляемого порошка, дисперсность порошка, ток электрической дуги (подводимая мощность), дистанция напыления.

**Оптимизация параметров напыления**. Оптимизация параметров напыления проводилась на основании получения максимального коэффициента использования материала [10-12]. На оптимальных режимах для $Al_2O_3$ - $Cr_2O$ $TiO_2$+15% ($MoS_2$ - Ni) (расход плазмообразующего газа водорода -8 л/мин, расход плазмообразующего газа аргона -40 л/мин ток- 450А, дистанция напыления-100 мм, фракция порошка 40-63 мкм, расход порошка 2,5 кг/час, относительная скорость перемещения подложки $V_п$-300 мм /с ) получены покрытия с КИМ-66%.




1 - с фракцией 63...100 мкм ; 2 - с фракцией 40...63 мкм;
(I=450 А, $R_{Ar}$=50 л/мин , $R_{H2}$=8 л/мин, $R_{пор.}$=2,5 кг/час)

Рис. 1. Зависимость КИП,% от дистанции напыления L, мм для порошков $Al_2O_3$ - $Cr_2O$ $TiO_2$+15% ($MoS_2$ - Ni)




1- с фракцией с фракцией 63...100 мкм; 2- с фракцией 40...63 мкм;
(L=100 мм; $R_{Ar}$=50 л/мин , $R_{H2}$=8 л/мин $R_{пор.}$=2,5 кг/час)

Рис. 2. Зависимость КИП,% от силы тока электрической дуги I, для порошков $Al_2O_3$-25%$TiO_2$-25%$Cr_2O_3$-15%$MoS_2$

Согласно известным режимам напыления композиций $Al_2O_3$ - $Cr_2O$ $TiO_2$+15% ($MoS_2$ - Ni), оптимизированным по коэффициенту использования распыляемого порошка, мощность дуги плазмотрона составляет 37,5 кВт [13]. Для аморфизации структуры покрытий предусмотрено повышение мощности от 37,5 до 48 кВт. Верхний предел обусловлен, как показали предварительные эксперименты, чрезмерным перегревом и последующим разбрызгиванием соударяющихся с подложкой частиц.

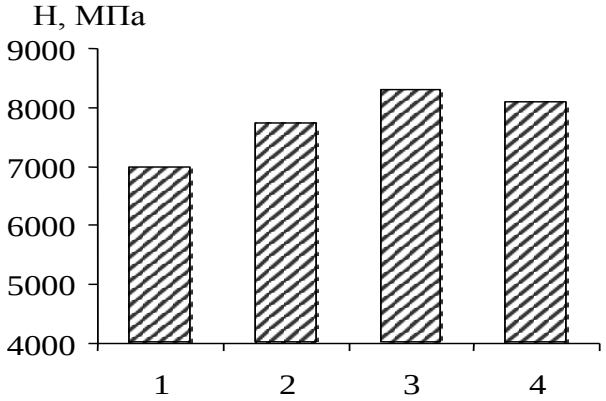
Общий недостаток плазмотронов - интенсивное турбулентное перемешивание потока плазмы с окружающим холодным газом, что приводит к уменьшению скорости и снижению температуры частиц напыляемого материала. В результате возрастает вероятность появления недогретых частиц в зоне формирования покрытия. А также протекание неконтролируемых химических реакций с воздухом. Плазмотрон с насадкой позволяет улучшить защиту плазменного потока от воздействия атмосферы. Внутрь насадки вдоль ее стенок через систему отверстий в концевой части в насадку подается нагретый инертный газ (Ar). Воздух вокруг плазменной струи вытесняется, происходит дополнительное сжатие плазмы, в результате чего в покрытии снижается содержание кислорода и повышается эффективность осаждения материала.

Перечисленные преимущества плазмотрона с насадкой способствуют возрастанию эффективности нагрева и увеличению количества соударяющихся с подложкой композиционных частиц порошка в жидкофазном состоянии. Одновременно снижается нагрев подложки, что ускоряет теплоотвод и охлаждение на ней жидкофазных частиц. Все это относится к положительным факторам аморфизации формируемого покрытия. Вместе с тем существенным недостатком насадки является трудоемкость ее изготовления. В источнике [14] подробно описан плазмотрон с насадкой ,разработанный в БНТУ(Минск).

**Регулирования температурного режима**. Что касается регулирования температурного режима путем изменения тепловой ситуации на подложке, то оно предусмотрено за счет варьирования толщины наносимого композиционного покрытия и дополнительного охлаждения подложки струей сжатого воздуха. В первом случае скорость охлаждения частиц покрытия на подложке регулируется объемом порового пространства наносимой композиции, затрудняющего теплоотвод от жидкофазных частиц вглубь покрытия. Во втором случае наряду со струей сжатого воздуха возможно дополнительное охлаждение подложки за счет ее контакта с металлом, характеризующимся высокой теплопроводностью. Практический опыт такого охлаждения известен в сварочном производстве. Вместе с тем его реализация как при сварке-наплавке, так и при плазменном напылении затрудняется решением проблем, обусловленных созданием скользящего контакта при нанесении покрытий на цилиндрических поверхностях широкой номенклатуры деталей, обычно вращающихся в процессе нанесения. При варьировании температурного режима критерием оценки степени неравновесности (аморфизации) покрытий служит возрастание микротвердости .Режимы плазменного напыления композиционных покрытий с варьированием температурного режима в системе "напыленные частицы - подложка" приведены на рисунках 1 и 2. Согласно изменениям тока мощность дуги плазмотрона изменяется от 22,5 до 45 кВт плазмотрона .Результаты исследований, полученные по разработанной методике, приведены на рисунке 3. Приведенные на рисунке 3 экспериментальные данные представляют собой усредненные значения микротвердости. Согласно рисунку 3 при повышении мощности дуги плазмотрона до 37,5 кВт происходит практически монотонное увеличение микротвердости напыленных покрытий. Это объясняется более интенсивным прогревом распыляемых частиц в

осевой зоне плазменной струи. Возрастает количество соударяющихся с подложкой композиционных частиц порошка в жидкофазном состоянии. Создаются благоприятные начальные условия для сверхбыстрого охлаждения жидкофазных частиц на подложке с аморфизацией структуры формируемого покрытия и увеличением его микротвердости. Вместе с тем дальнейшее повышение мощности дуги плазмотрона до 45 кВт вызывает снижение степени аморфизации и уровня микротвердости покрытия, что, очевидно, связано с возрастающим перегревом и эффектом разбрызгивания соударяющихся с подложкой частиц. По мнению специалистов соударяющиеся с подложкой расплавленные частицы деформируются и затвердевают в виде дисков толщиной до 15 мкм при скоростях охлаждения, обеспечивающих аморфизацию (значительная деформация при существенном уменьшении толщины и увеличении площади растекания расплющенной частицы активизирует ее теплообмен с подложкой). В случае разбрызгивания вторичные частицы с пониженной температурой и приближенной формой тел вращения практически не деформируются и затвердевают на подложке при скоростях охлаждения, которые на два порядка меньше, чем в предыдущем случае. Это вызывает снижение степени аморфизации и уровня микротвердости покрытия. Наряду со снижением степени аморфизации при разбрызгивании возможны потери композиционного материала с нежелательным уменьшением коэффициента использования распыляемого порошка. Таким образом, для увеличения количества неравновесных (аморфизированных) элементов структуры покрытий $Al_2O_3$-25%$TiO_2$-25%$Cr_2O_3$-15% $MoS_2$. оптимальное значение мощности дуги плазмотрона составляет 37,5 кВт.

С учетом вышеизложенных результатов исследований нанесены плазменные покрытия $Al_2O_3$-25%$TiO_2$-25%$Cr_2O_3$-15% $MoS_2$, напыленные по оптимизированной технологии, способствующей аморфизации структуры нанесенных композиций.




1, 2, 3, 4 – мощности дуги плазмотрона 22,5 кВт, 30, 37,5 и 45 кВт;

Рис. 3. Средние значения микротвердости напыленных покрытий $Al_2O_3$-25%$TiO_2$-25%$Cr_2O_3$-15% $MoS_2$ в зависимости от нагрева частиц в плазменном потоке

**Список литературы: 1.** Стабильные и метастабильные равновесия в металлических системах / Под ред. М.Е. Дриц. М., 1995.**2.** Достанко А.П., Кундас С.П., Бордусов С.В., Босяков М.Н.,Свадковский И.В., Ильющенко А.Ф., Ануфриев Л.П., Lugscheider E. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники. Т. 1. Минск, 2000. **3.** Аморфные металлические материалы / Под ред. А.И. Манохина. М.,

1994. **4.** Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И., Манойло Е.Д. Теория и практика нанесения защитных покрытий. Минск, 1998. **5.** Ильющенко, А.Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б.Форманек.- Минск: Беспринт, 2002.- 480 с.**6.** Ильющенко, А.Ф. Формирование износостойких плазменных покрытий на основе композиционных самосмазывающихся материалов/А.Ф.Ильющенко, В.А. Оковитый, А.И.Шевцов - Минск: Беспринт, 2005.- 253 с. **7.** Витязь, П.А .Основы нанесения износостойких, коррозионностойких и теплозащитных покрытий / П.А. Витязь, А.Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов - Минск: Белорус. наука , 2006.- С.205-243, 280-300, 314-351. **8.** Ильющенко, А.Ф. Плазменные покрытия на основе керамических материалов/ А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, А.И. Шевцов. - Минск: Беспринт, 2006.- 316 с. **9.** Плазмотрон для нанесения покрытия: пат. на полезную модель. 10210 Респ. Беларусь, МПК Н 05Н 1/00 / Оковитый В.В. -№ и 20131083; заявл. 18.12.2013, опубл.30.08.2014// Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. - № 4. **10 .**Оковитый, В.А. / Плазменные износостойкие покрытия с включением твердой смазки / Оковитый В.А // Сварочное производство-М., 2002. - №6. -С.41-43. **11.** Okovity,V. Plasma wear-resistant coatings with inclusions of a solid lubricant/ Okovity V // J. Welding International.- 2003.-vol.16, № 11.- P. 918-920.

## РАЗРАБОТКА ЧЕРНОВОЙ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА КРУПНОГО МОДУЛЯ

**Стешков А.Е., Парфенов В.Э., Парфенова Н.Н., Хандожко А.В., Киричек А.В.**
(*ФГБОУ ВО «БГТУ», г. Брянск, Россия (4832) 58-82-89, chandosh@yandex.ru*)

***Abstract:*** *the article deals with the design of rough worm gear cutters for the processing of large module gears.*
***Key words:*** *design, worm gear cutters, large module gear wheel machining*

Обработка зубчатых профилей является сложной технологической задачей. Одним из наиболее распространенных и универсальных инструментов для обработки зубчатых венцов являются червячные фрезы. Несмотря на всю изученность проблем в области зубообработки остаются вопросы конструирования и профилирования черновых червячных фрез для обработки зубьев зубчатых колес с крупным модулем и припуском под шлифование. Фрезерованные колеса должны иметь припуск под шлифование. При этом для улучшения условий шлифования припуск должен быть неравномерным: больше у вершины, меньше у ножки зуба. Поэтому для обработки колес с припуском под шлифовку нужны специальные фрезы. Они отличаются не только исполнительными размерами, но и конструктивными элементами.

Для обеспечения нужного распределения припуска обычно делают зуборезные червячные фрезы с протуберанцем. Протуберанец обеспечивает небольшой подрез ножки зуба. При этом достигается желательный эффект - припуск у ножки зуба становится минимальным.

Существуют различные варианты протуберанца, но обычно это участок зуба вблизи вершины, на котором профильный угол меньше, чем на основной части (рис. 1). Протуберанец усложняет процесс обработки профиля, которая требует проведения многократного затылования различных участков.

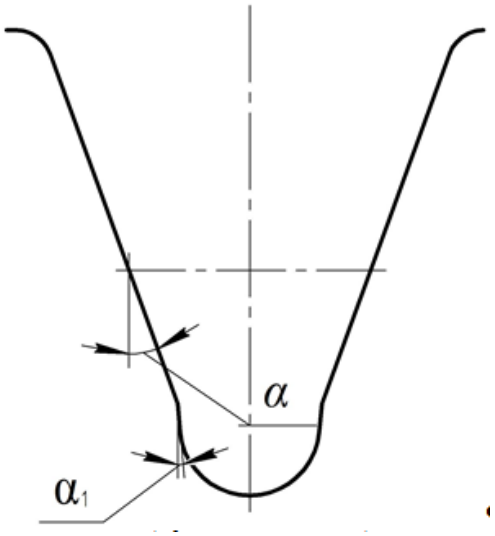



Рис. 1. Зуб фрезы с протуберанцем

Проблема обостряется при проектировании и изготовлении инструмента для крупномодульных корригированных зубчатых передач [1], когда большой объем шлифовально-затыловочных работ приводит к нарушению геометрии, засаливанию круга.

Кроме того при фрезеровании профиля зуба такого модуля возникают неровности, связанные с ограниченным числом зубьев, формирующих эвольвенту. Эти неровности осложняют проведение шлифовальных операций.

Еще одной проблемой являются большие нагрузки на зуб инструмента, что приводит к тому, стойкости фрезы не хватает даже для обработки одного зубчатого колеса.

В связи с этим предпринимаются различные меры конструктивного и технологического характера для повышения режущей способности фрез и их технологичности. Выпускаются сборные фрезы со сменными рейками, фрезы с твердосплавными пластинами. Еще одно из направления – использование сложных схем срезания припуска, в частности применяя конструкции с двойным зубом. В данной работе рассмотрен один из возможных вариантов решения данной задачи на примере проектирования черновой червячной фрезы для обработки тяговой шестерни тепловозной колесной пары $m$=10 мм с припуском под шлифование 0,25 мм на сторону.

С учетом того, что данная обработка является предварительной, предлагается использовать фрезу, спроектированную на базе конволютного червяка [2, 3].

На первом этапе необходимо определить профиль инструментальной рейки с учетом величины коррекции. Исходными данными для этого является требуемый профиль зуба (рис. 2) и основные параметры зубчатого колеса (модуль, число зубьев).

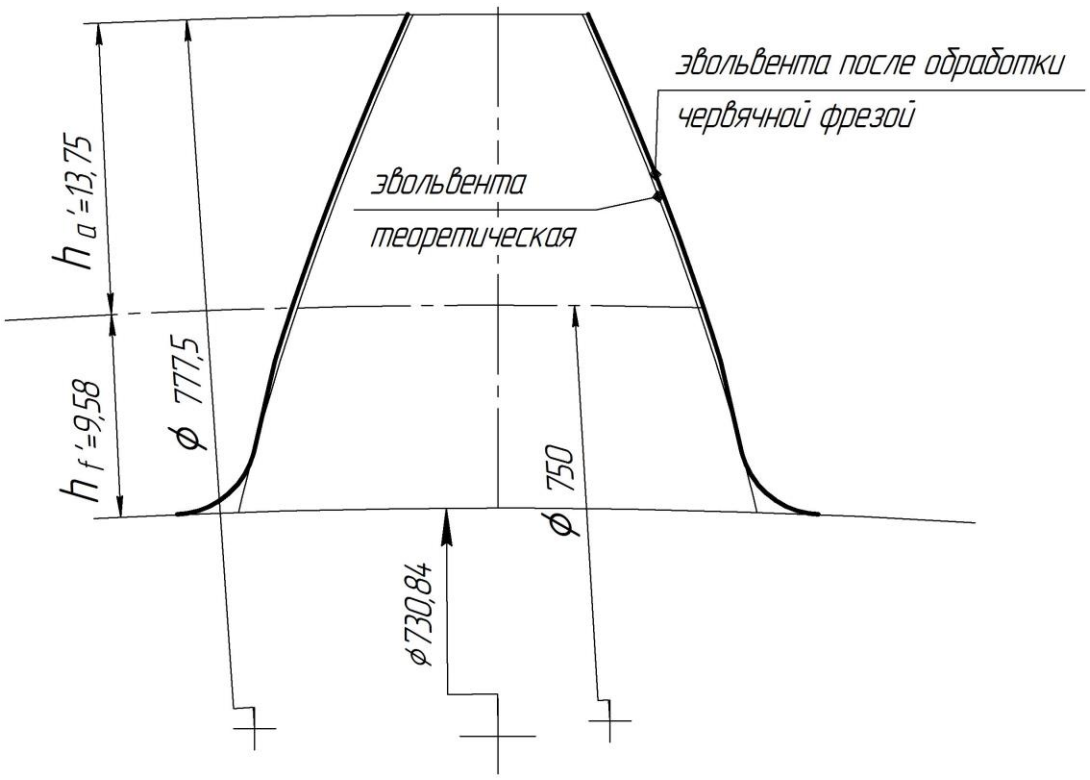
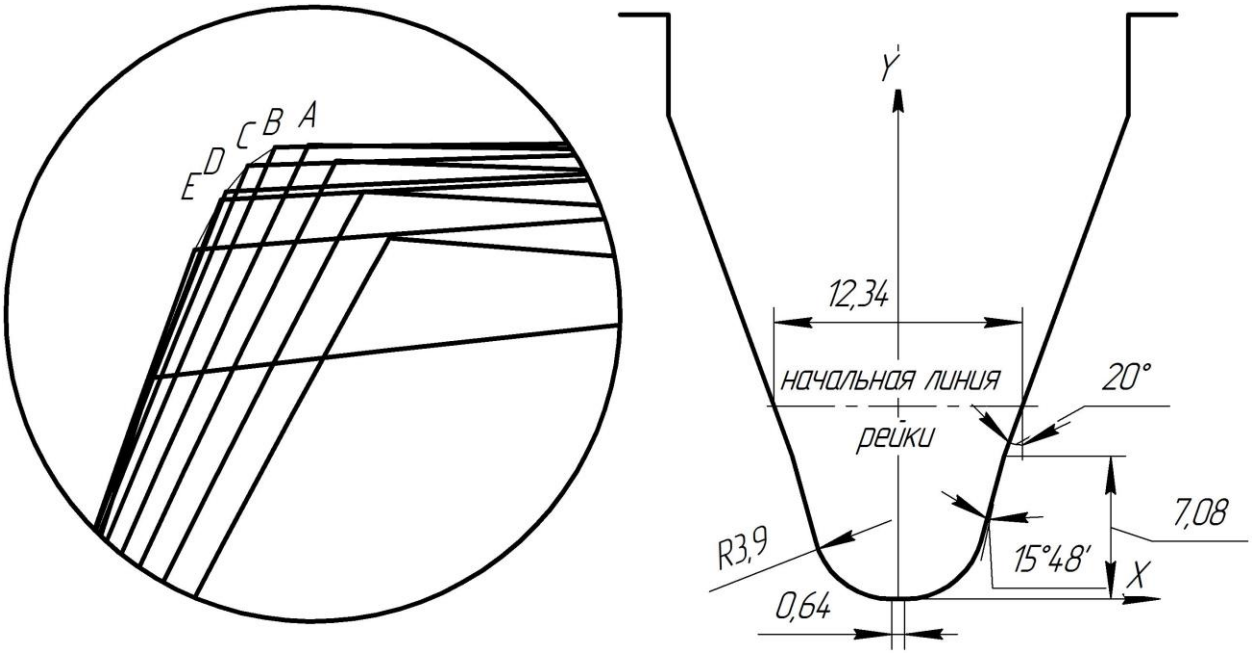



Рис. 2. Профиль зуба обрабатываемого колеса

Профиль инструментальной рейки был определен графоаналитическим методом с использованием пакета *KOMPAS-3D*. Определение профиля происходило следующим образом. Для построенного профиля зуба было выполнено моделирование движения обката его «заготовкой» инструментальной рейки. Рейка на первом этапе представляет из себя массив прямых. Зубу колеса и «заготовке» рейки были приданы движения, имитирующие качение без проскальзывания начальной окружности и прямой. Обкат выполнялся в цикле с управляемой дискретностью (1…10°). В каждом положении выполнялось копирование профиля зуба. В результате получилось семейство положений профиля зуба колеса, огибающее соответствующий профиль инструментальной рейки.

Соединив точки А, В, С и т.д. ломанной получим огибающую к зубу колеса, т.е. теоретический профиль инструментальной рейки (рис. 3а).

В результате обката протуберанец на вершине рейки получается криволинейным, что делает фрезу нетехнологичной. Однако, с учетом назначения фрезы – черновая обработка, допустима замена этой кривой прямой, с углом меньшим 20°. Такое упрощение создает погрешность, поэтому необходимо убедиться, что нарезаемый зуб будет соответствовать заданным требованиям. Сделать это можно построениями аналогичным, использованным при решении прямой задачи – профиль рейки имитирует обкат зуба колеса. Полученная огибающая положений рейки является реальным профилем зуба с учетом упрощений профиля рейки. Если полученные погрешности меньше допустимых, такая замена кривой прямолинейным участком считается корректной.




а) б)

Рис. 3. Определение профиля инструментальной рейки графоаналитическим методом

Вычислительный эксперимент показал, что профильный угол на протуберанце может быть значительно увеличен. В базовом заводском варианте этот угол составляет 5°, что не позволяло получить допустимый задний угол в нормальном сечении при радиальном затыловании. Это приводило к большим силам резания и быстрому изнашиванию зубьев фрезы. Расчетные значения угла протуберанца составляют почти 16° (рис. 3б), что исключает этот недостаток.

Следующий шаг заключается в переносе точного профиля эвольвентного червяка на приближенный и более технологичный конволютный. Конволютный червяк имеет прямолинейную образующую в его нормальном сечении, что позволяет сохранить прямолинейность режущей кромки фрезы при переточках и облегчает затылование фрезы резцом. Фактический профиль конволютного червяка определяется по известным методикам [4].

Вычислительный эксперимент, в котором варьировалась форма зуба рейки, позволил найти оптимальный профиль зуба червяка. В ходе этого эксперимента определялась будущая погрешность профиля, которая сравнивалась с требованиями чертежа. В итоге была подобрана форма, которая давала теоретическую погрешность 0,006 мм.

Полученный профиль фрезы не технологичен. Излом профиля, требует для затылования сложный фасонный инструмент, который крайне трудно переточить или заправить.

Для решения этой проблемы предлагается червячная фреза с двойным зубом. Профиль зуба инструментальной рейки представлен на рисунке 4.

Фреза вместо одного зуба с ломаным профилем имеет две группы зубьев с одинаковыми профильными углами – 20° и 15°48’ и прямолинейным профилем.

Данное решение обладает рядом как конструкторских, так и технологических преимуществ.

Отказ от двойного шлифования с одной стороны несколько снизит качество обработки. Однако, для чернового фрезерования это снижение не столь существенно, по сравнению со значительным (почти в 2 раза) увеличением числа режущих кромок, участвующих в формировании эвольвенты. Гранность ее, особенно на вершинах снижается, что улучшает условия шлифования. Важным преимуществом является деление припуска - первым зубом обрабатывают боковую поверхность зубьев, а вторым - переходный участок и впадину.

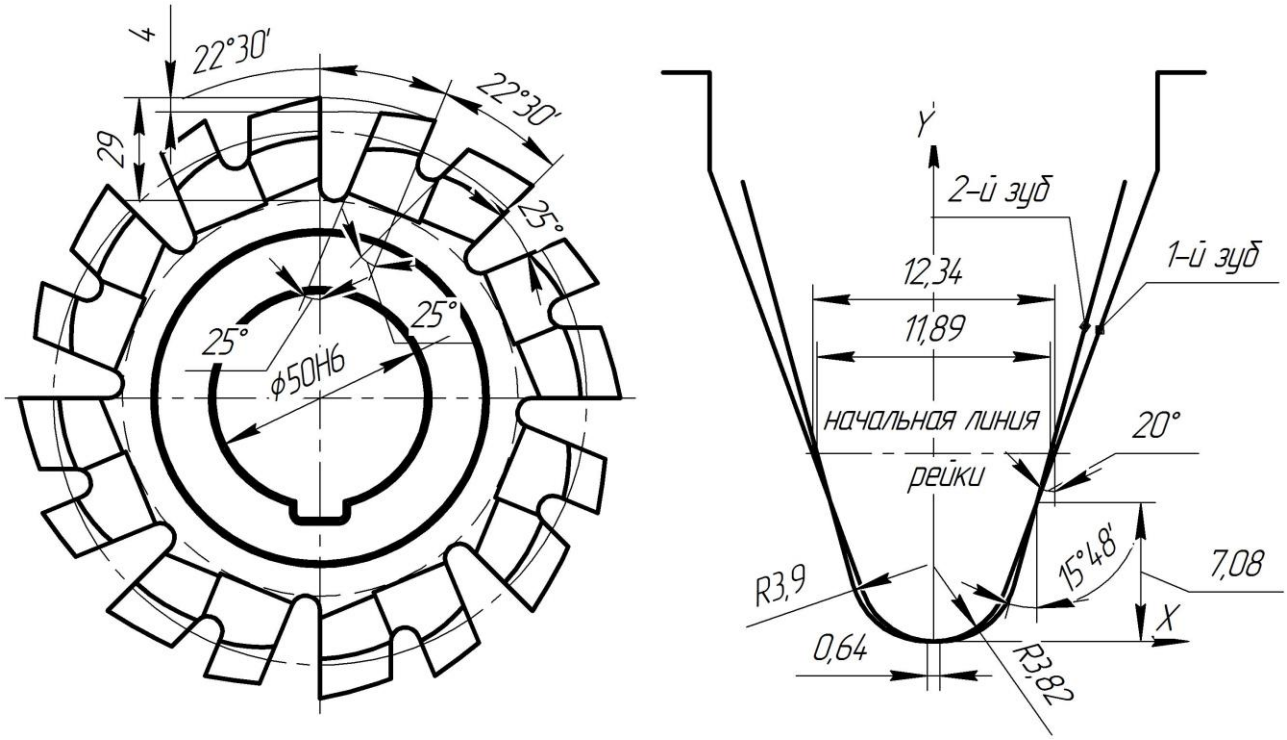



Рис. 6. Конструкция черновой червячной фрезы с двойным зубом

С точки зрения технологии конструкция является очень удачной. Некоторым недостатком является поочередное затылование сначала зубьев №1, а потом №2. Но при этом затылование выполняется простыми по форме резцами, которые несложно переточить, а режущие свойства их из-за отсутствия излома намного лучше.

Полученный профиль зуба колеса после черновой червячной фрезы не оставляет подреза после шлифовки. Экономический анализ показал, что конструкция требует минимальных затрат в сравнении с другими вариантами, что актуально в условиях мелкосерийного производства и может быть рекомендована для практического использования.

**Список литературы: 1.** Материалы 70-й студенческой научной конференции:– Брянск: БГТУ, 2015. – 1136 с. **2.** Стешков А.Е. Проектирование специальных сложных режущих инструментов: Учеб. пособие /А.Е. Стешков. − Брянск: БГТУ, 2002. - 116 с. **3.** Стешков А.Е. Теория проектирования и расчеты инструментов: Учеб. пособие – Брянск: БГТУ, 1997. – 256 с. **4.** Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов: Учеб. Пособие / И.И. Семенченко – Москва: Машгиз, 1963 – 952с.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

**Переверзев П.П., Акинцева А.В., Алсигар М.К.** *(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия)*
*Email: dtnppp@yandex.ru, akintseva_av@mail.ru, masar8937@gmail.com*

**Abstract.** *To improve the quality, reliability and preparation of control programs for CNC machines, we proposed to use a digital twin (DT), which using simulation to improve design and virtual test of a given grinding operation cycle on the possibility of appearance of the appearance of of substandard manufacturing processes and products during production with some combination of technological factors. a virtual digital twin (DT) is carried out by modeling the removal of allowance which was formed in the course of grinding process throughout the cycle parts batch processing at various combinations of the variable technological processes and factors, understand that variation simply is the difference removal of allowance. For the purpose of optimal grinding cycle, using estimation of an optimal cycle path for radial in-feed change, a dynamic programming method (DPM) is proposed. The methodology of application of synthesis of a digital twin (DT) technology and a dynamic programming method DPM technology at the stage of preparation of control programs for numerical control machines (CNC), described in the article, allows to guarantee the maximal grinding process efficiency, also in- process quality assurance of the grinding process cycle while keeping the predefined quality of a treated surface at variable treatment conditions that may change within specified limits.*

Для повышения качества и надежности управляющих программ для станков с ЧПУ предлагается использовать цифровой двойник (ЦД), который выполняет виртуальное тестирование заданного цикла шлифования на возможность появление брака при каком-то сочетании переменных технологических факторов. Виртуальное тестирование ЦД ведется путем моделирования процесса съема припуска при шлифовании в течение всего цикла обработки партии деталей при различных сочетаниях переменных технологических факторов, изменяющихся в заданных диапазонах их варьирования. После каждого тестирования, по результатам виртуального моделирования, делается прогноз о точности обработки и качестве обработанной поверхности в конце цикла шлифования. Если по результатам моделирования получается брак (например, по точности обработки), то фиксируются значения переменных факторов, при которых будет брак на операции. В отчете ЦД по результатам испытаний указывается, при каких значениях переменных технологических факторов возможно появление брака и какого вида. Если какой-то показатель качества будет вне заданных допустимых пределов, то цикл подачи должен корректироваться с учетом выявленных условий возникновения брака.

Для проектирования оптимального цикла шлифования, путем расчета оптимальной траектории цикла изменения радиальной подачи, предложен метод динамического программирования (МДП), используемый при решении классической транспортной задачи, в которой задана сеть дорог с промежуточными станциями, на которой надо найти оптимальную траекторию передвижения транспорта. Предложенная в статье методология применения синтеза технологий ЦД и МДП на этапе подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет гарантировать максимальную производительность операции шлифования при обеспечении заданного

качества обрабатываемой поверхности при переменных условиях обработки, варьирующихся в заданных пределах.

Вопросам теории проектирования оптимальных циклов обработки для станков с ЧПУ уделяется недостаточное внимание. Подавляющее число исследователей изучают частные стороны проблемы проектирования оптимальных управляющих траекторий [1-3]. Наибольшее внимание уделено моделированию силы резания и моделированию технологических ограничений (по точности, шероховатости, дефектному слою, износу и стойкости инструмента), влияющих на производительность операций. Итогом таких исследований являются частные рекомендации по режимам резания для лимитированного числа ограничений в узком диапазоне их варьирования. Очень мало представлено работ, направленных на повышение качества проектирования оптимальных циклов шлифования с точки зрения их устойчивости к переменным условиям обработки, существующих в реальных круглошлифовальных операциях, выполняемых на станках с ЧПУ.

Таким образом, несмотря на огромную теоретическую и практическую базу в области проектирования оптимальных циклов круглого шлифования, до сих пор не решена задача проектирования оптимальных циклов шлифования, которые бы обеспечивали максимальную производительность операции и стабильность выполнения требований чертежа по точности и качеству при любых самых неблагоприятных сочетаниях переменных условий шлифования.

Обработка партии деталей на операции круглого шлифования, выполняемой на станке с ЧПУ ведется с применением заданного в управляющей программе автоматического цикла изменения радиальной подачи. Параметры цикла шлифования постоянны при любых переменных условиях обработки партии деталей, к которым относятся затупление зерен круга, колебание припуска, колебание исходного радиального биения заготовки, размерный износ шлифовального круга и снижение скорости резания, переменная жесткость технологической системы в разных сечениях обрабатываемой поверхности, колебание параметров характеристика шлифовального круга, погрешность срабатывания прибора активного контроля, стойкость круга между правками. Каждый переменный фактор изменяется в определенном диапазоне варьирования, который можно определить тремя значениями: минимальное, среднее и максимальное. В процессе обработки партии деталей возможно любое сочетание значений переменных факторов. Количество сочетаний переменных факторов даже при трех значениях каждого, измеряется сотнями. При этом цикл шлифования остается неизменным при любом совокупном сочетании переменных факторов, что обуславливает колебание точности обработки и других параметров качества шлифуемой поверхности.

В тоже время, при проектировании оптимального цикла шлифования проверка хода по технологическим ограничениям ведется при детерминированных условиях шлифования без учета изменения условий шлифования при разных значениях переменных технологических факторов. Поскольку количество различных сочетаний переменных факторов очень большое, то это обстоятельство делает невозможным делать проверку ограничений целевой функции по всему массиву сочетаний переменных факторов из-за недопустимо большого увеличения времени на оптимизацию, которое понадобится для проектирования оптимального цикла шлифования, а также чрезмерного усложнения системы оптимизации цикла.

Поэтому оптимальный цикл шлифования, который спроектирован на основе усредненных детерминированных условий шлифования, обладает относительно низкой

надежностью и устойчивостью к воздействию переменных технологических факторов на точность обработки и обеспечение других параметров качества. Следовательно, приведенная выше методика проектирования оптимального цикла шлифования не учитывает непредвиденных ситуаций, связанных с нестабильными условиями шлифования (затуплением зерен круга, колебанием припуска или исходного радиального биения заготовки и др.), что приводит к появлению брака на операции.

Для проектирования оптимального цикла шлифования, устойчивого к совокупному воздействию различных переменных технологических факторов, необходим синтез системы диагностики цикла шлифования на устойчивость и системы проектирования оптимального цикла.

При разработке системы диагностики на устойчивость цикла шлифования к совокупному воздействию постоянно меняющихся переменных факторов, возникающих при обработке партии деталей, применена концепция «цифрового двойника» (ЦД). В рамках этой концепции на основании виртуального тестирования цикла шлифования разработана системная модель ЦД, которая предназначена для

– предотвращения брака и причин его возникновения на операции круглого шлифования;

– повышения надежности и устойчивости цикла шлифования к совокупному воздействию переменных факторов;

– обеспечения полной автоматизации проектирования управляющей программы на этапе расчета и программирования режимов резания;

– прогнозирования колебания точности, шероховатости, твердости HRC обрабатываемой поверхности после обработки партии деталей;

– фиксации массива переменных факторов, при которых возникают условий получения каждого вида брака;

– формирования массива ограничений целевой функции по переменным условиям шлифования для системы оптимизации цикла;

– автоматической передачи массива ограничений целевой функции по переменным условиям шлифования в систему оптимизации цикла;

– автоматической загрузки тестируемого цикла в систему диагностики;

– автоматического завершения диагностики цикла шлифования.

Разработанная система ЦД обеспечивает синтез системы диагностики и системы оптимизации по следующему алгоритму (рис. 1) [4-5]:

1) проектируется первая версия оптимального цикла шлифования на основе усредненных постоянных условий шлифования с проверкой ограничений при этих условиях;

2) оптимальный цикл шлифования передается в систему диагностики цикла;

3) генерируется массив сочетаний переменных факторов;

4) производится диагностика оптимального цикла шлифования при всех вариантах, заданных массивом сочетаний переменных факторов. В процессе диагностики производится тестирование оптимального цикла путем моделирования процесса шлифования в течение всего цикла обработки при сотнях вариантах различных сочетаний переменных технологических факторов (сформированных в пункте 3 алгоритма), изменяющихся в заданных диапазонах их варьирования. После каждого тестирования оцениваются расчетные значения точности обработки, шероховатость, твердость поверхности HRC и другие заданные показатели качества;

5) выявляются все виды брака и условия его возникновения. Если брака нет, то осуществляется переход в пункт 9 данного алгоритма;

6) формирование массива дополнительных ограничений целевой функции на основе выявленных условий возникновения брака;

7) передача дополнительных ограничений целевой функции в систему проектирования оптимального цикла шлифования;

8) оптимизация цикла шлифования с дополнительным массивом ограничений целевой функции. Производится переход в пункт 2 этого алгоритма;

9) формирование отчета и документация по проектированию оптимального цикла шлифования;

10) передача данных по оптимальному циклу шлифования в систему проектирования управляющей программы для станка с ЧПУ.

Таким образом, разработана система проектирования оптимальных циклов с повышенной надежностью и устойчивостью к переменным условиям шлифования.

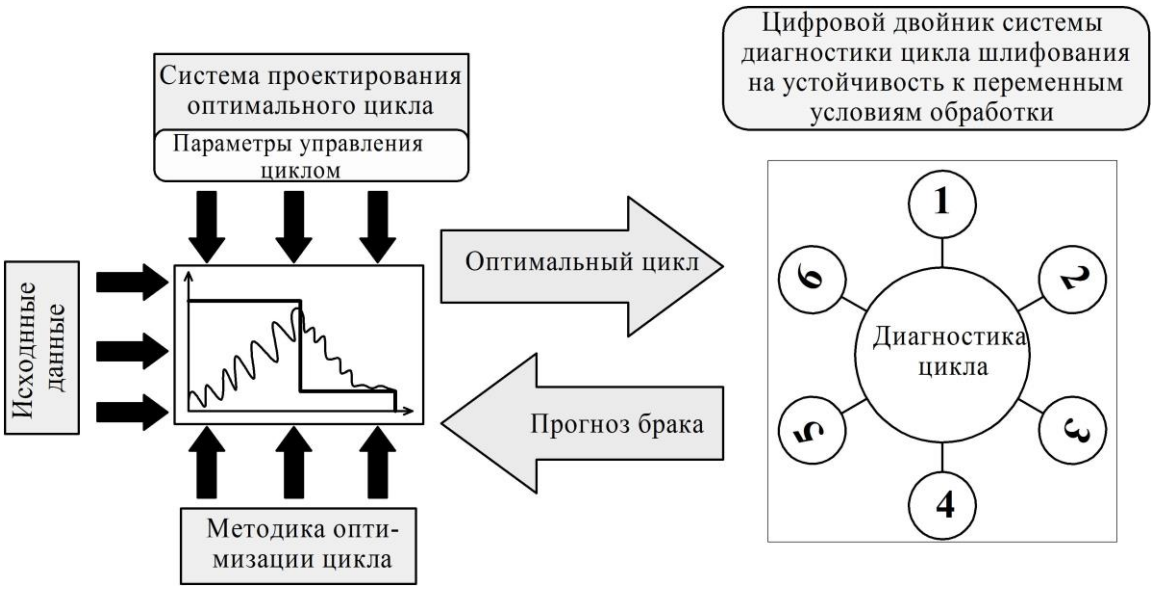



Рис. 1. Схема взаимодействия системы оптимизации цикла МДП с ЦД системы тестирования цикла: 1 – предотвращение брака; 2 – повышение надежности цикла шлифовании; 3 – прогнозирование точности и качества обработки; 4 –формирование ограничений для переменных условий; 5 – генерация переменных условий шлифовании; 6 – тестирование цикла; 7 – диагностика цикла

**Выводы:** применение ЦД при прогнозировании надежности управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет повысить устойчивость показателей качества и точности. Представленная в статье методология применения синтеза технологий ЦД и МДП на этапе подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет гарантировать максимальную производительность проектируемой операции шлифования при обеспечении заданного качества обрабатываемой поверхности с учетом переменных условий обработки, варьирующихся в заданных пределах.

**Список литературы: 1.** Horiuchi, O. Computer simulations of cylindrical plunge grinding – Influence of work stiffness on grinding accuracy / O. Horiuchi, T. Shibata // Key Engineering Materials. – 2007. – Vol. 329. – P. 51–56. DOI 10.4028/0-87849-416-2.51. **2.** Pimenov, D.Yu. Mathematical Modeling of Power Spent in Face Milling Taking into

Consideration Tool Wear / D.Yu. Pimenov // Journal of Friction and Wear. – 2015. – Vol. 36, no.1. – P. 45–48. DOI: 10.3103/S1068366615010110. **3.** Новоселов, Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 286 с. **4.** Pereverzev, P.P. Mathematical Model for the Internal Grinding Process of a Non-circular Hole Machining / P.P. Pereverzev, A.V. Akintseva // Procedia Engineerin. – 2016. – Vol. 150. – P. 1118-1123. doi:10.1016/j.proeng.2016.07.223. **5.** Pereverzev, P.P. Model of Cutting Force While Managing Two Regime Parameters in the Process of Internal Grinding / P.P. Pereverzev, A.V. Akintseva // Procedia Engineerin. – 2016. – Vol. 150. – P. 1113-1117. doi:10.1016/j.proeng.2016.07.222

## ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНУЮ ПОДГОТОВКУ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗПАСНОСТЬ» В ТГПУ ИМ. Л.Н. ТОЛСТОГО

**Петрова М.С., Лукиенко Л.В.** *(ТГПУ им. Л.Н. Толстого, г. Тула, Россия)*
*Тел. +7(953)4260512; e-mail: lukienko_lv@mail.ru*

***Abstract:*** *In the last decade the doctrine of safety of life in technosphere has been actively developing, whose main aim is the protection of the person from negative influences of anthropogenic and natural origin, the achievement of comfortable conditions of life. The realization by the society of knowledge and skills directed to reduction of negative impacts to acceptable values is the means of achieving this goal. The educational process in the direction of "Technosphere safety" means the training of specialists in this field of knowledge. Student practice of different types has the particular importance in the training of qualified personnel.*
***Keywords:*** *technosphere, security, training of qualified personnel (students), practice, competence.*

Экологические проблемы третьего тысячелетия - одни из самых острых и злободневных и в Тульской области стоят наиболее остро. Основным поставщиком загрязняющих веществ в воздушный бассейн области являются предприятия топливно-энергетической промышленности, черной и цветной металлургии и автотранспорт, дающие от 50 до 85% загрязнителей. Среди всех областей центра России Тульская область по концентрации промышленных и энергетических предприятий на 1 метр квадратной площади уступает только Московской. Три города - Тула, Новомосковск и Щекино - уверенно лидируют в скорбной шеренге 99 российских городов с неблагополучной экологической обстановкой. Загрязнение атмосферного воздуха по специфике и количеству выбросов значительно различается по районам области. Наибольшее число промышленных предприятий, дающих около 94 % всех выбросов, расположено в Алексинском, Суворовском, Ефремовском, Новомосковском, Узловском, Щекинском районах и в г. Туле. Большой объем выбросов в атмосферу дают предприятия металлургической промышленности - 78,6 тыс. т в год: ОАО "Тулачермет" - 71,6 тыс. т в год, ПАО «Косогорский металлургический завод» - 4,4 тыс. т в год, ОАО Суворовское рудоуправление - 1,5 тыс. т. в год. Большой объем выбросов (50,597 тыс. т. в год) зарегистрирован и от предприятий химической промышленности.

Ежегодно в атмосферу поступает около 126 тыс. т. окиси углерода, 6,6 тыс. т двуокиси азота, 7,9 тыс. т двуокиси серы, 8,5 тыс. тонн твердых веществ, 9,7 тыс. тонн углеводородов. В атмосфере особенно превышены концентрации двуокиси азота и окиси углерода. Особую озабоченность вызывает загрязнение атмосферного воздуха соединениями тяжелых металлов, так как концентрации многих из них превышают предельно допустимые значения. Среди них наиболее распространены свинец, марганец и его соединения, окись алюминия, никель, хром, в отдельных местах медь, оксид магния, оксид железа. Например, основными источниками выбросов оксида марганца являются ПАО «Косогорский металлургический завод», ОАО «Тулачермет», а также ОАО «Тульский комбайновый завод» и ОАО "Тульский патронный завод". В результате этого концентрации оксида марганца, превышающие предельно допустимые значения, отмечаются в южной части города и на большей части территории Пролетарского, Центрального и Привокзального районов. В Зареченском и Советском районах концентрации марганца не превышают нормы.

Результаты гидрохимических наблюдений свидетельствуют о высокой степени загрязнения поверхностных вод в черте города. Малые реки, протекающие по городской территории (р. Упа, р. Тулица, ручей Щегловский, ручей Тростянский - приток р. Тулицы, Рогожинский ручей и его притоки, р. Воронка), принимают основную антропогенную нагрузку от жилой застройки и промышленных предприятий, определяемую в основном:

- сбросом промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод;
- санитарным состоянием прибрежных и водоохранных зон русел рек и малых ручьев со множеством мест несанкционированного складирования твердых бытовых и промышленных отходов;
- смывом загрязняющих веществ с распаханных под огороды территорий и других типов сельскохозяйственных угодий;
- загрязнением нефтепродуктами и другими веществами, поступающими от нефтебаз и автостоянок, расположенных в водоохранных зонах рек. Одним из таких источников загрязнения являются старые шламонакопители ПАО «Косогорский металлургического завода», от которых зафиксировано 12 выходов загрязненных фильтратов, поступающих непосредственно в р. Воронку. Крайне неудовлетворительная экологическая обстановка сложилась в районе действия многих других промышленных предприятий, сточные воды которых по рельефу поступают в водотоки города.

Отмечаются неоднократные случаи утечки городских сточных вод из колодцев городского коллектора вследствие их неисправности. Обнаружены также многочисленные места выпуска сточных вод ливневой канализации со следами хозфекальных вод. Анализ состояния качества воды водоемов в черте города за последние годы показал высокий процент неудовлетворительных анализов воды. В поверхностных водах отмечаются повышенные концентрации азота аммонийного - в 1,5-32,3 раза, азота нитритного - в 3,0-46,5 раза; зафиксировано превышение ПДК железа - в 4,0-60,0 раз, меди - в 2,0-240 раз, а в разовых пробах - в 1176 раз (р. Тулица), цинка - в 1,2-42,0 раза (в отдельных случаях в р. Тулице - в 600 раз), сульфатов - в 1,1-3,8 раза, фосфатов - в 1,2-8,0 раз. Загрязнение поверхностных вод в черте города в первую очередь связано с поступлением больших объемов недостаточно очищенных сточных вод, сбрасываемых промышленными предприятиями. Общее водоотведение от промышленных предприятий составляет более 104802 тыс.м3/год, на долю сточных вод, сбрасываемых без очистки, приходится 3,3%. Основную массу сбрасываемых

сточных вод составляют недостаточно очищенные сточные воды - 92,0%. Доля нормативно чистых вод, сбрасываемых промышленными предприятиями г. Тулы, оценивается в 4,7%. Общий сброс загрязняющих веществ в поверхностные водотоки г. Тулы составляет около 108503 т/год.

Основная масса загрязняющих веществ сбрасывается МУП «Тулгорводоканал». На его долю приходится более 90% суммарного сброса. По большинству загрязняющих веществ на сбросы МУП «Тулгорводоканал» приходится от 62% (нитраты) до 98% (азот аммонийный) от суммарного количества. Помимо МУП «Тулгорводоканал» по количеству сбрасываемых в поверхностные водотоки нитратов выделяется ПАО «Косогорский металлургический завод» (33% от общего сброса). Основным источником загрязнения поверхностных водотоков хромом является ОАО «Тульский патронный завод» (45% от общего количества хрома, сбрасываемого со сточными водами) и ФКЗ «Штамп» (53%).

Несмотря на негативные тенденции, существуют реальные возможности стабилизации экологической ситуации и поэтапного оздоровления окружающей среды Тульской области и города Тулы. Администрацией города Тулы и Областным комитетом по охране окружающей среды и природных ресурсов принимаются большие усилия по решению таких проблемных вопросов, как загрязнение атмосферного воздуха выбросами автотранспорта, ликвидация токсичных выбросов и отходов, развитие и озеленение Тулы, и других; проведению первоочередных мероприятий по экологическому оздоровлению Тулы, улучшению медико-демографических показателей здоровья населения. Администрация города призывает все население и, в первую очередь, общественные организации (как выразителей мнения большинства жителей г. Тулы) принять посильное участие в борьбе за оздоровление окружающей среды, хорошо понимая, что вопросы защиты окружающей среды и улучшения качества жизни населения успешнее всего решаются при практическом участии всех граждан, как в городе, так и на предприятиях.

В Тульском государственном педагогическом университете им. Л.Н. Толстого с 2012 году реализуется подготовка бакалавров по направлению «Техносферная безопасность». Целью основной образовательной программы данного направления является обеспечение комплексной и качественной подготовки квалифицированных, конкурентоспособных специалистов в сфере техносферной безопасности на основе сочетания передовых инновационных технологий.

Выпускники решают задачи техносферной безопасности, практические задачи оценки риска, участия в инновационной деятельности, обеспечивать безопасность производства, экологическую безопасность и гигиену труда, решать задачи управления устойчивым инновационным развитием технических, социально-экономических и природных систем.

**Учебный процесс по направлению «Техносферная безопасность» подразумевает подготовку** специалистов в области охраны труда, обеспечения промышленной безопасности технологических процессов и производств как в нормальных условиях, так и в условиях чрезвычайной ситуации. К дисциплинам, по которым проводится обучение, относятся: «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре», «Инженерная защита территорий и населения», «Мониторинг и прогнозирование ЧС», «Опасные ситуации и защита от них», «Организация и ведение аварийно-спасательных работ», «Организация пожарной безопасности», «Потенциально опасные промышленные объекты», «Профессиональные риски и

заболевания», «Управление здоровьем персонала», «Системы защиты среды обитания», Противопожарная безопасность зданий и сооружений» и др.

**Исходя из потребностей в специалистах в нашем регионе, направление «Техносферная безопасность»** готовит специалистов, обладающих знаниями в области профессиональной деятельности, включающей в себя:

- обеспечение безопасности человека в современном мире;
- формирование комфортной для жизни и деятельности человека техносферы;
- минимизацию техногенного воздействия на природную среду;
- сохранение жизни и здоровья человека за счет использования современных технических средств, методов контроля и прогнозирования.

**Направление подготовки** позволяет выпускникам:

1. Принимать участие в проектных работах по созданию средств обеспечения безопасности и защиты человека от техногенных, в том числе и от антропогенных, воздействий.
2. Определять возможные источники опасностей на предприятиях и промышленных комплексах и в среде обитания, а также определять их уровень.
3. Выявлять зоны повышенного техногенного риска.
4. Разрабатывать необходимые средства спасения и организационно-технические мероприятия по защите территорий от природных и техногенных чрезвычайных ситуаций.
5. Разрабатывать требования и инструкции по безопасности при проведении технологических процессов.
6. Умело применять средства защиты и контроля безопасности.
7. Участвовать в выборе методов и систем защиты человека и среды обитания, а также ликвидации чрезвычайных ситуаций в зависимости от конкретных условий.
8. Проводить все виды инструктажей сотрудников по требованиям безопасности.
9. Принимать участие в планировании и проведении мероприятий по защите человека и среды обитания на уровне предприятия, организации.
10. Разрабатывать нормативно-правовые акты по вопросам обеспечения безопасности на уровне предприятия, организации.
11. Проводить контроль состояния средств защиты и соблюдением мер безопасности сотрудниками предприятия, организации.
12. Принимать участие в проведении научных исследований в области безопасности, проводить эксперименты и обрабатывать их результаты.
13. Исследовать воздействие антропогенных факторов и стихийных явлений на промышленные объекты, а также готовить предложения по их минимизации.
14. Готовить и оформлять отчеты по состоянию охраны труда на предприятии, организации.

**Немаловажную роль в подготовке бакалавров по направлению «Техносферная безопасность» играет практика.** Раздел основной образовательной программы бакалавриата «Учебная и производственная практики» является обязательным и представляет собой вид учебных занятий, непосредственно ориентированных на профессионально-практическую подготовку обучающихся. Пользуясь возможностями заключенных договоров о совместном сотрудничестве, студенты пользуются учебно-материальной и производственной базой организаций, учреждений и предприятий, расположенных на территории Тульской области. К таким организациям относятся: Тульская городская спасательная служба, областной

поисково-спасательный отряд, учебный пункт государственной противопожарной службы, отдел государственной инспекции по маломерным судам МЧС России по Тульской области, учебно-методический центр ГОЧС Тульской области, ПАО «Косогорский металлургический завод», ОАО «Тулачермет», ОАО «Завод Штамп» и др. В ходе учебной практики происходит закрепление теоретических знаний, полученных в процессе обучения, и овладение инструментальными и экспериментальными методами изучения техносферы, а также приобретение практических навыков и компетенций в сфере техносферной безопасности.

**Список литературы**: **1.** Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность (уровень бакалавриата) (Утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «21» марта 2016 г. № 246). **2.** Петрова М.С., Ермолов А.В. Особенности профильной подготовки бакалавров по направлению подготовки «Техносферная безопасность» // Технолого-экономическое образование: Достижения, инновации, перспективы: Межвуз. сб. ст. XIV Междунар.науч.-практ.конф. Тула, 12-15 февр.2013 г./Отв.ред. А.А. Потапов. Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2013. –С. 413-416. **3.** Петрова М.С., Дуденкова М.Ю. О снижении выбросов вредных веществ в атмосферу на примере ОАО «Тульский кирпичный завод» // Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории: материалы VI международной научно-практической конференции (8 декабря 2016 г)/ Отв. ред. Зарайский А.А. Саратов: Издательство ЦПМ «Академия Бизнеса», 2016. – С. 64-68. **4.** Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг. [http: //www.unece.org /fileadmin/DAM/env/ documents/2016/ TEIA/COP/ ece.cp.teia.2016.1.r.pdf].

## ПОВЫШЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ВЕРТОЛЕТНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Михайлов В.А., Пичко А.П., Хавлин Т.В., Колодяжный А.А., Михайлов Д.А., Шейко Е.А., Гитуни А., Михайлов А.Н.**
*(ДонНТУ, ДАВД МВД, АГЗ, ТТУ, г. Донецк, г. Тунис, ДНР, Тунисская Республика)*
*Тел./Факс:* +38 (062) 3050104; *E-mail:* tm@fimm.donntu.org

***Abstract**: In the work presented, an analysis is made of the features of operation of structural elements and subsystems of a gas turbine engine (GTE). The structural reliability of the GTE, which is determined at the design stage of the aircraft engine, is investigated. Structural-logical formulas for the reliability of an aircraft engine are given.*
***Keywords:** gas turbine engine, engine structure, structural and logical reliability formulas.*

Газотурбинные двигатели (ГТД) относятся к сложным техническим системам, которые состоят из множества структурных элементов, соединенных в определенные подсистемы. При этом лопатки ГТД имеют определенные особенности работы, обусловленные абразивно-эрозионным износом различных групп лопаток. Эти особенности работы ГТД снижают ресурс лопаток различных групп и требуют дальнейшего анализа их работы, создания методов повышения ресурса элементов, подсистем и всего ГТД в целом.

В настоящее время, для повышения ресурса элементной базы ГТД разработано множество различных методов повышения работоспособности авиационных двигателей [1, 2, 3]. Однако, в ряде случаев, эти методы не позволяют обеспечивать дальнейшее повышение ресурса ГТД, особенно в условиях действия неравномерных эксплуатационных воздействий. Поэтому данная работа ориентирована на дальнейшее повышение ресурса лопаток ГТД в условиях действия неравномерных эксплуатационных функций [4, 5].

ГТД это сложная система, состоящая из множества структурных элементов. Укрупненно, структуру ГТД можно представить следующим выражением:

$$Str = \{X, A\},$$

где $X$ – множество структурных элементов системы (ГТД);
$A$ – множество отношений на множестве $X$.

Здесь: $X = \{x_1, x_2, x_3, ..., x_i, ..., x_n\}$; $A = \{a_1, a_2, a_3, ..., a_j, ..., a_m\}$ ,

где $x_i$ - $i$-й структурный элемент множества $X$;
$a_j$ - $j$-е отношение на множестве $X$;
$n$ – мощность (порядок или общее количество элементов) множества $X$;
$m$ – общее количество отношений на множестве $X$.

В качестве примера, на рис. 1 представлены варианты структурных схем вертолетных турбовальных ГТД. Здесь показано: на рис. 1, а – структурная схема одновального ГТД без свободной турбины; на рис. 1, б - структурная схема ГТД со свободной турбиной; на рис. 1, в – структурная схема со свободной турбиной и компрессорами низкого и высокого давления.

Выполненный анализ особенностей эксплуатации ГТД [1, 2, 3] показал, что здесь главным является то, что структурные элементы эксплуатируются в различных условиях. Причем выполненные исследования показывают, что рационально, для всех лопаток, элементов и подсистем обеспечивать одинаковый - заданный ресурс их работы.

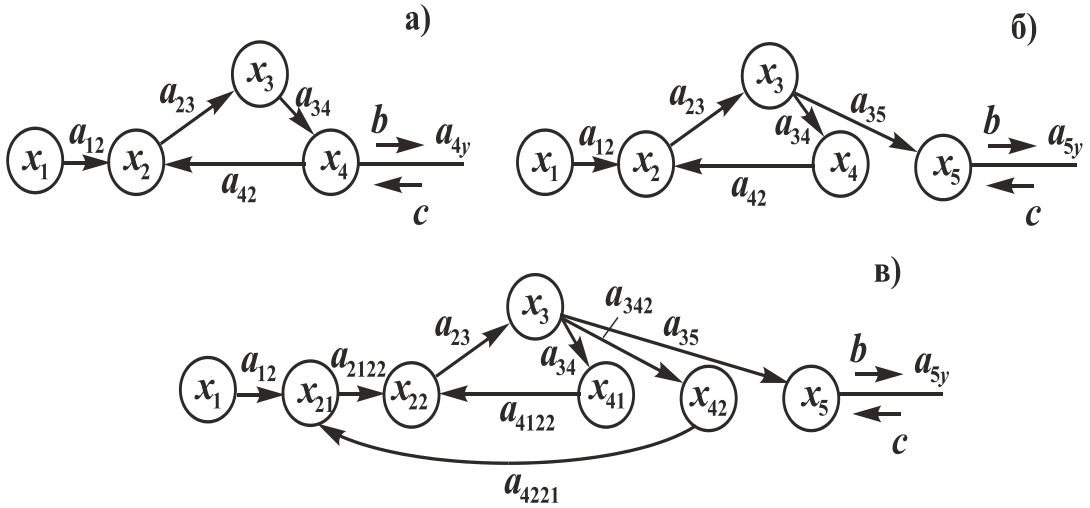



Рис. 1. Варианты структурных схем вертолетных турбовальных ГТД: а – одновального без свободной турбины; б – со свободной турбиной; в – со свободной турбиной и компрессорами низкого и высокого давления

Если элементы и подсистемы ГТД эксплуатируются в неодинаковых условиях, то происходит преждевременное разрушение одних элементов и подсистем при сохранении работоспособности других элементов и подсистем. Это конечно не рационально и требует новых подходов в повышении эксплуатационных свойств ГТД [4, 5].

Можно отметить, что в ГТД по его подсистемам действуют переменные эксплуатационные функции. Например, для ГТД серии ТВ3-117, действие этих функций гипотетически можно представить в соответствии с рис. 2. В этом случае, при эксплуатации ГТД, эксплуатационные функции, действующие на подсистемы $x_j$ , различны. При этом каждая подсистема эксплуатируется в своих особых условиях, имеющих различные особенности. Эти особенности можно представить с помощью следующего выражения:

$$F_{x1} \neq F_{x2} \neq \cdots \neq F_{xj} \neq \cdots \neq F_{xn} ;$$

где $F_{xj}$ - $j$-я эксплуатационная функция, действующая на $x_j$ подсистему ГТД.

Также следует отметить, что в каждой подсистеме - на каждый элемент (лопатку) и группу элементов действуют неравномерные эксплуатационные воздействия.

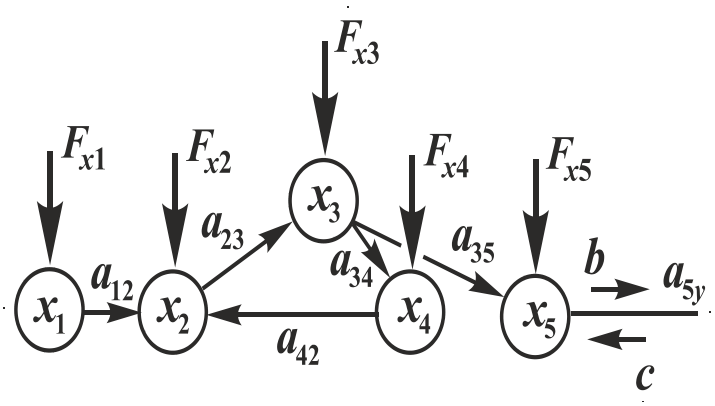



Рис. 2. Гипотетическая схема действия различных эксплуатационных функций на подсистемы ГТД

Проведенные исследования [1, …, 5] показывают, что в ГТД, на элементы (лопатки), группы элементов (ступени лопаток) и между группами ступеней действуют не одинаковые, неравномерные эксплуатационные функции, которые приводят к возникновению следующих видов неравномерностей [5]: неравномерность 1-го рода (неравномерность по элементам лопатки), неравномерность 2-го рода (неравномерность по номерам ступеней), неравномерность 3-го рода (неравномерность по видам групп ступеней).

С увеличение зазоров проточной части компрессора снижаются все параметры термодинамического цикла. Увеличение зазоров между лопатками и элементами проточной части компрессора происходит в основном из-за эрозионно-абразивного их износа и действия целого комплекса других эксплуатационных воздействий. Особенно это усиливается в условиях действия различных видов эксплуатационных неравномерностей по структурным элементам и подсистемам ГТД, которые дополнительно снижают его ресурс.

Вероятность сохранения работоспособности ГТД, например, модели ТВ3-117, за наработку $t$, определяется по следующей структурно-логической формуле надежности:

$$P(t) = P_1(t)\, P_2(t)\, P_3(t) , \qquad (1)$$

$P(t)$ - вероятность сохранения работоспособности ГТД;

$P_1(t)$ - вероятность сохранения работоспособности первой подсистемы ГТД;

$P_2(t)$ - вероятность сохранения работоспособности второй подсистемы ГТД;

$P_3(t)$ - вероятность сохранения работоспособности третьей подсистемы ГТД;

В соответствии со структурной схемой, составляющие выражения (1) определяются следующими выражениями:

$$\left.\begin{aligned} P_1(t) &= P_{11}(t)\,P_{12}(t)\,; \\ P_2(t) &= P_{21}(t)\,P_{22}(t)\,; \\ P_3(t) &= P_{31}(t)\,P_{32}(t)\,, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

$P_{11}(t), P_{21}(t), P_{31}(t)$ - вероятность сохранения работоспособности основных подсистем , состоящих из групп элементов (лопаток), для первой, второй, третьей систем, соответственно;

$P_{12}(t), P_{22}(t), P_{32}(t)$ - вероятность сохранения работоспособности обслуживающих подсистем для первой, второй, третьей систем, соответственно.

Здесь, первые составляющие выражения (2) определяются на основании выражения:

$$\left.\begin{aligned} P_{11}(t) &= \prod_{i_1=1}^{v_1} P_{1i_1} \cdot \left[\prod_{i_{21}=1}^{v_{21}} P_{2i_{21}} \cdot \prod_{i_{22}=1}^{v_{22}} P_{2i_{22}} \cdot \ldots \cdot \prod_{i_{24}=1}^{v_{24}} P_{2i_{24}}\right] \cdot \left[\prod_{i_{31}=1}^{v_{31}} P_{3i_{31}} \cdot \prod_{i_{32}=1}^{v_{32}} P_{3i_{32}} \cdot \ldots \cdot \prod_{i_{37}=1}^{v_{37}} P_{3i_{37}}\right] \times \\ &\quad \times \prod_{i_4=1}^{v_4} P_{4i_4} \cdot P_{x_3} \cdot \left[\prod_{i_{61}=1}^{v_{61}} P_{6i_{61}} \cdot \prod_{i_{62}=1}^{v_{62}} P_{6i_{62}}\right] \cdot \left[\prod_{i_{81}=1}^{v_{81}} P_{8i_{81}} \cdot \prod_{i_{82}=1}^{v_{82}} P_{8i_{82}}\right]; \\ P_{21}(t) &= \left[\prod_{i_{5011}=1}^{v_{5011}} P_{501i_{5011}} \cdot \prod_{i_{5012}=1}^{v_{5012}} P_{501i_{5012}} \cdot \ldots \cdot \prod_{i_{50112}=1}^{v_{50112}} P_{501i_{50112}}\right] \cdot \left[\prod_{i_{71}=1}^{v_{71}} P_{71i_{71}} \cdot \prod_{i_{72}=1}^{v_{72}} P_{72i_{72}}\right], \\ P_{31}(t) &= \prod_{i_{91}=1}^{v_{91}} P_{91i_{91}} \cdot \prod_{i_{92}=1}^{v_{92}} P_{92i_{92}}\,, \end{aligned}\right\}$$

где $P_{\tau\mu}$ - вероятность сохранения работоспособности любой лопатки τ-ой группы μ-й подгруппы;

$v_{\tau\mu}$ - количество лопаток τ-ой группы μ-й подгруппы;

$P_{x_3}$ - вероятность сохранения работоспособности камеры сгорания, системы $x_3$.

Надежность обслуживающих подсистем ГТД, структура которых определяется выражением (2), составленным в соответствии со структурой двигателя модели ТВ3-117, определяются на основании выражений:

$$\left.\begin{aligned} P_{12}(t) &= P_{c1}\, P_{c2} \cdots\ P_{cm}; \\ P_{22}(t) &= P_{p1}\, P_{p2} \cdots\ P_{pk}; \\ P_{32}(t) &= P_{T1}\, P_{T2} \cdots\ P_{Tn}, \end{aligned}\right\}$$

где $P_{c\varepsilon}, P_{p\delta}, P_{T\omega}$ - вероятность сохранения работоспособности $\varepsilon, \delta, \omega$ - й подсистем обслуживающих систем ГТД, соответственно.

$m, k, n$ - мощность или общее количество обслуживающих подсистем ГТД.

Представленные структурно-логические формулы надежности позволяют на этапе проектирования ГТД определять требуемую структурную надежность и рациональный структурный состав элементов и подсистем для различных вариантов авиационных двигателей.

**Список литературы: 1.** Богуслаев, В. А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД. / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, П. Д. Жеманюк и др. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич». - 2005. – 559 с. **2.** Авиаинформ / Ежемесячный информационно-аналитический журнал. – М.: Международная ассоциация «Союз авиационного двигателестроения», 2016. - Вып. № 4 (145). – 182 с. **3.** Григорьев, В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели. / В. А. Григорьев, В. А. Зрелов, Ю. М. Игнаткин и др. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с. **4.** Михайлов, В. А., Михайлов, А. Н., Байков, А. В. Комплексное повышение ресурса всех групп лопаток компрессора турбовального ГТД на основе функционально-ориентированного подхода / Наукоемкие технологии в машиностроении – Брянск: БГТУ, № 9, 2017. С. 42-48. **5.** Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009.–346 с.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

**Плотников Н. С., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А.**

***Abstract.*** *It is shown that during the excavation of rocks by working equipment, a direct shovel of a mining excavator (mehlopaty), the main actuators (lifting and pressure mechanisms) interact with the working equipment mechanism that connects the main mechanisms with the bucket. It is established that the regime parameters of the main mechanisms are formed in accordance with the kinematic properties of the working equipment mechanism. On the basis of the mathematical model of the working equipment mechanism, an algorithm is developed for calculating the regime parameters (speeds and forces of lifting and pressure) of the main mechanisms for a given bucket displacement law. The obtained relationships between the energy-force parameters realized on the ladle and the regime parameters of the main mechanisms can be used to develop a control system for the excavation process.*

***Keywords****: mechanism of working equipment, main executive mechanisms, algorithm for calculating mode parameters*

**Введение.** Современные конструкции карьерных экскаваторов с рабочим оборудованием прямая лопата (мехлопаты) в сочетании с передовыми технологиями

разработки месторождений полезных ископаемых обеспечивают высокий уровень производительности при гарантированной надежности оборудования.

Вместе с тем полное использование технического потенциала экскаватора и достижение в условиях эксплуатации расчетных значений технико-экономических показателей затруднено ввиду сложности управления рабочим процессом экскавации (копания) горной массы, т. е. согласования и координации рабочих движений (подъема и напора) главных исполнительных механизмов с перемещением ковша в забое при одновременном отделении слоя («стружки») горной массы.

Установление взаимосвязей между кинематическими параметрами рабочих движений и перемещения ковша в рабочей зоне экскаватора на основе имитационной модели процесса экскавации позволит разработать систему программного управления рабочим процессом и, в конечном счете, повысить эффективность функционирования карьерного экскаватора.

**Цель и задачи работы.** Цель исследования – повышение эффективности функционирования карьерного экскаватора.

Задачи работы:

- выявление взаимосвязей между энергосиловыми параметрами, реализуемыми на ковше, и режимными параметрами главных исполнительных механизмов;
- разработка алгоритма расчета режимных параметров главных механизмов при заданном законе перемещения ковша.

**Решение задач исследования.** Объектом исследования является двухкривошипно-рычажный механизм рабочего оборудования.

Предмет исследования – изучение кинематических свойств механизма рабочего оборудования.

В качестве метода исследований принят вычислительный эксперимент, выполняемый на основе имитационной модели процесса экскавации грунта рабочим оборудованием прямая лопата [1, 2]. Для алгоритмических моделей экспериментирование с помощью модели тождественно нахождению значений выходных характеристик при заданных значениях входных переменных и постоянных аргументов, т. е. подстановке в алгоритм конкретных чисел и расчету по формулам. Перебор вариантов решений производится с заданным шагом варьирования. В ходе просчета и калибровки математической модели накапливается информация о функциональных возможностях различных структурных схем рабочего оборудования. Таким образом, имитационное моделирование состоит в многократном воспроизведении функционирования (поведения) исследуемой системы на основе математической модели. Результаты имитационного моделирования представляют собой набор величин, характеризующих исследуемый процесс.

Механизм рабочего оборудования (рис. 1), состоящий из кривошипа механизма напора (седлового подшипника), звена рукоять-ковш, кривошипа механизма подъема (головного блока) и подъемного каната, образуется в случае совместного действия главных исполнительных механизмов при экскавации горных пород.

Процесс экскавации заключается в перемещении ковша по эквидистантным траекториям с одновременным отделением слоя горной массы («стружки») и заполнением ковша. При этом ковш (звено рукоять-ковш) является ведущим звеном как механизма рабочего оборудования, так и главных механизмов, а выходные звенья главных механизмов (кривошипы) становятся ведомыми, т. е. в процессе экскавации происходит «обратимость» главных механизмов.

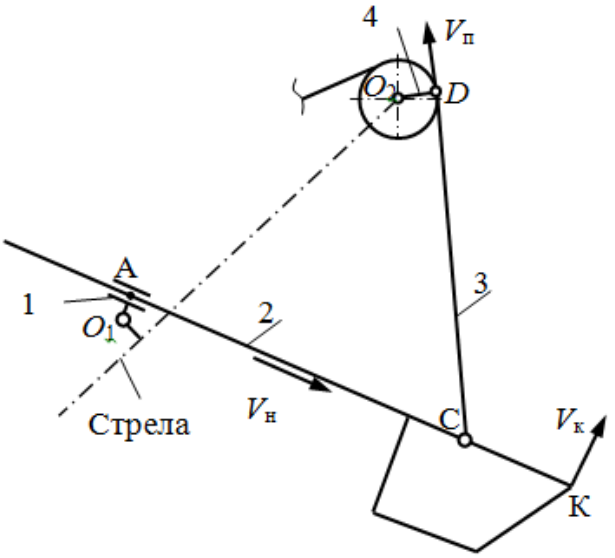



Рис. 1. Схема механизма рабочего оборудования:
1, 4 – кривошип; 2 – рукоять с ковшом;
3 –подъемный канат; $V_п$,$V_н$,$V_к$ – скорости

На основе математической модели механизма рабочего оборудования разработана блок-схема расчета режимных параметров главных механизмов при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше, и траектории перемещения ковша в рабочей зоне карьерного экскаватора.

Выполнен вычислительный эксперимент по расчету режимных параметров главных механизмов экскаватора ЭКГ-20А производства ПАО «Уралмашзавод». При исходных данных: касательная составляющая силы сопротивления копанию $P_{01}$ = 325 кН; скорость копания $V_к$ = 1 м/с; масса ковша $M_к$ = 40 т.

В таблице приведены результаты расчета режимных параметров главных механизмов при перемещении ковша из одной точки на уровне стояния экскаватора (в центральной части рабочей зоны) по траекториям с различными углами наклона – 70, 60 и 50 градусов.

Таблица 1. - Значения режимных параметров главных механизмов при различных углах наклона траектории перемещения ковша

| №№ | Координаты вершины режущей кромки, м | | Скорость подъема, м/с | Скорость напора, м/с | Сила тяжести груженого ковша, кН | Усилие подъема, кН | Усилие напора, кН | Мощность усилия подъема, кВт | Мощность усилия напора, кВт | КПД механизма |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X_к$ | $Y_к$ | $V_п$ | $V_н$ | $G_{к+п}$ | $F_п$ | $F_н$ | $P_п$ | $P_н$ | η |
| Угол наклона траектории ψ = 70º | | | | | | | | | | |
| 1 | 14 | 0 | 0,91 | -0,74 | 400 | 732 | -295 | 667 | 218 | 0,37 |
| 2 | 15,5 | 4 | 0,81 | -0,52 | 500 | 799 | -327 | 646 | 169 | 0,40 |
| 3 | 17 | 8 | 0,68 | -0,12 | 600 | 959 | -300 | 649 | 35 | 0,48 |
| 4 | 18,5 | 12 | 0,70 | 0,34 | 700 | 1179 | -234 | 829 | 80 | 0,36 |
| Угол наклона траектории ψ = 60º | | | | | | | | | | |
| 5 | 14 | 0 | 0,87 | -0,61 | 400 | 801 | -195 | 696 | 119 | 0,40 |
| 6 | 16,3 | 4 | 0,76 | -0,30 | 500 | 876 | -183 | 662 | 56 | 0,45 |
| 7 | 18,6 | 8 | 0,66 | 0,13 | 600 | 978 | -59 | 645 | 8 | 0,50 |
| 8 | 20,9 | 12 | 0,59 | 0,50 | 700 | 1093 | 296 | 640 | 148 | 0,41 |
| Угол наклона траектории ψ = 50º | | | | | | | | | | |
| 9 | 14 | 0 | 0,80 | -0,46 | 400 | 853 | -103 | 681 | 48 | 0,45 |
| 10 | 17,4 | 4 | 0,66 | -0,06 | 500 | 940 | -20 | 618 | 1 | 0,53 |
| 11 | 20,8 | 8 | 0,51 | 0,36 | 600 | 1062 | 271 | 537 | 98 | 0,51 |
| 12 | 24,2 | 12 | 0,17 | 0,64 | 700 | 1285 | 917 | 221 | 590 | 0,40 |

Из приведенных данных следует, что значения режимных параметров главных механизмов существенно изменяются в зависимости как от угла наклона траектории перемещения ковша, так и высоты копания (координаты $Y_к$).

Так, скорость подъема уменьшается как при уменьшении угла наклона траектории перемещения ковша, так и при увеличении высоты копания.

Изменение скорости напора зависит от направления перемещения рукояти: при втягивании рукояти (значениям скорости напора приписывают знак минус) величина скорости напора уменьшается при уменьшении угла наклона траектории, а при выдвижении рукояти – возрастает.

Значения усилий подъема и напора практически не зависят от угла наклона траектории перемещения ковша, за исключением пикового значения усилия напора при угле наклона $\psi = 50^{\circ}$.

Таким образом, разработанная блок-схема расчета режимных параметров главных механизмов позволяет определить для любой точки в рабочей зоне экскаватора с заданным углом наклона касательной к траектории перемещения ковша соотношение (функционал) между энерговесовыми параметрами, реализуемыми на ковше, и режимными параметрами главных механизмов.

**Заключение.** Резервом повышения эффективности функционирования карьерного экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата (мехлопаты) является создание системы программного (цифрового) управления приводами главных механизмов на основе алгоритмического описания процесса экскавации.

**Список литературы: 1.** Комиссаров А. П., Летнев К. Ю., Лукашук О. А. Анализ двухкривошипно-рычажных механизмов рабочего оборудования карьерных экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XV Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», 20-21 апр., 2017 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 41 – 46. **2.** Лагунова Ю. А., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. и др. Горные машины. Энциклопедия. Т. IV-24. М.: Машиностроение, 2011. 493 с. **3.** Кузнецов А. Л. Карьерные экскаваторы ПАО «Уралмашзавод» – настоящее и будущее российской горнодобывающей промышленности / А. Л. Кузнецов, К. Ю. Анистратов // Уголь. 2016. № 8. С. 77 – 81. **4.** Повышение качества управления одноковшовыми экскаваторами на основе мультиагентного подхода / А. В. Дружинин [и др.] // Новые огнеупоры. 2016. № 3. С. 11 – 12. **5.** Подэрни Р. Ю. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой / Р. Ю. Подэрни, П. Булес // Горный журнал. 2015. № 1. С. 55 – 61. **6.** Самолазов А. В. Практические результаты внедрения экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-32Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П. Г. Коробкова» на угледобывающих предприятиях России / А. В. Самолазов, Т. В. Донченко, Д. А. Шибанов // Уголь. 2013. № 4. С. 36 – 38. **7.** Ганин А. Р. Внедрение экскаваторов нового модельного ряда производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П. Г. Коробкова» на горных предприятиях России / А. Р. Ганин, А. В. Самолазов, Т. В. Донченко // Уголь. 2012. № 8. С. 60 – 62. **8.** Певзнер Л. Д. Автоматизированное управление мощными одноковшовыми экскаваторами. М.: Горное дело, 2014. **9.** Бабаков С. Е., Певзнер Л. Д. Алгоритмизация управления движением ковша экскаватора в режиме черпания с применением нечеткой логики // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 9. С. 8 – 17. **10.** Певзнер Л. Д., Бабаков С. Е. Управление операцией черпания карьерного экскаватора-мехлопаты с применением нечеткой логики // Уголь. 2012. № 8. С. 64 – 65.

# ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ

**Поветкин В.В., Орлова Е.П., Исаметова М.Е., Букаева А.З.**
*(Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан)*
*Тел. 8 (727) 292-69-19; E-mail: vv1940_povetkin@mail.ru*

***Abstract:*** *In the present work the modern methods creation of the production technology of cog-wheels with Novikov's gearing with the help 3D technology of the press metal are considered. Various additovny technologies - a laser baking (Selective Laser Sintering, SLS), the selection laser melting (Selective Laser Melting, SLM), electron beam melting (Electron Beam Melting, EBM), Continuous Liquid Interface Technology (CLIT) technology are presented. The experimental researches and manufactures of a cog-wheel with Novikov's gearing on the "Engineer V2" 3D-printer with use of carboxylic threads on the basis of industrial complex of the company "Polytech-engineering" are conducted.*

***Key words:*** *cog-wheel, Novikov's gear, additive technologies, planetary gear.*

Работоспособность и экономические показатели современных машин в различных отраслях в существенной мере зависят от показателей работоспособности зубчатых приводов. Создание зубчатых передач с высокими критериями работоспособности обеспечивает совершенствование не только приводов, но и машин в целом, и это актуально для современного машиностроения. Одним из направлений совершенствования зубчатых приводов является разработка зубчатых передач с повышенной грузоподъемностью и длительным сроком службы.

Создание Михаилом Леонтьевичем Новиковым [1] в середине 20-го века оригинальной системы зубчатого зацепления, как альтернативы эвольвентному зацеплению, носило революционный характер, сопровождалось всплеском масштабных исследований и крупными инвестициями, многоплановыми отраслевыми проектами и показательными примерами промышленной реализации. Одними из самых весомых достоинств зацепления Новикова считались необычайно большой запас по контактной прочности зубьев и, как следствие, высокая конструктивная гибкость [1].

Некоторые, и в том числе Г.А. Журавлев, недостаточно широкое внедрение в промышленность передач Новикова, несмотря на их 50-летний возраст, пытаются объяснить бесперспективностью этого зацепления. Однако, принимая во внимание масштабы его применения в отечественном редукторостроении положение более правильно трактовать, как достаточно широкое внедрение, несмотря на то, что технологический уровень произ-водства зубчатых колес с зацеплением Новикова остался, мягко говоря, на том же уровне, что и 50 лет назад при его рождении, а учитывая всеобщий крайний износ оборудования, откатился назад.

Вот в чем главная причина, сдерживающая более широкое внедрение.

Начнем с обрабатывающего инструмента. Точность профиля червячных фрез – основного зуборезного инструмента (производства цилиндрических зубчатых колес $HRC_э<350$) обеспечивается точностью профилирования шлифовального круга при их затыловании. Так вот профиль шлифовального круга образуется при помощи накатника, что не может сравниваться с правкой алмазом.

Роликом-накатником правился шлифовальный круг и, в известных нам случаях, при зубошлифовке. Автор лично применял такую технологию зубошлифования

цементированных зубчатых колес на Калужском турбинном заводе в 1961 г. и лично наблюдал массовые прижоги на шлифованных поверхностях зубьев. Еще хуже с контрольным инструментом: используемые из арсенала контроля эвольвентного зацепления и универсальный меритель.

Актуальной задачей и на сегодня остается:

- создание станков с алмазной правкой шлифовальных кругов при затыловании червячных фрез и зубошлифовке;
- обновление станочного парка;
- создание оборудования для комплексного контроля зуборезного инструмента и всех параметров зубчатых колес.

При решении перечисленных задач, и произойдет резкое расширение внедрения зубчатых передач с зацеплением Новикова *[2]*.

*Одним из перспективных методов создание технологии производства зубчатых колес с зацеплением Новикова является технология 3D печати металлом.*

Аддитивные технологии способны создавать, как мелкие детали, так и габаритные, размером до нескольких метров и весом в несколько тонн. Печать надежных деталей с высокой точностью нашла свое применение в создании ракетных и реактивных двигателей, а также некоторых элементов конструкций летательных аппаратов.

Одной из технологий, способной использовать материалы такие как металл, пластик, керамика, стекло, литейный воск, является выборочное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS). В ней используется порошок с диаметром частиц 50-100 мкм, тонкими равномерными слоями распределяемый в горизонтальной плоскости, которые лазерный луч спекает и происходит отвердение на данном слое модели. Порошок наносится и разравнивается по поверхности рабочего стола специальным валиком, который при обратном проходе удаляет излишки порошка. Затем работает мощный лазер, спекающий частицы друг с другом и с предыдущим слоем, после чего стол опускается на величину, равную высоте одного слоя. Вариантами технологии являются: селективное лазерное плавление (Selective Laser Melting, SLM), которое используется для работы с чистыми металлами без примесей полимера и позволяет создать готовый образец за один этап и электронно-лучевое плавление (Electron Beam Melting, EBM) с использованием электронного луча вместо лазера. Эта технология требует работы в вакуумной камере, но позволяет использовать даже такие металлы, как титан.

Технология Continuous Liquid Interface Technology (CLIT) может сократить скорость печати в 25-100 раз. Предметы могут создаваться за 6-7 минут. К тому же, работа происходит не по слоям и не требует системы поддержек, поэтому времени на постобработку практически не уходит.

Технология изготовления зубчатых колес оказывает большое влияние на их виброакустические характеристики и по значимости практически не уступает вопросам конструирования. Изготовление бочкообразных зубьев является нелёгкой технологической задачей, на рисунке 1 приведена планетарная передача с бочкообразной формой зуба.

Рис. 1. Планетарная передача с бочкообразными зубьями

При проектировании приводов по критерию ресурсной работы требует подходить к выбору технологических процессов с учетом их влияния на долговечность работы привода путем уменьшения виброакустической составляющей. В работах зарубежных и отечественных ученых [3] указываются следующие основные направления работ в области виброакустики:

- создание зубчатых передач с улучшенной геометрией, массогабаритными параметрами и повышенной нагрузочной способностью;
- разработку и применение новых материалов, а также упрочняющих технологий;
- снижение виброакустических характеристик и улучшение динамики зубчатых передач посредством модификации элементов как зацепления, так и привода в целом;
- повышение точности сопрягаемых элементов привода и контроля их виброакустических параметров.

В современной промышленности преобладают не поточные типы производства (индивидуальные, мелкосерийные), что требует использовать технологии быстрого проектирования с применением материалов, доступных для аддитивных технологий с применением полимеров и металлов

Современные технологии позволяют создавать полноценный трехмерный объект практически из любого материала с гораздо меньшими трудозатратами, как если бы пришлось делать эти объекты вручную.

Получение бочкообразности зубьев планетарного редуктора возможно автоматически при печати зубчатого колеса.

Эксперимент проведен на базе производственного комплекса компании «Политех-инжинеринг» (СПб). Колесо для сателлита изготовлено на 3D- принтере «Engineer V2» (рисунок 2) с применением карбоновых нитей [4].

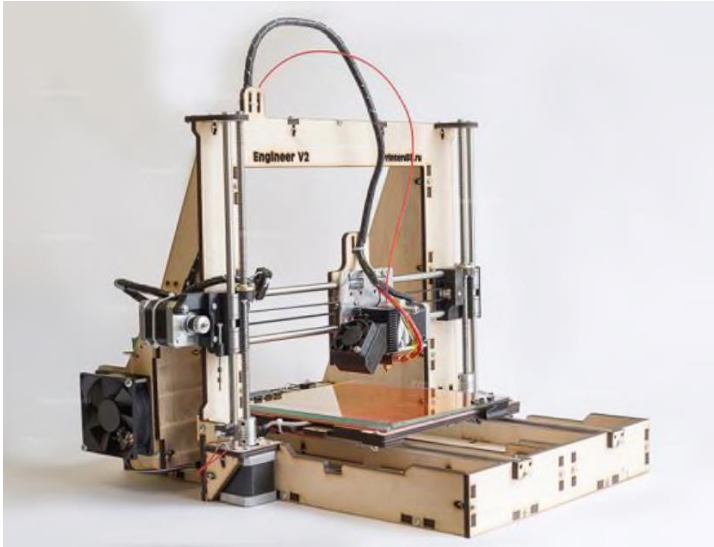



Рис. 2. ЭЭ-принтер «Engineer V2»

На рисунке 3 изображены этапы получения подобного колеса.

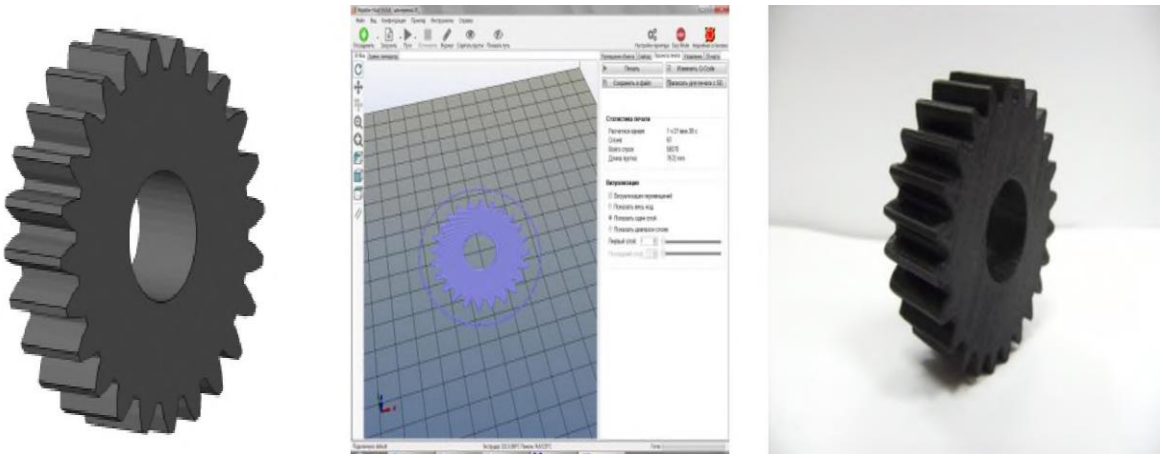


Рис. 3. Триада: а) модель, б) программа, в) «напечатанное» зубчатое колесо

**Выводы:**

1. В настоящей работе рассмотрены современные методы создание технологии производства зубчатых колес с зацеплением Новикова с помощью технология 3D печати металлом.

2. Представлены различные аддитовные технологии - лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS), селективное лазерное плавление (Selective Laser Melting, SLM), электронно-лучевое плавление (Electron Beam Melting, EBM), технология Continuous Liquid Interface Technology (CLIT).

3. Проведены экспериментальные исследования и изготовления зубчатого колеса с зацеплением Новикова на 3D-принтере «Engineer V2» с применением карбоновых нитей на базе производственного комплекса компании «Политех-инжиниринг».

**Список литературы: 1.** Попов А.П. Передачи редукторов с пространственной точечной системой зацепления зубьев. Международный сборник «Прогрессивные технологии Машиного оборудования» Донецк, 2009, - с.189-196. ***2.*** www.spingear.ru/index **3.** Шалобаев Е.В. Условия эксплуатации, критерии качества и методы повышения качественных показателей мелкомодульных колес / Е.В.Шалобаев, С.С.Резников // Известия ТулГУ - 2012. - № 12. - С. 107 – 115 с. **4**. https://konstruktor.net.

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НАБОРНОГО ТОКОПОДВОДА ПРИ СТРУЙНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ

**Попов А.И., Новиков В.И., Радкевич М.М., Медко В.С.**
*(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,*
*«Институт Металлургии, машиностроения и транспорта»,*
*кафедра «Технология конструкционных материалов и материаловедение»,*
*г. Санкт-Петербург, Россия)*
*E-mail: profbaikl@yandex.ru*

***Abstract:****The results of experimental investigations of revealing the peculiarities of surface treatment by a set current lead of different shapes with jet focused electrolytic-plasma treatment are presented. It is shown that the geometry of the surface largely depends primarily on the geometry of the set current lead forming the shape of the interelectrode gap. The effect on the processing zone of set current feeders with a flat cut, a concave inside surface and a drop surface with conductor diameters up to 1 mm mm in the voltage range of 180-375 V and electrolyte flow rates of 2-8 l / h for copper samples during treatment in sodium salts of sulfuric acid and citric acid. The features of the geometry of the processing zone and the influence of the current lead in the form of a drop on artificially formed defects in the processing zone for interelectrode gaps of 1-8 mm in stationary and regime and when it moves relative to the surface of the metal anode are revealed.*
***Key words:*** *geometry of the current supply, electrolytic-plasma treatment, artificially formed defects, metal anode.*

### Введение

Совершенствование технологических процессов невозможно без применения перспективных методов металлобработки. В частности, к таким методам обработки являются методы электрохимической обработки. Среди которых важное место занимают электролитно-плазменные методы. Методы электролитно-плазменной обработки можно разделить на методы обработки погружением в ванну [1, 2, 3] и методы обработки одно или несколькими струями [1, 4, 5]. Преимущество струйных методов заключается в более низких температурах [6], и стоимости обработки, высокой экологичности [7], что позволяет проводить обработку различных материалов [8, 9], с разным исходным уровнем шероховатости поверхности [10]. Среди используемых токоподводов исследователи используют полые [4, 5, 8, 9], единичные [4, 5], наборные [6], токоподводы с магнитной системой [8]. Однако в литературе недостаточно освещены вопросы влияния формы токоподвода на геометрию получаемой поверхности металлического анода. Это является важным для выявления областей технологического применения.

Целью работы являются выявление формы токоподвода на геометрию металлического анода между наборным токоподводом и металлическим анодом, при близких расстояниях между ними. Задачами работы являются: выявление особенностей влияния формы наборного токоподвода на изменение геометрии зоны обработки металлического анода, оценка влияния формы токоподвода на дефекты поверхностного слоя металлического анода.

**Экспериментальная установка**

Опытная экспериментальная установка, с источником питания собранным по схеме Ларионова с бесступенчатой регулировкой напряжения рис. 1. подробно описана в работе [11].

Эксперимент проводился при атмосферном давлении на маркированных образцах размером 45x50x1 мм из меди М1.

На нескольких образцах сформированы искусственные дефекты ударным способом, размеры дефектов 0,3-0,5 мм в сечении и 0,6-0,8 мм по глубине. Оценку размеров дефектов проводили с помощью лупы Бринелля.

В качестве наборных токоподводов использовали короткие отрезки проволоки диаметром 0,8 мм, обжатые кабельным наконечником, подсоединенные к отрицательному полюсу источника питания и помещенные в струйный электролитический катод. Усредненный диаметр наборного токоподвода составил 8 мм.

Использовали три формы наборного токоподвода, с плоским срезом наконечника, с формой наконечника, выполненного в виде, капли с радиусом 4 мм, с формой наконечника, выполненного в форме вогнутой сферы радиусом 4 мм.

Параметры вольт - амперной характеристики фиксировались аналоговыми и цифровыми приборами. Класс точности аналоговых вольтметра и амперметра равен 2,5. Результаты показаний приборов и процесса в эксперименте фиксировались видеозаписью. Съемку образцов в процессе обработки проводили цифровой видеокамерой Canon EOS550D при дневном свете.

В качестве электролитов для образцов из меди М1 использовали раствор сульфата аммония и лимонной кислоты с концентрацией 1,5-5 г/л каждого компонента.

Перед проведением эксперимента электролит нагревался до температуры 80 °С. Поддержание температуры в заданных пределах осуществлялось с помощью термоконтроллера, с точностью измерения 0,1 °С. Скорость потока электролита от капельного режима до струйного фиксировали ротаметром с диапазоном измерения 5 л/ч и точностью 2%.

После закрепления образцов в многоместном приспособлении, производили обработку на пластинах меди по программе станка с ЧПУ с точностью позиционирования полого катодного модуля 0,1 мм в стационарном режиме.

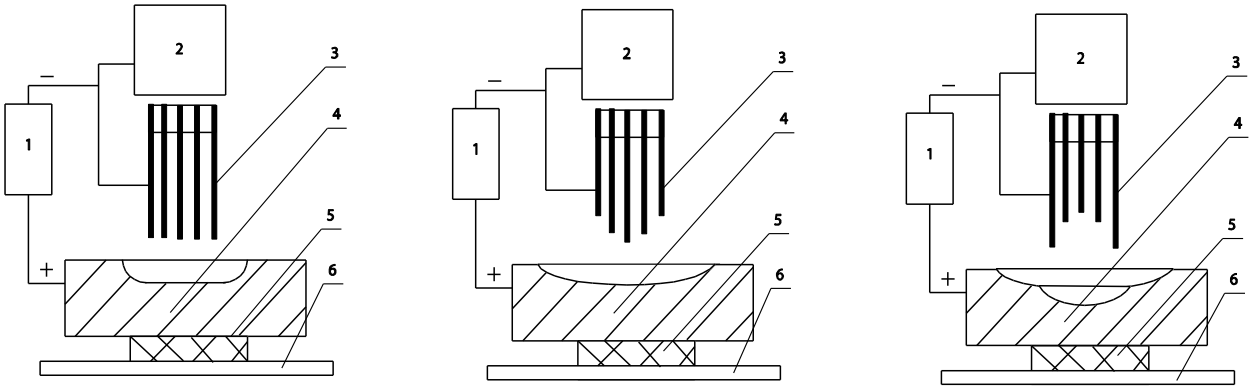
Высота до среза наборного токоподвода составляла от 5 мм.

Напряжение на каждом образце устанавливалось в диапазоне рабочих напряжений 180-375 В. Время воздействия ЭПР на поверхность образцов равнялось 5 мин.

**Результаты эксперимента.**

В результате эксперимента зафиксировано изменение геометрии металлического анода в результате воздействия электролитно-плазменного разряда на его поверхность с разной формой наборного токоподвода. Отмечается, что форма формируемого межэлектродного промежутка значительно влияет как на формирование электролитно-

плазменного разряда, так и на изменение геометрии поверхности материала анода (рис. 1).




a) b) c)

Рис.1. Влияние геометрии наборного токоподвода на геометрию зоны обработки:1-источник питания, 2-трубопровод подачи электролита, 3- наборный токоподвод, 4-металлический анод, 5-изолятор, 6-ванна приема электролита; a) наборный токоподвод с плоским срезом; b) наборный токоподвод в виде капли; c) наборный токоподвод с вогнутым радиусом.

Показано, что минимальное воздействие на поверхность при обработке меди оказывает плоская форма группового токоподвода. При этом фиксируется, что зона обработки на металлическом аноде имеет гладкую ровную поверхность с крутой зоной перехода к основной поверхности.

При обработке наборным токоподводом выполненным в форме капли в зоне обработки фиксируется гладкая поверхность в виде полусферы с плавным переходом к основной поверхности.

Зафиксировано, что при использовании токоподвода выполненного с вогнутым радиусом в зоне обработки формируется две расположенных одна в другой сферических поверхности. При этом глубина центральной сферической зоны сопоставима с глубиной основной сферы. А в отдельных случаях превышает ее.

Проведено исследование по возможности удаления искусственных дефектов с поверхности металлического анода наборным токоподводом выполненным в виде капли. Размеры дефектов с размерной шкалой лупы Бринелля показаны на рис. 2.

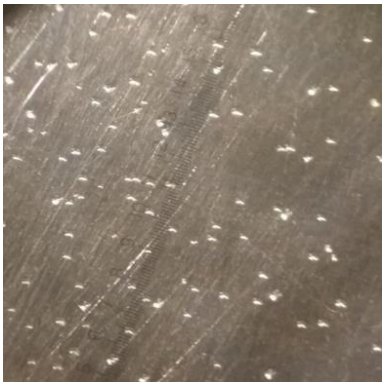


Рис.2. Искусственно сформированные дефекты на металлическом аноде

Зафиксировано, удаление искусственных дефектов с поверхности металлического анода при неподвижном наборном токоподводе. Показано, что при воздействии электролитно-плазменного разряда с медного анода происходит эффективное удаление дефектов поверхностного слоя на глубине 0,6-0,8 мм (рис. 3).

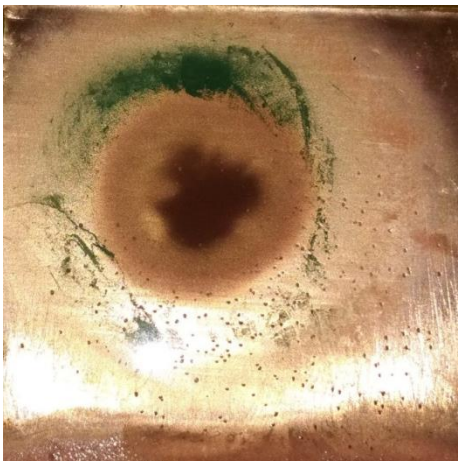


Рис.3. Удаление искусственно созданных дефектов с применением наборного токоподвода в виде капли

**Обсуждение результатов**

В результате полученных результатов экспериментов показано, что геометрия наборного токоподвода значительно влияет на форму зоны обработки, формируемой в металлическом аноде. Это в значительной мере определяет технологические характеристики, которые должны учитываться в процессе обработки. Так обработка наборным токоподводом с плоским срезом токоподвода технологически применима для безразмерной чистовой финишной электролитно-плазменной обработки. Обработка с выпуклой радиусной формой наборного токоподвода может быть применима для размерной получистовой и предварительной обработки поверхности. Обработка с вогнутой радиусной поверхностью может применена для размерной обработки поверхности с большими съемами. Использование наборного токоподвода изготовленного в виде капли, позволяет эффективно проводить очистку поверхности с удалением дефектного слоя с глубиной до 1 мм.

**Список литературы. 1.** Куликов И.С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И.С.Куликов, С.В.Ващенко, А.Я.Каменев; НАН Беларуси, Объединенный ин-т энергетических исследований - Сосны. - Минск: Беларуская навука, 2010. - 232 с. - Библиогр.: с.225-230. - ISBN 978-985-08-1215. **2.** Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. В 2-х томах. **3.** Новиков В.И., Фоломкин А.И. Влияние формы детали на шероховатость ее поверхности после электролитно-плазменного полирования // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – № 4. – С. 1169-1176. ISSN 2223-0807. **4.** Ал. Ф. Гайсин, “Многоканальный разряд между проточным электролитическим катодом и металлическим анодом при атмосферном давлении”, *TBT*, 44:3 (2006), 343–348; *HighTemperature*, 44:3 (2006), 336–341. **5.** Ал. Ф. Гайсин, Р. Ш. Басыров, Э. Е. Сон,

“Модель тлеющего разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом”, *ТВТ*, 53:2 (2015), 193–197. **6.** Попов А.И., Тюхтяев М.И., Радкевич М.М., Новиков В.И Анализ тепловых явлений при струйной фокусированной электролитно-плазменной обработке // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2016. - № 4 (254). - С. 141-150: с. 148-149. ISSN 1994-2354. **7.** Попов А.И., Тюхтяев М.И., Радкевич М.М., Новиков В.И., Кудрявцев В.Н. Технология струйной фокусированной электролитно-плазменной обработки / Современное машиностроение: наука и образование**:** материалы 5-й Международной научно-практической конференции // под ред. А.Н.Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 1445 с. **8.** Новоселов М.В., Шиллинг Н.Г., Рудавин А.А., Радкевич М.М., Попов А.И. Оценка возможности полирования нержавеющих сталей струйной электролитно- плазменной обработкой Вестник ПНИПУ, №1 04.2018, Пермь, стр. 95. **9.** Н.Г. Шиллинг, А.А. Рудавин, М.В. Новоселов, А.И. Попов Оценка возможности полирования нержавеющих сталей струйной электолитно -плазменной обработкой Научное издание ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ Международная научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов 12–13 декабря 2017 г. **10.** Новоселов М.В., Шиллинг Н.Г., Рудавин А.А., Киракасян М., Попов А.И. Полирование медных электрод-инструментов струйной электролитно-плазменной обработкой Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Роль технических наук в жизни общества» г. Кемерово 18 марта 2018г. **11.** Пат. 2623555 Российская Федерация, МПК C25F7/00 Установка для электролитно-плазменной обработки турбинных лопаток / Попов А.И., Радкевич М.М., Кудрявцев В.Н., Захаров С.В., Кузьмичев И.С. - № 2016120180, заявл. 24.05.2016, опубл.27.06.2017, Бюл. № 18

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАГРУЗКИ ШТУЧНЫХ ЗАГОТОВОК В ТРУДАХ ТУЛЬСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

***(к 70-летию Тульской научной школы автоматизации)***

**Прейс В.В., Усенко Н.А.** *(ТулГУ, г. Тула, Россия)*
*Тел. +7 (4872) 734493; E-mail: rabota-preys@yandex.ru*

***Abstract:*** *The seventy-year period of development of Tula scientific school of automation, which arose on the basis of cartridge-sleeve production, and is reflected in the scientific works of its creators, students and followers is considered.*
***Key words:*** *automation, work piece, mechanical hopper feeding device, vibration hopper feeding device, automatic rotor line, cartridge-sleeve manufacture.*

В середине сороковых годов прошлого века по заданию Наркомата вооружений СССР на кафедре «Оборудование патронно-гильзового производства» Тульского механического института под руководством заведующего кафедрой В.Ф. Прейса были развернуты масштабные теоретические и экспериментальные исследования механических бункерных загрузочных устройств для автоматической загрузки элементов патронов стрелкового оружия в прессы-автоматы и автоматические линии.

Результаты научных исследований легли в основу кандидатской диссертации В.Ф. Прейса на тему «Основы методики проектирования крючковых и карманчиковых

автоматов питания и их экспериментальное исследование», которую он защитил в 1948 году в стенах МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Кандидатская диссертация В.Ф. Прейса была на тот момент первой и единственной в мировой практике комплексной научно-исследовательской работой, в которой были заложены теоретические основы и разработана научная методика расчета и проектирования механических бункерных загрузочных устройств, базировавшиеся на положениях классической механики. В диссертации впервые были введены понятия о вероятности захвата штучных заготовок захватывающими органами и коэффициенте выдачи; разработаны начала теории захвата заготовок захватывающими органами и теории выдачи заготовок из захватывающих органов; разработана методика экспериментального исследования бункерных загрузочных устройств и даны основные формулы для расчета их теоретической и фактической производительности.

В 1955 году в издательстве «Машгиз» (г. Москва) вышли в свет две монографии: совместная монография А.Н. Малова и В.Ф. Прейса «Механизация и автоматизация штамповочных работ» и 2-е издание монографии А.Н. Малова «Автоматическая загрузка металлорежущих станков», в которых были опубликованы основные теоретические положения, разработанные В.Ф. Прейсом по расчету и проектированию механических бункерных загрузочных устройств для элементов патронов стрелкового оружия.

В период 1948-1960 годов под научным руководством В.Ф. Прейса и его непосредственном участии были проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования практически всего типажа бункерных загрузочных устройств (дисковых, лопастных, барабанных и др.) для элементов патронов стрелкового оружия, результаты которых были опубликованы в трудах Тульского механического института.

За большую научную и пропагандистскую деятельность президиум правления Тульского областного научно-технического общества машиностроительной промышленности присудил В.Ф. Прейсу в 1961 году премию имени оружейника С.И. Мосина за работу «Вопросы теории автоматических загрузочно-ориентирующих устройств».

Весной 1962 года Центральным бюро технической информации (ЦБТИ) Тульского совета народного хозяйства был издан сборник «Автоматические роторные линии (исследование, расчет, проектирование)» под редакцией В.Ф. Прейса, в который вошли статьи сотрудников и аспирантов руководимой им кафедры, обобщавшие результаты многолетних теоретических и экспериментальных исследований в области расчета и проектирования автоматических роторных линий и технических средств для автоматической загрузки штучных заготовок.

В октябре 1962 года в г. Туле по инициативе В.Ф. Прейса прошла межобластная научно-производственная конференция по промышленному применению средств автоматической загрузки и межоперационного транспорта, организованная Тульским механическим институтом совместно с ЦБТИ Приокского совета народного хозяйства и с Тульским областным отделением научно-технического общества машиностроительной промышленности. По результатам работы конференции ЦБТИ был издан сборник «Средства автоматической загрузки и межоперационного транспорта машин-автоматов и автоматических линий» под редакцией В.Ф. Прейса и И.А. Клусова, в котором были опубликованы статьи ученых и производственников городов: Тулы, Москвы, Ленинграда, Львова, Харькова, Севастополя, Киева, Одессы, Риги, Новосибирска, Климовска.

В этом же году в Ученом совете Московского станкоинструментального института В.Ф. Прейс защитил докторскую диссертацию на тему «Основы теории бункерных загрузочных устройств для захвата и ориентации заготовок в автоматах и автоматических линиях штамповочного производства».

Впервые в мировой практике В.Ф. Прейсом были разработаны научные основы расчета, проектирования и исследования механических бункерных загрузочных устройств, включавшие ряд фундаментальных теоретических положений: теорию подготовки заготовок к захвату, теорию захвата заготовок захватывающими органами, теорию ориентации и переориентации заготовок, теорию выдачи заготовок в приемники. Научные положения, разработанные в рамках диссертационной работы, базировались на классических методах теоретической механики, теории механизмов и машин, теории производительности машин-автоматов и обширных экспериментальных исследованиях большого типажа механических бункерных загрузочных устройств для элементов патронов стрелкового оружия.

В конце 50-х годов прошлого века в зарубежной печати появилась информация о вибрационных загрузочных устройствах. В.Ф. Прейс, обладая развитой инженерной интуицией и широким научным кругозором, обратил внимание на автоматические загрузочные устройства нового типа. Развивать это перспективное научное направление он поручил своему молодому ученику Н.А. Усенко, который в 1967 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование вибрационных загрузочных устройств с электромагнитным приводом».

В начале 60-х годов XX века в СССР окончательно сформировалось отечественное научное направление в области теории автоматической загрузки штучных заготовок, объединившее научные школы МВТУ им. Н.Э. Баумана (А.Н. Малов, Н.И. Камышный), Тульского политехнического института (В.Ф. Прейс), Львовского политехнического института (М.В. Медвидь, В.А. Повидайло) и Севастопольского приборостроительного института (А.Н. Рабинович, Н.И. Шерешевский).

В эти годы кафедра, руководимая В.Ф. Прейсом, стала подлинным научным центром по общим проблемам автоматизации производства, и в первую очередь, вопросам автоматической загрузки штучных заготовок в технологические машины-автоматы и автоматические линии. На кафедре получили поддержку новые научные направления в области автоматической загрузки сложных объемных и плоских заготовок с асимметрией формы и физических свойств, основанные на использовании электромагнитных полей (Б.А. Иоффе, Институт физики Латвийского отделения АН СССР, г. Рига); А.Н. Лихачев, НИИ технологии и организации производства, г. Горький), пневмовихревых и пневмоструйных методов (А.А. Иванов, НИИ технологии и организации производства, г. Горький; А.Г. Неизвестных, Севастопольский приборостроительный институт); фотоэлектрических методов (Ю.Л. Маткин, Е.А. Грудзин, Тульский политехнический институт); методов программного управления (В.А. Шабайкович, Львовский политехнический институт).

После проведения в Тульском политехническом институте на базе кафедры, руководимой В.Ф. Прейсом, целого ряда Всесоюзных, республиканских, отраслевых и областных конференций по проблемным вопросам комплексной автоматизации технологических процессов и производств И.И. Артоболевский, академик Академии наук СССР (АН СССР), предложил создать Тульский филиал научного семинара АН по основным проблемам теории механизмов и машин. С 1971 по 1973 год работу Тульского филиала научного семинара АН СССР возглавлял В.Ф. Прейс.

Это было действительным признанием ведущей роли сложившейся под руководством В.Ф. Прейса Тульской научной школы автоматизации.

В 1975 году уже после смерти В.Ф. Прейса его учениками и соавторами была закончена и выпущена в издательстве «Машиностроение» монография «Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками» [1], в которой наиболее полно была изложена научная концепция В.Ф. Прейса и обобщены результаты многолетних работ Тульской научной школы автоматизации в области теории, расчета и проектирования механических и вибрационных бункерных загрузочных устройств для штучных заготовок.

Бурное развитие в конце 70-х годов XX века технологических систем на базе роторных машин, создаваемых в Конструкторском бюро автоматических линий (КБАЛ) под руководством академика АН СССР Л.Н. Кошкина, привело к появлению роторных систем автоматической загрузки штучных заготовок.

Первые кандидатские диссертации по этой тематике были защищены в стенах Тульского политехнического института аспирантами кафедры, ранее руководимой В.Ф. Прейсом, сотрудниками КБАЛ: Г.В. Комаровым (1974 год) и Ф.М. Сахаровым (1975 год).

В 1983 году В.В. Прейс (в то время ведущий конструктор КБАЛ) защитил кандидатскую диссертацию в Центральном научно-исследовательском технологическом институте Министерства оборонной промышленности СССР (г. Москва) по исследованию роторных систем автоматической загрузки для элементов патронов стрелкового оружия, имеющих в своей структуре бункерные загрузочные устройства с вращающимися воронками и гравитационные или механические ориентаторы.

В 1984 году Н.А. Усенко в стенах Тульского политехнического института защитил докторскую диссертацию на тему «Основы проектирования высокопроизводительных автоматических загрузочных устройств штучных заготовок» (1984 г.), в которой впервые были представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований нового перспективного класса автоматических загрузочных устройств – вибрационно-роторных.

В 1984 году Н.А. Усенко и И.С. Бляхеров в издательстве «Машиностроение» выпустили монографию «Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства» [2], в которой наряду с авторскими результатами теоретических и экспериментальных исследований механических и вибрационных бункерных загрузочных устройств были представлены результатами теоретических исследований и вибрационно-роторных загрузочных устройств.

В 1990 году большим коллективом учеников и последователей В.Ф. Прейса (И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, А.А. Иванов, И.А. Клусов, Г.В. Комаров, Ю.Л. Маткин, А.Ю. Махлин, В.А. Поляков, В.В. Прейс, Н.А. Усенко, Б.И. Черпаков, В.С. Шаршов) в издательстве «Машиностроение» был издан справочник «Автоматическая загрузка технологических машин» [3], в котором результаты исследований авторов в области автоматической загрузки штучных заготовок были обобщены до практических рекомендаций и инженерных методик проектирования технических средств и систем автоматической загрузки штучных заготовок в технологические машины-автоматы и автоматические линии на основе как стационарных, так и роторных, механических и вибрационных бункерных загрузочных устройств.

В 1997 году В.В. Прейс уже в Тульском государственном университете защитил докторскую диссертацию на тему «Теория и проектирование роторных систем

автоматической загрузки», в которой теория роторных систем автоматической загрузки впервые была представлена как комплексная научная проблема, включающая совокупное рассмотрение их структур и функций, производительности и надежности во взаимосвязи с параметрами функциональных устройств и загружаемых штучных заготовок.

В последнее десятилетие научные положения, разработанные в рамках Тульской научной школы автоматизации, зародившейся семь десятилетий назад на базе патронно-гильзового производства, получают новое развитие в работах учеников В.В. Прейса и Н.А. Усенко [4 - 11]. Результаты многолетних теоретических и экспериментальных исследований механических и вибрационных БЗУ положены в основу учебных пособий, рекомендованных УМО вузов по университетскому политехническому образованию для подготовки специалистов в профильных вузах, в первую очередь для оборонно-промышленного комплекса России [12, 13].

**Список литературы: 1.** Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс, И.С. Бляхеров, В.В. Прейс, Н.А. Усенко. - М.: Машиностроение, 1975. - 280 с. **2.** Усенко Н.А., Бляхеров И.С. Автоматическое загрузочно-ориентирующие устройства. - М.: Машиностроение, 1984. - 112 с. **3.** Автоматическая загрузка технологических машин: справочник / И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, А.А. Иванов и др.; под общ. ред. И.А. Клусова. - М.: Машиностроение, 1990. - 400 с. **4.** Прейс В.В., Галонска М.К. Бункерные загрузочные устройства с вращающимися воронками криволинейного профиля / Под ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. - 128 с. **5.** Давыдова Е.В., Прейс В.В. Автоматическая загрузка стрежневых предметов обработки с неявно выраженной асимметрией по торцам; под ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. - 112 с. **6.** Роторные ориентирующие устройства с гравитационными ориентаторами / А.Г. Астраханцев [и др.]; под науч. ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. - 124 с. **7.** Ионов А.О, Прейс В.В. Роторные бункерные загрузочные устройства с вращающимися воронками для тонких стержневых предметов обработки; под науч. ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – 100 с. **8.** Давыдова Е.В., Прейс В.В. Механические бункерные загрузочные устройства в пищевой промышленности; под науч. ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. - 168 с. **9.** Гравитационные ориентаторы с маятниковым L-образным захватом в роторных ориентирующих устройствах / И.Н. Пахомов [и др.]; под науч. ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. - 100 с. **10.** Гравитационные ориентаторы в роторных системах автоматической загрузки технологических роторных машин / Астраханцев А.Г. [и др.]; под науч. ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. - 184 с. **11.** Галонска М.К., Ионов А.О., Прейс В.В. Бункерные загрузочные устройства с вращающимися воронками; под науч. ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. - 224 с. **12.** Прейс В.В., Усенко Н.А., Давыдова Е.В. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства. Ч. 1. Механические бункерные загрузочные устройства: учеб. пособие; под ред. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. - 125 с. **13.** Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы: учебное пособие / Н.А. Усенко, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Е.С. Бочарова; под ред. проф. В.В. Прейса. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. - 310 с.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВЫСОКОТОЧНЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ

**Прокофьев А.Н., Польский Е.А., СорокинС.В., Звягинцев Ф.Д., Прыткова Е.С.**
*(ФГБОУ ВО «БГТУ», г. Брянск, Российская Федерация)*

***Abstract:*** *The technique of technological support of the required reliability parameters of assembly units is considered with consideration for the analysis of the change in the parameters of the accuracy of the functional dimensions at the operation stages. Recommendations for correcting tolerances and limiting deviations in the dimensions of the contacting surfaces of the details of assembly units are given, taking into account their formation at the stages of machining.*

***Key words:*** *dimensional analysis, surface quality, technological support of operational properties.*

В настоящее время в рамках этапов разработки и постановки продукции на производство требуется параллельная разработка документации при выполнении мероприятий конструкторско-технологической подготовки производства и создания единых конструкторско-технологических отделов. В результате создаются предпосылки реализации нового принципа проектирования – технологического обеспечения требуемых эксплуатационных показателей высокотехнологичных сборочных узлов и их надежности при одновременном проектировании технологии механической обработки с уточнением параметров сборки. Такой подход к этапам проектирования для обеспечения точности конструкций предполагает управление точностью непосредственно элементами разрабатываемых технологических процессов изготовления и сборки. Такое проектирование актуально при любом типе производства и любой сложности технического проекта. Наибольший эффект, как показывает опыт внедрения автоматизированных подсистем, обеспечивается при непрерывной компьютерной поддержки основных этапов жизненного цикла (CALS-технологии) [1, 2, 3].

Статья посвящена анализу внедрения результатов исследования для различных типов объектов:

- высокоточные сборочные единицы с замыкающим звеном, имеющим малый допуск (погрешность совпадения образующих конусов зубчатого конического зацепления);
- сборочные единицы с высоким процентом слесарных доводочных работ и малым допуском взаимного расположения отдельных конструктивных элементов (вырубные штампы);
- сборочные единицы высокотехнологичных, высокоточных изделий, собираемые из покупных узлов и отдельных деталей, обеспечивающих их взаимное положение (узлы оборудования).

Приведем описание порядка работы разработанного программного комплекса расчета размерных цепей конструкций машин с возможностью учета погрешностей эксплуатации.

Начальное окно ввода размерной цепи представляет собой таблицу с указанием параметров, характерным для всех типов размеров. Основной особенностью первого этапа ввода данных является возможность их динамического редактирования с автоматическим изменением результатов анализа.

Для эксплуатационных размеров необходимо использовать дополнительное окно ввода информации, которое открывается при выборе типа размера.

Здесь выбирается тип эксплуатационного размера: износ или контактные деформации. После этого производится выбор типа контакта в сопряжении. Информацию о допуске звена можно задать 3 способами:

1) эксплуатационное свойство (соответствует $k_{внут}$), и коэффициенты $k_{Тэк}$ , $k_{внеш}$ , $k_д$;

2) непосредственно допуск и эксплуатационное свойство (допуск используется для расчетов размерной цепи, эксплуатационное свойство – для вывода в отчет);

3) использование встроенных моделей.

Также можно использовать эти модели для расчета допуска эксплуатационного звена, после чего задавать размер вторым способом (для известных размеров).

Так как эксплуатационные размеры чаще всего имеют номинальный размер равный нулю, то для задания направления этого размера может быть использована панель «Направления размера», где можно выбрать 3 варианта:

1) в направлении предыдущего;

2) в противоположном направлении;

3) указать самостоятельно, для чего задаются три координаты вектора направления (размер вектора не важен).

В случае выбора соответствующих типов контакта становятся доступными позиции для задания угловых эксплуатационных размеров. Возможны две схемы.

1. Рекомендуется при расчете линейных размерных цепей (при задании размеров используется только позиция «*x*») или в том случае, когда задание направления угловых износов не имеет значение.

2. Указать самостоятельно. В этом случае задается плоскость 1-го углового размера. Она проходит через линейный эксплуатационный размер и дополнительный вектор, задаваемый пользователем. Второй угловой эксплуатационный размер располагается в перпендикулярной плоскости.

Система в состоянии отсеивать многие ошибки ввода, что повышает удобство работы. После запуска расчета открывается окно «Коэффициенты передаточных отношений». На этом этапе выводятся рассчитанные параметры составляющих размеров, а также вводится необходимая информация для выполнения следующего этапа расчета «Оптимизация». В частности весовые коэффициенты, позволяющие оказывать дополнительное влияние на расчет допусков и эксплуатационных свойств при решении прямой задачи.

После выполнения всех расчетов результаты выводятся в виде информации по передаточным коэффициентам, номинальным размерам, допускам и отклонениям, а также по эксплуатационным свойствам.

Наиболее точным размером на детали «Штырь» Ш-КЦ-2003 ДКО является $1{,}59_{-0{,}05}$. По данным конструкторской документации он формируется следующей размерной цепью (рис. 1).

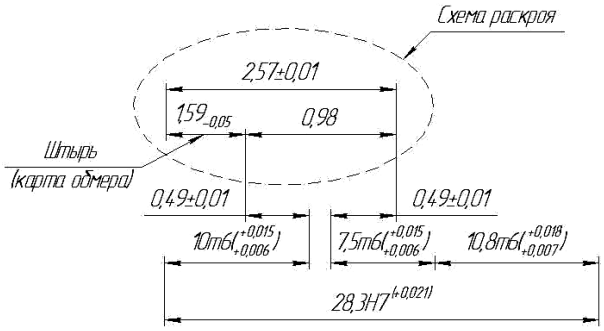



Рис. 1. Размерная цепь

Здесь размер 2,57±0,01 определяет точность перемещения ленты в штампе, остальные размеры точность линейных размеров вставок, из которых формируется матрица. Из схемы видно, что требуемой точность размера $1{,}59_{-0{,}05}$ наиболее технологично обеспечивать пригонкой боковой поверхности вставок. В данной размерной цепи не требуется учитывать износ кромок матрицы, так как затупление не допускается при штамповке тонколистых материалов (менее 0,6 мм).

Выбрав один из размеров 0,49 (либо вставки «Ш-КЦ-2003-1-2», либо «Ш-КЦ-2003-1-3») в качестве звена пригонки, выполним перерасчет его отклонений с учетом необходимого припуска под шлифование. Значения отклонений оставляем прежними, т.к. они являются экономически оправданными.

В результате получим:

- допуск замыкающего звена $T_{\Delta p}$:
-

$$T_{\Delta p} = 0{,}02 + 0{,}009 + 0{,}021 + 0{,}011 + 0{,}009 + 0{,}02 + 0{,}02 = 0{,}11 мм;$$

- величина необходимой компенсации:

$$\delta_K = T_{\Delta p} - T_{\Delta} = 0{,}11 - 0{,}05 = 0{,}06 мм;$$

- расчет координаты середины поля допуска замыкающего звена для принятых значений размеров цепи:

$$\Delta_{0\Delta p} = -0 + 0{,}+00105 - 0{,}0105 + 0{,}0125 + 0{,}0105 - 0 + 0 = 0{,}023 мм;$$

- при выполнении компенсационного звена методом пригонки необходимо расположить его поле допуска таким образом, чтобы обеспечить достаточную величину припуска под механическую обработку, поэтому требуется определить середину поля допуска размера. Размер-компенсатор уменьшающий, а его величина при пригонке увеличивается, следовательно, его середина поля допуска определяется как

$$\Delta_{0_K} = \Delta_{0_{Kp}} + \frac{\Delta_{0_\Delta} - \Delta_{0_{\Delta p}} + 0{,}5(\beta - 1)T_\Delta}{c_K} = 0 + \frac{-0{,}025 - 0{,}023 + 0{,}5 * 0{,}06}{-1} = 0{,}018 мм .$$

Здесь $\Delta_{0_{Kp}}$ - принятая для расчета середина поля допуска звена компенсации; $\Delta_{0\Delta}$ - необходимая по чертежу середина поля допуска замыкающего звена (размер $1{,}59_{-0{,}05}$);

величина $(\beta-1)T_{\Delta}$ соответствует $\delta_K$; $c_K$ – коэффициент передаточного отношения звена компенсации.

Таким образом, на рабочем чертеже вставки для размера 0,49 необходимы следующие отклонения – $0{,}49^{0{,}028}_{0{,}008}$мм.

Вторая цепь обеспечивает необходимую величину зазора в сопряжении матрица-пуансон. Размерная цепь показана на рис. 2.

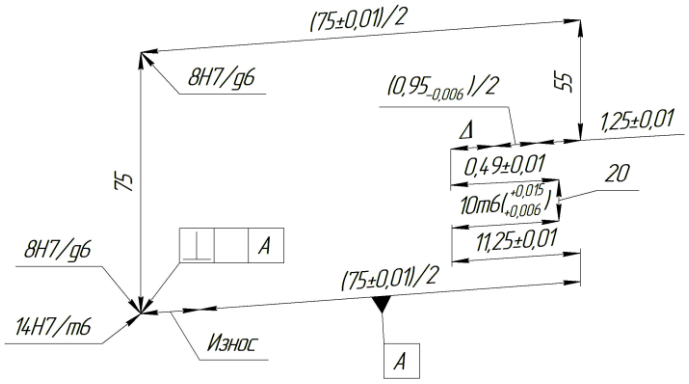



Рис. 2. Размерная цепь 2

Величина замыкающего в соответствии с техническим заданием определяется как двусторонний зазор равный (0,1…0,15)S, т.е. для толщины листа в 0,5мм необходим зазор $0{,}05^{+0{,}025}$мм или на сторону $0{,}02^{+0{,}0175}_{+0{,}0050}$мм. Размерная цепь включает большое количество составляющих звеньев, поэтому точность указанного замыкающего звена может быть обеспечена только с помощью пригонки пуансона по матрице.

В качестве звена компенсатора был выбран размер 0,95 пуансона Ш-КЦ-2003-8 (его половина), который может быть получен шлифованием. Так в процессе расчета выполнялся учет изнашивания в процессе эксплуатации сопряжений втулки-колонки, возможности получения зазора в сопряжениях с посадками H7/m6 и неперпендикулярности отверстий матрицы к плоскости А.

Для автоматизации расчетов использовался программный комплекс, разработанный в БГТУ. Ниже приведены основные этапы расчетов.

Используя полученные результаты после коррекции значений допусков, было вычислено необходимое значение износостойкости *I* сопряжения.

$$I = k \cdot p = 4.97 \cdot 10^{-9} \cdot 20{,}9 = 0{,}104 \frac{мкм}{км} = 1{,}04 \cdot 10^{-7}.$$

Здесь *k* – рассчитанное значение удельной износостойкости поверхностей сопряжения; *p* – величина давления в сопряжении.

Предложена концепция автоматизированной подсистемы технологической подготовки производства, обеспечивающая определение конструктивных размеров и корректировку точности функциональных размеров отдельных деталей по критериям повышения технологичности конструкции при оптимизации простановки технологических размеров для различных вариантов реализации операций механической обработки. По критериям минимизации припуска и (или) минимуму рабочих ходов оптимизируется РТА при различных схемах простановки операционных размеров.

**Список литературы: 1.** Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение. 2008. – 320 с.: ил. **2.** Польский, Е.А. Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации / Е.А. Польский, Д.М. Филькин // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2014. - №11 (41). С. 36-44. **3.** Суслов, А.Г. Наукоемкая технология повышения качества сборочных единиц машин на этапах жизненного цикла / А.Г. Суслов, О.Н. Федонин, Е.А. Польский // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2016. - №5 (59). С 34 – 42. **4.** Польский, Е.А. Технологическое обеспечение точности и качества поверхностей деталей машин при проектировании маршрутно-операционного технологического процесса методом синтеза на основе анализа размерных связей / Е.А. Польский // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2016. - №10 (64). С 39 – 48.

## УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТОГО ТРУБОПРОВОДА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

**Радин В.П., Чирков В.П., Щугорев В.Н., Щугорев А.В.**
(*НИУ МЭИ, г. Москва, Россия,*),
E-mail: Shchugorev.VN@gmail.com

***Abstract***: the Problem of stability of rectilinear form of equilibrium of pipeline flowing through it liquid was solved in the middle of the last century Paidoussis M. P. [1] V. I. feodos'ev [2]. The main result of solving this problem is a curve corresponding to the flutter boundary (dynamic type of loss of stability [3]) on the plane: the relative mass of the liquid  the flow parameter or the rate of flow of the liquid. In this paper, we investigate the stability of the pipeline section associated with the elastic base and compressed potential force. The aim of this work - the construction of the border region of stability of the system in the parameter plane of loading
***Key Words:*** Sustainability, duct dynamic loss of stability, the boundary of the stability region

Для решения неконсервативных задач теории упругой устойчивости, к которым относится и указанная задача широко применяется динамический метод исследования устойчивости в сочетании с методом разложения решения уравнения возмущенного движения в ряды по формам собственных колебаний [3]. В работе [4] рассматривается задача об устойчивости участка трубопровода, связанного с упругим основанием. Здесь уравнение возмущенного движения получено с применением метода конечных элементов. Родственная задача, но уже для неоднородного упругого основания рассмотрена в работе [5], для решения которой также применялся метод конечных элементов. Из неконсервативных задач устойчивости системы, связанной с упругим основнием можно также отметить статью [6], где рассматривается устойчивость консольного стержня на упругом основании при действии следящей силы.

Рассмотрим прямолинейный участок трубопровода, наполненный невязкой жидкостью, которая движется с невозмущенной скоростью $v$. Трубопровод связан с упругим основанием с линейной жесткостью $c$ и сжат потенциальной силой $P$. Расчетную схему трубопровода представим в виде стержня с изгибной жесткостью $EI$, погонной массой $m_0$ и длиной $l$. Пусть один конец стержня жестко защемлен в заделке, а другой свободен от закреплений (рис. 1).

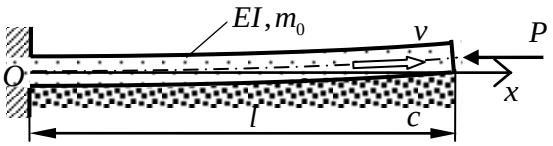



Рис. 1. Участок трубопровода, сжатый потенциальной силой

Плотность протекающей жидкости обозначим через $m$, а перемещения сечений стержня при отклонениях от прямолинейной формы равновесия – через $w(x,t)$. Введем безразмерные параметры

$$\xi = \frac{x}{l},\ \tau = \omega_0 t,\ \omega_0 = \frac{1}{l^2}\sqrt{\frac{EI}{m_0+m}},\ \mu = \frac{m}{m_0+m},\ \alpha = v\sqrt{\frac{ml^2}{EI}},\ \gamma = \frac{cl^4}{EI},\ p = \frac{Pl^2}{EI}. \tag{1}$$

Тогда уравнение малых колебаний около невозмущенной формы равновесия $w \equiv 0$ и соответствующие граничные условия можно записать в виде

$$\frac{\partial^4 w}{\partial \xi^4} + \frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2} + 2\alpha\sqrt{\mu}\frac{\partial^2 w}{\partial \xi \partial \tau} + \left(p+\alpha^2\right)\frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} + \gamma w = 0; \tag{2}$$

$$w = \frac{\partial w}{\partial \xi} = 0,\quad (\xi = 0),\qquad \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} = 0,\quad \frac{\partial^3 w}{\partial \xi^3} + p\frac{\partial w}{\partial \xi} = 0,\quad (\xi = 1). \tag{3}$$

За варьируемые параметры, в зависимости от величины которых, будем исследовать устойчивость системы будем считать $\alpha -$параметр, характеризующий расход и, соответственно, скорость протекания жидкости, $\mu -$относительную погонную массу жидкости, а также сжимающую нагрузку $p$.

Для применения метода разложения решения в ряд по формам собственных колебаний уберем из граничных условий (3) параметр потенциальной силы $p$ и с помощью $\delta -$функции введем его проекцию в дифференциальное уравнение (2). Тогда придем к уравнению возмущенного движения вида

$$\frac{\partial^4 w}{\partial \xi^4} + \frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2} + 2\alpha\sqrt{\mu}\frac{\partial^2 w}{\partial \xi \partial \tau} + \left(p+\alpha^2\right)\frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} - q\frac{\partial w}{\partial \xi}\delta(\xi - 1) + \gamma w = 0; \tag{4}$$

с однородными граничными условиями. Представим решение $w(\xi,\tau)$ уравнения (4) в виде ряда по формам собственных колебаний

$$w(\xi,\tau) = \sum_{k=1}^{n} q_k(\tau)\varphi_k(\xi). \tag{5}$$

где $q_k(\tau) -$обобщенные координаты, $\varphi_k(\xi) -$формы собственных колебаний консольного стержня, $n -$ число удерживаемых членов ряда.

Применим к уравнению возмущенного движения процедуру метода Бубнова-Галеркина. Для этого подставим в уравнение (4) разложение (5). Затем поочередно умножим полученное уравнение на каждую собственную форму $\varphi_k(\xi)$ $(k = 1, 2, \ldots, n)$ и проинтегрируем полученные выражения по $\xi$ от 0 до 1. В результате придем к системе обыкновенных дифференциальных уравнений относительно обобщенных координат $q_k(\tau)$. Матричную форму этой системы можно записать в виде

$$\mathbf{A}\ddot{\mathbf{q}} + 2\alpha\sqrt{\mu}\,\mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} + \left[\mathbf{C} + \gamma\mathbf{A} + \left(p + \alpha^2\right)\mathbf{D} - p\mathbf{B1}\right]\mathbf{q} = 0. \qquad (6)$$

Матрицы $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}$ и $\mathbf{B1}$ размерностью $n \times n$, входящие в уравнение (6), вычисляются как интегралы от произведения функций $\varphi_k(\xi)$ и их производных

Представим вектор обобщенных координат в виде $\mathbf{q}(\tau) = \mathbf{q}_0 \exp(\lambda\tau)$ и, подставляя это выражение в уравнение (6) относительно характеристических показателей $\lambda$ получим алгебраическую проблему собственных значений в виде матричного полинома

$$\mathbf{A}\lambda^2 + 2\alpha\sqrt{\mu}\,\mathbf{B}\lambda + \mathbf{C} + \gamma\mathbf{A} + \left(p + \alpha^2\right)\mathbf{D} - q\mathbf{B1} = 0, \qquad (7)$$

Для исследования устойчивости рассматриваемой системы применим критерий Рауса-Гурвица, которую составим из коэффициентов характеристического полинома матрицы $\mathbf{G}$:

$$\mathbf{G} = \begin{Vmatrix} \mathbf{O} & \mathbf{E} \\ -\mathbf{A}^{-1}\left[\mathbf{C} + \gamma\mathbf{A} + \left(p + \alpha^2\right)\mathbf{D} - q\mathbf{B1}\right] & -\mathbf{A}^{-1}2\alpha\sqrt{\mu}\,\mathbf{B} \end{Vmatrix}.$$

где $\mathbf{O}$ и $\mathbf{E}$ – нулевая и единичная матрицы размерностью $n \times n$. Матрица $\mathbf{G}$ есть результат преобразования уравнения (6) к нормальной форме Коши.

Равенства нулю главного минора матрицы Гурвица порядка $2n-1$, т.е. $\Delta_{2n-1} = 0$ определяет границу области флаттера в пространстве параметров нагружения. Граница области дивергенции может быть определена из условия равенства нулю определителя матрицы Гурвица или, что, то же самое, равенства нулю свободного члена характеристического полинома $b_0 = 0$. Таким образом, могут быть построены границы области устойчивости. Точность построения границ области устойчивости методом нормальных координат зависит от числа удерживаемых членов в разложении (5). Как показали исследования [7] достаточно точно границы области устойчивости можно построить с удержанием восьми членов ряда. Матрица Гурвица при этом имеет шестнадцатый порядок.

На рис. 2 представлена так называемая кривая Пайдуссиса $\alpha_*(\mu)$, представляющая собой границу области устойчивости на плоскости $\mu, \alpha$. Для ее построения в уравнении (6) нужно положить $\gamma = 0$ и $p = 0$. Особенностью кривой является тот факт, что при $\mu = 0$ она берет начало в точке $A$ при $\alpha = \sqrt{20,05} = 4,48$, где значение 20,05 есть решение задачи Бека – т.е. критическое значение безразмерной следящей силы $Pl^2 / EI$ для консольного стержня при отсутствии диссипативных сил. Сколь угодно малое значение параметра $\mu$ скачкообразно снижает $\alpha$ до 4,2. Особенностью кривой $\alpha_*(\mu)$ является ее немонотонность. Задача об определени критического значения потенциальной силой для стержня, связанного с упругим основанием, может быть решена статическим методом (методом Эйлера).

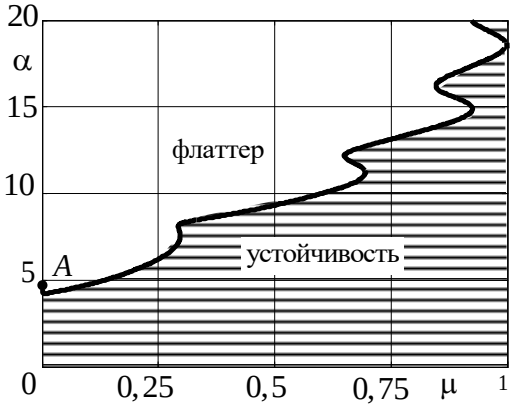



Рис. 2. Кривая Пайдуссиса

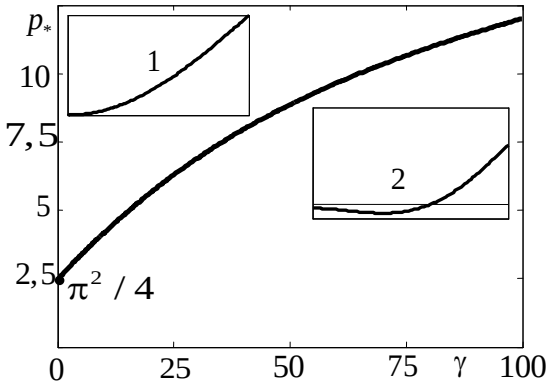



Рис. 3. Зависимость критической силы о жесткости упругого основания

В данной работе она решена динамическим методом. Для этого в уравнении (6) приравнивались нулю параметры гидродинамического воздействия на трубопровод. Зависимость критического значения консольного стержня ("сухого трубопровода") на упругом основании как функция жесткости упругого основания $p_*(\gamma)$ представлена на рис. 3. Здесь же представлены формы квазистатической потери устойчивости, полученные решением однородной краевой задачи после определения соответствующей пары значений $\gamma$ и $p_*$. Начальное значение кривой $p_*(\gamma)$ равно известному значению $\pi^2/4$. Сравнение форм потери устойчивости 1 ($\gamma = 5$) и 2, построенная для $\gamma = 95$ показывают усложнение формы потери устойчивости с ростом жесткости $\gamma$.

Пусть теперь трубопровод с протекающей жидкостью подвергается сжатию потенциальной силой $p$. В этом случае естественно ожидать при определенных условиях потерю системы по типу дивергенция.

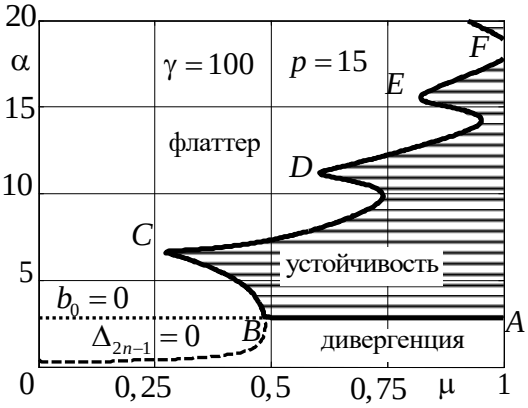



Рис. 5. Границы области устойчивости при $\gamma = 10$

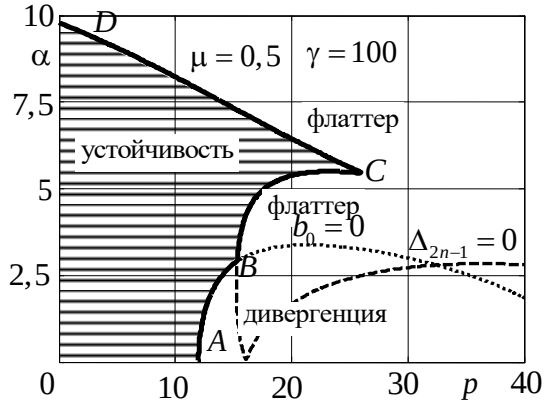



Рис. 6. Границы области устойчивости при $\gamma = 100$

Невысокие значения сжимающей силы, меньше чем определяемая кривой , несколько снижают кривую Пайдуссиса, которая как и прежде отделяет область устойчивости от

области флаттера. Если при определенном значении $\gamma$ сжимающая сила $p$ больше, чем ее критическое значение, то граница области устойчивости состоит из двух частей: граница дивергенции $AB$, определяемая из условия $b_0 = 0$ и граница флаттера $BCDEF$, которая строится из условия $\Delta_{2n-1} = 0$. График на рис. 4 построен для случая $p = 15$ и $\gamma = 100$. Граница дивергенции параллельна оси ординат, демонстрируя тем самым независимосить от параметра относительной массы $\mu$. Ординаты точек границы дивергенции определяются стабилизирующим влиянием скоростного потока жидкости, а именно значением параметра $\alpha$, определяющим ординату точки $B$ на рис. 5, которая делит границу устойчивости на границу дивергенции $AB$ и границу флаттера $BCD$. Рис. 6 демонстрирует также схожесть формы области устойчивости для сжатого трубопровода в координатах $p$ и $\alpha$ с областью устойчивости консольного стержня, находящегося под действием сжимающих потенциальной и следящей сил.

**Список литературы:** **1.**Paidoussis M.P., Issid N.T. Dynamic stability of pipes conveying fluid // Journal Sound and Vibration. 1974. V. 33. P. 267–294. **2**.Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. М.: Наука. 1973. 400 с. **3**. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. – М.: Физматгиз, 1961. 339 с. **4**. Olson, L., Jamison, D. Application of a general purpose finite element method to elastic pipes conveying fluid // Journal of Fluids and Structures 1997. №11. P. 207–222. **5**.Marzani A., Mazzotti M., Viola E., Vittori P., Elishakoff I. FEM Formulation for Dynamic Instability of Fluid-Conveying Pipe on Nonuniform Elastic Foundation / Mechanics Based Design of Structures and Machines: An International Journal, 2012, 40:1, pp. 83-95. **6**. Smith T. E. Herrmann G. Stability of a beam on an elastic foundation subjected to a follower force // J. Appl. Mech. 1972. V. 39. P. 628–629. **7**. Радин В.П., Самогин Ю.Н., Чирков В.П., Щугорев А.В. Решение неконсервативных задач теории устойчивости. Физматлит. 2017. 240 с.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМ СОВРЕМЕННОГО ГРУППОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Ракунов Ю.П., доцент, к.т.н., Абрамов В.В. проф., д.т.н**
*(Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет). Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337, Россия.*)

***Abstract*** *The purpose of this work is to form the stages of the goals and tasks of computer integration (synthesis) of components and subsystems of modern group progressive production, increasing its planned organization and clearly regulating its technical content. Here, the methodology of "analysis-synthesis" of a multilevel basic technology is used - as two basic basic methods of scientific knowledge. The distribution of information levels by technology levels is the basis of organization and decision-making technology at all stages of group production. Reliable and timely information is the basis for managing the main flows in production: material and energy. Synthesis of components and computer-aided design (CAD) systems in a modern enterprise can be carried out using the latest information technology, the so-called computer integrated production system (CIPS). This system is an information basis (knowledge base with data banks) for the implementation of the new technological structure and the fourth version of the industrial revolution - Industry 4.0.*

*In the article, the basic components of CIPS (or CIM) are presented, with the help of which it is possible to realize the principle of through design and technological design-manufacturing of products based on group technology. Two main tasks of creating CIPS are considered. The order (algorithm) of work on the technical preparation of group automated production is developed. The end-to-end system for processing design and technological information in the preparation and management of the production of elements of the "Buran" product is considered. The system of interaction between the subsystems of automated technological production training (SISA TPT) is presented. The stages of solving the problems of combining CAD and ASTPT (subsystems) into a single SISA TPT are considered, which allows to shorten the cycle of creating complex products from the beginning of design to the readiness of the prototype in 2 ... 3 times and from the beginning of the production for serial production to the readiness of the first serial product in 3 ... 4 times, get a significant economic effect.*
***Keywords:*** *computer integrated production system, group technological processes, "analysis-synthesis" method, multi-level basic technology, design automation, group instrumental adjustment, type of cutters of unified structures, "Industry 4.0".*

Решение задачи импортозамещения и перевода экономики с экстенсивного на интенсивный путь развития вызывает необходимость существенного совершенствования организации и управления производственными системами на всех уровнях [1].

Совершенствование организации и управления должно удовлетворять требованиям, направленным, во-первых, на повышение эффективности производства, во-вторых, на учёт всё возрастающей сложности его организации и технической подготовки и, в-третьих, на использование новых форм и методов решения взаимосвязанного комплекса задач развития техники, групповой технологии, организации и экономики производства [2].

Практика отечественного и зарубежного машиностроения показывает, что при создании перспективных изделий с технико-экономическими показателями, на уровне лучших мировых образцов, должна быть поставлена задача не только автоматизации и механизации всех видов групповых технологических процессов (ГТП) и применения передовых конструктивно-технологических решений, но и принципиально новой организации производства, предусматривающей существенное изменение его структуры в целях сокращения и удешевления процесса создания изделий. Без этого даже самые новые технологические решения, заложенные при проектировании изделий, могут оказаться устаревшими к моменту выпуска серийного образца, а сами изделия – неконкурентоспособными на мировом рынке [3, 12-16].

Совершенствование производственной структуры опытных и серийных предприятий особенно важно в условиях, когда на них производятся изделия различных типоразмеров (ТР) и моделей, т.е. в мелкосерийном многономенклатурном производстве [4].

Применение современных методов организации и автоматизации группового производства позволяет использовать для выпуска новых конкурентоспособных изделий путь конструкторско-технологической гибкости, при котором обеспечивается высокая оперативность внесения изменений, возможность применения самых новых технических достижений, даже если они возникли в процессе производства изделия, способность быстро перестраиваться в соответствии с изменением условий планирования, финансирования, требований заказчика, конъюнктуры рынка и пр. [5].

Один из путей достижения максимальной эффективности группового промышленного производства – объединение различных компонентов и систем производственного предприятия на основе новейшей информационной технологии, так называемой компьютеризированной интегрирований производственной системы (КИПС или CIM), КИПС представляет собой комбинацию программных, аппаратных и технических средств, предназначенных для проектирования изделий, планирования производства, управления производственными процессами, проектирования оборудования, оснастки и инструмента, а также для осуществления производственного процесса и обеспечения качества продукции **[1]**. На всех уровнях систем КИПС используются вычислительные средства (например, базы данных), системы и алгоритмы автоматизированного проектирования (САПР), методы моделирования, программное управление оборудованием (рис. 1).

Таким образом, представляется актуальным создание компьютеризированной интегрированной производственной системы, с помощью которой возможно реализовать принцип сквозного конструкторско-технологического проектирования – изготовления изделий с охватом как опытного, так и серийного производства на основе групповой технологии, обеспечивающей высокую гибкость процесса [6].

Разработка КИПС представляет собой сложную многоаспектную и многоступенчатую задачу. Однако на большинстве предприятий ряда передовых отраслей машиностроения есть достаточно серьёзные предпосылки для её успешного решения: программно-управляемое технологическое оборудование (станки с ЧПУ), программно-перестраиваемые средства автоматизации вспомогательных операций (промышленные роботы, автоматизированные склады, транспорт), современные технические средства автоматизации управления (ЭВМ и микропроцессоры), автоматизированные системы проектирования и конструирования (САПР), управления производством (АСУП) и технологической подготовки производства (АСТПП), управления групповыми технологическими процессами (АСУГТП) или их компонентами [1,2].

Для таких предприятий создание КИПС станет организующим фактором, который позволит подчинить перечисленное оборудование, технические средства и системы единой задаче – ускорению группового производства, во много раз увеличить эффективность их использования [2-4].

Таким образом, представляется актуальным создание компьютеризированной интегрированной производственной системы, с помощью которой возможно реализовать принцип сквозного конструкторско-технологического проектирования – изготовления изделий с охватом как опытного, так и серийного производства на основе групповой технологии, обеспечивающей высокую гибкость процесса [6].

Разработка КИПС представляет собой сложную многоаспектную и многоступенчатую задачу. Однако на большинстве предприятий ряда передовых отраслей машиностроения есть достаточно серьёзные предпосылки для её успешного решения: программно-управляемое технологическое оборудование (станки с ЧПУ), программно-перестраиваемые средства автоматизации вспомогательных операций (промышленные роботы, автоматизированные склады, транспорт), современные технические средства автоматизации управления (ЭВМ и микропроцессоры), автоматизированные системы проектирования и конструирования (САПР), управления производством (АСУП) и технологической подготовки производства (АСТПП), управления групповыми технологическими процессами (АСУГТП) или их компонентами [1,2].

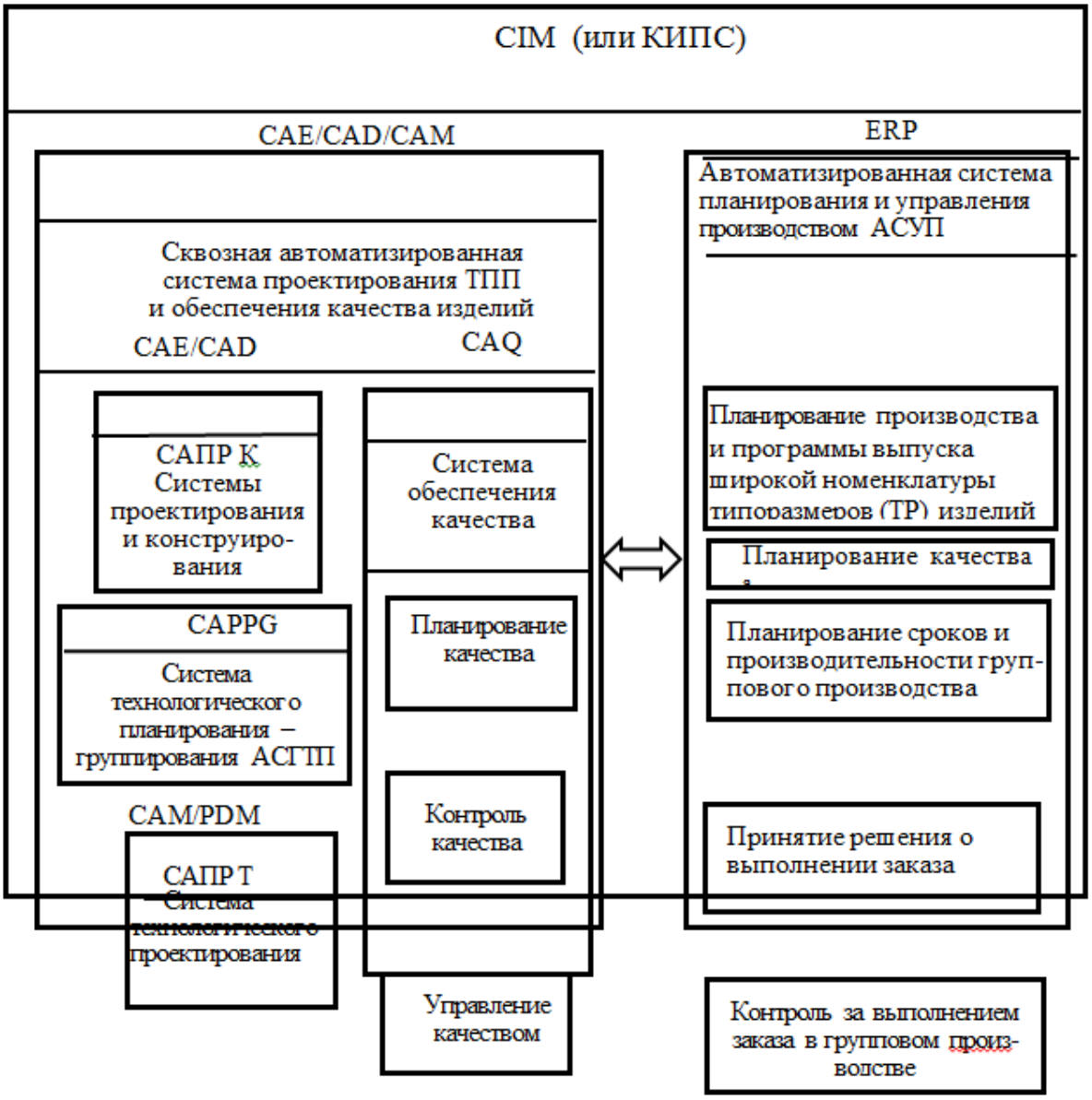



Рис. 1. Основные компоненты компьютеризованной системы (CIM или КИПС)

Для таких предприятий создание КИПС станет организующим фактором, который позволит подчинить перечисленное оборудование, технические средства и системы единой задаче – ускорению группового производства, во много раз увеличить эффективность их использования [2-4].

На рис. 2 показан порядок проведения работ по технической подготовке производства на основе методов групповой обработки в условиях функционирования КИПС. При создании нового изделия на авиационно-производственном объединении указанные выше предпосылки, имеющийся опыт и проведённые поисковые разработки дали возможность сформулировать основную идею и определить этапы создания КИПС изделий совместными усилиями ОКБ, опытного предприятия, серийного завода и отраслевого НИИ. В отличии от разработки ГТП на основе «комплексной» детали, предлагается методика группирования деталей, проходящих через «сетку» групповых

инструментальных наладок (ГИН), составленных из унифицированных режущих инструментов (УРИ), спроектированных специально для реализации ГТП. Такая методика и типаж УРИ с примерами синтеза ГИН представлена в ряде работ [6 -11].

Основная идея КИПС заключается в том, чтобы, создав силами ОКБ и опытного предприятия систему сквозного проектирования – изготовления опытных изделий, транслировать ее через единую вычислительную интерсеть на серийный завод (заводы), где должно быть организовано параллельное изготовление серийных изделий по управляющим программам на оборудовании с ЧПУ, отработанном в опытном производстве. Главным условием для реализации этой цели является аппаратная и программная совместимость базовых программных и технических средств систем (САПР, АСУП, АСТПП, АСУТП и др.) как в опытном, так и в серийном производстве и идентичность основного технологического оборудования с ЧПУ, используемого для опытного и серийного группового изготовления изделий. Такая система является информационной базой знаний с банками данных для реализации нового технологического уклада и 4-ой промышленной революции «Индустрия версии 4,0» (Industry 4.0) [12,22-24]. В последнее время эволюции искусственного интеллекта посвящено множество работ [13 -21].

В процессе создания КИПС решаются две основные задачи.

Первая – интеграция процессов управления, конструирования, технологической подготовки производства, автоматизированного изготовления, контроля и испытания изделий в единую интегрированную систему сквозного проектирования и изготовления изделий в опытном производстве.

Вторая – создание аналогичной системы на принципах групповой технологии на серийном заводе. Подобная производственная система была создана и функционировала при изготовлении формообразующих конструктивных элементов теплозащиты многоразового космического корабля «Буран». На рис. 3 приведена схема организации сквозной системы обработки конструкторско-технологической информации **[1].**

Первым этапом решения задач является объединение САПР и АСТПП в единую интегрированную систему технической подготовки производства (ИСА ТПП) на базе общих банков конструкторско-технологических данных.

Достигаемая цель – совмещение решений конструкторских и технологических задач на самой ранней стадии проектирования, достижение высокой технологичности, оптимальность принимаемых конструкторско-технологических решений; одновременное получение конструкторских и технологических выходных данных (КТД) в памяти ЭВМ. Результат – сокращение цикла проектирования в 2 раза.

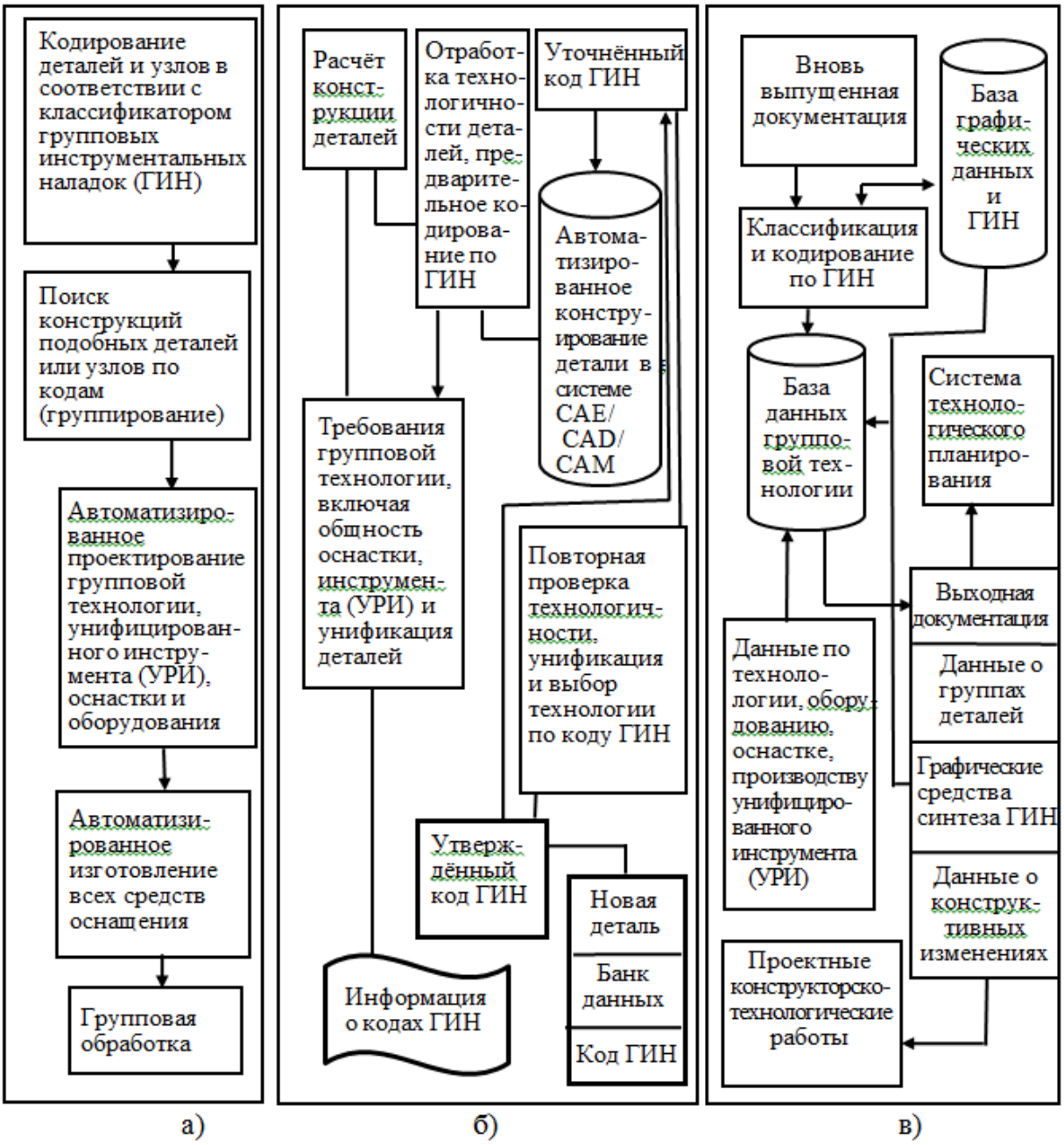



Рис. 2. Порядок проведения работ по технической подготовке производства в групповом автоматизированном производстве: а – порядок выполнения работ при групповой обработке в системе CAE/CAD/CAM; б – порядок присвоения кода и группирование деталей в процессе проектирования; в – формирование базы данных групповой технологии и синтеза ГИН

Второй этап – объединение ИСА ТПП и АСУТП (ГПС обработки) опытного производства в единую интегрированную производственную систему сквозного проектирования и изготовления деталей опытных изделий на базе общей локальной информационно-вычислительной сети (ЛИВС). Достигаемая цель – совмещение в пространстве и времени этапов выхода КТД с началом обработки деталей в производственном цехе путём прямого машинного управления технологическим

оборудованием с ЧПУ от ЭВМ, упразднение чертежа как носителя исходных данных для подготовки управляющих программ (УП), достижение абсолютной гибкости при внесении конструкторских изменений.

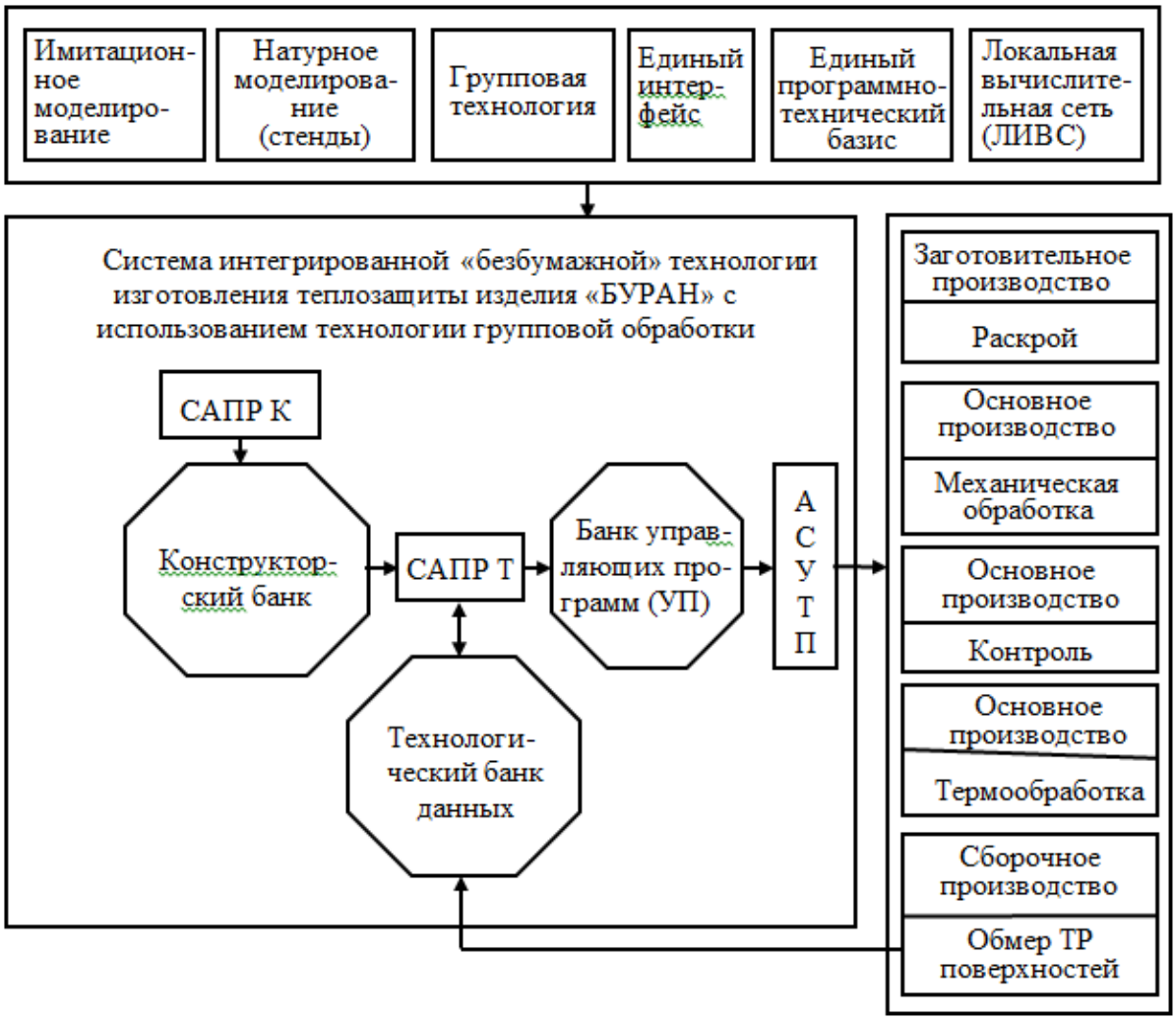



Рис. 3 Сквозная система обработки конструкторско-технологической информации в подготовке и управлении производством элементов изделия («Буран»)

Третий этап – присоединение к КИПС производственных систем сборки агрегатов и узлов, испытаний готовых узлов и превращение её в единую интегрированную систему сквозного проектирования и изготовления агрегатов и узлов опытных изделий. Достигаемая цель – организация программно-управляемой поточной сборки агрегатов на базе поточно-групповых методов автоматизированного изготовления деталей, идущих на сборку агрегатов; постановка агрегатов на сборку по графику. Результат – сокращение цикла сборки, уменьшение времени ожидания (пролёживания) деталей, сокращение межоперационных заделов.

Четвёртый этап – присоединение к КИПС производственных систем окончательной сборки и испытаний готовых изделий и превращение её в единую интегрированную систему сквозного проектирования и изготовления опытных изделий. Достигаемая цель – организация программно-управляемой поточной сборки изделий на базе поставляемых по графику узлов и агрегатов. Результатом второго -

четвёртого этапов является сокращение цикла изготовления опытного изделий в 2...2,5 раза.

Вторая задача создания КИПС включает: передачу на серийное предприятие общего и специального программного обеспечения (ПО), необходимого и достаточного для генерации единой компьютеризированной интегрированной производственной системы автоматизированного изготовления изделий в серийном производстве; передачу пакетов УП, по которым в опытном производстве осуществлялась обработка деталей и узловая, агрегатная и окончательная сборка. Достигаемая цель – автоматизированное изготовление изделий, начиная с первой машины по УП, обработанным в опытном производстве; возможность внесения изменений на машинном уровне; возможность быстрого перехода на изготовление нового изделия путём замены только специального ПО. Результат – сокращение цикла запуска и изготовления серийного изделия в 3 раза.

**Список литературы: 1.** Технология и организация группового машиностроительного производства: в 2-х ч. Ч.1 Основы технологической подготовки группового производства // С.П. Митрофанов, А.Г. Братухин, О.С. Сироткин и др. – М.: Машиностроение. 1992. – 480 с. **2.** Технология и организация группового машиностроительного производства: в 2-х ч. Ч.2 Организация группового производства // С.П. Митрофанов, А.Г. Братухин, О.С. Сироткин и др. – М.: Машиностроение. 1992. – 425 с. **3.** Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2-х т. Т.1 Организация группового производства. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1983.-407 с. **4.** Групповое производство – организационно-технологическая основа гибких производственных систем // Материалы научно-технического семинара ЛДНТП. Л. 1986. **5.** Синго С. Быстрая переналадка: Революционная технология производства / Сигео Синго; Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. –384 с. **6.** Ракунов Ю.П. Золотова Н.А. Методология построения подсистемы синтеза многоуровневой базовой технологии в групповом производстве // Сб. материалов науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». – Пенза, 2004. С.210-214. **7.** Ракунов Ю.П. Типаж унифицированных резцов с назначением режимов резания для прецизионных токарных станков с программным управлением // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: Материалы 13-й междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2011 г., С.399-404. **8.** Ракунов Ю.П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – № 2, 2013. – С.36-48. **9.** Ракунов Ю.П. Подсистема синтезирования многоуровневой базовой технологии // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – №10, 2012. – С.36-46. **10.** Ракунов Ю.П., Абрамов В.В., Боровских А.В. Разработка комплексной САПР групповых технологических процессов//Механизация строительства. 2014. №11.С.56-60. **11.** Ракунов Ю.П., Абрамов В.В., Богацкая И.Г. Методика проектирования групповых инструментальных наладок // Механизация строительства. 2015. №2. С.56-60. **12.** Гладышева И.В. Роль автоматизации операционных процессов в развитии производственной системы предприятий // Цифровая экономика и «Индустрия-4,0»: проблемы и перспективы: труды науч.-практ. конференция с междунар. участием/под ред. д.э.н. проф. А.В. Бабкина – СПб. Изд-во Политех. Ун-та. 2017.- С.279-287. **13.** J. Hendler, “Avoiding Another AI Winter”, *IEEE. Intell, Syst.,* vol. 23, pp. 2-4, 2008. **14.** R. Teti and S.R.T. Kumara, “Intelligent Computing Methods for Manufacturing Systems”, *CIRP Ann-Manuf.*

*Technol.*, vol. 46, pp. 629-652, 1997. **15.** P. Kopacek, “Intelligent Manufacturing: Present State and Future Trends”, *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 26, pp. 217-229, 1999. **16.** H. Setoya, “History and review of the IMS (Intelligent Manufacturing Systems), *in International Conference on Mechatronics and Automation*, 2011, pp. 30-33. **17.** L. H. Wang, M. Torngren, and M. Onori, “Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing”, J. Manuf. Syst., vol. 37, pp. 517-527, 2015. **18.** D. Z. Wu, D. W. Rosen, L. H. Wang, and D. Schaefer, “Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation”, *Comput. Aided Design.*, vol. 59, pp. 1-14, Feb 2015. **19.** S. Batra, “Big Data Analytics and its Reflections on DIKW Hierarchy”, *Rev. Manage.*, vol. 4, pp. 5-17, 2014. **20.** P. O’Donovan, K. Leahy, K. Bruton, and D. T. J. O’Sullivan, “Big Data in manufacturing: a systematic mapping study”, J. Big Data, vol. 2, pp. 1-22, 2015. **21.** D. Zuehlke, “Smart Factory-Towards a factory-of-things”, *Annu. Rev. Control.*, vol. 34, pp. 129-138, Apr 2010. **22.** Бондаренко А.В. Факторы обеспечения устойчивого развития предприятий авиационной промышленности // Цифровая экономика и «Индустрия-4,0»: проблемы и перспективы: труды науч.-практ. конф. с междунар. участием/под ред. д.э.н. проф. А.В. Бабкина – СПб. Изд-во Политех. Ун-та. 2017.- С.617-627. **23.** Скоробогатов А.С., Кобзев В.В. Подход к решению задачи обоснования технологии изготовления готовой продукции промышленного предприятия // Там же. – С.662-667. **24.** P. J. Mosterman and J. Zander, “Industry 4.0 as a Cyber-Physical Systems study”, *Software and Systems Modeling*, vol. 15, pp. 17-29, Feb 2016.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСИ УГЛЕРОДА В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ АВТОТРАНСПОРТА

**Розоринов Г.Н., Чичикало Н.И., Киктев Н.В.** *(НТУУ "КПИ им. И. Сикорского", НУБиП, г. Киев, Украина)*
*Тел./Факс:+38 (099) 0447802; E-mail: grozoryn@gmail.com*

***Abstract:*** *The mathematical model of an optical transmission channel of carbon monoxide concentration measuring device is developed. A model allows to take into account losses which arise up in the optical transmission channel of infrared radiation and to count influence of every optical element on radiation power. It promotes design exactness, enables to estimate efficiency of different optical materials and components use. Expected and built the real spectral descriptions of optical measure channel, taking into account the different types of losses by LabView program package.*
***Keywords:*** *optical channel, carbon oxide, gas analisator, simulation, LabView.*

**Введение**

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из самых серьезных экологических проблем многих промышленных городов. Влияние загрязнения воздуха на здоровье человека проявляется через сокращение средней продолжительности жизни, увеличение количества преждевременных смертей, рост заболеваемости и негативное влияние на развитие детей [1].

Одним из источников загрязнения природы является транспорт – автомобильный, воздушный, водный, железнодорожный. Во всех больших городах массовая доля загрязнения воздуха от автотранспорта в последнее время составляет 70-90 % от общей массы загрязнения.

При этом примерно 30% всех выбросов в атмосферу – это выхлопные газы автомобилей. Поэтому в качестве источника загрязнения в процессе математического моделирования нами выбран автотранспорт.

Рассматривая газовый состав выхлопов бензиновых двигателей, можно увидеть, что наибольшую долю среди токсичных веществ составляет угарный газ СО (20…600 мг/м$^2$). Угарный газ очень опасен, так как не имеет запаха и вызывает отравление и даже смерть, участвует в образовании смогов, вызывает общее ослабление организма, может быть причиной различных заболеваний. Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК) для человека составляет 3,0 мг/м$^3$ , а максимальная разовая – 5,0 мг/м$^3$ [2]. В процессе эксплуатации автомобиля, применения различных марок бензина, изменения состояния и настройки двигателя концентрация СО изменяется.

Целью работы является определение концентрации СО в выбросах автомобильного транспорта путем построения математической модели утечек в канале измерения и оценки их влияния на мощность излучения, а также определение эффективности применения оптических материалов и компонентов.

**Основная часть**

В основу определения концентрации СО в выбросах автомобильного транспорта положен принцип инфракрасной (ИК) спектрометрии. Он заключается в непосредственном измерении ослабления интенсивности прошедшего поглощающую газовую среду зондирующего излучения [3].

Для того, чтобы получить зависимость концентрации СО от мощности излучаемого ИК сигнала, необходимо промоделировать распространение оптического луча в канале измерения в отсутствие газовых составляющих. При прохождении оптического излучения через оптическую систему неизбежно возникают потери мощности излучения. Учет данных утечек позволяет повысить точность моделирования и уменьшить погрешность всей оптической системы в целом. Можно также определить, как влияет каждый в отдельности оптический элемент на эффективность прохождения оптического луча.

Прохождение ИК луча через открытый оптический канал показано на рис. 1.

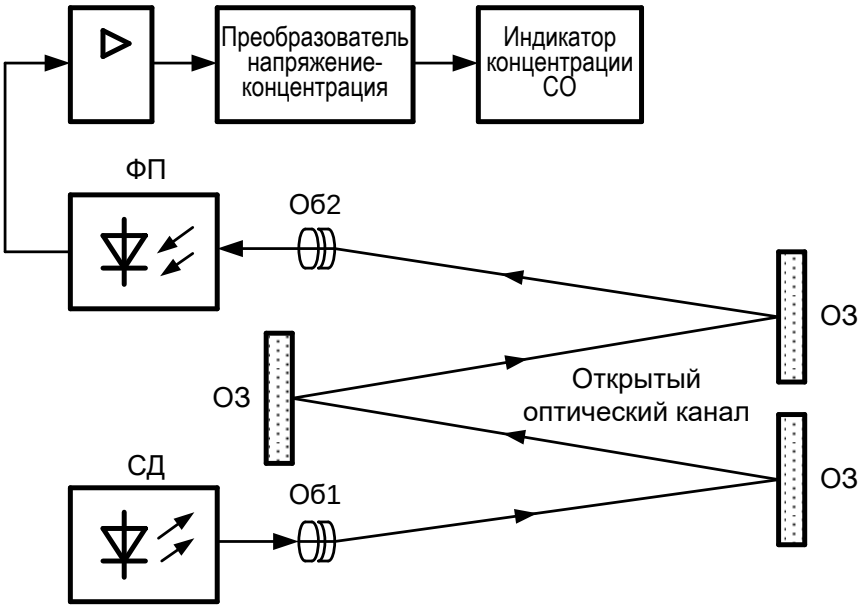



Рис. 1. Путь, который проходит ИК луч через открытый оптический канал

Источником излучения является светодиод СД, длина волны которого выбирается исходя из того, концентрацию какого газа необходимо определить. Исходя из спектра поглощения СО, диапазон ИК излучения должен лежать в пределах 4,5…4,9 мкм (рис. 2) [4].

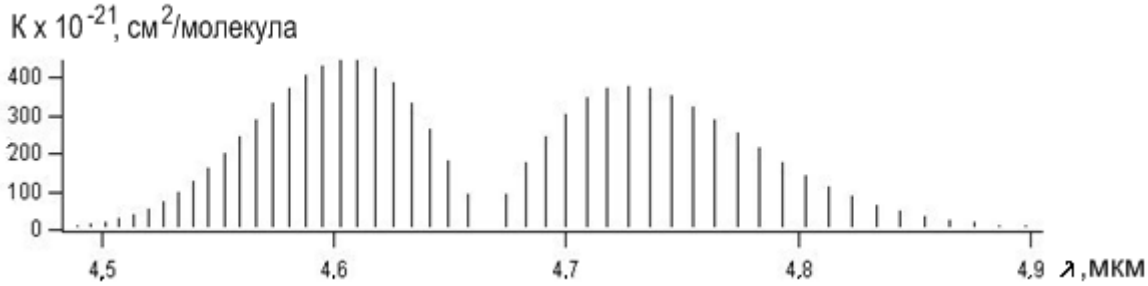



Рис. 2. Спектр поглощения СО

Для того чтобы минимизировать влияние других газов, загрязняющих окружающую атмосферу, длина волны λ источника излучения выбирается вблизи максимума спектра поглощения, либо ограничивается оптическим фильтром в районе λ=4,67 мкм. ИК луч проходит через фокусирующий объектив Об1 и попадает в открытый оптический канал, где находится анализируемая смесь газов. Многократно отражаясь от системы оптических зеркал ОЗ, луч попадает в объектив Об2 и фокусируется им на фотоприемник ФП. Многократное отражение луча необходимо для перекрытия определенной пространственной области, где может находится и куда может распространяться выхлопной газ от автотранспорта. Размер этой области зависит от высоты расположения выхлопной трубы транспортного средства и определяется в процессе моделирования системы при условии достижения заданных метрологических характеристик.

На выходе фотоприемника формируется напряжение, пропорциональное мощности ИК излучения, попавшего в его окно. В качестве источника излучения СД выбран ИК светодиод LED-46-TEC-PRW с рефлектором и характеристиками: мощность излучения $\hat{O}_{è}$ – 6 мкВт; время включения $t_{\hat{a}\hat{e}\ddot{e}}$ – 20 нС; пиковая длина волны $\lambda$ – 4,45 мкм [5]. Диаграмма направленности СД показана на рис. 3.

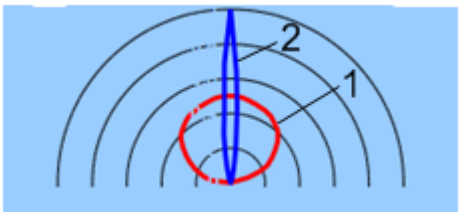



Рис. 3. Диаграмма направленности LED-46-TEC-PRW: 1 – без рефлектора, 2 – с рефлектором

Спектральная характеристика LED-46-TEC-PRW при различных значениях температуры показана на рис. 4.

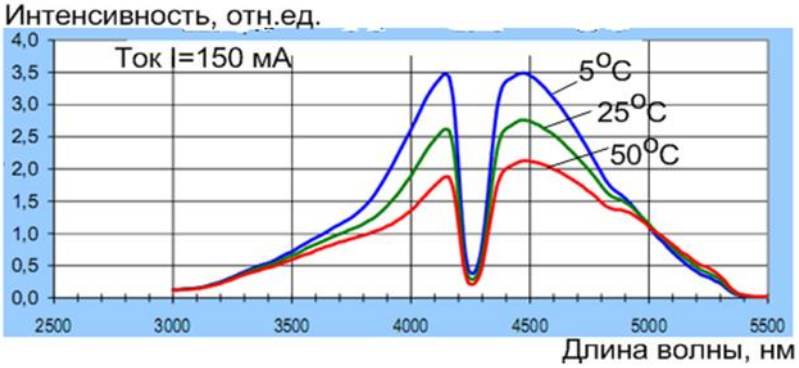



Рис. 4. Спектральная характеристика LED-46-TEC-PRW

В качестве Об1 выбран объектив SCA-IR-4.5-F2 с параметрами: рабочий диапазон длин волн Δλ – 2,0...6,5 мкм; расчетная длина волны $\lambda_0$ – 4,5 мкм; фокусное расстояние F1 – 50,8 мм; диаметр входного зрачка D1 – F1/2; диаметр круга рассеяния при $\lambda_0\left(d_p\right)$ – 0,127 мм; толщина линзы $h$ – 5 мм; материал линзы – сервофакс; коэффициент преломления $n_0$ – 2,41; коэффициент пропускания при $\lambda_0$ (T) – 0,91.

В качестве Об2 выбран объектив SCA-IR-4,5-F1,5 с параметрами: рабочий диапазон длин волн Δλ – 2,0...6,5 мкм; расчетная длина волны $\lambda_0$ – 4,5 мкм; фокусное расстояние F2 – 101,6 мм; диаметр входного зрачка D2 – F2/2; диаметр круга рассеяния при $\lambda_0\left(d_p\right)$ – 0,25 мм; толщина линзы $h$ – 5 мм; материал линзы – сервофакс; коэффициент преломления $n_0$ – 2,41; коэффициент пропускания при $\lambda_0$ (T) – 0,91.

Для того чтобы промоделировать потери в открытом оптическом канале, необходимо связать параметр номинальной мощности излучения с его спектральной характеристикой. Площадь спектральной характеристики должна быть эквивалентна мощности, излучаемой светодиодом. Нормированная спектральная характеристика описывается следующим уравнением:

$$S_{\grave{e}\acute{i}}\left(\lambda_{\grave{e}}\right)=1{,}129\left[e^{-r_1^2\left(\lambda_{\grave{e}}-\lambda_{\grave{e}01}\right)^2}-Ke^{-r_2^2\left(\lambda_{\grave{e}}-\lambda_{\grave{e}02}\right)^2}\right],$$

где $K=0{,}9$; $r_1=2$; $r_2=11$; $\lambda_{\grave{e}01}=4{,}319$; $\lambda_{\grave{e}02}=4{,}3$ – подстроечные коэффициенты, которые выбираются на основе реальной спектральной характеристики, описываемой соотношением:

$$S_{\grave{e}}\left(\lambda_{\grave{e}}\right)=S_0S_{\grave{e}\acute{i}}\left(\lambda_{\grave{e}}\right).$$

Промоделируем реальную спектральную характеристику LED-46-TEC-PRW с помощью программного пакета LabView. На рис. 5 показана спектральная характеристика LED-46-TEC-PRW при номинальной мощности 6 мкВт.

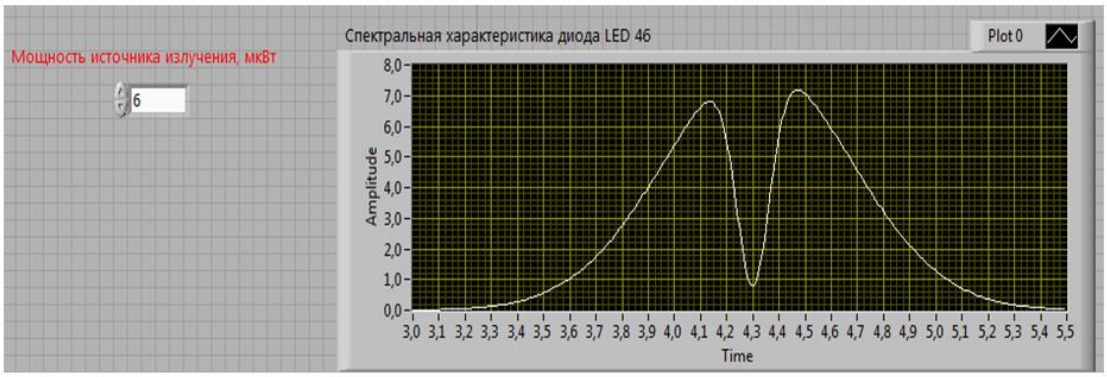



Рис. 5. Реальная спектральная характеристика LED-46-TEC-PRW

На рис. 6 показана блок-схема, реализующая построение этого графика.

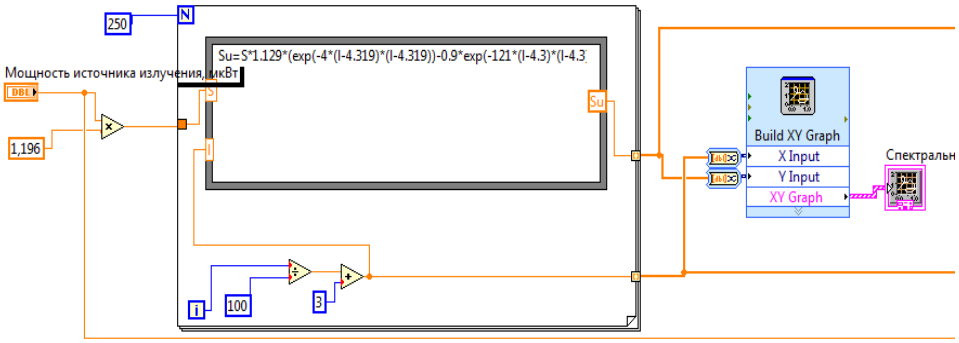



Рис. 6. Блок-схема реализации спектральной характеристики

При прохождении ИК излучения по оптическому каналу существует ряд факторов, которые уменьшают мощность ИК луча. Поэтому необходимо промоделировать и эти факторы, чтобы повысить точность выполняемых газоанализатором измерений. Потери мощности излучения происходят уже при вводе излучения в объектив Об1.

Рассмотрим прохождение излучения от точечного источника СД через оптоэлектронную систему, входным устройством которой является однолинзовый объектив диаметром $D_1$ (рис. 7).

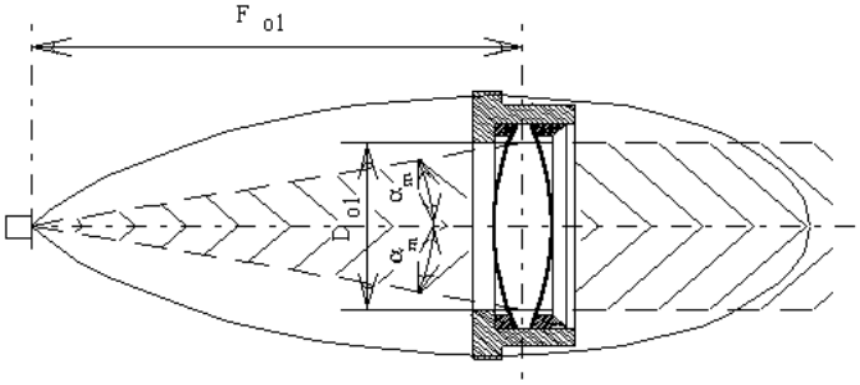



Рис. 7. Прохождение излучения от точечного источника через оптоэлектронную систему

Точечный источник расположен в переднем фокусе сферической линзы на расстоянии $F_{01}$ от линзы. Телесный угол ввода представляет собой конус с вершиной, совпадающей с точечным источником и опирающейся на круглое центральное сечение линзы. Плоский угол при вершине центрального сечения конуса $2\alpha_m$. Степень расхождения оптического луча характеризуется диаграммой направленности СД.

В относительных единицах коэффициент ввода в объектив Об1 определяется в виде:

$$k_{вв} = \frac{\Phi_{\text{вв ОЭС}}}{\Phi_{\text{полн}}} = \frac{\int_0^{2\pi}\int_0^{\alpha_m} I_n \psi(\varphi) \frac{tg\varphi\cos\varphi}{2} d\varphi d\beta}{\int_0^{2\pi}\int_0^{2/\pi} I_n \psi(\varphi) \frac{tg\varphi\cos\varphi}{2} d\varphi d\beta},$$

где $\Phi_{\text{вв ОЭС}}, \Phi_{\text{полн}}$ – поток ввода излучения в оптоэлектронную систему и полный поток, соответственно; $I_n$ – нормальное значение плотности потока; $\psi(\varphi)$ – нормированная диаграмма направленности светодиода; $\alpha_m = arctg\frac{D}{2F}$ – угол ввода излучения в объектив.

Для выбранного СД диаграмма направленности может быть аппроксимирована выражением $\psi(\varphi) = (\cos\varphi)^{142}$.

Полагая, что полусферический поток источника излучения известен (среди справочных данных имеются параметры полного номинального потока излучения LED-46-TEC-PRW), нормальное значение плотности потока определяется как:

$$\hat{O} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2} I_n \psi(\varphi) \frac{tg\varphi\cos\varphi}{2} d\varphi d\beta = I_n \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2} \psi(\varphi) \frac{tg\varphi\cos\varphi}{2} d\varphi d\beta.$$

Для данного светодиода $I_n = \frac{\Phi_{\text{СД}} \cdot 143}{\pi}$. Таким образом, коэффициент ввода $k_{\hat{a}\hat{a}} = 0,9869$.

Потери в объективе происходят также из-за частичного отражения луча от линзы. Это отражение характеризует коэффициент пропускания линзы. Для объектива Об1 коэффициент пропускания $T = 0,91$.

Проанализируем ввод излучения в объектив Об1 в LabView с учетом отражения луча и оценим потери мощности излучения (рис. 8).

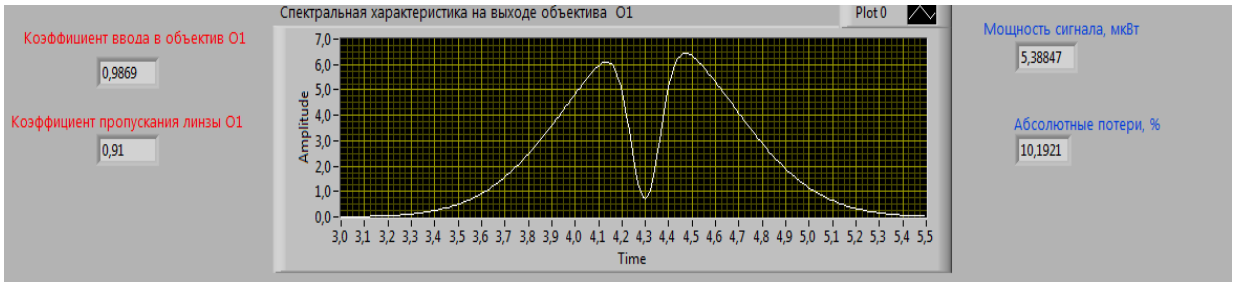



Рис. 8. Спектральная характеристика СД на выходе Об1

Мощность излучения уменьшилась с 6 мкВт до 5,39 мкВт, то есть абсолютные потери составили 10,2%.

После фокусировки в линзе Об1 ИК луч проходит защитное стекло, предохраняющее от пыли и грязи оптическую систему. Защитное стекло выполняется обычно из искусственного сапфира. Толщина его строго выдерживается в зависимости от диаметра объектива. Для объектива Об1 толщина стекла равна 3 мм. Из-за того, что сапфир имеет коэффициент поглощения равный 0,43 1/см при $\lambda = 4,67$ мкм, защитное стекло частично поглощает мощность, что характеризуется коэффициентом дисперсии $D_{\ddot{a}\grave{e}\tilde{n}\ddot{i}} = e^{-0,43b}$, $b$ – толщина стекла. Для рассматриваемого газоанализатора $D_{\ddot{a}\grave{e}\tilde{n}\ddot{i}} = 0,879$.

Потери в стекле происходят также на границе раздела воздух–сапфир, в связи с различными показателями преломления этих сред. Они учитываются коэффициентами пропускания (0,05961) и отражения (0,884), (рис. 9).

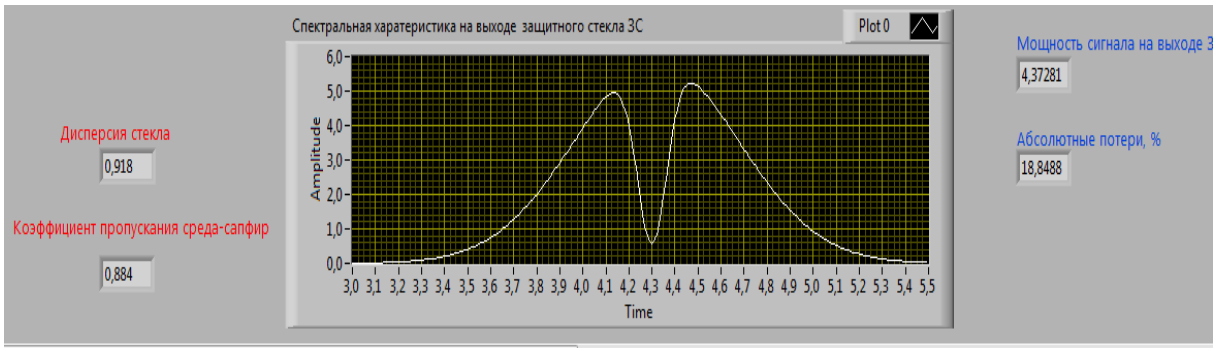



Рис. 9. Спектральная характеристика СД на выходе защитного стекла

При этом потери составляют 18,85%, а мощность излучения снижается до 4,37 мкВт.

При моделировании оптических элементов выполнялось условие для открытого оптического канала – отсутствие газовых компонентов.

После того, как ИК луч попадает в открытый оптический канал, он отражается от трех оптических зеркал с коэффициентами отражения равными 0,99.

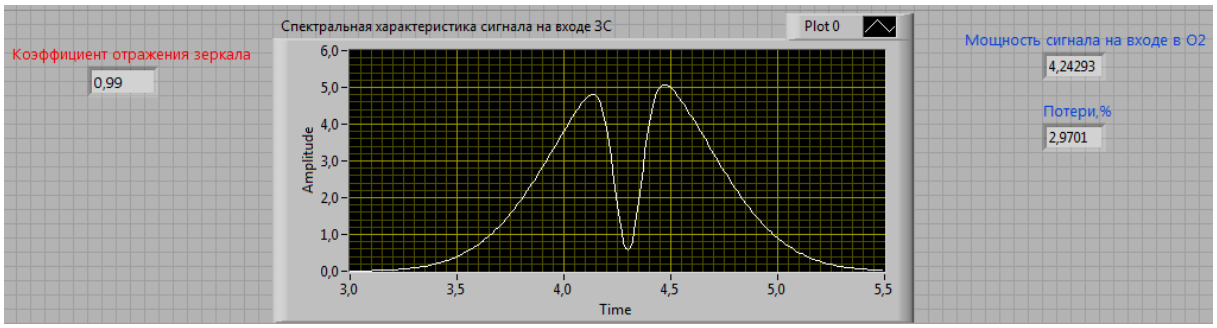



Рис. 10. Спектральная характеристика СД после отражения от зеркал

С учетом отражений от зеркал потери увеличиваются на 2,97%, а мощность падает до 4,24 мкВт.

Еще одним фактором, влияющим на мощность излучения является расхождение оптического луча (рис. 11).

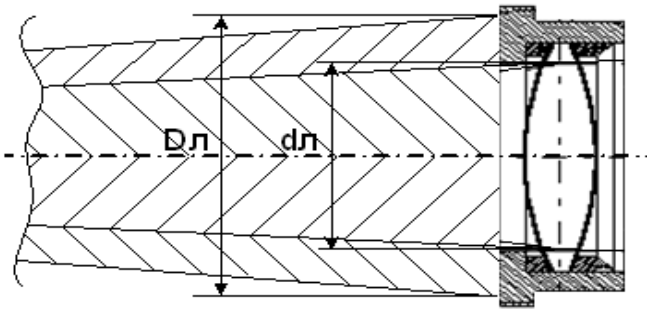



Рис. 11. Расхождение оптического луча в пространстве

Его можно учесть с помощью коэффициента ввода в объектив Об2 – это отношение площади луча, попавшего в объектив, ко всей площади луча: $k_{ââî\ á2} = d_{ë}^{2} / D_{ë}^{2}$ , где $d_{ë}$ – диаметр линзы объектива; $D_{ë} = D_1 + \Delta h$ – диаметр луча расхождения; $D_1$ – диаметр линзы объектива Об1; $\Delta h$ – расстояние, на которое отклонился луч.

Расстояние $\Delta h$ зависит от длины оптического пути и определяется как: $\Delta h = l \cdot tg\beta$ где $tg\beta$ – тангенс угла расхождения.

Угол расхождения определяется по формуле:

$$\beta = arctg\left(\frac{D_1 + d_a}{2F_1}\right) - arctg\left(\frac{D_1}{2F_1}\right),$$

где $F_1$ – фокусное расстояние объектива Об1; $d_a$ – диаметр активного слоя СД. Для LED-46-TEC-PRW он равен 0,22 мкм.

С учетом этих параметров рассчитывается коэффициент ввода для объектива Об2. Кроме того необходимо учесть частичное отражение луча от линзы объектива Об2, которое характеризуется коэффициентом пропускания. Исходя из параметров объектива Об2 коэффициент пропускания равен 0,91.

Длину оптического пути следует выбирать следующим образом. Согласно СНиП ширина одной полосы дороги составляет 2,5 м. ИК луч должен пересекать ее четыре раза, то есть проходить расстояние 10 м. Поскольку аппаратура всегда устанавливается на некотором расстоянии от дороги, то для наихудшего варианта длину оптического пути выбираем равной 15 м. Такой случай моделирования показан на рис. 12.

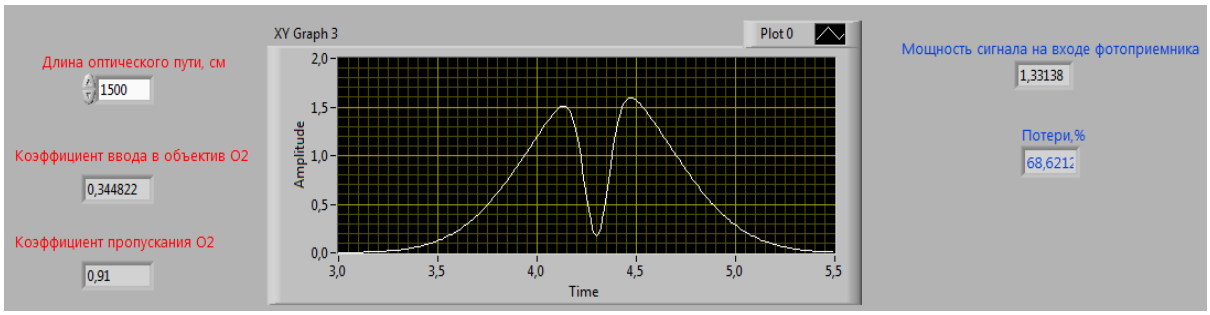



Рис. 12. Спектральная характеристика СД на выходе Об2

При этом потери составляют 68,62%, а мощность уменьшается до 1,33 мкВт. Далее поток излучения попадает в объектив Об2, с помощью которого фокусируется на контактную площадку фотодиода, а мощность облучения фотодиода пропорциональна напряжению на его выходе.

**Заключение**

Разработана математическая модель оптического тракта передачи измерителя концентрации угарного газа.

Модель позволяет учесть потери, которые возникают в оптическом тракте передачи инфракрасного излучения и рассчитать влияние каждого оптического элемента на мощность излучения. Это повышает точность моделирования, дает возможность оценить эффективность использования разных оптических материалов и компонентов.

Рассчитаны и построены реальные спектральные характеристики оптического канала измерения, учитывающие разные виды потерь с помощью программного пакета LabView.

**Список литературы: 1.** Коробкин В.И. Экология: учебник для ВУЗов / В.И. Коробкин, Л.В. Передельский. – изд. 12-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 602 с. **2.** Хламов М.Г. Методические указания к расчетной работе "Моделирование оптического канала" по курсу "Современные направления электроники". – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 33 с. **3.** Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение / П.И. Бреслер. – Л.: Энергия, 1980. – 164 с. **4.** Вовна О.В. Розробка математичної моделі швидкодіючої вимірювальної системи контролю концентрації метану у вугільних шахтах / О.В. Вовна // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". – Донецьк, 2009. – Випуск 16 (147). – С. 194 – 200. **5.** The HITRAN Database [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: http://www.cfa.harvard.edu/HITRAN/, свободный. — Загл. с экрана.

# ПРОФИЛИРОВАНИЕ ГИПЕРБОЛОИДНОГО ОБКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАКАТКИ ЗУБЬВ ПРИ ПОМОЩИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

**Рябичев В.Д., Витренко В.А., Зинченко А.М.**
*(ЛНУ им. В. Даля, ДонГТУ, г. Луганск, г. Алчевск, ЛНР)*
*Тел./Факс:* + 38 (0642) 341826; *E-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

***Abstract:*** *The article investigates cylindrical gear-wheels teeth rolling using hyperbola rollers. Major geometrical and kinematic parameters of teeth rolling have been determined. Geometric parameters of rolling tools have been found in analytical form.*
***Key words:*** *Hyperbola tools, tooth being rolled, relative sliding speed, contact line, surface curvature.*

В современных условиях производства машиностроительных изделий появилась острая необходимость в качественных, надежных, долговечных зубчатых колесах которые входят в большинство современных ответственных узлов машин и механизмов. Как правило такие зубчатые колеса отходы изготавливаются при помощи червячных фрез и обкатных резцов. При этом металла при получении таких зубьев могут достигать до 20% от общего объема используемого металла. Следовательно, в настоящее время целесообразно такие изделия получать при помощи различных методов поверхностного пластического деформирования. До настоящего времени такие процессы в должной мере не исследовались, т.к. многие исследователи занимались теорией зубчатых зацеплений, а другие занимались вопросами, связанными с теорией пластической деформации.

Изготовление зубчатого профиля при помощи накатки основано на использования принципа обкатывания, следовательно, в этом случае соблюдается жесткая кинематическая связь накатного инструмента и накатываемого изделия. Получение зуба зубчатого колеса при помощи накатки имеет ряд специфических особенностей, а именно, необходимость точного расчета наружного диаметра заготовки, подбор соотношения между диаметром заготовки и диаметром инструмента, учет термического расширения накатного инструмента и изготавливаемого зубчатого колеса.

Накатка зубьев зубчатых колес может производиться как в холодном, так и в горячем состоянии. В холодном состоянии такие методы накатки зубьев применяются в основном для получения зубьев мелкомодульных зубчатых колес с эвольвентным профилем зуба. На практике при накатке зубьев таких зубчатых колес возникает ряд сложностей. Главная проблема заключается в том, что получается так называемый «пьяный» зуб. Причина этого искажения заключается в совпадении контактных линий на поверхности накатываемого зуба со скоростью скольжения зуба. Особо это ощутимо на начальной окружности контактирующих зубьев. Если разобраться в сути проблемы, то становится понятно, что причина негативных отклонений лежит в схеме формообразования зубьев. Для устранения этой причины необходимо накатку зубьев зубчатых колес осуществлять в пространственном станочном зацеплении.

В данном исследовании предлагается накатку зубьев вести в пространственном станочном зацеплении, т.е. на скрещенных осях накатного инструмента и накатываемого изделия. В этом случае накатной инструмент является огибающей обрабатываемой зубчатой детали и представляет собой однополостной гиперболоид

вращения. Такой инструмент изготавливается в пространственном станочном зацеплении и будет работать также в пространственном станочном зацеплении. Таким образом, в данном исследовании схема формообразования накатного инструмента совпадает со схемой формообразования зубчатых колес при помощи этого инструмента. В этом случае появляется относительная скорость скольжения, которая влияет на качество обработанных зубьев и является главным формообразующим движением накатки.

Относительная скорость скольжения в значительной мере влияет на интенсивность накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи гиперболоидных накатников. В данном исследовании абсолютная величина относительной скорости скольжения найдена в следующем виде:

$$\left|V^{(12)}\right| = \sqrt{[V_x^{(12)}]^2 + [V_y^{(12)}]^2 + [V_z^{(12)}]^2} \qquad (1)$$

В этом выражении проекции скорости скольжения на три взаимно перпендикулярные оси координат найдены в следующем виде:

$$\begin{gathered} V_x^{(12)} = [\,(r - x_1)\sin\varphi_1 + y_1\cos\varphi_1)(1 - u_{21}\cos\gamma) + Au_{21}\cos\gamma(y_1\sin\varphi_1 - \\ - x_1\cos\varphi_1) - (1 - u_{21}\cos\gamma)(y_1 y_1' - x_1(r - x_1)]/(y_1\cos\varphi_1 + x_1\sin\varphi_1); \\ V_y^{(12)} = ((x_1 - r)\cos\varphi_1 - y_1\sin\varphi_1)(1 - u_{21}\cos\gamma) - Au_{21}\cos\gamma; \\ V_z^{(12)} = -((x_1 - r)\cos\varphi_1 - y_1\sin\varphi_1 + A)u_{21}\sin\gamma\,. \end{gathered} \qquad (2)$$

С учетом выражений (2) величина относительной скорости скольжения принимает следующий вид:

$$\begin{gathered} [V^{(12)}]^2 = [-((x_1 - r)\sin\varphi_1 + y_1\cos\varphi_1)(1 - u_{21}\cos\gamma) + \\ + Au_{21}\cos\gamma(y_1'\sin\varphi_1 - x_1'\cos\varphi_1) - (1 - u_{21}\cos\gamma)(y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r))]/ \\ y_1'\cos\varphi_1 + x_1'\sin\varphi_1 + [((x_1 - r)\cos\varphi_1 - y_1\sin\varphi_1)(1 - u_{21}\cos\gamma) - \\ - Au_{21}\cos\gamma] - [((x_1 - r)\cos\varphi_1 - y_1\sin\varphi_1 + A)u_{21}\sin\gamma]. \end{gathered} \qquad (3)$$

Качество процесса накатки зубьев в значительной степени зависит от угла между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактных линий. С увеличением этого угла процесс накатки становится эффективным. Если угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактных линий уменьшается до нуля градусов, то в этом случае вместо накатки будет процесс резания металла. В этом случае вместо накатного инструмента проектируют зуборезные фрезы или обкаточные резцы. В данном исследовании угол между направлением контактных линий и направлением вектора относительной скорости скольжения найден в следующем виде:

$$\begin{gathered} tg\upsilon_\tau = \left\{ -\frac{\partial F}{\partial\psi}\left(\frac{\partial\vec{r}_1}{\partial\psi}\,\vec{V}^{(12)}\right)\left[(x_1')^2 + (y_1')^2\right] - \frac{\partial F}{\partial v}\left(\frac{\partial\vec{r}_1}{\partial v}\,\vec{V}^{(12)}\right)\right\} \Bigg/ \\ \left[\frac{\partial F}{\partial v}\left(\frac{\partial\vec{r}_1}{\partial\psi}\,\vec{V}^{(12)}\right) - \frac{\partial F}{\partial\psi}\left(\frac{\partial\vec{r}_1}{\partial v}\,\vec{V}^{(12)}\right)\right]\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}\,. \end{gathered} \qquad (4)$$

Если внимательно изучить процесс накатки зубьев при помощи многозаходных гиперболоидных накатников, то можно увидеть, что величина скольжения на зубе накатного инструмента и на накатываемом зубе не одинакова. Величины скольжения на зубе накатываемой детали и накатном инструменте в данном исследовании найдены при помощи выражений (5). Накатной инструмент работает постоянно в течении всего

времени его эксплуатации, а накатываемый зуб накатывается всего за один цикл накатки. В следствии этого, накатной инструмент может интенсивно изнашиваться. Поэтому в данном исследовании выведены коэффициенты удельных скольжений, благодаря управлению которых можно правильно выбирать параметры накатного инструмента, который будет минимально изнашиваться и притираться.

$$\eta_1 = \left\{ -\left( \vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) [(x_1')^2 + (y_1')^2] \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left( \vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right\} \Big/ \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} [(x_1')^2 + (y_1')^2],$$

$$\eta_2 = 1 - \left\{ \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} [(x_1')^2 + (y_1')^2] \right\} \Big/ \left\{ \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} [(x_1')^2 + (y_1')^2] - \right. \tag{5}$$

$$\left. -\left( \vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) [(x_1')^2 + (y_1')^2] \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left( \vec{V}^{(12)}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right\}.$$

От длины контактной линии на накатываемом зубе в значительной степени будет зависеть усилие накатки. Кроме того, от формы и направления контактной линии зависит форма пятна контакта на накатываемом зубчатом колесе. В данном исследовании длина контактной линии найдена в следующем виде:

$$(ds)^2 = (d\vec{r}_1)^2 = \left( \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} dv + \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} d\psi \right)^2 = \left( \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) dv^2 +$$

$$+ 2\left( \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) dv d\psi + \left( \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi}, \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) d\psi^2 \tag{6}$$

При накатке зубьев цилиндрических зубчатых колес одним из основных режимов накатки является усилие накатки. Усилие накатки зависит от геометрической формы накатного инструмента и геометрических параметров накатного инструмента. Если кривизна накатного инструмента стремится к максимуму, то это означает, что радиус кривизны минимальный, следовательно и усилие накатки должно быть минимальным. Если же приведенная кривизна стремится к минимуму, то радиус кривизны максимальный, следовательно и усилие накатки максимальное. В настоящей работе приведенная кривизна контактирующих поверхностей найдена в следующем виде:

$$K_{pr} = \frac{\left[ ((x_1')^2 + (y_1')^2)(F^{\psi})^2 + (F^{v})^2 \right] \frac{1}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}}{\left( (x_1')^2 + (y_1')^2 \right) F^{\varphi_1} - F^{v}(V^{(12)}, r_1^{v}) - F^{\psi} \left( (x_1')^2 + (y_1')^2 \right) (V^{(12)}, r_1^{\psi})} \tag{7}$$

Варьируя геометро-кинематическими параметрами процесса накатки зубьев можно управлять процессом накатки, изменять геометрию накатного инструмента еще на стадии его проектирования, т.е. можно в значительной степени сократить количество дорогостоящих экспериментальных исследований. Необходимо отметить, что на качество накатанной поверхности в значительной степени влияет скорость скольжения вдоль поверхности накатываемого зуба. На рис. 1 показано изменение скорости скольжения вдоль поверхности зуба накатанного различными гиперболоидными накатниками. В течении машинного эксперимента накатывались зубчатые колеса с $m_n = 1{,}5$ мм и количеством зубьев 100. Накатка производилась при помощи двух различных гиперболоидных накатников с числом зубьев 7. Первый

накатник имел наружный диаметр в горловом сечении 78,94мм, а второй накатник – 73,82мм. На рисунке 1 видно, что первый накатник будет эффективно работать при угле скрещивания осей накатываемого зубчатого колеса и инструмента равном 165°, а второй накатник будет эффективно работать при угле скрещивания осей накатываемой детали и накатного инструмента равном 150°.

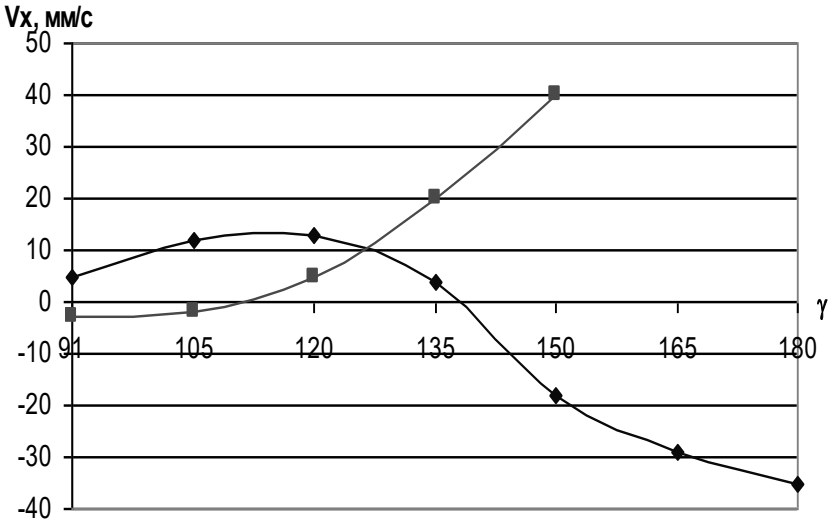



Рис 1. Скорость скольжения по профилю зуба накатываемого прямозубого зубчатого колеса с количеством зубьев 100

z2=7; R1=39.47

z2=7; R1=36.91

Другие геометро-кинематические показатели накатки зубчатого колеса при помощи гиперболоидного накатника позволяют правильно выбрать усилие накатки в зависимости от геометрии накатываемой детали и геометрии накатного инструмента.

**Список литературы: 1.** Гавриленко В.А. зубчатые передачи в машиностроении.М.: Машгиз, 1962.-531 с**. 2.** Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений /Ф.Л.Литвин.– М.: Наука, 1968, 584 с. **3.** Перепелица Б.А. Автоматизированное профилирование режущих инструментов (теория и алгоритмы): Учебное пособие / Б.А.Перепелица. – Харьков: ХПИ, 1985.–107 с. **4.** Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р.Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с. **5.** Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного инструмента / Ю.В. Цвис – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.

## К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЗ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ МИНЕРАЛОКЕРАМИКИ

**Савельев К.С., магистр техники и технологии; Киселев Е.С., д.т.н., проф.**
(*ФБГОУ ВО "Ульяновский государственный технический университет", г. Ульяновск*)

***Abstract.*** *In modern machines, working processes are characterized by high pressures, loads, speeds and temperatures. Under these conditions, conventional structural steels are short-lived or completely unsuitable, therefore, in the engineering industry, steels and alloys with*

*high strength, heat resistance and heat resistance characteristics are becoming increasingly common.*

Как правило, традиционные технологии обработки заготовок из жаропрочных сплавов, относящихся к категории труднообрабатываемых, не позволяют достичь высоких значений элементов режима резания (скорость резания, подача). Это обусловлено их физико-механическими свойствами, такими как высокое упрочнение материала в процессе деформации резанием, способностью материала сохранять исходную прочность и твердость при высоких температурах, возникающих в зоне резания, низкой теплопроводностью, что является причиной плохого отвода теплоты из контактной зоны обработки, а также наличием в составе жаропрочных сплавов интерметаллидных или карбидных включений, приводящих к абразивному износу режущих кромок твердосплавного инструмента.

Низкая обрабатываемость жаропрочных сплавов определяется их физико-механическими свойствами. В этих условиях весьма необходимо раскрыть причины, влияющие на их обрабатываемость, и найти способы и средства увеличения производительности их обработки на металлорежущих станках.

Основная структура большинства жаропрочных сплавов представляет собой обычно твердый раствор аустенитного класса с гранецентрированной кубической решеткой. При этом большая часть деформируемых жаропрочных сплавов принадлежит к типу дисперсионно твердеющих, т.е. в этих сплавах происходит выделение из твердого раствора структурной составляющей – второй фазы, отличной от его основы и рассеянной по всему объему сплава в тонкодисперсной форме.

Высокая дисперсность структуры препятствует возникновению и развитию процессов скольжения, при этом сопротивление ползучести сплава повышается.

Сравнение значений механических характеристик жаропрочных сталей и сплавов и стали 45 показывает, что значения истинного предела прочности при растяжении $\sigma_р$, предела прочности $\sigma_в$ и твердости НВ при обычной температуре и отсутствии деформации (упрочнения), примерно равны. Поэтому худшая обрабатываемость жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов определяется другими физико-механическими и химическими свойствами и, прежде всего, структурой, механическими характеристиками, определяющими их свойства не только в исходном, но и в упрочненном состоянии и при нагреве, а также теплофизическими показателями (температура плавления, энергия активации, теплопроводность), определяющими свойства материала при повышенных температурах.

Основными причинами возникающих трудностей при резании жаропрочных сплавов, являются:

1. Малая теплопроводность обрабатываемого материала, приводящая к повышенной температуре в зоне контакта, а следовательно, к активации явлений адгезии и диффузии, интенсивному схватыванию контактных поверхностей и разрушению режущей части инструмента. Учитывая малый теплоотвод при обработке жаропрочных сплавов, особое значение приобретают смазочные и охлаждающие функциональные свойства СОЖ.

2. Способность сохранять исходную прочность и твердость при повышенных температурах. Это, в свою очередь, приводит к высоким удельным нагрузкам на контактных поверхностях инструмента в процессе резания. Усугубляет действие данного фактора низкая теплопроводность, благодаря чему высокая температура на

контактных поверхностях не позволяет заметно снизить механические свойства по всему сечению срезаемого слоя.

3. Высокое упрочнение материала в процессе деформации резанием. Повышенная упрочняемость жаропрочного проката объясняется специфическими особенностями строения кристаллической решетки этих материалов. Характеристикой, определяющей пластичность или способность материала к упрочнению, является отношение условного предела текучести σт, соответствующего 0.2-процентной остаточной деформации, к пределу прочности σ02/в. Чем меньше это отношение, тем более пластичен материал и тем большей работы и сил резания требует он для снятия одного и того же объема металла. Величина этого отношения для жаропрочных сплавов составляет до 0.4…0.45, в то время как для обычных конструкционных сталей эта величина составляет 0.6…0.65 и более.

Вследствие повышенной способности к упрочнению при пластической деформации жаропрочных сплавов значения в могут возрасти в 2 раза (с 60 до 120 кгс/мм), т – в 3…4 раза (с 25-30 до 100 кгс/мм), при этом относительное удлинение уменьшается с 40-65 до 5-10%.

4. Большая истирающая способность жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов, обусловленная наличием в них кроме фазы твердого раствора еще так называемой второй фазы, образующей интерметаллидные или карбидные включения. Эти частицы действуют на рабочие поверхности инструмента подобно абразиву, приводя к увеличенному износу. Большое значение имеют также структурные превращения, происходящие в этих материалах в процессе пластической деформации и сопровождающиеся выпадением карбидов. Все описанные выше твердые включения совместно с высокими температурами на контактных поверхностях приводят к интенсивному абразивному и диффузионному износу режущей части инструмента, к явлениям адгезии (схватывания). Поэтому коэффициенты трения жаропрочных сплавов по твердым сплавам во много раз больше, чем при трении обычной стали 20.

5. Пониженная виброустойчивость движения резания, обусловленная высокой упрочняемостью жаропрочных и нержавеющих материалов при неравномерности протекания процесса их пластического деформирования. Возникновение вибраций приводит к переменным силовым и тепловым нагрузкам на рабочие поверхности инструмента, следовательно, к микро- и макровыкрашиваниям режущих кромок. При наличии вибраций особенно неблагоприятное влияние на износ инструмента оказывают явления схватывания стружки с передней поверхностью инструмента.

В настоящее время существует различные способы облегчения обработки резанием труднообрабатываемых материалов, в том числе жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов. Самыми очевидными из них являются способы, направленные на повышение стойкости применяемых режущих инструментов. Это, прежде всего, правильный выбор марки инструментального материала и геометрии режущей части инструмента, а также обязательная подача к зоне резания различных составов СОЖ. Наиболее эффективную обработку заготовок из жаропрочных сплавов на основе никеля можно вести режущим инструментом, изготовленным из такого материала, для которого характерны высокие режущие свойства: высокие значения красностойкости, стабильность режущих свойств в широком диапазоне температур и сопротивляемость абразивному износу. Применяемые в настоящее время в качестве инструментальных материалов твердосплавные инструменты не обладают в достаточной мере необходимыми характеристиками.

Следует отметить, что для жаропрочных сплавов на никелевой основе характерна значительная потеря прочности и облегчение процесса резания только при температурах выше 800 С. [1,2]. Учитывая. что такие температуры на поверхностном слое обрабатываемой заготовки сопряжены с большой вероятностью возникновения дефектов изготовляемой детали, эту особенность, вероятно, можно использовать хотя бы для предварительной (черновой) обработке. Поэтому важно правильно выбрать материал режущей части инструмента, работающего в условиях высокоскоростной программной обработки на современных обрабатывающих центрах.

В то же время общеизвестно, что использование в качестве инструментального материала современных видов минералокерамики характеризуется способностью сохранять свои физико-механические свойства даже в условиях достаточно высоких температур, при которых происходит разупрочнение даже особо труднообрабатываемых материалов, в частности – жаропрочных сплавов на основе никеля [3]. В связи с этим появляется возможность существенно увеличить скорость резания до значений 600-1000 м/мин, что не достижимо при использовании инструментов из твердого сплава. При этом, следует учитывать, что минералокерамика отличается весьма низкой теплопроводностью, а следовательно, составляющая теплового баланса процесса резания, приходящаяся на режущий инструмент (как и при шлифовании) весьма мала. Поэтому основная часть образовавшейся теплоты будет интенсивно разогревать поверхностный слой заготовки и не сможет уходить в её вглубь из-за плохой теплопроводности таких сплавов. Необходимо отметить, что использование в качестве режущей части инструмента минералокерамики исключает использование при обработке СОЖ, так как применение последней приводит к термошоку и её катастрофическому разрушению. Поэтому особый научный интерес имеют структурно-фазовые превращения поверхностного слоя, что важно для определения минимального припуска для окончательных операций изготовлении тонкостенных деталей (например - лопаток газотурбинных двигателей).

Добиться улучшения обрабатываемости жаропрочных сплавов и уменьшение негативных процессов (возникновение остаточных напряжений и рост контактной температуры) можно путём введения в зону резания ультразвуковых колебаний, облегчающих пластические деформации и снижающих коэффициент трения. Для оценки возможности повышения эффективности обработки жаропрочного сплава путем наложения ультразвуковых колебаний, была разработана методика экспериментальных исследований и изготовлена экспериментальная установка для операций чернового точения (рис. 1). Данная установка позволит провести серию экспериментов, которые установят влияние ультразвука на возникновение остаточных напряжений, структурно-фазовых превращений, составляющие силы резания, контактной температуры и помогут определить дальнейшие направления исследований в этой области. Для этой цели в процессе исследований используются рентгеновские измерительные комплексы «РИКОР-4» и «РИКОР-7», прибор «Ситон-АРМ», универсальный динамометр УДМ-600, пирометр TemPro -1200/1600/2200 и др.

Общеизвестно, что ультразвуковые колебания, сообщаемые режущему инструменту, могут оказывать значительное влияние на обе основные составляющие работы резания: создаваемые ими знакопеременные напряжения ускоряют движение и образование дислокаций, обеспечивая возникновение пластической деформации при более низких напряжениях, а циклические перемещения контактных поверхностей вызывают периодический поворот векторов сил трения на рабочих гранях инструмента, значительно уменьшающей сопротивление сходу стружки и облегчающий процесс

стружкообразования. Исходя из анализа литературы, посвященной внедрению ультразвука в зону обработки можно предположить, что ультразвук будет оказывать положительное влияние на обработку жаропрочных сплавов.

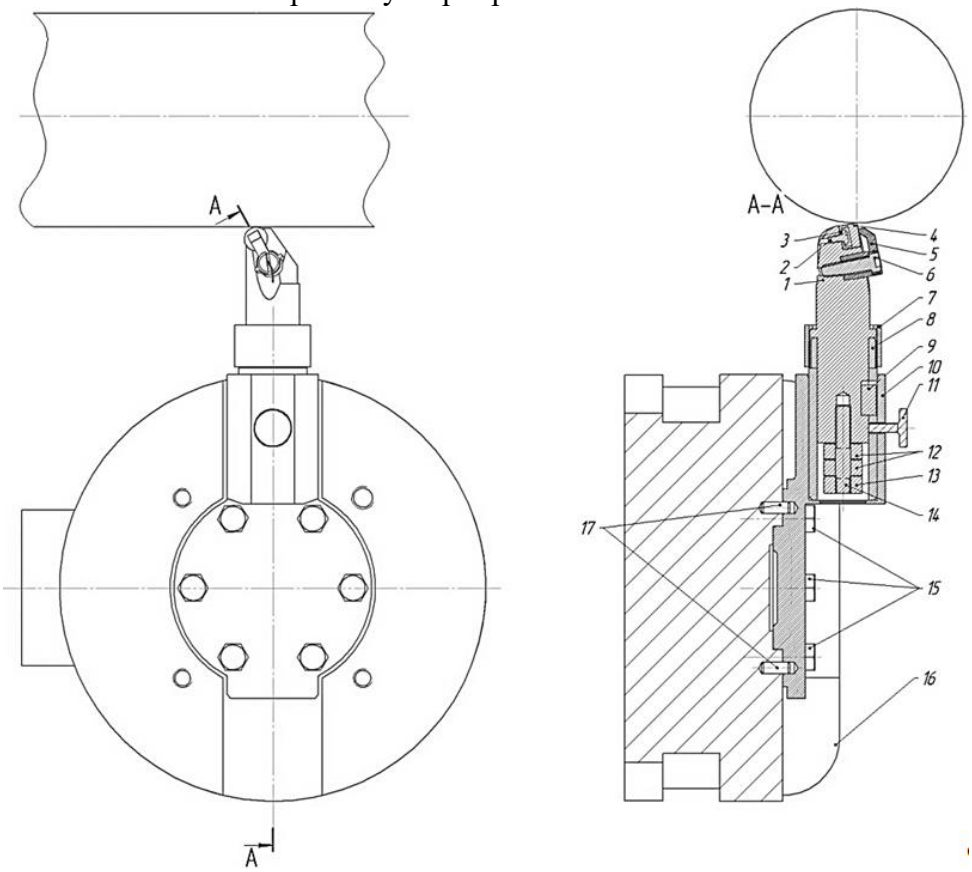



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 – волновод; 2 – подложка; 3 – винт; 4 – режущая пластина; 5 – рычаг; 6 – винт для закрепления рычага; 7 – гайка; 8 – втулка; 9 – шпонка; 10 – корпус; 11 – фиксирующий винт; 12 – пьезоэлектрические преобразователи;13 – гайка; 14 – шпилька; 15 - болты для закрепления корпуса на УДМ;16 – УДМ-600; 17 – установочные штифты/

И анализа первых экспериментальных исследований следует, что введение ультразвука в зону обработки и использование режущего инструмента из минералокерамики является перспективным направлением повышения эффективности обработки заготовок из жаропрочных сплавов. Использование энергии УЗ-поля ведет к повышению стойкости режущего инструмента, увеличению производительности, повышению качества продукции, уменьшению величины остаточных напряжений.

**Список литературы: 1.** Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. / Под ред. Н. И. Резникова. – М.: Машиностроение, 1972. – 200 с. **2.** Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Высшая школа, 1974. – 587 с. **3.** Храмов А.В., Горшков М. Г., Киселев Е.С. Фрезерная обработка заготовок из жаропрочных сплавов на никелевой основе монолитными и корпусными керамическими фрезами. .//Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева.№2(42) 2017, с. 219-223.

# РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ «ОБКАТКИ» РОТОРА В ТУРБОМАШИНАХ

**Самсонов Ю.П., Щугорев В.Н.** *(«НИУ «МЭИ», Москва, Россия*)
E-mail: ShchugorevVN@mpei.ru; SamsonovYP@mpei.ru

***Abstract****: The mechanisms and the instruments, established on transportation means, undergo power and kinematic actions. Their intensity causes regular or regular of the displacement of mechanisms. In the first case stationary vibration field appears. With the special regimes (starting, shock wave) the mechanisms undergo the action of large intensity. About it is possibility strike on a rotor.*
***Key words:*** *Shock absorber, power action, kinematic action, the shockproof mechanism*

Первые публикации относятся к середине прошлого века [1]. Если в первых работах [1-3] это явление считалось теоретически возможным и интересным, то в настоящее время во многих публикациях [4-7] утверждается, что процесс обкатки может стать объяснением причин разрушения турбомашин большой мощности. В отмеченных работах показано, что при совокупности многих факторов, основным из которых является внезапная разбалансировка ротора (например, обрыв лопатки), сохраняющаяся в течение некоторого промежутка времени, может привести к многократному возрастанию скорости вращения ротора за счет обкатки ротора.

Во многих публикациях [2-5] предприняты попытки описать сам процесс «обкатки, предполагая или принимая начальное изменение структуры системы (разбалансировка, отрыв массы ротора, одной или нескольких лопаток и так далее). В последних работах [6-8] очень скурпулёзно описан процесс обкатки, продолжительность которого составляет доли секунды. Однако процесс обкатки не может регулироваться изменением основных параметров, значения которых приводят или могут привести к разрушению. Такие параметры как масса оторвавшегося тела, величина диссипации, податливость статора не подлежат изменениям (по сути значения этих параметров являются начальными значениями для проведения расчета) и потому не влияют на процесс обкатки. Не представляется возможным построить какие-либо номограммы при всевозможных начальных значениях параметров. Особенно это касается оторвавшейся массы. Можно расчетным путем построить зависимость наступления разрушения системы от величины массы оторвавшегося тела, но какова она в сиюминутном процессе? Единственно, что вычисляется по предложенной методике - это время развития процесса обкатки до разрушения, которое опять же вычисляется при принятых значениях параметров. Кроме того, время расчета создавшейся ситуации, как правило, больше реального наступления момента времени разрушения. Понимая невозможность влияния на сиюминутную ситуации развития процесса обкатки, предлагается решение из совершенно другой области, а именно, применение аварийной системы, которая всегда стоит на всех турбоагрегатах. Если время развития процесса «обкатки» до разрушения меньше, чем время срабатывания стандартной аварийной системы, то разрушение произойдет непременно, поэтому предлагается улучшить быстродействие стандартной системы аварийной безопасности.

Поэтому описание процесса «обкатки» при внезапно измененных структурных свойствах системы не может быть использовано для оценки работоспособности конструкции. Предложенная методика позволяет высказать предположения (которых, как правило, множество) только о состоявшейся аварии.

В работах [9-11] вопрос обкатки для турбомашин, установленных на судах, рассматривается как факт касания ротором статорных поверхностей при известной величине кинематического воздействия (взрывного устройства), а не разбалансировки. В работе [9] приведены уравнения движения системы амортизированных объектов (в том числе подсистему ротор на подшипниках) установленных на транспортных платформах. Кинематическое воздействие, значительное по величине, вызывает линейную и угловую скоростями движения платформы, которые определяют перемещения объектов. В качестве примера рассмотрена система, состоящая из двух тел (статора турбомашины и ротора), которая расположена на подвижной платформе с помощью системы амортизации. Динамические характеристики опор (подшипников) между статором и ротором приняты в виде нелинейных гистерезисных функций. Жесткость опор при штатном режиме определяется жесткостью масляной пленки. При касании шейки ротора поверхности подшипника жесткость определятся материалом вкладыша и далее жесткостью цапфы. Результаты многочисленных расчетов показали, что возможны ситуации, когда ротор ударяется о тело подшипника, отскакивает, находится в соприкосновении в течение некоторого промежутка времени. Касание повторяется как в промежутке времени воздействия, так и после его окончания. То есть подтверждается наличие ситуации возникновения начала обкатки при известных параметрах динамических характеристик системы и при заданном значении кинематического воздействия. При таком подходе не исследуется сам процесс обкатки, так как считается, что он быстротечен и его появление непременно приводит к катастрофическим последствиям. Задача обеспечения работоспособности в этом случае состоит в вычислении максимальных значений внешнего воздействия при не изменённой структуре системы.

**Список литературы:** **1.** Артоболевский И.И., Костицын В.Т., Раевский Н.П. Об одном состоянии вала, вращающегося в подшипнике без смазки с зазором. Изв. АН СССР, отделение технических наук, № 2, 1948, с. 168 – 172. **2**. Щегляев А.В., Костюк А.Г. Действие внезапной разбалансировки на ротор турбогенератора. Теплоэнергетика.- 1969 , с. 9 – 16. **3**. .Олимпиев В.И. Об обкатке неуравновешенного гибкого ротора по статору. Машиноведение. -1976. -№ 1, с.52 -56. **4**. Позняк Э.Л. Крутильный удар в валопроводе при внезапной и сильной разбалансировке. Машиноведение. – 1978 -№ 5, с. 66 – 74. **5**. Костюк А.Г., Шатохин В.Ф. Расчет переходных колебаний валопровода при внезапной разбалансировке. Сборник МЭИ, 1972, № 99, с.120 -128. **6**. Шатохин В.Ф. Исследование развития обката ротора по статору в условиях разного быстродействия систем защиты турбоагрегата // Теплоэнергетика. -2014. -№7. 7. Шатохин В.Ф. Развитие обката неуравновешенного ротора по статору //Электрические станции. - 2013. - №11 . - С.17 -28. **8**. Шатохин В.Ф. Исследование развития обката ротора по статору в условиях разного быстродействия систем защиты турбоагрегата // Теплоэнергетика. -2014. -№7. **9.** Самсонов Ю.П., Булахтин К.В. Режимы обкатки ротора при длительном контакте со статором. Донецк, Донецкий национальный университет. 2010. **10**. Самсонов Ю.П., Мишенков Г.В. К расчету сложных амортизированных систем с нелинейными динамическими характеристиками опор. В кн. Расчеты на прочность. -М.Машиностроение, 1977. **11**. Самсонов Ю.П. О возможности «обкатки ротора» при интенсивном кинематическом воздействии. Инженерный журнал «Справочник», Приложение, 2013.-№5, с. 15-21. **12.** Костюк А.Г. Численное моделирование нестационарных колебаний после внезапной разбалансировки многоопорного ротора с задеванием о статор // Электрические станции. - 2012. - №9. -

С. 33-41.. **13**. Самсонов Ю.П., Щугорев В.Н. О возможности обкатки ротора при кинематическом воздействии // Материалы XXI международной научно-технической конференции “Машиностроение и техносфера XXI века”, Севастополь 2014. С. 233-235.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОВОЙ ТРЕХМАССНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛОТКОВОГО ВИБРАЦИОННОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

**Свиридов А.А., Усенко Н.А.,** *(ТулГУ, г. Тула, Россия)*
*Тел. +7 (953) 1922374; E-mail: anton-vedu@yandex.ru*

***Abstract:*** *The experimental study of a new dynamic model of a tumbling vibrating loading device in order to determine the intrinsic and stimulated oscillation frequency of an additional tray, the amplitude and frequency characteristics, the phase shift between the oscillations, and the damping coefficient.*
***Key words:*** *tumbling vibrating loading device, amplitude and frequency characteristics, phase shift.*

В работе [1] представлена новая динамическая модель лоткового вибрационного загрузочного устройства, реализующего эллиптические колебания лотка при однокомпонентном электромагнитным приводом. Целью экспериментальных исследований новой динамической модели лоткового вибрационного загрузочного устройства, описанной, является определение собственной частоты основного и дополнительного лотков загрузочного устройства, амплитудных и частотных характеристик (АЧХ) горизонтальных и вертикальных колебаний, сдвига фаз между ними, коэффициента затухания.

В составе экспериментального комплекса входят: плата на основе 3–х осевого акселерометра LIS3DH и ЭВМ с программным обеспечением.

Акселерометр LIS3DH настроен на рабочую частоту 1600 Гц и пределы перегрузки равные 16-ти ускорениям свободного падения. Для измерения параметров горизонтальных и вертикальных колебаний плата с акселерометром жестко крепится к одному из лотков. Данные с акселерометра передаются на микроконтроллер STM32F030K6T6 через интерфейс SPI. Микроконтроллер передает данные для дальнейшей обработки на ЭВМ по беспроводной сети Bluetooth.

На рис.1 представлен пример сигнала и способ обработки сигнала с платы, установленной на основном лотке. Видно, что форма сигнала повторяет синусоиду. Это показывает, что плата работает правильно, однако в ней присутствуют небольшие помехи. Также отчетливо видно отсутствие фазового сдвига между вертикальными и горизонтальными колебаниями.

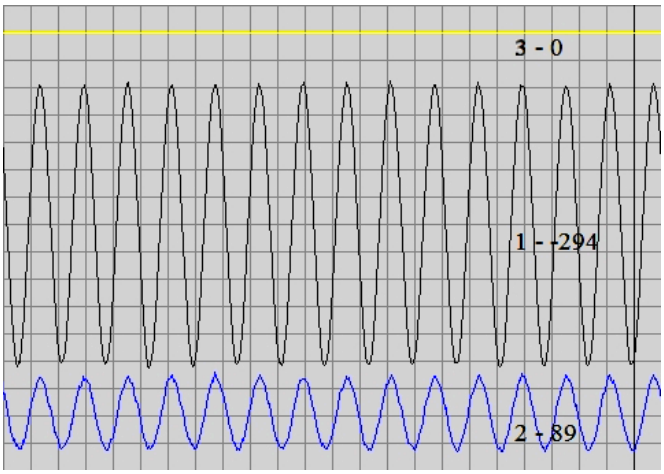



Рис. 1. Обработка сигнала колебаний основного лотка: 1 – ускорение по горизонтальной оси; 2 - ускорение по вертикальной оси; 3 – фазовое смещение

На рис.2 представлен пример сигнала и способ обработки сигнала с платы, установленной на дополнительном лотке. Отчетливо виден фазовый сдвиг между вертикальными и горизонтальными колебаниями.

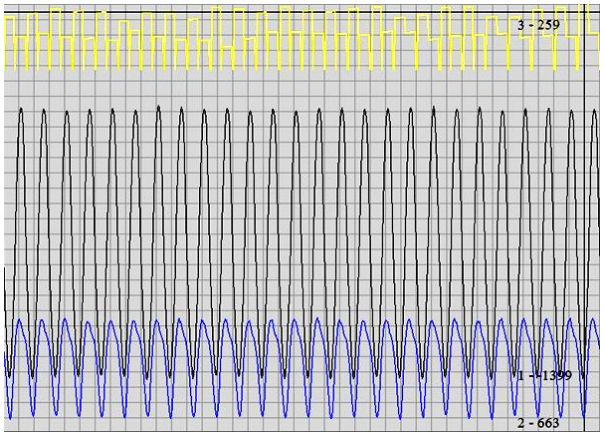



Рис. 2. Обработка сигнала колебаний дополнительного лотка: 1 – ускорение по горизонтальной оси; 2 – ускорение по вертикальной оси; 3 – фазовое смещение

В представленном примере ускорение устоявшихся вертикальных колебаний $A''_{B1} = 663$ у.е.п., ускорение горизонтальных колебаний $A''_{Г1} = 1399$ у.е.п., ускорение свободного падения $g'' = 1325$ у.е.п. При условии, что $g = 9{,}8$ м/с$^2$, $\omega = 314$ с$^{-1}$, составив пропорцию, получим:

$$A''_B = \frac{g \times (g'' - A''_{B1})}{g'} = \frac{(9{,}8 \times 1325 - 663)}{1325} = 4{,}9 \text{ м/с}^2,$$

$$A''_Г = \frac{g \times A''_{Г1}}{g''} = \frac{9{,}8 \times 1399}{1325} = 10{,}35 \text{ м/с}^2.$$

Отсюда получаем амплитуду вертикальных и горизонтальных колебаний:

$$B''_B = \frac{A''_B}{\omega^2} = \frac{4{,}9}{98596} \times 1000 = 0{,}05 \text{ мм}, \quad B''_Г = \frac{A''_Г}{\omega^2} = \frac{10{,}35}{98596} \times 1000 = 0{,}11 \text{ мм}.$$

Для экспериментального определения угла сдвига $\varepsilon$ между вертикальными и горизонтальными колебаниями на микроконтроллере экспериментальной установки была создана программа, алгоритм работы которой заключается в поиске сторон подобных треугольников (рис. 3).

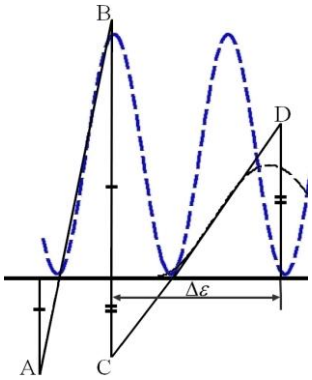



Рис. 3. Фазовый сдвиг

Зная значения пиков A, B, C, D и период вертикальных и горизонтальных колебаний, можно определить значение угла сдвига фаз. Из представленного выше примера видно, что фазовое смещение составляет $\varepsilon = 25{,}9^\circ$.

Для того, чтобы определить собственные частоты, надо определить период колебаний. Период колебаний определяется следующим образом: разность времени между двумя максимальными значениями, в данном случае 0.02 с. Отсюда получаем частоту колебаний: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}02} = 50 Гц$.

На рис. 4 представлен примерный график затухающего колебания. Собственная частота колебания вычисляется по формуле

$$\nu = \frac{\nu \times T}{T_0},$$

где $T$ – период вынужденного колебания, $T_0$ – период собственного колебания, измеренные на рис. 5.

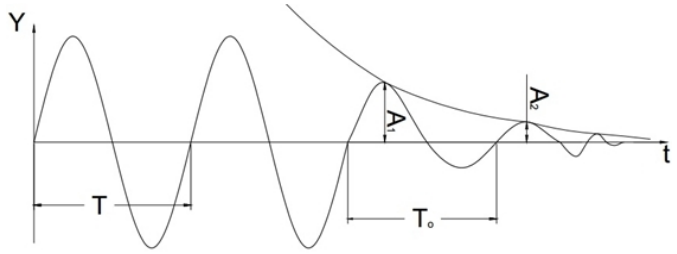



Рис. 4. Примерный график затухающего колебания

На рис. 5 представлены затухающие колебания бункера в вертикальной и горизонтальной плоскости.

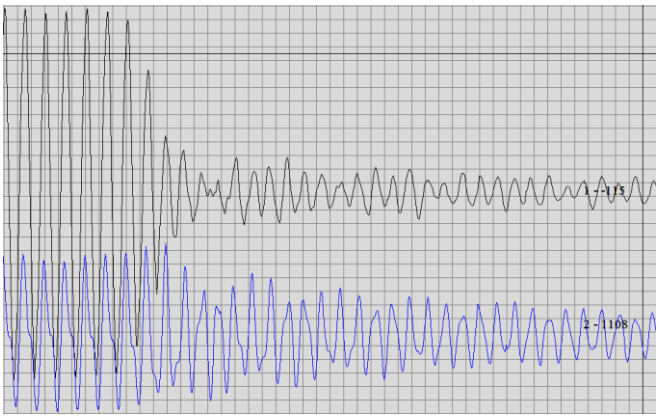



Рис. 5. Затухающие колебания лоткового вибрационного загрузочного устройства: 1 – колебания по горизонтальной оси; 2 – колебания по вертикальной оси

Угловые частоты собственных колебаний вычисляется по формулам:

$$\omega_0 = \frac{\omega \times T}{T_0} \text{ или } \omega_0 = 2\pi\nu_0 .$$

Фазовый угол вычисляется по формуле

$$tg\varepsilon_0 = \frac{2\omega n_0}{\omega_0^2 - \omega^2},$$

где $n_0 = \frac{\Delta}{T_0} = \Delta\nu_0$ – коэффициент затухания колебания; $\Delta = ln\frac{A_1}{A_2}$ – логарифмический декремент затухающих колебаний.

Расчетные результаты измерения затухания колебаний в горизонтальной и вертикальной плоскостях бункера показаны в таблице, где $A_{\Gamma 1}$, $A_{\Gamma 2}$ – затухающие амплитуды колебаний лотка в горизонтальной плоскости; $n_\Gamma$ – коэффициент затухания колебания лотка в горизонтальной плоскости; $T_{0\Gamma}$, $T_\Gamma$ – затухающие и вынужденные периоды колебаний лотка в горизонтальной плоскости; $\omega_{0\Gamma}, \nu_{0\Gamma}$ – собственные частоты лотка в горизонтальной плоскости; $A_{B1}$, $A_{B2}$ – затухающие амплитуды лотка в вертикальном направлении; $n_B$ – коэффициент затухания колебания лотка в горизонтальной плоскости; $T_B$, $T_{0B}$ – соответственно вынужденные и затухающие периоды колебаний лотка в вертикальном направлении; $\omega_{0B}$, $\nu_{0B}$ – собственные частоты лотка в вертикальном направлении.

Таблица 1. - Расчетные результаты измерения колебаний лоткового вибрационного загрузочного устройства

| $T_{0Г}$, с | $T_Г$, с | $\omega_{0Г}$, с$^{-1}$ | $\nu_{0Г}$, Гц | $A_{Г1}$, мм | $A_{Г2}$, мм | $n_Г$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0163 | 0,0194 | 386,47 | 61,54 | 0,021 | 0,012 | 34,36 |
| $T_{0В}$, с | $T_В$, с | $\omega_{0В}$, с$^{-1}$ | $\nu_{0В}$, Гц | $A_{В1}$, мм | $A_{В2}$, мм | $n_В$ |
| 0,0138 | 0,0188 | 456,74 | 72,73 | 0,018 | 0,011 | 35,87 |

Таким образом, разработанный экспериментальный комплекс отличается компактностью, простотой в использовании и своим широким функционалом. Он способен фиксировать амплитудные и частотные характеристики горизонтальных и вертикальных колебаний трехмассного лоткового вибрационного загрузочного устройства. Экспериментально было доказано, что при введении дополнительных упругих элементов в конструкцию загрузочного устройства, возможно добиться колебаний дополнительного лотка по эллиптической траектории, было зафиксировано наличие фазового смещения между колебаниями ЛВЗУ $\varepsilon = 25{,}9^\circ$, что обеспечивает повышенную скорость вибротранспортирования. При этом отклонение теоретических и экспериментальных исследований составило не более 10 %.

**Список литературы: 1.** Бочарова Е.С., Свиридов А.А., Усенко Н.А. Новая динамическая модель трехмассного вибрационного лоткового загрузочного устройства // Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения: материалы междунар. научно-техн. конф., 11-15 сентября 2017 года, г. Севастополь. СГУ, 2017. – С. 86-87. **2.** Патент РФ №177166. МПК8 B65ПG 27/004. Вибрационный лоток // А.А. Свиридов, Н.А. Усенко. Опубл. 12.02.2018. Бюл. № 5. **3.** Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы: учебное пособие // Н.А. Усенко, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Е.С. Бочарова; под научн. ред. В.В. Прейса. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – 310 с. **4.** Ильинский В.С. Вопросы изоляции вибрации и ударов. – М.: Советское радио, 1960. – 158 с. **5.** Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник // И.С. Бляхеров, В.В. Прейс, Н.А. Усенко [и др.]; под ред. Клусова И.А.. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ УЗЛОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ МАШИН

**Семенов А.Н., Непомилуев В.В.**
*(РГАТУ имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия)*
*Тел.: +7 (4855) 222334; E-mail:semenov.an@mail.ru, vvvvnn@yandex.ru*

***Abstract:*** *The article examines the possibility of improving the quality of the assembly in the mechanical engineering by using machine parts description of functions.*
***Key words:*** *Accuracy, size, technology, machine quality, assembly, interchangeability.*

Важнейшей задачей машиностроения является обеспечение выпуска продукции, соответствующей требуемым эксплуатационным показателям при минимальных

затратах. Как правило, данная задача решается на основе нормирования геометрической точности деталей. Однако, для изделий, имеющих сложные физические принципы действия, такой подход не всегда приносит эффект при обеспечении требуемых эксплуатационных показателей. Основа данной проблемы лежит в косвенном характере управляющих воздействий на эксплуатационные показатели, поскольку физические функциональные параметры составных частей изделия, которые в свою очередь формируют эксплуатационные показатели машин, очень часто нелинейно зависят от геометрических параметров деталей.

Проблема достижения функциональной точности приобретает значимость на этапе сборки изделия. Уже в ходе процесса сборки начинается взаимное влияние деталей, в результате которого изменяются достигнутые значения эксплуатационных показателей изделия. В этой ситуации становится важным обеспечение непосредственных выходных параметров узлов и деталей.

Теоретической основой для безусловного достижения заданных параметров изделий является принцип функциональной взаимозаменяемости, который базируется на обеспечении требуемых свойств готового изделия (узла, машины) через точность функциональных параметров деталей. Формирование функциональной взаимозаменяемости достигается через наличие у любого компонента машины определенных свойств, определяющих его пригодность для безусловной замены аналогичным объектом.

Изделия машиностроения разделяются на три группы объектов: детали, узлы, машины, которые имеют точно определённый и усложняющийся набор параметров. Детали должны обладать исходными свойствами, которые формируются в соответствии с требованиями объектов более высокого порядка. Набор таких параметров детали, основными из которых являются геометрические, физико-механические, химические, позволяет первоначально определить возможность использования данного принципа применительно к детали, а также степень влияния на выходные параметры узла (рис).

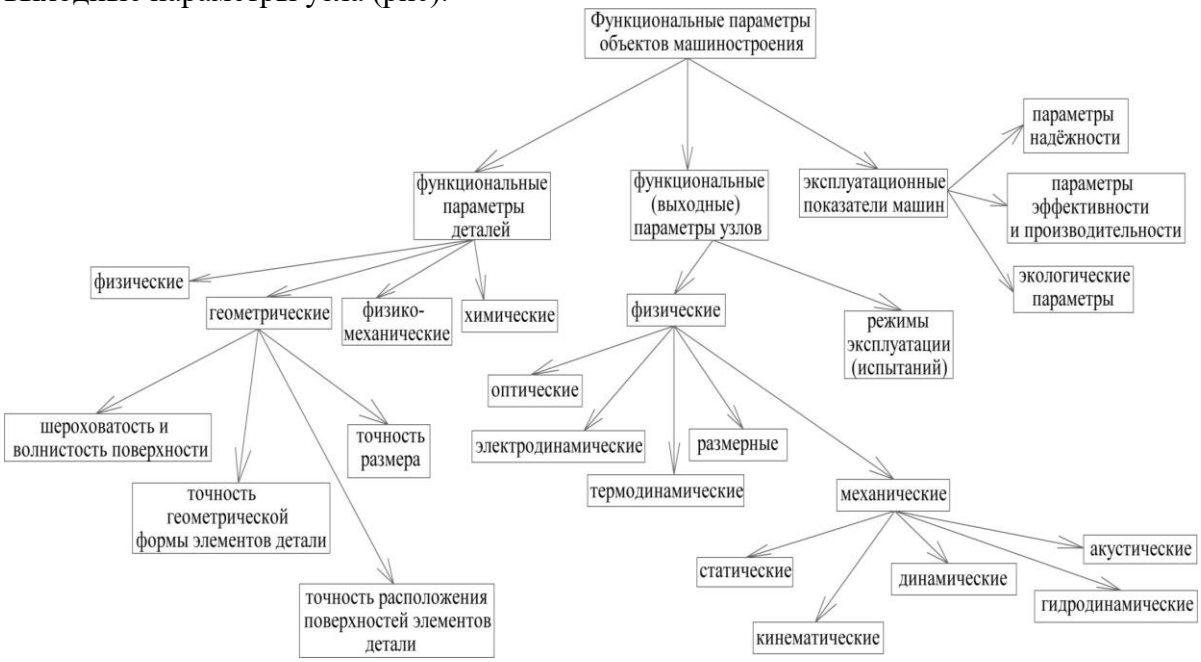



Рис.1. Основные виды функциональных параметров

Как правило, геометрические параметры деталей совпадают с их конструктивными параметрами, отражающими функциональные свойства. Физико-механические функциональные параметры деталей, к которым относятся упругость, жесткость, прочность, выносливость, тепловое расширение, свойства их поверхностных слоев, непосредственно зависят от геометрических параметров, но в большинстве случаев конкретно не нормируются, что означает их косвенное регламентирование.

Химические параметры, составляющие третью группу функциональных параметров деталей, непосредственно зависят от вида, строения и химического состава материала детали. Их непосредственное проявление может осуществляться как в процессе сборки, так и по истечении некоторого периода времени под воздействием окружающей среды и условий работы. Их примерами являются: химическая активность материала, коррозионная стойкость, взаимодействие с иными средами и веществами.

В процессе сборки деталей формируются новые объекты - сборочные единицы (узлы) с измененными функциональными параметрами деталей. Соответственно, функциональные параметры узлов непосредственно определяются фактическими значениями функциональных параметров деталей, входящих в их состав. В большинстве случаев эта взаимосвязь является существенно нелинейной.

Механизм формирования функциональных свойств узла зависит от служебного назначения, необходимой точности выходных параметров, особенностей конструкции. Эти свойства узлов относятся к их выходным характеристикам, имеют разнообразную физическую природу и оказывают существенное влияние на показатели машины в эксплуатации. Основные размерные параметры узлов определяют их геометрическую взаимозаменяемость в виде возможности быть замененными на подобные без использования дополнительных операций.

А.И. Якушевым было введено понятие функциональной взаимозаменяемости, как возможности обеспечения в допустимых пределах стабильных во времени и экономически оптимальных эксплуатационных показателей изделий и составляющих элементов. Необходимость формирования связи между эксплуатационными показателями изделий и их функциональными параметрами в математическом виде определяется выражением

$$y = F(x_1, x_2, ..., x_n),$$

где $y$ – эксплуатационный показатель изделия, $x_1, x_2, ..., x_n$ – функциональные параметры изделия, независимые друг от друга.

Трансформация геометрических, электрических, механических и других параметров деталей в выходные параметры изделий происходит на сборочном этапе. Многочисленные проблемы с достижением качества так называемых высокотехнологичных изделий происходит из-за недооценки этого процесса, что привело к необходимости разработки новых способов сборки для решения узкого круга задач. К ним можно отнести сборку

- с учётом физических параметров деталей;
- с использованием компенсирующих материалов и оптимизированным подбором деталей;
- индивидуальную сборку по фактическим размерам деталей;
- индивидуальную селекцию под значения выходного параметра;

- технологию виртуальной сборки [1];
- внутреннюю компенсацию реакций избыточных связей.

В качестве примера можно привести многолетний опыт и практику сборки авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Использование классической схемы сборки имеет ряд существенных недостатков, таких как низкая технологичность сборки составных частей, невозможность проведения ремонта газотурбинного агрегата на месте эксплуатации и т.д. Наиболее предпочтительной является модульная сборка, при которой составные части двигателя поступают в цех общей сборки после узловой сборки и контроля в механосборочных цехах.

Модульность конструкции определяется необходимостью функциональной взаимозаменяемости частей двигателя. Это значит, что конструктивно-технологические узлы должны представлять собой единицы самостоятельного функционирования, обладающие геометрической и функциональной взаимозаменяемостью.

Геометрическая взаимозаменяемость это конструктивное обеспечение возможности замены модулей, блоков и узлов без их подгонки и регулировки по местам стыков, достигается идентичностью геометрических размеров элементов конструкции модулей, блоков, узлов.

Функциональная взаимозаменяемость в конструкции ГТД - это конструктивное обеспечение идентичности характеристик и параметров одноименных заменяемых модулей, блоков и узлов. Идентичность характеристик и параметров одноименных заменяемых модулей, блоков и узлов достигается идентичностью геометрических размеров деталей, сечений проточной части, зазоров, углов установки направляющих и сопловых аппаратов и т.п.

Использование функциональной взаимозаменяемости на основе модульного принципа обеспечивает снабжение запасными частями и возможность перехода к эксплуатации ГТД не по директивной регламентации межремонтного ресурса, а по фактическому состоянию, что является в настоящее время актуальным направлением.

Взаимозаменяемость основных модулей ГТД является основой эксплуатационной надежности двигателя, которая, в первую очередь, зависит от качества сборки ротора турбокомпрессора, определяемого достижением его динамической уравновешенности. Высокое качество уравновешивания ротора турбокомпрессора особенно важно при модульной конструкции современных ГТД, поскольку роторы турбины и компрессора являются отдельными узлами и основными модулями двигателя, а сам ротор турбокомпрессора составляет основу широкого семейства современных газотурбинных двигателей.

Необходимым условием использования любого из этих компонентов ГТД в условиях эксплуатации является функциональная взаимозаменяемость, которая достигается при полной взаимозаменяемости роторов компрессоров и турбин по динамической уравновешенности. Поэтому достижение безусловной уравновешенности роторных модулей, при котором ротор турбокомпрессора будет сбалансирован чрезвычайно важно.

**Список литературы: 1**. Безъязычный, В.Ф. Обеспечение качества изделий при сборке: Монография [Текст] / В.Ф. Безъязычный, В.В. Непомилуев, А.Н. Семенов – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – 204 с.

# КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ И УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Серга Г. В. ,** д-р техн. наук, проф., **Белокур К.А.,** к. т. н., доцент, **Хвостик Э. А. ,** магистр

*(Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Россия)*

*Тел./Факс:* +7-918-410-79-55; *E-mail:* serga-georgy@mail.ru

***Abstract**. The article offers complex technologies of finishing-cleaning and lapping processing of machine parts and machines for their implementation. Advantages arise due to the performance of the working element of the machine spiral form with screw surfaces, in the form of pockets triangular, wavy, semicircular, polygonal shape and to provide simultaneous action on the loading masses of oscillations of relatively large amplitudes with small frequencies and high-frequency oscillations with small amplitudes, opportunities and increases productivity. The recommendations on the use of various proposed working bodies with various shape pockets for finishing-cleaning and hardening processing of parts of different rigidity, as well as an equation for determining the longitudinal speed of moving parts in screw rotors, convenient for engineering calculations in the design of machines for finishing and working hardening with spiral, straight-flowing working organs equipped with pockets of different cross-sectional shape.*

***Key words:** Finishing-cleaning and hardening processing, amplitude, frequency, oscillations, screw lines.*

## Введение

Анализ технологий и технических средств для шлифования, полирования и упрочнения поверхностного слоя деталей [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10] показал, что перспективным направлением в разработке технических средств для реализации таких технологий следует считать комбинированный процесс обработки деталей и частиц рабочих сред (масс загрузки) с использованием колебаний сравнительно больших амплитуд, создаваемых при движении масс загрузки и их встрече с зигзагообразной поверхностью контейнера и наложением на эти сложные движения высокочастотных колебаний малых амплитуд, создаваемых вибратором. Такие технологии названы нами комплексными технологиями. Предлагаемая технология должна не только придавать массам загрузки высокочастотные колебания с малой амплитудой, образовывать дополнительные смешивающие потоки и обеспечивать «активацию» масс загрузки, но и создавать достаточное количество противоточных конвективных потоков масс загрузки с большой амплитудой и малой частотой движения и интенсивно завихрять их.

## Основное содержание и результаты работы

Применение комплексного метода воздействия на обрабатываемые детали и частицы рабочих сред позволило создать на этой основе целый ряд станков [2,3]. Это надежность работы оборудования и высокая производительность, обусловленная непрерывностью обработки деталей в рабочих органах-контейнерах проходного типа. Такой станок (рисунок 1 и рисунок 2) содержит рабочий орган 1, жестко закрепленный на платформе 2, которая упруго, с помощью четырех резинокордных баллонов 3, смонтирована на основании 4. На платформе 2 жестко закреплено загрузочное устройство 5, и снизу к платформе 2, также жестко

прикреплен вибратор 6 с горизонтальной осью вращения. Станок снабжен разгрузочным устройством 8 для приема обработанных деталей и частиц рабочих сред с помощью склиза 7.

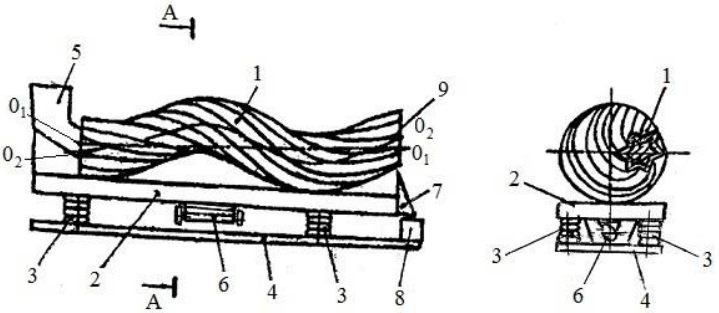



Рис. 1. Станок для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей машин с спиральным, прямоточным рабочим органом снабженным карманами треугольной формы(1 - рабочий орган станка; 2 - платформа; 3 - четыре резинокордных баллона; 4 - основание; 5 - загрузочное устройство; 6- вибратор; 7 - склиз, 8 -разгрузочное устройство, 9 - разгрузочное окно)

Вибратор 6 смонтирован под платформой 2 горизонтально и поэтому обеспечивает движение обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред внутри рабочего органа 1, под воздействием вибратора 6, по эллиптическим траекториям. При движении масс загрузки и их встречи с зигзагообразной поверхностью рабочего органа 1 изменяется движение потоков масс загрузки, так как, встречаясь с расположенными под разными углами друг к другу и к оси рабочего органа 1 зигзагообразными поверхностями, создаются противоточные конвективные потоки масс загрузки, движущихся внутри рабочего органа 1 со сравнительно большой амплитудой и малой частотой и наложением на эти сложные движения масс загрузки высокочастотных колебаний малых амплитуд создаваемых вибратором.

Рабочий орган 1 (рисунок 2) изготовлен спиральным с винтовыми канавками треугольной формы 2, 3, 4, 5, 6, 7 по внутренней поверхности и по наружной поверхности 8, 9, 10, 11, 12, 13, расположенными внутри и снаружи поперечного сечения пустотелого рабочего органа 1, технология изготовления которого представлена в работах [2].

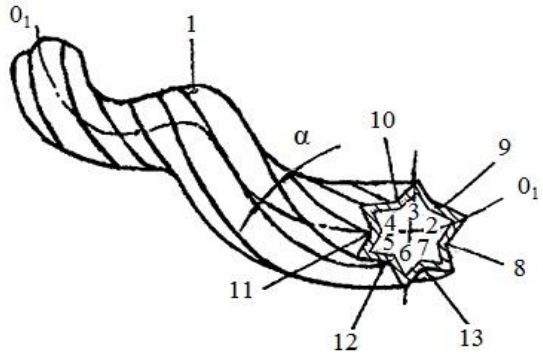



Рис. 2. Рабочий орган станка с карманами треугольной формы для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей машин (α – угол наклона винтовых линий и винтовых канавок к спиральной оси пустотелого тоннеля спиральной формы спирального рабочего органа 1;2,3,4,5,6,7 – винтовые карманы треугольной формы по внутренней поверхности рабочего органа 1; 8,9,10,11,12,13 - винтовые карманы треугольной формы по наружной поверхности рабочего органа 1)

В результате образуется пустотелый спиральный рабочий орган 1 проходного типа, с осью симметрии $0_1$-$0_1$, скрученной вокруг центральной прямолинейной оси $0_2$-$0_2$ по диаметру $D_{ср}$, с образованием спирального рабочего органа 1 с наружным диаметром $D_{max}$ и внутренним диаметром $D_{min}$ (рисунок 3).

Таким образом, пустотелый тоннель рабочего органа 1 станка с собственной спиральной осью симметрии $0_1$-$0_1$ свернут по этой спирали $0_1$-$0_1$ вокруг центральной прямолинейной оси $0_2$-$0_2$ и образует спиральный рабочий орган 1 с канавкой по наружной поверхности под углом α к спиральной оси пустотелого тоннеля спиральной формы спирального рабочего органа 1 станка.

Станок для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей машин (рисунок 1) работает следующим образом.

С помощью вибратора 6 через стенки платформы 2 и рабочего органа 1 возмущающая сила передается поступающим внутрь непрерывным потоком через загрузочное приспособление 5, обрабатываемым деталям и частицам рабочих сред. Вибратор 6 смонтирован под платформой 2 горизонтально и поэтому обеспечивает не только воздействие на массы загрузки высокочастотных колебаний малых амплитуд, но и придает им движение внутри рабочего органа 1 по эллиптическим траекториям. При таком движении масс загрузки и их встрече с зигзагообразной поверхностью рабочего органа 1 изменяется движение потоков масс загрузки, так как они, встречаясь с расположенными под разными углами друг к другу и к оси рабочего органа 1 зигзагообразными поверхностями, создают противоточные конвективные потоки масс загрузки, движущихся внутри рабочего органа 1 со сравнительно большой амплитудой и малой частотой движения и наложением на эти сложные движения высокочастотных колебаний малых амплитуд создаваемых вибратором.

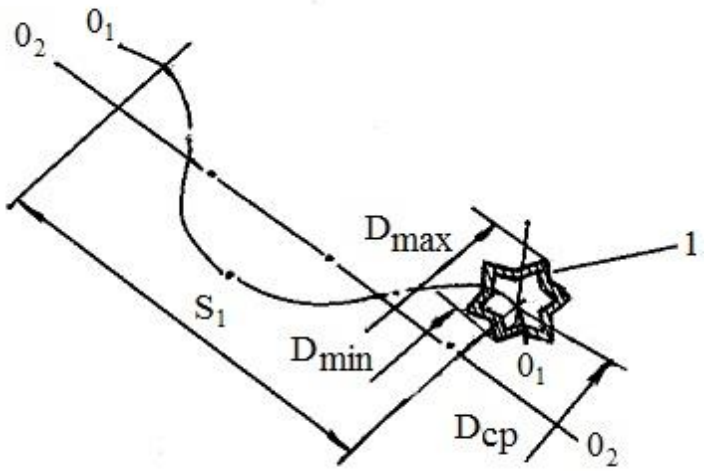



Рис. 3. Схема изготовления рабочего органа станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей машин (1-поперечное сечение рабочего органа станка; $D_{max}$ и $D_{min}$ наружный и внутренний диаметры рабочего органа станка; $D_{min}$ –внутренний диаметр рабочего органа станка; $0_1$-$0_1$- ось симметрии спирального рабочего органа станка; $0_2$-$0_2$ – центральная прямолинейная ось рабочего органа станка; $S_1$- шаг спирального рабочего органа станка)

При этом, обрабатываемые детали и частицы рабочих сред совершают вращательное движение по вертикальным эллиптическим траекториям, при котором и происходит процесс обработки. При этом обрабатываемые детали и частицы рабочих сред, не только интенсивно взаимодействуют друг с другом, но и под воздействием вибрации совершают вращательное движение в плоскости, перпендикулярной проходному сечению рабочего органа 1. Так как по длине рабочего органа 1 размеры поперечного сечения, форма и расположение меняются, то усугубляется нарушаемость движения обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред, которые при этом, взаимодействуя со стенками рабочего органа 1, перемещаются от загрузки к выгрузке. Наличие в рабочем органе 1 винтовых поверхностей по его периметру способствует не только усложнению траекторий движения обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред, но и их перемещению от загрузки к выгрузке.

Обрабатываемые детали и частицы рабочих сред перемещаются внутри рабочего органа с изменяющимся по форме и размерам проходным сечением, в результате образуются попеременно зоны сжатия и разряжения в каждом сечении рабочего органа 1 по всей его длине, что тоже интенсифицирует процесс обработки деталей и расширяет технологические возможности. Обработанные детали и частицы рабочих сред, через разгрузочное окно 9, выводятся с помощью склиза 7 в емкость 8.

В процессе проведения исследований предложены рабочие органы спиральные, прямоточные аналогичной конструкции с карманами различной формой поперечного сечения, которые представлены на рисунке 4

а)

б)

в)

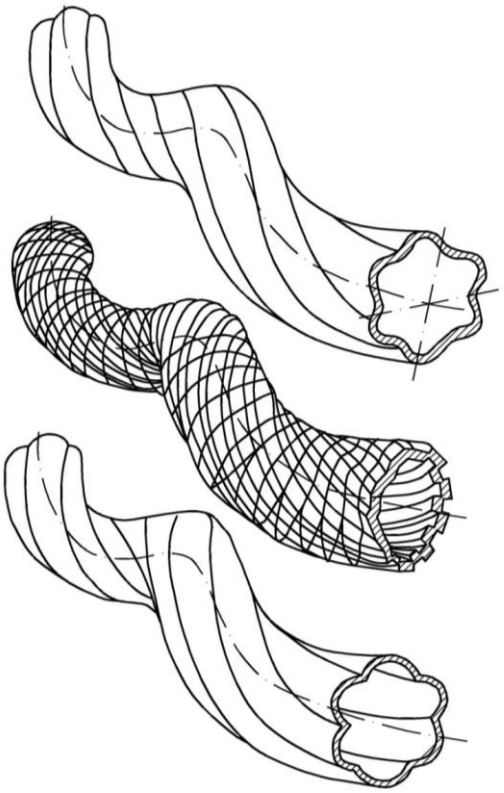


Рис. 4. Спиральные, прямоточные рабочие органы станков для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки с карманами различной формой поперечного сечения карманов: а) волнообразной; б) прямоугольной; в) полукруглой

Таким образом, в настоящее время нам известны 4 класса спиральных прямоточных рабочих органов станков для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей машин:

1 класс- с карманами треугольной формы;

П класс с карманами волнообразной формы;

Ш класс- с карманами многоугольной формы;

1У класс- с карманами полукруглой формы.

Обработка результатов предварительных исследований позволила получить уравнение для определения продольной скорости перемещения деталей в винтовых роторах, удобное для инженерных расчетах при проектировании станков для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки со спиральными, прямоточными рабочими органы снабженными карманами различной формой поперечного сечения карманов в виде:

$$V= 2 \cdot G \cdot \omega \cdot ( 1-\delta) \text{ (м/с)}, \qquad (1)$$

где G- постоянная, которая выражена через характеристики винтовых роторов следующим образом:

для роторов 1 класса $G= 0,15 \cdot A \cdot \tan\alpha \cdot к_1$;

для роторов П класса $G= 0,16 \cdot A \cdot \tan\alpha \cdot к_2$;

для роторов Ш класса $G= 0,15 \cdot A \cdot \tan\alpha \cdot к_3$;

для роторов 1У класса $G= 0,16 \cdot A \cdot \tan\alpha \cdot к_4$;

0,15; 0.16- переводные коэффициенты в $м^{-1}$;

$к_1$, $к_2$, $к_1$, $к_2$- стороны карманов винтовых роторов;

$\alpha$ -угол наклона винтовой линии винтового ротора;

δ-коэффициент, для винтовых роторов определяемый экспериментальным путем;

ω- частота вибратора;

А-амплитуда колебаний платформы, на которой смонтирован винтовой ротор.

Поведенные исследования показали:

– рабочий орган 1 (рисунок 2) может быть изготовлен спиральным с винтовыми канавками не только треугольной, но и волнообразной формой [2,3], а также выпуклой формы или многоугольной формой по внутренней и по наружной поверхностям, расположенными внутри и снаружи поперечного сечения пустотелого рабочего органа 1;

– в зависимости от жесткости обрабатываемых деталей рекомендуется рабочий орган 1 станка для отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей машин выполнять:

– для обрабатываемых деталей большой жесткости рабочий орган с поперечным сечением треугольной или многоугольной формы [2];

– для обрабатываемых деталей малой жесткости рабочий орган с поперечным сечением волнообразной или полукруглой формы [3].

Технико-экономические преимущества предлагаемой комплексной технологии отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей машин и станков для их реализации возникают за счет выполнения рабочего органа станка спиральной формы с винтовыми поверхностями, в виде карманов треугольной, волнообразной, выпуклой, многоугольной формы и обеспечения одновременного воздействия на массы загрузки колебаний сравнительно больших амплитуд с небольшими

частотами и высокочастотных колебаний с малыми значениями амплитуд, что расширяет технологические возможности и увеличивает производительность.

**Выводы.**

В результате проведенных исследований:

- Предлагается комплексная технология и станок для её реализации;
- Для обрабатываемых деталей различной жесткости даны рекомендации по выбору рабочих органов.

**Список литературы: 1.** Lebedev V. A., Increase of efficiency of finishing-cleaning and hardening processing of details based on rotor-screw technological systems / V A Lebedev , G V Serga , A V Khandozhko // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2018, №327, 042062 doi:10.1088/1757-899X/327/4/042062. **2.** Пат. 2613268 Российская Федерация, МПК B24B 31/02, B24B 31/06. Установка для отделочно-упрочняющей обработки / Г. В. Серга, А. Ю. Забугин, М. С. Серга; Кубанский государственный аграрный университет. -№ 2015147829 ; заявл. 06.11.2015; опубл. 15.03.2017, Бюл. № 8. - 3 с. **3.** Пат. 2591934 Российская Федерация, МПК B24B 31/02, B24B 31/073. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки / Г. В. Серга, А. Н. Иванов, М. С. Серга; Кубанский государственный аграрный университет. - № 2015116055 ; заявл. 27.04.2015; опубл. 20.07.2016, Бюл. № 20. - 3 с. **4.** Серга Г.В. Оборудование на базе винтовых роторов в машиностроении / Г.В. Серга, Э.А. Хвостик // Вестник БГТУ. – Брянск, 2018. – №3 (64). – С. 4-9. **5.** Серга Г.В. Исследование возможности применения низкочастотных колебаний с большой амплитудой для сепарации сыпучих сред / Г.В. Серга, Э.А. Хвостик, М.Э. Делок // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк – 2018 №1(60) – С. 62-67. **6.** Серга Г.В. Оборудование для мойки сыпучих материалов и абразивных сред с амплитудой движения свыше 500 мм / Г.В. Серга, Э.А. Хвостик, Н.Н. Кузнецова, И.И. Табачук // Вестник БГТУ. – Брянск, 2018. – №2 (63). – С. 38-43. **7.** Пат. 2228252, Российская Федерация, МПК В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев, Г.В. Серга; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». - № 2002135225/02; заявл. 25.12.2002; опубл. 10.05.2004, бюл. №13. **8.** Пат. 2228252, Российская Федерация, МПК В 24 В 31/06. Устройство для абразивной обработки деталей / Г.В. Серга, Л.Н. Луговая, И.И. Табачук; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». - № 121168/02; заявл. 22.10.1996; опубл. 20.06.1998, бюл. №17. **9.** А. с. 1433774 Российская Федерация, МПК В 24 В 31/02. Устройство для галтовки / Г.В. Серга ; Армавирский государственный педагогический институт. - 4234030 ; заяв. 08.03.1987 ; опубл. 30.10.88 , бюл. №40. **10.** А. с. 1743820 Российская Федерация, МПК В 24 В 31/02. Галтовочное устройство/ Г.В. Серга ; Армавирский государственный педагогический институт. - 4883194 ; заяв. 09.10.1990 ; опубл. 30.06.92 , бюл. №24. **11.** Пат. 2275286, Российская Федерация, МПК В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки / Г.В. Серга, А.П. Бабичев, И.А. Бабичев, Н.Н. Довжикова, Ф.Ф. Кремянский; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». - № 2004131303/02; заявл. 25.10.2004; опубл. 27.04.2006, бюл. №12

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ АДГЕЗИОННЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ НИЗКОСКОРОСТНОМ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

**Синолицын Э.К., Бацемакин М.Ю., Бабец А.В.** *(ДГТУ, ЮРГПУ имени М.И. Платова, г. Ростов-на-Дону, г. Новочеркасск, Россия)*
*Тел.: +7(863)2738386; E-mail: spu-41.4@donstu.ru*

***Abstract:*** *An analysis is made of the joint effect of the defective state of the elements of the prepared base surface and the scheme of the impact of liquid particles on the form of elementary activating energy carriers in the contact zone. A predominantly vacancy activation channel is established.*
***Key words:*** *Low-speed gas-thermal spraying, low-speed liquid particle, adhesion strength, vacancy.*

В области низкоскоростного газотермического напыления (ГТН) актуальной практической задачей является существенное повышение адгезионной прочности.

Вопрос о физических основах прочности сцепления, как и состояние теории адгезии, весьма сложен и противоречив [1]. Существует мнение, что сцепление в адгезионном контакте в различных случаях объясняется молекулярным, диффузионным, донорно-акцепторным, механическим взаимодействием, а также изменением энергетического и структурного состояния напылённого и основного материалов [2, 3]. Ряд исследователей считают, что в рассматриваемом способе напыления прочность сцепления обусловлена действием нескольких из перечисленных факторов.

О возможности получения высокой адгезионной прочности низкоскоростных частиц косвенно указывает приваривание брызг расплавленной стали при дуговой сварке в углекислом газе [4]. В этом случае (как при электродуговой металлизации) перегретые до температуры испарения частицы различных размеров сталкиваются с подложкой со скоростью напыляемых частиц (30-50 м/с). Однако лишь частицы с критическим размером 0,1 см и более привариваются к холодной, в состоянии поставки стальной поверхности.

Из этого можно предположить:

С одной стороны, уровень запасённой термической энергии перегретых частиц напыляемых размеров (20-100 мкм) близок к энергии разрушения поверхностных насыщенных связей железа-основы;

С другой стороны, по каким то причинам высокоэнтальпильные частицы стандартных размеров не обеспечивают необходимый уровень активации подложки.

Без выявления причин дефицита активирующей энергии в зоне контакта трудно определить оптимальные технологические режимы напыления.

В связи с этим в работе рассмотрена применимость наиболее известной энергетической модели взаимодействия в конкретных условиях формирования адгезионного контакта путём исследования факторов, затрудняющих ввод в основу активирующей энергии перегретых жидких частиц стандартных размеров.

Согласно [5] для запуска энергетической модели взаимодействия необходимо сблизить поверхности на расстояние периода кристаллической решётки посредством удара и ввода частицей в подложку требуемую величину термомеханической энергии активации $E_a$, затрачиваемую на локальный изотермический нагрев основы (термическая составляющая), и одновременно массовый выход в зону контакта структурных дефектов (структурная составляющая), как основных центров в

топохимических реакциях. Причём процесс взаимодействия должен протекать в изотермических условиях, а дислокации должны играть ведущую роль в создании элементарных тепловых источников в процессе приваривания жидких частиц к холодной подложке.

Факторы, определяющие уровень активирующей термической составляющей рассмотрены в работе [6].

Установлено, что в условиях динамического охлаждения стандартных частиц толщиной 2-10 мкм в начальный период контактного взаимодействия зарождается процесс аморфизации, который приводит к снижению активирующего теплового потока на величину теплоты кристаллизации (это 30-40% от полной энтальпии жидких частиц), а также к исключению благоприятных изотермических условий взаимодействия.

Для подавления негативного процесса аморфизации В.Н. Коржик [7] предлагает идти по пути напыления суперкрупных низкоскоростных частиц, обеспечивающих критическую толщину деформированных частиц 20 мкм и выше.

Природа структурных источников тепловыделения в рассматриваемых условиях активирования практически мало исследована. Так в работе [8] высказана гипотеза, что если с помощью выхода дислокаций в зону физического контакта обеспечить системе энергию порядка 0,2 эВ, то прочность сцепления с подложкой будет приближаться к 50 МПа. Этот показатель на порядок превосходит реальную адгезионную прочность классических покрытий и даёт основание предположить, что при низкоскоростном напылении стандартных размеров даже перегретых частиц дислокационный канал активации почти не работает.

Чтобы определить вид ведущего структурного энергетического механизма активации подложки в работе исследована эволюция структурного состояния элементов шероховатости после струйно-абразивной обработки (САО) с учётом действия следующих факторов:

а) Особенности физико-механического и дефектного состояния элементов микрорельефа после САО и их предрасположенность к зарождению активных центров в процессе удара и затвердевания частицы;

б) Влияние схемы начального локального нагружения поверхности низкоскоростной жидкой частицей на вид генерируемых в зону контакта источников энергетических возмущений.

В работе [9] экспериментально показано, что микротвёрдость материала после САО в зоне впадин значительно выше, чем в исходном материале. Эффект наклёпа связан с возрастанием концентрации дислокаций и усилением химических связей между атомами на поверхности.

Таким образом, в зонах с повышенной сопротивляемостью пластической деформации возможна ситуация, когда уровень механического воздействия жидких частиц может оказаться недостаточным, чтобы обеспечить необходимую степень деформации для зарождения новых дислокаций и реализации созданного САО локального неравновесного состояния поверхности на снижение энергетического барьера - энергии активации топохимической реакции $E_a$.

Напротив, материал выступа сильно разупрочнён и его микротвёрдость существенно ниже микротвёрдости подложки [9]. Согласно [10] на вершине микровыступов, где пересечение двух свободных поверхностей создает максимальную концентрацию напряжений, возникает наиболее благоприятные условия для зарождения и накопления технологических вакансий.

Таким образом, выступы, как частный случай структурной неоднородности, характеризуются аномально низким сопротивлением деформации, насыщенностью вакансиями и являются зонами наиболее предрасположенными к перенасыщению вакансиями (переходу в атом - вакансионное состояние, АВС) в случае, если внешний приток преимущественно термической энергии будет выше критического значения $E_a$. Энергетический уровень активных точек определяется количеством генерируемых на поверхность вакансий и зависит от контактной температуры по экспоненциальному закону [11]. Известно, что структуры АВС выполняют ведущую роль активных центров при термокомпрессионной сварке, аномальном ускорении при пластической деформации [11].

Из сказанного следует, что с помощью наращивания термической составляющей низкоскоростных жидких частиц путём увеличения их исходного размера (высоты ламели), можно способствовать зарождению преимущественно вакансионного вида активных центров в зоне выступов, и одновременно облегчить выход на поверхность технологических дислокаций в период деформации подложки.

Известно, что процесс САО на воздухе сопровождается ростом плотности точечных дефектов в приповерхностном слое, диссоциацией энергии на дефектах. Вышедших на поверхность и заканчивающейся образованием плёнки низших оксидов толщиной 20 - 30 нм. Резкое экранирующее влияние оксидов на процесс схватывания между металлическими поверхностями проявляется при толщине плёнки 10 нм и более [12].

Чтобы реализовать дефектное состояние (термодинамическую неравновесность) приповерхностного слоя пассивированной подложки для активирования процесса схватывания материалов, необходимо обеспечить с помощью осаждённой частицы сдвиговые напряжения, достаточные для прокола дефектами оксидной пленки или ее удаления. Благодаря сочетанию высокой пластичности материала выступов и концентрации напряжений в оксидной плёнки, повышенной контактной температуры в зоне вершины выступов, они наиболее предрасположены к деформации и очистке от первичных оксидов в условиях термоудара низкоскоростной жидкой частицы.

В случае удаления оксидов и контакта ювенильных металлических ($Me_1$ и $Me_2$) поверхностей возникают предпосылки протекания топохимической реакции по схеме $Me^1+Me^2=Me^1 \cdot Me^2$, отличающейся наиболее низким уровнем временных и энергетических затрат [12].

Заключительный этап эволюции (реализации) дефектной структуры элементов микрорельефа определяется схемой локального нагружения подложки напыляемой частицей. Принято считать, что в зоне физического контакта можно выделить два характерных участка с различной природой и уровнем активации: центральной круговой - где имеет место последовательное воздействие ударного и напорного давлений и наружной кольцевой - где под воздействием напорного давления происходит контактное трение растекающегося материала частицы [5]. Диаметр центральной зоны соизмерим с исходным диаметром осаждаемой частицы. В зависимости от степени деформации жидкой низкоскоростной частицы площадь наиболее химически активной центральной зоны составляет от 20 до 40 процентов площади физического контакта.

В работе [5] с помощью прямых наблюдений зоны приваривания низкоскоростных металлических частиц на бездислокационном полированном монокристалле кремния установлено, что в центральной зоне дислокаций почти нет, а в наружной кольцевой зоне отмечено заметное количество дислокаций. Согласно

расчётам плотность этих дислокаций на два порядка ниже, чем при термокомпрессионной сварке, и они не являются главным энергетическим фактором, обеспечивающим прочное приваривание [5].

Отсутствие дислокаций в центральной зоне (ядре химического взаимодействия) можно объяснить тем, что на ранних стадиях деформации сферической жидкой частицы реализуются условия, которые возникают, когда под действием высокого импульсного давления осуществляется переход жидкой частицы из сферы в цилиндр, инициирующий однократное ударное сжатие поверхности через пластическую прокладку без вытеснения материала из лунки. При такой схеме нагружения главным по своему удельному вкладу в процесс микропластичности является канал насыщения вакансиями приповерхностного слоя подложки [11]. Необходимо отметить, что на степень пресыщения вакансиями по рассмотренной схеме нагружения, также влияет предел прочности материала подложки на сжатие, который обычно существенно выше предела прочности на растяжение.

Проведенный анализ по влиянию схемы локального нагружения подложки на эволюцию дефектного состояния элементов шероховатости установил для случая низкоскоростного ГТН на холодную подложку преимущественно вакансионный механизм активации основы, который эффективно реализуется в зоне выступов. На уровень, генерируемой в систему частица-подложка тепловой энергии, влияют размер напыляемой жидкой частицы и плотность выступов.

Для экспериментальной проверки выдвинутых предположений было произведено напыление крупными (150 - 200 мкм) алюминиевыми частицами на холодную подложку. Напыление покрытий толщиной 0,3 - 0,4 мм, производили с помощью низкоскоростной газопламенной струи, активированной аммиаком [6]. При этом высота деформированных частиц составляла 25 - 30 мкм.

Подложки предварительно подвергались САО на рекомендуемых режимах [13]. Исследования прочности сцепления покрытий по клеевой методике показали рост адгезионной прочности с 10 МПа (для порошков стандартных размеров 60-100 мкм) до 30 МПа.

**Выводы.**

1. В условиях низкоскоростного ГТН одной из причин неудовлетворительной адгезионной прочности покрытий является сочетание исходного дефектного состояния выступов микрорельефа и ударного сжимающего воздействия жидкой частицы, которые создают условия для выхода в зону контакта низкоэффективных носителей энергии в виде вакансий.

2. Для усиления вакансионного канала активации подложки и подавления аморфизации в приконтактной зоне частицы следует напылять крупными частицами, обеспечивающие закритические (20 мкм и более) толщины деформированных частиц.

**Список литературы:** **1.** Уманский, Э.С. О применимости различных теорий адгезии к жаростойким покрытиям / Э.С. Уманский, С.Ю. Шаривкер, Е.А. Астахов. - В кн.: Защитные покрытия на металлах. К., 1972. - вып. 11, с. 11-17. **2.** Харламов Ю.А. Факторы, влияющие на адгезионную прочность газотермических покрытий / Ю.А. Харламов // Физика и химия обработки материалов. - 1988. - № 2. - С. 30-34. **3.** Харламов Ю.А. Классификация видов взаимодействия частиц порошка с подложкой при нанесении покрытий / Ю.А. Харламов // Порошковая металлургия. - 1988. - № 1. - С. 18-22. **4.** Федько В.Т. Исследование температурных полей в зоне контакта капель (брызг) расплавленного металла с поверхностью свариваемого металла / В.Т. Федько,

С.Б. Сапожников // Сварочное производство. – 1998. - № 10. – С. 12-15. **5.** Кудинов В.В. Плазменные покрытия / В.В. Кудинов. - М.: Наука, 1977. - 183 с. **6.** Синолицын Э.К. Получение прочного сцепления с подложкой при низкоскоростном газопламенном напылении жидких металлических частиц / Э.К. Синолицын // Физика и химия обработки материалов. - 2002. - № 2. - С. 49-54. **7.** Коржик В.Н. Теоретический анализ условий аморфизации металлических сплавов при газотермическом напылении / В.Н. Коржик // Порошковая металлургия. – 1992. - № 9. – С. 56-61. **8.** Хокинг М. Металлические и керамические покрытия / М. Хокинг, В. Васантасри, П. Сидки. – Москва: Мир, 2000. – 520 с. **9.** Мультифрактальный анализ зёренной структуры алюминиевого сплава при ударном воздействии скоростной частицей / А.А. Оксогоев, Н.Ж. Бунин, А.Г. Колмаков и др. // Физика и химия обработки материалов. - 1999. - № 4. - С. 63-71. **10.** Алехин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов / В.П. Алехин. - М.: Наука, 1983. - 280 с. **11.** Муслин Р.А. Соединение металлов с керамическими материалами / Р.А. Муслин, Г.В. Конюшков. - М.: Машиностроение, 1991. – 220 с. **12.** Иванов Е.М. К энергетической оценке влияния шероховатости и толщины подложки на прочность сцепления при плазменном напылении / Е.М. Иванов, В.В. Кудинов // Физика и химия обработки материалов. - 1983. - № 2. - С. 68-74. **13.** Медведев Ю.А. О влиянии шероховатости и степени наклепа на прочность сцепления плазменных покрытий / Ю.А.Медведев, А.И. Морозов // Физика и химия обработки материалов. - 1975. - № 4. - С. 26-31.

# ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРА И МЕХАНИЗМЫ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ–ЦИНК

**Скворцов А.И., Сергеева А.В.** *(ВятГУ, г. Киров, Россия)*
*Тел. +7 (8332) 74-24-91; E-mail: nast28-83@mail.ru*

***Abstract:*** *Physic-mechanical properties, alloys structure of system based aluminum–zinc are studied. The internal friction mechanisms of alloys are discussed.*
***Keywords:*** *Alloys of system based aluminum–zinc, physic-mechanical properties, structure, internal friction mechanisms.*

## Введение

Информация о высоких демпфирующих свойствах сплавов системы Al–Zn в 1951 г. [1] определила способность их применения в качестве демпфирующих сплавов. В работах Дрица М.Е. с сотрудниками [2] исследования сплавов системы Al–Zn (1972 г.) были проведены лишь в их литом состоянии.

В дальнейшем были выявлены для сплавов системы Al–Zn состава, вблизи монотектоидного, высокие демпфирующие свойства [3–8], уникальное сочетание высоких технологических свойств (например, высокой жидкотекучести, сверхпластичности, низких температур обработки давлением, термической обработки) [7–12], относительная дешевизна. Это сделало сплавы на основе системы Al–Zn привлекательными для исследований и практических разработок.

Из исследований, в которых изучалось влияние пластической деформации на свойства и структуру демпфирующих сплавов Al–Zn, можно отметить следующие. В работе [5] показано, что демпфирующую способность сплава Zn–22%Al–0,3%Cu–

0,008%Mg можно повысить прокаткой при комнатной температуре. Циклическая деформация кручением монотектоидного сплава при напряжении, в 1,5 раза превышающего предел упругости, также повышает демпфирующую способность [9].

**Результаты и их обсуждение**

В литом состоянии без последующей термической обработки насыщение демпфирования происходит вблизи содержания алюминия в сплаве 22 % (здесь и далее % – массовые) [2].

Закалка сплавов Al–Zn от температуры, превышающей температуру монотектоидного превращения, резко повышает демпфирующую способность сплавов с содержанием Al = 15,6...48,6 %. Закаленное состояние характеризуется тем, что увеличение содержания алюминия в сплаве (от 23 до 63 %) ведет к уменьшению размера зерна (от 330 до 40 нм), увеличению содержания остаточной при комнатной температуре $\alpha'$-фазы, что сопровождается повышением твердости, ослаблением низкоамплитудного внутреннего трения.

При практическом использовании сплавов цинк–алюминий, подвергаемых закалке, необходимо учитывать степень их размерной стабильности. Так, например, закаленный сплав Zn–22,7%Al в результате старения при комнатной температуре изменяет свои размеры в течении двух суток. Поэтому сплавы необходимо подвергать старению.

Старение снижает демпфирующую способность сплавов. В частности, низкотемпературное стабилизирующее старение ослабляет низкоамплитудное внутреннее трение и повышает твердость, по-видимому, из-за снижения эффективности работы механизма зернограничного скольжения. Самая низкая демпфирующая способность сплавов наблюдается после старения при субкритических температурах и после отжига.

На демпфирующую способность влияет степень дисперсности монотектоида. Увеличение степени дисперсности монотектоида за счет повышения скорости охлаждения от температуры, превышающей температуру монотектоидного превращения, ведет к повышению демпфирующей способности сплава. Этим объясняется существенно более высокая демпфирующая способность сплавов после закалки по сравнению, например, с отжигом. Увеличение демпфирующей способности при повышении содержания цинка и его насыщение в области содержания 22%Al в закаленных сплавах объясняется увеличением количества дисперсносного монотектоида и выходом его на насыщение в районе 22%Al.

Сплавы цинк–алюминий монотектоидного типа отличаются прямой зависимостью демпфирующей способности от температуры испытаний вплоть до температуры чуть ниже линии солидуса в отличие от известных демпфирующих сплавов на основе меди, марганец–меди, никель–титана, у которых демпфирующая способность резко снижается при температурах 100±50 °С в связи с фазовым превращением.

Максимум прочности сплавов цинк–алюминий приходится на сплав, содержащий примерно 37% Zn.

Оптимизация соотношения содержания цинка и алюминия, легирование, модифицирование сплавов цинк–алюминий улучшает ряд свойств, а также комплексные показатели физико-механических свойств, учитывающих демпфирование. В таблице приведены свойства такого сплава ЦА26 в сравнении с известными сплавами, из которой видно, что сплав ЦА26 превосходит остальные сплавы по

комплексному показателю $\delta\sigma_{0,2}E/\rho$ и коррозионной стойкости (данные по коррозионной стойкости сплава ZA27 в упомянутых работах не приведены).

Таблица 1. - Свойства сплавов на основе Al–Zn

| Свойства, показатели* | ЦА26 | ЦА22 | ЦА4М1 | АК7Ц9 (АЛ11) | ZA27** |
|---|---|---|---|---|---|
| $\delta$, % ($\gamma=10^{-4}$) | 5–6 | 8–9 | 0,2–0,4 | 0,03–0,05 | 0,8–1,4 |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | 240–260 | 120–140 | 170–120 | 180–200 | 310–330 |
| $\Delta\varepsilon/\varepsilon$, % | 20–65 | 80–110 | 2–4 | 1–2 | 3 |
| $\delta\sigma_{0,2}E/\rho$, $(\text{МН})^2$(кг·см) | 2,4–2,7 | 1,7–2,1 | 0,08–0,09 | 0,013–0,02 | 0,4–0,7 |
| П, $10^{-2}$мм/год | 3,3 | 3,6 | 5,4 | 3,7 | – |

* $\delta$ – логарифмический декремент, $\gamma$ – амплитуда деформации при крутильных колебаниях, $\Delta\varepsilon/\varepsilon$ – относительное удлинение, $E$ – модуль упругости, $\rho$ – плотность, П – скорость коррозии в 3% водном растворе NaCl.

** по данным работ [7, 10]

Повышенное, высокое демпфирование в сплавах на основе системы Al–Zn характерно для сплавов, близких по Zn и Al к монотектоидному составу, после термической обработки, включающей закалку от температуры, выше температуры монотектоидного превращения. Закалка измельчает зерна α- и β-фаз, а также создает в сплаве концентрационные неоднородности, что может быть причиной структурной нестабильности при механических колебаниях. Характерная величина среднего диаметра зерен α- и β-фаз составляет сотни нанометров. Например, средний диаметр зерен монотектоида составляет в сплаве Zn–15%Al после закалки – 250–300 нм. Концентрационные неоднородности проявляют себя в виде внутризеренных фрагментов, по форме напоминающих зерна. Например, средний диаметр внутризеренных фрагментов в сплаве Zn–23%Al после закалки составляет 30–50 нм, а толщина «перегородок» между ними – примерно 7–12 нм.

Основной механизм высокого демпфирования обусловлен, по-видимому, зернограничным скольжением, которому сопутствует диффузия атомов Zn, Al и вакансий в приграничных областях α- и β-фаз. В закаленном сплаве возможно действие и другого механизма, обусловленного внутризеренными концентрационными неоднородностями, инициирующими при механических колебаниях диффузию атомов замещения, вакансий внутри зерен этих фаз в соответствии с градиентом концентрации элементов. На высокую вероятность процессов диффузии при механических колебаниях указывает малое различие атомных радиусов Zn и Al – 3 %.

**Заключение**

Сплавы системы Al–Zn типа сплава ЦА26, по содержанию цинка и алюминия соответствующие области вблизи монотектоидной концентрации, наряду с хорошими технологическими свойствами (сверхпластичностью, высокой жидкотекучестью) обладают высокой демпфирующей способностью, удовлетворительными механическими свойствами, коррозионной стойкостью, комплексным показателем физико-механические свойств, а также стоимостью, относительно невысокой для цветных сплавов. Эти достоинства являются показателем перспективности сплавов этого типа в качестве демпфирующего материала для динамически нагруженных изделий.

**Список литературы:** **1.** Nowick A.S. Anelastic effects arising from precipitation in aluminium–zinc alloys // Journal of Applied Physics. 1951. – V. 22, № 7. – P. 925–933. **2.** Дриц М.Е., Рохлин Л.Л., Рючина Г.В. Демпфирующие свойства литейных алюминиевых сплавов // Металловедение цветных металлов и сплавов. – М.: Наука. 1972. – С. 184–187. **3.** Nuttal K. The damping characteristics of a superplastic Zn–Al eutectoid alloy // Journal of Institute of Metals. 1971. V. 99. P. 266–270. **4.** Сугимото К. Современные достижения в производстве высокодемпфирующих сплавов // Тэцу то хагане. 1974. Т. 60, № 14. С. 127–144. (Пер. ВЦП № Ц-96700. М.: 1976. 62 с.). **5.** Tagamai M., Ohtani T., Usami T. Effects of heat treatment, contens of Cu and Mg, and rolling reduction on the damping capasiti and mechanical properties of Zn–Al alloy // J. Japan Institute of Light Metals. 1988. V. 38. P. 107–113. **6.** Скворцов А.И. Демпфирующие и механические свойства сплавов цинк–алюминий // Известия вузов. Цветная металлургия. 1991. № 1. С. 118–122. **7.** Rithie J.G., Pan Z-L. Goodwin F.E. Characterization of the damping properties of die-cast Zn–Al alloy // Metallurgical Transactions A. 1991. V. 22A, № 3. P. 617–622. **8.** Скворцов А.И. Демпфирующие сплавы на основе железа, цинк–алюминий // Техническая акустика. 1993. Т. 2, № 4. С. 15–18. **9.** Скворцов А. И., Сергеева А. В. Структура и физико-механические свойства сверхпластичного сплава Zn–23%Al в зависимости от степени пластической деформации // Многомасштабное моделирование структур, строение вещества, наноматериалы и нанотехнологии / Сборник материалов IV международной конференции. Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого. 2017. С. 37–42. **10.** Goldenstein H., Cunha Flores DA/D, Braga P., Fuoco P. As ligas zinco–aluminio: caracteristicas gerais e alguns resultados de resistencia ao desgaste // Metalurgia–ABM. 1987. – V. 43, № 6. – P. 97–102.

## ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ В СОСУДАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

**Сорокина Е.В., Клюкин В.Ю., Крохмаль В.В.**
*(ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт-Петербург, Россия)*
*Тел./Факс: +79111569196; E-mail: cspjn@mail.com*

***Abstract:*** *The work "Redistribution of gas under the action of centrifugal forces in pressure vessels" is devoted to the research of the distribution of gas in pressure vessels under the influence of centrifugal forces. In this research article, the object of investigation is a test bench - a centrifuge, on the rotor of which a mechanical vibrator with a gas shock absorber is fixed.*

*During the research, the objects are subjected to loads on test benches that are comparable or exceeding the loads in real conditions, the instability of the engines is considered. Such tests are carried out for objects used in aeronautical and space technology, as they are subjected to similar loads during operation.*

*Conducting such studies is economically advantageous, because they allow us to identify possible errors before the creation of batches of the object.*

*In the process of analysis, it was possible to establish that the gas redistribution in the shock absorber under the action of centrifugal forces arising during the rotation of the centrifuge rotor leads to a distortion of the vibrational component affecting the object under study [1].*

*Estimation of the degree of gas redistribution in shock absorbers and the study of its effect on the accuracy of measurements are devoted to this paper. In this paper, graphical results are presented which show that during rotation, the centrifugal acceleration increases more intensively than the gas pressure changes in a closed vessel.*
***Key words:*** *centrifuge, cylinder, gas, gas distribution, centrifugal force.*

Работа посвящена исследованию распределения газа в сосудах под давлением, находящихся под воздействием центробежных сил. Задача связана с исследованием газовых амортизаторов, совмещенных с механическим вибратором и размещенных на роторе испытательной центрифуги.

При проведении исследований объекты подвергаются нагрузкам на испытательных стендах, соотносимым или превышающих нагрузки в реальных условиях. Такие испытания проводятся для объектов, применяемых в авиационной и космической технике, так как они в процессе эксплуатации подвергаются подобными нагрузками.

Испытательная центрифуга дает возможность проводить комплексные испытания объектов на воздействие одновременно постоянного ускорения и накладываемых на него вибраций, совпадающие по направлению с ускорением. Такая картина воздействий на объект может возникать, например, при нестабильной работе реактивных двигателей [2].

В процессе анализа удалось установить, что перераспределение газа в амортизаторе под действием центробежных сил, возникающих при вращении ротора центрифуги, приводит к искажению вибрационной составляющей, воздействующей на исследуемый объект. Оценке степени перераспределения газа в газовых амортизаторах и исследованию его влияния на точность измерений посвящена данная работа.

В рамках исследования совместной работы газового амортизатора с механическим вибратором, которые закреплены на роторе центрифуги (рис. 1) выполнено исследование перераспределения газа в поле центробежных сил [3].

Решение поставленной задачи проиллюстрировано на примере анализа распределения газа в закрытом полом цилиндре постоянного сечения, который установлен на роторе центрифуги и испытывает центробежное воздействие (рис.2). На рисунке показаны силы, действующие на газ, размещенный внутри цилиндра [4].

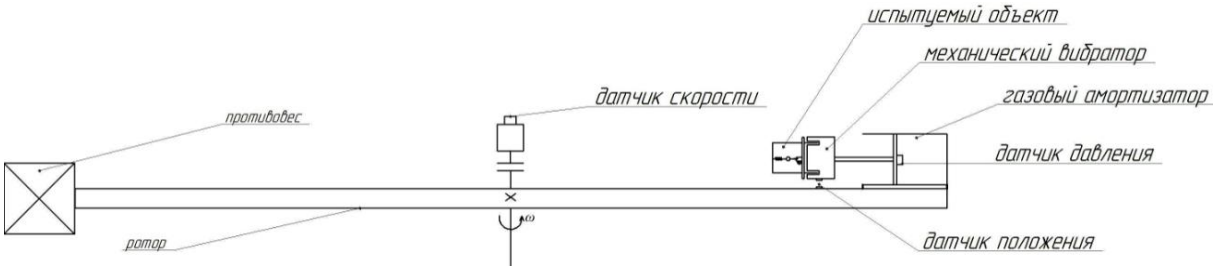



Рис. 1. Структурно-функциональная схема центрифуги с механическим вибратором и газовым амортизатором на роторе

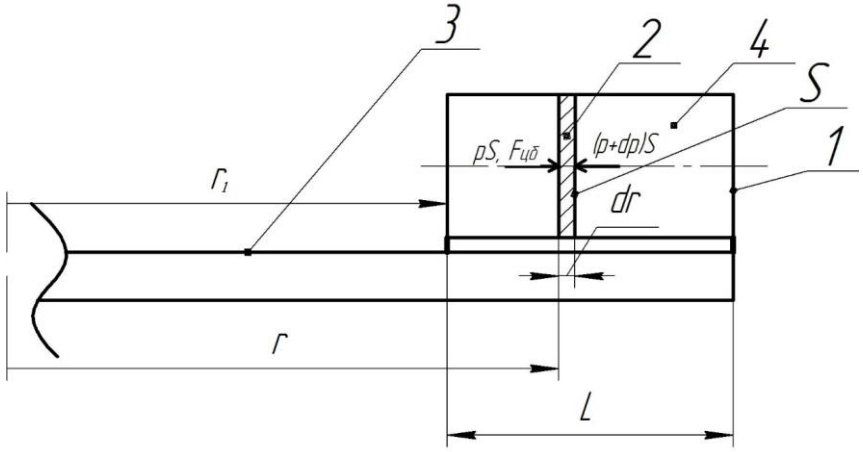



Рис. 2. Схема закрытого полого цилиндра со сжатым газом

Исследуемая камера наполнена газом. Выделим в камере элементарный объем газа 2 (рис.2), определяемый площадью сечения цилиндра $S$ и длиной $dr$. Длина ротора от оси вращения до цилиндра составляет $r_1$, общая длина камеры цилиндра составляет $L$. Объем газа в элементарном объеме определяется в соответствии с формулой $dV = Sdr$. Масса газа, находящегося в этом элементарном объеме, будет $dm = \rho(p)dV = \rho(p)Sdr$, где $\rho(p)$ – плотность газа, зависящая от давления.

Плотность газа определяем из уравнения Клапейрона-Менделеева (при допущении, что газ сухой):

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M}R, \qquad (1)$$

где: $T$ – абсолютная температура газа; $M$ – молярная масса газа; $R$ – универсальная газовая постоянная, $V$- объем газа; $m$ - масса газа; $p$ - давление газа.

Так как плотность газа $\rho = \frac{m}{V}$, то $\rho(p) = p\frac{M}{RT}$.

С учетом представленных выше зависимостей объема и массы газа в элементарном объеме получим:

$$dm = p\frac{M}{RT}\,Sdr, \qquad (2)$$

Центробежную силу $dF_{цб}$, действующую на выделенный элементарный объем газа определяем в соответствии со следующей формулой:

$$dF_{цб} = \omega^2 r\, dm, \qquad (3)$$

где: $\omega$ – угловая скорость вращения ротора испытательной центрифуги; $r$ - расстояние от оси вращения центрифуги до элементарного объема газа.

При допущении о статической нагрузке, действующей на газ выделенного объема, получим уравнение равновесия элементарного объема газа:

$$dF_{цбг} + pS - S(p + dp) = 0, \qquad (4)$$

где: $dp$ – приращение давления газа при смещении на расстояние $dr$ от оси вращения, Па.

Подставив в уравнение (4) зависимости (3) и (2) получим:

$$\omega^2 r\, p \frac{M}{RT}\, Sdr - Sdp = 0 \qquad (5)$$

Далее получаем следующее выражение:

$$\frac{dp}{p} = \omega^2 \frac{M}{RT} rdr \qquad (6)$$

Указанная зависимость представляет распределение давления газа внутри закрытой камеры цилиндра в зависимости от расстояния от оси вращения. Будем считать, что давление газа на расстоянии $r_1$ от оси вращения будет $p_1$.

Тогда давление газа в произвольной точке цилиндра, расположенного на вращающейся центрифуге, будет определяться из проинтегрированного выражения (7):

$$\ln\left(\frac{p}{p_1}\right) = \omega^2 \frac{M}{RT}\, \frac{r^2 - r_1^2}{2} + \mathrm{C}, \qquad (7)$$

где: С – постоянная интегрирования.

Значение С определяем из условия, что давление газа на расстоянии $r_1$ от оси вращения будет $p_1$.

$$\mathrm{C} = \ln(1) = 0 \qquad (8)$$

Принимая, что $E$ – безразмерный параметр, определяющий изменение давления газа по длине, получаем выражение для определения распределения давления газа в полости цилиндра, в зависимости от расстояния от оси вращения:

$$p = p_1\, e^{\frac{\omega^2 M (r^2 - r_1^2)}{2RT}} = p_1 E, \qquad (9)$$

На рисунке 3 изображено распределение давления в камере цилиндра при изменении расстояния от оси вращения и скорости вращения центрифуги (9).

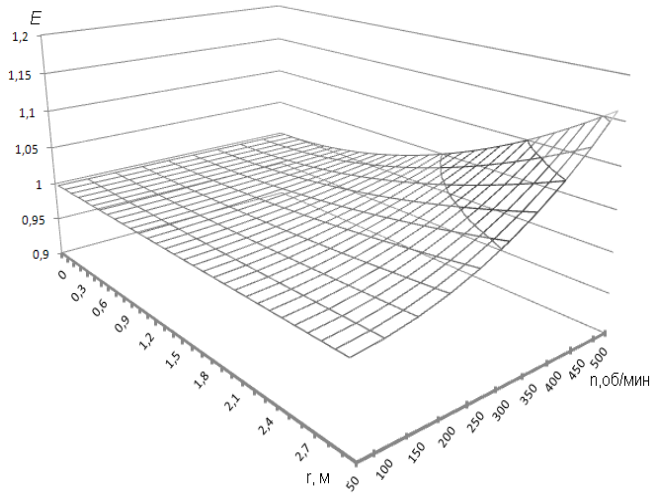



Рис. 3. Значение параметра $E$ от скорости вращения ротора центрифуги $n$ и радиуса от оси вращения $r$

Таким образом, перераспределение газа на рисунке 3 происходит в закрытом объеме, при определенных условиях под действием центробежных сил. То есть изменяется давление газа по длине камеры в зависимости от расстояния, до оси вращения, что приводит к перераспределению газа внутри закрытой камеры при вращении центрифуги. Степень перераспределения зависит также от скорости вращения.

Из полученных данных вычислим начальное давление газа в камере цилиндра без центробежной нагрузки, т.е. давление газа, заполняющего цилиндр до начала вращения испытательной центрифуги. Давление газа в камере при отсутствии нагрузки будет одинаково распределено по длине камеры. График давления от длины цилиндра, в этом случае, выглядит в виде горизонтальной прямой, площадь графика, под которой эквивалентна энергии газа.

Эта энергия сохраниться и после перераспределения давления газа внутри цилиндра.

Распределение давления газа, первоначально закаченного под абсолютным давлением 1 бар в закрытый сосуд цилиндрической формы, от скорости вращения ротора центрифуги представлено на рисунке 4. Одна из торцевых стенок сосуда располагается на расстоянии 2,5 м от оси вращения ротора, а вторая – на расстоянии 3 м.

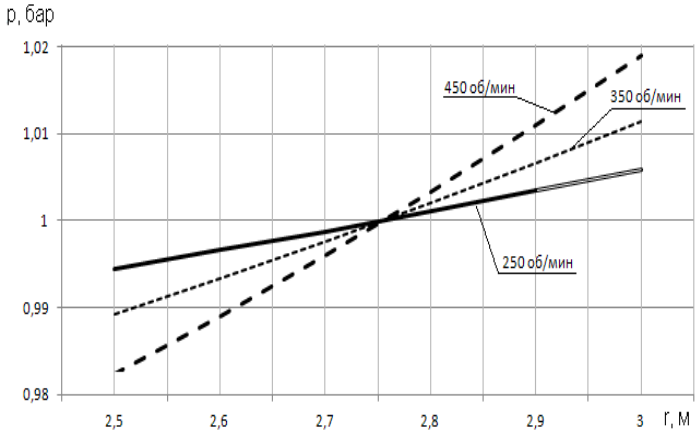



Рис. 4. Распределения давления газа с первоначальным давлением 1 бар внутри закрытого сосуда цилиндрической формы под действием центробежных сил

Внутри сосуда под действием центробежных сил происходит перераспределение газа, что приводит к возникновению в одной части сосуда разрежения. Таким образом, чем выше скорость вращения ротора центрифуги, тем более высокая разница между давлениями у торцевых стенок сосуда соответственно.

Также, для наглядности представим зависимость центростремительного ускорения от скорости вращения ротора центрифуги и расстояния до оси вращения. Результат зависимости изображен на рисунке 5.

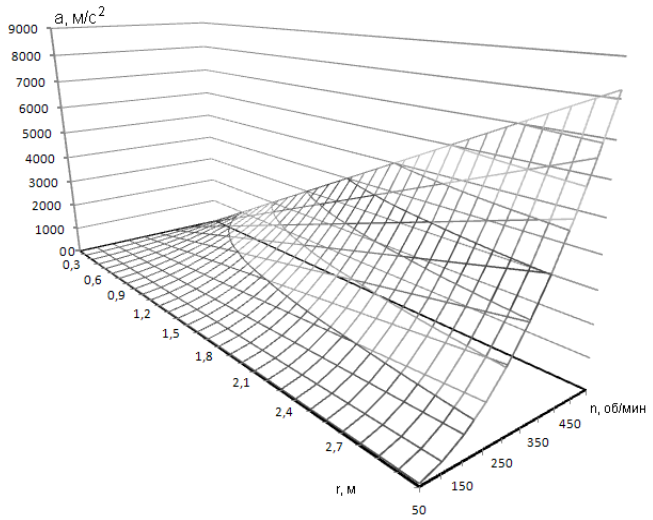



Рис. 5. Значение центростремительного ускорения $a$ от скорости вращения центрифуги $n$ и радиуса до оси вращения $r$

Рисунок 5 показывает увеличение центростремительного ускорения при увеличении скорости вращения ротора центрифуги и расстояния от оси вращения.

Построим график распределения давления в камере закрытого цилиндра при вращении испытательной центрифуги (рис. 6), для это берем следующие параметры: желаемое давление в начальной точке – у одного из торцов камеры (в зависимости от значения этого давления, программа определяет давление на каждом последующем

участке с постоянным шагом) $P$ = 200000 Па (2 бар), скорость вращения ротора испытательной центрифуги постоянная, составляет $n$ = 500 оборотов в минуту ($\omega$ = 52,36 радиан в секунду). Длина ротора испытательной центрифуги, $r_1$ = 2,5 метра, длина камеры закрытого цилиндра, $L$ = 0,5 метра [5].

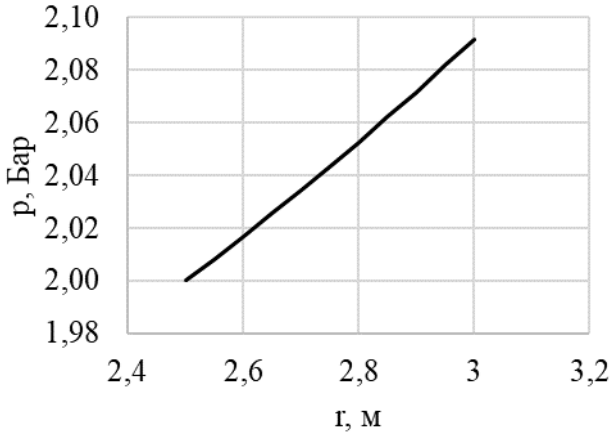



Рис. 6. График распределения давления в камере цилиндра при вращении испытательной центрифуги

Учтем изменение распределения давления при изменении положения цилиндра по длине ротора центрифуги. При длинах равных 2, 2,5 и 3 метра распределения давлений показаны на рисунке 7.

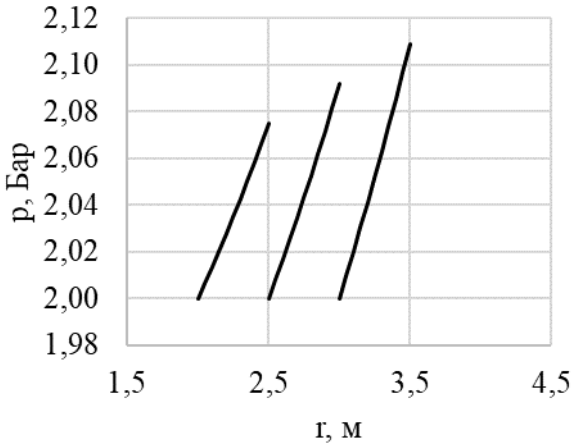



Рис. 7. Зависимость распределения давления от расположения цилиндра на роторе испытательной центрифуги

Из рисунка 7 видно, что давление в правой точке камеры цилиндра $p_2$также увеличивается по длине ротора центрифуги. Это связано с увеличением центробежной силы. Аналогичные результаты будут, если увеличивать длину камеры цилиндра.

Построим зависимости начального давления $p_n$ от давлений у первого и второго торцах камеры цилиндра $p_1$ и $p_2$. Результаты расчетов приведены в таблице 1, а графики изображены на рисунке 8.

Таблица 1 – Показатели $p_n$ от значения $p_1$ и $p_2$

| $p_n$, Па | $p_1$, Па | $p_2$, Па |
|---|---|---|
| 50000 | 52263 | 51089 |
| 100000 | 104530 | 102180 |
| 150000 | 156790 | 153270 |
| 200000 | 209050 | 204360 |
| 250000 | 261310 | 255450 |
| 300000 | 313580 | 306540 |

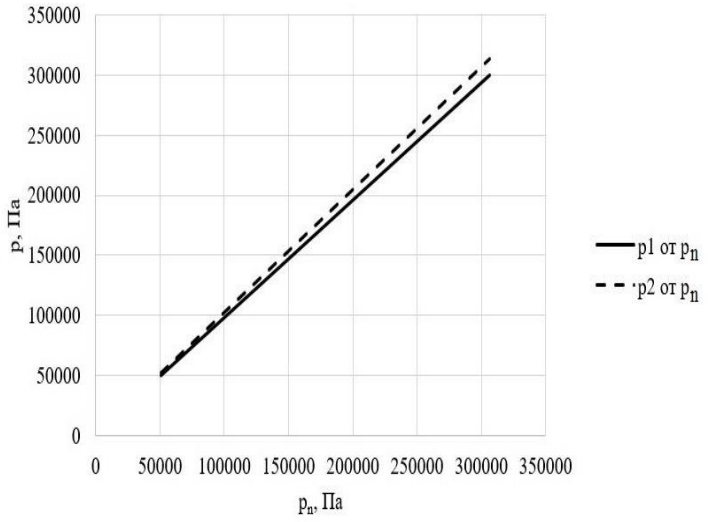



Рис. 8. Зависимости давлений $p_1$ и $p_2$ газа под действием центробежных сил от начального давления $p_n$

Зависимость давлений линейная.

Построим зависимости скорости вращения ротора от начального давления $p_n$ и давления у второго торца камеры цилиндра $p_2$ под действием центробежных сил и заданном давлении у первого торца камеры - $p_1$ = 1 бар. Результаты расчетов приведены в таблице 2 и графики изображены на рисунке 9.

Таблица 2 – Показатели $p_n$ от значения $p_2$ и $p_n$

| $n$, об/мин | $p_2$, Па | $p_n$, Па |
|---|---|---|
| 300 | 101630 | 100790 |
| 350 | 102220 | 101070 |
| 400 | 102910 | 101410 |
| 450 | 103700 | 101780 |
| 500 | 104530 | 102180 |

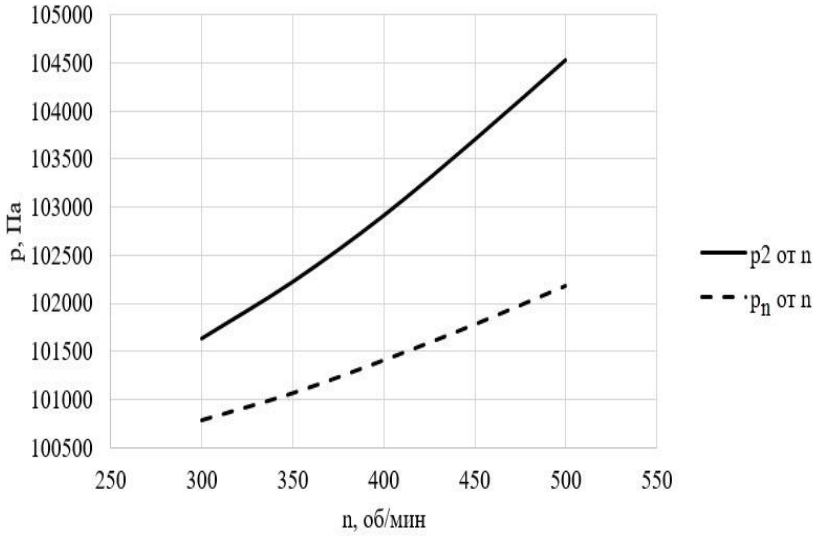



Рис. 9. Зависимость скорости вращения ротора центрифуги от начального давления $p_n$ и давления $p_2$ при нагрузке

Таким образом, при повышении скорости вращении ротора центрифуги давления повышаются, связано это с увеличением центробежной силы.

**Выводы:** 1. В статье проведено исследование распределения сжатого воздуха внутри закрытого цилиндра под воздействием центробежных сил, которые возникают при вращении ротора центрифуги.

2. Представленные на рисунках 3, 4, 5 зависимости показывают, что при вращении центробежное ускорение возрастает более интенсивно, чем изменяется давления газа в закрытом сосуде.

3. Также надо отметить, что в отдельных областях закрытых сосудов, размещенных на вращающемся роторе центрифуги, может возникать вакуум.

4. Получена зависимость распределения давления газа от длины ротора испытательной центрифуги. Построены зависимости давлений у торцов цилиндра под нагрузкой от давления первоначально закачанного газа, а также зависимости этих давлений от скорости вращения.

**Список литературы:** 1. Клюкин В.Ю., Козликин Д.П., Крохмаль В.В.. Исследование работы пневматической «пружины» виброфуги. Материалы научной конференции с международным участием. 13-19 ноября Ч. 2. Изд-во Политехн. ун-та, СПб 2017, С. 9 - 11. **2.** Попов, А. Н. Стенды для механических испытаний: учебное пособие / А. Н. Попов, М. Н. Полищук, Ал. Н. Тимофеев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 200 с. **3.** Павлюченко, С.В. Схемы технологических машин. Правила выполнения и синтез кинематических, пневматических, гидравлических и электрических схем: учебное пособие / Павлюченко С. В. и др. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 175 с. **4.** Борисевич, В.Д. Физические основы разделения изотопов в газовой центрифуге / Борисевич В.Д. и др. - М.:МИФИ, 2005. **5.** Дьяконов, В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. / В. П. Дьяконов, - Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН – Пресс, 2005. – 800 с.

# ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ УСТРОЙСТВ

**Степанов Д.А., Костенко А.В.**
*(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, Россия)*
*Тел. +7(984)1637436; E-mail: andr13kost@list.ru*

***Abstract:*** *The most loaded details of ship devices are given. The defects and damage to the components of the steering, cargo, boat, anchor and mooring devices are considered.*
***Key words:*** *ship device, part, defect, damage, wear, corrosion.*

Детали, из которых состоят узлы, агрегаты и установки различных судов работают в самых разнообразных условиях. Функционирование судовых устройств значимо влияет на работу всего судна. Знание наиболее типичных повреждений и дефектов деталей, являющихся основными для таких судовых устройств, как якорное, рулевое, шлюпочное, грузовое и швартовое, позволит более качественно и прецизионно организовать технологию изготовления этих деталей, а также обеспечить грамотную эксплуатацию этих устройств [1].

Рулевое устройство может иметь следующие дефекты: изнашивание шеек баллера руля, его изгиб и скручивание; изнашивание подшипников, штырей; повреждения соединения баллера с пером руля; коррозионные и эрозионные разрушения, трещины пера руля; нарушение центрирования руля. При этом возможными повреждениями могут быть [2]: вмятины, коррозия, трещины, разрывы на пере руля. Повреждение обшивки обтекаемых рулей, например, коррозия, дающая сквозные отверстия при попадании воды внутрь полости руля, представляет особую опасность. У баллеров рулей возможны коррозия, износ шеек, изгиб, скручивание и поломка. Коррозия, изгиб, трещины и поломки возможны у рудерписа и ребер руля. Цилиндрические части штырей руля подвергаются изнашиванию и коррозии. Штыри могут изогнуться, в них появляются трещины, возможна поломка. Втулки в петлях рудерпоста и чечевица в пятке архтерштевня изнашиваются. Петли редурпоста подвергаются коррозии, в них возникают трещины, возможен отрыв петель. В рулевом приводе, рулевом двигателе, механизме передачи управления рулевым двигателем происходят изнашивание деталей, заедание, отдельные повреждения, нарушается взаимное расположение. В рычагах приводов в процессе эксплуатации появляются люфты. К характерным дефектам плунжеров, цилиндров, втулок, колец и ползунов относят [3] их изнашивание, задиры и трещины.

Якорное устройство может обладать такими повреждениями [2]: коррозия, трещины, поломка лап, износ штырей и гнезд у якорей с поворотными лапами. В то же время якорным цепям присущи: коррозия, трещины, наклеп, износ звеньев, скоб, вертлюгов, глаголь-гаков, ослабление и выпадение распорок из звеньев, разрыв цепей.

Исходя из условий работы, основными повреждениям деталей швартовного устройства будут: износ кнехтов в результате трения стальными тросами при швартовках, трещины и коррозию; нарушение крепления кнехтов и увеличение диаметра отверстий под болты, крепящие кнехты, трещины в деревянных прокладках. Киповые планки, роульсы также изнашиваются швартовными тросами, в них могут быть трещины, коррозия, нарушение крепления, поломка, изгиб штырей, износ втулок роульсов. Наиболее частыми повреждениями шпиля и брашпиля швартовой лебедки являются: износ лент и колодок ленточных и колодочных тормозов, проскальзывание звеньев якорной цепи по звездочкам цепных барабанов, повреждение кулачков соединительных муфт звездочки с валом.

Дефекты кулачковых и зубчатых муфт: смятия, задиры, изнашивание рабочих поверхностей кулачков, звёздочек и зубьев, ослабление посадки полумуфт на валах, поломка кулачков и зубьев и т.п. У упругих втулочно-пальцевых муфт возможно изнашивание упругих колец, погнутость пальцев, выработка отверстий под пальцы.

Для основных деталей грузового устройства характерны дефекты [3]: трещины, изгиб, вмятины, поломка, утонение стенок, истирание отверстий вилки грузовых стрел; износ вертлюгов и гнезд упорного башмака, деталей блоков; нарушение оцинковки проволок такелажа вследствие трения в блоках, износ, коррозия, трещины, разрыв звеньев у топенантных цепей.

Дефекты корпуса крана [3]: трещины, коррозионные разрушения металлических частей, прогибы и смятия, задиры, забоины. Дефекты редуктора: трещины, сплошные коррозионные разрушения с разъеданием стенок, прогибы и смятия. Дефекты зубчатой передачи: выкрашивание, изнашивание посадочных мест, трещины и смятие шпоночных пазов. Дефекты валов: изнашивание шеек, их коррозия, ослабление посадочных мест, смятие шпоночных пазов, трещины и прогиб. Дефекты подшипников: изнашивание, растрескивание, выкрашивание, отслаивание. Дефекты полумуфты кулачковой: смятие, задиры, изнашивание рабочих поверхностей кулачков, звёздочек и зубьев, ослабление посадки полумуфт на валах, поломка кулачков и зубьев. Дефектом грузового барабана и турачки будет изнашивание поверхностей. Дефекты механизма поворота крана: ослабление посадки подшипников; наработок, забоины на боковых поверхностях шлицов; заусенцы, забоины зубьев. Дефекты тормоза механизма поворота: глубокие риски, изнашивание рабочей поверхности.

К основным дефектам шлюпочного устройства относят [2]: трещины в обшивке шлюпок, нарушение шпаклевки пазов, коррозию и повреждение металлических шлюпок; водотечность шлюпок; трещины, изгиб, коррозию шлюпбалок; износ втулок стандерсов поворотных шлюпбалок, шеек и пятки шлюпбалок; износ и трещины, поломки деталей подъемного механизма, шестерен, блоков, шкивов, повреждение тросов, скоб, гаков, кильблоков и их покрытии; гниение древесины.

Для основных деталей буксирного устройства (гаки, дуги кнехтов) характерно истирание буксирного гака и петли тросом вследствие скольжения гака по направляющей дуге. В гаке возможны появление трещин и его поломка. А для буксирной дуги: износ вследствие трения троса, изгиб, поломка. Буксирные кнехты изнашиваются, поражаются коррозией, возможно появление трещин, ослабление крепления, основные дефекты: изнашивание буксирного гака, троса и кнехтов, деформация буксирной дуги, потеря упругости и деформация буферных пружин. Дефекты кулачковых и зубчатых муфт: смятие, задиры, изнашивание рабочих поверхностей кулачков, зубьев, ослабление посадки полумуфт на валах, поломка кулачков и зубьев. Задиры и смятие кулачков и зубьев исправляют опиловкой и шабрением.

Более тщательное изучение дефектов деталей судовых агрегатов способствует возможности решения актуальной задачи, связанной с разработкой и усовершенствованием существующих способов изготовления деталей или их ремонта.

**Список литературы: 1.** Михайлов, А.Н. Обеспечение надежности деталей судовых агрегатов при формировании параметров качества функционально-ориентированными технологиями / А.Н. Михайлов, А.В. Костенко, А.В Лукичев // XXII междунар. науч.-техн. конф. : сб. науч. тр. 14 - 19 сентября 2015 г. в г. Севастополе. – Донецк : МСМ, 2015. – Т.2. - С. 20 – 23. **2.** Курников, А.С. Технология судоремонта /

А.С. Курников, В.А. Орехво, С.Ю. Ефремов. – Н. Новгород : Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2008. – 240 с. **3.** Маницын, В.В. Технология ремонта судов рыбопромыслового флота / В.В. Маницын. - М.: Колос, 2009. – 542 с.

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

**Стрельников В.И.** *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*
*Тел./Факс: +38 (062) 3355798; E-mail:* ***vadimistrelnikov@gmail.com***

***Abstract:*** *The computer program 'sisein.xls' for the expert evaluation of quality of development project of mine-take lob and the sequence of actions on project performance improvement is described.*
***Key words:*** *economic and mathematical model, mining method, second working, draining-out of gases*

Технология разработки угольного пласта – это сложная технологическая система и как любая сложная система она представлена отдельными блоками, узлами, модулями. Так, технология разработки ступени шахтного поля конкретного пласта представлена блоками – выемочный участок и подготавливающие выработки.

Выемочный участок представлен узлами – лава, сопряжения лавы с участковыми выработками. Узлы сопряжения лавы и участковых выработок могут быть представлены модулями, качество которых определяется временем проведения выработки и лавы, сохраняемостью или погашаемостью выработки за лавой, направлением воздушного потока вдоль выработки, направлением угольного потока вдоль выработки.

Анализ существующих технологических схем выемочного участка показал, что каждый узел сопряжения лавы с участковыми выработками может быть представлен восемью взаимозаменяемыми модулями, узел примыкания работающей лавы к отработанному участку может быть представлен одним из четырех возможных модулей. Таким образом, технологически возможны 128 вариантов исполнения блока «выемочный участок».

Блок подготавливающих выработок в зависимости от способа подготовки шахтного поля может быть представлен различной комбинацией магистральных и наклонных горных выработок, в общем случае это еще 6 возможных вариантов исполнения.

Таким образом, количество возможных вариантов технологии разработки пласта увеличивается еще в несколько раз.

Каждая технологическая схема характеризуется переменными параметрами, такими как сечение выработок, способы охраны выработок, вид участкового и магистрального транспорта угля, вид вспомогательного транспорта, вид механизации выемки угля, длина очистного забоя и многие другие [1].

Проект технологии добычи угля в пределах выемочной ступени разрабатывается в заданных природных условиях – размер шахтного поля по простиранию S, размер выемочной ступени по падению H, необходимая нагрузка на пласт D, угол падения α и мощность пласта m, свойства вмещающих пород σ, показатели газообильности q. Проект может считаться успешным, если выполняется условие – суммарные затраты на разработку, отнесенные к одной тонне запасов пласта $C_{уд}$ (удельные затраты) должны

быть минимальны. Величина удельных затрат определяется как сумма затрат на сооружение выработок и средств их охраны, поддержание выработок, транспорт угля и материалов, очистные работы, отнесенная к 1 т промышленных запасов выемочной ступени.

Цель данной работы - экспертная оценка проекта разработки выемочной ступени шахтного поля с использованием экономико-математического моделирования величины удельных затрат. Ниже приведен общий вид экономико-математической модели.

Экономико-математическая модель удельных затрат в общем виде выглядит как

$$C_{уд} = \frac{\sum K_{уч} = f(S,L,m) + \sum R_{уч} = f(S,m,\sigma,A) + \sum G_{уч} = f(S,A) + C_{оч} = f(L,A,m)}{Z_{уч} = f(S,m,L)} +$$

$$+ \frac{\sum K_{маг} = f(S,H,D,A) + \sum R_{маг} = f(S,m,D,\alpha,\sigma,A) + \sum G_{маг} = f(S,H,D,A,\alpha)}{Z_{ст} = f(S,H,m)}, руб/т$$

где: $\sum K, \sum R, \sum G$ - суммарные затраты на проведение и охрану выработок, на поддержание, на транспорт соответственно для участковых выработок и для магистральных выработок,

$C_{оч}$ – удельные затраты на очистные работы,

Z – промышленные запасы соответственно выемочного участка и выемочной ступени,

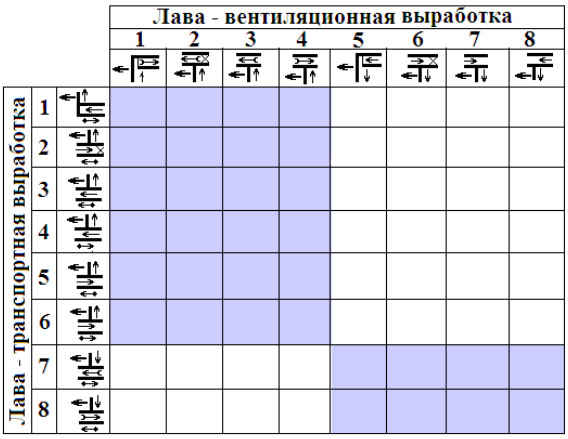
L – длина лавы,

A – суточная нагрузка на лаву.

Как видно, модель удельных затрат многофункциональна и многие ее составляющие зависят не только непосредственно от исходных данных на проектирование, но и от параметров проекта, возникающих в процессе проектирования, таких как нагрузка на лаву и ее длина. Эти величины в свою очередь определяются видом механизации выемки угля и показателями газовыделения из пласта и пород.

Модель реализована в компьютерной программе *sisein.xls* с использование разработанных в ДонНТУ стоимостных параметров [2], учитывающих реальные цены на оборудование и материалы и тарифы. Модель позволяет вычислить величину удельных затрат для 128 возможных вариантов технологии разработки выемочной ступени как при панельной, так и при погоризонтной подготовке, при прямом и обратном порядке разработки ступени.

В программе *sisein.xls* представленный на экспертизу проект прежде всего должен пройти проверку идентичности проектного варианта технологической схемы одному из 128 вариантов технологии, для которых разработана экономико-математическая модель удельных затрат. Пользователь программы должен ответить на вопросы, которые относятся непосредственно к проектному варианту системы разработки. А именно – подробно описать характеристику модулей сопряжения лавы с подготовительными выработками (рис. 1), при этом он использует графические образы выработок (рис. 2) на стадии подготовки выемочного участка, на стадии его эксплуатации, на стадии повторного использования выработки.



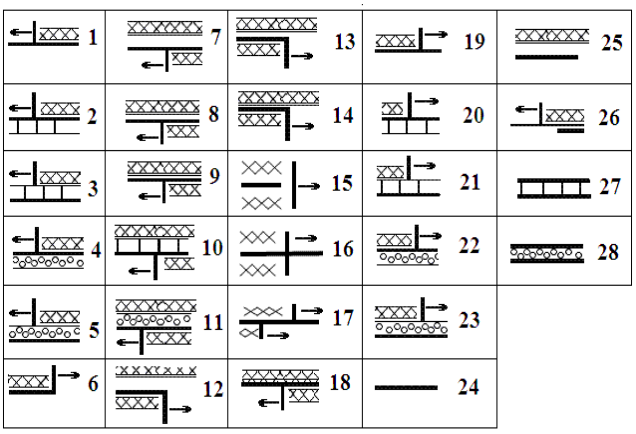




Рис.1 Модули сопряжений лавы

Рис. 2 Графические образы выработки

Далее в программу вводятся исходные данные проекта (указаны выше) и параметры проекта – способ подготовки пласта, тип механизации выемки угля и проведения выработок, нагрузка на лаву, сечения выработок и податливость крепи, способы охраны выработок, длина лавы, размеры панелей, вид основного и вспомогательного транспорта, сведения о применяемой в проекте дегазации пласта и выработанного пространства.

Программа реализует вычисление удельных затрат на добычу угля в пределах выемочной ступени в следующей последовательности:

1. При принятой в проекте нагрузке на лаву вычисляется скорость подвигания лавы.
2. Исходя из заданной нагрузки на пласт вычисляется количество лав, панелей и т.д.
3. Проводится вычисления затрат на проведение подготовительных и подготавливающих выработок, затрат на сооружение средств охраны участковых выработок, внутрилавных затрат.
4. Проводится вычисления затрат на поддержание участковых и подготавливающих выработок, затрат на транспорт угля и вспомогательный транспорт по участковым и подготавливающим выработкам.
5. Вычисляются удельные затраты по видам работ и в целом по пласту.

Далее следует анализа принятых решений и выработки рекомендаций по внесению изменений в проект.

Этот процесс выполняется в следующей последовательности:

1. Прежде всего, проверяется какой из факторов ограничивает нагрузку на лаву. Если это фактор механизации очистных работ – рассматривается возможность применения другого вида оборудования (программа содержит соответствующий справочный материал). Если нагрузка на лаву ограничена возможностями проветривания и проектом не предусматривалась дегазация пласта или пород – рассматривается возможность применения дегазации и ее глубины.
2. Если угол падения пласта менее 10°, возможно применение как панельной, так и погоризонтной подготовки. Рецензент проверяет эффективность одного из этих способов подготовки.

3. Далее рецензент последовательно проверяет целесообразность принятых решений по способу проведения выработок, по виду вспомогательного транспорта, по виду способов охраны выработок и др.

В данном случае возможны варианты:

- решений может быть только два (например – способ проведения выработки);
- вариантов решений несколько, но все они только качественные (например – способ охраны выработки в третьей зоне поддержания);
- вариантов решения может быть несколько и фактор может принимать количественное значение в определенном диапазоне (например – податливость крепи участковой выработки, размер крыла панели и др.).

В первом из рассмотренных случаев в программу вводится то или иное значение фактора и принимается то значение, при котором величина удельных затрат меньшая. Во втором случае в программу поочередно вводится индекс варианта и составляется таблица со столбцами – «значение фактора»-«удельные затраты». В листе программы предусмотрено место для выполнения таблицы и построения гистограммы. По данным таблицы строится гистограмма, принимается наивыгоднейшее значение и оно вводится в программу.

В третьем случае – величина параметра изменяется непрерывно в определенном диапазоне. В этом случае последовательно задается величина параметра и считывается значение удельных затрат, составляется таблица «значение фактора»-«удельные затраты». По данным этой таблицы строится график, по которому находится наивыгоднейшее значение. Как пример ниже показан график зависимости удельных затрат от размера крыла панели.

4. После рассмотрения описанным способом всех параметров проекта, введения в программу «наивыгоднейших» значений программа выдает таблицу как принятых параметров, так и величины удельных затрат.

**Выводы**

1. Любой проект технологии работ подлежит рецензированию с точки зрения его экономической эффективности.
2. Рецензирование проекта сложной технологической системы, которой является технология разработки пласта, требует многочисленных и сложных вычислений.
3. Экономико-математическая модель *sisein.xls* позволяет в существенно сокращенный период времени провести проверку эффективности принятых в проекте технологических решений для любого из 128 возможных вариантов технологической схемы разработки пологого пласта.
4. Компьютерная программа *sisein.xls* внедрена в учебный процесс по курсу «Экономико-математическое моделирование и оптимизация параметров горных работ» в ДонНТУ.

**Список литературы: 1**. Стрельников, В. И. Экономико-математическое моделирование систем разработки : учеб. пособие / В. И. Стрельников, И. Г. Ворхлик. - Саарбрюккен : LAP Lambert Academic Publishing, 2016. - 56 с. **2.** Стрельников, В. И. Расчет стоимости отдельных видов горных работ : пособие для проектирования / В. И. Стрельников. - Саарбрюккен : LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 132 с.

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И МЕХАТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ И СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Савин Л.А., Поляков Р.Н., Корнаев А.В.** *(ОГУ им. И.С. Тургенева, г. Орел, Россия)*
*Тел. +7(910)7483766; E-mail: savin@ostu.ru*

***Abstract:*** *The report sets forth the authors' views on the logic of the historical development of the scientific and technological revolution in the context of the trends of the present stage, connected with the transition from the mechanization and automation stages to intellectual technologies in all spheres of science and technology. The analysis of the basic categories of artificial intelligence and the direction of perfection of "smart" machines and materials is presented. A review is made of the mechatronic devices used in machines, automated diagnostic systems, advanced methods of control and design. The problems of methodological and logistical support of engineering education are considered.*

Стратегия научно-технологического развития России на ближайшие годы предполагает переход к интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, более активному применению методов машинного обучения и искусственного интеллекта. Новый технологический уклад по сути дела во многом будет связан с разработкой, созданием и применением «умных» технических систем во всех сферах человеческой деятельности. Интеллектуальные технологии представляют собой совокупность управляемых научно-технических процессов по изменению материалов, энергии и информации, отличающихся особым способом компьютерного управления с использованием специальных программ на основе интеллектуальных методов и алгоритмов. Ключевой категорией в названии нового технологического уклада служит понятие интеллекта как способности получать, хранить, преобразовывать и выдавать информацию, вырабатывать новые знания, принимать рациональные обоснованные решения, формулировать цели, контролировать деятельность, оценивать ситуацию в окружающем мире на основе способности сравнивать, проводить составление суждений, осуществлять умозаключения.

Система искусственного интеллекта представляет собой сложные компьютерные программы, воспроизводящие на ЭВМ интеллектуальные процедуры и операции, в частности, экспертные оценки, логические выводы, методы рассуждений, интеллектуальный анализ данных, алгоритмы инженерии знаний, поддержку принятия решений; планирование поведения; сетевые модели, математические вычисления, чтение текста и обработку естественного языка. В технических системах это позволяет реализовывать функции автоматизированной диагностики, климатконтроля, навигации, управления движением объекта, работой двигателя, систем безопасности, осуществлять операции прогнозирования, планирования, проектирования, управления технологическими операциями.

В настоящее время наблюдается период быстрого технологического процесса взрывоподобный рост НТП, за которым следует: создание искусственного интеллекта и самовоспроизводящих машин; интеграция человека с вычислительной техникой; повышение мощности человеческого мозга за счёт биотехнологий; самосовершенствование искусственного интеллекта; искусственный интеллект, который в миллионы раз сильнее биологического; постоянное присутствие в

виртуальной реальности, благодаря встроенным в тело электронным устройствам; доступ к электронному коллективному разуму для оптимизации принимаемых решений;- вся планета представляет собой единый компьютер.

В машинных агрегатах интеллектуальные технологии реализуются посредством мехатронных устройств, включающих исполнительные механизмы, информационно-измерительные и энергетические компоненты, системы управления и процессоры. Структурно-функциональная схема взаимодействия составляющих элементов мехатронной системы представлена на рисунке 1.

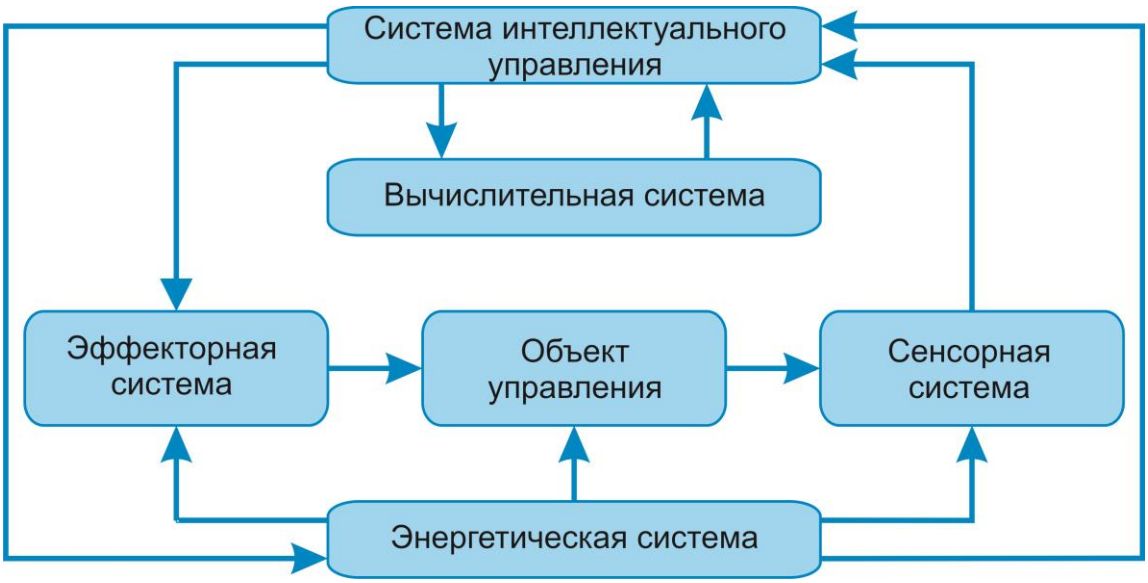



Рис. 1. Схема мехатронной системы с интеллектуальным управлением

В машино- и приборостроении в ближайшие годы перспективными являются следующие направления применения мехатронных и интеллектуальных технологий при создании конкурентоспособной продукции: интеллектуальные материалы, которые обладают способностью к адаптации и изменению своих свойств; создание умных поверхностей деталей, оснащенных сенсорами и микрочипами; использование магнитного поля в технологиях литья; использование технологии компьютерного моделирования для выращивания тонких пленок; технологические системы с адаптивным управлением качеством изготовляемых изделий; автоматизация процессов на основе метода искусственного интеллекта; виртуальные производственные системы; гибкие рабочие органы, подобные человеческим мышцам; микромашинные элементы для обнаружения и контроля физических процессов и величин; самовоспроизводящиеся структурные системы и саморемонтирующиеся приспособления; методы постоянного конструирования машин и производственных систем; разработка роботов ремонтников с автоматическими системами управления, заменяющих людей в сферах ухода и ремонта во вредных и экстремальных условиях.

Создание интеллектуальных роторных машин (Smart rotary machinery) представляет собой самостоятельное научное и производственное направление. Практически все транспортные и технологические системы включают различные виды роторных агрегатов. Применение в них автоматизированной диагностики и активного управления может значительно улучшить динамические и энергетические

характеристики. На рисунке 2 указаны элементы и устройства роторных машин, в которых возможна реализация этих функций.

Рис. 2. Виды и функциональные элементы роторных машин

Можно выделить три базовых уровня интеллектуализации роторных машин:

1.Механические, гидравлические и другие устройства, оснащенные сенсорными элементами, обеспечивающими контроль и диагностику работоспособности.

2.Совокупность элементов первого уровня совместно с микроконтроллерами, воспроизводящими функции программного управления и автоматизации.

3.Машины, имеющие компьютерное управление на основе сложных математических моделей, способное осуществлять самодиагностику и адаптироваться к неопределенности внешней среды.

Автоматизированная диагностика является наиболее изученной категорией умных машинных технологий, т.к. позволяет выяснить, почему машина не работает должным образом и при этом не требуется исполнительных механизмов, которые повышают стоимость и могут уменьшить надежность. В роторных машинах диагностику осуществляют путем явного опроса первичных преобразователей, а также косвенного анализа сигналов вибрационных процессов.

Важнейшим фактором развития мехатронных и интеллектуальных технологий является совершенствование системы профессионального образования, качество которого в значительной степени зависит от уровня материально-технического, методологического и информационного обеспечения учебного процесса. В докладе предполагается представить информацию о современных методических подходах в общеинженерной подготовке, новых научно-учебных лабораторных установках с компьютерной измерительной системой, электронном учебном комплексе.

Материалы доклада подготовлены в рамках выполнения проекта государственного задания № 9.2952.2017/4.6.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШАРИКО-СТЕРЖНЕВЫМ УПРОЧНИТЕЛЕМ

**Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Исаев А.Г., Сосницкая Т.С.**
(*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*)

***Abstract.*** *The article presents the results of research of process of processing of ball-rod hardener. Identified technological processing capabilities developed dependences for determination of surface roughness, depth of hardened layer and the degree of deformation. A considerable amount of experimental investigations confirming the adequacy of the theoretical models. This technological recommendations for the design of fabrication processes of ball-rod hardener with a view to ensuring high operational properties of the treated parts.*

Формирование эксплуатационных свойств происходит на протяжении всех этапов процесса изготовления детали, в особенности, на операциях финишной обработки. Методы обработки деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД) нашли широкое применение при решении задач повышения эксплуатационных свойств обработанной детали, причем с экономической точки зрения наиболее выгодны способы местного упрочнения участков деталей, на которых расположены концентраторы напряжений.

Характерными поверхностями деталей, обрабатываемыми местным ППД, являются:

- зоны концентрации напряжений (отверстия, шлицы, скосы, выборки, резьбы, галтели, сварные швы, пазы и т.д.);
- неупрочненные участки поверхности деталей, прошедших общую упрочняющую обработку в вибрационных, дробеструйных и прочих установках (под прижимами, в карманах, отверстиях и других труднодоступных для обрабатывающей среды зонах);
- места механической доработки деталей, на которых упрочненный слой снят при пригоночных работах.

Так как указанные элементы характерны для большинства машиностроительных изделий, то местная обработка ППД может быть использована в любых отраслях машиностроения.

Местной упрочняющей обработке ППД могут подвергаться детали разнообразных форм и размеров, изготовленные из различных металлов. Большую группу деталей составляют маложесткие детали типа панелей, стенок, дуг, профилей выполненные из высокопрочных алюминиевых сплавов, нержавеющих сталей и других материалов.

Обработка отдельных поверхностей деталей машин поверхностным пластическим деформированием может выполняться компактными устройствами [1,2]. Одним из таких устройств является шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ) – универсальное приспособление, позволяющее производить обработку не только плоских поверхностей, но и поверхностей сложной конфигурации, обладающих небольшим перепадом высот. Это приспособление изобретено на кафедре "Технология машиностроения" ДГТУ под руководством профессора А.П. Бабичева [1,2].

Приспособление содержит силовой привод с ударником 1 (рис. 1) и оригинальный обрабатывающий инструмент - пакет круглых стержней 2 в специальном

цанговом зажиме 6. Между стержнями и приводом расположены в замкнутом объеме несколько слоев стальных шаров 4. В качестве силового привода могут быть использованы широко распространенные в промышленности пневмо- и электромолотки.

Пакет стержней, опираясь на поверхность обрабатываемой детали 5, может копировать форму её поверхности, а слой стальных шаров - передавать энергию удара привода на пакет стержней без значительных потерь. Стержни имеют сферическую заточку для формирования пластических отпечатков.

Основными технологическими параметрами процесса обработки ШСУ являются энергия удара ударника, диаметр и число стержней, радиус заточки стержней. По сравнению с другими ударными методами обработки, процесс обработки ШСУ обладает рядом преимуществ, в числе которых высокая интенсивность обработки, формирование сжимающих остаточных напряжений, возможность местного упрочнения, что положительно влияет на эксплуатационные свойства обработанных деталей.

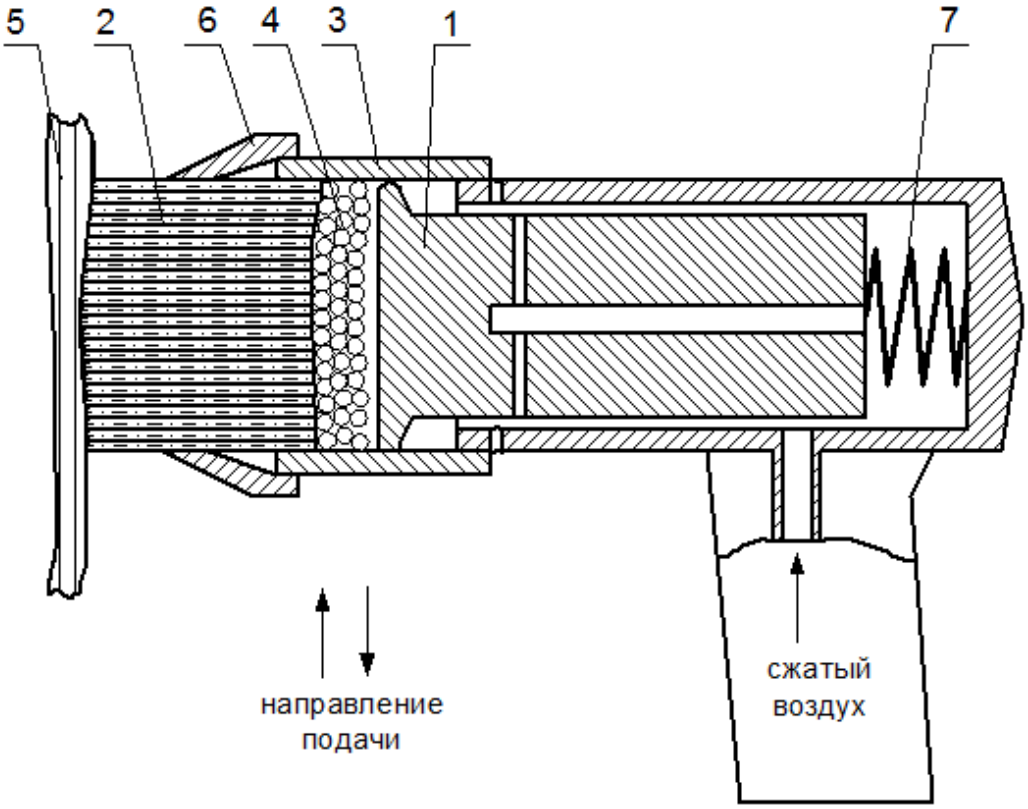



Рис. 1. Схема многоконтактного виброударного инструмента ШСУ: 1 – силовой привод с ударником, 2 - -пакет круглых стержней, 3 – корпус упрочнителя, 4 - - стальные шары, 5 - -обрабатываемая деталь, 6 - цанговый зажим, 7 – упругий элемент

Изначально ШСУ был предложен как ручной инструмент для обработки участков крупногабаритных деталей, а также поверхностей деталей в сборе. При таких условиях эксплуатации инструмента сложно соблюдать точность перемещения, натяга и количество ударов. Однако даже при таком применении ШСУ позволяет сглаживать каверны, упрочнять поверхностный слой и создавать сжимающие остаточные

напряжения. В настоящее время ШСУ применяют при закреплении на токарном или фрезерном станке.

Широкие технологические возможности обработки ШСУ вызвали необходимость проведения теоретических исследований влияния технологических режимов на качество обработанной поверхности.

Расчет параметров пластического отпечатка при внедрении сферического индентора в деформируемое полупространство, подробно описан в работах И.В. Кудрявцева [3]. В них определены диаметр и глубина отпечатка:

$$d = \sqrt[4]{\frac{D \cdot E_y}{0{,}1HD}} \quad (1),$$

$$h = \frac{d^2}{HD}; \quad (2),$$

где $D$ - диаметр сферы, $E_y$ - энергия удара, $HD$ - динамическая твердость материала детали (МПа).

Согласно [1] динамическую твердость можно определить из соотношения:

$$HB = 0{,}2HD^{0{,}89},$$

где $HB$ - твердость материала детали по Бринеллю (кг/мм$^2$).

Следовательно, можно записать:

$$HD = 6{,}1HB^{1{,}12},$$

Тогда, для ШСУ зависимость можно представить в виде:

$$d = \sqrt[4]{\frac{D \cdot E_y \cdot \eta}{M \cdot HB^{1{,}12}}};$$

где $\eta$ - коэффициент полезного действия ШСУ, $M$ - число стержней в пакете.

Для расчета высотных параметров шероховатости обработанной поверхности по аналогии с выводом известной зависимости Чебышева П. П., можно записать:

$$R_z = \frac{S^2}{8R},$$

где S – подача устройства, R – радиус заточки индентора.

Величина подачи может варьироваться в определенных пределах, однако для получения равномерной обработки и исключения появления необработанных участков поверхности следует принимать величину подачи

$$s = 0{.}3d.$$

После проведения преобразований получим следующую зависимость для расчета шероховатости обработанной устройством для ШСУ поверхности:

$$Rz = 0{,}03\sqrt{\frac{E_y \cdot \eta}{D \cdot M \cdot HB^{1{,}12}}} \quad (3).$$

При решении технологических задач важное значение имеет аналитический расчет ожидаемого значения глубины упрочненного слоя и степени деформации. От глубины упрочненного слоя зависят многие эксплуатационные свойства деталей, например, усталостная прочность и долговечность. Величина упрочненного слоя определяет зону поверхности, в которой имеются остаточная деформация зерен и повышенная плотность дислокаций кристаллической решетки, образованные в результате приложения внешней нагрузки. Аналитическое определение толщины упрочненного слоя и степени деформации в зависимости от физико-механических свойств материала детали и параметров процесса является очень сложной задачей. Существующие математические зависимости, выведенные несколькими авторами, были получены на основе теории формирования упругой и пластической деформации после принятия многочисленных упрощений и допущений. В работе [3] приведена зависимость для расчета глубины упрочненного слоя при обработке поверхностным пластическим деформированием:

$$h_n = 2,5K_o\sqrt{D \cdot h},$$

где $K_o$ - коэффициент, зависящий от формы отпечатка; для ШСУ можно принять $K_o$=1.

Используя вышеприведенную формулу при проведении собственных исследований получена зависимость для расчета глубины упрочненного слоя при обработке ШСУ:

$$h_n = \sqrt[8]{\left(\frac{E_y \cdot \eta \cdot D^2}{M \cdot HB^{1,12}}\right)^3} \qquad (4).$$

Для аналитического расчета ожидаемой степени деформации воспользуемся известной зависимостью И. В. Кудрявцева для определения степени пластической деформации при ППД:

$$\varepsilon = \frac{d}{D}.$$

Применим зависимость для исследуемого вида обработки и после преобразований получим следующую формулу для определения степени деформации:

$$\varepsilon = 1,13\sqrt[4]{\frac{E_y \cdot \eta}{D^3 \cdot M \cdot HB^{1,12}}} \qquad (5).$$

Полученные теоретические зависимости (3)-(5) прошли проверку при проведении комплексных экспериментальных исследований процесса обработки ШСУ. Устройство для обработки ШСУ закреплялось на фрезерном или токарном станке. Использовался пневмомолоток КПМ -14М. Чтобы оценить универсальность полученных теоретических зависимостей были изготовлены образцы из различных материалов, широко используемых в машиностроении и имеющих различные свойства. Образцы выполнялись из алюминиевых сплавов Д16, В95, АВТ, а также сталей Ст3, 45, ХВГ.

Экспериментальные исследования проводились при различных радиусах сферической заточки стержней и разном количестве стержней в пакете. Результаты

сравнения теоретических значений и экспериментальных данных представлены на рис. 2-5.

Сплошными линиями на графиках показаны теоретические зависимости, а точками - результаты экспериментов с указанием доверительных интервалов (с доверительной вероятностью 95%).

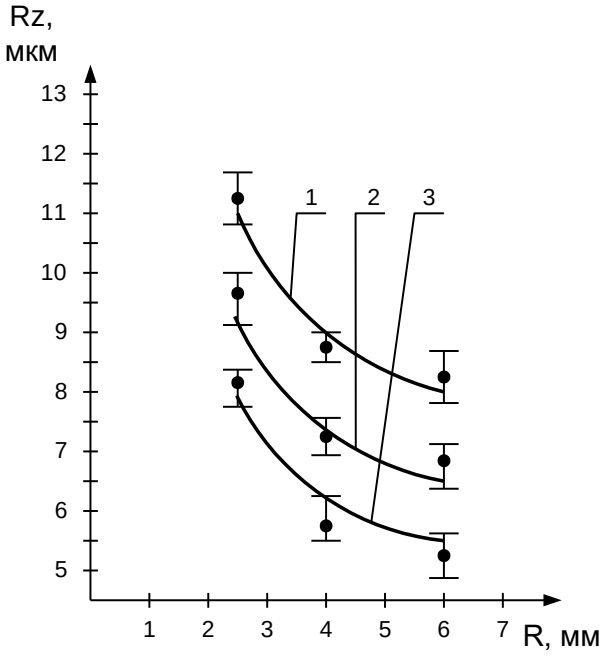



Рис. 2. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от радиуса сферической заточки (M=19, η =0,7): 1 - материал образцов – Д16, 2 - материал образцов – В95, 3 - материал образцов – сталь 45.

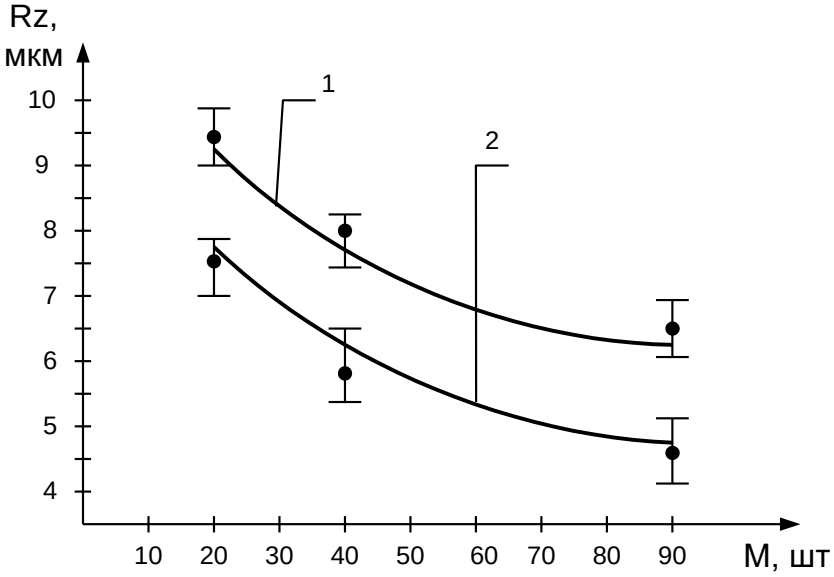



Рис. 3 Зависимость шероховатости обработанной поверхности от числа стержней в насадке (R=2,5 мм, η =0,7): 1 - материал детали – В95; 2 - материал детали – сталь 45

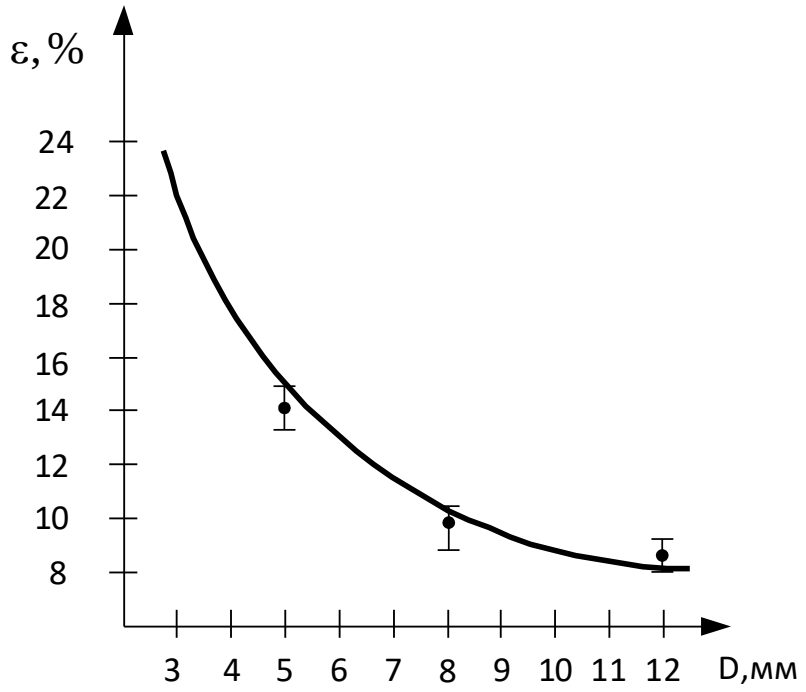



Рис. 4. Зависимость степени деформации поверхностного слоя от диаметра заточки сферы (число стержней М=40, энергия удара Еу=2.5 Дж, η=0,5, материал – ХВГ)

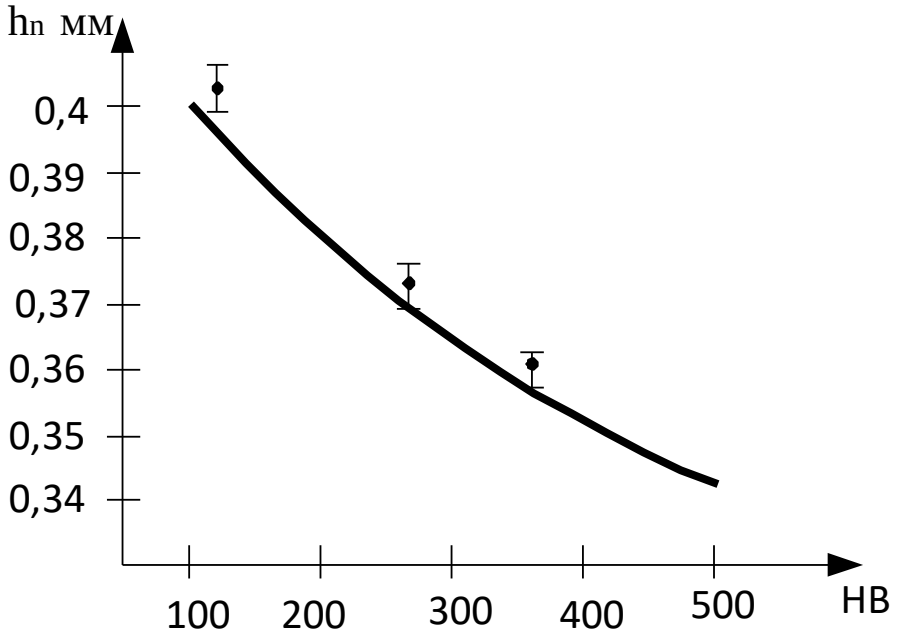



Рис. 5. Зависимость глубины упрочненного слоя от твердости по Бринеллю (число стержней М=19, энергия удара Еу=2.5 Дж, η =0,7, диаметр заточки сферы – D=3 мм).

Анализ представленных результатов показывает, что расхождение теоретических и экспериментальных значений не превышает 15%., поэтому предложенные теоретические зависимости являются адекватными и могут быть рекомендованы для использования при технологическом проектировании. Разработана методика проектирования техпроцессов обработки ШСУ, позволяющая обеспечивать повышение эксплуатационных свойств обработанных деталей. Даны технологические рекомендации для внедрения процесса обработки ШСУ в производство.

Проектирование технологических процессов необходимо начинать с перебора вариантов сочетаний технологических параметров, имеющихся в распоряжении технолога (мощность привода, число стержней в пакете, радиусы заточки стержней). Из всех вариантов выбирают такие, которые по расчетным зависимостям, приведенным выше, обеспечивают заданные параметры качества поверхностного слоя. Время обработки принимают в пределах 10-20 секунд на ширину пакета стержней в направлении подачи. В случае, если заданным условиям соответствуют несколько вариантов технологического процесса, выбирается вариант с наибольшей производительностью обработки.

Технологические рекомендации прошли апробацию в производственных условиях и использованы при внедрении процесса обработки деталей ШСУ на ООО «ДонКузлитМаш» в г. Азове.

**Список литературы: 1**. Тамаркин М. А., Тищенко Э.Э., Исаев А.Г. и др. Повышение качества поверхностного слоя и безопасности процесса при обработке деталей шарико-стержневым упрочнением// Вестник РГАТУ им. П. А. Соловьева. - 2017. - № 2 (41). - С. 82-88**. 2.** Тамаркин, М.А., Чукарин А.Н., Исаев А.Г. Обеспечение акустической безопасности технологического процесса обработки шарико-стержневым упрочнителем плоских деталей при достижении заданных параметров поверхностного слоя// Электронное научное издание «Науковедение», 2016. –№6.- С. 28. **3.** Кудрявцев И. В. Основы выбора режима упрочняющего поверхностного наклепа ударным способом. В кн.: Повышение долговечности деталей машин методами поверхностного наклепа. Тр. ЦНИИТМАШ, вып. 108, 1965. - С. 6-34.

## ОСНОВЫ СИНТЕЗА ГЕОМЕТРИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АРОЧНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ СМЕШАННОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С КРУГОВОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ЛИНИЕЙ ЗУБА

**Таращанский М.Т.,** к.т.н., доцент, **Чалая Е.Ю.** ст. пр.
*(Луганский национальный университет им. В. Даля, Луганск, ЛНР)*
*Тел./Факс: +38(099)9259034, E-mail: elena_chalaya@mail.ru*

Основой высокой работоспособности любого редуктора является высокая надежность и работоспособность входящих в него зубчатых передач. Арочные передачи занимают особое место среди цилиндрических передач, отличаются значительной нагрузочной способностью и плавностью работы.

Постоянно возрастающие требования к увеличению окружных скоростей, нагрузки и ресурса с одновременными требованиями к уменьшению массы и габаритов современных редукторов все в меньшей степени удовлетворяются традиционными передачами, которые в ряде случаев уже не являются конкурентоспособными.

Необходимость реализации потенциала передач с арочными зубьями привела к использованию в них, кроме традиционного, альтернативных видов зацепления. Среди них наиболее перспективным становится смешанное зацепление. Использование смешанной системы зацепления дает возможность дальнейшего улучшения показателей качества зубчатой передачи. Наиболее целесообразным путем повышения технического уровня зубчатых передач является синтез по критериям их работоспособности, которые во многом зависят от геометрии зацепления.

Эксплуатационные характеристики могут быть улучшены за счет применения рационального исходного контура (ИК) режущего инструмента, каковым может быть ИК смешанного типа, представленный в параметрическом виде:

$$\begin{cases} x_p = f_1(\lambda); \\ y_p = f_2(\lambda); \end{cases} \qquad \begin{cases} x_p = \Phi_1(\lambda); \\ y_p = \Phi_2(\lambda). \end{cases} \tag{1}$$

Обобщая результаты, полученные предшественниками, считаем, что функции $f_1, f_2$ и $\Phi_1, \Phi_2$, описывающие головку и ножку зуба соответственно, различные (1). Если при этом продольная линия зуба является дугой окружности радиусом $R_u$ (радиус резцовой головки), то имеем цилиндрические передачи с круговым зубом.

Рассмотрим геометрокинематические критерии, необходимые для синтеза геометрии зубьев цилиндрических передач смешанного зацепления.

Скорость скольжения, если $u$ – передаточное отношение:

$$V_{ск\,f} = \left(1+(1/u)\right) f_1 \sqrt{\left(f_1'/f_2'\right)^2 \cos^2\mu + 1}, \; V_{ск\,\Phi} = (1+1/u)\Phi_1 \sqrt{\left(\Phi_1'/\Phi_2'\right)^2 \cos^2\mu + 1}. \tag{2}$$

Скорости качения сопряженных поверхностей зубьев (соответственно для головки и ножки), если $\omega_1$ – угловая скорость вращения шестерни:

$$\begin{aligned} V_{1f} &= \omega_1 n_f / \tau_f \left(R_1 + f_1 \Delta_f / f_2'\right), & V_{1\Phi} &= \omega_1 n_\Phi / \tau_\Phi \left(R_1 + \Phi_1 \Delta_\Phi / \Phi_2'\right), \\ V_{2f} &= \omega_1 n_f / u\tau_f \left(R_2 - f_1 \Delta_f / f_2'\right), & V_{2\Phi} &= \omega_1 n_\Phi / u\tau_\Phi \left(R_2 - \Phi_1 \Delta_\Phi / \Phi_2'\right). \end{aligned} \tag{3}$$

Суммарная скорость качения рабочих поверхностей:

$$V_{\Sigma f} = \omega_1 n_f / \tau_f \left(2R_i \pm \left(f_1' \Delta_f / f_2'\right)\left(1-(1/u)\right)\right), V_{\Sigma\Phi} = \omega_1 n_\Phi / \tau_\Phi \left(2R_i \pm \left(\Phi_1' \Delta_\Phi / \Phi_2'\right)\left(1-(1/u)\right)\right) \tag{4}$$

Приведенная кривизна (соответственно для головки и ножки):

$$\begin{aligned} \chi_{пр\,f} &= f_2' \tau_f^2 / n_f^3 \cdot \frac{(R_1+R_2)}{\left(R_2 - f_1\Delta_f / f_2'\right)\left(R_1 + f_1\Delta_f / f_2'\right)}, \\ \chi_{пр\,\Phi} &= \Phi_2' \tau_\Phi^2 / n_\Phi^3 \cdot \frac{(R_1+R_2)}{\left(R_2 - \Phi_1\Delta_\Phi / \Phi_2'\right)\left(R_1 + \Phi_1\Delta_\Phi / \Phi_2'\right)}. \end{aligned} \tag{5}$$

Удельные скольжения (соответственно для головки и ножки):

$$\eta_{if} = \pm\left(1+(1/u)\right) f_1 \Delta_f / \left(R_i f_2' \pm f_1 \Delta_f\right), \; \eta_{i\Phi} = \pm\left(1+(1/u)\right)\Phi_1 \Delta_\Phi / \left(R_i \Phi_2' \pm \Phi_1 \Delta_\Phi\right). \tag{6}$$

Верхний знак соответствует выпуклой стороне зуба, нижний знак – вогнутой.

$$\Omega_{1f} = f_1 f_1' / f_2', \quad \Omega_{1\Phi} = \Phi_1 \Phi_1' / \Phi_2', \quad \Omega_{2f} = \Omega_{1f} + f_2, \quad \Omega_{2\Phi} = \Omega_{1\Phi} + \Phi_2,$$

$$n_f = \sqrt{f_1'^2 + f_2'^2}, \; n_\Phi = \sqrt{\Phi_1'^2 + \Phi_2'^2}, \; K_{nf} = 1/(R_u + f_2), \; K_{n\Phi} = 1/(R_u + \Phi_2).$$

$$\tau_f = \sqrt{n_f^2 \sin^2\mu \left(1 + \Omega_{1f} K_{nf}\right)^2 + \left(\Omega_{2f}'\right)^2 \cos^2\mu}, \; \tau_\Phi = \sqrt{n_\Phi^2 \sin^2\mu \left(1 + \Omega_{1\Phi} K_{n\Phi}\right)^2 + \left(\Omega_{2\Phi}'\right)^2 \cos^2\mu},$$

$$\Delta_f = \Omega_{2f}' \cos^2\mu + f_2' \left(1 + \Omega_{1f} K_{nf}\right) \sin^2\mu, \; \Delta_\Phi = \Omega_{2\Phi}' \cos^2\mu + \Phi_2' \left(1 + \Omega_{1\Phi} K_{n\Phi}\right) \sin^2\mu.$$

Кроме критериев необходимо рассматривать ограничения параметров ИК.

Учитывая, что функции, определяющие продольную форму зубьев, заданы, а неизвестными являются функции $f_1, f_2$ и $\Phi_1, \Phi_2$, задающие конфигурацию ИК (1), делаем вывод, что полученные формулы (2)-(6) для критериев являются дифференциальными уравнениями. Их можно использовать для определения геометрии ИК режущего инструмента. Полагая, что $f_2 = f_2(f_1)$, а также $\Phi_2 = \Phi_2(\Phi_1)$, имеем:

$$f_1' = 1, \quad f_1'' = 0, \quad \Phi_1' = 1, \quad \Phi_1'' = 0. \tag{7}$$

1. Дифференциальные уравнения для синтеза геометрии арочных зубьев по заданной относительной скорости (2).

$$f_2' = \pm \frac{\omega_1 \left(1 + (1/u)\right) f_1 \cos\mu}{\sqrt{V_{ск}^2 - \omega_1^2 \left(1 + (1/u)\right)^2 f_1^2}}, \qquad \Phi_2' = \pm \frac{\omega_1 \left(1 + (1/u)\right) \Phi_1 \cos\mu}{\sqrt{V_{ск}^2 - \omega_1^2 \left(1 + (1/u)\right)^2 \Phi_1^2}} \tag{8}$$

2. Дифференциальные уравнения для синтеза геометрии арочных зубьев по заданным скоростям качения (3).

$$\begin{aligned} f_2'' &= 1/f_1 \left[ f_2'^3 - \left( \left( -B_{Vi\,I} \pm \sqrt{B_{Vi\,I}^2 - 4 A_{Vi\,I} C_{Vi\,I}} \right) \Big/ 2 A_{Vi} \right) f_2'^2 + f_2' \right], \\ \Phi_2'' &= 1/\Phi_1 \left[ \Phi_2'^3 - \left( \left( -B_{Vi\,II} \pm \sqrt{B_{Vi\,II}^2 - 4 A_{Vi\,II} C_{Vi\,II}} \right) \Big/ 2 A_{Vi\,II} \right) \Phi_2'^2 + \Phi_2' \right]. \end{aligned} \tag{9}$$

Коэффициенты $A_{Vi}, B_{Vi}, C_{Vi}$ уравнений (9) находятся по формулам:

$$A_{Vi\,I} = \left(V_i^2 / \omega_1^2 n_f^2\right) \cdot \cos^2\mu - c_{vi\,I}^2, \quad A_{Vi\,II} = \left(V_i^2 / \omega_1^2 n_\Phi^2\right) \cdot \cos^2\mu - c_{vi\,II}^2,$$

$$B_{Vi\,I} = \mp 2 R_i c_{Vi\,I} - 2 c_{Vi\,I} a_{Vi\,I}, \quad B_{Vi\,II} = \mp 2 R_i c_{Vi\,II} - 2 c_{Vi\,II} a_{Vi\,II},$$

$$C_{Vi\,I} = \left(V_i^2 / \omega_1^2 n_f^2\right) \cdot b_{Vi\,I} - \left(R_i \pm a_{Vi\,I}\right)^2, \quad C_{Vi\,II} = \left(V_i^2 / \omega_1^2 n_\Phi^2\right) \cdot b_{Vi\,II} - \left(R_i \pm a_{Vi\,II}\right)^2.$$

Индексы: $f$ и I – для головки, $\Phi$ и II – для ножки зуба. Для нахождения коэффициентов $a_{Vi}, b_{Vi}, c_{Vi}$ используем соотношения:

$$a_{Vi} = \begin{matrix} I \\ II \end{matrix} \begin{cases} f_1 \left(1 + \Omega_{1f} K_{nf}\right) \sin^2\mu, \\ \Phi_1 \left(1 + \Omega_{1\Phi} K_{n\Phi}\right) \sin^2\mu, \end{cases}, \; b_{Vi} = \begin{matrix} I \\ II \end{matrix} \begin{cases} n_f^2 \left(1 + \Omega_{1f} K_{nf}\right)^2 \sin^2\mu, \\ n_\Phi^2 \left(1 + \Omega_{1\Phi} K_{n\Phi}\right)^2 \sin^2\mu, \end{cases} \; c_{Vi} = \begin{matrix} I \\ II \end{matrix} \begin{cases} f_1 \cos^2\mu / f_2', \\ \Phi_1 \cos^2\mu / \Phi_2'. \end{cases}$$

3. Дифференциальные уравнения по заданной суммарной скорости (4) качения имеют вид (9), только с коэффициентами, которые определяются аналогично:

$$a_{V\Sigma I} = \left(1-(1/u)\right) f_1\left(1+\Omega_{1f} K_{nf}\right)\sin^2\mu, \quad a_{V\Sigma II} = \left(1-(1/u)\right)\Phi_1\left(1+\Omega_{1\Phi} K_{n\Phi}\right)\sin^2\mu,$$

$$c_{V\Sigma I} = \left(1-(1/u)\right)\cdot\left(f_1/f_2'\right)\cos^2\mu, \quad c_{V\Sigma II} = \left(1-(1/u)\right)\cdot\left(\Phi_1/\Phi_2'\right)\cos^2\mu.$$

4. Дифференциальные уравнения по заданной приведенной кривизне (5) имеют вид (9), но с коэффициентами, которые находятся по формулам:

$$A_{\chi I} = f_2'\left(R_1+R_2\right)\cos^2\mu + c_{V1}^2\,\chi_{np\,f}\,n_f^3, \quad A_{\chi II} = \Phi_2'\left(R_1+R_2\right)\cos^2\mu + c_{V2}^2\,\chi_{np\,\Phi}\,n_\Phi^3,$$

$$B_{\chi I} = \chi_{np\,f}\,n_f^3\left(2c_{V1}a_{V1} + c_{V1}\left(R_1-R_2\right)\right), \quad B_{\chi II} = \chi_{np\,\Phi}\,n_\Phi^3\left(2c_{V2}a_{V2} + c_{V2}\left(R_1-R_2\right)\right),$$

$$C_{\chi I} = \left(R_1+R_2\right) f_2' b_{V1} - \chi_{npf}\,n_f^3\left(R_1+a_{V1}\right)\left(R_2-a_{V1}\right),$$

$$C_{\chi II} = \left(R_1+R_2\right)\Phi_2' b_{V2} - \chi_{np\Phi}\,n_\Phi^3\left(R_1+a_{V2}\right)\left(R_2-a_{V2}\right).$$

5. Дифференциальные уравнения по заданным коэффициентам удельных скольжений (6) (для головки и ножки зуба соответственно):

$$f_2'' = \frac{f_2'^2}{f_1 f_1'}\left[\frac{f_1'^2 + f_1 f_1''}{f_2'} + f_2' - \frac{C_{\eta f}}{B_{\eta f}}\right], \quad \Phi_2'' = \frac{\Phi_2'^2}{\Phi_1\Phi_1'}\left[\frac{\Phi_1'^2 + \Phi_1\Phi_1''}{\Phi_2'} + \Phi_2' - \frac{C_{\eta\Phi}}{B_{\eta\Phi}}\right].$$

Здесь имеют место обозначения (для головки и ножки зуба соответственно):

$$C_{\eta f} = R_i f_2'\eta_{if} \pm f_1 f_2'\left(1+\Omega_{1f}/\left(R_u+f_2\right)\right)\sin^2\mu\left(\eta_{if} - \left(1+(1/u)\right)\right),$$

$$C_{\eta\Phi} = R_i\Phi_2'\eta_{i\Phi} \pm \Phi_1\Phi_2'\left(1+\Omega_{1\Phi}/\left(R_u+\Phi_2\right)\right)\sin^2\mu\left(\eta_{i\Phi} - \left(1+(1/u)\right)\right);$$

$$B_{\eta f} = \mp f_1\cos^2\mu\left(\eta_{if} - \left(1+(1/u)\right)\right), \quad B_{\eta\Phi} = \mp\Phi_1\cos^2\mu\left(\eta_{i\Phi} - \left(1+(1/u)\right)\right).$$

В качестве критерия синтеза может быть выбран любой показатель качества из построенной системы и соответствующие ему дифференциальные уравнения. Этот выбор зависит от назначения конкретной зубчатой передачи.

Анализ полученных формул показывает, что уменьшение приведенной кривизны оказывает положительное влияние на все геометрокинематические критерии. Поэтому, в основу синтеза геометрии круговых арочных зубьев усовершенствованных передач можно положить ее синтез по заданной приведенной кривизне, обеспечивая наименьшее ее значение в пределах поля зацепления.

Полученные функциональные зависимости могут быть использованы при проектировании новых арочных зубчатых передач смешанного зацепления, нарезаемыми круговыми резцовыми головками, а также при анализе показателей работоспособности арочных передач смешанного зацепления с круговыми зубьями.

**Список литературы: 1.** Шишов В.П., Носко П.Л., Філь П.В. Теоретичні основи синтезу передач зачепленням: Монографія. - Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2006. - 408с. **2.** Гавриленко В.А. Геометрическая теория эвольвентных зубчатых передач. М.: Машгиз, 1949, 399с. **3.** Грибанов В.М., Грибанова Ю.В. Математические модели производства зубчатых цилиндрических передач Новикова. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 1999. – 148с. **4.** Шишов В.П., Носко П.Л., Ревякіна О.А. Циліндричні передачі з арковими зубцями (теорія, аналіз, синтез): Монографія. - Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2004. - 336с. **5.** Шишов В.П., Носко П.Л., Ткач П.М., Філь П.В. Високонавантажені циліндричні передачі з двоопукло-ввігнутими зубцями: Монографія. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2005. - 216с. **6.** .Журавлев Г.А. О развитии формы профиля зубьев зубчатых колес. Труды VI Международного симпозиума «Теория реальных передач зацеплением». Курган, 1997, № 53-57. **7**. Шишов В.П., Ткач П.Н., Ревякина О.А. Дифференциальные уравнения для синтеза цилиндрических зубчатых передач с корсетными зубьями // Вестник Харьковского гос. политехн. Ун-та. Сборник научных работ. Вып. 109. – Харьков, 2000. – с.82-87.

## ПОВЫШЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ АВТОПРОМА КАЗАХСТАНА

**Тюрин А.Н.** (*ЗКАТУ им. Жангир хана,Республика Казахстан)*
*Тел. 8-7112-27-62-81, Email: turin56@mail.ru*

***Annotation.*** *As is known, reliability and durability of rolling bearings depend on reliability and durability of most machines, especially such complex ones as transport and space systems, military equipment, technological equipment and others depend on reliability and durability of rolling bearings by 60-70%. Therefore, the solution of the problem of improving the performance of rolling bearings under conditions of severe competition and taking into account the current trends aimed at reducing the material consumption and increasing the loading and speed regimes of the work of parts and machines, with increasing requirements for their reliability, is of priority importance.*

*One of the directions of solving this problem is the development of non-waste technologies for the manufacture of machine-building products and, in particular, rolling bearings. High operational properties of the developed product designs are effectively combined with the developed wasteless energy-saving technologies. Developed bearing designs are highly technological, which ensures their high competitiveness in the world market.*

***Keywords:*** *mechanical engineering, reliability and durability of rolling bearings, non-waste energy-saving technologies.*

Общим назначением машиностроения является создание активной части основного капитала экономики. Машины и оборудование различного назначения, транспортные средства, узлы, приборы и агрегаты в процессе инвестиционно-строительной деятельности превращаются в основной капитал экономики и образуют производственный аппарат страны. Тем самым осуществляется воспроизводственный процесс в национальной экономике. Отечественное машиностроение в настоящее время не обеспечивает должным образом воспроизводство конкурентоспособной экономики в РК и РФ.

В последнее время в России ежегодно создается около 300 технологий машиностроения. Из числа созданных за последние пять лет технологий машиностроения около 12% не имеет аналогов в мире и столько же соответствует лучшим зарубежным образцам. Таким образом, около четверти новых технологий машиностроения потенциально могут быть конкурентоспособными. Остальная часть вновь созданных технологий относится к категории «новые в стране».

Более четверти общего числа созданных за последние пять лет новых технологий машиностроения приходится на станкостроение и инструментальное производство. Кроме того, создано значительное число новых технологий в области конструкционных материалов, заготовительного производства, сварки, модификации поверхностей, а также специальных видов технологий.

Ни в одной отрасли промышленности внедрение прогрессивных технологий и новой техники не дает столь быстрых и весомых результатов, как в машиностроении. На окупаемость затрат на внедрение прогрессивных технологий требуется 1,5-2 года, а затраты на новое производственное оборудование окупаются за 2-2,5 года. Кроме того, эффекты, получаемые от внедрения прогрессивных технологий, обеспечивают повышение качества выпускаемой продукции и улучшение экологических характеристик машиностроительного производства.

Большая часть эффектов новых технологий машиностроения наблюдается в металлосбережении и повышении прочности, износостойкости и долговечности деталей машин.

Металлосбережение обеспечивают 37,5% новых конструкционньгх материалов и 25% новых технологий станкостроения и инструментального производства. Повышение прочности, износостойкости и долговечности деталей машин обеспечивается при внедрении в производство большей части технологий. Лидерами здесь являются станкостроение и инструментальное производство (35% технологий направлены на повышение износостойкости режущего инструмента) и технология модификации поверхностей деталей машин (50% новых разработок этой группы технологий обеспечивают существенное повышение триботехнических характеристик изделий).

Металлосбережение явилось самой актуальной проблемой в рассматриваемом периоде в связи с высоком ростом цен на черные металлы. Для машиностроения рост цен на металл является одним из самых значимых факторов, влияющих на результаты хозяйственной деятельности, так как в большинстве отраслей машиностроения затраты на металл составляют более 90% материальных затрат на производство. Среди новых технологий машиностроения есть технологии, позволяющие экономить до 40% металла; разработаны методы, обеспечивающие коэффициент использования металла на уровне 0,8-1. Широкое внедрение этих технологий могло бы существенно повлиять на эффективность производства и поднять машиностроение на более высокую ступень развития, соответствующую уровню развитых стран.

Существующие темпы освоения новых технологий обеспечили снижение материалоемкости машиностроительной продукции за пять лет на 17%.

Энергосберегающие технологии в меньшей степени повлияли на эффективность производства. В среднем по отраслям гражданского машиностроения за последние пять лет энергоемкость продукции снизилась на 5,6%, но в станкостроении и машиностроении для легкой и пищевой промышленности потребление энергии снизилось более чем на 20%, а в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении - почти на 35%.

В экономически развитых странах ежегодно в год затрачиваются сотни миллионов долларов на то, чтобы снизить на какие-то проценты трение и повысить надежность и долговечность опор качения. Потому, что от надежности и долговечности опор качения на 60-70% зависят надежность и долговечность большинства машин, особенно таких сложных, как транспортные и космические системы, военная техника, технологическое оборудование и другие. Поэтому решение проблемы повышения работоспособности опор качения в условиях жесткой конкуренции и с учетом современных тенденций, направленных на снижение материалоемкости и повышение нагрузочных и скоростных режимов работы деталей и машин, при возрастающих требованиях, предъявляемых к их надежности, имеет приоритетное значение.

А так как эта проблема не решена, то в настоящее время является обычной практикой периодический ремонт опор качения в процессе эксплуатации машин. Но ремонт подшипниковых опор – это, во-первых, огромные потери материалов, людских ресурсов, энергии, которые настолько велики, что часто превышают стоимость новой техники. Во-вторых, значительные затраты возникают из-за простоя техники в процессе ремонта. В-третьих, отремонтированный подшипниковый узел, как правило, имеет меньшее качество, чем новый, что снижает надежность и долговечность техники, а иногда по этим критериям она перестает удовлетворять требуемым стандартам. Наконец, недостаточно надежные подшипниковые опоры могут приводить к авариям, что особенно недопустимо для транспортных, космических систем и военной техники, так как это влечет за собой человеческие жертвы и полный выход из строя дорогостоящей техники. Патентные исследования и анализ научно-технической литературы показали, что на работоспособность подшипниковых опор влияет множество конструкторских, технологических, эксплуатационных факторов. И по всем эти направлениям осуществляется кропотливая настойчивая работа ученых, инженеров, специалистов. Особенно больших успехов в повышении качества опор качения достигли разработчики ведущих зарубежных фирм, которые применяют в опорах качения современные материалы, высокоточное оборудование, уникальные технологии. Но все же в большинстве своем резервы повышения качества подшипников традиционными средствами ограничены и приводят ко все более и более высоким затратам на их применение. Отечественным производителям многие из этих средств вообще не доступны из-за отсутствия необходимых средств на полномасштабную модернизацию производства.

На протяжении 15 лет научные коллективы кафедр «Технология машиностроения» ЗКАТУ им. Жангир хана и СГТУ им. Ю.А. Гагарина (г. Саратов РФ) в содружестве с ведущими специалистами ОАО «Саратовский подшипниковый завод» совместно с ТОО «Технопарк Алгоритм» (г. Уральск) осуществляют разработку безотходных технологий изготовления изделий машиностроительного производства и в частности подшипников качения. Получены результаты, которые можно оценить как технологический прорыв в области подшипникового производства. Высокие эксплуатационные свойства разрабатываемых конструкций изделий эффективно сочетаются с разработанными безотходными энергосберегающими технологиями. Разрабатываемые конструкции изделий отличаются высокой технологичностью, что обеспечивает их высокую конкурентоспособность на мировом рынке сбыта.

В настоящее время в автомобилях семейств 2108 «Самара», 2110, 2170 «Приора», 1118 «Калина» и многих автомобилях зарубежного производства в верхней опоре стойки передней подвески используется подшипник фирмы SKF FRANCE.

Подшипник очень дорогой, а главное не отвечает требуемым эксплуатационным свойствам.

Российские подшипниковые заводы не смогли создать эффективное производство аналогичного подшипника в ввиду их низкой конкурентной способности. Обычно на отечественных предприятиях заготовки колец упорных подшипников получают вырубкой из листа с последующей трудоемкой токарной обработкой и энергоемкой термической обработкой. Такая технология имеет ряд недостатков, основные из которых следующие:

- Очень много металла идет в отходы, коэффициент использования материала составляет 0,18, что приводит к высокой себестоимости изготовления изделий.
- Вырубка из листа требует изготовления специальных вырубных штампов и наличия мощного прессового оборудования, что также повышает себестоимость изделий.
- После операции вырубки необходима трудоемкая токарная обработка. Для повышения производительности токарной обработки необходимо использование дорогостоящих многошпиндельных автоматов, что требует повышенных энергозатрат.
- Стойкость лезвийного токарного инструмента весьма низкая, что ведет к частым перезаточкам и соответственно переналадкам оборудования, а это существенно снижает производительность обработки.
- После токарной обработки требуется упрочняющая термическая обработка деталей по очень сложной специальной технологии в очень дорогостоящих печах, что под силу только специализированным предприятиям.

Все перечисленные недостатки привели к необходимости поиска новых конструкций и технологий изготовления подшипников. Одной из таких конструкций и технологий является изготовление деталей подшипников из стандартной металлической ленты. Отечественными металлургическими заводами поставляется металлическая лента, предварительно обрезанная по краям, термически обработанная, осветленная. Поэтому производство деталей подшипников на предлагаемой автоматизированной линии отличается следующими особенностями:

- не требуется токарная обработка;
- не требуется последующая термическая обработка;
- обеспечивается высокий коэффициент использования материала - до 0,92 и выше;
- малые габариты оборудования;
- простота наладки и обслуживания;
- возможность производства подшипников на неспециализированных предприятиях, в том числе малых.

Кроме того, данная конструкция обеспечивает высокие эксплуатационные свойства подшипника, в том числе повышенную долговечность, так как детали подшипника имеют волокнистую структуру, а поэтому отличаются повышенной износостойкостью и высокой циклической прочностью. С целью поиска оптимальных геометрических параметров подшипника предложенной конструкции авторы выполнили расчеты размеров площадки контакта, контактных напряжений и статической грузоподъемности подшипника предложенной конструкции и зарубежного аналога в зависимости от размеров тел и дорожек качения.

Таким образом, предложенная конструкция упорного подшипника качения и технология его изготовления практически не имеет конкурентов и среди изделий ведущих западных фирм. Превосходство обеспечивается сразу по двум важнейшим

параметрам – по показателям качества изделий и по их цене. Это позволяет занять на рынке сбыта определенный сектор, вытеснив из него маститых конкурентов.

В 2010 году был разработан инновационный проект «Создание высокорентабельного наукоемкого автоматизированного производства подшипников качения нового поколения из волокнистых материалов на основе опережающей наукоемкой безотходной технологии». Данный проект был профинансирован в рамках выполнения государственных заданий по бюджетным программам 012 «Оплата услуг институтов национальной инновационной системы (Технопарков)» и 017 «Услуги по обеспечению стимулирования инновационной активности». Разработана техническая документация, изготовлены опытные образцы подшипников, проведены их стендовые и ходовые испытания.

Как известно из правительственных документов, ОАО «ВАЗ» подписал соответствующие договора на сборку начиная с 2016 года автомобилей ВАЗ моделей «Гранта» и «Калина» на площадке казахстанского сборочного предприятия АО «АЗИЯ - АВТО Казахстан», для обеспечения этим моделями автомобилей потребности Казахстана и региона Западной Сибири Российской Федерации с годовой программой выпуска первой очереди ( 2017 г.) – 90 тыс. шт, второй очереди (2018 г.) – 120 тыс. шт.

В связи с началом действия с 1 января 2015 года Евразийского Экономического Союза, правительством Республики Казахстан, перед предприятиями, работающими в режиме промышленной сборки, поставлена задача, достигнуть до середины 2018 года уровня локализации казахстанского содержания до 50%, однако в связи с экономическим кризисом сроки реализации проекта были несколько скорректированы.

Исходя из поставленной правительством Казахстана задачи нами ведется определенная работа по поиску вариантов повышения процента локализации по моделям автомобилей планируемых к выпуску на новом производстве.

**Выводы.** Разработанный упорный подшипник, является одной из основный частей модулей передней подвески автомобилей ВАЗ моделей «Гранта» и «Калина» и исходя из трудоемкости изготовления этих модулей мы пришли к выводу, что имеющийся на наших предприятиях парк технологического оборудования, приспособлений и инструмента, а также квалифицированный кадровый потенциал, позволяет выполнять объем работ по проектированию и изготовлению отдельных комплектующих модуля передней подвески и окончательной сборки этих модулей для автомобилей «Гранта» и «Калина» на базе одного из предприятий города Уральска, например ТОО «Уральский механический завод» или возможно открытие участка по производству передних стоек на площадках Индустриального парка (г. Астана) для автомобилей «Калина», «Приора» и многих других автомобилей с передним приводом, в том числе и автомобилей других стран с целью повышения процента локализации производства автомобилей в Казахстане.

В перспективе по разработанной технологии возможно наладить производство аналогичных подшипников и соответственно модулей передней подвески и для других автомобилей с передним приводом, как отечественного так и зарубежного производства.

**Список литературы: 1.** Тюрин А.Н.,Тюрин Н.А., Королев А.В., Королев А.А., Королев А.А.Станок для изготовления деталей Инновационный патент на изобретение № 25274 от 08.12.2011 г. 2. Тюрин А.Н., Королев А.В., Королев А.А. Актуальные вопросы формирования деталей типа колец холодной накаткой. Materiały VIII Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji «Aktualne problemy nowoczesnych nauk

- 2012» Volume 45. Techniczne nauki.: Przemyśl. Nauka i studia - 96 str. (С. 23-25). 3. Тюрин А.Н., Королев А.В., Королев А.А. Механизм распределения комбинированной внешней нагрузки между телами качения в шариковом подшипнике. Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2013. – №2. - С. 69-77. 4. Тюрин А.Н., Королев А.В., Королев А.А. Повышение качества разлома деталей типа колец с помощью ультразвуковой технологии. Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2013. - № 4. – С. 119 – 123.

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИФИЦИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ

**Федонин О.Н., Хандожко А.В., Польский Е.А, Щербаков А.Н., Захаров Л.А., Федуков А.Г.** (*ФГБОУ ВО «БГТУ», г. Брянск, Россия*
*Тел.: (4832) 58-82-89,E-mail: fedukov.lvdu@gmail.com* )

***Abstract:*** *The article deals with the design features of technological equipment using modular solutions. The analysis of the directions of improvement of design techniques is carried out.*
***Key words:*** *Equipment design, modular design, precision assurance..*

Производство технологического оборудования является важнейшей задачей промышленности государства, обеспечивая его экономическую безопасности, авторитет в мире. В свое время в стране были разработаны методики проектирования основных типов технологического оборудования, в том числе и металлообрабатывающего. Однако с 80-х годов 20 века интенсивность работ в нашей стране в данном направлении упала. Особенно это касается модульного проектирования технологического оборудования. Сегодня при разработке оборудования широко используют готовые модули.

Степень интеграции таких модулей различна. Это могут быть отдельные детали, сборочные единицы типа шариковинтовая передача (ШВП), рельсовые направляющие с кареткой, вполне законченные функциональные модули в виде мотор-шпинделей, комплектных модулей линейных и угловых перемещений.

Такой подход к проектированию и изготовлению отличается от традиционной практики. Это касается как проектных процедур, так и технологии изготовления. В тоже время большинство используемых методик для проектирования деталей и узлов станков были созданы для традиционных конструкторских решений. Для оборудования, изготавливаемого из большого числа готовых модулей, содержание проектных процедур все более смещается в область контактных задач, оценки жесткости, износостойкости. Для оценки точности сборных модулей из узлов, полученных по кооперации, необходимы новые более совершенные методики расчета размерных цепей.

Характерным примером модульных конструкций, для которых востребованы изменения методик расчета, являются приводы линейных перемещений с направляющими качения и ШВП. Имеющиеся методики для расчета точности, несущей способности ориентированы в большей мере на направляющие скольжения, практически не рассмотрены в них вопросы расчета узлов со сложными размерными цепями.

На рисунке 1 показано одно из типовых конструктивных решений для привода линейных перемещений станочного оборудования: на базовой плите (станине) устанавливаются линейные направляющие и подшипниковые опоры ШВП [2]. По направляющим движутся каретки 4, на которых установлены проставки. Стол монтируется одновременно на проставки и гайку ШВП. Важнейшей задачей является обеспечение нормального контакта стола с проставками и гайкой ШВП. Если это требование не выполняется, возникают деформации сопрягаемых деталей, которые ведут к снижению точности и жесткости привода подачи и станка в целом.

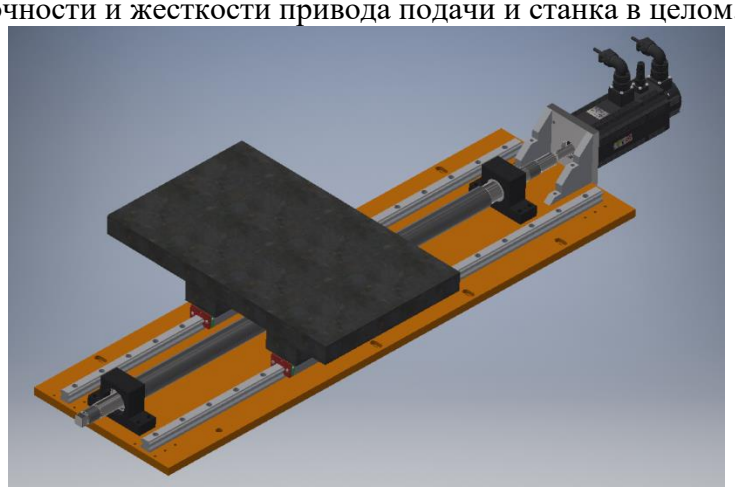


Рис. 1. Схема ШВП с унифицированными модулям*и*

Рассмотрим возникающие размерные цепи (рис. 2). Правильное контактирование возникает при постоянстве размера H для всех кареток и пары «подшипниковая опора – гайка ШВП». Этот размер равен: H=высота каретки с рельсом (L) + высота проставки (K). При точном расчете в размерную цепь также необходимо включать контактные деформации трех стыков – рельса с базовой плитой, проставки с кареткой и стола с проставкой. При этом размер L в свою очередь является замыкающим звеном цепи в которую входит высота рельса, высота каретки и размеры тел качения.

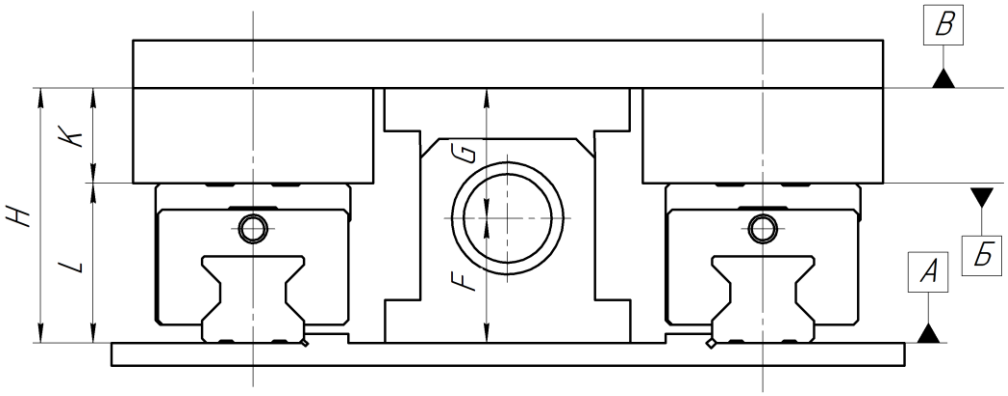



Рис. 2. Схема размерной цепи для расчета размеров

С другой стороны этот же размер формируются в цепи, включающей расстояние от оси основных отверстий корпуса подшипников до его базовой плоскости F и аналогичного размера G для гайки ШВП. В эту цепь также входят два плоских стыка: корпуса подшипниковой опоры и базовой плиты и гайки ШВП со столом. Фактически

данные цепи еще сложнее: в них могут участвовать макроотклонения базовой плиты, угловые отклонения монтажа рельсовых направляющих (в двух плоскостях), разновысотность кареток, непараллельность осей отверстий корпусов подшипников базовой плоскости. Размерная цепь без учета контактных деформаций для конструкции направляющей представлена на рисунке 3. Выбор замыкающего звена зависит от номенклатуры покупных деталей. На практике таким размером может быть либо расстояние от оси корпуса подшиника ШВП до базовой плоскости F, либо толщина проставки K. С точки зрения простоты технологического обеспечения размера целесообразно назначить замыкающим размером толщина проставки (обозначим ее ΔK).

Анализ величин допусков изделий, которые приобретаются (рельсы, каретки и т.п.) показал, что обеспечение точности этого размера методом полной взаимозаменяемости практически невозможно для изделий нормального класса точности и ограничено возможна для высокого класса точности и прецизионных серий. Последнее реализуется по фактическим размерам изделий, на которые при такой степени точности оформляется паспорт с фактическими размерами. Поэтому расчет фактического размера толщины проставки можно выполнять только для первого приближения.

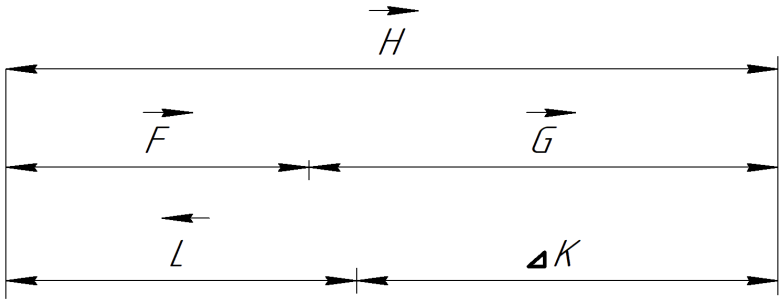



Рис. 3. Размерная цепь

При использовании покупных изделий обычного класса точности точность размерной цепи обеспечивают методом индивидуальной пригонки.

Помимо геометрических размеров, на точность влияет и контактная жесткость стыков. Контактная жесткость стыков определяет способность поверхностных слоев деталей, находящихся в контакте, сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать [3].

Величина контактных деформаций зависит от большого числа параметров качества поверхностного слоя сопрягаемых поверхностей. Достаточно точные зависимости для таких расчетов [4] требуют в качестве исходных данных практически все геометрические и физико-механические характеристики контактирующих поверхностей. Для технических инженерных расчетов чаще применяют эмпирические зависимости. Существуют различные формулы по расчету контактных деформаций. Например при малых площадях контакта (менее 100 – 150 см$^2$) и тщательной взаимной пригонке деталей, позволяющей пренебречь влиянием отклонений от плоскостности при повторных нагружениях, упругую составляющую находят по формуле [2, 3]:

$$\delta = C\sigma^m \qquad (1)$$

где: σ – среднее давление в стыке, кГ/см$^2$; показатель степени m=0,5; значение коэффициента С меняется от 1,5 при черновом шабрении до 0,07 при притирке 0,07 [2, 3].

Основы построения и расчета размерных цепей с учетом контактной жесткости сопрягаемых деталей рассмотрены в [5].

В последнее время некоторые ограниченные методические указания для проектирования приводят изготовители модулей. В частности, даются рекомендации для требуемой точности базовых поверхностей. В большинстве случаев в каталогах производителей значения таких отклонений указаны для фиксированной длины (обычно 500 мм). Обычно эти отклонения задают в табличной форме, не некоторые производители предлагают инженерные зависимости для расчета требуемой точности. В частности, допускаемую разновысотность рельсов фирма SBS предлагает определять по зависимости (рис 4).

$$S_1 = a \cdot Y \qquad (2)$$

где: $S_1$ – допустимая разновысотность, мм; a – расстояние между двумя рельсами; Y – табличная константа.

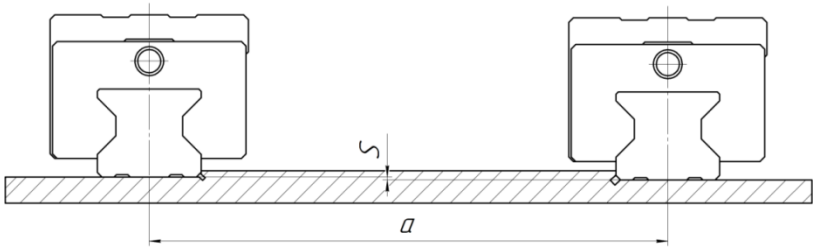



Рис.4. Схема обеспечения точности базовой поверхности

Также линейная зависимость предложена для оценки допустимой разновысотности рельсовых направляющих с кареткой (рис. 5) [6].

$$S_2 = b \text{ x } 0{,}00004 \qquad (4)$$

где: $S_2$ – допустимая точность в разности высоты установленных кареток, мм; b - расстояние между каретками на одной направляющей; x – табличная величина.

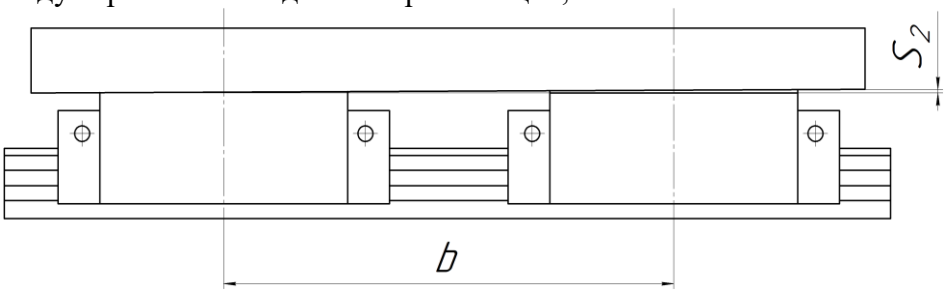



Рис. 5. Схема обеспечения точности базовой поверхности по высоте

Проведенный анализ позволяет сделать ряд выводов. Расширение использования в конструкциях технологического оборудования готовых унифицированных модулей требует коррекции методик проектирования. В частности, необходимо

усовершенствовать методики построения и расчета сложных пространственных цепей, в том числе с учетом контактных деформаций сопрягаемых стыков. В связи с этим возникает проблема совершенствования методик расчета стыков на контактную жесткость, а также накопление и систематизация справочной информации, необходимой для этих расчетов.

**Список литературы. 1.** Стародубов В.С. Модульный принцип построения металлорежущих станков с числовым программным управлением. / Журнал «Известия высших учебных заведений», 2013 г., №1 ,с 68-74. **2.** Польский Е.А., Никонов О.А., Митраков Н.С., Звягинцев Ф.Д. Технологическое обеспечение точности наукоемких сборочных узлов на этапах жизненного цикла/ Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. Вып. 8 ч.2. **3.** Коллектив авторов под ред. д-ра т.н. Д.Н. Решетова. «Детали и механизмы металлорежущих станков», т.1. М. «Машиностроение», 1972, стр. 664. **3.** Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А.Г. Суслов – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.: ил. **4.** МР 32-82. Цепи размерные: Расчёт допусков с учётом условий контакта сопряжённых деталей /И.А. Коганов, А.П. Никифоров, В.Л. Балашов, и др. М.: ВНИИНМАШ, 1982.-61с. **5.** Лурье А.М. Рельсовые направляющие качения. Характеристики продукции разных производителей. Рекомендации по применению/ Обзорное иследование подготовлено к выпуску при участии ОАО «ЭНИМС» и ЗАО «Сервотехника» 2006 г.

## К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ

**Федоров В. П., Нагоркин М. Н.** *(БГТУ, г. Брянск, Россия)*
*тел.:+7(960)555-61-25; E-mail: nagorkin@tu-bryansk.ru*

**Abstract:** *Based on the analysis of the probability distribution laws for estimating the technological values of the roughness parameters (normal, truncated normal, log-normal, Weibull), recommendations are given on their application and dependencies are obtained to calculate the densities and probability distribution functions.*
**Key words:** *quality parameters, laws and probability distribution functions, expected value, formal deviation, the coefficient of variation.*

Известно, что параметры шероховатости поверхности, определяющие эксплуатационные свойства деталей машин, представляют собой элементы конечного множества $N_K$:

$$N_K = \{Ra, Rz, Rp, Sm, tp, \rho_m, Wa, Wmax, Smw, Hmax, H_{\mu 0}, U_н, h_н, \sigma_o, h_{\sigma 0}\}. \quad (1)$$

В технической документации задаётся либо какой-то один параметр (например, *Ra*), либо несколько (например, *Ra, Sm, tp*). Конструкторские значения параметров далее обозначаются $R_{iк}$. В этих случаях регламентируемые параметры принадлежат множеству $N_K$ (1), т. е. $Ra \in N_K$ и $(x_1 = Ra, x_2 = Sm, x_3 = tp) \in N_K$. Фактические значения параметров шероховатости, полученные после той или иной обработки функциональной поверхности детали, являются технологическими параметрами качества $R_{iT}$ и случайными величинами с соответствующими законами распределения и статистическими характеристиками: $\mu(R_{iT})$ – математическое ожидание, $S(R_{iT})$ – среднее квадратическое (нормальное) отклонение (СКО), $v$ – коэффициент вариации, которые

определяются по известным формулам математической статистики [1 – 4].

В соответствии с ГОСТ 25142-82 (п. 2.10) среднее значение параметра шероховатости поверхности $\overline{p}$ оценивается зависимостью (2)

$$\overline{p} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} p_j \,, \tag{2}$$

где $k$ – число единичных длин оценки; $p_j$ – значение параметра, определённое на одной базовой длине; $n_i$ – число базовых длин на единичной длине оценки.

Таким образом, измерения шероховатости следует проводить на различных участках $m$ поверхности ($m \in (1, 2, \ldots, k)$), причём каждое измерение должно включать $n$ базовых длин (обычно $k = 3\ldots5$, $n = 5$). В этом случае математическое ожидание параметра $\mu(R_{iT})$ определяется зависимостью (3):

$$\mu(R_{iT}) = \frac{1}{k}\sum_{m=1}^{k}\left(\frac{1}{n}(R_{iT})_j\right)_m . \tag{3}$$

Закон распределения параметров шероховатости в большинстве случаев принимается нормальным. Это обосновывается влиянием на формирование параметров шероховатости в процессе обработки большого числа различных случайных факторов, (неоднородность материала обрабатываемой заготовки; динамические характеристики технологической системы; техническое состояние оборудования в момент обработки, отклонения фактических эксплуатационных параметров технологической оснастки от заданных; параметры качества предварительно обработанной поверхности, случайность которых передаётся через механизм технологического наследования и др.).

Для технологических параметров шероховатости обрабатываемых поверхностей деталей их нормальное распределение задаётся плотностью распределения $f(R_{iT})$ (4) или интегральной функцией распределения (5):

$$f(R_{iT}) = \frac{1}{S\{R_{iT}\}\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{\left(R_{iT}-\mu\{R_{iT}\}\right)^2}{2S^2\{R_{iT}\}}\right], \tag{4}$$

$$F(R_{iT}) = \frac{1}{S\{R_{iT}\}\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{R_{iT}}\exp\left[-\frac{\left(R_{iT}-\mu\{R_{iT}\}\right)^2}{2S^2\{R_{iT}\}}\right]dx \,, \tag{5}$$

где теоретически $-\infty < R_{iT} < \infty$.

Для описания распределения параметров шероховатости, отрицательные значения которых не имеют физического смысла, целесообразно использовать усечённый закон нормального распределения, который получается ограничением интервала изменения случайной величины обеспечиваемого параметра $R_{iT}$ только положительными значениями. Его целесообразно использовать при больших значениях коэффициента вариации $v$.

Функция плотности вероятности усечённого нормального распределения для технологических значений параметров шероховатости поверхности имеет вид:

$$f(R_{iT}) = \frac{c}{S\{R_{iT}\}\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{\left(R_{iT}-\mu\{R_{iT}\}\right)^2}{2S^2\{R_{iT}\}}\right], \tag{6}$$

где $c$ – коэффициент для распределения, ограниченного пределами изменения $R_{iT}$ от $a$ до $b$, определяется из условия

$$\int_a^b f(R_{iT})d(R_{iT}) = c\left[F(b) - F(a)\right] = 1, \tag{7}$$

откуда

$$c = \frac{1}{F(b) - F(a)} = \frac{1}{\Phi\left(\dfrac{b - \mu\{R_{iT}\}}{S\{R_{iT}\}}\right) - \Phi\left(\dfrac{a - \mu\{R_{iT}\}}{S\{R_{iT}\}}\right)}, \tag{8}$$

где $F(a)$ и $F(b)$ – значения интегральных функций нормального распределения для предельных значений $R_{iT}$.

В рассматриваемом случае усечённое нормальное распределение используется как и в большинстве случаев с предельными значениями $a = 0$ и $b = \infty$, что аргументировано в теории надёжности невозможностью отказов при отрицательных значениях времени, а для технологического обеспечения параметров шероховатости – невозможностью физической реализации их отрицательных значений.

В случае, когда $a = 0$ и $b = \infty$, зависимость (8) приводится к виду (9):

$$c = \frac{1}{\Phi(\infty) - \Phi\left(-\dfrac{\mu\{R_{iT}\}}{S\{R_{iT}\}}\right)} = \frac{1}{0{,}5 - \Phi\left(\dfrac{\mu\{R_{iT}\}}{S\{R_{iT}\}}\right)}. \tag{9}$$

Для определения коэффициента $c$ можно использовать таблицы функции Лапласа или квантилей нормального распределения. Так, при $0 \le R_{iT} \le \infty$ имеются следующие характеристики усечённого нормального распределения:

$$\bar{\mu}\{R_{iT}\} = \mu\{R_{iT}\} + kS\{R_{iT}\}, \tag{10}$$

$$\bar{D}\{R_{iT}\} = \bar{S}^2 = S^2\left(1 - k^2 - k\frac{\mu\{R_{iT}\}}{S\{R_{iT}\}}\right), \tag{11}$$

где $\bar{\mu}\{R_{iT}\}$, $\bar{D}\{R_{iT}\}$, $\bar{S}\{R_{iT}\}$ – математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение для усечённого нормального распределения;
$\mu\{R_{iT}\}$, $D\{R_{iT}\}$ и $S\{R_{iT}\}$ – те же параметры для нормального распределения.

Величина $k$ определяется выражением

$$k = \frac{c}{\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{\mu^2\{R_{iT}\}}{2S^2\{R_{iT}\}}\right]. \tag{12}$$

На практике обычно имеют место случаи, когда $\mu\{R_{iT}\} > 2S\{R_{iT}\}$. Тогда коэффициент $c \approx 1$, в связи с чем необходимость учёта отсечения нормального распределения отпадает. Интегральная функция для усеченного нормального распределения технологических параметров шероховатости $R_{iT}$ имеет вид:

$$F\{R_{iT}\} = c\left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{R_{iT} - \mu\{R_{iT}\}}{S\{R_{iT}\}}\right)\right]. \qquad (13)$$

Исключение появления отрицательных значений параметров возможно при использовании других законов распределения, в частности, логарифмически нормального распределения и распределения Вейбулла.

В случае логарифмически нормального распределения логарифм случайной величины распределяется по нормальному закону (рис.1). Закон логарифмически нормального распределения успешно применяется при описании наработки на отказ сложных технических и технологических систем в машиностроении, а также при построении имитационных моделей Кобба-Дугласа. Плотность распределения имеет вид (14), а функция распределения – (15):

$$f(\ln R_{iT}) = \frac{1}{S'\{\ln R_{iT}\}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln R_{iT} - \mu')^2}{2S'^2\{\ln R_{iT}\}}\right], \qquad (14)$$

$$F(\ln R_{iT}) = \frac{1}{S\{\ln R_{iT}\}\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu')^2}{2S'^2\{\ln R_{iT}\}}\right] dx,\ x > 0. \qquad (15)$$

Здесь введено обозначение $x = \ln R_{iT}$.

При логарифмически нормальном распределении вероятностные характеристики $R_{iT}$ определяются по зависимостям (16 – 18):

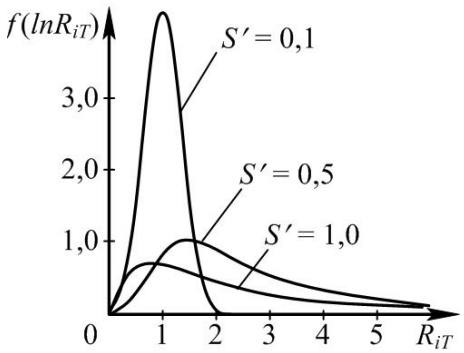



Рис. 1. Плотности распределения вероятностей для логарифмически

$$M(x) = \exp\left(\mu + \frac{(S')^2}{2}\right), \qquad (16)$$

$$D(x) = \exp(2\mu' + (S')^2\,[\exp(S')^2 - 1], \qquad (17)$$

$$v = \sqrt{\exp(S')^2 - 1}\,. \qquad (18)$$

Величины $\mu'$ и $S'$ оценивают по результатам измерений параметров шероховатости $R_{iT}$:

$$\mu' = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \ln R_{ijT}\,, \qquad (19)$$

$$S' = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(\ln R_{ijT} - \mu')^2}\,. \qquad (20)$$

В ряде случаев может оказаться целесообразным использование распределения Вейбулла (рис. 2), плотность и интегральная функция распределения которого могут задаваться в виде (21 – 22):

$$f(x) = \frac{b}{a}\left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^{b}\right],\ x \ge 0,$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right],\ x \geq 0,$$

где: $a > 0$, $b > 0$ – параметры масштаба и формы.

Под величиной $x$ подразумевается исследуемый или обеспечиваемый параметр шероховатости $R_{iT}$.

Основные характеристики распределения Вейбулла:

$$M(x) = aK; \quad D(x) = a^2(c - K^2); \quad v = \sqrt{\frac{c}{K^2} - 1},$$

$$\text{где } K = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right);\ c^2 = \Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - K^2;$$

$$\Gamma = (z) = \int_0^\infty U^{z-1} \exp(-U) dU \text{ – гамма функция.}$$

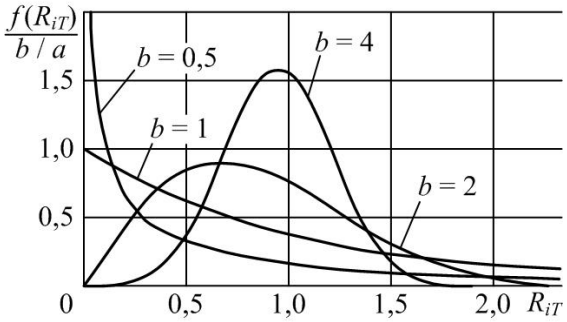



Рис. 2. Кривые распределения Вейбулла при различных значениях параметра формы $b$ ($a = 1$)

Особенностью распределения Вейбулла является то, что с изменением параметра формы $b$ изменяется и вид графика функции плотности распределения. Это позволяет соответствующим подбором параметров обеспечить хорошее совпадение опытных данных с аналитическим выражением. Кроме того, распределение Вейбулла включает в себя как частные случаи экспоненциальное распределение ($b = 1$) и распределение Рэлея ($b = 2$), при $b = 5$ близко к нормальному.

**Список литературы:** **1.** Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко и др.; под общ. ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 447 с. **2.** Нагоркин, М.Н. Параметрическая надёжность технологических систем чистовой и отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин инструментами из сверхтвёрдых синтетических материалов: монография / М.Н. Нагоркин; под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2017. – 304 с. **3.** Фёдоров, В. П. Принципы и средства технологического обеспечения заданных законов распределения параметров качества по обрабатываемой поверхности детали / В. П. Фёдоров, М. Н. Нагоркин // Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки. Коллективная монография / под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2014. – С. 172 - 220. **4.** Fyodorov, V.P. Determination of parametric reliability of machining technological systems by simulation technique. / Fyodorov V.P., Nagorkin M.N., Totai A.V. / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 124 (2016) 012053.

# К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

**Филиппов Д.Л.** *(МГТУ им. Н.Э.Баумана, г.Москва, Россия)*
Тел. +7 903 538 5001, e-mail: filippov@frtk.ru

***Abstract.*** *The article considers the issues of assessing the safety of technical structures by assessing man-made risks, which are the components of possible man-made threats, vulnerabilities and possible damage. The list of premeditated and accidental technogenic threats is given, it is shown that the threat can be realized only through the vulnerabilities activated or created by the subject of threats.*

Федеральный закон «О Техническом регулировании» [1] даёт следующее определение безопасности в техносфере: «Безопасность продукции и связанных с ней процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (далее - безопасность) - состояние, при котором отсутствует недопустимый **риск**, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений».

В свою очередь «риск» - одно из наиболее сложных многогранных и противоречивых понятий в теории безопасности. Согласно статье 2 того же федерального закона **риск** – это вероятность причинения вреда с учётом его тяжести. Стандартизованное определение риска нанесения ущерба «Комплексный показатель, характеризующий вероятность возникновения ущерба за нормированный период времени и его величину» [2]. Следовательно, для оценки безопасности необходимо оценить риск.

**Параметры риска. Ущерб. Угроза. Уязвимость.**

Поскольку рассчитать вероятность наступления событий, влекущих за собой ущерб заранее с приемлемой точностью практически невозможно из-за стохастической природы угроз, применяют методы экспертной оценки, основанные на анализе имеющегося опыта. Метод экспертного оценивания относится к инструментарию количественной оценки качества альтернатив в условиях слабоформализуемой проблемной ситуации. Такие методы называют анализ угроз и анализ уязвимостей. Как в России, так и за рубежом существует целый ряд методических разработок проектирования систем защиты, причём входные данные для проектирования получают в результате исследования объекта безопасности и анализа угроз. [3].

На основе приведённых определений, можно принять ожидаемый риск равным произведению вероятности события на вероятный ущерб, что иллюстрируется рис. 1.

$$R = P_a \cdot C, \tag{1}$$

где R – риск, $P_a$ – вероятность реализации угрозы, C – величина ущерба.

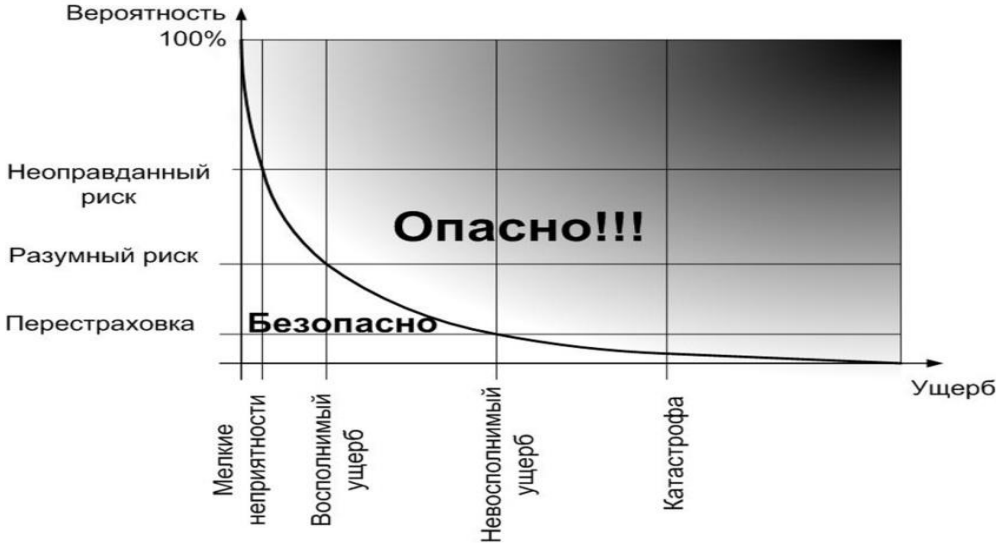



Рис. 1 Составляющие риска

Приняв, что вероятность ущерба есть произведение вероятности наличия угрозы и вероятности использования угрозой уязвимости:

$$P_a = T \cdot V \tag{2}$$

где $T$ – вероятность существования угрозы, $V$ – вероятность использования угрозой уязвимости и сделав подстановку в (1) получим **основную формулу** оценки риска:

$$\boldsymbol{R = T \cdot V \cdot C} \tag{3}$$

**УЩЕРБ.** Каждый значимый объект проходит процедуру категорирования, которое учитывает, во-первых, государственную, общественно-социальную коммерческую или личностную значимость объекта, то есть ценность актива, во-вторых, вероятность возникновения последовательных потерь, вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на объекте и её масштабы, возможно выходящие за пределы объекта, в-третьих, собственно ущерб, т.е. материальные потери с учётом весового коэффициента, учитывающего возможность и время их восстановления.

В 2004 году ФГУ ВНИИ ГОКС была разработана «Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и террористического характера, а также классификация учёта чрезвычайных ситуаций» [4, 5].

Ущерб может быть **материальным**, если он заключается в полной или частичной утрате таких активов как, например:

- Здания, сооружения, технологическое оборудование.
- Ценность какого-либо предмета или вещества в материальном выражении.
- Ресурсы. Производственные, топливные и энергоресурсы. Время.
- Основополагающие ценности человеческого общества. Жизнь человека. Здоровье. Способность к самосохранению и самосовершенствованию.

**Виртуальный ущерб** предполагает потерю неосязаемых активов как, например:

- Ноу-хау.
- Имидж. Репутация. Потери доверия населения.

Необходимо заметить, что виртуальные потери обязательно влекут за собой ряд материальных потерь. Очевидно, что приведённый список активов, полная или частичная утрата которых будет расценена как ущерб, не является ни окончательным, ни исчерпывающим. Ущерб может быть оценен как незначительный, заметный, серьёзный, разрушительный.

**УГРОЗА** - совокупность условий и факторов, создающих опасность жизненно важным интересам объекта безопасности, препятствующих достижению поставленных целей, способных сорвать миссию предприятия, реальная возможность нанесения ущерба объекту безопасности. Угроза – наиболее конкретная и непосредственная форма опасности, результат имеющихся и формирующихся в самом обществе противоречий. Угроза – результат взаимоотношений между субъектом и объектом и **всегда** имеет человеческое происхождение.

**Угроза** включает в себя три компонента – **намерение** (intention), **возможность** (opportunity) нанесения ущерба объекту безопасности и **нацеливание** (targeting).

Намерение генерируется источником угрозы в соответствии с его идеологией, например, террористической идеологией, или порочной технической идеологией, проявляющейся в ложной экономии ресурсов и времени в проектировании, создании и эксплуатации объектов, в найме персонала низкой квалификации и др. Очевидно, что в этом плане угрозу нельзя рассматривать отдельно от структуры её порождающей.

Возможность реализации угрозы определяется с одной стороны ресурсами угрозы (в случае террористической угрозы ресурсами террористической организации), или полномочиями доступа к техническим процессам: проектированию, производству и эксплуатации, а с другой стороны способностью угрозы использовать уязвимости, которые являются свойством объекта, безопасность которого рассматривается.

Поскольку не бывает безопасности «вообще», угроза всегда носит конкретно-адресный характер - нацеливание (targeting), что предполагает наличие явных субъекта угрозы и объекта, на который направлено ее действие, непосредственная возможность нанесения ущерба.

Виды техногенных угроз показаны на рис. 2.

Угроза террористическая – инструмент, технология геополитики. Она несёт в себе все признаки **проекта** – планирование, привлечение ресурсов, финансирование, подготовку и набор кадров, информационное и технологическое обеспечение и даже научные разработки. Формы её проявления разнообразны, но очевидно, что намеренно вызванная природная или техногенная угроза – это тоже терроризм. Наиболее опасен технологический терроризм, заключающийся в применении или угрозе применения ядерного, химического и бактериологического оружия, радиоактивных и высокотоксичных химических, биологических веществ, крупномасштабных аварий, катастроф или пожаров, а также угрозе захвата ядерных и иных промышленных объектов, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей.

Угрозы в виде предумышленных нарушений техрегламента с неполным осознанием вероятности и величины возможного ущерба возникают вследствие авторитарного отношения к технической проблеме, игнорирования требований нормативных документов и переоценки собственного уровня квалификации.

Рис. 2 Техногенные угрозы

Непредумышленные угрозы в основном возникают от недостатка информации и неумения персонала воспринять и оценить техническую информацию. Угроза может быть оценена по условной шкале как: мнимая, потенциальная, достоверная и определённая.

Сама по себе угроза причинить ущерб не способна. Она реализуется субъектом угрозы, в общей теории безопасности называемым нарушителем. **Субъект угрозы** – нарушитель – лицо или группа лиц, реализующее или пытающееся реализовать угрозу, а также лицо, оказывающее ему в этом содействие (пособник), для чего используется уязвимость объекта. Взаимодействие нарушителя с активом через уязвимость определяет способы реализации угроз, которые могут быть тайными, явными, непредумышленными и т.п.

Для реализации угроз не обязательно, чтобы эти условия выполнял один и тот же субъект. Если один создаёт возможность, а другой реализует намерение, то первый будет называться пособником. Пособник при террористических угрозах помогает преодолевать физические барьеры, пособник, если он имеет санкционированный

доступ на объект, отключает блокировку. Пособник доставляет взрывчатку и смертника к месту совершения теракта.

Роль пособника в реализации техногенных угроз бывает решающей, в то же время, он зачастую остаётся в стороне и не всегда выявляется при оперативно-следственных действиях, тем самым сохраняя потенциал для следующей попытки реализации угроз. Кто является субъектом техногенных угроз? Субъект (пособник) техногенной угрозы создаёт уязвимости там, где их быть не должно: при проектировании, при эксплуатации, при техническом обслуживании,

**УЯЗВИМОСТЬ.** Совершенно равноправно существуют два различных толкования понятия «уязвимость» и, похоже, никого это не смущает. Первое определение – «Уязвимость - свойство системы защиты, характеризуемое наличием в системе защиты уязвимых мест». Такой подход подтверждается в определении Сандийских лабораторий традиционным, «классическим» уравнением риска [6]:

$$R = P_A \cdot (1 - P_E) \cdot C \qquad (4)$$

где $P_A$ - вероятность инцидента,
$P_E$ - эффективность системы безопасности,
$C$ – ущерб от атаки.

Под уязвимостью в таком случае понимают интегральную характеристику, предполагаемую степень несоответствия принятых мер защиты (объекта) прогнозируемым угрозам или заданным требованиям безопасности, то есть не полную эффективность. Уязвимость здесь рассматривается как внутреннее свойство объекта, в целом, создающие восприимчивость к воздействию источника угрозы, которое может привести к ущербу.

Определения уязвимости как дифференциального показателя учитывают критические элементы объекта как отдельно, так и вкупе с элементами системы защиты, которые предназначены для противодействия конкретным угрозам против этих критических элементов: «Уязвимость элемента инфраструктуры является функцией его внутренней конструкции и системы безопасности и изменяется с течением времени. Внутренняя конструкция элемента инфраструктуры определяет сильные и слабые стороны, связанные с конкретной атакой, и эти сильные и слабые стороны могут быть оценены на основе анализа элемента и его параметров конструкции» [7].

Основополагающим условием анализа уязвимостей является то, что уязвимости должны рассматриваться во взаимосвязи с моделями нарушителя и актуализироваться по данным перечня угроз (ориентированных на конкретный ущерб) и по оперативным данным. Уязвимость и субъект угрозы (нарушитель) связаны функционально: каждая уязвимость актуальна только для определённого нарушителя, обладающего возможностью её поиска, активации и/или создания и последующего использования.

Следует особо отметить, что реализация техногенных угроз чаше всего становится возможной из-за уязвимостей, которые могут быть обусловлены:

- низким качеством (надежностью) технических или программно-технических средств;
- отсутствием технадзора; неправильным планированием эксплуатации и технического обслуживания и превышением сроков эксплуатации;
- несоответствующим качеством конструктивных и расходных материалов;

- отсутствием или низкой эффективностью систем резервирования или дублирования технических средств;
- низким качеством (надежностью) инженерных систем (кондиционирования, электроснабжения, охранных систем и т.д.);
- низким качеством обслуживания со стороны обслуживающих организаций.

Действия субъектов угрозы могут использовать, раскрыть или создать неожиданные уязвимости в инфраструктуре и системах охраны, которые глубоко зарыты и становятся видны только в экстремальных условиях или при необычных совпадениях. Примерами могут служить намеренное ослабление узлов конструкций, установка в информационное обеспечение объекта вредительских программ, которые в определённый момент могут блокировать жизненные функции управления. Все эти действия источник угрозы совершает за счёт своих ресурсов.

**Пример расчёта комплексного показателя уязвимости объекта.**

Входные данные для анализа угроз в реальной ситуации получают из следующих источников:

- Идентификация активов. Основными активами любой организации являются люди, бизнес-процессы и материальные ценности. Они устанавливаются из описания объекта.
- Угрозы и модели нарушителя получают с использованием данных о событиях с аналогичными объектами, приводимыми в руководящих материалах. Оперативная модель нарушителя террористической угрозы устанавливается по информации от силовых ведомств о напряжённости террористической обстановки в данном месте в денное время. Вероятность угроз T ранжируется по условной шкале от 0 до 1 балла (минимальная, потенциальная, достоверная, неминуемая).
- Уязвимости устанавливаются из технической и технологической документации объекта, из анализа ранее произошедших инцидентов, из индивидуальных интервью, как с руководством объекта, ответственным за техногенную безопасность так и с материально ответственными сотрудниками. Вероятность V использования уязвимостей нарушителем ранжируется по условной шкале от 0 до 1 балла (низкая, средняя, высокая, очень высокая).
- Ущерб может быть определён по аналогичным известным событиям на сходных объектах. Различия масштаба ущерба от реализации разных угроз весьма значительны, поэтому ущерб C ранжируется по условным критериям в баллах от 1 до 100: незначительный, заметный, серьёзный, разрушительный, катастрофический.

Величина риска по каждой выявленной угрозе оценивается по формуле:

$$R_i = T_i \cdot V_i \cdot C_i \qquad (5)$$

где $R_i$ – расчётный ущерб от реализации i-й угрозы, $T_i$ – вероятность реализации угрозы, $V_i$ – вероятность использования уязвимости, $C_i$ – бальная оценка ущерба.

Таблица 1.- Пример расчёта комплексного показателя уязвимости объекта.

| № | Угроза | Вероятность угрозы | Вероятность использования уязвимости | Балльная оценка ущерба | Риск |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Пожар, вследствие удара молнии | 0,001 | 0,02 | 80 | 0,0016 |
| 2 | Короткое замыкание | 0,001 | 0,2 | 9 | 0,0018 |
| 3 | Несанкционированная модификация техпроцесса | 0,1 | 0,03 | 12 | 0,036 |
| 4 | Приведение в действие устройства, имеющего технические несоответствия | 0,01 | 0,05 | 20 | 0,01 |
| 5 | Эксплуатация тех. устройства вне допустимых параметров | 0,02 | 0,02 | 5 | 0,002 |
| 6 | Нарушение сроков техобслуживания | 0,15 | 0,003 | 8 | 0,0036 |
| 7 | Теракт | 0,0001 | 0,25 | 90 | 0,00225 |
| | | | | Сумма значений риска | 0,05725 |

Сумма вычисленных значений риска по всем выявленным угрозам даёт значение комплексного показателя уязвимости объекта. По её величине можно судить о техногенной безопасности.

**Выводы**

Специфика техногенного риска заключается в том, что большинство угроз (за исключением терроризма, вредительства и вандализма, где практически нет отличий от физических угроз) реализуется через уязвимости технических объектов, чаше всего неизвестные или недостаточно точно оцененные. При этом подобные уязвимости создаются в иные промежутки времени, иногда намного раньше, чем происходит инцидент, и создаются субъектами, которые могут не иметь уже отношения к инцидентам. Поэтому оценка техногенных рисков должна производиться на всех этапах жизненного цикла технического объекта, начиная с первых шагов проектирования и до вывода из эксплуатации и утилизации. Учитывая возможные масштабы ущерба техногенных угроз, трудно переоценить важность такой оценки.

**Список литературы: 1.** ФЗ «О Техническом регулировании» 2018 года (N 184-ФЗ (редакция 2018г.). **2.** ГОСТ Р 52551-2006 Системы охраны и безопасности. Термины и определения. **3.** РБ 009-99 - «Методология оценки уязвимости физической защиты ядерных материалов и ядерных установок». **4.** ГОСТ Р 22.10.01-2001: Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Оценка ущерба. Термины и определения **5.** Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004г. **5.** D. W. Whitehead, C. S. Potter, S. L. O'Connor, Nuclear Power Plant Security. Assessment Technical Manual, SANDIA REPORT, SAND2007-5591, 2007.**6.** M. L. Garcia, Vulnerability Assessment of Physical Protection Systems, Boston, Butterworth-Heinemann, 2006.

# СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛОПАТОК ТУРБИНЫ АВИАЦИОННГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ.

**Хавлин Т.В., Михайлов А. Н., Михайлов Д. А., Михайлов В. А.**
(*ДАВД МВД ДНР, г. Донецк, ДНР; ДонНТУ, г. Донецк, ДНР*)
*Тел.: +38 (071)3212394; E-mail: strana.sovetov.80@mail.ru*

***Abstract:*** *The purpose of this work is to create a process of increasing the life of the turbine blades of aircraft engines and study its structural and technological support. In this connection, a number of issues are solved: the feature of the destruction of coatings is studied and a variant of the structural scheme of the stages of the technological process is created.*
***Key words:*** *destruction of coatings, turbine blade, structural and technological support.*

**Введение.** Анализируя особенности разрушения лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей (далее – ЛТ ГТД) можно сделать вывод о наличии сложной структуры (неоднородного пространственно-временного распределения) нагрузок относительно поверхности пера лопатки [1]. Такая ситуация в целом определяет цель данной работы заключающейся в создании процесса повышения ресурса ЛТ ГТД и изучения его структурно-технологического обеспечения. В связи, с чем решается ряд вопросов: изучается особенность разрушения покрытий и создаётся вариант структурной схемы стадий технологического процесса.

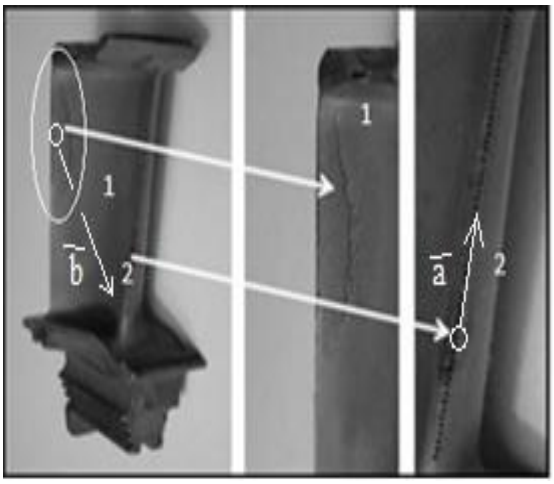



Рис. 1 Неоднородность повреждения лопаток ГТД ТРДДФ EJ200 в виде разрушения покрытия в зоне входной, выходной кромки и корытца пера [2]

**Основное содержание и результаты работы.**

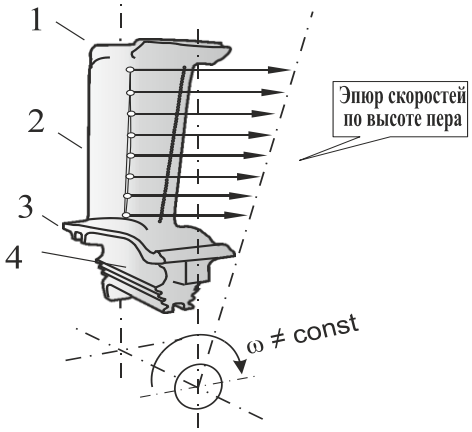



Рис. 2 Эпюр скоростей некоторых точек, расположенных по высоте пера ЛТ ГТД

Рассмотрим как пример, происходящее разрушение пера лопатки (рис. 1), где $\bar{b}$ – вектор направления распространения разрушения выходной кромки, $\bar{a}$ – вектор направления распространения разрушения входной кромки. Цифрой 1, например, на данном рисунке указано разрушение, обусловленное ориентированной сепарацией механических частиц рабочего тела имеющего большую температуру. Скоростные характеристики относительного движения этих частиц по высоте пера лопатки можно представить в виде эпюры скоростей представленной на рис. 2., где цифрами обозначены следующие позиции: 1 – бандажная

полка; 2 – перо; 3 – полка пера; 4 – замок (ёлочного типа). Также не следует пренебрегать такими функциональными особенностями как геометрия проточной части ЛТ ГТД и не постоянная скорость вращения – ω, ЛТ ГТД, зависящая от режимов полёта. Далее, цифра 2 (рис. 1) указывает на большое наличие концентраторов напряжений в срединной части входной кромки, где кроме механического воздействия существенная нагрузка создаётся температурой газов (температура на входе в турбину двигателей IV – VI поколений ≈ 1300 – 1900 $^{o}$C соответственно). При этом размеры и положение зон повреждений могут быть дезориентированы относительно оси канала рабочего тракта, например, в зависимости от принадлежности к каскаду (турбина высокого давления, низкого, свободная и т.д.). Так как область концентрации частиц в потоке в результате вращения откланяется от продольной оси и при увеличении скорости вращения ротора область сжимается в пучок, а при снижении расширяется. Продолжая, рассматривая один из множества примеров разрушения (рис. 1) можно определить, что область разрушения имеет ориентированную эллиптическую форму. В верхней части корыта она сужается, достигая бандажной полки, которая в свою очередь также определяет наличие напряжений (растяжения). Дополнительно следует учитывать тот факт, что разрушения входной и выходной кромки с частью корыта, целесообразно рассматривать как два зональнонезависимых, так как разрушение выходной кромки происходит по направлению от верхней её части, близкой к бандажной полке, к нижней части входной кромки (диагонально, $\overline{b}$ , рис 1.) , а критическая зона разрушения входной кромки находится ниже своей срединной части и распространяется в основном в верхнюю часть (вертикально, $\overline{a}$, рис. 1). Данная ситуация опять требует обратить внимание на процесс сепарации частиц, который схематически можно представить так как показано на рис. 3 а, б, где: 1 – входная кромка; 2 – выходная кромка; $\Delta_I$ – изменение размерности области разрушения входной кромки; $\Delta_o$ – изменение размерности области разрушения выходной кромки; $V_o^1$ – продольная скорость частиц при движении вдоль оси ротора; $V_o^2$ – поперечная скорость частиц при движении вдоль оси ротора; $V_p$ $^1$– скорость частиц при движении вдоль оси ротора с радиальным отклонением; $V_p^2$ – поперечная скорость частиц при движении вдоль оси ротора с радиальным отклонением; ω – скорость вращения ротора; $\alpha$ – угол отклонения частиц от осевого направлении; $\beta \neq \gamma$ – углы радиального отклонение частиц. Скорости движения частиц радиального ($V_ц$) и осевого движения ($V_{отн}$) можно определить в виде математического отображения в формулах 1 и 2 соответственно.

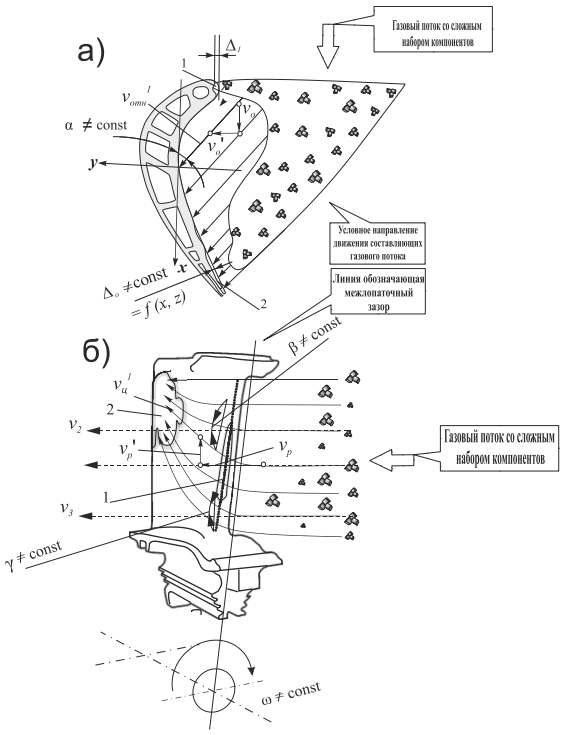



Рис. 3. Схема возможного движения механических частиц газового потока в турбине

$$V_{отн} = \{V_{отн}^1, V_{отн}^2, V_{отн}^3, \dots, V_{отн}^n\} \qquad (1)$$

где, $V_{отн}$ – относительная скорость движения частиц вдоль оси ротора,

$V_{отн}^{1}, V_{отн}^{2}, V_{отн}^{3}, \dots, V_{отн}^{n}$ – относительная скорость движения каждой отдельной частицы в осевом направлении.

$$V_{ц} = \{V_{ц}^{1}, V_{ц}^{2}, V_{ц}^{3}, \dots, V_{ц}^{n}\} \quad (2)$$

где, $V_{ц}$ – относительная скорость движения частиц вдоль оси ротора в радиальном направлении, $V_{ц}^{1}, V_{ц}^{2}, V_{ц}^{3}, \dots, V_{ц}^{n}$ – относительная скорость движения каждой отдельной частицы в радиальном направлении.

Общая скорость потока может быть отображена в виде формулы 3.

$$V_{\Sigma} = \sum V_{отн} + \sum V_{ц} \quad (3)$$

где, $V_{\Sigma}$ – сумарная относительная скорость движения частиц вдоль оси ротора, $\sum V_{отн}, \sum V_{ц}$ – суммы относительных скоростей осевого и радиального направления движения частиц.

Определив, что разрушение происходит неоднородно и существуют зоны детали, где концентраторы напряжения как многочисленны, так и разнообразны, применяя функционально-ориентированный подход [3], возможно, создать технологический процесс, который способен будет ориентировать ресурс деталей на условия эксплуатации.

Большинство применяемых технологических методов, безусловно, обеспечивают повышение ресурса ЛТ ГТД, но в большинстве случаев это выполняется для детали в целом, т.е. для всех рабочих (свободных) поверхностей и их элементов без учёта особенностей условий эксплуатации, что собственно и является причиной неоднородности разрушений.

Среди таких методов повышения качественных показателей, можно, в общем, перечислить механические методы обработки; термические методы обработки; химические методы обработки; гальванические методы обработки; лучевые методы обработки; акустические методы обработки; комбинированные методы обработки и др. [4, 5, 6, 7].

В данной работе за основу процесса повышении ресурса ЛТ ГТД мы предлагаем принять метод использования технологии детонационного напыления защитных покрытий на базе функционально-ориентированного подхода. Данная технология позволит предать новые специальные свойства лопаткам, за счёт прецизионного воздействия на рабочие поверхности, что обеспечит разноуровневую равноэффективную защиту с целью придания изделию возможности увеличить цикл восстановлений, обеспечить ориентацию свойств рабочих поверхностей на действующие эксплуатационные функции. Унифицированную схему стадий такого технологического процесса можно представить в виде (рис 4), где: *I* – информационные сигналы управления ориентирующие на свойства условий эксплуатации, потребности общества, обзор разрушений и действующих эксплуатационных функций и т.д.; *V* – входной поток изделий; *W* – выходной поток готовых изделий; ТП – традиционное покрытие; ФОП – функционально-ориентированные покрытия; 1,2,3,…,*n* – количество напыляемых слоёв.

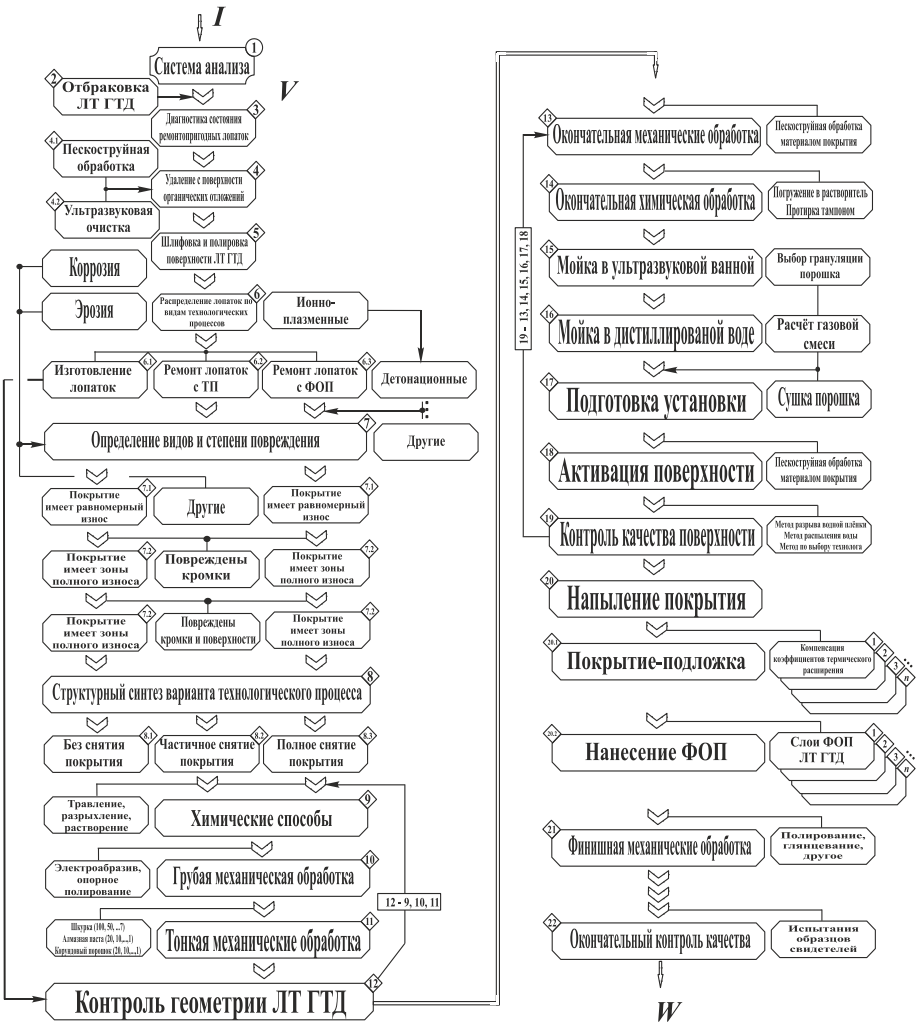



Рис. 4 Унифицированная схема стадий технологического процесса повышения ресурса ЛТ ГТД

На данной схеме отображены следующие основные операции:
- анализ данных;
- отбраковка ЛТ ГТД;
- диагностика состояния ремонтопригодных лопаток;
- удаление с поверхности органических отложений;
- шлифовка и полировка поверхности;
- распределение лопаток по видам технологических процессов;
- определение видов и степени повреждений;
- структурный синтез варианта технологического процесса;
- химическая обработка;
- механическая обработка (грубая, тонкая);
- контроль геометрии ЛТ ГТД;
- окончательная механическая обработка;
- окончательная химическая обработка;
- мойка (ультразвуковая ванна, дистиллированная вода);
- подготовка установки;

- активация поверхности;
- контроль качества поверхности;
- напыление покрытий;
- финишная обработка и окончательный контроль.

Технологический процесс, имеющий такую структуру, может обеспечить процесс синтеза технологий направленных на повышение ресурса ЛТ ГТД на базе функционально-ориентированного подхода.

**Вывод.** Изучив общую картину процесса эксплуатации, целиком и в частности мы пришли к выводу, что разрушения происходят неоднородно и существуют зоны детали, где концентраторы напряжения как многочисленны, так и разнообразны, а большинство применяемых технологических методов не достаточно ориентируются на данную проблему. В связи с чем была разработана унифицированная схема стадий технологического процесса повышения ресурса ЛТ ГТД, которая позволит продолжить процесс исследования с целью улучшения технических и экономических показателей ремонта и изготовления лопаток турбин.

**Список литературы:** **1.** Михайлов А. Н., Хавлин Т.В. Особенности технологического процесса повышения ресурса лопаток турбины авиационных двигателя на базе функционально-ориентированной технологии // Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». 2017. №1. – Донецк: ДонНТУ, 2017. С. 84-100. **2.** https://ru.wikipedia.org/wiki/Жаропрочные сплавы. **3.** Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. - Донецк: ДонНТУ, 2009. - С 347. **4.** Бабичев А.Б. Сущность и технологические возможности комбинированных методов обработки / А.Б. Бабичев, Ю.П. Анкудинов, Т.Н. Рысева, М.А. Тамаркин // Конспект лекций. / РИСХМ, Ростов н/Д,1990,74 й. **5.** Бабичев А.Б. Структурные схемы и пути создания новых методов обработки / А.Б. Бабичев, Т.Н. Рысева // Конспект лекций. / РИСХМ, Ростов н/Д,1990, 74 й. **6.** Корягин С.И Способы обработки материалов / С.И. Корягин, И.В. Пименов, В.К. Худяков // Учебное пособие / Калинингр. ун-т – Калининград, 2000.– 448 с. **7.** Богуслаев В.А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД / В.А. Богуслаев, В.К. Яценко, П.Д. Жеманюк, Г.В. Пухальская, Д.В. Павленко, В.П. Бень. – Запорожье, изд. ОАО «Мотор Сич», 2005 г. – 559 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОСЛОЙНОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Хейфец М.Л.** *(Президиум НАН Беларуси, г.Минск, Беларусь)*
**Бородавко В.И., Пынькин А.М., Грецкий Н.Л., Сенють В.Т.**
*(ГНПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)*
**Кухта С.В., Пуйман Д.В.**
*(УО «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Беларусь)*
*Тел. +375 (017) 2840775 E-mail: mlk-z@mail.ru*

***Abstract:*** *The analysis of methods for obtaining machine parts without forming tools was carried out. It is shown that the processes of additive production require, in addition to studying the technology of obtaining products from structural materials, developing*

*information technologies for their modeling. Considered the formation of products of complex geometry, taking into account the use of a 5-axis manipulator in an automated cutting complex, computer design of sheet cutting processes and subsequent assembly.*

***Keywords:*** *Additive production, layer-by-layer assembly, cutting equipment, sheet cutting, LOM technology*

Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и заготовок деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля «прямым выращиванием» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат [1 - 4].

Изучение методов получения деталей машин без формообразующей оснастки, сравнение их преимуществ и недостатков, определение областей рационального применения синтезируемых изделий позволили выделить три основных направления развития методов послойного синтеза изделий, связанные с применением [5, 6]:

1) концентрированных потоков энергии в качестве источников формообразования;

2) различных видов и форм материалов заготовки;

3) распределения потоков энергии по поверхности и глубине обрабатываемого объекта.

В результате при проектировании технологии послойного синтеза применяются как методы получения деталей из конструкционных материалов, использующие концентрированные потоки энергии, так и методы автоматизации и управления процессами оперативного макетирования и производства изделий [7 - 9].

Анализ с позиций использования концентрированных потоков энергии в качестве источников формообразования (первое направление развития) особенностей традиционных методов получения деталей машин без формообразующей оснастки стереолитографией (Stereolithography Application - SLA), селективным лазерным спеканием (Selective Laser Sintering - SLS), послойной заливкой экструдируемым расплавом (Fused Deposition Modeling - FDM), послойным формированием моделей из листового материала (Laminated Object Manufacturing - LOM) и другими процессами позволил рассмотреть частные и выделить общие принципы построения различных методов технологии послойного синтеза [2 – 4, 10, 11].

Для повышения качества поверхности формируемого изделия и снижения длительности процессов макетирования и производства (SLA, SLS, FDM, LOM и др.) с позиций видов и форм заготовок применяемых материалов (второе направление развития) рассмотрено рациональное разбиение на слои, с учетом оценки качества поверхности, зависящей от формы изделия.

Анализ разбиения в различных методах послойного синтеза обеспечивает выбор наиболее рациональных процессов макетирования и производства конкретного изделия [3 - 6].

Рассмотрим схему алгоритма разбиения изделия на слои. Она состоит из блоков:

1. Компьютерная модель изделия, включающая его геометрическое описание, определение критериев оптимальности конструкции путем выявления «мертвых» зон для потоков энергии или вещества, в которых достижение требуемых параметров качества поверхности проблематично.

2. Выделение слоя максимально возможной толщины h max с проверкой и корректировкой слоя, если он является последним. При этом рассматривается разбивка

на слои одинаковой толщины и разными углами наклона кромок, вписанных в геометрический профиль (рис. 1, а), и неравномерной толщины различных слоев (рис. 1, б). Разбивка непосредственно влияет на геометрические параметры качества поверхности (Rmax, Rz , Ra и др.).

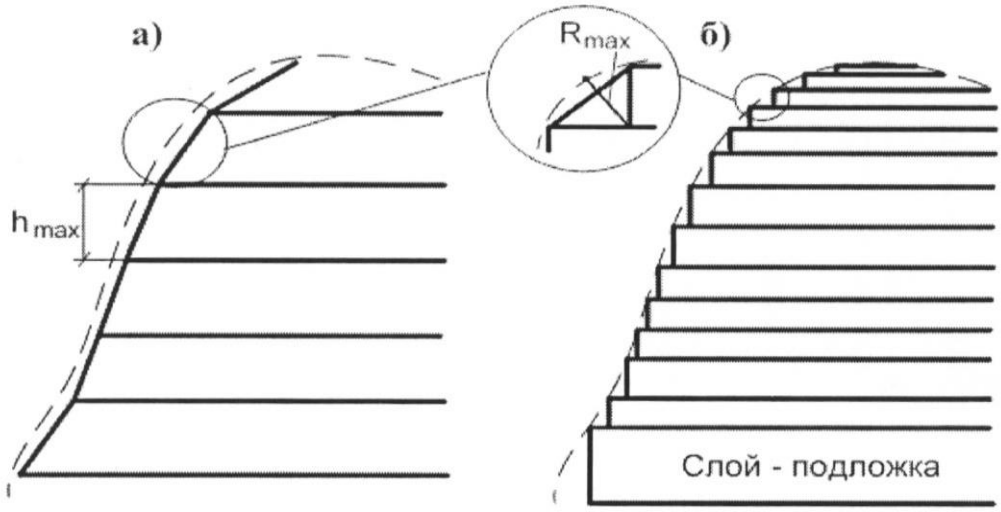



Рис. 1. Разбиение изделия на слои

3. Оценка рельефа поверхности Rmax по периметру слоя осуществляется путем проверки параметров качества поверхности, получаемых в текущем слое.
4. Корректировка путем изменения толщины слоя с использованием коэффициентов понижения а производится при недопустимых параметрах рельефа поверхности (например: α = 0,7...0,8 для SLA- и SLS-процессов; α = 3/4, 1/2, 1/4, ... - для FDM- и LOM- процессов).
5. Присоединение слоя к предыдущему или подложке сопровождается проверкой сцепления текущего слоя с предыдущим по размеру площади перекрытия слоев.
6. Проверка завершения синтеза изделия заканчивает цикл послойного «выращивания» и подсчитывает общее количество слоев изделия.
7. Верификация модели - завершающий этап компьютерного сопоставления «выращенной» модели и исходной.

Расчет общего количества слоев (блок 6) позволяет оценить эффективность процесса, выбираемого для послойного синтеза изделия заданной формы одним из предлагаемых методов (SLA, SLS, FDM, LOM и др.). Верификация модели послойного синтеза (*блок* 7) дает возможность проверить удовлетворение требований к геометрическим параметрам качества сложнопрофильных поверхностей, заложенных в компьютерную модель изделия (блок 1).

Регулирование толщины слоя (блок 4) и угла «разделки» его кромок (блок 2) позволяет управлять геометрическими параметрами качества сложнопрофильной поверхности (блок 3) и вносить корректировки в начальный выбор метода оперативного макетирования и производства.

Проверка сцепления слоев изделия в ряде случаев требует, помимо определения площади их перекрытия (блок 5), также анализа рельефа плоской или

сложнопрофильной поверхности. Последний вариант обычно используется при нанесении оболочек или покрытий на послойно «выращенное» изделие.

Анализ достижимости точности формирования поверхностей с позиций влияния плотности мощности применяемых концентрированных потоков энергии (третье направление развития) позволяет рекомендовать ряд источников энергии для использования в раскройном оборудовании (рис. 2).

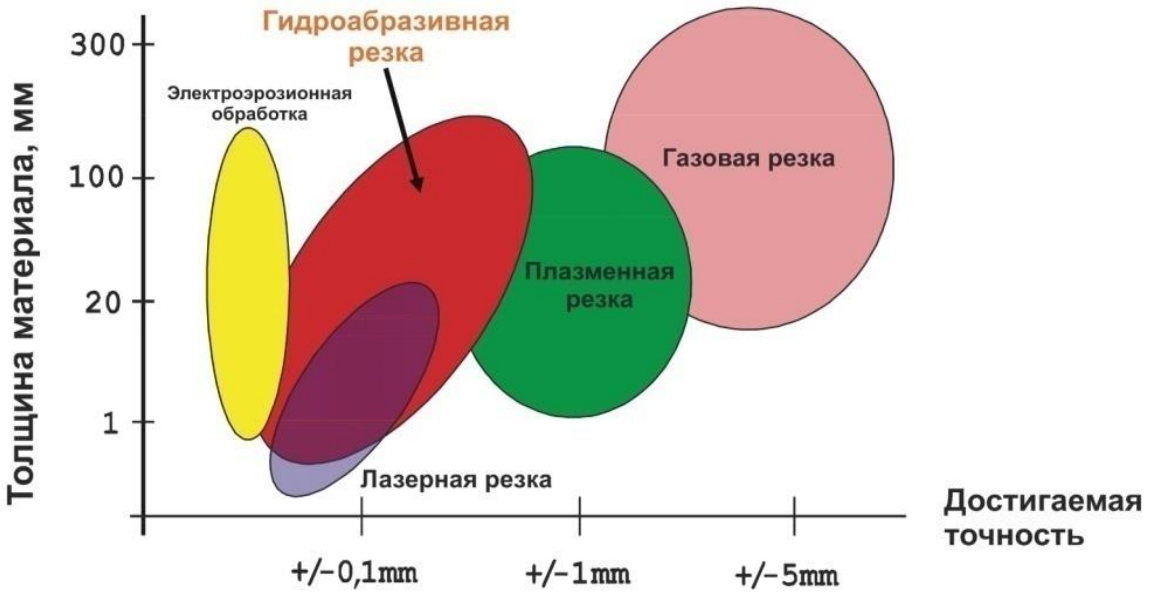



Рис. 2. Использование концентрированных потоков энергии в раскройном оборудовании

Практически непрерывный ряд по плотности мощности обеспечивают следующие технологические источники: газовое пламя и плазменная дуга; сварочная дуга и искровые разряды; непрерывный и импульсно-периодический лазеры. Особый интерес вызывают потоки абразивных частиц, реализующие при взаимодействии высоконапорной струи с поверхностью, процессы аналогичные изнашиванию и выкрашиванию при интенсивном трении и приработке [2, 6]. Это обусловило, в зависимости от решаемых задач, достаточно активное применение в раскройном оборудовании: газопламенных, плазменных, электроискровых (эрозионных), лазерных источников энергии. Альтернативу этим источникам в большом диапазоне плотности мощности для широкого круга задач могут обеспечить гидроабразивные потоки высокоскоростной водной струи (рис. 2).

Для расширения технологических возможностей раскройного оборудования разработан 5-координатный портальный манипулятор, обеспечивающий резку под углом криволинейных поверхностей поворотной головкой (рис. 3).

Рис. 3. Система резки под углом криволинейных поверхностей плазменной головкой

Это позволяет проводить разделку и подготовку кромок перед сварочными операциями, существенно расширяет возможности технологических комплексов при обработке толстолистовых заготовок и обеспечивает переход к широкому применению технологий «прямого выращивания» путем листового раскроя и сборки изделий [6, 11].

При изготовлении детали, с использованием автоматизированного комплекса, оборудованного поворотным 5-координатным манипулятором, исходной информацией служит твердотельная модель изделия, подготовленная в графическом редакторе – Creo, КОМПАС 3D, SolidWorks, Unigraphics и т.п.

Изделие состоит из рада фигурных пластин. Контур каждой пластины будет формироваться на автоматизированном комплексе с 5-координатным манипулятором. Для программирования обрабатываемого контура, необходимо использовать CAM (Computer aided manufacturing) модуль, предназначенный для подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), и разработанный для конкретной системы ЧПУ автоматизированного комплекса, постпроцессор [12, 13].

Для более точного представления формы изделия, с учетом его сложной геометрии, модель разбивается на слои. При обеспечении заданной точности воспроизведения поверхности сечения получатся разной толщины. После чего, для правильного выбора количества листового материала, необходимо произвести оценку толщин всех сечений. Сечения с одинаковой толщиной объединяются в группы. Каждая группа сечений раскладывается на листовом материале необходимой толщины. Для этого используется графический редактор. В каждом сечении делается как минимум по два технологических отверстия для сборки.

Используя CAM-пакет (Hypermill; Unigraphics; Turbonest и др.) готовится программа обработки для каждого контура сечений [14, 15]. Написание кода программы зависит от используемой, в автоматизированном комплексе, системы ЧПУ (Sinumerik; Fanuc; Heidenhain). Программирование осуществляется при помощи G-кода. Обработка производится в 5-осях: линейное перемещение манипулятора по координатным осям и углы поворота головки под разделку кромок и вращения при обходе по контуру. Действия повторяются для каждой группы сечений, а полученные пластины последовательно собираются в готовое изделие.

**Выводы.** Анализ методов получения деталей машин без формообразующей оснастки показал, что процессы аддитивного производства требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов, также разработки информационных технологий их моделирования.

Для технологии LOM (Laminated Object Manufacturing) - послойного формирования из листового материала, с целью обеспечения высокой точности геометрической формы, рекомендован алгоритм разбиения изделия на слои различной толщины, учитывающий разделку их кромок под углом.

Рассмотрено компьютерное проектирование процессов листового раскроя и послойной сборки, на примерах формирования изделий сложной геометрии, с учетом использования 5-координатного манипулятора в автоматизированном раскройном комплексе.

**Список литературы:** **1.** Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузмик. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 320 с. **2**. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. - Новополоцк: ПГУ, 2002.- 268 с. **3.** Витязь, П.А. «Индустрия 4.0»: от информационно-коммуникационных и аддитивных технологий к самовоспроизведению машин и организмов / П.А.Витязь, М.Л.Хейфец, С.А.Чижик // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2017, № 2. – С.54-72. **4.** Витязь, П.А. Состояние и перспективы развития технологических комплексов аддитивного производства изделий из композиционных материалов / П.А.Витязь, М.Л.Хейфец, С.А. Чижик // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2017, № 7(73). – С.42-48. **5.** Чижик, С.А. Перспективы развития технологических комплексов аддитивного синтеза композиционных материалов и формообразования изделий / С.А.Чижик, М.Л.Хейфец, С.А.Филатов // Механика машин, механизмов и материалов, 2014, №4(29). - С.68-74. **6.** Бородавко В.И., Проектирование технологических комплексов для формообразования изделий концентрированными потоками энергии / В.И.Бородавко, А.М.Пынькин, М.Л.Хейфец, В.А.Данилов, Д.В.Пуйман // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2014. - Вып. 3(49). – С.31-37. **7.** Русецкий, А.М. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 239 с. **8.** Русецкий, А.М. Конструирование и оснащение технологических комплексов / под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 316 с. **9.** Русецкий, А.М. Автоматизация и управление в технологических комплексах / под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 375 с. **10.** Хейфец, М.Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М.Л. Хейфец.- Новополоцк: ПГУ, 2001.- 156 с. **11.** Vitiaz, P.A. Laser-Plasma Techniques in Computer-Controlled Manufacturing /

P.A. Vitiaz, M.L. Kheifetz, S.V. Koukhta. – Minsk: Belorusskaya nauka, 2011. - 164p. **12.** Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учебное пособие / В.И. Аверченков, В.П.Федоров, М.Л.Хейфец. – Москва: ФЛИНТА, 2016. – 271 с. **13.** Черепашков, А.А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении / А. А. Черепашков, Н. В. Носов. – Волгоград: Изд. дом «Ин-Фолио», 2009. – 640 с. **14.** Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия - Телеком, 2009.– 608с. **15.** Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / В. Г. Харазов. – СПб.: Профессия, 2009. – 592 с.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**Хейфец М.Л.** *(Президиум НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)*
**Бородавко В.И., Пынькин А.М., Грецкий Н.Л., Семененко Д.В.**
*(ГНПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)*
**Антончик К.А.** *(СОАО «Коммунарка» г. Минск, Беларусь)*
*Тел.+375 (017) 2840775E-mail: mlk-z@mail.ru*

***Abstract:*** *The structure of the technological complex for layered synthesis of products is considered. The analysis of applied composites from building mixtures and technologies of their preparation, allowing to create in additive manufacture large-sized designs of wide application is carried out. The layout of the technological complex is shown and its basic mechanisms are considered. A selection of drives for the mechanisms of moving the technological complex of layered synthesis of products was made.*
***Keywords:*** *Technological complex, layer-by-layer synthesis, 3D-printing, 3D-printer*

Технологические комплексы послойного синтеза изделий из композиционных материалов многочисленны и разнообразны, представляют собой средства технического оснащения, которые обеспечивают эффективное и бесперебойное производство изделий, соблюдение условий технологического процесса, выполнение вспомогательных производственных мероприятий.

Особый интерес представляют технологические комплексы послойного синтеза для производства строительных конструкций из неметаллических композитов, отличающиеся с учетом специфики выпускаемых изделий, широким многообразием предложенных и успешно реализуемых схем.

**Материалы расходуемых смесей.** Среди применяемых неметаллических композитов в аддитивном производстве послойного синтеза строительных конструкций наибольшее распространение получили строительные смеси на основе цемента быстротвердеющих бетонов и строительных растворов. Для получения необходимых технологических свойств, применяемых материалов требуется одновременное использование различных по своему составу и назначению химических добавок, обеспечивающих корректировку прочности, пластичности, жесткости, плотности и других свойств рабочей смеси. Согласно ГОСТ 24211 химические добавки для бетонов

и строительных растворов в зависимости от их назначения классифицируют на следующие группы[1]:

добавки-регуляторы реологических свойств бетонных и растворных смесей, к которым относятся суперпластификаторы, пластифицирующие и стабилизирующие добавки;

добавки-регуляторы схватывания цементного теста и твердения бетона и строительного раствора, включающие замедлители схватывания и твердения, ускорители схватывания и твердения, противоморозные добавки;

добавки-регуляторы структуры бетона и раствора, к которым относятся пластифицирующе-воздухововлекающие, воздухововлекающие, пено- и газообразующие, уплотняющие и гидрофобизирующие;

добавки, улучшающие качество бетона и строительного раствора: полимерные; повышающие водонепроницаемость, морозостойкость, воздухо- и газонепроницаемость бетона и раствора; улучшающие коррозионную стойкость стали, бетона и раствора и придающие им бактерицидные свойства;

тонкодисперсные минеральные добавки и добавки-заменители части цемента в бетонах и растворах, минеральные добавки-наполнители в бетонах и растворах, а также минеральные пластифицирующие добавки и всевозможные комплексные добавки различного назначения.

Введение в состав бетона или строительного раствора химических добавок в виде отдельных компонентов или их композиции позволяет повысить показатели материала [2]. Для обеспечения соответствия строительных растворов требованиям аддитивного процесса формования они должны характеризоваться высокой скоростью схватывания и твердения цементного теста, повышенной подвижностью и низким водопотреблением.

Как правило, химические добавки для бетона и строительных растворов приготавливаются с водой затворения [2-3]. При этом под оптимальной дозировкой добавки понимается ее минимальное количество, при котором достигается максимальный эффект от ее использования, оцениваемый по критериям эффективности согласно ГОСТ 24211. Например, критерий эффективности для ускорителей схватывания и твердения определяет прирост прочности не менее чем на 20% через сутки нормального твердения.

Действие ускорителей схватывания и твердения бетонов и строительных растворов заключается, главным образом, в уменьшении электрических зарядов частиц цемента, что позволяет активизировать процесс гидратации трехкальциевого алюмината в нем и уплотнить структуру цементного камня в ранние сроки ее формирования [3].

Оптимальный расход ускорителей схватывания и твердения бетонов при приготовлении бетонов и строительных растворов составляет 1÷3% от массы сухого цемента и зависит от химического состава последнего, свойств наполнителей, требований к готовым изделиям, наличия в них арматуры и др.

**Структура технологического комплекса.** Современный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов должен отличаться высокой степенью автоматизации. Поэтому, высокие требования к надежности технологического оборудования обусловлены тем, что в большинстве случаев отказы в работе приводят к нарушению технологического процесса, браку и простою производства. Для поддержания качества и увеличения количества

производимой продукции, требуется разработка технологии и оборудования, позволяющего решать широкий диапазон производственных задач.

Предложен портальный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов (рис.1). Он состоит из портальной рамы 1, механизмов перемещения 2,3 и дозатора, который представляет собой конструкцию, состоящую из емкости 4 для приготовленного композитного состава (смеси), подающего устройства 5 и рабочего органа 6.

Объем смеси в емкости контролируется датчиками и пополняется по трубе из резервуара насосом. При опускании уровня смеси ниже допустимого открывается клапан и включается насос подачи, после достижения верхнего уровня насос отключается и закрывается клапан. Внутри емкости расположена лопастная мешалка необходимая для поддержания однородности смеси, поскольку однородность массы является крайне важным обстоятельством для точной дозировки и качества получаемого изделия.

Рабочий орган представляет собой сопло для подачи композитного материала с клапаном. Клапан рабочего органа открывается, когда привод горизонтального перемещения совершает движение по рабочей траектории, при ее окончании клапан закрывается и выдавливание массы прекращается, а горизонтальный привод продолжает движение до следующей заданной траектории. Таким образом, оборудованию ставится задача точного дозирования массы, а также точного позиционирования на заданной траектории.

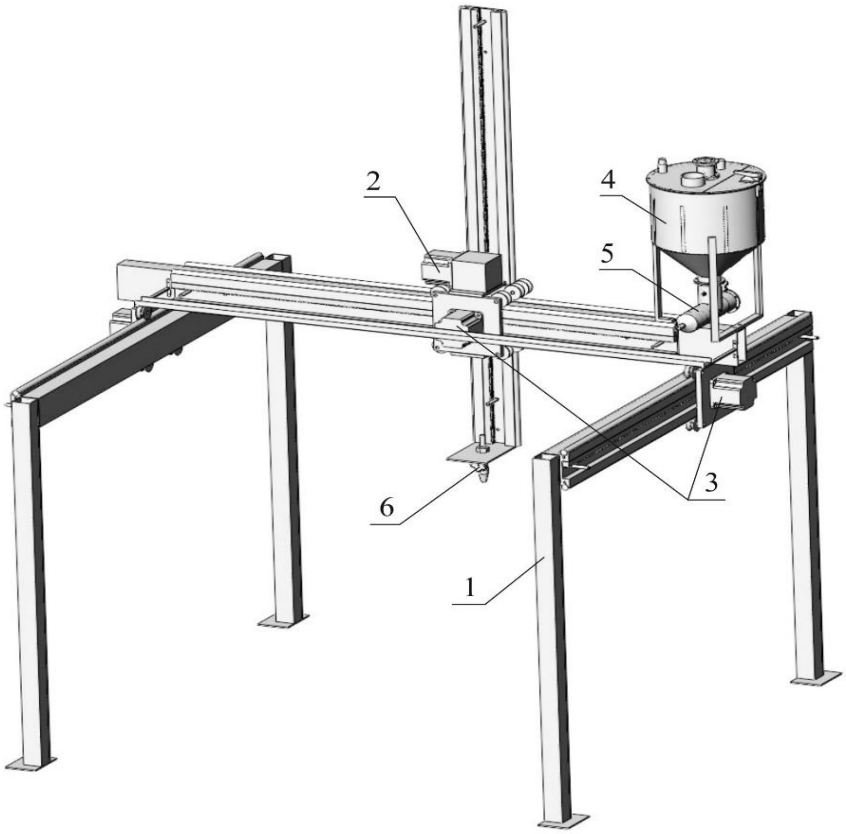



Рис.1. Портальный технологический комплекс послойного синтеза изделий: 1-портальная рама; 2,3- механизмы перемещения; 4- дозатор; 5 -подающее устройство; 6-рабочий орган

**Механизмы перемещения и автоматизированный привод, технологического комплекса.** В качестве механизмов перемещения технологического комплекса применяются приводы горизонтального и вертикального движения рабочего органа. Привод механизмов перемещения выполнен в виде зубчатой рейки, тем самым проскальзывание сведено к минимуму.

Привод вертикального движения осуществляет позиционирование рабочего органа относительно рабочей точки, т.е. там, где осуществляется начало подачи смеси, и подъем к исходному положению по завершению печати слоя. Положение вертикальной составляющей рабочего органа постоянно в течении печати каждого слоя и контролируется датчиком положения двигателя. В связи с широким ассортиментом используемых композитных материалов толщина печатаемого слоя различна, а следовательно, положение рабочей точки разное, что учитывается при подготовке управляющей программы.

Привод горизонтального движения позиционирует рабочий орган в горизонтальной плоскости по заданной траектории печатаемого слоя, при этом открывается и закрывается клапан подачи смеси на заданных участках траектории, а привод подающего устройства осуществляет требуемое дозирование смеси. Движение данного привода контролируется датчиком положения и согласуется с управляющей программой.

Рассмотрим электропривод осуществляющий требуемое позиционирование в горизонтальной плоскости рабочего органа подачи смеси и построим имитационную модель электропривода.

Основными требованиями, предъявляемыми композиционным электроприводам, являются:

точность позиционирования, определяемая обычно как полоса расстояний по обе стороны от заданной позиции, в которой должен быть остановлен исполнительный орган;

стабильность, оцениваемая как повторяемость результатов по точности при многократной отработке одного и того же заданного перемещения;

производительность, определяемая временем отработки заданного перемещения и временем позиционирования и экономичность, оцениваемая капитальными и эксплуатационными затратами.

Стабильность позиционирования определяется вероятностным характером процессов, имеющих место в электроприводе, датчиках и системе управления. Она дает представление об их свойствах при эксплуатации позиционного электроприводас точки зрения точности работы системы по отработке одного и того же перемещения. Это связано с тем, что позиционный электропривод находится под воздействием возмущений, являющихся случайными функциями. Основными возмущениями являются случайные изменения статического момента нагрузки электропривода и вносимые им случайные изменения параметров кинематических цепей, передающих устройств электропривода и связей датчиков с исполнительным органом или электроприводом. Сюда же относятся случайные изменения моментов инерции, зависящие от загрузки механизма и перемещаемых масс рабочей машины.

Рассматриваемое оборудование выдавливает композиционный материал на траектории движения, таким образом, дополним список требований к приводам тем, что необходимо выдавать определенную порцию вязкой массы, а также не допускать выхода ошибки позиционирования за установленные пределы [4 - 7].

Сравнительный анализ позволяет установить тип двигателя, наиболее полно удовлетворяющий предъявляемым требованиям. Удовлетворяют заявленным требованиям синхронный, асинхронный и шаговый двигатели. Поэтому проанализируем возможность применения приводов на их основе для решения поставленных задач.

В синхронных машинах с постоянными магнитами вместо обмотки возбуждения применяют блок постоянных магнитов, изготовляемый из магнитотвердого материала — кобальтовой стали, а также различных сплавов из алюминия, никеля, железа и кобальта, обладающих большой коэрцитивной силой. Двигатели с постоянными магнитами по сравнению с другими типами синхронных двигателей обладают хорошими энергетическими показателями, повышенной устойчивостью работы в синхронном режиме и высокой стабильностью частоты вращения, также преимуществом использования такого двигателя является плавная и точная установка положения ротора и скорости вращения двигателя, большой диапазон регулирования. Недостатком их является большая стоимость и большая кратность пускового тока, риск размагничивания при высоких значениях тока и температуры, что редко встречается на практике.

Благодаря простоте, низкой стоимости и высокой надёжности широкое применение получили асинхронные двигатели. Популярность асинхронных двигателей связана с простотой их эксплуатации, дешевизной и надежностью. Асинхронный электродвигатель, в общем случае обладает высокими техническими показателями, такие как соотношение габаритов и мощности электродвигателя, большой кратностью пускового момента, способности разгоняться и поддерживать управляемость на частотах выше номинальной.

Сравнивая два типа двигателей, отметим высокий КПД обоих, но, как правило, синхронная машина обладает КПД несколько выше. Также синхронный двигатель обладает большей перегрузочной способностью и другими электромеханическими характеристиками. Касаясь, технологических требований к установке отметим также, что система с синхронным электродвигателем обладает меньшей ошибкой позиционирования. Таким образом, синхронный двигатель наиболее подходит для удовлетворения требований, предъявляемых к приводу движения в горизонтальной плоскости. Возможное применение асинхронного двигателя в совокупности с преобразователем частоты может не удовлетворить предъявляемым требованиям, и в общем случае необходимо завышать мощность двигателя для создания нужного пускового момента. К тому же асинхронный двигатель такой же мощности обладает худшими характеристиками, чем синхронный. Одним из основных критериев для выбора двигателя является пусковой момент, чтобы рабочий орган разогнался на ограниченном участке до рабочей скорости. Важным является способность системы поддерживать постоянную скорость двигателя на интервалах выдавливания композиционных материалов на протяжении всей траектории движения рабочего органа машины.

Шаговые двигатели также широко применяются высокоточных системах позиционированиясо строго дозированными перемещениями и фиксацией своего положения в конце движения. Это объясняется тем, что указанные двигатели позволяют преобразовать управляющий импульс в фиксированный угол поворота вала или фиксированное линейное перемещение без датчика обратной связи. Последнее обстоятельство существенно упрощает систему управления механизмом и увеличивает ее надежность, так как сокращается количество электронных элементов. Дискретный

электропривод с шаговым двигателем естественным образом сочетается с цифровыми управляющими устройствами, что позволяет успешно использовать его в станках с числовым программным управлением, в промышленных роботах и манипуляторах.

На скоростях выше номинальных и повышенных нагрузках у двигателей начинает проявляться эффект потери шагов. Потеря шагов возможна также в случае каких-либо внешних воздействий: ударов, вибраций, резонансов и т.п. Современные системы управления шаговыми двигателями позволяют избавиться от этого общего недостатка шаговых двигателей применением обратной связи. В двигателе имеется датчик положения, по которому в случае несоответствия делается коррекция устраняющая эффект потери шагов. В случае принудительной остановки шагового двигателя, преобразователь частоты мотора должен правильно среагировать на данную остановку. В противном случае по обратной связи подается сигнал на доработку не пройденного расстояния, повышается ток на обмотках, двигатель может перегреться и сгореть. Принудительная остановка шагового двигателя не вызывает у него никаких повреждений. Шаговые двигатели – безщеточные, поэтому единственными изнашиваемыми деталями в конструкции являются подшипники. Это позволяет считать их двигателями высокой надежности и не требующих обслуживания долгий срок. Ограничением в использовании шаговых двигателей являются мощность и соответственно скорость.

**Выводы.** Таким образом, предложен портальный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов, включающий дозатор, представляющий собой емкость для приготовленной композитной смеси, подающего устройства и рабочего органа, а также механизмы его перемещения. Исходя из сравнительного анализа, типов электродвигателей для механизмов перемещения показано, что каждый из двигателей занимает свою собственную нишу. Асинхронный электродвигатель применяется для тягового, силового привода. Шаговый двигатель используется в маломощных системах, таких как топливоподача, расход материала и т. д. В наибольшей степени удовлетворяет требованиям технологического комплекса синхронный электродвигатель, который наряду высокими электрическими и электромеханическими показателями обладает лучшей управляемостью и точностью позиционирования.

**Список литературы: 1.** ГОСТ 24211. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. **2.** Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с. **3.** Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н. Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – К.: Будивэльнык, 1989. – 128 с. **4.** Фираго, Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585 с. **5.** Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с. **6.** Лазарев, Ю.Ф. Начала программирования в среде MATLAB / Ю.Ф. Лазарев. – К.: НТУУ «КПИ», 2003. – 424 с.**7.** Системы автоматизированного управления электроприводами / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; под общ. ред. Ю.Н. Петренко, - Минск: Новое знание, 2004. – 284 с.

# РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ МОСКОВСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НА КОНФЕРЕНЦИЯХ ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В Г. СЕВАСТОПОЛЕ

**Хроматов В.Е., Щугорев В.Н., Серков С.А.** *(НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия)*
*E-mail: KhromatovVY@mpei.ru*

***Abstract:*** *There are presented information about creation of power-plant engineering faculty in Moscow Power Engineering Institute. There are discussed questions of organization of educational process in MPEI and role of the humanities in process of training engineers.*
***Key words:*** *power engineering industry, educational milieu, technical disciplines, historical information.*

2018 год является годом юбилеев: 75- летия образования Энергомашиностроительного факультета в Московском энергетическом институте 1943)( [1]; 60-летия открытия студенческого оздоровительно-спортивного лагеря МЭИ в Алуште [2]; 25-летия работы в г. Севастополе международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» (1993) [3], организаторами которой являются сотрудники и преподаватели Донецкого национального технического университета, международный союз машиностроителей, в состав которого входят многочисленные научные и производственные предприятия, ВУЗы России, Украины, республики Белоруссия, Польша, Румыния, Молдова и др. [3]. Тематика представляемых научных докладов охватывает весьма широкий спектр научных исследований технологии и производства в машиностроительной отрасли, вопросы математического моделирования и расчетов технических систем, современные проблемы машиноведения и деталей машин. Ряд научных направлений, развиваемых на кафедре Динамики и прочности машин им. В.В.Болотина НИУ «МЭИ» в течении последних десяти лет были представлены на конференции «Машиностроение и техносфера XX1 века». Одно из них относится к решению задач магнитоупругости [4-8].

Проектирование электрических аппаратов и машин, электротехнического оборудования предполагает решение комплексных задач, относящихся как к области наук об электричестве и магнетизме, так и к области механики деформируемого твердого тела. Создание оптимальных конструкций для многих объектов электротехнического и энергетического машиностроения связано с вопросами широкого использования конструктивных элементов типа стержней, пластин и оболочек, на упругие колебания которых существенное влияние оказывают магнитные поля. Данная картина взаимодействия упругих и электромагнитных явлений довольно сложна и ее можно рассматривать на основе анализа совместной системы уравнений движения упругой среды и уравнений электромагнитного поля. На основе асимптотического метода В.В. Болотина построены решения типа динамических краевых эффектов для прямоугольных пластин, выполненных из диамагнитных, парамагнитных, ферромагнитных материалов с произвольной комбинацией условий закрепления краев в поперечном и продольном магнитном поле. Проведено исследование спектров частот колебаний ферромагнитных пластин с конечной электропроводностью и диэлектрических пластин. Для широкого изменения параметров индукции магнитного поля установлено незначительное расхождение в

результатах расчета собственных частот колебаний диэлектрических и проводящих пластин в поперечном и продольном магнитном поле и качественное совпадение с результатами экспериментальных исследований, опубликованных в литературе. Установлено, что поперечное магнитное поле понижает собственные частоты колебаний пластин. Поперечное магнитное поле оказывает эффект сжимающих усилий в срединной плоскости. Получены соотношения для индукции магнитного поля, при котором возможна потеря статической устойчивости. Проведено исследование устойчивости плоской формы равновесия ферромагнитной пластины, находящейся в поперечном магнитном поле с гармонически изменяющейся индукцией внешнего магнитного поля, исследование устойчивости сжатой переменными силами пластины в магнитном поле. Установлено, что в случае диэлектрического ферромагнитного материала, магнитное поле увеличивает ширину главной области динамической неустойчивости и понижает устойчивость пластины

Получены соотношения для частот собственных колебаний и асимптотические плотности пологих и круговых цилиндрических оболочек выполненных из диамагнитных, парамагнитных и ферромагнитных материалов. Установлены параметры внешнего магнитного поля, приводящие к потере статической устойчивости оболочки. Магнитное поле приводит к понижению собственных частот колебаний оболочек, выполненных как из ферромагнитных, так и немагнитных материалов.

Разработанная методика расчета спектров частот магнитоупругих колебаний пологих оболочек и прямоугольных пластин при различных условиях закрепления краев позволяет производить проектирование тонкостенных элементов конструкций электротехнического оборудования, нашла применение для расчета вибрационных характеристик магнитоуправляемых контактов (герконов).

Другим традиционно развиваемым научным направлением на кафедре ДПМ НИУ «МЭИ» является механика разрушения композиционных материалов. Поведению композитов и конструкций из них посвящены работы [9-18]. Наряду с высокими прочностными и жесткостными характеристиками композитов в направлении армирования, слоисто-волокнистая структура обуславливает низкую межслойную прочность композитных материалов. В связи с необходимостью оценки межслойной прочности встает ряд задач о границах распространения расслоений в конструкционных элементов различного типа. Работы, представленные на конференции можно классифицировать следующим образом.

*Первый признак,* – геометрический (пластина, оболочка, стержень). При этом стоит различать две принципиально различных группы дефектов: отслоения внешнего слоя и расслоения “в глубине” материала.

*Второй признак*-- характер нагружения по отношению к параметру времени (циклическое, квазистатическое нагружение, нагружение падающим грузом). Кроме того, для квазистатического случая рассматривлись альтернативы силового (мягкого) и деформационного (жесткого) нагружения.

Критериями потери несущей способности для рассматриваемых элементов считались: недопустимые максимальные перемещения (стрелы прогиба) отслоившегося участка, превышение фактическими (расчетными или определенными экспериментально) значениями эквивалентных напряжений в материале допускаемых значений.

В качестве параметров стойкости по отношению к внешним воздействиям рассматривались: : *геометрическими параметрами* образца; *межслойной прочностью материала*, обычно характеризующейся параметром (группой параметров),

называемым работой разрушения; *прочими макропараметрами материала* (модули упругости, коэффициенты Пуассона и.т.д).

Основные инструменты анализа в рассматриваемых задачах: аналитический подход, предложенный В.В. Болотиным и метод конечных элементов. Аналитический подход предполагает вычисление особых параметров, называемых "*обобщенные силы роста дефектов*" и "*обобщенные силы сопротивления росту*", соотношение которых определяет состояние системы "*тело с расслоением-нагрузка*".

В представленных коллективом кафедры ДПМ НИУ «МЭИ» работах на конференции были рассмотрены задачи о росте расслоений сформулированные следующим образом:

1) Оценка субравновесности отслоений, т.е. при каких соотношениях параметров системы "тело с дефектом-нагрузка" имеет место состояние, при котором обобщенные силы, продвигающие дефект не превышают обобщенных сил сопротивления.

2) Оценка возможности мгновенного подрастания дефекта ("проскок" на устойчивую ветвь), т.е поиск совокупностей параметров системы "тело с дефектом-нагрузка", при которых возможен и/или неизбежен мгновенный рост.

3) Вычисление размеров отслоения после "проскока", в том числе в случае слияния двух и более дефектов. Данный вопрос актуален в связи с тем, что после "проскока" расслоение может иметь размер, недопустимый по критерию потери несущей способности, когда данный критерий сформулирован по перемещениям.

В ряде случаев задачи решались как аналитическим путем (метод В.В. Болотина), так и численно с помощью конечно-элементного программного комплекса. МКЭ позволяет относительно просто, для систем с множественными геометрическими особенностями (в том числе, трещинами) вычислить обобщенные силы продвигающие дефекты. Также, МКЭ примененялся для вычисления коэффициентов интенсивности напряжений – критериальных параметров, используемых в традиционном подходе механики разрушения.

Рассмотренные задачи, представленные коллективом кафедры ДПМ НИУ «МЭИ» на конференциях «Машиностроение и техносфера XXI века» являются одним из этапов выполнения, предложенных авторами общих алгоритмов оценки несущей способности конструкционных элементов из композитов, содержащих дефекты. Подходы к решению таких частных задач являются применимыми и для случаев, не подпадающих под классификацию, приведенную выше. Например, для сферических, тороидальных и других конструкционных элементов.

Важным для организации учебного процесса в высшей школе является гуманитарный цикл дисциплин, взаимосвязь их с техническими дисциплинами, включение исторических сведений во все преподаваемые курсы. Это направление также было представлено на конференциях [19-23]. Об истории создания и основателях МЭИ и Энергомашиностроительного факультета можно ознакомиться в [2]. Считаем целесообразным включение этих сведений в читаемые курсы, проведение бесед со студентами на учебных занятиях и внеучебных мероприятиях. Вклад правительства СССР и его забота о развитии и восстановлении отечественного образования очевидны и не могут быть забыты и в сегодняшнее время. Нельзя забывать о высказывании В.И.Ленина: «… Всякое умаление социалистической идеологии, всякое отстранение от нее означает тем самым усиление идеологии буржуазной». («Что делать?», 1901-1902, ПСС, 5 изд., т.6. С. 39-40.) Примером доказательства ленинского высказывания являются события, происходящие в Украине. Традиции патриотического воспитания

студентов МЭИ сохраняются на протяжении всего периода его существования и укрепляются не только непосредственно во время учебы, но и в летний период во время работы в студенческих строительных отрядах, во время отдыха в спортивно-оздоровительных лагерях МЭИ, среди которых самой яркой жемчужиной является лагерь МЭИ «Алушта». Под г. Алуштой на 13 км судакского шоссе в урочище Малое Семидворье в 1958 году силами студентов МЭИ началось строительство спортивного лагеря МЭИ. Недалеко от него в поселке Молореченское создавался спортивный лагерь МАИ. В гости к нам, а мы к ним приезжали студенты Львовского политехнического института. На Крымской земле зарождалось и крепчало студенческое братство. Близ лагеря МЭИ «Алушта» был построен и долгое время функционировал радиолокационный полигон ОКБ МЭИ. Строительство Крымской АЭС в поселке Щелкино недалеко от г. Керчь также начиналось по проектам, в разработке которых участвовали и научные коллективы МЭИ. Но не всякое созидание разумного, доброго вечного приводит к всеобщему благоденствию. Находятся разрушительные силы, стремящиеся уничтожить многое хорошее, что было наработано веками. На всех конференциях в г. Севастополе с большой тревогой отмечались тенденции умаления роли гуманитарной составляющей при подготовке инженерных кадров [3, 24]. В настоящее время приходится констатировать тенденцию нарушения связей между образованием и воспитанием. Еще в 1845 году Святитель Иннокентий, митрополит Московский писал обер-прокурору Святейшего Синода о необходимости сочетания образования ума с образованием сердца в деле народного просвещения, ибо много бед обществу способны принести по его выражению *«безнравственные грамотеи».* Еще в то время Святитель предупреждал об опасности отделения знания от нравственности. В докладе МЭИ [23] участникам конференции была продемонстрирована картина народного художника РФ Василия Нестеренко «Отстоим Севастополь» из истории обороны Севастополя в 1854-1855 годов периода Крымской войны.. Воссоединение Крыма с Россией по результатам народного референдума жителей Крыма произошло как эпилог событий, предопределенных в том числе и многолетней работой конференции « Машиностроение и техносфера XXI века». Руководителем и одним из организаторов референдума в г. Севастополе был Алексей Михайлович Чалый, родители которого Михаил Васильевич и Алевтина Тихоновна Чалые были студентами Московского энергетического института, в дальнейшем учеными-электротехниками, продолжившими свою научную работу в городе-герое Севастополе.

Есть уверенность, что успешное многолетнее сотрудничество Московской высшей школы и Донецкого Национального Технического Университета будет и в дальнейшем способствовать многогранному развитию инженерного образования, о чем свидетельствует работа секции «Современные проблемы инженерного образования. Евроинтеграция в образовании» [19 - 24]. Работа этой секции под руководством профессора Г.Г. Левченко всегда вызывала живой интерес участников конференции и в дальнейшем, безусловно, будет способствовать совершенствованию образовательного процесса.

**Список литературы: 1.** Серков С.А. Хроматов В.Е. К 70 – летию образования энергомашиностроительного факультета (Института энергомашиностроения и механики) в МЭИ // Вестник МЭИ, 2013, № 5. С. 5-15. **2.** МЭИ: история, люди, годы: сборник воспоминаний. В 3 томах под общ. ред. С.В.Серебрянникова. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. (Серия «Выдающиеся деятели МЭИ)**. 3.** Михайлов А.Н. XX международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера

XX1 века»: вчера, сегодня, завтра. Труды XX междунар. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века», 16 – 21 сентября 2013, г. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 2013. Т. 1. С. 161 -177. **4**. Хроматов В. Е., Самогин Ю.Н., Красова Н. С., Комиссарова Т. Н. О влиянии продольного магнитного поля на спектры частот колебаний круговых цилиндрических оболочек // Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь, Донецкий гос. техн. ун-т. 2007. Т. 4. с. 116-119. **5**. Комиссарова Т. Н., Хроматов В. Е., Самогин Ю. Н. Распределение собственных частот магнитоупругих колебаний пологих оболочек в поперечном магнитном поле // Сборник трудов XV Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI век», г. Севастополь, Донецкий гос. техн. ун-т. 2008. Т. 2. с. 122-129. **6**. Геча В. Я., Голубева Т. Н. Хроматов В. Е. Колебание электропроводящей пластины в магнитном поле // Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь, Донецкий гос. техн. ун-т. 2009. Т. 1. с. 134-139. **7**. Голубева Т. Н., Хроматов В. Е. Влияние магнитного поля на колебания и устойчивость токонесущих пластин // Сборник трудов XVII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь, Донецкий гос. техн. ун-т. 2010. Т. 1. с. 186-190. **8**. Голубева Т. Н., Хроматов В. Е. Влияние магнитного поля на колебания ферромагнитных пластин // Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь, Донецкий гос. техн. ун-т. 2011. Т. 1. с. 179-183. **9**. Щугорев В.Н., Касьянов К.Г.. Москвитин П.М., Мурзаханов Г.Х. Поведение дефектов типа расслоений в современных композитах. Машиностроение и техносфера. Сборник трудов XIV международной конференции"Машиностроение и техносфера XXI века". Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. Том 2. 2007. С.131-137. **10**. Щугорев В.Н., Касьянов К.Г., Москвитин П.М., Мурзаханов Г.Х Поведение расслоений в стержневых элементах при продольном ударе. XV международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов Том 2. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 15 - 20 сентября 2008 г. в городе Севастополе. С.78-80. **11**. Щугорев В.Н. Земнухов С.В., Касьянов К.Г., Москвитин П.М., Подмазов Д.А Влияние расслоений на поведение сферической оболочки из слоистого композитного материала XVI международная научно-техническая конференция «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов Том 3. 13 - 18 сентября 2009 г. в городе Севастополе. Донецкий гос. техн. ун-т Донецк-2009. С 272-277. **12**. Щугорев В.Н., Николаев В.П., Щугорев А.В. Методы экспериментальной оценки трещиностойкости балочных и пластинчатых элементов конструкций из композиционных Сборник трудов XVII международной научно технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т 2010 т3с 272-276. **13**. Щугорев В.Н., Земнухов С.В., Касьянов К.Г. Изменение напряжений во времени при скоростном взаимодействии ударника и анизотропной пластины. Сборник трудов XVIII международной научно технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т 2011 т3 с213-216. **14.** Щугорев В.Н., Влияние структурных модификаторов на прочность конструкционных элементов из углепластиков. Сборник трудов XIX международной научно технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т 2012 т3 с 90-93. **15.** Щугорев В.Н., Касьянов К.Г., Земнухов С.В., Подмазов Д.А. Нелинейный анализ открытых и закрытых отслоений в сферической оболочке Сборник трудов XX международной научно

технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т 2013.т.3 с 182-186. **16.** Щугорев В.Н., Касьянов К.Г., Подмазов Д.А .. «Классификация и нелинейный анализ отслоений в конструкциях».Сборник трудов XXI международной научно технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т 2014. Т3. С. . 292-295. **17**. Щугорев В.Н., Цой В.Э. О Влиянии масштабного фактора на прочностные характеристики композитов. Машиностроение и техносфера XXI века Сборник трудов XXII международной конференции том 2-. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т 2015.г.- С 209-212. **18.** Щугорев В. Н., Касьянов К.Г., Воробьёв А. К., Подмазов Д.А.О росте межслойных трещин в балках при низкоскоростном ударном нагружении. Машиностроение и техносфера XXI века Сборник трудов XXIII международной конференции том 2-. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т 2016.г.- С 181-185. **19.** Хроматов В.Е., Самогин Ю.Н., Новикова О.В., Хажинский Г.М. Историко-биографические сведения в курсе сопротивления материалов об ученых-основоположниках механики твердого тела. // Труды XVI Международной конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». 14—19 сентября, 2009, г. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 2009. Т.3. С. 221–226. **20.** Серков С.А., Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е. Об опыте совместной работы ВУЗов со старшими классами средних школ. Труды XVIII международной конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», 13 – 18 сентября 2010, г. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 2010. Т.3. С. 103-106. **21.** Хроматов В.Е., Серков С.А., Самогин Ю.Н. Организация мероприятий по психолого-педагогической поддержке студентов вузов. Труды XVIII междунар. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века»,12 – 17 сентября 2011, г. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 2011. Т. 3. С. 181-184**. 22.** Серков С.А., Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Бесова А.В. Использование структурно-логических схем и компьютерного тестирования при изложении дисциплин механики твердого тела. Труды XIX междунар. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века», 17 – 22 сентября 2012, г. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 2012. Т. 3. С. 319 -323. **23.** Хроматов В.Е., Серков С.А., Богомолова Т.Н. Основные составляющие курсов прикладной механики и математики в НИУ МЭИ. Труды XX междунар. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века», 16 – 21 сентября 2013, г. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 2013. Т. 3. С. 118 -122. **24.** Левшов А.В., Джура С.Г., Чурсинов В.И. Философские основы формирования техносферы в Украине. Труды XX междунар. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века», 16 – 21 сентября 2013, г. Севастополь. Донецкий гос. техн. ун-т. 2013. Т. 1. С. 85 -88.

## ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ПРИ ИЗЛОЖЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

**Хроматов В.Е., Комиссарова Т.Н., Панкрашкина Н.Г., Бугаев Н.М.**
*(НИУ «МЭИ», МАИ(НИУ), г. Москва, ННГУ, г. Нижний Новгород, Россия)*
*E-mail: KhromatovVY@mpei.ru*

***Abstract:*** *The questions of including historical information about the founders of scientific disciplines in study courses, in Newspapers and museums of Universities are considered*
***Key words:*** *power engineering industry, educational milieu, technical disciplines, historical information.*

При переходе к двухуровневой системе образования бакалавр-магистр нельзя снижать уровень преподавания фундаментальных дисциплин - математики, физики теоретической и прикладной механики. Но нельзя сокращать и гуманитарную составляющую образования, что, безусловно, приведет к потере общей культуры специалиста с высшим образованием. Существует немало способов повышения интереса учащихся к изучаемым дисциплинам, совершенствования не только методики преподавания технических дисциплин, но и использования методических наработок средней школы в высшей школе. Опыт преподавания дисциплин механики твердого тела (МТТ) в НИУ «МЭИ», показал, что включение в читаемые курсы исторических сведений о научной деятельности и жизни основоположников общеобразовательных и научных дисциплин, изучаемых студентами, в значительной степени повышает интерес к обучению. В НИУ «МЭИ» издан трехтомник о выдающихся ученых – энергетиках, стоявших у истоков создания электротехнической и теплотехнической школы России и МЭИ [1]. На наш взгляд в учебных пособиях, выпускаемых издательствами вузов, изложение сведений о научных школах кафедр вуза, выдающихся ученых и преподавателях способствует приобщению молодежи к науке, воспитанию патриотизма и гордости за отечественную науку [2, 3].

В октябре, ноябре 2017 года в МГТУ им. Н.Э. Баумана состоялись конференции, посвященные научной деятельности и жизни русских и советских ученых Н.Е.Жуковского, В.Л. Бидермана, Н.Н. Малинина, С.Д. Пономарева, В.А. Светлицкого, В.И. Феодосьева чья жизнь и научная деятельность могут служить примером преданности и увлеченности наукой. Об этом следует рассказывать учащейся молодежи [3, 4], в том числе и на страницах многотиражных газет ВУЗов [5-10]. Неоднократно симпозиумы «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред», проводимых МАИ (НИУ) были посвящены научной деятельности таких выдающихся механиков как А.С. Вольмир, В.З. Власов, А.Г. Горшков - основатель и организатор этого симпозиума и чье имя он впоследствии получил [11]. В учебных корпусах и на территории МАИ установлены ряд памятников и мемориальных досок, посвященных ученым и основателям отечественной авиации и космонавтики. В Казанском федеральном государственном университете 1 декабря 2017 года был открыт музей Н.И. Лобачевского, ректором которого он был более 20 лет и приуроченный к его 225 летию. Родился выдающийся математик Н.И. Лобачевский в Нижнем Новгороде, и его имя было присвоено ННГУ - первому университету, основанному в 1916 году на народные деньги по инициативе нижегородцев [9]. Организация выставок в библиотеках вузов, посвященных научной деятельности и жизни преподавателей вузов, также оказывают положительное влияние на воспитательную работу со студентами [5-7]. Интересен опыт музея ННГУ, организующего выставки, посвященные научной и преподавательской деятельности активно работающих преподавателей и научных сотрудников университета к их юбилеям [9, 12, 13]. Посещения выставок студентами и преподавателями могут быть включены в учебный процесс. В НИУ «МЭИ» и ННГУ для знакомства первокурсников с историей создания университета, основными научными направлениями и достижениями проводятся отдельные лекции, включаемые в учебное расписание. Музеи всегда являлись неотъемлемой частью культуры современного общества, территорией, где пересекаются и развиваются культурные и научные традиции общества, а для многих учащихся служат первым шагом в историю развития страны, науки и техники. Посещения музеев вузов должны включаться в систему

довузовской подготовки школьников, в программу проведения Дней открытых дверей, служат популяризации научных школ вузов и привлечения абитуриентов.

В настоящее время существует возможность создания переноса выставок, экспозиций музеев в виртуальное пространство. Виртуализация подразумевает организацию в сети интернет общедоступного ресурса, зайдя на который пользователь знакомится с виртуальными копиями реальных музейных экспонатов. Создание подобных виртуальных музеев является достаточно эффективным решением задачи просвещения масс, так как виртуальный музей доступен из любой точки мира, где есть интернет, и работает круглосуточно. Однако создание развитого виртуального музея достаточно сложная задача, которая требует значительных затрат, привлечения специалистов по компьютерным технологиям и музеологов [13]. Ведущие ВУЗы РФ включились в эту работу и уже существуют ссылки на официальные сайты с описанием их музеев [15-19]. Посетители таких музеев знакомятся с виртуальными копиями реальных музеев экспонатов. Сами экспонаты музеев собираются годами и являются своеобразными свидетелями создания и развития отечественной науки и техники. В свое время эта информация носила статус государственной тайны, но информация об этих и многих других фактах хранится в музеях ВУЗов и теперь уже являются документами государственной важности. Многие выдающиеся ученые России и СССР работали в университетах и институтах и в архивах ВУЗов хранятся их личные дела и автобиографии, из которых можно почерпнуть неизвестные сведения об их жизни. Эти документы используются для их демонстрации при организации в МЭИ и ННГУ выставок, посвященных юбилеям ученых – основателей многих научных направлений отечественной науки. Многие проблемы создания вычислительной техники обсуждались на международных конференциях «Развитие вычислительной техники в России и странах бывшего СССР: история и перспективы». Материалы этих конференций развенчивают мифы о нашем вечном отставании в развитии ВТ и свидетельствуют об успехах нашей страны в этой области [14]. Дальнейшее развитие идей и истории ВТ было изложено на страницах газеты «Энергетик» (март, 2018 г.), откуда читатели узнали о создании уникальной советской ЭВМ «БЭСМ-6» и ее конструкторах, основной состав которых представляли выпускники МЭИ.

Многие неизвестные факты истории развития страны, ВУЗа, можно почерпнуть со страниц газет и в частности многотиражных газет университетов и институтов. В 2017 году в НИУ «МЭИ» отмечалось 90-летие первого выпуска газеты МЭИ «Энергетик» [8]. В музее МЭИ сохранился первый выпуск газеты под названием «Пролетарий на учебе». Только в 1936-1937 газета стала выходить под нынешним названием. К юбилею газеты «Энергетик» все сохранившиеся ее номера были оцифрованы и представлены на выставке в главном учебном корпусе МЭИ. Газеты с уникальными фотографиями и документами своего времени являются уникальными свидетелями развития страны и высшей школы, в том числе и в годы ВОВ 1941-1945 годов. Официальной датой создания газеты «Нижегородский университет» считается 1948 год, 70 –летний юбилей которой будет отмечаться в 2018 году [9]. Но истоки ее создания уходят в далекий 1918 год – время организации первого советского государственного университета. Позднее в «Известиях Нижегородского университета» были опубликованы материалы по истории развития высшей школы в первое десятилетие своего существования и также носят характер архивных документов. События сегодняшнего дня жизни высшей школы выносятся на страницах многотиражных газет и со временем станут историческим документами развития отечественной науки и высшей школы. Нельзя не отметить публикацию в газете

«Нижегородский университет» статьи [10], посвященную памяти журналиста, писателя, поэта Игоря Грача, приехавшего на донецкую землю с журналисткой миссией и оставшегося в ополчении. Его стихи очевидца войны в Донбассе публиковались в литературном журнале «Нижний Новгород», альманах «Земляки», напечатаны сборники стихов «Донбасское Инферно», «Ночные голоса Новороссии».

1 мая 2017 года Игорь Грач был убит снайпером украинского подразделения. Его хоронили как героя на Бугровском кладбище, где покоятся лучшие люди Нижнего Новгорода [10]. Многотиражные газеты ВУЗов располагают огромными возможностями освещения повседневной жизни высшей школы и активного участия в воспитательной работе.

В юбилейный год проведения XXV международной конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», проводимой Донецким национальным техническим университетов в г. Севастополе можно уверенно утверждать, что научная и общественная деятельность преподавателей и сотрудников ДонНТУ войдет в историю развития государства и науки, а музеи и многотиражные газеты ВУЗов вносили и будут вносить свой скромный вклад в историческую копилку фактов развития страны [20].

**Список литературы: 1.** МЭИ: история, люди, годы: сборник воспоминаний: в 3 томах / под общей ред. С.В. Серебрянникова. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. **2.** Хроматов В.Е., Новикова О.В. Лекции по сопротивлению материалов структурно-логических схемах: учебное пособие –М.: Издательский дом МЭИ, 2017.-260 с. **3.** Хроматов В.Е., Бесова А.В., Новикова О.В. Соотношения образовательной, гуманитарной и воспитательной компонент при изучении дисциплин прикладной механики в НИУ «МЭИ»// Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные задачи механики». Москва, 24-27 октября 2017 г. Тезисы докладов, М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. С. 46-47. **4.** Хроматов В.Е. Научная школа академика В.В. Болотина в МЭИ// Вестник МЭИ, 2016, №1,.С. 84-89. **5.** Хроматов В.Е., Щугорев В.Н. Из жизни семьи Болотиных// Газета НИУ «МЭИ» Энергетик, № 2(3376), 2016 г. С. 4-5. **6.** Хроматов В.Е. Династии преподавателей. Из жизни семьи Щегляевых // Газета НИУ «МЭИ» Энергетик, № 10(3394), 2017 г. С. 6-8. **7.** Хроматов В.Е., Шайхутдинова М.В. Андрей Дмитриевич Сахаров - сын учителя, внук адвоката, правнук священника// Газета НИУ «МЭИ» Энергетик, № 6(3402), 2018 г. С. 6-8. **8.** Семенова Т.Е. Газета с многолетней историей. // Газета НИУ «МЭИ» Энергетик, № 11(3395), 2017 г. С. 2-3. **9.** Калинина Л.Ф. Нашей газете 70 лет // Газета ННГУ им. Н.И. Лобачевского «Нижегородский университет», № 03 (2172), март 2018 г. С. 12. **10.** Леонтьева С.В., Калинина Л.Ф. Ухожу – чтоб скорее вернуться назад…// Газета ННГУ им. Н.И. Лобачевского «Нижегородский университет» № 02 (2171), февраль 2018 г. С. 20-21. **11.** Хроматов В.Е. Он вчера не вернулся из боя. К 75 летию А.Г. Горшкова //Материалы XXII международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г.Горшкова . Вятичи.15-19 февраля 2016 г. М.: Изд-во МАИ. 2016. С.8-12. **12.** Панкрашкина Н.Г., Савельев В.П. Музей факультета ВМК в ННГУ в образовательном процессе// Труды SORUCOM 2014. Третья международная конференция «Развитие вычислительной техники и ее программного обеспечения в России и странах бывшего СССР: история и перспективы. 13-17 октября 2014 г., Казань. С. 270- 274. **13.** Казаков В.В., Верещагина А.В., Алексеева Т.Е. Технология публикаций в Интернет малых музеев на основе специализированного инструментального портала// Труды SORUCOM 2014. Третья международная

конференция «Развитие вычислительной техники и ее программного обеспечения в России и странах бывшего СССР: история и перспективы. 13-17 октября 2014 г., Казань. С. 131- 133. **14.** Гергель В.П., Панкрашкина Н.Г. Развитие и эксплуатация средств вычислительной техники в ННГУ им. Н.И.Лобачевского: страницы истории// Труды SORUCOM 2017. Четвертая международная конференция «Развитие вычислительной техники в России и странах бывшего СССР: история и перспективы. 3-5- октября 2017 г., Москва, Зеленоград. С. 35 – 39. **15.** Музей МГТУ им. Н.Э.Баумана http://bmstu.ru/mstu/info/museum **16.** Музей ННГУ им. Н.И.Лобачевского http://museum.unn.ru **17.** Музей НИУ «МЭИ» http://museum.mpei.ru **18.** Музей МАИ(НИУ) http://museum.mai.ru **19.** Музей КФУ http://museum.kpfu.ru **20.** Хроматов В.Е., Семенова Т.Е., Панкрашкина Н.Г. Роль музеев и многотиражных газет вузов в формировании и сохранении архивного наследия высшей школы// VII историко-архивный форум «Память о прошлом – 2018». 15-17 мая 2018 г. Российский государственный архив в г. Самаре.

## ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СНИЖЕНИЯ МАССЫ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ

**Лагунова Ю.А.,** проф.**, Царькова Е.Н.,** магистрант

***Abstract.*** *There are several options for reducing the mass of the jaw crusher with a complex swing of the movable cheek, namely: reducing the weight of the drive and eccentric shafts, selecting a lighter material for the cast frame of the jaw crusher.*
***Key words:*** *jaw crusher, frame, crusher drive, shaft loading scheme, eccentric shaft.*

Для дробления руды на разные фракции в горнорудной промышленности используются дробилки. Классифицируются они по конструктивным признакам (щековые, конусные, валковые и др.). Щековые дробилки разрушают материал по принципу раздавливания и частично изгиба между двумя щеками, одна из которых подвижна, другая – неподвижна [1]. Такой тип дробилок наиболее надежен и финансово выгоден в эксплуатации.

Важным элементом технологического оборудования, помимо его технических показателей, является массовая характеристика. Снижение массы ведет не только к чистой экономии металла, но и уменьшению грузоподъемности погрузочных и транспортных средств, расхода энергии на перевозку и др.

В качестве возможных деталей дробилки, которые можно оптимизировать, будут являться: станина, приводной и эксцентриковый валы.

Чтобы появилась возможность применять дробилку в замкнутых пространствах, ее привод располагают на полке, которая шарнирно крепится к станине. Традиционно шкив располагают таким образом, чтобы опоры вала были с обеих сторон от него. Расчетная схема такого вала приведена на *рис.1*.

Действующими силами на приводной вал являются:

- Момент кручения:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{30 * P}{\pi * n}, \qquad [Нм]$$

где $P$ – мощность двигателя, кВт; $n$ – частота вращения вала двигателя, об/мин; $\omega$ - угловая скорость вращения, рад/с.

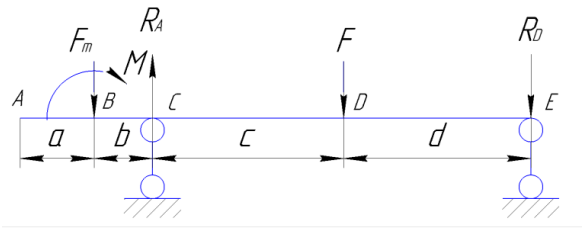



Рис.1. Схема нагружения вала при закрытом расположении шкива

• Сила от клиноременной передачи:

$$F = 2 * F_0 * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), \qquad [H]$$

где α – угол обхвата малого шкива, град; $F_0$ – сила предварительного натяжения, Н:

$$F_0 = 0{,}5 * \frac{F_t}{\varphi}, \qquad [H]$$

где $\varphi$ – коэффициент тяги (0,45÷0,55); $F_t$ – окружная сила, Н:

$$F_t = \frac{2 * T_1}{D_1}, \qquad [H]$$

где $T_1$ – крутящий момент на валу, Нм; $D_1$ – диаметр ведущего шкива, м.

• Сила от несоосности валов:

$$F_м = 125 * \sqrt{T_1}, \qquad [H]$$

Под этими нагрузками, максимальное напряжение, действующее на вал, ровняется 22 МПа, при этом коэффициент запаса составляет 13 единиц, масса 105 кг. Если перераспределить положение опор вала и расположить шкив консольно, то расчетная схема примет вид, показанный на *рис.2*:

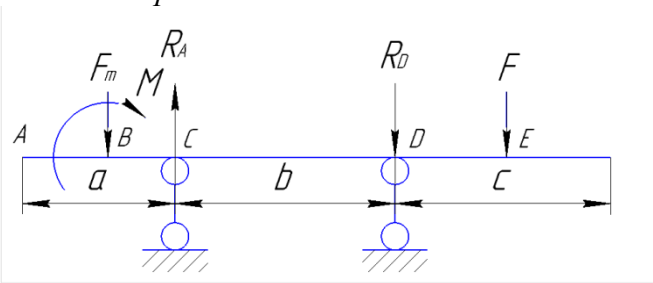



Рис.2. Схема нагружения вала при консольном расположении шкива

В такой схеме максимальное напряжение увеличивается до 34 МПа, коэффициент запаса уменьшается до 5 единиц, масса до 91кг. Для валов больше 60мм этот коэффициент должен превышать отметку 2,5 – это условие выполняется.

Станина дробилки представляет собой разборную конструкцию, которая собирается с помощью болтового соединения. Основные части каркаса отливаются. В

качестве возможных материалов для достижения данной цели могут являться: сталь 45Л, ВЧШГ45.

На неподвижную щеку в качестве нагрузки учитывается дробящее усилие $Q_{max}$:

$$Q_{max} = 2{,}7 * 10^6 * F \text{ [кН]}$$

$F$ – площадь дробящей плиты, м$^2$

$$F = L * H \text{ [м}^2\text{]}$$

Для поиска действующего напряжения на плиту составляется расчетная схема, показанная на *рис.3*:

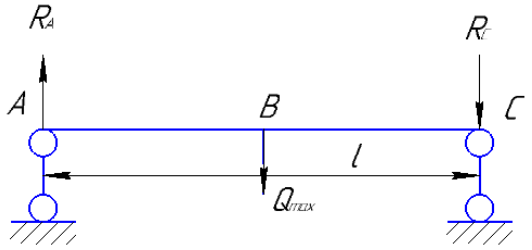



Рис. 3. Расчетная схема неподвижной щеки дробилки

Максимально действующий момент в этом случае:

$$\text{M} = \frac{Q * l}{4} \text{ [кН} * \text{м]}$$

Тогда действующее напряжение определяется выражением:

$$G = \frac{M}{\omega} \text{ [МПа]}$$

ω – осевой момент инерции:

$$\omega = \frac{L * H^3}{12} \text{ [м}^3\text{]}$$

Остальные действующие усилия в узлах дробилки определяются графически по схеме на *рис.4*:

Направление силы $R$ определяется при условии, что она должна пройти как через точку В (ось подвеса качающейся щеки), так и через точку Е пересечения известных линий действия двух других сил $Q_{max}$ и $T$. Раскладывая известный вектор силы $Q_{max}$ на составляющие, получаем значения сил $T$ и $R$. Силу давления $R$ можно разложить на тангенциальное усилие $P$ и усилие $S$, направленное к оси вращения вала. Усилие $P$ действует перпендикулярно радиусу кривошипа АВ и развивает момент сопротивления $P_r$, преодолеваемый приводом. Усилие $S$ действует на кривошип и оказывает давление на опоры вала. Таким образом, по известному дробящему усилию могут быть определены усилия во всех деталях дробилки [2].

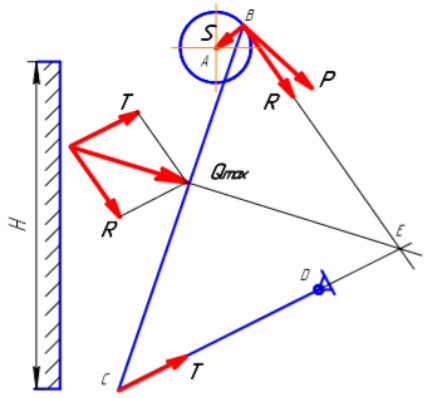



Рис. 4. Схема для определения усилий в узлах щековой дробилки со сложным качанием щеки

Расчеты показали, что при применении стальной станины дробилки коэффициент запаса будет ровняться 3,7 единиц, а чугунной 3,5. При этом масса чугунной станины меньше на 10%.

Эксцентриковый вал в щековой дробилке передает импульс от клиноременной передачи подвижной щеке. Действующие нагрузки на опоры эксцентрика определяются графически по *рис. 4.* Помимо динамических нагрузок на него действуют массовые характеристики шкивов, подвижной щеки. Уменьшить массу мы можем путем применения полого вала. Расчетная схема выглядит так, как показано на рис.5:

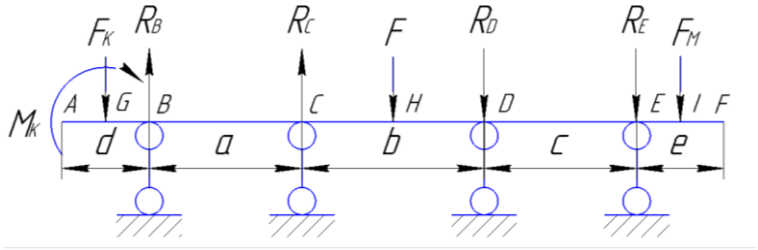



Рис. 5. Схема расчета эксцентрикового вала: $F_k$ – сила давления массы шкива, Н; $M_к$ – крутящий момент от клиноременной передачи, кНм,; F – сила давления массы подвижной щеки, Н; $F_н$ –сила давления массы маховика, Н.

Помимо сил, указанных на расчетной схеме, учитывалось дробящее усилие, сила давления на распорную плиту.

При цельном исполнении эксцентрикового вала коэффициент запаса составляет 6 единиц. Если принять полое исполнение (труба стальная бесшовная горячедеформированная по ГОСТ 8732-78), то коэффициент запаса составляет 4 единицы, при этом масса уменьшается на 30%.

Таким образом, если применить изложенные расчеты в производстве щековой дробилки, то можно существенно снизить эксплуатационные расходы.

**Список литературы: 1.** Лагунова Ю.А. Проектирование обогатительных машин: учебник. Екатеринбург: Издательство УГГУ. – 2009. **2.** Федотенко Ю.А., Коротких П.В. Расчет щековых дробилок. Методические указания. Омск: Издательство СибАДИ. – 2012.

# О МЕХАНИЗМЕ И ПАРАМЕТРАХ ОЗОНОВЫХ ДЫР, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЗАПУСКАХ ЖИДКОТОПЛИВНЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

**Цымбалов Д.С., Яценко О.В.**
*(Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия)*
*Тел: +7 (951) 8475165; E-mail: oleg_v_yatcenko@mail.ru*

***Abstract:*** *Few actual technical problems are solved: 1) a correct model of the rocket-exhaust cloud dissipation is proposed for the first time; 2) some known and original problem-oriented models are combined into a hierarchy; 3) a simple procedure of rocket ozone hole parameterization is elaborated by reducing detailed mathematical description.*

В работе решается актуальная для технической экологии задача – на научной основе оценивается влияние реактивных выбросов жидкотопливных ракет-носителей (далее ЖРН) на физико-химическую динамику озонового слоя Земли (озоносферы). Опубликованные предметные сведения неполны и в какой-то степени даже противоречивы [1-2]. Отсутствие строгой физико-математической интерпретации процесса образования и рассасывания ракетной озоновой дыры не позволяет корректно определять параметры возмущения.

Анализ траекторий по данным, опубликованным в [3-6], позволяет предложить универсальную высотно-скоростную зависимость (УВСЗ):

$$v(t) = A\,\mathrm{sh}\,B\,t\,, \qquad H(t) = A/B\,(\mathrm{ch}\,B\,t - 1)\,, \qquad v(H) = A\sqrt{(1+{}^{B}\!/_{A}H)^2 - 1}\,, \qquad (1)$$

где $v$ – скорость, м/с; $H$ – высота, м; $t$ – время, с. По смыслу параметр $B$ – обратная длительность инерционной стадии полета, $A$, $A/B$ и $AB$ – соответственно скорость, высота и начальное ускорение ракеты. УВСЗ (1) удовлетворяет физическим требованиям: 1) на начальном участке траектории (при $t \to 0$) $v \sim t$, $H \sim t^2$, $v \sim H^{1/2}$ и 2) на стратосферном ($t \to \infty$) $v \sim \mathrm{e}^{Bt}$, $H \sim \mathrm{e}^{Bt}$, $v \sim H$. Непосредственная идентификации УСВЗ (1) методом наименьших квадратов

$$\sum_{i,k}\left(A\sqrt{(1+{}^{B}\!/_{A}H_{i,k})^2 - 1} - v_{i,k}\right)^2 \to \min \qquad (2)$$

проблематична: число узловых точек $H(v)_{ik}$ мало, а разброс данных для различных типов ракет – велик. В формуле (2) индекс $i$ соответствует узловым значениям высоты $H$, $k$ – типу ракеты.

Регуляризация оптимизационной задачи (2) основывалась на предположении, что величина $AB$ варьируется в пределах $0.5 \div 2\ g$, где $g$ = 9.8 м/с$^2$. Семейства вероятных траекторий показаны на рис. 1. Вычисленные согласно (2), $½\,g < AB < 2\,g$ параметры модели $A$ и $B$ собраны в табл. 1 и служат для получения содержательных результатов. Разброс траекторий, собранных в табл. 1, составляет ~ 25 % от модельных (1).

Результаты инициализации модели озоновой дыры уточняют [7] следующим образом:

$$v(H) \approx 0.025\cdot(H + 10000)\,, \qquad (3)$$

$$r_{\mathrm{ini}}(H, \dot{m}_1) \approx 0.1\sqrt{2.7 - 2.8\cdot 10^{-5} H}\,\mathrm{e}^{H/16000}\sqrt{\dot{m}_1}\,, \qquad (4)$$

$$\Delta c/c\,(H) \approx \Delta\rho/\rho(H) \approx 45.8\cdot 10^6/[(9.8\cdot 10^4 - H)\,(H + 10000)] \text{ – уплотнение,} \qquad (5)$$

$$\Delta c_{i,H}/c\,(H) \approx 1.15\cdot 10^9/[\mu_i\,(9.8\cdot 10^4 - H)\,(H + 10000)] \text{ – химическое возмущение,} \qquad (6)$$

$$\Delta T_H/T_H\,(H) \approx (9.8\cdot 10^4 - H)/(H + 10000) \text{ – степень нагрева,} \qquad (7)$$

где $r_{ini}$ и $H$ имеют размерность м; массовый расход горючего $\dot{m}_1$ – кг/с.

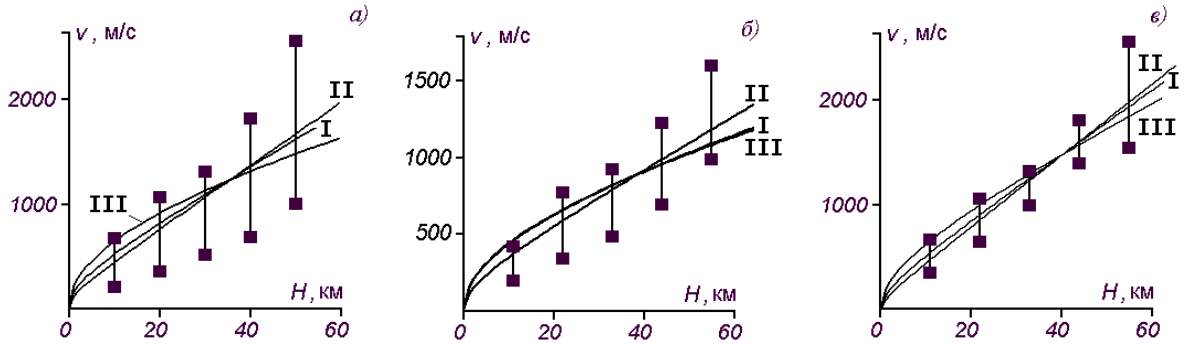



Рис. 1. Экспериментальные высотно-скоростные зависимости современных носителей и семейства вероятных траекторий согласно (9), ½ $g < AB < 2\,g$:
*а* – восстановленные по совокупности значений табл. 1, *б* – по наиболее слабым, *в* – по наиболее сильным экспериментальным зависимостям $v(H)$. Кривые I, II и III отвечают начальному ускорению ракеты $g$, ½ $g$, и 2 $g$

Таблица 1. - Параметры $A$ и $B$, оцененные с учетом начального ускорения ракеты $a_0 = AB$

| Траекторные данные | $AB$ = 9.8 м/с$^2$ | | $AB$ = 4.9 м/с$^2$ | | $AB$ = 19.6 м/с$^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A$, м/с | $B$, с$^{-1}$ | $A$, м/с | $B$, с$^{-1}$ | $A$, м/с | $B$, с$^{-1}$ |
| для РН рис. 1, *б* | 386 | 0.0254 | 163 | 0.0301 | 2170 | 0.090 |
| для РН рис. 1, *в* | 290 | 0.0338 | 131 | 0.0375 | 795 | 0.0247 |
| для РН рис. 1, *а* | 1110 | 0.00884 | 259 | 0.0189 | – | – |

Об уточнении известных моделей авторами представленной работы можно судить по данным рис. 2.

Кроме того, в рамках наших исследований уточнены известные модели диссипации следового облака в озоносфере [8]. Динамика возмущения концентраций и температуры описывается уравнениями:

$$\square^n c_i = f_i(\mathbf{c}, T, I_{\lambda,H}) \,, \qquad \square^n T = 1/c_P \Sigma f_i(\mathbf{c}, T, I_{\lambda,H})\, \Delta H_i \,, \tag{8}$$

где $\square^n$ – дифференциальный оператор, отвечающий рассеиванию примеси в ящичной ($n = 0$) и цилиндрически симметричной ($n = 1$) постановках; $f_i(\mathbf{c}, T, I_{\lambda,H})$ и $\Delta H_i$ – соответственно скорость наработки и энтальпия образования $i$-го вещества в фото- и химических реакциях; $I_{\lambda,H} \equiv I(\lambda, H)$ – интенсивность солнечного излучения; $\lambda$ – длины волны; $H$ – высота; $c_P$ – теплоемкость озоносферного газа.

Сначала перемешивание газа обусловлено остаточной энергетикой реактивной струи, поэтому оператор диссипации имеет вид

$$\square^0 \equiv d/dt + a/(1 + a\,t) \,, \qquad \square^1 \equiv \{\partial/\partial t - 1/r\, \partial/\partial r\, [r Д\, \partial/\partial r]\} \,. \tag{9}$$

Со временем эти операторы принимают иную форму

$$\square^0 \equiv d/dt + 3b/(1 + b\,t) \,, \qquad \square^1 \equiv \{\partial/\partial t - 1/r\, \partial/\partial r\, [r^{7/3}\, \xi\, \partial/\partial r]\} \,. \tag{10}$$

Обобщение модели состоит в физически корректном объединении (9) и (10).

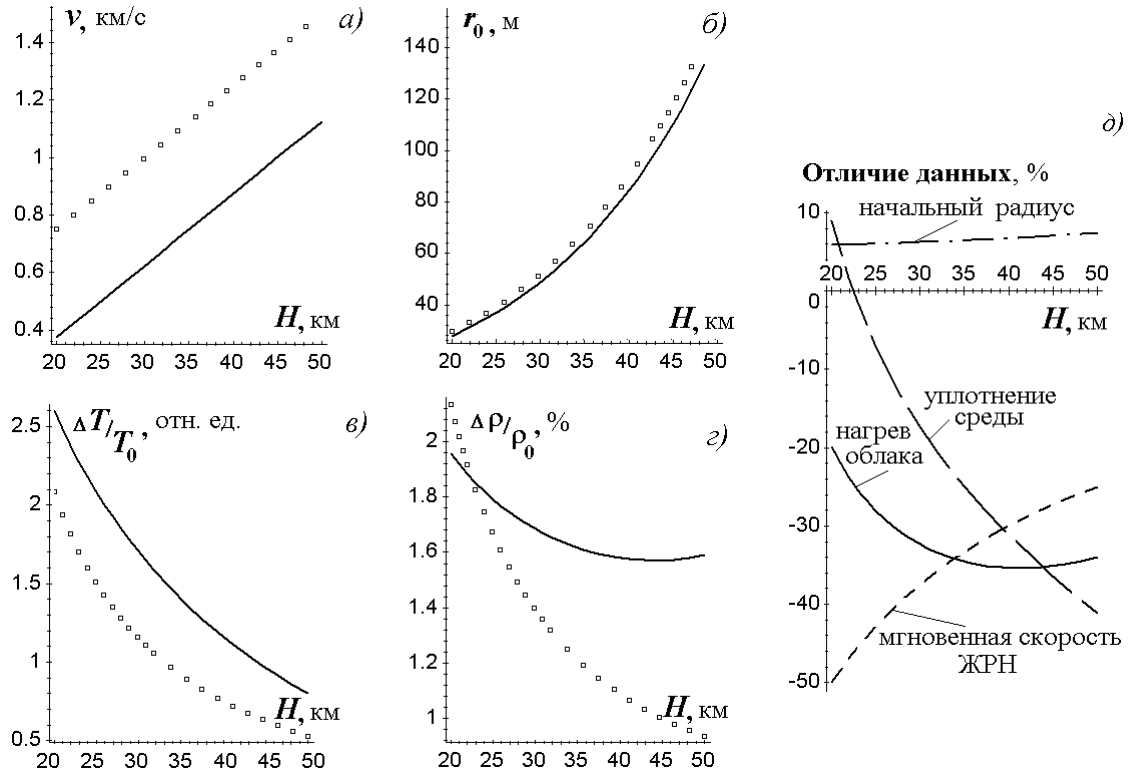



Рис. 2. Сопоставление начальных параметров следового облака ЖРН «Протон», оцененных авторами с данными работы [7]: *а* – скорость ЖРН «Протон»; *б* – радиус следового облака; *в* и *г* – соответственно нагрев и локальное уплотнение возмущенной области; *д* – уточнение параметров возмущения. На фрагментах *а* – *г* сплошные линии – результаты данной работы, точки – сопоставляемые данные

Некорректность моделей [9-10] проявляется в линейном по времени увеличении возмущенной области $R(t)/R_0 - 1 \sim t$, в то время как физичными представляются зависимости $R(t)/R_0 \sim t^{1/2}$ – на начальном и $R(t)/R_0 \sim t^{3/2}$ – на завершающем (см. рис. 3). В данной работе предлагаются рациональные «сшивки» формул (9) и (10):

$$\square^0 \equiv d/dt - \frac{\partial \ln[(1+at)(1+b^3t^2/a)]}{\partial t} \quad \text{и} \quad \square^0 \equiv d/dt - \frac{\partial \ln[(1+at)(1+b^{3/2}t/a^{1/2})^2]}{\partial t}. \qquad (11)$$

С учетом уточнений модели в пределах озоновой дыры размером

$$R(t) = R_0\sqrt{(1+at)(1+b^3t^2/a)} \qquad (12)$$

снижение концентрации озона выражается формулой

$$[O_3](r,t) = \{[O_3]_0 - k_{O_3}[O_3]_{ph}[NO]_0/(k_{NO}[M]) \times [1 - \exp(-k_{NO}[M]t)]\}\, S(r,t)\,, \qquad (13)$$

где $S(r,t) \equiv \mathrm{sign}\,[R(t)-r]/R(t)^2$; $k_{O_3}[O_3]_{ph} \approx 10^{-4}$ с$^{-1}$, $k_{NO}[M] \approx 10^{-2}$ с$^{-1}$, $R_0 \approx 150$ м, $[O_3]_0 \approx (0.01 \div 0.03) \times [O_3]_{ph}$, $[NO]_0 \approx (30 \div 100) \times [O_3]_{ph}$, $a \approx 4$ с$^{-1}$, $b \approx 0.05$ с$^{-1}$ – эффективные параметры минимальной модели (12)-(13).

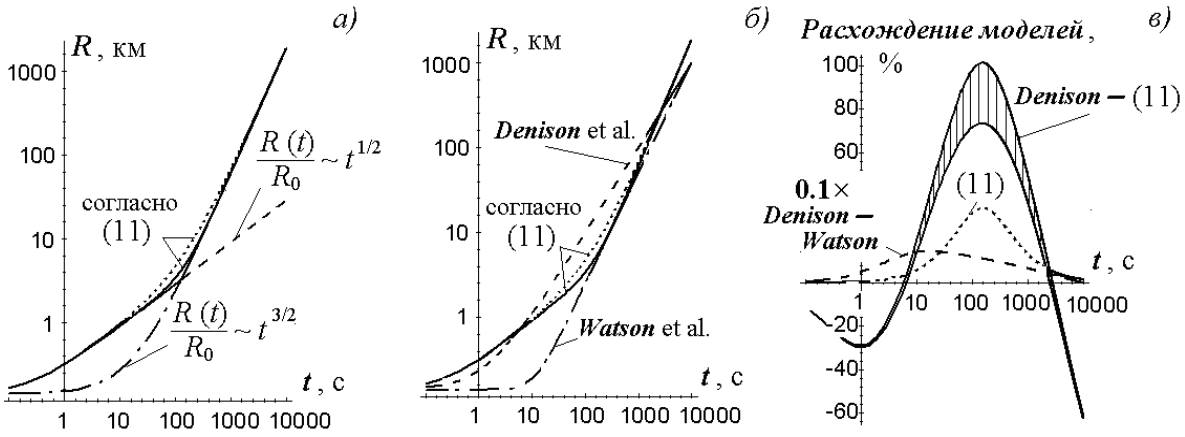



Рис. 3. Рост следа ЖРН согласно (9)-(12) в сопоставлении с [9-10]

Результаты выполненных расчетов представляются важными для выработки безопасных и экологичных стратегий использования космического пространства. В частности, они позволяют надежно оценивать параметры ракетной озоновой дыры, не прибегая к дорогостоящим компьютерным экспериментам, что важно для сценарного анализа при планировании запусков. Практически данная разработка способствует снижению ущербов окружающей природной среде и стимулируют рациональное развитие аэрокосмических технологий.

**Список литературы:** **1.** Lohn P.D., Wong E.Y. The effects of rocket exhaust on stratospheric ozone: chemistry and diffusion / Sci. Report by TRW Space & Electronics Group, MIT, Cambridge, MA, Lawrence LNL, Livermore, CA, 1996. 151 p. **2.** Tyrrel W., Smith Jr., Edwards J.R. et al. Summary of the impact of launch vehicle exhaust and deorbiting space and meteorite debris on stratospheric ozone / Sci. report by TRW Space & Electronics Group, MIT, Cambridge, MA, Lawrence LNL, Livermore, CA, 1999. 146 p. **3.** Jones A.E., Bekki S., Pyle J.A. On the atmospheric impact of launching the Ariane 5 rocket // J. Geophys. Res. 1995. V. 100. № D8. P. 16651-16660. **4.** Karol I.L., Ozolin Y.E., Rosanov E.V. The space rocket launching effects on ozone and other atmospheric gases // Ann. Geophys., Suppl. 9. 1991. P. C248-C429. **5.** Алешков М.Н., Жуков И.И. Физические основы ракетного оружия. М.: Воениздат, 1965. 464 с. **6.** Фадин И.М., Полетаев Б.И., Сидоров В.Н. Экология комоса. С.-Пб.: Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2005. 280 с. **7.** Яценко О.В., Ладоша Е.Н. Космическая экология: антропогенные воздействия на стратосферный озон при запусках жидкотопливных ракет-носителей (теоретические оценки, компьютерная имитация) // Инженерная экология. 2005. № 6. С. 27-45. **8.** Яценко О.В., Ладоша Е.Н. Теоретическая оценка влияния реактивных выбросов ракет-носителей на стратосферный озон // Безопасность жизнедеятельности 2005. №.8. С. 31-35. **9.** Denison M.R. et al. Solid Rocket Exhaust in the Stratosphere: Plume Diffusion and Chemical Reactions // J. Spacecraft & Rockets. 1994. V. 31. P. 435-442. **10.** Watson R.T. et al. An assessment of an $F_2$ or $N_2O_4$ atmospheric injection from an aborted Space Shuttle mission / NASA JPL Publ. № 77-81. 1978.

# БРОНЗА И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НЕЕ: ОТ ДРЕВНЕГО МИРА ДО СОВРЕМЕННСТИ

**Цыркин А.Т., Раев С.С.**
*(Луганский филиал кафедры технологии машиностроения ДонНТУ,г. Луганск, ЛНР)*
*Тел./Факс: +38 (095)7008891; E-mail: white-lg@yandex.ru*

***Abstract:*** *Bronze has been in demand since ancient times and is widely used at present. Technological methods to get the bronze and goods made of it both in the Ancient World and the Middle Ages are shown in the paper. It also describes briefly ways of making bells, cannons and other goods. The modern ways of getting the bronze, its characteristics and spheres of application in modern equipment are given.*
***Key words:*** *bronze, tin bronze, characteristics, casting, goods, sculpture, cannons, bells.*

Бронза – общее название сплавов меди с другими металлами с преобладанием в них меди (80-94 %).

Появление бронзы до сих пор загадочно. Многие исследователи считают, что первые бронзы были сурьмяными или мышьяковистыми, а позже появилась оловянная.

По мнению одних исследователей, производство металлов у древних народов всегда считалось волшебством и сопровождалось ритуальными процедурами, в частности добавлением к меди золотистого ауригпигмента (минерал, сульфид мышьяка $As_2S_3$) и ярко-красного реальгара (минерал, моносульфид мышьяка AsS), обычно встречающихся вместе и привлекающих своим цветом. По мнению других, и олово и сурьму и мышьяк добавляли как флюсы и просто для облегчения плавки меди путем снижения температуры плавления. Третьи, и их мнение заслуживает наибольшего внимания, отмечают, что достоинства этих добавок состояли не в том, что они снижали точку плавления. При содержании мышьяка 4 % сплав можно неограниченно ковать вхолодную, а до 18 % мышьяка неограниченно горячей ковкой. При холодной ковке твердость мышьяковистой бронзы в результате наклепа увеличивается от 35-40 НВ до 100-245 НВ. К тому же, и это тоже могло привлечь внимание первого горняка-металлурга, при высоком содержании мышьяка у сплава появлялся яркий серебристый цвет ("искусственное серебро") и он становится поразительно стойким к коррозии. Поэтому сплавы разделялись в зависимости от назначения: для орудий труда уже в III тыс. добавляли мышьяка до 4 % для украшений – 4-30 %. Вероятно такое изменение свойств сплавов могло послужить началом алхимии и последующее изобретение оловянной бронзы тоже способствовало этому: при содержании олова в сплаве до 12 % (у мышьяка, наоборот, - свыше 12 %) имитировалось золото.

Присутствие даже небольших количеств мышьяка в шихте заметно облегчает процесс выплавки металла из медной руды, приводит к изменению свойств сплава, повышает ее жидкотекучесть, препятствует образованию в нем целого ряда хрупких составляющих, крайне нежелательных при ковке. По механическим свойствам мышьяковистая бронза вообще практически не отличается от бронзы оловянной. У нее есть лишь два недостатка. Во-первых, производство мышьяковистой бронзы связано с испарениями мышьяка очень вредного для здоровья человека. Даже при незначительном ее нагреве (например, при ковке) происходило улетучивание мышьяка, которое было заметно любому, даже не искушенному в металлургии, человеку. Из сплава мышьяк удалялся в виде белых паров, образованных оксидами этого металла. Ядовитые пары мышьяка, делавшие металлургов смертниками, отличались характерным чесночным запахом, позволявшим безошибочно отличать этот

вредоносный сплав от чистой меди. Во-вторых, при переплавке мышьяковистой бронзы мышьяк, обладая высокой подвижностью при высоких температурах, просто улетучивается, что сопровождается потерей качества бронзы. По мнению большинства исследователей, именно летучесть и токсичность мышьяковых паров послужили причиной того, что мышьяк как добавка к меди постепенно уступает место олову.

Оловянная бронза лишена этих двух недостатков. Вполне возможно, именно поэтому она довольно быстро вытеснила в Древнем мире бронзу мышьяковистую. Хрупкое и более мягкое, чем медь, олово, ставшее компонентом сплава, совершило чудо: резко увеличилась твердость, прочность металлов, улучшились литейные свойства и понизилась температура плавления.

Снижение это невелико – если чистая медь плавится при 1083° С, то добавка, например, 5 % олова снижает точку плавления до 1050° С, при 8 % – 1020° С, при 10 % – 1005° С, при 13 % – 980°С, при 15 % – 960° С, при 25 % – 800° С. Главное достоинство добавок состояло в том, что они приводили к повышению пластичности, ковкости, твердости. Так, твердость чистой литой меди – 35 НВ, бронзы литой с содержанием олова 5 % – 68 НВ, а кованой – 176-186 НВ, бронзы литой с содержанием олова 10 % – 88 НВ, а кованой – 228 НВ.

Опыты подтверждают, что если в плавильной печи оказываются смешанными древесный уголь, малахит, касситерит и известняковые добавки – флюсы, то при нагреве такой смеси может получиться оловянистая бронза. А поскольку залежи медной руды – малахита и оловянной руды – касситерита в природе иногда встречаются рядом, такая гипотеза имеет право на существование. Правда, при таком простом смешивании руд половина дорогостоящего редкого олова просто выгорала.

По другой версии, каждый из компонентов бронзы предварительно был выплавлен из руды самостоятельно, а затем уже эти компоненты были смешаны и сплавлены вместе. Скорее всего, это был не первый, а второй шаг на пути освоения бронзы. В пользу такого предположения говорит и фиксированный процент содержания олова в древних бронзах: уже во 2-й половине III тыс. до н. э. в Южной Месопотамии оно составляло 6-10 %.

Наконец, самая удобная гипотеза: бронза была получена из руды, содержащей одновременно и медь и олово. Такая руда есть – станин (оловянный колчедан). В Германии ее разрабатывали не ранее II тыс. до н.э. и сразу получали бронзу, добывали ее и в Узбекистане в горах Ауминзатау в Кызылкумах, есть она в Нижней Сванетии на Кавказе и в других местах. Против этой гипотезы есть серьезное возражение: меди и олова в станине содержится почти поровну, поэтому при разработке месторождения станина в Китае выплавляли бронзу, содержащую 49,7 % меди и 42,57 % олова. В древности же содержание олова в бронзе редко превышало 10 %. Если бы человек начал со станина, то он уже вряд ли пришел бы к 10 % олова. Поэтому большинство исследователей считает, что первая бронза была получена смешиванием, вот только чего – неясно. 1-я версия привлекательна тем, что человеку надо было знать только одну плавку – меди, остальное – примеси. По второй же версии надо было уметь плавить и олово, и сплавлять их вместе, а это уже более сложное производство. В одном шумерском гимне магов огня богу Солнца поется "меди и олова смешиватель ты". Вероятно это все же более поздний период.

Бронзовые инструменты были тверже медных, хорошо и легко затачивались. Металлургия бронзы позволила в несколько раз повысить производительность труда во всех отраслях человеческой деятельности. Значение меди и бронзы еще более возрастает, когда появляются деньги и скульптура.

Распространение технологии выплавки оловянных бронз способствовала легкость выплавки олова из руды – касситерита, имеющего высокое содержание $SnO_2$ и возможность получения бронз с различным содержанием олова при прямом дозировании.

Древние металлурги получали бронзы с различным содержанием олова. Сплавы с содержанием олова до 5% обрабатываются холодной ковкой, так как структура состоит в основном из α-твердого раствора Cu-Sn. Сплавы содержащие 5-45 % олова можно обрабатывать только горячей ковкой, так как в их структуре формируется вторая фаза, представляющая собой хрупкое соединение $Cu_{31}Sn_8$.

Для придания бронзе большей прочности в бронзу добавляли небольшие количества цинка, сурьмы и других элементов. Возможно, сначала эти элементы попадали в бронзу как случайные примеси, но затем их стали добавлять намеренно.

Свое название бронза получила значительно позже. Один из древнейших морских портов Италии Бриндизи в античные времена (тогда он назывался Брундизием) был конечным пунктом Аппиевой дороги, по которой в порт поступала добываемая в стране медь различных месторождений. Отсюда начинался путь этого металла во многие государства. Но медь редко была чистой; как правило, металл представлял собой сплав меди с оловом. Он мог получаться естественным путем в процессе плавки, поскольку в тех месторождениях, откуда была "родом" медь, ей обычно сопутствовало олово. Кроме того, в порт постоянно заходили греческие суда, перевозившие олово с Британских островов; вполне вероятно, здешние металлурги подметили, что сплав двух металлов, пути которых пересекались в Брундизии, обладает хорошими свойствами, и освоили его массовое производство. Вскоре этот сплав – "медь из Брундизия" – повсюду стали именовать бронзой.

Древние металлурги выплавляли бронзу в горнах с искусственным дутьем и сначала производили отливку в открытых глиняных или песчаных формах, представлявших собой просто углубление. Их сменили открытые каменные формы, вырезанные из мягких пород известняка, и которые можно было использовать многократно. Однако большим недостатком открытых форм было то, что в них получались только плоские изделия. Для отливки сложной формы они не годились. Выход был найден, когда изобрели закрытые разъемные формы. Перед литьем две половинки формы крепко соединялись между собой. Затем через отверстие заливалась расплавленная бронза. Когда металл остывал и затвердевал, форму разбирали и получали готовое изделие.

Каменные формы совершенствуют, устраивают в них газоотводные каналы, применяют формы не только с горизонтальным, но и с вертикальным разъемом, для получения отверстий в отливках используют глиняные стержни.

Такая технология позволяла отливать изделия сложной формы, но не обеспечивала получение фигурного литья. Такие изделия научились получать по выплавляемым моделям. При этом способе литья сначала лепилась из воска точная модель будущего изделия. Затем ее обмазывали глиной и обжигали в печи. Воск выплавлялся, а глина принимала точный слепок модели. В образовавшуюся таким образом пустоту заливали бронзу. Когда она остывала, форму разбивали. Благодаря всем этим операциям мастера получили возможность отливать даже пустотелые предметы очень сложной формы.

Бронзу упрочняли ковкой и таким образом изготовляли гвозди. Древние металлурги научились делать проволоку, листы и отливки сложной формы, оружие, котлы, художественные изделия. Постепенно были открыты новые технические

приемы работы с металлами, такие как волочение, клепка, пайка и кузнечная сварка, дополнявшие уже известные ковку и литье. Из бронзы изготавливали орудия труда (мотыги, рабочие топоры), оружие (наконечники копий и стрел, боевые топоры), посуду (миски, чашки, ритоны – сосуды в форме изогнутого рога), принадлежности конского убранства (удила, псалии или транзеля, бляхи), украшения и принадлежности костюма (пояса и поясные пряжки, фибулы – застежки для скрепления одежды, булавки для костюма, пуговицы, бляшки, застежки и подвески).

Были освоены технологические схемы, включающие литье заготовок изделий, окончательная форма которым придавалась затем ковкой. По такой схеме выполнена основная часть топоров, ножей, шильев, тесел и долот. У отлитых топоров проковке, как правило, подвергался клин. Сначала он вытягивался, а затем упрочнялся с помощью наклепа. Следы наклепа обнаружены на рабочей части большинства орудий и оружия. В производстве украшений ведущая роль отводилась литью по восковой модели. Однако в изготовлении простейших по форме бус, медальонов и подвесок большой популярностью пользовалась холодная ковка, сопровождаемая промежуточными отжигами для снятия возникающих при деформации напряжений. Мастера широко пользовались и финальным отжигом кованых украшений для возврата пластичности их металлу. Это было особенно важным для многовитковых спиральных браслетов: получение ими «пружинных» свойств становилось необходимым условием их использования. Совершенствовались плавильные печи (горны) и весь процесс выплавки бронзы.

Химические составы бронзовых изделий из различных регионов и в различные периоды существенно отличаются. Египетские изделия эпохи Древнего царства (XXVI-XXIII вв. до н. э.) содержали олова около 2%, топоры из Трои (XIV-VII вв. до н. э.) – 3,85-5,7%, изделия из Микеи (X - IX вв. до н. э.)-10-13%, а греческие бронзовые сосуды и монеты 14-17% (VI - IV вв. до н. э.). Древние металлургии регулировали состав бронз в соответствии с их областью применения. Для получения колоколов и зеркал, материал которых должен обладать хорошей способностью к полировке, а механические свойства не имеют такого значения китайские металлурги применяли бронзы содержащие до 50% олова. Для повышения пластичности и придания бронзе специфического красивого блеска в бронзу добавляли как серебро, так и золото.

Любопытное изображение технологического процесса изготовления отливок из бронзы обнаружено в египетской гробнице, относящейся к середине второго тысячелетия до н.э. Трое рабочих (должно быть, рабов, поскольку за ними наблюдает надсмотрщик с палкой) подносят металл к горну, где происходит плавление. Видны плавильные тигли, кучки древесного угля, корзина, в которой он доставлен в "литейный цех". Двое рабочих, обслуживающих мехи, и третий – с "кочергой" разводят и поддерживают огонь в горне. При помощи прутьев двое рабочих извлекают тигель с расплавленной бронзой из горна и переносят к литейной форме – здесь ведется разливка. Древний художник сопроводил рисунки текстом: иероглифы поясняют, что изображена отливка больших бронзовых дверей для храма, причем металл по указанию фараона доставлен из Сирии.

С давних пор бронза пришлась по душе ваятелям. Время сохранило великолепные бронзовые скульптуры, рожденные много веков назад, – "Марк Аврелий", "Дискобол", "Спящий сатир" и другие. Некоторые статуи из бронзы отличались гигантскими размерами. В начале III века до н.э. был создан Колосс Родосский – достопримечательность древнего порта на острове Родос в Эгейском море. Эта 32 метровая статуя бога Солнца Гелиоса, возвышавшаяся у входа в гавань,

считалась одним из семи чудес света. Творение скульптора Хароса просуществовало лишь немногим более полувека: землетрясение разрушило статую и она была продана сирийцам как металлолом.

Высокий уровень мастерства и наличие хорошо подготовленного, достаточно развитого литейного ремесла свидетельствуют изделия из бронзы, изготовленные скифскими мастерами. Скифы обитали в степной зоне Северного Причерноморья от Дуная до Дона в VIII в. до н. э. – IV в. н. э. Они применяли стрелы с граненым втулчатым наконечником из бронзы, которые получали в металлических формах. Литье в металлические формы – кокили – связано с определенными трудностями и требует достаточно высокой культуры производства. Скифские литейные формы для наконечников состояли из двух или трех металлических частей, формировавших наружную поверхность отливки, и стержня, предназначенного для выполнения внутреннего отверстия наконечника. Собранная форма скреплялась специальными обручами и устанавливалась вертикально. Ряд таких форм заливали расплавленной бронзой через верхнее отверстие. Впоследствии верхнюю часть отливки (прибыль) отламывали, а место излома в наконечнике соответствующим образом затачивали. Позже опыт скифского литья в кокиль был утрачен. Возник он вновь в России лишь в XVII в.

Скифы, используя метод литья по выплавляемым моделям, отливали большие (иногда до метра высотой) бронзовые котлы для варки пищи. В скифских котлах две части: корпус и коническая ножка. Корпус в плане представляет собой круг или, реже, овал. Чаще всего наибольший диаметр приходится примерно на середину их высоты, и только у отдельных котлов наиболее широкой частью является верхняя кромка корпуса. Орнамент представляет собой выпуклые литые узоры в виде горизонтальных линий, зигзагов или сетки. Во многих случаях такой орнамент выполнен наложением на восковую рубашку двухвиткового шнура толщиной около 4 мм. Иногда орнамент имеет сложные дополнения в виде фигур козлов, пальметок (стилизованный лист в орнаменте), букраний (изображение головы быка) или солярных знаков (знаков солнечного культа). В торце верхнего края котла отливали от двух до восьми вертикальных ручек дугообразной формы или звериного стиля. Изредка дуговые ручки выполняли в виде простых боковых приливов к верхней части корпуса. Конфигурация котла, небольшая толщина стенки, художественные украшения – все это делало его трудным для литья. Между тем скифы в отличие от других племен пошли на еще большее усложнение – они отливали корпус вместе с ножкой, часто орнаментированной горизонтальными и вертикальными валиками, зигзагами и шнуровым рисунком. Это могли себе позволить лишь литейщики, владевшие разнообразными приемами литья.

Китайские металлурги освоили гораздо более трудоемкий, чем литье по выплавляемым моделям, но и существенно более прогрессивный, метод «кусковой формовки». Этот метод сочетает в себе технику керамики и металлургии, что указывает на общий высокий уровень древней китайской промышленности.

Технология заключалась в следующем. Сначала делали модель из глины, на которой вырезали нужный рельеф. На модель напрессовывали пластины глины, получая обратное изображение модели. На каждом куске формы производили тонкую доводку рельефа, после чего эти куски глины обжигали, что само по себе требовало виртуозного мастерства, так как в процессе доводки и обжига не должен был нарушаться рисунок. После этого первоначальную глиняную модель зачищали на толщину стенок будущей отливки, получая в итоге некий «стержень» для

формирования внутренней полости отливки. Обожженные куски формы собирали вокруг стержня, создавая, таким образом, цельную форму. При этом швы и стыки между кусками формы специально не заделывались наглухо, чтобы в них мог затекать металл. Это делалось для того, чтобы застывшему в швах металлу можно было придавать вид изящной кромки, вносившей в изделие особый декоративный изыск. По завершению сборки такой сложной формы, в пустое пространство между «стержнем» и формой заливался расплавленный металл. После окончания литья форма разламывалась и больше не употреблялась.

В Восточной и Юго-Восточной Азии развилось литье бронзовых статуй Будды. Искусными мастерами в области бронзового литья были японцы, китайцы, корейцы. Огромная фигура Будды в храме Тодайдзи, созданная в VIII веке, весит более 400 тонн. Общая высота скульптуры – 22 метра, из них только фигура Будды – 16 метров. Внутри скульптура полая. Будда по весу превосходит в два раза известную статую Свободы в Нью-Йорке. Чтобы отлить такую уникальную статую, требовалось поистине выдающееся мастерство и высокий технический уровень литейного дела.

С течением времени технология литья все более совершенствовалась, количество литых изделий увеличивалось. В первую очередь это были изделия художественного литья, серпы, оружие, предметы роскоши и украшения, предметы религиозного назначения.

В XI XIV вв. в Западной Европе и Руси широкое распространение получили бронзовые двери и надгробья в соборах, освоено изготовление конных статуй литьем бронзы по выплавляемым моделям. Технология получения изделий совершенствовалась, конструкция их усложнялась. Бронзовыми статуями и памятниками стали украшать многие города Европы. Статуи отливали способом восковой формовки. Сначала изготавливали из гипса или глины стержень-болван, имеющий грубо приближенное очертание будущего изделия. На болван наносили восковую модель изделия, прикрепляли восковую модель литниковой системы. Модель покрывали формовочной смесью. Форму сушили, восковую модель выплавляли и в полученную форму заливали расплавленный металл.

Большой шаг вперед в развитии бронзового литья был сделан, когда началось литье колоколов и пушек (XV-XVI вв.). Был отработан состав колокольной бронзы: около 20% олова и 80% меди. Такой состав обеспечивал хорошее звучание, высокую твердость, прочность, вязкость. Иногда в сплав добавляли небольшие количества цинка, свинца, железа, что повышало литейные свойства, но ухудшало звучание колоколов.

У некоторых народов о колоколах сложены волнующие легенды. Так, в Корее еще в VIII веке был отлит огромный 48-тонный колокол, звук которого необычайно красив. По преданию, дочь мастера, чтобы избавить отца от многочисленных неудач, бросилась в расплавленный металл и в нем застыл ее предсмертный крик. Но обычно мастера-литейщики обходились без таких жертв: меняя состав бронзы и размеры отливки, они создавали удивительные "стозвонные" колокола, звучавшие "во дни торжеств и бед народных". Мастерами было освоено литье колоколов гигантских размеров. Так, в 1453 году во Франции был отлит колокол массой более 17 т, диаметром 10 м и высотой 3,33 м. Колокола различной массы, а, следовательно, различной тональности устанавливали в Европе на башенных часах (курантах). В России первые куранты были установлены в 1625 г. на Спасской башне Московского кремля.

В Москве в 1575-1578 гг. на Пушечном дворе было начато литье пушек и колоколов, где в 1585 году Андрей Чохов отлил "Царь-пушку" массой 39 т, длиной 5,34 м. Всего им было создано более 20 тяжелых орудий, некоторые из которых служили долго и, даже, участвовали в войне Петра 1 с Швецией (1700-1721 гг).

В 1600 году Андрей Чохов отлил колокол, названый «Царем», весивший около 40 тонн. Во время пожара он упал и разбился. В 1652 году Данила и Емельян Даниловы отлили колокол весом 130 т. При рождественских звонах 1654 года исполин разбился. Из этого металла Александр Григорьев отлил новый колокол, вес которого был уже 160 т. При пожаре 1701 года он упал с устроенной для него деревянной конструкции и разлетелся на куски.

В 1733-1735 гг. Иваном Моториным и его сыном Михаилом был отлит "Царь-колокол", предназначавшийся для Успенского собора Московского кремля. И. Моторин уже имел большой опыт отливки артиллерийских орудий и крупных колоколов. Им было отлито 115 артиллерийских стволов, а также 12 колоколов, из них два находятся в Кремле: Великопостный (1704 года изготовления) и Набатный (1714-го) весом около 2 т.

Всю сложность литья таких крупных изделий можно оценить из следующего описания технологического процесса отливки «Царь-колокола». Подготовительные работы заняли почти два года. На территории Кремля была выкопана 10-метровая яма. Стены ямы укрепили дубовым срубом и выложили кирпичом. В центре установили шаблон соответствующий внутреннему профилю колокола. По этому шаблону вылажили кирпичную кладку, в которой оставили каналы. По другому шаблону окончательно довели кладку стержня из кирпича-сырца и оформили внешнюю поверхность стержня послойно глиной, смешанной с мелко толченым огнеупорным кирпичом и песком. Для того, чтобы слои лучше держались, их обматывали веревкой. Для ускорения их сушки внутри стержня разводили огонь. На высушенный болван-стержень наносили огнеупорную краску, просушивали и смазывали поверхность салом. После этого устанавливали новый шаблон с внешними очертаниями колокола и из жирной глины, укрепляемой льняными волокнами, формировали стенку колокола. На поверхность наносили слой краски из сала, мыла и воска, сушили и накладывали рельефные части орнамента, надписи приготовленные отдельно из воска. Затем изготавливали наружный кожух формы, используя шаблон . Кожух делали также, послойно, с промежуточной просушкой каждого слоя. Первые слои наносили из жидко разведенной формовочной смеси, последующие из более густой. Для улучшения газопроницаемости между отдельными слоями прокладывали льняные волокна и телячью шерсть, для повышения прочности кожуха в него закладывали железные прутья-ребра и обручи, к которым привязывались ребра. На внешнюю поверхность законченного кожуха накладывали железные, более толстые ребра, у которых верхние концы были загнуты в виде крючков для цепляния кожуха при его съеме, а нижние загибались под нижнюю кромку кожуха. Поверх ребер размещали обручи, стягиваемые болтами. Форму сушили и восковое покрытие выплавляли. Кожух снимали, удаляли глиняную рубашку со стержня, подправляли рабочие поверхности кожуха и стержня и форму собирали: удаляли шпиндель, надевали кожух, устанавливали отдельно изготовленную часть формы, выполняющую коронку колокола, с каналами и чашей для заливки формы. Литейную яму засыпали землей, тщательно утрамбовывая. Возле литейной ямы были поставлены 4 литейные печи, в которые загрузили лом старых колоколов и добавили 16 т меди и 5 т олова. Однако при плавке вышли из строя две литейные печи, металл стал вытекать на землю. Чтобы не допустить дальнейшей

утраты металла и отремонтировать печи, И. Моторин выпустил плавку в запасные «печуры». Во время этого процесса произошел взрыв, в результате сгорели почти все деревянные конструкции. При подготовке новой отливки внезапно умер Иван Федорович Моторин, его место занял сын. Через три месяца приступили к новой, третьей по счету отливке. Для предотвращения пожара литейщики вокруг печей поставили 400 человек с пожарными трубами. 23 ноября 1735 года снова зажгли печи, и через 36 часов плавки выпустили медь в колокольную форму. Литье шло 46 минут, каждую минуту поступало по 7 т металла. Изготовление гигантского «Царь-колокола» весом 201т 924 кг (высота 6, 14 м, диаметр 6,60 м) было завершено 25 ноября 1735. В сплаве Царь-колокола содержится 84,51 % меди, 13,21% олова, 1,25 % серы, а также 72 кг золота и 525 кг серебра. Во время пожара находившуюся в яме отливку поливали водой, в результате возникших напряжений от нее откололся кусок массой 11,5 тонн. Колокол находился в яме свыше 100 лет. В 1836 г. он был поднят и установлен на пьедестале как памятник русским литейщикам.

Из бронзы отливали огнестрельное оружие. Сначала это были короткоствольные мортиры калибром 50-100 мм и длиной 5-6 калибров. В XV в была разработана технология получения длинноствольных орудий с глубоким сверлением ствола. Были получены бомбарды калибром 900-120 мм стрелявшие каменными ядрами. Бронза для литья пушек содержала 9-10 % олова, что обеспечивала большую вязкость по сравнению с бронзой для литья колоколов. Стволы для пушек изготавливали формованием по шаблону. Деревянный сердечник, имеющий диаметр канала, обматывали льняным канатом, затем покрывали глиной, а сверху расплавленным воском. По восковому слою наносили все лепные (тоже из воска) украшения и надписи, выполненные в зеркальном отображении. После этого воск густо обмазывали жиром и снова покрывали толстым слоем глины. Когда глина хорошо высыхала, мастера осторожно удаляли верёвку, а потом и стержень. Вокруг заготовки разжигали костры. Под действием высоких температур воск постепенно вытапливался, а глиняный монолит приобретал прочность камня. Получалась готовая форма для литья, которую укрепляли железными полосами. Точно по центру формы с чрезвычайной осторожностью устанавливали сердечник – он занимал место будущего канала ствола. Если стержень устанавливали криво, то стенки пушки получались неравномерными по толщине и такое орудие при стрельбе могло разорваться. Форму устанавливали вертикально, устраивали литниковую систему для подвода металла, пространство вокруг формы забивали сухой землей. Затем в форму заливали расплавленный металл и, когда он затвердевал, форму разбивали, добывая из неё отливку. В этом полуфабрикате ещё отсутствовало запальное отверстие, его высверливали позднее. Пушку очищали от наплывов бронзы, прочеканивали рисунок, полировали. На основе одной формы, можно было отлить одно-единственное орудие и на его изготовление обычно уходило от года до полутора лет.

Все пушечные стволы отличались калибром и длиной ствола, типом. Пушки украшали орнаментом, барельефами, надписями. На Руси им присваивали имена, например, «Гамаюн», «Барс», «Лев», «Аспид», «Инрог». Последняя имела длину 5 м, калибр 216 мм и могла стрелять ядрами массой 28 кг на расстояние более 1 км.

Умельцами были изготовлены многоствольные артиллерийские системы, состоявшие из разного количества стволов небольшого калибра, собранных на одном станке или лафете, именовавшихся «скоропалами» или «сороками». Сохранились сведения об изготовленной Андреем Чоховым стоствольной пищали, которая стояла у ворот Кремля. Каждый из стволов заряжался ядром размером примерно 50 мм. Другой

любопытный факт – первопечатник Иван Федоров тоже умел отливать пушки и даже изобрел многоствольное орудие, стрелявшее очередью. Судя по описанию этой артиллерийской установки, составленному им самим и датированному 1583 годом, огонь каким-то хитрым образом сам собой передавался от одного запального отверстия к другому. К сожалению, оба этих чуда средневековой техники не сохранились.

Ручное оружие появилось в XII-XIII вв. Его изготавливали из бронзовых цилиндрических отливок. Длина ствола составляла 30-50 см, диаметр канала, который получали сверлением, равнялся 13-30 см. В казенной части высверливалось отверстие и приваривалась полка для затравочного пороха. В конце XV в. было разработано замковое запальное оружие, которое в Европе называли аркебузами, а на Руси пищалями. Такое оружие имело массу 3-4 кг, калибр 13-18 мм и длину ствола 30-50 калибров.

Металл в те времен был в дефиците, как правило, в переплавку после каждой войны шли пушки и прочее огнестрельное оружие. Иван Грозный и Петр Первый из-за нехватки материала на новые пушки переплавляли колокола, там же поступал и Наполеон. Но в России существовала и обратная традиция – из трофейного оружия выплавлять колокола. Наиболее известный – колокол Успенской звонницы Московского Кремля. По преданию, он изготовлен из пушек армии Наполеона.

Совершенствование технологии литья привело к стандартизации калибров, улучшению конструкции, расширению номенклатуры пушек. Были получены пушки с нарезными стволами. Еще во время первой мировой войны 1914-1918 гг. в Русской армии применялись бронзовые мортиры. Однако эпоха бронзовых пушек завершилась.

Совершенствовалось литье памятников. В 1764 году в Санкт-Петербурге при Академии художеств был создан "Литейный Дом", где были отлиты, в частности, памятники А.В. Суворову, М.И.Кутузову, Барклаю де Толли, скульптуры коней на Аничковом мосту (П.К.Клодт, 1830г.), памятник К.Минину и Д.Пожарскому (скульптор И.П.Мартос, литейщик В.П.Екимов, 1816г.), в Москве, памятник "Тысячелетие России" и ряд других. Выдающимся произведением искусства стал "Медный всадник" (Э.М. Фальконе, 1782г.).

К началу XX фасонные отливки из оловянных бронз изготовляли литьем в песчано-глинистые формы, а слитки массой не более 200 кг – литьем в чугунные изложницы. Одновременно началось освоение фасонного и заготовительного литья из специальных бронз – алюминиевых, кремниевых, марганцевых, никелевых различного функционального назначения.

В заготовительном литье (получение слитков для последующего деформирования с целью изготовления полуфабрикатов) в 1920-1930 гг. вместо чугунных начали широко использовать водоохлаждаемые изложницы, В 1940—1950 гг. происходит внедрение полунепрерывного и непрерывного литья слитков из алюминиевых, магниевых, медных и никелевых сплавов, литье под давлением.

В 1940-1950 гг. произошел массовый переход от литья в песчаные формы к литью в металлические формы – кокили, литью под давлением цветных металлов и сплавов: цинковых, алюминиевых, магниевых, бронз и латуней. Начиная с 1920-1930 гг. для плавки цветных металлов и сплавов начали применять электрические печи – сопротивления, индукционные канальные и тигельные. Происходит совершенствование технологии всего литейного производства, что привело к повышению качества отливок, экономии металла, получению отливок сложной формы.

И в настоящее время технология литья колоколов и скульптур совершенствуется и развивается. В 1954 г был изготовлен литой бронзовый памятник Юрию Долгорукому

– основателю Москвы. В 2000 г. для храма Христа Спасителя в Москве на заводе ЗИЛ отлит комплект колоколов, самый крупный из которых имеет 27 т. Для Свято-Троицкой Сергиевой лавры в 2003 г. на Балтийском заводе в Санк-Петербурге отлит колокол массой 72,2 т.

Бронза остается востребованной и имеет большое применение в современном производстве.

В настоящее время бронзы по химическому составу подразделяют на оловянные и безоловянные. У оловянных основным легирующим компонентом является олово. В качестве дополнительных компонентов такие бронзы могут содержать свинец, фосфор, цинк. С добавкой олова медь приобретает большую легкоплавкость, упругость, твёрдость. Дополнительные компоненты улучшают механические, литейные, а также антифрикционные свойства. Безоловянные, в зависимости от основного легирующего элемента, подразделяют на алюминиевые, кремниевые, марганцевые, никелевые, бериллевые. Они не уступают по свойствам оловянным бронзам, а по некоторым даже превосходят их.

По технологическому признаку бронзы делят на деформируемые и литейные. Деформируемые – хорошо поддающиеся механической обработке: штамповке, рифлению, ковке. Из деформируемых бронз изготавливают листы, проволоку, пруток, ленту, пружины, прокат для составляющих химических приборов, регулирующей арматуры отопительных систем и трубопроводов различного назначения.

Литейные, имеющие хорошие литейные свойства, применяют для получения фасонных отливок. Из литейных бронз делают различные детали для машин: арматуру, работающую в пресной и морской воде, вкладыши подшипников и другие антифрикционные детали. Некоторые бронзы для повышения свойств подвергают термической обработке.

Изделия высокохудожественных форм в театрах, дворцах, залах (люстры, торшеры, канделябры) также изготавливаются из бронзы. Широкое распространение получила бронза для изготовления монет и медалей. Бронза, из которой чеканят монеты и медали в новое время, обычно состоит из 95 % меди, 4 % олова и 1 % цинка. В современной монетной технике часто используют сплав меди с 7-10 % алюминия.

**Список литературы:1.** Беккерт М. Мир металла. / М.: Мир, 1980. – 152 с. **2.** Венецкий С. И. Рассказы о металлах. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 240 с. **3.** Гнесин Г. Г. К истории зарождения металлургических технологий в бронзовом веке. Порошковая металлургия. – 2013. – № 7/8. – С. 140-150. **4.** Зайцев Г. Н. История техники и технологий / Г. Н. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Атрошенко. СПб.: Политехника, 2007. – 416 с. **5**. Петриченко А. М. Искусство литья. – М.: Знание, 1975. – 160 с. **6**. Колокола. История и современность. Под редакцией академика Б. В. Раушенбаха, М.: Наука, 1985. – 315 с. **7.** Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений / Б. Н. Арзамасов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с. **8.** Рубцов Н. Н. История литейного производства в СССР. Часть 1. – М.: Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1962. – 288 с. **9.** Словарь нумизмата: Пер. с нем. / Х. Фенглер, Г. Гироу, В. Унгер // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1992. – 382 с. **10.** Цыркин А. Т. Технологии получения меди и изделий из нее от Древнего мира до современности /А. Т. Цыркин // Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2017 г. – Донецк: МСМ, 2017. – С. 254-262.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

**Чесноков А.В., Старцев В.А., Андреев В.Н., Перевезенцев В.А.**
(*ГБОУ ВО МО «Технологический университет», Королев, МО, Россия*)
**Тимофеев А.Н., Тимофеев И.А.** (*ОАО «Композит», Королев, МО, Россия)*
*E-mail: Chesnokov@ut-mo.ru, timofeev.ivan@mail.ru*

***Abstract:*** *The practical results of an engineering center in the field of manufacturing reinforced products of the carbon-PEEK automated methods: contour weaving; rod assembly frames; injection and compression; additive technology*
**Key words:** carbon-PEEK; weaving; rod frames; injection and compression; additive technology

Для участия в решении ключевых направлений технологического прорыва и повышения доли производства высокотехнологичной продукции в рамках нового приоритета «Материалы и глубокая переработка сырья». В Московском государственном областном технологическом университете совместно с ОАО «Композит» создан Инжиниринговый центр «Высокотемпературные композиционные материалы». Созданный центр является важнейшей составляющей подготовки высококвалифицированных кадров по базовым для региона специальностям и инновационного развития на базе университета совместно с ведущим материаловедческим предприятием Федерального космического агентства.

В мире активно развиваются и продолжат свое развитие в будущем следующие группы материалов: интеллектуальные материалы, метаматериалы, полимерные и полиматричные композиты и др. [1-3]. Эти материалы с улучшенными служебными характеристиками необходимы, в том числе, для создания изделий авиационной техники следующего поколения. Были определены приоритетные направления работы инжинирингового центра, в том числе в рамках договоров с ОАО «Композит»: разработка технологий получения композиционных материалов на основе высокотемпературных термопластичных полимеров, в том числе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и современных автоматизированных технологий изготовления пространственных армирующих каркасов из углеродного волокна.

Композиционные термопластичные материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с термореактивными из которых следует отметить: повышенную стойкость к ударным нагрузкам на 20-40% и локальным повреждениям, высокую устойчивость к воде и дождевой эрозии, химическую стойкость, в том числе к авиационным топливам и маслам, огнестойкость, пониженное дымообразование и токсичность, ремонтопригодность [4].

Из известных угленаполненных композиционных термопластичных материалов наиболее высокие эксплуатационные характеристики (прочность, жесткость, химостойкость и др.) имеет композит на основе ПЭЭК матрицы армированной непрерывными углеродными волокнами. Многими фирмами ведутся исследования ПЭЭК материала армированного углеродными волокнами. Например [1], Британская фирма «ICI» разработала на основе ПЭЭК и углеродных волокон материалы APC-1, APC-2, содержащие 52 и 61% об. волокон. Исследованию аналогичных материалов посвящено большое количество работ, но значительная часть публикаций носит

рекламный характер: в них отсутствуют методы подготовки наполнителя и технологические параметры получения изделий.

Проанализировав характеристики материала и группы изделий, которые рационально изготавливать из ПЭЭК армированного углеродными волокнами определены приоритетные технологии, развиваемые в инжиниринговом центре:

- получение изделий с применением контурного плетения;
- получение изделий с применением 3Д плетения;
- получение изделий на основе стержневых каркасов;
- получение изделий с применением инжекции и прессования;
- получение изделий с применением аддитивных технологий.

Для исследований и реализации технологий контурного плетения проведен анализ потенциальных объектов производства и определены габаритные и конструктивные их особенности. На основании комплексной характеристики объектов производства сформулированы требования к плетельному оборудованию в виде технического задания и реализовано в виде оборудования поставщиком (рис.1 а). При разработке оборудования особое внимание уделялось снижению повреждения углеродных жгутов при плетении. Радиально-плетельная машина РП64-1-130 лабораторного класса с расширенными технологическими возможностями имеет по 64 веретена в двух направлениях движения и 64 веретена скелетного армирования. Оборудование позволяет: наносить оплеточный слой со сплошной поверхностной укрывистостью диаметром до 180 мм и более при сетчатой структуре; оплетать изделия длиной до 1500 мм при закреплении на опорах; изготавливать изделия с криволинейной осью за счет подвижных опор в плоскости перпендикулярной плетельной. Разъёмная конструкция плетельного модуля позволяет изготавливать изделия замкнутой формы. Имеется возможность плетения лент, предусмотрен узел вытяжки рукава. Управление плетением и перемещением опор осуществляется по программе.

Для расширения возможностей плетельного оборудования в направлении оплетания изделий с изогнутой осью в двух плоскостях был выигран и реализован Грант «Разработка автоматизированной системы перемещения оправки при контурном плетении изделий двойной кривизны и разработка программного обеспечения управления плетельной оснасткой». В результате усовершенствованы узлы закрепления оправок, добавлено две программно-управляемые координаты (рис. 1 б) узлом поворота оправки вокруг оси плетения (А) и вокруг вертикальной плоскости (Б), в направлении X увеличено перемещение до 1100 мм. Изменения были необходимы для повышения маневренности опоры при подаче оправок с большой кривизной.

Разработана библиотека для программы Компас-3D, позволяющая генерировать твердотельную модель плетеной структуры с использованием API Компас-3Д v.17.1. Библиотека применяется для решения ряда текущих задач: помощь при разработке управляющих программ управления плетельной оснасткой; моделирование плетеной структуры для визуального контроля оператору плетельной оснастки; анализ параметров плетеной структуры по наполнению слоя волокном и углов армирования в различных сечениях изделия; и перспективных задач: сопоставление результата нанесения плетеного слоя с эталонной моделью плетеного слоя, средствами машинного зрения; динамический контроль технологического процесса плетения и автоматизированная корректировка технологических параметров; прочностной анализ изделия на основе смоделированной плетеной структуры с учетом углов укладки нити в каждой элементарной ячейке. Пример моделирования оправки с изменяющейся

формой сечения вдоль оси с пространственной кривизной представлен на рисунке 2 а. Примеры изготовленных плетеных изделий представлены на рисунке 2 б.

Автоматизированная система перемещения оправки при контурном плетении изделий двойной кривизны и разработанное программное обеспечение управления плетельной оснасткой позволят сократить длительность и трудоемкость изготовления деталей сложной формы, что расширит область применения и позволит изготавливать: трубчатые профили, стрингеры, шпангоуты, фитинги и другие элементы ферменных конструкций для летательных аппаратов и космических аппаратов. Применение разработанной технологии производства деталей из композиционных материалов позволит перейти на новый уровень управления свойствами и формой изделий, повысить интегрированность конструкций, сократить трудоемкость изготовления деталей, снизить вес конструкций в целом.

Рис. 1. Установка контурного плетения

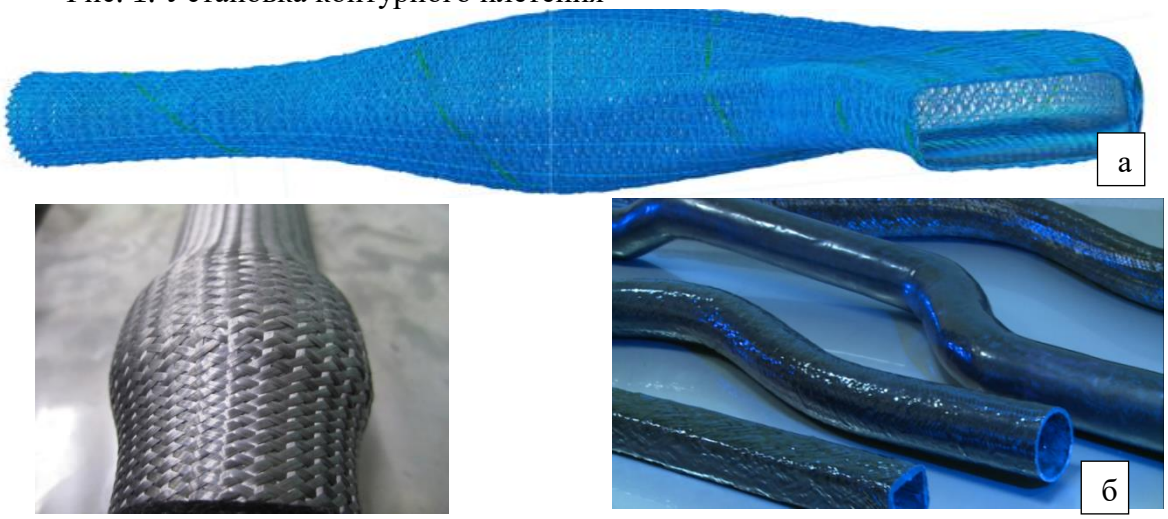



Рис. 2. Пример моделирования оправки и плетеных изделий

В рамках реализуемого грата «Разработка и реализация автоматизированной системы управления 3Д плетением, разработка программного обеспечения управления плетельной оснасткой и моделирования получаемых структур» будет модернизирована установку диагонального плетения с пятью рядами по пять крылаток (5x5), обеспечив возможность программного управления сорока «перекрестками», определяющими направления движения веретен; будет разработано программное обеспечение моделирования получаемых плетеных преформ и подготовки управляющих программ для управления оборудованием. 3Д плетение позволяет изменять форму сечения получаемой преформы в процессе плетения, что достигается изменением траектории движения веретен по программе. В определенный промежуток времени изменяется положение задающих движение веретен - «перекрестков», и веретена начинают двигаться по другим траекториям, изменяя переплетение. Траектории движения веретен должны быть рассчитаны и согласованы между собой, чтобы не допустить соударения веретен. На этапе отработки планируется получить профильные изделия «Т», «Н», «П» и другие сечений с переходами от одного сечения к другому. Такие преформы применяются в качестве шпангоутов и силовых элементов авиационно-космических конструкций, применяются в ферменных размеростабильных конструкциях космических аппаратов. Пример оборудования и получаемых преформ 3Д плетения представлен на рисунке 3. Развитие технологии 3Д плетения является приоритетным в промышленно развитых странах.

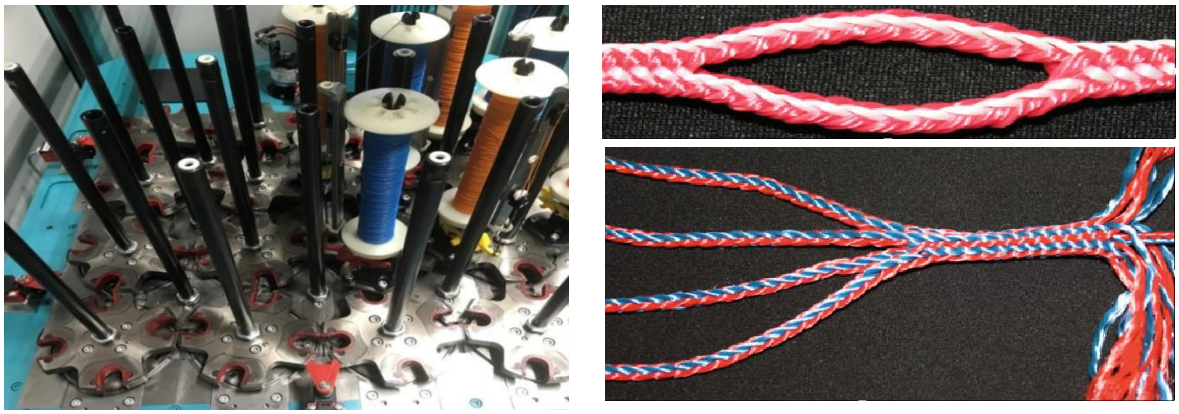


Рис. 3. Пример оборудования и получаемых преформ 3Д плетения

Ведутся исследования по разработке новых материалов и технологий для аддитивных технологий. Получены первые результаты в направлении изготовления нитяного термопластичного препрега на основе углеродного волокна и ПЭЭК для аддитивных технологий производства высокотемпературных композиционных материалов. Проведен ряд экспериментов в части приемов пропитки волокнистых наполнителей термопластичными связующими. Разработаны варианты нестандартной технологической оснастки.

Процесс автоматической сборки мелкоячеистых стержневых каркасов является сложным и трудным в реализации. Изготовлена лабораторная оснастка и проведена отработка процесса сборки каркасов структуры 4Д-л. Выявлены узлы оснастки, требующие модернизации, разработаны и изготовлены модернизированные узлы. Для повышения производительности установлено два подающих устройства. Система управления модернизирована для управления восьмью приводами по программе с

обратной связью, реализован контроль этапов процесса сборки. Разработано специальное программное обеспечение и выполнен пульт с мнемосхемой установки для управления оснасткой. Проведенный комплекс модернизации оснастки позволил создать оборудование, ориентированное на серийную сборку мелкоячеистых стержневых каркасов размером до 360 мм в диаметре и высотой до 500 мм.

Выведена зависимость вариация плотности каркасов от вариации диаметра стержней в пределах поля допуска. Обоснованы пути повышения плотности каркасов в том числе для различных форм поперечного сечения стержня.

Ведутся исследования по совершенствованию технологии изготовления изделий армированных углеродной тканью методом термического прессования с высокотемпературной матрицей из ПЭЭКа. Изготовлена специальная оснастка и отработаны режимы прессования. Степень наполнения изделия полимером рассчитывалась, и выбиралась необходимая толщина пленки связующего из доступного ряда. Технология прессования отрабатывалась при прессовании послойно чередующегося пакета плёнки APTIV 2000 из полимера VICTREX® PEEK и углеродной ткани УТ-900. Расчетом и корректировкой по экспериментальным данным удалось подобрать рациональные параметры режима нагрева и прессовании. Достигнута равномерность заполнения пор ткани ПЭЭК и получен равнотолщинный материал (рис 4 а). Прочностные характеристики полученного материала существенно ниже данных приводимых в зарубежных источниках, но в зарубежной литературе не описывается технологические особенности изготовления, только рекламная информация не позволяющая воссоздать процесс. Так как отечественных результатов исследований нет по формованию таких пластиков, полученные результаты очень важны для дальнейшего совершенствования процесса изготовления углерод-ПЭЭК композитов. Достигнутые характеристики материала: $\sigma_p$ 338±97МПа; $E_p$ 44,2±16,1 ГПА; εр, % 0,79±0,38.

Проведен цикл экспериментов по пропитке тканых углеродных преформ расплавом ПЭЭК, на данном этапе оценивалось качество пропитки образцов. Получены качественные образцы материала с заполненным межволоконным пространством высокотемпературным полимером (рис. 4 б).

Ведутся исследования технологии термотрансферного литья под давлением, отработаны режимы получения высокотемпературного легкого крепежа из суперконструкционных пластиков, таких как: стекло-наполненный (40%) полифениленсульфид (ПФС); угле-наполненный (40%) полиэфирэфиркетон (ПЭЭК); полиэфиримид (ПЭИ), а также композиция на его основе, армированная базальтовыми волокнами (40%). Работы проводились на двух термопластавтоматах: вертикальном Shanghai Langle Machinery Co. производства КНР; горизонтальном, Arburg производства Австрии. Изготовлена пресс-форма (рис. 5 а) и проведена отработка процесса литья под давлением крепежных изделий - болт М6х60, болт М8х60, шпилька М6х80, шпилька М8х80 (рис. 5 б). Полученные при отработке режимов литья изделия, прошли испытания по определению физико-механических характеристик, а также проведен анализ их микроструктуры. Проведено сравнение полученных характеристик изделий из каждого материала. Разработаны и введены Технические условия на крепежные детали и соединения из полимерных композиционных материалов.

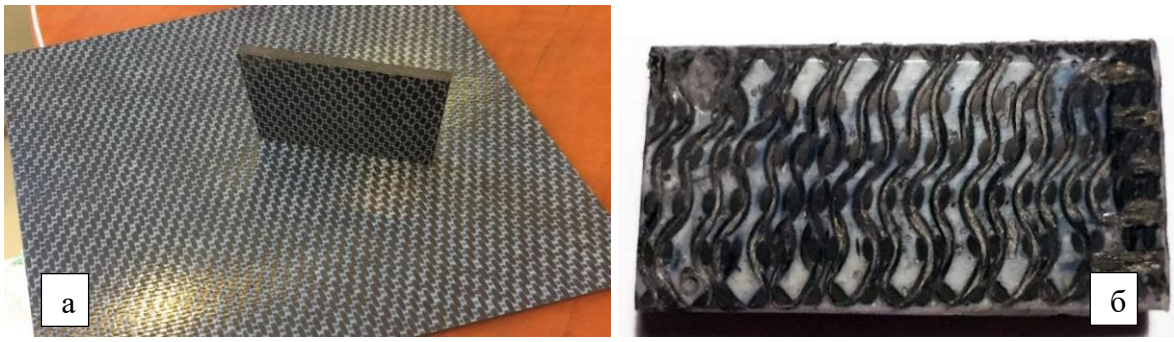



Рис. 4. Углерод-ПЭЭК композит

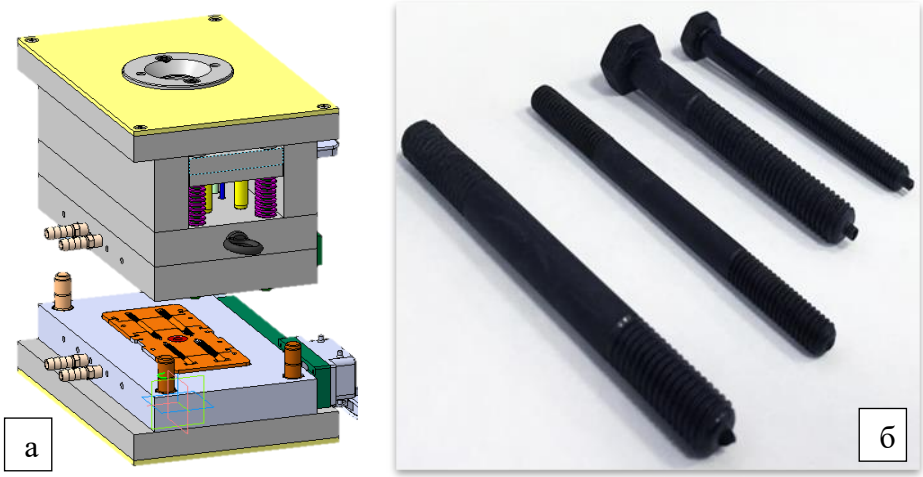



Рис. 5. Пресс-форма и изделия

Полученные изделия не требуют дополнительной обработки. Предел прочности при растяжении полученных изделий: шпилька М8 - 127 ± 8 МПа; шпилька М6 - 134,7 ± 11,3 МПа; болт М8 – 79,5 ± 6,6 МПа; болт М6 - 97,2 ± 14,4 МПа. Плотность крепежных изделий 1,3 ±0,1 гр./см$^3$. Проводятся эксперименты по дополнительному армированию изделий стержнями и углеродной нитью. Достигнута прочность крепежа из ПЭЭК марки 90HMF40 близка к прочности алюминиевого сплава АМг5 и в 2 раза его легче. По температурам эксплуатации полностью заменяет алюминий.

Контроль микроструктуры получаемых материалов, в том числе для определения распределения волокон в материале и проникновение ПЭЭК в структуру углеродного волокна выполнялся с применением измерительной установки SIAMS 700 на базе оптического микроскопа Olympus. В результате сканирования поверхности образца в автоматическом режиме получаем панорамы по технологии пирамиды разрешений, что позволяет работать с большими файлами без потери качества отсканированной структуры.

Получаемые материалы проходят анализ пористости на эталонном порометре «Porosimeter 3.2» и анализ микроструктуры.

Снижение пористости материала и уменьшение придела варьирования физико-механических характеристик изделий текущая задача оптимизации процесса изготовления углерод-ПЭЭК композита.

**Список литературы: 1.** Tencate. Advanced composites. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Aerostructures. http://www.tencate.com/advancedcomposites/ aerospace-applications/aerostructures/default.aspx. **2.** Campbell F.C. «Manufacturing Processes For Advanced Composites» Published by Elsevier Advanced Technology The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB. UK, 2003 г. - 517с. **3.** Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Polymers, High-Temperature. D. Parker, J. Bussink, H.T. Grampel. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2012. - 42 p. **4.** Термопласты конструкционного назначения. Под ред. Е.Б. Тростянской. М., «Химия», 1975 г. - 240с. **5.** Тимошков П. Н. Пропитка пленочным связующим (RFI) как перспективная безавтоклавная технология получения изделий из ПКМ // П. Н. Тимошков, А. А. Платонов, А. В. Хрульков / Труды ВИАМ. 2015. № 5. С. 9-16.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ЗАХВАТА ШНЕКОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

**Шабаев О.Е., Нечепаев В.Г., Зинченко П.П.** *(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*

***Abstract:*** *The technique of determination of optimum width of capture of the screw of coal combines for thin layers by criterion of the minimum power consumption of processes of destruction and loading is offered. Regression dependences of power and specific energy consumption of loading of coal on width of capture and speed of movement of the coal combine are established. It is established that specific energy consumption on destruction and loading of coal by executive body can be essential (to 2 times) are lowered by the choice of rational width of capture for the set mining-and-geological and mining conditions.*
***Key words:*** *capture width, loading power, coal destruction power, technical productivity, feed rate of the coal combine.*

Основным источником энергетических ресурсов в Донецком регионе является каменный уголь, запасы которого оцениваются в 6,84 млрд. т. Большая часть этих запасов (83,2 %) сосредоточена в тонких пологонаклонных пластах мощностью 0,55 – 1,2 м [1], характеризующихся неспокойной гипсометрией, наличием прослойков и твердых включений - что практически исключает возможность применения струговых комплексов и агрегатов. Это определяет актуальность работ, направленных на создание высокоэффективных очистных комбайнов для работы в условиях тонких пологонаклонных пластов [1].

Основной современной тенденцией при выемке углей из тонких пологонаклонных пластов является применение узкозахватных очистных комбайнов в составе механизированных комплексов [2-3]. Процесс выемки углей очистными комбайнами для тонких пологонаклонных пластов характеризуется высокими энергозатратами из-за низкой погрузочной способности шнековых исполнительных органов [2-3]. Обеспечение высокопроизводительной работы очистного комбайна в этих условиях требует повышения мощности привода исполнительного органа, что обуславливает возрастание массы и габаритов машины [5]. (Повышение мощности привода резания на 10 кВт определяет увеличение массы комбайна примерно на одну тонну).

Альтернативным (наращиванию мощности) направлением совершенствования очистных комбайнов для тонких пологонаклонных пластов является снижение

энергоемкости процесса выемки угля за счет оптимизации значения ширины захвата исполнительного органа по критерию минимальных энергетических параметров выемки.

Целью настоящей работы является установление оптимальных значений ширины захвата шнекового исполнительного органа по критерию минимальных энергетических параметров процесса выемки угля.

Основными показателями для оценки энергоэффективности очистных комбайнов, как правило, служат мощность привода исполнительного органа и удельные энергозатраты, которые в совокупности определяют теоретическую производительность, массу машины и ее надежность.

Наиболее распространенным для очистных комбайнов является шнековый исполнительный орган, в первую очередь в силу простоты его конструкции и высокой приспособленности к четкой отработке границы «уголь-боковые породы». Функционирование шнекового исполнительного органа сопровождается двумя одновременно протекающими процессами – разрушением забоя и погрузкой разрушенной горной массы на забойный конвейер. Соответственно, общее потребное значение мощности определяется суммой мощности на разрушение $P_p$ и на погрузку $P_n$:

$$P = P_p + P_n, \text{ [кВт]}.$$

Мощность на разрушение забоя определяется расчетным путем. Используя приведенную в [4] методику, получено уравнение регрессии для определения значений мощности на разрушение $P_p$ как функции скорости подачи комбайна ($V_n$, м/мин) и ширины захвата шнека ($B_3$, м):

$$P_p(V_n, B_3) = 11{,}44 \cdot B_3 \cdot V_n + 84{,}48 \cdot B_3, \text{ [кВт]}.$$

Графическая интерпретация зависимости приведена на рис.1.

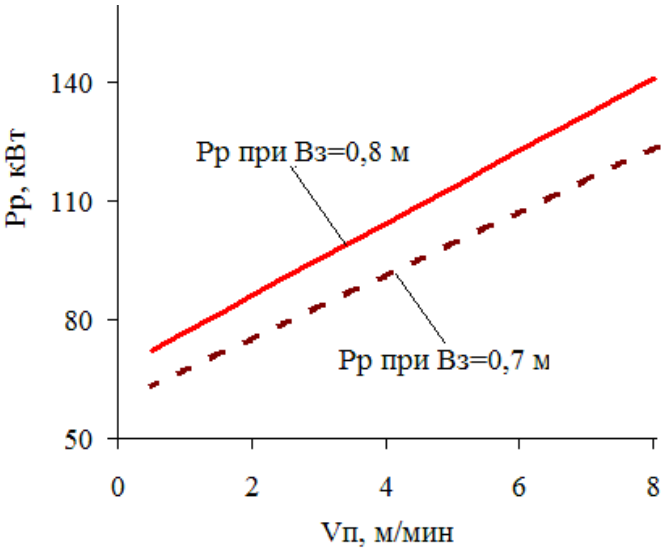



Рис.1. Графики зависимости мощности на разрушение от параметров уравнения регрессии для значения сопротивляемости угля резанию в неотжатом массиве ($A_p = 220$ Н/мм)

Мощность на погрузку разрушенной горной массы наиболее корректно может быть определена на основе экспериментальных данных. Такие данные были получены

в результате проведения экспериментальных исследований работы очистных комбайнов нового технического уровня со шнековыми исполнительными органами УКД400 и УКД200-500 в представительных условиях шахт «Красный партизан» (УКД400) и «Терновская» (УКД200-500). Значения параметров шнековых исполнительных органов очистных комбайнов УКД400 и УКД200-500 составили соответственно: ширина захвата исполнительных органов 0,7 и 0,8 м (при диаметре шнека 0,9 м), частота вращение шнеков 78 об/мин, угол наклона лопастей шнеков 15°38′ и 13°54′.

В ходе проведения экспериментальных исследований комбайнов производилась регистрация средних действующих значений токов электродвигателей каждого привода резания комбайна при помощи многоканального регистратора-анализатора качества энергии. Полученные результаты обрабатывались согласно методике [5].

Статистическая обработка экспериментальных данных позволила получить уравнения регрессии для определения значений удельных энергозатрат $W_n$ и мощности на погрузку $P_n$ как функции скорости подачи комбайна ($V_n$, м/мин) и ширины захвата шнека ($B_З$, м):

$$W_n(V_n, B_З) = 0{,}006 \cdot B_З \cdot V_n^{\,2} - 0{,}033 \cdot B_З \cdot V_n + 0{,}145 \cdot B_З, \text{ [кВт ч/т]},$$

$$P_n(V_n, B_З) = 5{,}95 \cdot B_З \cdot e^{0{,}477 \cdot B_З \cdot V_n}, \text{ [кВт]}.$$

Графическая интерпретация зависимости приведена на рис.2.

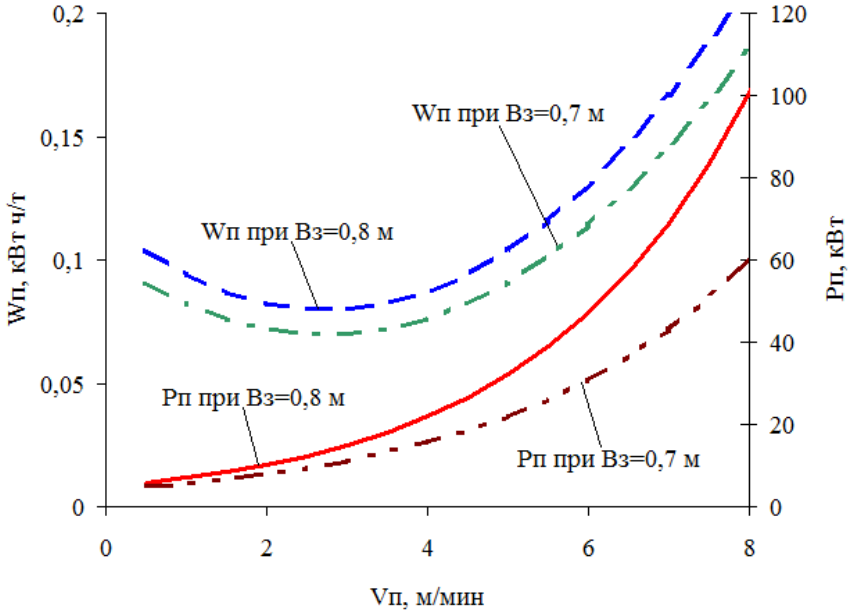



Рис. 2. График зависимости значений удельных энергозатрат и мощности на погрузку от параметров уравнений регрессии

Анализ приведенных зависимостей и рис. 2 позволяет сделать следующие выводы:

- увеличение ширины захвата шнека с 0,7 м до 0,8 м приводит к росту удельных энергозатрат погрузки примерно на 14 % во всем диапазоне изменения скорости подачи комбайна;

- мощность на погрузку возрастает с увеличением ширины захвата шнека, причем тем интенсивнее, чем выше скорость подачи очистного комбайна. Так, при

$V_n = 4$ м/мин увеличение ширины захват с 0,7 до 0,8 м обусловливает рост мощности погрузки с 16 до 22 кВт (приблизительно в 1,37 раза), а с достижением скорости подачи значения $V_n = 8$ м/мин - с 60 до 100 кВт (1,67 раза).

Основным интегральным параметром, характеризующим эффективность работы очистного комбайна является техническая производительность очистного комбайна

$$Q_m = 60 \cdot Q \cdot K_{тех}, \text{ [т/час]},$$

где: $Q = H_P \cdot B_З \cdot \rho \cdot V_n$ – теоретическая производительность очистного комбайна, т/мин;

$H_P$ – средняя мощность вынимаемого пласта, м;

$\rho$ – плотность разрушаемого массива, т/м$^3$;

$K_{тех} = \left[K_г^{-1} + \left[(T_{м.о.} + T_{к.о.} + T_{з.и.}) \cdot L_{лав}^{-1}\right] \cdot V_n\right]^{-1}$ – коэффициент, характеризующий степень технического совершенства очистного комбайна;

$K_г$ – коэффициент готовности очистного комбайна;

$T_{м.о.}$ – затраты времени на маневровые операции, мин;

$T_{з.и.}$ – время на замену изношенного резцового инструмента, мин;

$T_{к.о.}$ – время на концевые операции, мин;

$L_{лав}$ – длина очистного забоя, м.

Важнейшим энергетическим параметром, характеризующим эффективность работы очистного комбайна, являются суммарные удельные энергозатраты процессов разрушения и погрузки разрушенной горной массы:

$$W = \frac{P}{60 \cdot Q}, \text{ [кВт ч/т]}.$$

На основе выше приведенных зависимостей построена номограмма (рис. 3) для определения рациональных значених ширины захвата шнека исходя из заданных горно-геологических и горнотехнических условий работы комбайна.

Приведенная на рис. 3 номограмма соответствует наиболее распространенным горно-геологическим и горнотехническим условиям тонких пологонаклонных пластов Донецкого региона: средняя мощность вынимаемого пласта 1,0 м; длина лавы 200 м; плотность разрушенного угля 1,41 т/м$^3$; сопротивляемость угля резанию в неотжатом массиве 220 Н/мм; показатель степени хрупкости пласта при резании 1,65. Коэффициент готовности очистного комбайна принят 0,8; выемка - по челноковой схеме; время на концевые операции – 20 мин; схемы набора и геометрические параметры шнековых исполнительных органов соответствуют шнекам комбайнов УКД400 и УКД200-500.

Номограмма позволяет решать прямую и обратную задачу оптимизации ширины захвата исполнительного органа очистного комбайна.

Прямая задача заключается в определении значения ширины захвата $B_З$ шнекового исполнительного органа, обеспечивающего минимальное значение мощности на разрушение и погрузку при требуемом значении технической производительности. Графическое решение этой задачи при помощи номограммы показано сплошной линией. Так, например, для обеспечения технической производительности комбайна на уровне 140 т/час строится кривая АВ, полученная путем проецирования значений функции технической производительности на соответствующую кривую мощности (на разрушение и погрузку разрушенной горной

массы) при различных значениях ширины захвата шнека. Удельные энергозатраты определяются на основе полученных значений мощностей на разрушение и погрузку, обеспечивающих заданную техническую производительность в рассматриваемых горно-геологических условиях (кривая АВ) при соответствующей теоретической производительности. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что минимальная суммарная мощность на разрушение и погрузку имеет место при ширине захвата от 0,4 до 0,6 м – в этом случае снижение энергоёмкости процесса разрушения и погрузки составляет около 2-х раз (с 0,58 до 0,28 кВт ч/т). Вместе с тем необходимо отметить, что снижение ширины захвата определяет возрастание необходимого значения скорости подачи комбайна, имеющей ряд существенных ограничений.

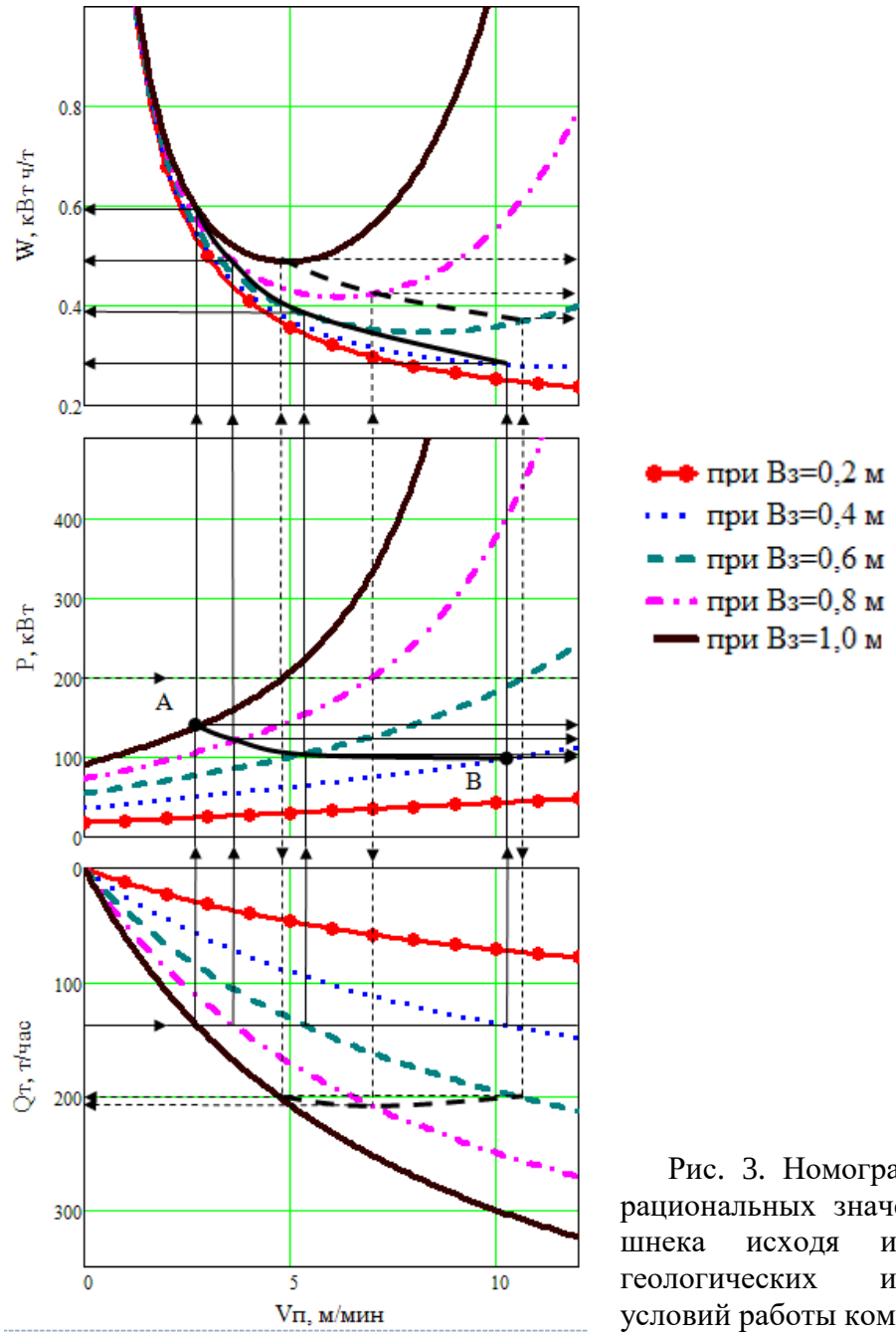



Рис. 3. Номограмма для определения рациональных значений ширины захвата шнека исходя из заданных горно-геологических и горнотехнических условий работы комбайна

Обратная задача (штриховые линии) заключается в определении значения ширины захвата $B_З$ шнекового исполнительного органа, обеспечивающего максимальное значение технической производительность очистного комбайна $Q_m$, исходя из заданной мощности привода резания. На основе анализа парка очистной техники нового технического уровня, предназначенного для добычи угля из тонких пологонаклонных пластов, можно задаться мощностью привода резания на уровне 200 кВт, - тогда максимальная техническая производительность будет обеспечиваться при ширине захвата равной 0,8 м и скорости подачи 7 м/мин. Однако, это обусловливает возрастание удельных энергозатрат с 0,37 до 0,43 кВт ч/т, т.е. в 1,16 раза.

Таким образом, наиболее целесообразной представляется задача определения оптимальных значений ширины захвата шнека по критерию минимальных энергетических параметров работы комбайна для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий, позволяющих существенно повысить эффективность работы очистных комбайнов для тонких пологонаклонных пластов со шнековым исполнительным органом с учетом ограничивающих факторов по скорости перемещения комбайна.

Направление дальнейших исследований предусматривает установление оптимальных значений геометрических параметров исполнительного органа (диаметр и ширина захвата, угол подъема лопасти шнека) по критерию минимальных энергетических параметров работы очистного комбайна.

**Выводы.**

1. Получены регрессионные зависимости мощности ($P_n$) и удельных энергозатрат ($W_n$) погрузки от ширины захвата шнека ($B_З$) и скорости перемещения ($V_n$) очистного комбайна вида:

$$W_n(V_n, B_З) = 0{,}006 \cdot B_З \cdot V_n^{\,2} - 0{,}033 \cdot B_З \cdot V_n + 0{,}145 \cdot B_З \text{, [кВт ч/т]},$$

$$P_n(V_n, B_З) = 5{,}95 \cdot B_З \cdot e^{0{,}477 \cdot B_З \cdot V_n} \text{, [кВт]}.$$

2. Разработана методика определения рационального значения ширины захвата шнекового исполнительного органа по критериям минимальных удельных энергозатрат и мощности привода исполнительного органа.

3. Получены рациональные значения ширины шнека (в диапазоне 0,4 – 0,6 м) для эксплуатации в представительных условиях Донбасса, обеспечивающие снижение энергоёмкости процесса разрушения и погрузки примерно в 2 раза.

Установлено, что удельные энергозатраты на разрушение и погрузку угля шнековым исполнительным органом могут быть существенно снижены путем выбора рациональной ширины захвата шнека для рассматриваемых горно-геологических и горнотехнических условий с сохранением заданной технической производительности.

**Список литературы: 1.** Горные машины для подземной добычи угля: Учебное пособие для вузов / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев; Под общей редакцией П.А. Горбатова. 2-е издание, переработаное и дополненное. – Донецк: Норд Компьютер, 2006. – 669 с.: ил. **2.** Механо-гидравлические шнековые системы выгрузки и транспортирования. Нечепаев В.Г. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – 215с. **3.** Очистные комбайны для тонких пластов. Н.Г. Бойко. – Донецк, ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – 476 с. **4.** КД 12.10.040-99. Изделия угольного машиностроения. Комбайны очистные. Методика выбора параметров и расчета сил резания и подачи на

исполнительных органах (взамен ОСТ12.44.258-84). Введен с 01.01.2000.-Донецк: Минуглепром Украины, 1999. – 75с. **5.** О.Е. Шабаев, В.Г. Нечепаев, П.П. Зинченко, А.В. Мезников, А.В. Коваленко. Методика определения удельных энергозатрат разрушения и погрузки очистных комбайнов для тонких пластов в реальных условиях эксплуатации. Вестник Донецкого национального технического университета. – № 4, Донецк, 2017. – С. 28 – 33

## О ПЕРСПЕКТИВАХ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Шажко Я.В., Соколов В.К., Ожегова Л.Д.** *(ГУ «ИФГП», г. Донецк, ДНР)*
*Тел./Факс: +38 (062) 3115285; E-mail: syarilo@mail.ru*

***Abstract:*** *Description of the importance and complexity of rock grinding processes.. The characteristic of the hydrostatic grinding method for obtaining fine powder, the design of the hydrostatic destroyer and its properties is given.*
***Key words:*** *hydrostat, grinding, rocks, fine powder, installation.*

Процессы дробления и измельчение полезных ископаемых чрезмерно дороги и уже давно настало время разрабатывать принципиально новые схемы и устройства, что позволит снизить экономичные издержки на получения необходимого качества сырья. В связи с тем, что имеющиеся источники полезного ископаемого с годами теряют свои качественные показатели, для промышленных разработок приходится использовать все более и более бедные источники сырья. Особенно это относится к горно-химическому и горнометаллургическому сырью.

В настоящее время в промышленности измельчаются миллионы тонн каменного угля, руды и нерудных ископаемых. Требования к качеству помола непрерывно повышаются. Тонкое измельчение позволяет извлекать наиболее ценные фракции, облегчая процесс обогащение и предотвращая загрязнения атмосферы.

Одним из существующих недостатков процессов измельчения материалов в мельницах различного типа является их износ, значит, тысячи тонн легированной стали идут в скрап и пыль. На каждую тонну получаемого материала расходуется, в зависимости от характера материала и толщины помола, от 5 до 55 кВт-ч. [1]. Только ежегодный прирост расходов на измельчение во всем мире по размеру равен стоимости суточного пищевого рациона населения всего земного шара.

Мельницы, заполненные мелющими телами, имеют ряд недостатков – это низкая степень измельчения, большой расход электроэнергии, загрязнения продуктами износа футеровки. Конструкции этих мельниц металлоемкие. Они занимают значительные производственные площади, имеют высокие эксплуатационные расходы. Шум и пылевыделение ухудшают условия труда и, как правило, участки размола являются самыми тяжелыми на производстве. Исходя из анализа процесса измельчения, можно сделать вывод, что при использовании данного оборудования необходимы большие капитальные затраты, подготовка целой армии рабочих и инженеров, изготовление увесистой и разноликой техники для весьма длинной технологической цепи. [2-4].

Типичная технологическая схема измельчения глинозема в шаровой мельнице приведена на рис. 1.

Разрушение горного сырья под действием гидростатического давления

возможно лишь в том случае, когда он является структурно неоднородным. В результате этого, приложенное ко всему образцу гидростатическое давление трансформируется в его объеме в неоднородное поле напряжений, с отличным от нуля девиатором. По этой причине в объеме отдельных структурных элементов, составляющих материал, может достигаться предельное напряженное состояние, приводящее к их разрушению или пластической деформации.

Предлагаемый способ гидростатического измельчения материалов [5-6] дает основание считать, что он является перспективным способом, так как имеет ряд технологических возможностей и преимуществ.

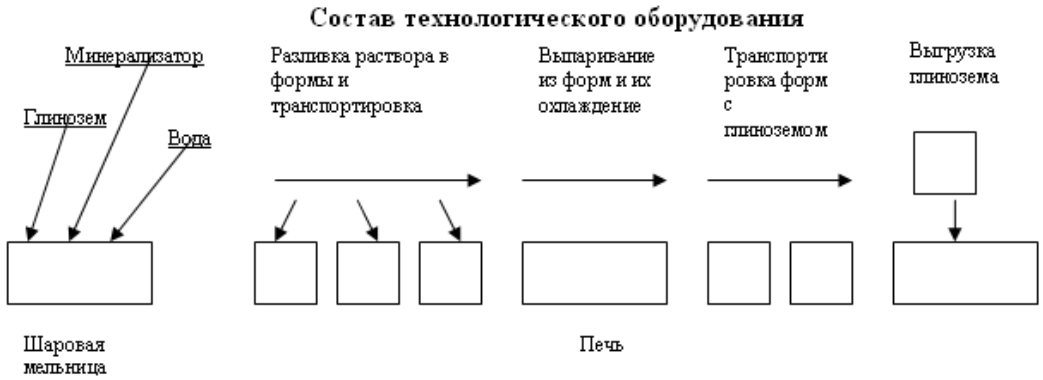



Рис. 1. Технологическая схема измельчения глинозема в шаровой мельнице

В процессе измельчения частиц, материалы существенно не перемещаются в камере измельчения относительно эластичной стенки оболочки, ввиду чего она изнашивается незначительно. Благодаря такой схеме процесс измельчения протекает с высокой эффективностью, что позволяет получать тонкодисперсный порошок заданного гранулометрического состава с высокой чистотой. Технологическая схема измельчения глинозема гидростатическим методом приведена рис. 2.

Рис. 2. Технологическая схема измельчения глинозема гидростатическим методом

С целью реализации процесса циклического гидростатического измельчения материалов в эластичной оболочке в ГУ «ИФГП» разработан и изготовлен проект специального гидравлического пресса с эластичным контейнером. Схема установки показана на рис. 3. [3]

Это гидравлический пресс с усилением 225 тс. В рабочей зоне пресса размещен

контейнер высокого давления до 1200 МПа 2 в эластической оболочке, геометрические параметры которого равны длина 300мм, диаметр 100мм, имеющий две соединяющиеся рабочие полости 3 и 4, внутрь которых заходит пуансон 5 и армированная эластичная оболочка 6. С торцов контейнера в эластичной оболочке 6 монтируются загрузочный 7 и разгрузочный узлы 8. В пуансоновую полость заливается рабочая жидкость – индустриальное масло И-20А.

Во внутрь загрузочного узла 7 помещен шнек 9, приводимый во вращение через муфту 10 и приводом 11. Приводом шнека 9 является мотор-редуктор марки МП2-40 типа УР80А4УЗ с мощностью электродвигателя 1,5 кВт. В корпусе загрузочного узла 7 имеется сквозное отверстие, в которое закручивается цилиндрическая воронка 12 для исходного материала, крупностью не более 5-12 мм, подвергающегося измельчению. В середине разгрузочного узла 8 находится затвор-пробка 13, установленный на конце штока 14 гидроцилиндра 15 для закрытия выходного отверстия контейнера 2, в корпусе разгрузочного узла 8 есть также сквозное отверстие, в которое вставлен выпускной желоб 16 для выпуска измельченного материала, направляющего его в емкость 17.

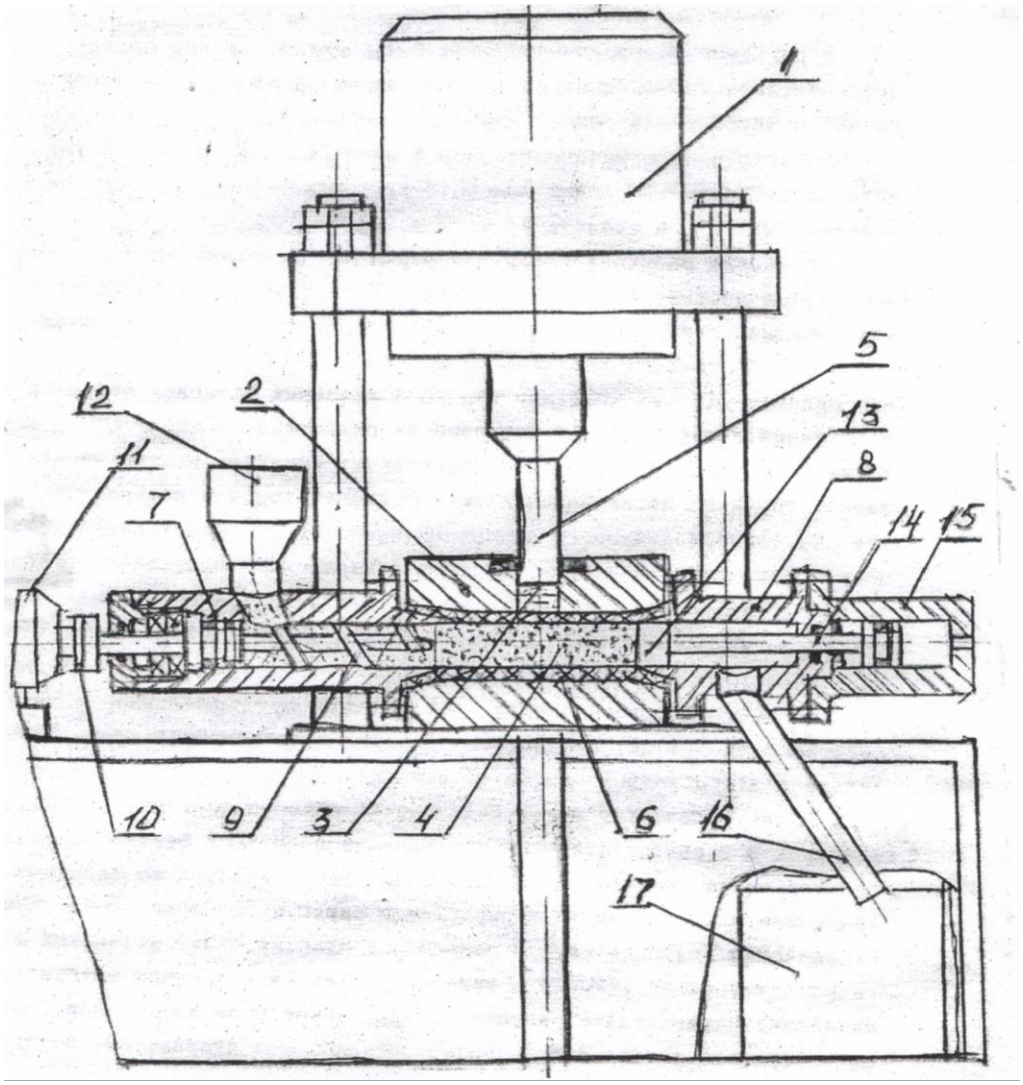



Рис. 1. Принципиальная схема установки гидростатического измельчения

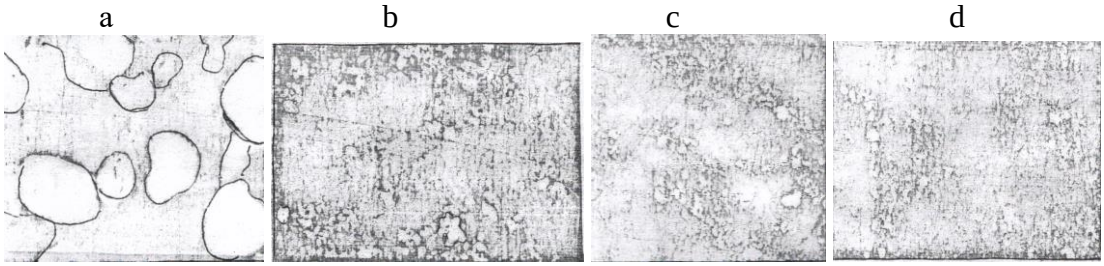
В заключение отметим, что установка для гидростатического тонкого измельчения твердых и хрупких материалов позволяет осуществлять измельчение материалов как в ручном, так и полуавтоматическом режиме.

По сравнению с традиционными методами, преимущества применения данной установки заключаются в следующем: исключается засорение измельченного продукта; отсутствует пылевыделение и шум; снижается энергоемкость процесса измельчения; снижается длительность процесса измельчения (минуты вместо часов); не требуется дополнительная химическая очистка (промывка и сушка); отсутствует воздействие на фазовый состав измельчаемых веществ.

По методу гидростатического измельчения обработке давлением был подвергнут порошковый материал, который является структурно неоднородным (песок и кварц). Разрушение структурных элементов (в данном случае порошинок) происходит при гидростатическом обжатии порошков.

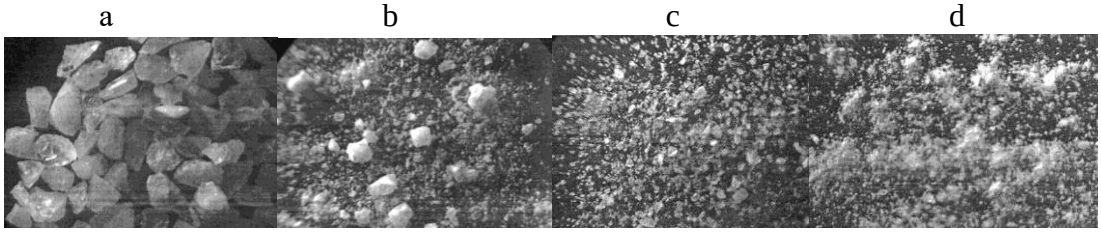
Результаты экспериментальной работы представлены на фотографиях (рис. 1, 2).

На рис. 2 изображен в масштабе (×200), тонкий слой песка в исходном состоянии (рис.1, a) и после циклического гидростатического измельчения при давлении 200 МПа (b), 600 МПа(c), и 1000 МПа(d). Видно, что уже при давлениях обработки 200 МПа частицы песка разрушаются до размеров 0,5 мкм и менее и последующий рост давления до 1000 МПа практически не приводит к дальнейшему дроблению частиц. Из чего следует вывод, что при невысоких усилиях происходит достаточное измельчение материала.




0 200 600 1000 МПа

Рис. 2 Внешний вид песка после обработка материала циклическим гидростатическим давлением.




0 100 200 300 МПа

Рис. 2 Внешний вид кварца после обработка материала циклическим гидростатическим давлением.

На рис. 2 изображен в масштабе (×200), тонкий слой кварца в исходном состоянии (рис.2, a) и после циклического гидростатического измельчения при давлении 100 МПа (b), 200 МПа(c), и 300 МПа(d). Видно, что уже при давлениях обработки 300 МПа частицы кварца разрушается до размеров менее 0,5 мкм. Что

свидетельствует о том, что степень измельчения кристаллических материалов зависит от интенсивности нагружения.

Таким образом степень измельчения зависит от вида измельчаемого материала и степени гидростатического давления в камере пресса. При этом измельчение происходит всегда, но требуется установление параметров процесса нагружения для каждого материала.

**Список литературы:** **1.** Мухачев В.М. Как рождаются изобретения. - М. "Московский рабочий", 1968 - с. 240. **2.** Галкин А.А. А.С. 282045 Способ тонкого измельчения материалов. /А.А. Галкин, А.М. Белоцерковский, В.С. Бобошко// Опубликовано в БИ № 16, 1970. **3.** Ревнивцев В.И. Селективное разрушение минералов. /В.И. Ревнивцев, Г.В. Гапонов, Л.Г. Загоратский и др. Под общей редакцией Ревнивцева В. И. - М.: Недра, 1988 - с. 256. **4.** Ходаков Г.С. Физика измельчения. - М.: Недра, 1972. – с. 307. **5.** Соколов В.К. Установка для тонкого циклического гидростатического измельчения материалов /В.К. Соколов, К.И. Соколов, Н.Н. Касьян, И.С. Костюк //Материалы XXVI Международной научной школы им. академика Христиановича С.А. Крым, Алушта, 2016. - С. 179 - 182. **6.** Уэствурд А., Пиккес Дж. Применение разрушения. В книге: Атомистика разрушения. Под общей редакцией Гольштейна Р.В. – М.: Мир, 1987. - С. 7 – 34.

## ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕПРОГНОЗИРУЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОРОДНОГО МАССИВА1

**Шигин А.О., Шигина А.А., Ступина А.А.** *(СФУ, г. Красноярск, Россия)*
*Тел./Факс: +7 (391) 2063662; E-mail: shigina_a@mail.ru*

***Abstract:*** *This article is devoted to research of roller-bit drilling process control features under incomplete information caused by random variation of the drilled rocks properties. It is proposed optimization control model of the roller-bit drilling process parameters that uses the correction values of axial force and drill bit rotational speed. The operating parameters optimization method of roller-bit drilling process is developed and based on the correcting values of axial force and bit rotational speed depending on the technical characteristics of the drilling unit and physico-mechanical rocks properties. The proposed method allows to determine the maximum headway per drill bit, drilling speed and its ratio corresponding to the optimum efficiency of the roller-bit drilling process, required for adaptive control of process parameters.*
***Key words:*** *optimization model, operating parameters, roller-bit drilling, information uncertainty.*

Проблемы оптимизации, регулирования параметров технологического процесса и учета неконтролируемых факторов особенно остро стоят при управлении процессом бурения скважин различного назначения, так как зачастую связаны с информационной

1 Статья подготовлена в рамках исследования, выполняемого при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук (Конкурс - МД-2018, проект № МД-2)

неопределенностью, когда нет возможности заранее предвидеть изменение структуры и прочности пород в процессе бурения. Выбор принципа управления режимами – сложнейшая задача, возникающая при автоматизации процесса бурения. Известны различные принципы управления и оптимизации режимов бурения [1, 2]: с использованием модели бурения и поиском экстремума; с идентификацией пород; с беспоисковой экстремальной настройкой; с управлением по параметрам вибрации и др. Согласно современному состоянию исследований по данной научной проблеме, не учтено влияние многих режимных параметров и неконтролируемых факторов на процесс шарошечного бурения. Нерациональный и несвоевременный выбор значений режимных параметров при бурении является причиной низкого ресурса, непредвиденного отказа долот и существенно заниженной производительности.

Ориентиром для настройки режимных параметров являются их оптимальные значения, актуальные для текущих характеристик породы, определяемых с помощью оптимизационной модели. Оптимизация процесса шарошечного бурения возможна только при наличии математической модели, в основе которой лежит единый универсальный критерий, содержащий условие оптимального протекания процесса разрушения породы зубьями шарошек, которое обеспечивает соотношение производительности и ресурса долота, соответствующее минимальной себестоимости.

Для повышения качества управления процессом бурения в условиях непрогнозируемого изменения свойств породы предлагается оптимизационная модель, использующая корректирующие величины осевого усилия $P_{\text{ос}}$ и частоты вращения $n_{\text{вр}}$. Задача оптимизации процесса шарошечного бурения сводится к нахождению экстремума целевой функции, который позволяет определить наилучшие значения параметров исследуемого процесса в условиях неполной информации об изменении свойств породы [3, 4].

Экстремальной целью является максимизация производительности при существующих условиях процесса шарошечного бурения (критерий оптимальности – производительность) и минимизация себестоимости при известной производительности (критерий оптимальности – себестоимость) [5]. Максимизация производительности возможна путем максимизации осевого усилия и оптимизации частоты вращения в сочетании с максимизацией ресурса.

Оптимальное значение частоты вращения долота $[n_{\text{вр}}]$ при бурении породного массива предлагается определять по формуле:

$$\left[n_{\text{вр}}\right] = \frac{0{,}94 \cdot N}{10^8 \cdot \pi \cdot D_1^3 \cdot \Pi_{\text{б}} \cdot h} \cdot \frac{\Pi_{\text{б}}^1 + \Delta\Pi_{\text{б}}}{\Pi_{\text{б}}^1 + 0{,}5\Delta\Pi_{\text{б}}} \cdot k_{\text{инд}}, \qquad (1)$$

где $N$ – мощность, передаваемая для разрушения породы; $D_1$ – диаметр шарошечного долота, м; $\Pi_{\text{б}}$ – показатель буримости; $h$ – высота зубца, выступающая за профиль зубчатого венца, м; $\Pi_{\text{б}}^1$ – значение показателя буримости до изменения свойства породы; $k_{\text{инд}}$ – коэффициент формы индентора.

С увеличением перепада прочностных характеристик, трещиноватости, слоистости, оптимальная частота вращения увеличивается, снижая общую нагрузку на отдельные тела качения шарошечного долота. Допустимое максимальное осевое усилие $[P_{\text{ос}}]$ рабочего органа бурового агрегата определяется из допустимых нагрузок на тела качения шарошечных долот:

$$[P_{oc}] = 6 \cdot z \cdot D_{р} \cdot L_{р} \cdot \left( \frac{[\sigma_{р.ш}]}{600 \cdot \frac{v_{б} + 0{,}5 v_{s}}{v_{б} + 0{,}25 v_{s}} \cdot \frac{\Pi_{б}^{1} + \Delta\Pi_{б}}{\Pi_{б}^{1} + 0{,}5\Delta\Pi_{б}} \cdot k_{инд}} \right)^{3}, \qquad (2)$$

где $z$ – количество тел качения в подшипнике; $D_р$ – диаметр ролика, мм; $L_р$ – длина ролика, мм; $[\sigma_{р.ш}]$ – допустимое напряжение для материала тел качения подшипников шарошечных долот; $v_б$ – скорость бурения при имеющихся свойствах породы, осевом усилии и скорости вращения бурового органа, м/с; $v_s$ – скорость опускания зубца на забой, м/с.

Минимизация себестоимости возможна при соблюдении критериев оптимизации – частоты вращения и осевого усилия согласно выражениям (1) и (2), что приведет к получению оптимального соотношения производительности и ресурса. На основе предложенной модели реализуется адаптивное управление процессом бурения в условиях неопределенности.

На рис. 1 показаны расчетные зависимости ресурса долота $T$ от скорости бурения $v_б$ и осевого усилия $P_{ос}$ с учетом предложенных выражений для определения оптимальных значений режимных параметров $[n_{вр}]$ и $[P_{ос}]$.

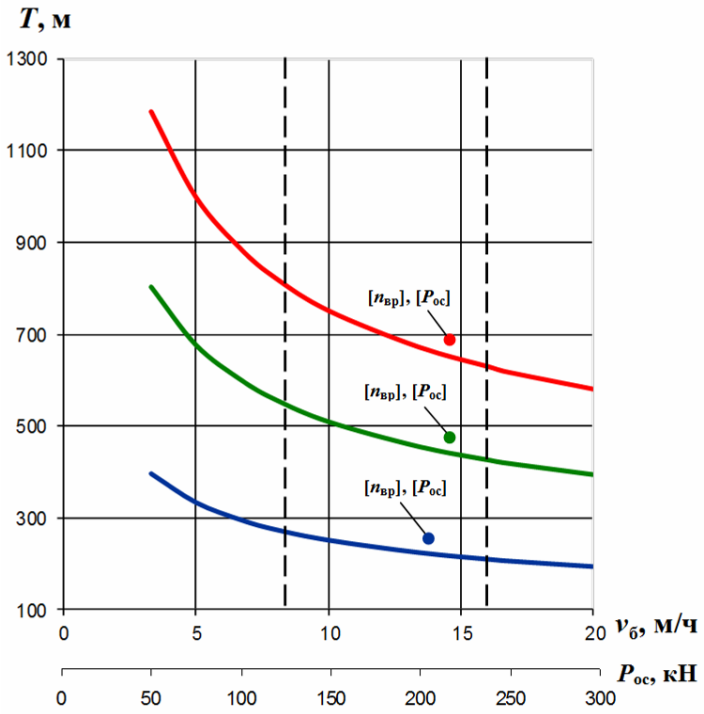



Рис. 1. Зависимости ресурса $T$ шарошечных долот, скорости бурения $v_б$ и осевого усилия $P_{ос}$ при $n_{вр}$ = 1,5 об/с при $\Pi_б$ = 15.

Точками показаны режимы при оптимальных значениях параметров $[P_{ос}]$ и $[n_{вр}]$. Характеристики породы для кривых обозначены различными цветами (рис. 1): красным – $n_{сл}$ = 10, $\Delta\Pi_б$ = 2, $n_{тр}$ = 0; зеленым – $n_{сл}$ = 20, $\Delta\Pi_б$ = 2, $n_{тр}$ = 10; синим – $n_{сл}$ = 20, $\Delta\Pi_б$ = 4, $n_{тр}$ =

20. Соответствующими цветами обозначены точки оптимальных режимов для указанных характеристик пород. Для свойств породы, соответствующих красной и зеленой кривым, определены оптимальные значения режимных параметров: $[n_{вр}]$ = 1,79 об/с, $[P_{ос}]$ = 185 кН; ресурс долота $T$ при этом для красной кривой $T = 692$ м, для зеленой кривой $T = 469$ м. Для свойств породы, соответствующих синей кривой, определены оптимальные значения режимных параметров: $[n_{вр}]$ = 1,88 об/с, $[P_{ос}]$ = 158 кН; ресурс долота при этом для синей кривой $T = 246$ м. Анализ зависимостей показывает, что при оптимальном режиме наблюдается существенное увеличение скорости бурения и ресурса долота. При этом оптимальные режимы находятся в области допустимых значений, установленных заводом-изготовителем (участки кривых на рис. 1, разграниченные вертикальными линиями), что доказывает адекватность оптимизационной модели.

С учетом выражений для определения оптимальных значений режимных параметров (1) и (2) скорость бурения при оптимальном управлении $v_{б.и}$ предлагается определять по следующей формуле:

$$v_{б.и} = \frac{40 \cdot [P_{ос}] \cdot [n_{вр}]}{\Pi_{б} \cdot D_1^2}.$$

**Выводы.**

Подводя итог, можно отметить необходимость применения данной методики для определения рекомендуемых значений соотношения ресурса шарошечного долота и скорости бурения, соответствующего оптимальной эффективности процесса шарошечного бурения в условиях непрогнозируемых изменений свойств породного массива. Предложенный метод оптимизации режимных параметров процесса шарошечного бурения, основанный на корректировке значений осевого усилия и частоты вращения в зависимости от технических характеристик бурового агрегата и физико-механических свойств породы, позволяет определить максимальные значения ресурса долота и производительности. Корректирующие значения режимных параметров определяются с помощью найденных выражений для расчета их оптимальных значений, соответствующих минимальным удельным затратам на процесс бурения.

**Список литературы:** **1.** Бродов Г.С. Технологические измерения и автоматизация процесса бурения / Г.С. Бродов, И.Г. Шелковников, Э.К. Егоров. – СПб.: ФГУ НПП «Геологоразведка», 2004. – 105 с. **2.** Чистяков В.К. Оптимизация и автоматизация процессов разведочного бурения / В.К. Чистяков, И.Г. Шелковников. – Л.: ЛГИ, 1990. – 102 с. **3.** Stupina A.A. Mathematical formulation of technological processes optimization problem / A.A. Stupina, A.A. Shigina, A.O. Shigin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015. – Vol. 94, conf. 1. DOI: 10.1088/1757-899X/94/1/012001. **4.** Шигина А.А. Математическая постановка задачи оптимизации технологических процессов / А.А. Ступина, А.А. Шигина // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XIX международной научно-практической конференции. – СПб., 2015. – С. 172-179. **5.** Shigina A.A. Model of rock drilling process in terms of roller cone bit remaining life / A.A. Shigina, A.O. Shigin, A.A. Stupina, G.S. Kurchin, A.K. Kirsanov // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – 2016. – Vol. 11, № 19. – P. 9792-9799.

# УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**Шмат А. С., Петрешин Д. И., Хандожко А. В.**
(*ФГБОУ ВПО «БГТУ», г. Брянск, Россия*
*(4832) 58-82-89, shmat.lvdu@gmail.com)*

***Abstract**: The article describes the features of the development of control programs for robotic systems, in which the robot performs technological tasks.*
***Key words:** robotics, robotic systems, programming of robots.*

Одной из современных тенденций в развитии машиностроительных производств является расширение области применения промышленных роботов (ПР) и робототехнических комплексов (РТК). При этом все чаще ПР выполняет технологические функции, а не только транспортно-загрузочные операции. ПР выполняют операции окраски, сварки, разрезания, работы с использованием малогабаритных автономных металлорежущих инструментов (дрели, фрезерные шпиндельные головки и т.п.). Это вносит специфику в управляющие программы (УП) для ПР или всего РТК. В частности, значительная часть перемещений рабочего органа ПР выполняется в режиме контурного управления, а не позиционного. При этом могут предъявляться требования к постоянству скорости перемещения относительно объекта обработки или ее изменения по определенному закону. Задача управления становится наиболее сложной при одновременном управлении несколькими единицами оборудования, входящими в единый РТК.

Для решения технологических задач чаще всего применяют многозвенные ПР, спроектированные на основе поворотных модулей, так называемые роботы с шарнирной (антропоморфной) рукой. Характерной компоновкой таких роботов являются модели фирм Fanuc, ABB, Kuka, схематично такая компоновка показана рис. 1.

Особенностью управления такими промышленными роботами является необходимость решения сложной геометрической задачи, возникающей из-за необходимости обеспечения траектории движения в декартовой системе координат шарнирными приводными механизмами. С целью облегчения программирования основные расчетные процедуры большей частью скрыты от конечного пользователя в базовом программном обеспечении.

Для программирования в большинстве моделей ПР (РТК) существует два режима: режим обучения и традиционного программирование с использованием специального языка. Режим обучения имеет две разновидности. В первом случае оператор с консоли перемещает рабочие органы ПР, запоминая при этом последовательность действий. Во втором оператор вручную ведет рабочий орган робота по требуемой траектории, УП при этом формируется автоматически. Метод обучения по второй схеме малопригоден для выполнения операций механической обработки, сварки из-за низкой точности. Первая схема в большей мере пригодна для формирования УП с точными траекториями движения рабочих органов.

Традиционная методика написания УП (ее еще называют Offline – программирование) также имеет два варианта. В первом случае программирование выполняют в текстовой форме, формируя систему точек и последовательность процедур вручную или с использованием универсальных программ.

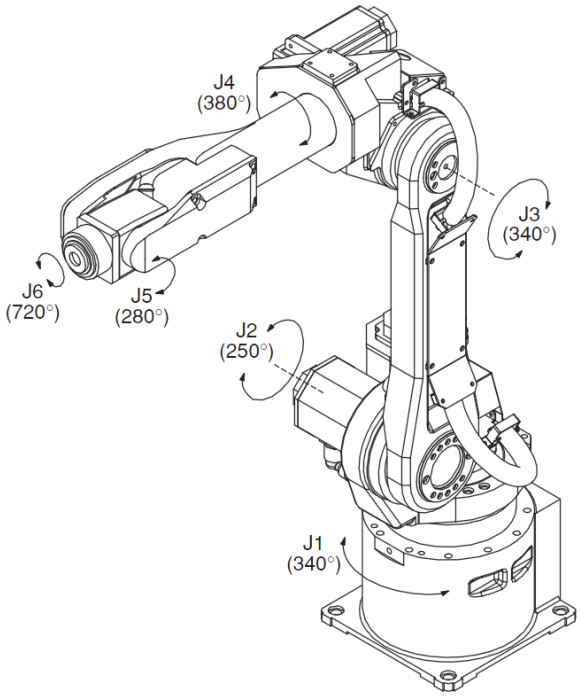



Рис. 1. Компоновочное решение промышленного робота с шарнирной (антропоморфной) рукой

Вторая разновидность offline-программирования – работа с использование различных специализированных (специальных) CAD-пакетов. Наиболее известны следующие продукты: Roboguide, Octopuz, SprutCam. Данный метод разработки УП является наиболее эффективным и производительным. Тем не менее, любая специализация снижает универсальность метода, поэтому в ряде случаев, например, для РТК данный метод может иметь существенные ограничения. Кроме того, данное программное обеспечение имеет большую стоимость и его целесообразно использовать при большом парке однотипных роботов.

Характерным примером является работа РТК в составе ПР и приспособления, обеспечивающего вращение заготовки (рис. 2).

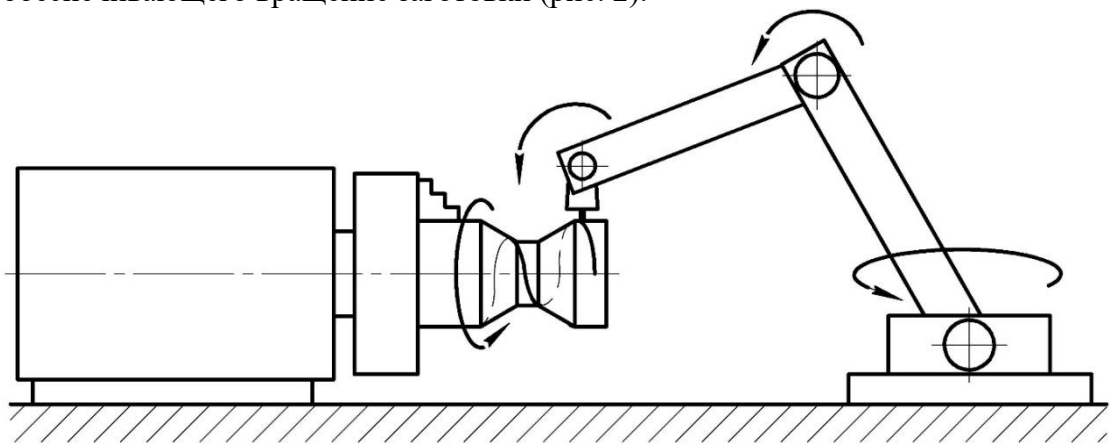


Рис. 2. Упрощенная схема РТК в составе ПР и приспособления, обеспечивающего вращение заготовки

В приспособлении установлена заготовка, на руке робота установлен исполнительный инструмент (фрезерный шпиндель, сварочная горелка, лазерный резак и т.п.). Перемещение инструмента относительно заготовки должно происходить по определенной траектории и определенной скоростью. Заготовка – тело вращения со сложной по форме образующей – имеются цилиндрические, конические и фасонные участки. Пусть для данного технологического процесса необходимо обеспечение постоянной линейной составляющей скорости перемещения инструмента касательно поверхности детали. При этом инструмент должен располагаться так, чтобы его ось была нормальна поверхности.

Возможности базового программного обеспечения позволяют легко и компактно описать движения исполнительных механизмов если не учитывать технологические ограничения по постоянству скорости. Например, для робота фирмы Fanuc перемещение из точки P1 в точку P2 (рис. 3а) будет описано следующими кадрами:

…

4:L P[1] 10mm/sec FINE – кадр перемещения исполнительного инструмента в точку 1;

5:L P[2] 10mm/sec FINE – кадр перемещения исполнительного инструмента в точку 2;

[End];

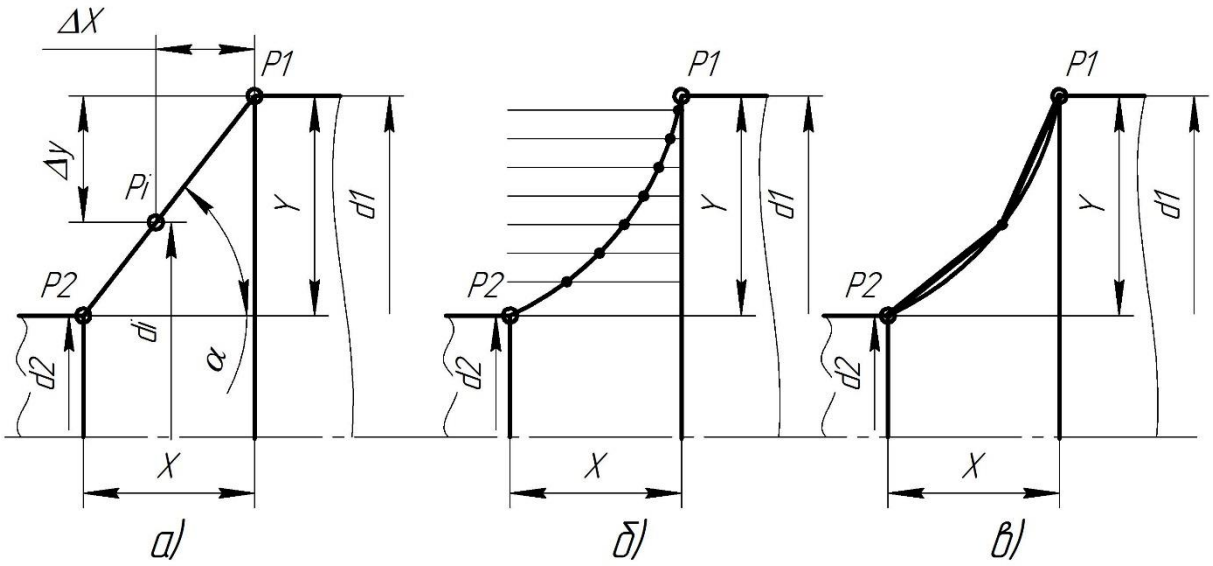



Рис. 3. Геометро-технологическая задача при разработке УП для РТК

Однако, при приближении рабочего органа к оси вращения заготовки технологическая линейная скорость падает и требуется увеличение угловой (рис. 3). Таким образом, техника составления УП требует измерений. Поскольку, стандартные средства программирования не позволяют изменять закон вращения заготовки во время интерполяции контур придется разбить на фрагменты, введя дополнительные опорные точки, в которых будет корректироваться частота вращения заготовки.

Число дополнительных точек на контуре предварительно необходимо рассчитать. Это несложно для конических фрагментов, когда скорость падает по линейному закону (рис. 3а). Для этого случая число дополнительных точек можно вычислить по зависимости:

$$N = \frac{Y}{\delta \cdot r_1} \cdot 100\% = \frac{X \cdot \tan\alpha}{\delta \cdot r_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

где: N – число дополнительных точек на контуре; X, Y – общие перемещения из точки 1 в точку 2 по осям OX и OY соответственно; δ - допускаемая погрешность линейной технологической скорости, %; $r_1 = d_1/2$ – радиус заготовки в точке 1, мм; α – угол наклона образующей конуса к оси заготовки, $^0$.

При этом число кадров УП может значительно вырасти. Однако, современные системы управления ПР имеют развитую схему формирования программ. Например, одним из вариантов выхода из положения является использование вложенных циклов. Текущие координаты промежуточных точек формируются непосредственно в цикле по рассчитанным приращениям координат. Ниже приведен возможный вариант фрагмента УП:

10: R[50]=0 - обнуление счетчика цикла
11: LBL [1] - метка возврата
12: R[50]=R[50]+1 - счетчик циклов
13: PR[42]=LPOS+PR[41] - расчет координат следующей точки, LPOS – текущие координаты, PR[41] – перемещение по осям
14: R[51]=R[51]+R[52] - расчет скорости, с учетом изменения диаметра
15: L PR[42 R[51]sec FINE - команда перемещения в расчетную точку
16: IF R[50]<12, JMP LBL[1] – проверка условия перехода
…

Базовое программное обеспечение позволяет реализовать и другие способы управления траекторией, например, с использованием библиотек, подпрограмм и других возможностей модульного программирования.

Показанная технологическая задача программирования ПР усложняется для тороидальных и иных фасонных поверхностей (рис. 3б, 3в, 3г). Особенности базового программного обеспечения дают возможность круговой интерполяции, но изменение технологической скорости возможно лишь в опорных точках. Поэтому на фасонных участках возможно следующие подходы к решению геометрической задачи.

Простейшее решение – это работа с большим массивом промежуточных точек, перемещение между которыми выполняется по заданной дуге. Так как при равномерном приращении координаты X изменения диаметрального размера непостоянны, массив промежуточных точек, обеспечивающих постоянство технологической скорости получается неравномерный (рис. 3б). Недостаток такого приема – большая трудоемкость программирования и размер УП.

Другое решение основано на замене дуги ломаной, а круговой интерполяции - линейной (рис. 3 в). При этом возникает геометрическая погрешность траектории, величину которой можно рассчитать геометрически и скорректировать за счет числа участков разбиения. При относительно невысоких требованиях к точности (плазменная резка, некоторые виды сварки) данный прием дает приемлемые результаты. Техника программирования в этом случае аналогична, примененной для работы на конических участках.

Делая выводы, можно отметить, что базовые программные средства ПР не всегда и не в полной мере решают задачи РТК, особенно если робот выполняет технологические, а не транспортные операции. Поэтому в ряде случаев нужно быть готовым к решению геометрических и технологических задач программирования с

применением упрощенных процедур, вносящих погрешность, которую необходимо оценивать.

**Список литературы: 1.** Крахмалев О. Н Математическое моделирование динамики манипуляционных систем промышленных роботов и кранов-манипуляторов : Монография. – Брянск: БГТУ, 2012 – 200 с. **2.** Руководство оператора: «КОНТРОЛЛЕР R-J3iC ARC TOOL».

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ШТАМПОВКЕ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ

**Шнейберг А.М., Ширшкова М.А., Иванов С.В.**
*(НГТУ им.Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*
*Тел:8 (831) 36-23-94; E-mail: tkm@nntu.ru*

***Abstract:*** *The process of combined die forging of axially symmetrical forgings by compression – torsion open die technique has been studied. A forging force formula is suggested.*
***Key words:*** *Combined loading, open die forging, forging force.*

Одним из перспективных способов уменьшения деформирующей силы в технологических процессах обработки металлов давлением является комбинированное нагружение, заключающееся в сочетании осевого перемещения деформирующего инструмента и вращения его вокруг оси [1,2].

Процесс тем эффективнее, чем больше отношение *d/h*, где *d, h* – диаметр и высота очага деформации, и кинематический параметр $i = \frac{v}{n}$,где *v* и *n* – скорость поступательного и вращательного движения инструмента.

Кроме того, указанный способ имеет ряд других преимуществ:

- более равномерную степень деформации во всем объеме заготовки;
- возможность получения субмикроструктуры за счет сдвига при вращении;
- возможность получения высокой плотности, близкой к 100% при компактировании сыпучих и фрагментированных материалов (например, стружки).

Настоящая работа относится к ряду работ, проводимых в этом направлении на кафедре «Машиностроительные технологические комплексы» НГТУ им Р.Е. Алексеева на специально сконструированной установке с независимым приводом осевого и вращательного движения. Максимальное усилие установки *P*=500 кН, крутящий момент *M* – 1500 Н*м, диапазон изменения *i* от 1 до 40 мм/об [3].

Поскольку основной частью многих процессов обработки металлов давлением (ОМД), в том числе штамповки осесимметричных поковок, является операция осадки, то предполагается, что для определения величины *P* процесса комбинированной штамповки можно использовать те же формулы, что и для осадки с кручением, но с учетом особенностей формы очага деформации.

Осевая сила при осадке с кручением может быть определена по приближенной формуле [2]:

$$\frac{P'}{\sigma S} = (1 + \frac{1}{3}\frac{d}{h}\mu\cos\alpha)\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1.1d^2k^2}{i^2}}} \quad (1)$$

где $\mu$ - коэффициент трения;

$\cos\alpha = \text{cosarctg} = \frac{2\pi h(1\text{-}k)}{i}$, где $\alpha$ - угол поворота вектора сил контактного трения;

$k = \frac{\varphi_{обр}}{\varphi_{инстр}}$ - коэффициент схватывания; $\varphi_{обр}, \varphi_{инстр}$ - углы закручивания образца и инструмента;

$S$ – площадь проекции поковки.

Увеличение угла α эквивалентно уменьшению сил трения, действующих в радиальном направлении или коэффициента $\mu$. Второй сомножитель после скобок в уравнении (1), учитывает влияние сдвиговой компоненты τ на нормальное напряжение $\sigma_z$ (или на осевую силу $P$) согласно выражению:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_i^2 - 3\tau^2} \quad (2)$$

где $\sigma_i = \sigma(T, \varepsilon, \dot{\varepsilon})$ - напряжение течения металла в зависимости от температуры, степени и скорости деформации.

Анализ известных уравнений для определения усилия обычной штамповки (ОШ) в открытых штампах [4, 5] показывает, что их можно преобразовать в уравнения для оценки усилия комбинированной штамповки (КШ) с учетом вышерассмотренных факторов.

Так, уравнение для осевой силы ОШ при $\mu = 0{,}5$ и наличии облойного кольца, приведенное в работе [4]:

$$\frac{P}{\sigma} = S_1(1{,}5 + \frac{l_м}{h_2} + 0{,}1\frac{d_1}{h_2}) + S_2(1 + \frac{1}{2}\frac{l_м}{h_2}) \quad (3)$$

для случая КШ будет иметь вид:

$$\frac{P'}{\sigma} = S_1[m_1(1 + \frac{l_м}{h_2}\cos\alpha_2 + 0{,}1\cos\alpha_1\frac{d_1}{h_2}) + 0{,}5] + S_2[m_2(1 + \frac{1}{2}\frac{l_м}{h_2}\cos\alpha_2)] \quad (4)$$

где $S_1$ и $S_2$ – площадь проекции поковки и мостика у облойного кольца;

$l_м$, $h_2$ – ширина мостика и высота облоя на мостике;

$$m_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1{,}1d_1^2k^2}{i^2}}}; m_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1{,}1d_{ср}^2k^2}{i^2}}};$$

$$d_{ср} = \frac{d_1 + d_2}{2};$$

$$\cos\alpha_1 = \cos\text{arctg}\frac{2\pi h_1(1-k)}{i^2}; \cos\alpha_1 = \cos\text{arctg}\frac{2\pi h_2(1-k)}{i^2};$$

где $h_1$ – высота приведенного к цилиндру конусного очага деформации (его контур в ручье показан затемненным цветом – рисунок 1), при равенстве их объемов.
Приближенно она составляет $h_1 \approx (1{,}5..2{,}5)h_2$

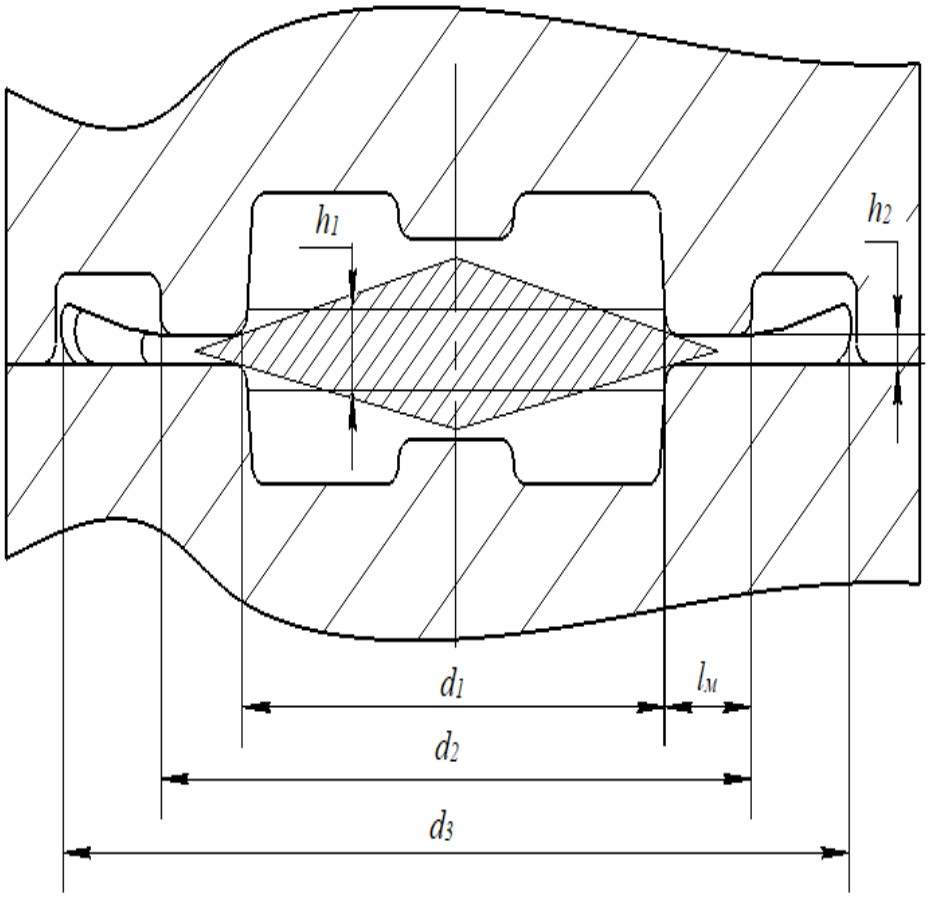



Рис.1. Схема очага деформации

При штамповке поковок типа колец «приведенная» высота очага деформации $h_1$ приблизительно приравнивается к толщине перемычки, оставляемой под прошивку.

Если в магазинной части штампа металл отсутствует, т.е. $d_3=d_2$, то в уравнении (4) вместо слагаемого 0,5 берется 0.

Опытная проверка расчетной формулы (4) проводилась по двум схемам: 1) штамповка образца с циклированием по режиму: ОШ→КШ→ОШ (рис. 2а); 2) штамповка двух образцов с равным исходным объемом: первого - в режиме ОШ до точки «а» и, далее, при том же уровне усилия $P_к$ – в режиме КШ до точки «в» (на графике рис. 2б); второго – в режиме ОШ до точки «с».

Включение вращения при $P=P_к$ приводило к дополнительному ходу инструмента $\Delta h_u$, а при равной длине хода $h_u + \Delta h_u$ у обоих образцов сила $P$ при ОШ превышала $P'$ КШ на величину $\Delta P$ (рис. 2б).

Измеряя размеры деформируемых образцов $d_i$, $h_i$, определяли расчетные значения $P$ и $P'$.

Анализ результатов показал, что расхождение расчетных и опытных величин отношения $\frac{P}{P'}$ не превышает $\pm 7\%$. Отсюда формулу (4) можно рекомендовать для приближенной оценки усилия процесса комбинированной штамповки в открытом штампе.

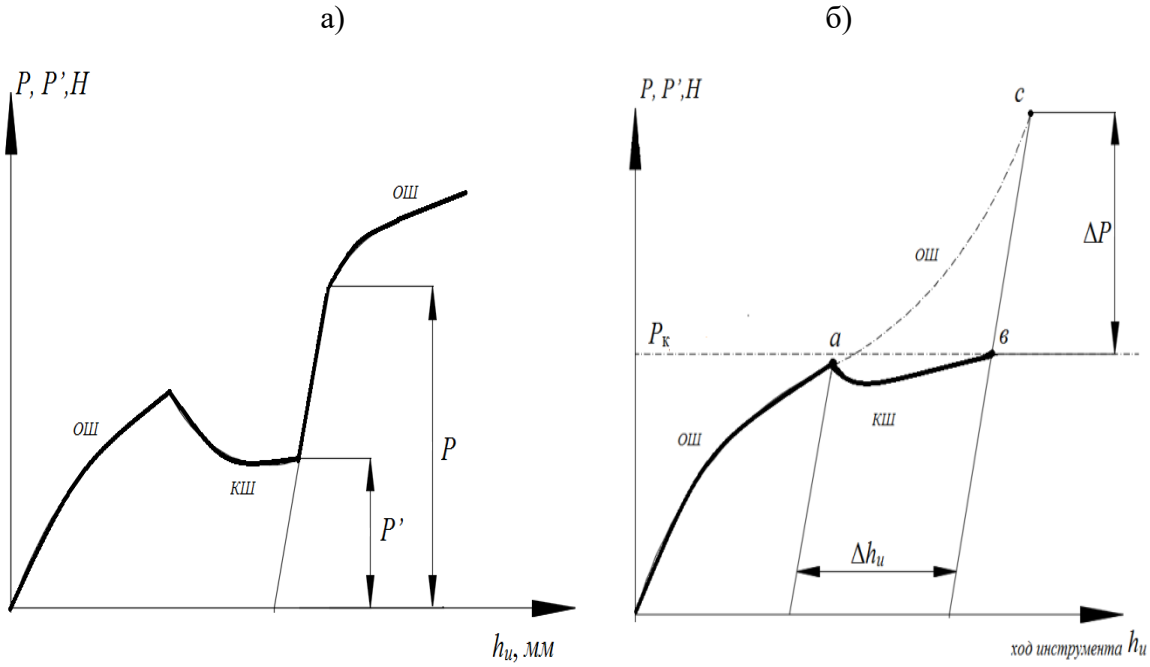



Рис.2. Графики *P, P' ($h_u$)* при штамповке по разным схемам: а) в циклическом режиме; б) с ограничением верхнего усилия $P_к$

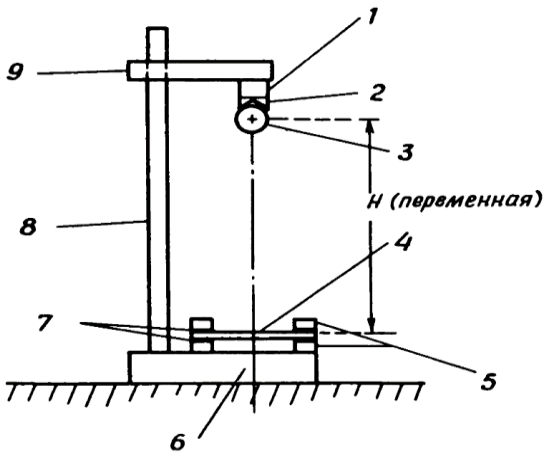
**Список литературы: 1.** Субич В.Н., Демин В.А., Шестаков Н.А., Власов А.В. Штамповка с кручением. Монография. - М.; МГИУ, 2008. - 389с. **2.** Шнейберг А.М., Кошелев О.С. Влияние коэффициента схватывания на осевую силу при комбинированной осадке // КШП, ОМД. 2015. - №9. - С. 3-9 . **3.** Патент 38304 РФ, МПК U1B21J13/02. Установка для комбинированного нагружения при обработке металлов давлением / Ф.П. Михаленко, А.М. Шнейберг, О.С. Кошелев, А.С. Пудов. – Опубл. 10.06.04. - Бюл.№16. **4.** Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1977. – 433 с. 5. Брюханов А.Н. Ковка и объемная штамповка. - М: Машиностроение, 1976. - 486 с.

# РЕГИСТРАЦИЯ НИЗКОСКОРОСТНОГО УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ACTION КАМЕРЫ

**Щугорев В.Н., Цой В.Е., Подмазов Д.А., Щугорев А.В.**
(*НИУ МЭИ, г. Москва, Россия,*),
*E-mail:* Shchugorev.VN@gmail.com

***Abstract:*** *Teaching of courses "mechanics of composite materials" and "experimental mechanics" for masters of the specialty of Dynamics and strength of machines involves the active use of video information and the results of processing of fast mechanical processes. The study presented in this paper is widely used in the formulation of laboratory work on these courses.*
***Keywords:*** *video Information, video editor, Action camera, composite material, beam, shock, loading, indenter.*

Композиционные материалы находят широкое применение в различных областях техники. Владение современными методами исследований физических свойств необходимо для глубокого понимания студентами механики композитов На данный момент широко разработаны эффективные методы оценки поведения конструкций из композиционных материалов в условиях статического нагружения [1-3]. Однако до сих пор не существует сравнимых по эффективности методов расчета поведения конструкций из композита при ударе внешними объектами,рис.1. Значительный интерес при проведении таких исследований представляет собой ***видеофиксация*** процесса нагружения и дальнейшее поведение объекта .




а)

б)

Рис.1. Схема нагружения. а)-схема нагружения, б)- вид установки. На рисунке: 1-3-ударник, 4-исследуемый образец, 5,7-Опоры, 6,8,9-основание.

Для исследования характера реакции композитов на ударное воздействия падающим грузом и визирования прогиба использовалась Action камера GoPro [4]. Сопоставлено точное теоретическое решение и результаты, полученные экспериментально.

Современные Action камеры позволяют фиксировать быстро протекающие процессы со скоростью до 240 кадров в секунду.. При этом разрешение кадра

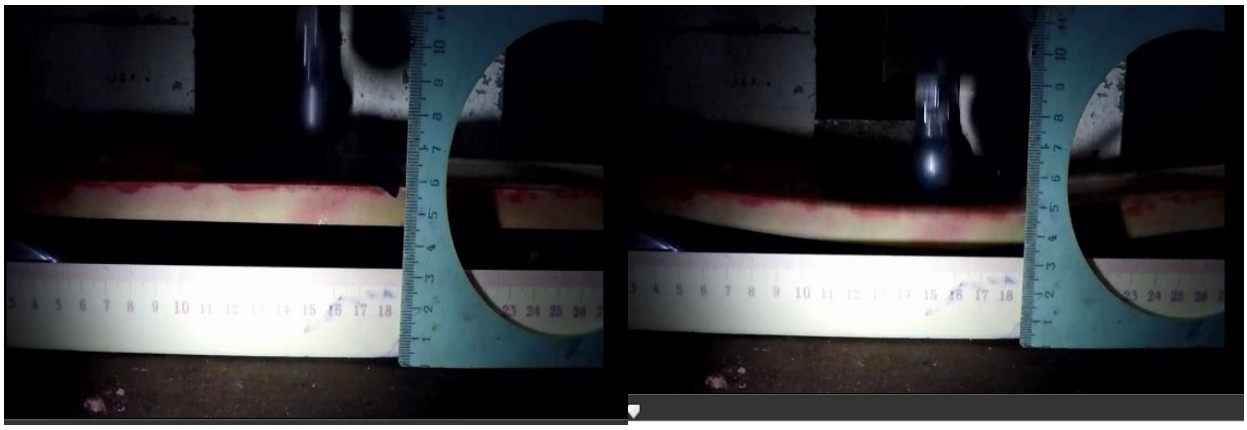
видеоматериала составит 720 строк . (1080 строк для некоторых моделей- например GoPro 6.

Таким образом за временной интервал между кадрами, объект движущийся со скоростью V=6 (м/с) (типичная скорость при низкоскоростном ударе) может сместиться на расстояние Delta=0,025 м. В нашем случае при нагружении падающим грузом-рис. 1.

Зависимость смещения Delta от энергии ударника U=240 Дж массой m=15 кг с равна 0,025 м. Вместе с тем скорость затвора меньше чем время между кадрами. Таким образом численное значение параметра Delta неоходимо оценивать в сравнении с размерами исследуемого объекта.

Для обработки видеоинфомации как правило используются программные средства- видеоредакторы. Они позоляют вамедлить или увеличить скорость видеосъемки и работать с отдельными кадрами. Разрешение в 720-1080 строк вполне достаточно для выделения отдельных кадров из видеоматериала.

Отдельный кадр позволяет фиксировать прогиб балки. Рисунок 2.а соответствует моменту перед касанием. Рисунок 2.б соответствует моменту максимального прогиба .



а) б)

Рис.2. Прогиб Балки. а)- прогиба нет, б) прогиб как результат ударного нагружения

Зависимость прогиба (рис. 2.б) от энергии ударника к моменту контакта с балкой ( рис.2.а) представлена на рис. 3. Кинетическая энергия ударника (рис 2.а.) переходит в потенциальную энергию деформирования балки (рис.2.б). Некоторая часть энергии при этом уходит на акустическое излучение, нагрев и вдавливание сферического индентера в поверхность балки.

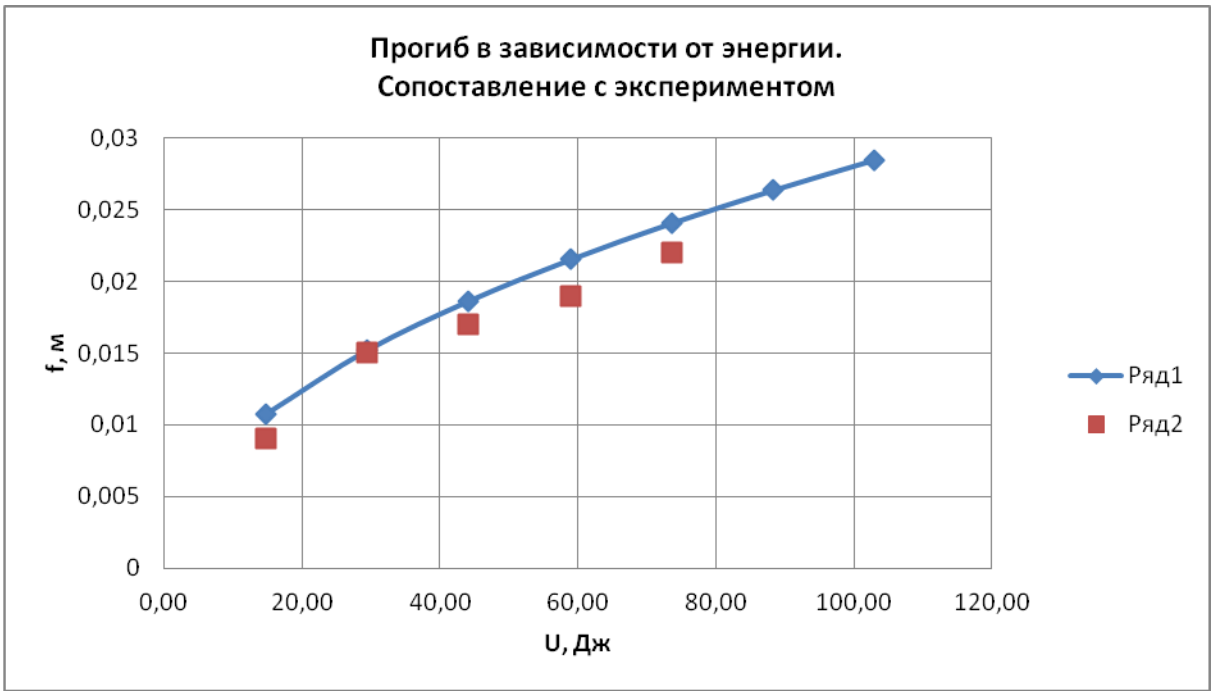



Рис.3. Максимальное значение прогиба. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных

**Выводы**: Современное развитие видеотехники позволяет широко использовать в учебном процессе Action камеры, обладающие высокой разрешающей способностью и скоростью видеосъемки, а главное относительно невысокой стоимостью.

Вышеприведенное исследование показывает, что применение Action камеры в качестве фиксатора видеоинформации возможно после сопоставления масштаба исследуемого объекта, скорости протекающего процесса и Delta- изменение конфигурации системы за межкадровый промежуток времени.

Принципы фиксации скоростных процессов, рассмотренные выше, используются в лекционных курсах магистерской подготовки студентов специальности динамика и прочность машин, а также при выполнении выпускных бакалаврских работ и магистерских диссертаций.

**Список литературы:** **1**..Bolotin Vladimir V. Stability problems in fracture mechanics. - John Wiley & Sons, Inc. - 1996.-187 с. **2**. Динамика удара: Пер. с англ./Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. и др.-М.: Мир, 1985. **3**. Касьянов К. Г., Щугорев В.Н., Подмазов Д.А, Никишин В.И. Исследование напряженно деформированного состояния в слоистой плите при низкоскоростном ударном нагружении.. // Материалы XXIV международного симпозиума “Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред” им. А.Г. Горшкова.-МАИ.-2018.- С.228-229. **4**. GoPro 6 Black. Руководство пользователя. Hevk Advance. 2018г., 108 с.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО КАРБИДАМИ

**Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К., Николаенко В.Л.** *(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)*
*Тел./Факс: +375 (017) 3310045; E-mail: scvdmed@bntu.by*

***Abstract**: This paper deals with the laser melting of $Al_2O_3$ –SiC, $Al_2O_3$-$B_4C$, $Al_2O_3$-TiC plasma sprayed coatings. After laser melting, metastable phase γ-Al2O3 transforms into stable phase α-Al2O3 in coatings. The melting layer becomes much denser and, hence, its hardness has been greatly developed. Furthermore, the increase in hardness of the melting layers is almost independent of coating type and generally increases with the laser energy density. Finally, it has been found that the introduction SiC, $B_4C$, TiC to the $Al_2O_3$ matrix and the laser melting can improve the wear resistance of ceramic coatings.*
***Key words:** wear, alumina, coating, plasma spraying,* the laser melting, wear resistance

**Введение**. Керамические покрытия, благодаря своим достоинствам (теплостойкости, химической устойчивости), дано зарекомендовали себя в качестве теплозащитных, коррозионностойких покрытий. Однако в последнее время покрытия на основе оксидной керамики все чаще применяются для защиты поверхностей трения от износа, особенно в тяжелых условиях эксплуатации (высокие температуры и агрессивные среды), там, где применение металлических покрытий невозможно [1]. К сожалению, в большинстве случаев область их применения остается ограниченной абразивным износом или трением при невысоких статических нагрузках, поскольку при наличии ударов происходит скалывание покрытий, обусловленное высокой хрупкостью оксидных керамических материалов.

Износостойкость керамических покрытий можно повысить как оптимизацией процесса плазменного напыления, увеличением плотности покрытий и уменьшением пористости, так и оптимизацией состава и созданием гетерогенных структур. Из литературных данных [2] известно, что гетерофазные керамические материалы, в которых в качестве вторых фаз используются тугоплавкие соединения в виде карбидов SiC, TiC, $B_4C$, обладают более высоким уровнем механических свойств, чем однофазные. Высокая износостойкость композиций, состоящих из матрицы оксида алюминия с мелкодисперсными включениями карбидов, может быть достигнута за счет оптимального сочетания высокой твердости, оказывающей прямое влияние на коэффициент трения [3], а также способности противостоять распространению трещин и разрушению покрытия в процессе работы.

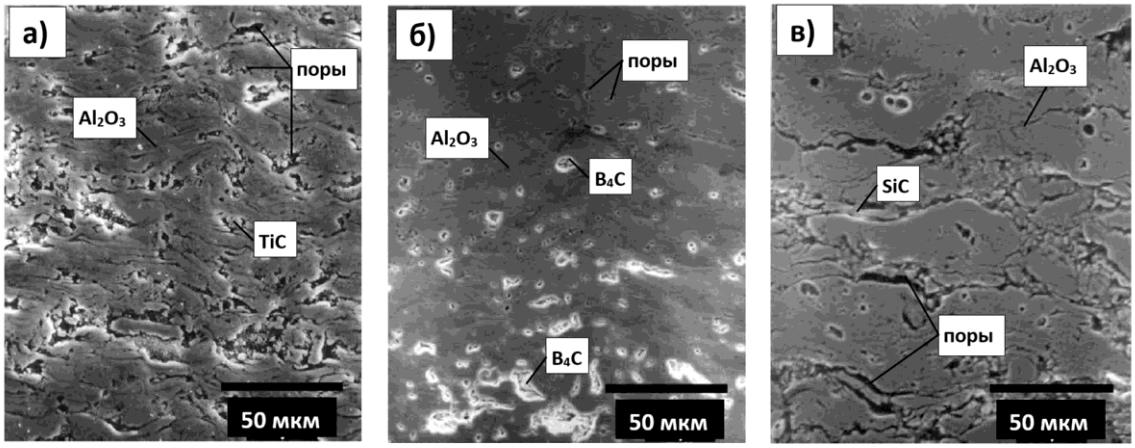
Для получения покрытий с низкой пористостью и улучшения эксплуатационных характеристик керамических покрытий на основе оксида алюминия довольно часто применяют дополнительную высокотемпературную обработку с применением лазерного излучения [4-6]. Однако, основное внимание в данных работах уделено снижению пористости и повышению содержания фазы α - $Al_2O_3$, а не наличию включений в виде твердых карбидов и их влиянию на свойства покрытий. Поэтому исследование структурных и фазовых превращений при плазменном напылении порошков оксида алюминия, модифицированного карбидами, а также при последующей лазерной обработке покрытий остается важной и актуальной темой.

В данной работе выполнена оценка влияния параметров лазерной обработки, таких как скорость перемещения и диаметр луча лазера, на структуру и свойства плазменных композиционных покрытий на основе порошков оксида алюминия, модифицированных карбидами бора, кремния и титана.

**Методика исследований**. В качестве исходных порошков использовали оксид алюминия по ТУ 6-09-426-75 с размером частиц 40-60 мкм, и порошки карбидов SiC, TiC, $B_4C$ с размером частиц 16 -20 мкм, подвергнутые последующей термодиффузионной обработке. Покрытия наносили методом плазменного напыления на подготовленные дробеструйной обработкой образцы с предварительно нанесенным Ni-Al подслоем с использованием установки УПУ-3Д с источником питания ИПН-160/600 и плазмотроном ПП–25 на режимах: I=420 А, U=85-90 В, L= 90 мм, p=0,6 МПа. Толщина слоя 0,6 мм. Оплавление осуществляли непрерывным лазером Комета-2 мощностью $N$ = 1000 Вт при диаметре пятна лазерного луча от $d_1$=6,0 · $10^{-3}$ м до $d_2$ = 8,0 · $10^{-3}$ м со скоростями перемещения $V_1$= 600 мм/мин, $V_2$ = 800 мм/мин, $V_3$ = 1000 мм/мин.

Сравнительные экспресс-испытания проводили на установке торцевого трения при линейной скорости вращения истирающего диска 5-15 м/мин и нагрузке (Р) 30–300 Н, материал контртела твёрдый сплав ВК-6. Величина износа определялась глубиной лунки с помощью профилографа-профилометра модели 252.

**Обсуждение результатов**. Исследование структуры покрытий после плазменного напыления показало, что образец с покрытием $Al_2O_3$-$B_4C$ имеет наиболее плотную и мелкозернистую структуру с незначительным количеством пор (рис.1(б)). Пористость покрытий составила 2-4%. Карбидные включения равномерно распространены по всей толщине покрытия.




а) $Al_2O_3$-10% TiC б) $Al_2O_3$-10% $B_4C$ в) $Al_2O_3$-5% SiC

Рис. 1. Микроструктура керамических покрытий, модифицированных карбидами

В отличие от данных композиций покрытия $Al_2O_3$-TiC имеют значительную пористость 9-12% и несплошности (рис.1(а)). Указанные дефекты являются, вероятно, результатом недостаточной температуры прогрева частиц в плазменной струе или низкой скорости при подлете к основанию.

С целью снижения пористости и повышения эксплуатационных характеристик полученных покрытий проведена их лазерная обработка на указанных режимах. Необходимо отметить, что при лазерной обработке керамических покрытий на основе

оксида алюминия, модифицированного карбидами, сталкиваются с технологическими вопросами, связанными с незначительным интервалом между температурой плавления ($T_{пл}$= 2045°C) и кипения ($T_{кип}$= 2980°C) оксида алюминия по сравнению с карбидами [6], приводящими к полному испарению покрытий в результате неправильного подбора режимов обработки. Изменение толщины покрытия за счет его частичного испарения наблюдалось при воздействии лазера на исходные покрытия $Al_2O_3$ без карбидных включений при $d_1 = 6{,}0 \cdot 10^{-3}$ м и скорости перемещения $V_2$= 800 мм/мин. В поверхностном слое материала основы под покрытием $Al_2O_3$ в результате лазерного воздействия формируется зона термического воздействия толщиной 50-100мкм.

При исследовании микроструктуры покрытий $Al_2O_3$-SiC, $Al_2O_3$-TiC, $Al_2O_3$-$B_4C$ таких областей не выявлено. Для полного проплавления покрытий, содержащих карбиды с более высокой температурой плавления, чем оксид алюминия, необходимо производить обработку на более жестких режимах путем уменьшения диаметра и скорости перемещения луча. Установлено, что по мере увеличения плотности мощности лазерного излучении происходит уменьшение площади, занимаемой темными зонами, соответствующими порам в покрытии. Наименьшая пористость может быть получена для покрытий $Al_2O_3$-SiC (рисунок 2) и $Al_2O_3$-$B_4C$ при режимах лазерной обработки $N$ = 1000 Вт, $V_1$= 600 мм/мин при $d_2 = 8{,}0 \cdot 10^{-3}$ м, а для покрытия $Al_2O_3$-TiC при $V_1$= 600 мм/мин и $d_1 = 6{,}0 \cdot 10^{-3}$ м, что соответствует более высоким значениям плотности мощности, необходимым для проплавления карбидных включений TiC, отличающихся более высокой температурой плавления, которая составляет 3067°C.

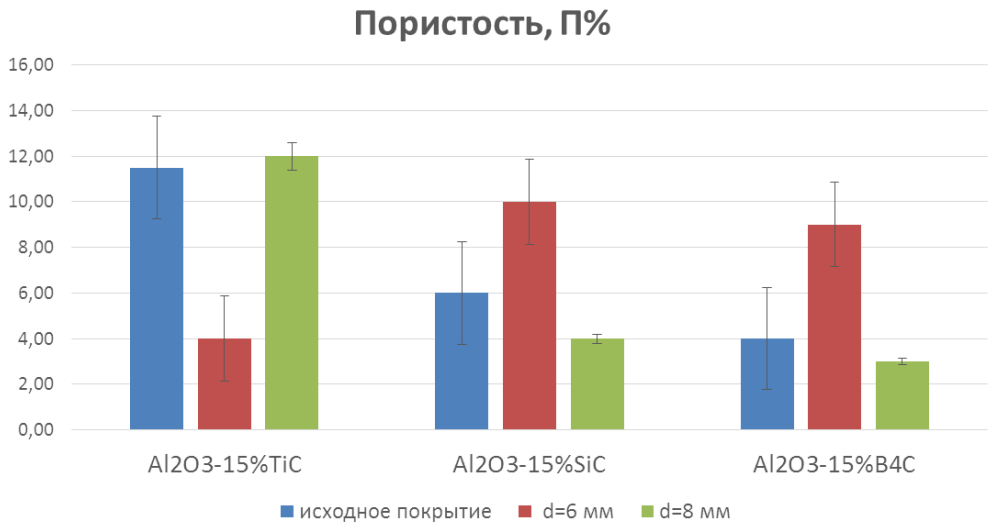



Рис. 2. Пористость покрытий после лазерной обработки со скоростью перемещения луча $V_1$= 600 мм/мин

Снижение пористости покрытий считается положительным результатом, поскольку ее наличие оказывает существенное влияние на механические свойства, снижая тем самым твердость, когезионную прочность и коррозионную стойкость при проникновении агрессивной среды через открытые поры к металлическому основанию.

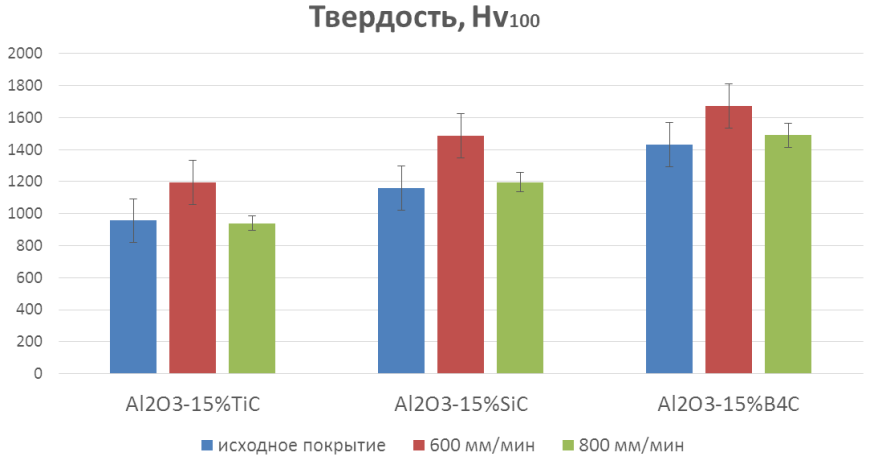



Рис.3. Микроструктуры покрытий после лазерной обработки со скоростью перемещения луча $V_1$= 600 мм/мин при $d_2 = 8{,}0\cdot10^{-3}$ м

Твердость покрытий $Al_2O_3$-SiC, $Al_2O_3$-TiC, $Al_2O_3$-$B_4C$ возрастала в результате лазерной обработки при $V_1$= 600 мм/мин (рисунок 3). Аналогичный эффект отмечается после лазерного оплавления покрытий на основе $Al_2O_3$ в работе [7,8], в которой показано, что при уменьшении скорости перемещения луча лазера происходит повышение микротвердости с 700-1000 $HV_{0.3}$ до 1100-1800 $HV_{0.3}$. Увеличение мощности лазерного излучения при обработке наноструктурных плазменных покрытий $Al_20_3$-13%$Ti0_2$, также способствует повышению твёрдости [9].

Как показывают данные рентгеноструктурного анализа, повышение твердости при лазерном оплавлении покрытий на данных режимах происходит за счет фазового превращения γ - $Al_2O_3$→α - $Al_2O_3$. Фазовый состав покрытий представлен в виде диаграмм на рисунке 4.

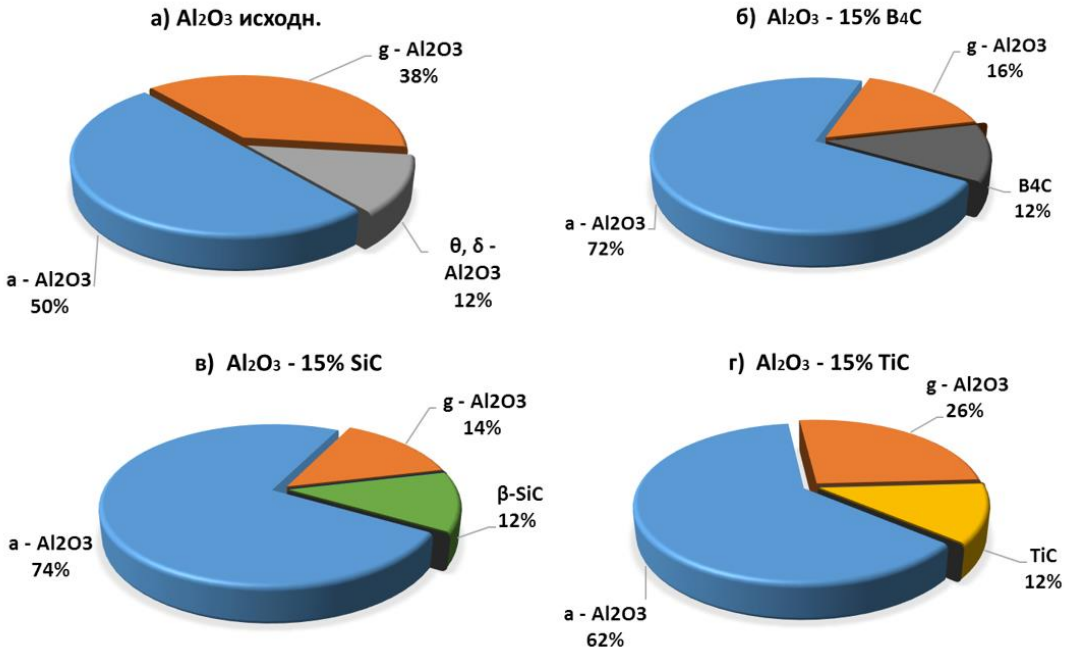



Рис. 4. Фазовый состав покрытий после лазерной обработки со скоростью перемещения луча $V_1$= 600 мм/мин при $d_2 = 8{,}0\cdot10^{-3}$ м

При увеличении скорости перемещения луча лазера сокращается время пребывания в зоне нагрева. Кратковременное термическое воздействие на скоростях 800 мм/мин и 1000 мм/мин не обеспечивает условия для формирования высокотемпературной фазы α - $Al_2O_3$ и преобладающей является γ - $Al_2O_3$.

Вопрос о преобладании той или иной фазы $Al_2O_3$ в покрытиях после лазерной обработки остается открытым и во многом зависит от условий нагрева и остывания под действием лазерного излучения [4,5,8], однозначно установлено что фазовый переход γ – α сопровождается усадкой покрытия, вызванной разницей в плотности указанных фаз. В работе [7] отмечено, что данное явление способствует повышению защитных свойств оплавленных лазером покрытий.

При определении оптимальных режимов лазерной обработки критерием оптимизации может является износостойкость покрытий [4]. Проведенные экспресс-испытания покрытий на основе оксида алюминия, модифицированного карбидами, и подвергнутых последующей лазерной обработке на различных режимах представлены в виде диаграмм величины износа на рисунке 5.

Исследование влияния режимов лазерного излучения на эксплуатационные характеристики покрытия проводили при мощности N = 1000 Вт, диаметре пятна лазерного луча $d_1$=6,0 · $10^{-3}$ м и $d_2$ = 8,0 · $10^{-3}$ м, скорости перемещения $V_1$= 600 мм/мин.

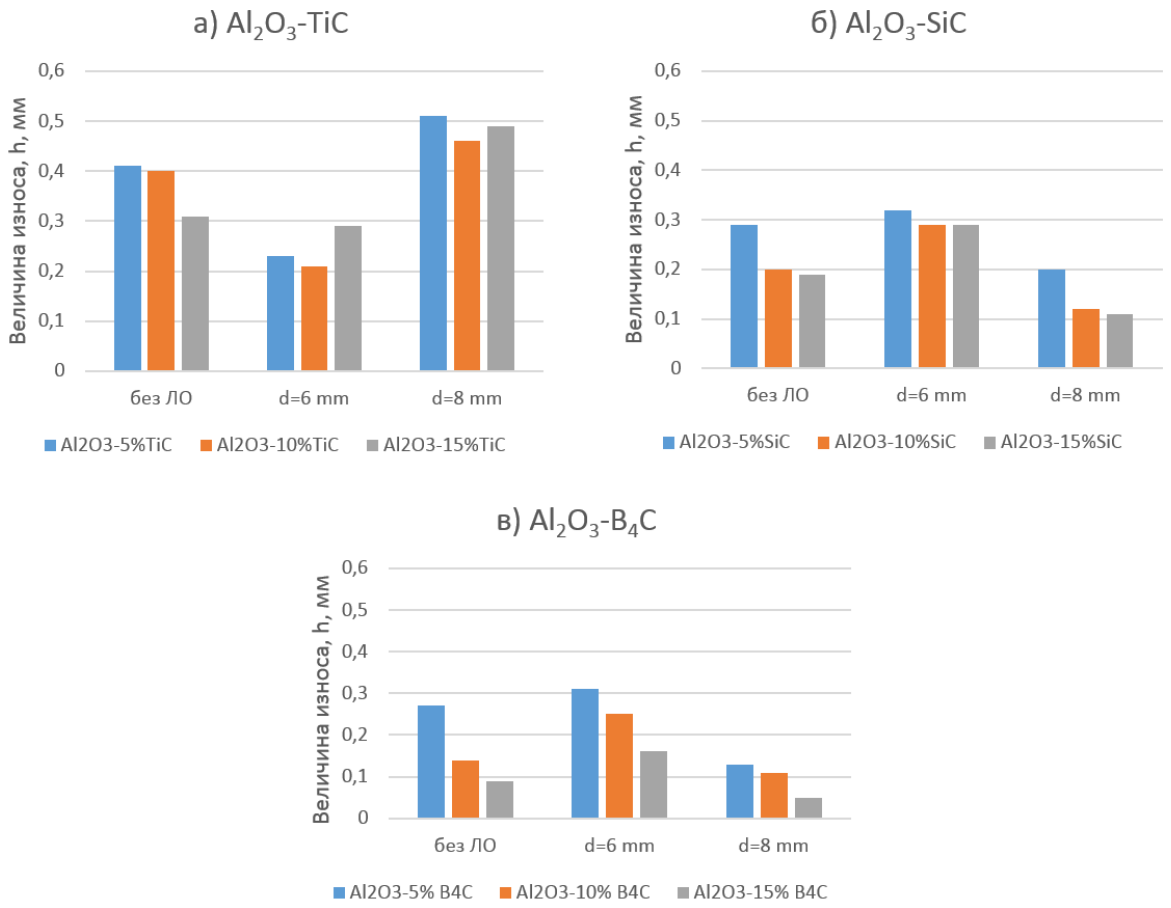



Рис. 5. Величина износа керамических покрытий при трении без смазочного материала при нагрузке 80 Н, время испытаний 30 мин в зависимости от режимов лазерной обработки (ЛО)

Установлено, что наименьшую величину износа имеют покрытия $Al_2O_3$-$B_4C$, что установлено в ранних работах [10] и объясняется образованием пленок вторичных дисперсных структур на поверхности трения, а также покрытий $Al_2O_3$-SiC с содержанием карбида кремния в количестве 10%, для которых характерно повышение прочности, снижение хрупкости при сохранении высокой микротвердости.

**Вывод**. Лазерная поверхностная обработка плазменных покрытий является перспективным методом термической обработки, который может использоваться для получения однородных поверхностных слоев с повышенной износостойкостью. Наиболее оптимальными режимами лазерной обработки для покрытий $Al_2O_3$-SiC и $Al_2O_3$-$B_4C$ являются мощность $N$ = 1000 Вт, скорость перемещения луча лазера $V_1$= 600 мм/мин при диаметре $d_2 = 8{,}0 \cdot 10^{-3}$ м, а для покрытия $Al_2O_3$-TiC при $V_1$= 600 мм/мин и $d_1 = 6{,}0 \cdot 10^{-3}$ м, что соответствует более высоким значениям плотности мощности.

**Список литературы**. **1**. Rainforth W. M. The wear behaviour of oxide ceramics-A Review //Journal of materials science. – 2004. – Т. 39. – №. 22. – С. 6705-6721. **2.** Гогоци Ю.Г., Ковальченко А.М., Косско И.А., Ярошенко В.П. Фрикционное взаимодействие керамики на основе неметаллических тугоплавких соединений со сталью//Трение и износ.- 1990.- 11, № 4.- С.660-667. **3.** Кацура А. А., Семенов А. П. Высокотемпературное трение окисных керамик на основе корунда. – Наука, 1974. **4.** Szkodo M., Bień A., Antoszkiewicz M. Effect of plasma sprayed and laser re-melted Al2O3 coatings on hardness and wear properties of stainless steel //Ceramics International. – 2016. – Т. 42. – №. 9. – С. 11275-11284. **5.** Yuanzheng Y. et al. Laser remelting of plasma sprayed Al2O3 ceramic coatings and subsequent wear resistance //Materials Science and Engineering: A. – 2000. – Т. 291. – №. 1-2. – С. 168-172. **6.** Митрофанов А. А., Чащин Е. А., Балашова С. А. Обработка газотермических покрытий с использованием лазерного излучения //Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2011. – №. 1. – С. 103-105. **7.** Iwaszko J. et al. Remelting treatment of plasma sprayed coatings //Inżynieria Materiałowa. – 2004. – Т. 25. – №. 3. – С. 597-600. **8.** Li C. et al. Laser remelting of plasma-sprayed conventional and nanostructured Al2O3–13 wt.% TiO2 coatings on titanium alloy //Journal of Alloys and Compounds. – 2010. – Т. 506. – №. 1. – С. 356-363. **9.** Wang Y. et al. Laser remelting of plasma sprayed nanostructured Al2O3–TiO2 coatings at different laser power //Surface and Coatings Technology. – 2010. – Т. 204. – №. 21-22. – С. 3559-3566. **10.** Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К. Триботехнические характеристики плазменных покрытий на основе оксида алюминия, модифицированных карбидами, при трении по стали// Сб. трудов XXIV-ой межд. науч.-техн. конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Севастополь, 11 – 17 сентября 2017. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 80-84.

# РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА АКТИВНЫХ РЕЖУЩИХ ЗЁРЕН НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО КОЛЬЦЕВОГО СВЕРЛА

**Дударев А.С.[1], Катаева С.П.[1], Подвинцев А.В.[2]**
*([1]ПНИПУ, г. Пермь, [2]АО «ПЗ «Машиностроитель», г. Пермь, Россия)*
*[1]Тел. +7(342)-239-17-55; E-mail: fanta88@mail.ru. [2]podvintsev_ktn@mail.ru*

***Abstract:*** *The article proposes the calculation of the number of active grains of diamond cutting tools actually participating in cutting. It is received, that from 141 grains, really cut only 16 grains. The calculation of the number of active or cutting-deforming diamond grains in the volume of the surface layer of the cutting tool is an important characteristic that determines the cutting properties, tool life and tool life, as well as the temperature and forces generated by cutting.*
***Key words****: diamond, grain, cutting tools, cutting, drill bit.*

Расчет количества активных или режуще-деформирующих алмазных зерен в объеме поверхностного слоя режущего инструмента является важной характеристикой, определяющая режущие свойства, стойкость и срок службы инструмента, а также температуру и усилия, возникающие при резании [1, 2].

Для расчета количества активных режущих зерен использованы подходы по работам Г.М. Иполитова [3]. Данный теоретический способ расчета был наиболее близок к экспериментальным значениям и наиболее достоверно описывает процесс резания абразивным инструментом. Основная методика и закономерности строится на двух допущениях, первое, что при прочих равных условиях в одном и том же объеме инструмента, независимо от вида материала, содержится одинаковое количество зерен, так как различные способы получения необходимых фракций с помощью размола, рассева стандартизированы, а также, второе допущение, что в расчетах не учитываем различия модели поведения между абразивными и алмазными зернами. Поэтому расчет строиться на определении количества алмазных зерен в единице объема или в единице массы.

Анализ результатов показал, что количество зерен в единице массы можно рассчитать ориентировочно, принимая, что зерно является геометрическим телом, форма которого находится между сферой (наибольший объем при наименьшей площади поверхности) и кубом (100% заполнение объема). Если предположить, что объем такого зерна равен среднему из объемов сферы с диаметром $d_0$ и куба со стороной $d_0$, то количество зерен в навеске массой $m_3$ будет определяться формулой:

$$n_0 \approx \frac{3}{2} \cdot \frac{m_3}{d_0^3 \cdot \rho_з}, \qquad (1)$$

где $d_0$ диаметр зерна рассчитывался по формуле Маслова Е.Н. [4] $d_0 = 10{,}6 \cdot N_з \cdot 10^{-3}\,мм$; $N_з$ – зернистость; $\rho_3$ – плотность абразивного материала.

Число зерен, которое находится во всем объеме алмазного инструмента, не представляет значительного интереса по сравнению с количеством зерен в объеме рабочего поверхностного слоя в зоне контакта. Принято, что поверхностный слой - это слой толщиной равной средневероятному размеру зерна $d_0$. Число зерен в данном объеме можно определить по формуле (2);

$$n_{пс} = S \cdot d_0 \cdot c_1 \cdot \rho_з \cdot \rho_m, \qquad (2)$$

где $S$ – площадь зоны контакта алмазного инструмента и обрабатываемой поверхности; $\rho_m$ – количество зерен в 1г.

По известному количеству зерен $n_{пс}$ в объеме рабочего поверхностного слоя, можно рассчитать количество зерен в слое толщиной $y$, если предположить, что они расположены равномерно по глубине рабочего поверхностного слоя:

$$n_y = \frac{y}{d_0} \cdot n_{пс}, \tag{3}$$

где $y$ - глубина внедрения алмазного зерна.

Зная количество зерен в слое высотой $y$ и с учетом данных по процентному содержанию режуще-деформирующих зерен в этом слое $C_{1реж}$ можно определить, сколько режуще-деформирующих зерен участвует в съеме стружки:

$$n_{уреж} = n_y \cdot C_{1реж}. \tag{4}$$

Определив данное значение для алмазного инструмента с номером структуры $N_{стр}$=0 через коэффициент пропорциональности $\kappa_{стр}$ можно рассчитать количество режуще-деформирующих зерен для алмазного инструмента с другой структурой.

Проведем расчет количества режуще-деформирующих зерен на рабочей торцевой поверхности алмазного кольцевого сверла [5, 6]: тип 1, диаметр 10 мм, синтетический алмазный порошок марки АС6, зернистость 100/125, концентрация 100%, тип металлической связки М2-01, производящим обработку стеклопластика со скоростью $\upsilon$=8,9 м/с, подачей $S_{пр}$=0,01 мм/об и глубиной $t$=0,2 мм. Распределение вершин алмазных зерен по высоте равномерное.

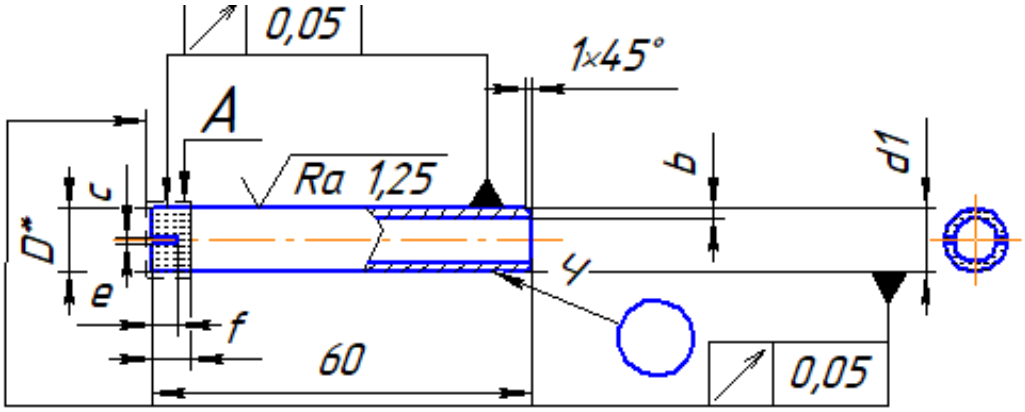



Рис. 1.Алмазное кольцевое сверло

$D^*=10^{-0,15}$ *мм; d1=9,6±0,01 мм; b=1,2* $^{+0,3}_{-0,1}$ *мм; c=1 мм; e=4 мм; f=6±0,5 мм*

Площадь рабочей поверхности алмазоносного элементов сверла, мм$^2$:

$$S_i = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} R_H^2((180 - 2\arcsin\frac{c}{2R_H}) - \sin(180 - 2\arcsin\frac{c}{2R_H})) - \\ - R_{BH}^2((180 - 2\arcsin\frac{c}{2R_{BH}}) - \sin(180 - 2\arcsin\frac{c}{2R_{BH}})) \end{pmatrix},$$

где $R_H$ – наружный радиус сверла, мм; $R_{BH}$ – внутренний радиус сверла, мм;
*c* – паз на торцевой части сверла, мм.

$$S_i = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} 5^2((180 - 2\arcsin\frac{1}{2 \cdot 5}) - \sin(180 - 2\arcsin\frac{1}{2 \cdot 5})) - \\ - 4{,}6^2((180 - 2\arcsin\frac{1}{2 \cdot 4{,}6}) - \sin(180 - 2\arcsin\frac{1}{2 \cdot 4{,}6})) \end{pmatrix} = 5{,}63 мм^2.$$

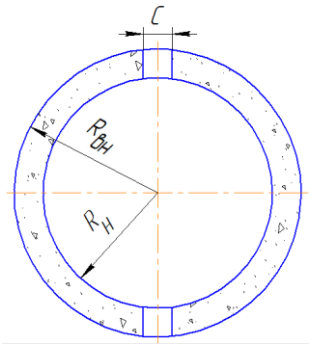



Рис. 2. Геометрических параметры торца кольцевого алмазного сверла:

$R_H$ – наружный радиус сверла; $R_{BH}$ – внутренний радиус сверла; *c* - паз на торцевой части сверла.

Площадь контакта определяется исходя из геометрических размеров кольцевого алмазного сверла (рис. 1): $S_K=N_K \cdot S_i$, где $N_K$ – количество алмазоносных элементов кольцевого сверла (2шт.); $S_i$ – площадь рабочей поверхности алмазоносного элемента.

$$S_K=N_K \cdot S_i=2 \cdot 5{,}63=11{,}26\ мм^2$$

Объем поверхностного слоя *V* толщиной, равный диаметру зерна: $V=S_K \cdot d_0$, где средний диаметр зерна $d_0=1192{,}5 \cdot 10^{-3}$ *мм* (зернистость 125/100).

$$V=S_K \cdot d_0=11{,}26 \cdot 1192{,}5 \cdot 10^{-3}=13{,}42\ мм^2$$

Количество зерен для заданного объема в зоне контакта равно:

$$n_{ПС}=V \cdot C_1 \cdot \rho_з \cdot n_0, \qquad (5)$$

где $C_1$ – процентное содержание зерен в инструменте, $C_1$= 100%; $n_0$ – количество зерен в навеске, $n_0$ =290 *шт.*

После подстановки в (5), получаем: $n_{ПС}=13{,}42 \cdot 1 \cdot 3{,}95 \cdot 10^{-3} \cdot 290=16$ *шт.*

Рассматривая другой подход к определению количества активных зерен можно подтвердить полученный результат. Прудников Е.Л. в свой работе [7], посвящённой

разработке методики определения количества зёрен в однослойном алмазно-гальваническом покрытии, вывел формулу, которая выглядит следующим образом:

$$Z_P = \frac{10^8}{A^2} \cdot K' \qquad (6)$$

где $Z_P$ – количество зерен в однослойном алмазно-гальваническом покрытии на единице поверхности (*шт/см*$^2$); А – верхнее значение в обозначении зернистости порошка или размер ячейки сита (в мкм); $K'$ – поправочный коэффициент, который был выведен с помощью уравнения регрессии, выражающее взаимосвязь между зернистостью алмазного порошка и отношением фактического числа зерен, взятого как среднее значение реальных размеров, к теоретически рассчитанному ($K' = 0{,}385 + 5{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot A$).

Используя формулу (6) для нашего примера можно получить следующие результаты:

$$Z_P = \frac{10^8}{125^2} \cdot (0{,}385 + 5{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 125) = 2508 шт / см^2 .$$

Для определения количества зерен на рабочей поверхности используем рассчитанную площадь рабочей поверхности. На рабочей поверхности в алмазоносном покрытии будет находиться следующее количество алмазных зерен: $Z_П = S \cdot Z_P = 0{,}0563 \cdot 2508 = 141 шт.$

Однако все 141 зерен не могут одновременно участвовать в резании в начальный момент времени, количество активных режущих зерен будет определенно с помощью методики представленной С.Г. Редько.

Согласно методики расчета абразивных зерен С.Г. Редько [8], количество рабочих зерен составляет для алмазного кольцевого сверла: тип 1, диаметр 10 мм, синтетический алмазный порошок марки АС6, зернистость 100/125, концентрация 100%, тип металлической связки М2-01, $Z_P = (0{,}1 \div 0{,}12) \cdot Z_П$. $Z_P \approx 0{,}11 \cdot 141 \approx 16 шт.$

Таким образом, используя два подхода, получили, что на рабочей поверхности алмазного кольцевого сверла *D=10 мм* количество активных режущих зерен является 16 шт. В дальнейшем, на основании этих данных необходимо исследовать способ повышения количества режущих зерен на рабочей поверхности инструмента.

**Список литературы: 1.** Волчкова Е.А., Осипов А.В. Определение количества режуще-деформирующих зерен в объеме поверхностного слоя абразивного инструмента //Сучасні технології в машинобудуванні, 2013, вип. 8, С. 9-29. **2.** Балыков А.В., Машков Г.А., Корзаков А.А. Моделирование работы единичного алмазного зерна //Вестник МГТУ «Станкин», 2009. №1. С. 30–34. **3.** Ипполитов Г.М. Абразивно-алмазная обработка. М.: Машиностроение, 1969, 334 с. **4.** Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. **5.** ГОСТ 26339-84. Сверла алмазные кольцевые. Технические условия. Москва: Изд-во стандартов, 1986. 24 с. **6.** Дударев А.С. Конструкции свёрл и фрез для алмазно-абразивной обработки стеклопластиков и углепластиков //Известия ТулГУ, 2012, №1. С. 361-370. **7.** Прудников Е.Л., Гаманиюк М.П. Методика расчета количества зерен в однослойном алмазно-гальваническом покрытии //Синтетические алмазы,1976, № 4. С. 27-30. **8.** Редько, С.Г. Расположение абразивных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга/С.Г. Редько, А.В. Королев//Станки и инструмент, 1970, № 5. С. 34- 48.

# КОМПАКТНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Ладоша Е.Н., Цымбалов Д.С., Яценко О.В.** *(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)*
*Тел: +7 (951) 8475165; E-mail: oleg_v_yatcenko@mail.ru*

***Abstract:*** *An optimized model describing combustion in the piston engine is proposed. The model is based on differential equations related to chemical transformations and associated transfer phenomena. The optimization is performed to reduce the order of differential equation as possible with no effect on the model adequacy. The elaboration enables to reproduce the engine dynamics, the energy transfer efficiency as well as the toxicity of exhaust gases. The development is useful to improve engine technologies and operation including environmental safety aspects.*

Острая конкуренция в производстве автотранспорта требует постоянное совершенствовать конструкцию и технологию изготовления как двигателей внутреннего сгорания (ДВС), так и процедуры их обкатки, регулирования и технического обслуживания. Поскольку экологические требования фактически определяют развитие двигателестроения, особо актуальным становятся научные знания о физико-химических механизмах преобразования энергии и образования токсичных веществ в ДВС [1-3].

В то же время современные средства технической диагностики ДВС, в частности, экспресс-анализа отработавших газов (ОГ), не позволяют «видеть» внутрицилиндровый процесс с необходимым разрешением (временным, пространственным, компонентным). В этой связи перспективны детальные информационные модели внутрицилиндровой динамики, допускающие интеграцию с измерительной аппаратурой различного назначения. Такие модели не мыслимы без существенного использования фундаментальных достижений физики и химии горения.

Шагом в решении обозначенной научной проблемы видится созданная авторами детальная информационная модель горения в поршневом ДВС. Модель интегрирует различные физико-химические аспекты внутрицилиндрового горения на пределе факторного разрешения многоэлементных систем подобной сложности: учитывается порядка тысячи элементарных химических реакций между более чем 100 реагентами при реалистичных турбулентных движениях топливно-воздушной смеси (ТВС) [4-6]. Особенностью модели является *двухмасштабное осреднение*: на уровне пламенных диффузионно-реакционных структур и на уровне практически однородных объемов горящей ТВС. Динамические уравнения процесса в ТВС для дизеля имеют вид:

$$G(t) = \sum A_k\,(\alpha_k + 1)(t - t^0{}_k)^{\alpha_k}/\Delta t_k{}^{\alpha_k + 1}\exp[-(t - t^0{}_k)/\Delta t_k)^{\alpha_k + 1}]\cdot\mathrm{sign}(t - t^0{}_k)\,, \tag{1}$$

$$dm_\mathrm{f}\,/dt = G(t) - 3/2\,D_\mathrm{f}\,(\rho_\mathrm{f}\,/\,\langle m\rangle)^{2/3}\,m_\mathrm{f}\,, \tag{2}$$

$$\frac{d\langle m\rangle}{dt} = -\frac{3}{2}D_\mathrm{f}\rho_\mathrm{f}^{2/3}\langle m\rangle^{1/3} + \frac{3}{2}\cdot\frac{\rho_\mathrm{f}^{2/3}\xi^{1/3}G(t)^3\langle m\rangle^{4/3} - \xi G(t)^7\langle m\rangle^2}{\rho_\mathrm{f}\,m_\mathrm{f}}\,, \tag{3}$$

$$F_i(t) = \delta_{i,\mathrm{f}}\,\frac{3D_\mathrm{f}\rho_\mathrm{f}^{2/3}m_\mathrm{f}}{2\langle m\rangle^{2/3}\mu_\mathrm{f}}\,,\ F_i^\mathrm{r}(t) = \frac{F_i(t)}{1+\sqrt{x}+x},\ F_i^\mathrm{n}(t) = \frac{\sqrt{x}F_i(t)}{1+\sqrt{x}+x}\,,\ F_i^\mathrm{l}(t) = \frac{xF_i(t)}{1+\sqrt{x}+x}\,, \tag{4}$$

$$\frac{dn^j}{dt} = \sum \frac{dn_i^j}{dt}, \quad j = \{\mathrm{r},\ \mathrm{n},\ \mathrm{l}\}, \tag{5}$$

$$\frac{dn_i^{\mathrm{r}}}{dt} = f_i^*(\boldsymbol{n}^{\mathrm{r}}, \rho^{\mathrm{r}}, T^{\mathrm{r}}) + \frac{D\,\mathrm{Re}^{1.5}}{l^2}(n_i^{\mathrm{n}} - n_i^{\mathrm{r}}) + F_i^{\mathrm{r}}(t), \tag{5-r}$$

$$\frac{dn_i^{\mathrm{n}}}{dt} = f_i^*(\boldsymbol{n}^{\mathrm{n}}, \rho^{\mathrm{n}}, T^{\mathrm{n}}) + \frac{D\,\mathrm{Re}^{1.5}}{l^2}(n_i^{\mathrm{r}} - 2n_i^{\mathrm{n}} + n_i^{\mathrm{l}}) + F_i^{\mathrm{n}}(t), \tag{5-n}$$

$$\frac{dn_i^{\mathrm{l}}}{dt} = f_i^*(\boldsymbol{n}^{\mathrm{l}}, \rho^{\mathrm{l}}, T^{\mathrm{l}}) + \frac{D\,\mathrm{Re}^{1.5}}{l^2}(n_i^{\mathrm{n}} - n_i^{\mathrm{l}}) + F_i^{\mathrm{l}}(t), \tag{5-l}$$

$$f_i^*(\boldsymbol{n}^j, \rho^j, T^j) = f_i^{\mathrm{chem}}(\boldsymbol{n}^j, \rho^j, T^j) + f_i^{\mathrm{diff}}(\boldsymbol{n}^j, \rho^j, T^j),$$

$$f_i^{\mathrm{diff}}(\boldsymbol{n}^j, \rho^j, T^j) = \frac{\sqrt{D\,\mathbf{Re}^{1.5} n_i^j \left| f_i(\boldsymbol{n}^j, \rho^j, T^j + T_{\mathrm{ad}}/2)^3 \right|}}{l \cdot f_i(\boldsymbol{n}^j, \rho^j, T^j + T_{\mathrm{ad}}/2)},$$

$$T = \frac{\sum\limits_{i,j} C_{Pi} n_i^j T^j}{\sum\limits_{i,j} C_{Pi} n_i^j}, \tag{6}$$

$$\frac{dT^{\mathrm{r}}}{dt} = \frac{\sum f_i^*(\boldsymbol{n}^{\mathrm{r}}, \rho^{\mathrm{r}}, T^{\mathrm{r}})(H_i / C_V^{\mathrm{r}} - T^{\mathrm{r}})}{\sum n_i^{\mathrm{r}}} + \frac{D\,\mathrm{Re}^{1.5}}{l^2}(T^{\mathrm{n}} - T^{\mathrm{r}}) + q^{\mathrm{r}}(t), \tag{6-r}$$

$$\frac{dT^{\mathrm{n}}}{dt} = \frac{\sum f_i^*(\boldsymbol{n}^{\mathrm{n}}, \rho^{\mathrm{n}}, T^{\mathrm{n}})(H_i / C_V^{\mathrm{r}} - T^{\mathrm{r}})}{\sum n_i^{\mathrm{n}}} + \frac{D\,\mathrm{Re}^{1.5}}{l^2}(T^{\mathrm{r}} - 2T^{\mathrm{n}} + T^{\mathrm{l}}) + q^{\mathrm{n}}(t), \tag{6-n}$$

$$\frac{dT^{\mathrm{l}}}{dt} = \frac{\sum f_i^*(\boldsymbol{n}^{\mathrm{l}}, \rho^{\mathrm{l}}, T^{\mathrm{l}})(H_i / C_V^{\mathrm{r}} - T^{\mathrm{r}})}{\sum n_i^{\mathrm{l}}} + \frac{D\,\mathrm{Re}^{1.5}}{l^2}(T^{\mathrm{n}} - T^{\mathrm{l}}) + q^{\mathrm{l}}(t), \tag{6-l}$$

$$q^j(t) = -\frac{(\sin \Omega t + \gamma/2 \sin 2\Omega t)\,\Omega\, n^j R T^j}{2 \cdot \left[ \dfrac{1}{\varepsilon - 1} + \dfrac{(1 - \cos \Omega t + \gamma/2 \sin^2 \Omega t)}{2} \right]} - \alpha S_{\mathrm{w}}(T^j - T_{\mathrm{w}}) - L_{\mathrm{f}} F_{\mathrm{f}}^j(t),$$

$$P(\varphi) = k_{\text{Б}}\, RT / V(\varphi), \tag{7}$$

$$I\, d^2\varphi/dt^2 + (k_1 + k_2\, |d\varphi/dt|)\, d\varphi/dt + P(\varphi)\, S_{\mathrm{p}}\, r(\varphi) = 0, \tag{8}$$

где набор параметров $\{A_k, \alpha_k, t^0_k, \Delta t_k\}$ описывает динамику впрыска (жидкого топлива); $<m>$ и $m_f$ – средняя масса капель и масса жидкого топлива в КС; $\xi$ – параметр, характеризующий распыливающее устройство; $\rho$ и $\rho_f$ – соответственно плотность газа и жидкого топлива; $G(t)$ – массовая скорость впрыска (топлива); $F_i(t)$ – поток $i$-го газа в КС при испарении жидкого топлива; $\mu_i$ и $\mu_f$ – молекулярный вес $i$-го газового компонента и испаренного топлива соответственно; $x = \mathrm{th}[D_{turb} \sum n_i/(l^2 \sum |dn_i /dt|)]$ – параметр, характеризующий интенсивность перемешивания ТВС; $\delta_{i,f}$ – символ *Кронекера*; $D$ и $D_f$ – коэффициенты молекулярной диффузии легких компонентов и испаренного топлива; $D_{turb} = D\mathbf{Re}^{1.5}$ – коэффициент турбулентной диффузии; **Re** – число *Рейнольдса*; $\boldsymbol{n} = \{n_i\}, n_i = c_i/\rho$ – концентрации компонентов; индекс $j = \{r, n, l\}$ в уравнениях (5)-(6) отвечает соответственно зонам с богатой, близкой к стехиометрической и бедной ТВС; $L_f$ – теплота испарения топлива; $S_w$, и $l$ – соответственно мгновенное значение площади поверхности теплообмена и линейного размера КС; $q$ – тепловой поток в ТВС; $\gamma$ и $\varepsilon$ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна и геометрическая степень сжатия; $\alpha$, $T_w$ – коэффициент теплоотдачи и температура поверхности КС; $R$ – универсальная газовая постоянная; $I$ – приведенный момент инерции нагруженного ДВС; $P(\varphi)$, $S_p$ и $r(\varphi)$ – соответственно мгновенное давление ТВС, площадь поршня и функция передачи поступательного усилия – во вращение (это слагаемое в уравнениях (6) соответствует одноцилиндровому ДВС); $\varphi$ – угол поворота и $\Omega = d\varphi/dt$ – частота вращения коленвала; $k_1$ и $k_2$ – коэффициенты сопротивления вращению; $k_Б$ – постоянная *Больцмана*; $V(\varphi)$ – мгновенный объем КС. Сумма (1) нормируется как $\Sigma A_i = G_\Sigma$, и для аппроксимации реальных законов топливоподачи обычно хватает двух слагаемых. Удобно положить $\alpha_1 \approx 1/3$, $\alpha_2 \approx 3$, $t^0_1 \approx t^0_2$ и $\Delta t_1 \approx \Delta t_1$, а $A_1/A_2$ выбрать в пределах $3 \div 5$. Если известен реальный закон впрыска, параметры модельного распределения (1) целесообразно определить путем подгонки.

В совокупности с детальным механизмом горения углеводородных топлив [4, 5] модель (1)-(8) позволяет надежно воспроизводит энергетические характеристики рабочего цикла не только дизелей, но и (при соответствующей адаптации) других типов ДВС. Кроме того, она позволяет верно оценивать содержание CO, $C_xH_y$, NO, RCOH в ОГ при различных режимах работы ДВС. Однако вследствие химической многокомпонентности использование этой модели в ряде случаев не представляется оправданным.

Задача «облегчения» модели решалась выявлением т.н. скелетных механизмов реагирования – минимального числа реагентов и элементарных реакций, аппроксимирующих совокупный процесс с приемлемой точностью [7-8]. Авторы воспользовались технологией [8] для двухэтапного выделения ключевых реагентов и ведущих реакций. При отбрасывании малозначительных реакций требовалось, чтобы усеченный кинетический механизм хорошо воспроизводил как механоэнергетических показатели рабочего процесса (допускалась погрешность ± 5 %), так и содержание в ОГ нормируемых токсичных веществ CO, $C_xH_y$, и NO (допускалась погрешность ± 30 %). Выделение скелетного механизма осуществлялось на фоне транспортных процессов в поршневом ДВС. Соответствующие результаты в формате $k(T) = A \cdot 10^B \cdot (T/C)^D \cdot e^{E/T}$ приведены в таблице.

Таблица 1. - Реакции между веществами, образованными исключительно атомами O (кинетические параметры обратных реакций рассчитываются по термодинамическим соотношениям)

| № | Схема реакции: X + Y+ … $\xrightarrow{k}$ V + W + … | | | | | | | Параметры в общей формуле константы скорости реакции *k* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Реагенты | | | | Продукты | | | *A* | *B* | *C* | *D* | *E* |
| 1 | $CH_2$ | $O_2$ | | → | CH | $HO_2$ | | 2.21 | –11 | 298 | 0 | –26200 |
| 2 | H | $CH_2$ | | → | CH | $H_2$ | | 8.97 | –11 | 298 | 0 | –3880 |
| 3 | O | $CH_2$ | | → | CH | OH | | 7.06 | –11 | 298 | 0 | –4890 |
| 4 | OH | $CH_2$ | | → | CH | $H_2O$ | | 5.42 | –20 | 1 | 2.75 | 390 |
| 5 | CH | $O_2$ | | → | C | $HO_2$ | | 2.49 | –13 | 298 | 0 | –2520 |
| 6 | $HO_2$ | $CH_2$ | | → | CH | $H_2O_2$ | | 4.15 | –13 | 298 | 0 | –5295 |
| 7 | CH | M | | → | C | H | M | 4.75 | –13 | 298 | 0 | –17400 |
| 8 | C | OH | | → | CO | H | | 1.66 | –12 | 298 | 0 | 0 |
| 9 | CO | OH | | → | $CO_2$ | H | | 2.79 | –17 | 1 | 1.3 | 330 |
| 10 | CO | O | M | → | $CO_2$ | M | | 6.90 | –33 | 298 | 0 | –2200 |
| 11 | $HO_2$ | CO | | → | OH | $CO_2$ | | 1.67 | –13 | 298 | 0 | –5040 |
| 12 | H | $O_2$ | | → | OH | O | | 2.37 | –10 | 298 | 0 | –8270 |
| 13 | OH | $H_2$ | | → | $H_2O$ | H | | 5.27 | –17 | 1 | 1.8 | –1530 |
| 14 | O | $H_2$ | | → | OH | H | | 3.45 | –10 | 298 | 0 | –6930 |
| 15 | OH | OH | | → | $H_2O$ | O | | 9.1 | –11 | 298 | 0 | 3530 |
| 16 | H | OH | M | → | $H_2O$ | M | | 6.11 | –26 | 1 | –2 | 0 |
| 17 | H | H | M | → | $H_2$ | M | | 1.80 | –30 | 1 | –1 | 0 |
| 18 | H | $O_2$ | M | → | $HO_2$ | M | | 8.83 | –30 | 1 | –1 | 0 |
| 19 | $HO_2$ | OH | | → | $H_2O$ | $O_2$ | | 8.33 | –11 | 298 | 0 | –504 |
| 20 | $HO_2$ | H | | → | $H_2$ | $O_2$ | | 4.22 | –11 | 298 | 0 | –353 |
| 21 | $HO_2$ | H | | → | OH | OH | | 3.32 | –10 | 298 | 0 | –910 |
| 22 | $HO_2$ | O | | → | OH | $O_2$ | | 8.33 | –11 | 298 | 0 | –505 |
| 23 | $HO_2$ | $HO_2$ | | → | $H_2O_2$ | $O_2$ | | 3.31 | –12 | 298 | 0 | 0 |
| 24 | $HO_2$ | $H_2$ | | → | $H_2O_2$ | H | | 5.00 | –13 | 298 | 0 | –9430 |
| 25 | $H_2O_2$ | OH | | → | $HO_2$ | $H_2O$ | | 1.69 | –11 | 298 | 0 | –960 |
| 26 | $H_2O_2$ | M | | → | OH | OH | | 5.63 | -8 | 298 | 0 | -23090 |
| 27 | $C_{16}H_{32}$ | | | → | $C_8H_{16}$ | $C_8H_{16}$ | | 1.5 | 3 | 298 | 0 | -2750 |
| 28 | $C_8H_{16}$ | | | → | $C_4H_8$ | $C_4H_8$ | | 1.5 | 3 | 298 | 0 | -2750 |
| 29 | $C_4H_8$ | | | → | $C_2H_4$ | $C_2H_4$ | | 1.5 | 3 | 298 | 0 | -2750 |
| 30 | $C_2H_4$ | | | → | $CH_2$ | $CH_2$ | | 1.5 | 3 | 298 | 0 | -2750 |
| 31 | O | $N_2$ | | → | NO | N | | 2.99 | -10 | 1 | 0 | -38270 |
| 32 | N | $O_2$ | | → | NO | O | | 1.49 | -14 | 298 | 0 | -3250 |
| 33 | N | OH | | → | NO | H | | 4.65 | -11 | 298 | 0 | 0 |
| 34 | $N_2$ | O | M | → | $N_2O$ | M | | 4.56 | -39 | 1 | 0.762 | -11990 |
| 35 | $N_2O$ | O | | → | NO | NO | | 1.09 | -10 | 298 | 0 | -13360 |

Оказалось, что элементарные химические реакции, составляющие этот упрощенный механизм горения и образования токсичных веществ в ДВС, как правило,

являются фигурантами альтернативных упрощенных схем высокотемпературного окисления углеводородов в воздухе или кислороде (например, [7]).

Результаты выполненных исследований сводятся к следующему. На основе детальной модели внутрицилиндровых процессов поршневого ДВС разработана упрощенная модель реакций, позволяющая рассчитывать интегральные и мгновенные энергетические показатели, а также токсичность ОГ по CO, $C_xH_y$, и NO с погрешностью 30 % в сравнении с детальной моделью. Упрощенная модель существенно лучше приспособлена к агрегации в состав аппаратуры для экспресс анализа отработавших газов ДВС.

**Список литературы: 1.** Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. – М.: Транспорт, 1979. **2.** Беднарский В.В. Экологическая безопасность при эксплуатации и ремонте автомобилей. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. **3.** Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. – М.–Л: Изд-во АН СССР, 1947. **4.** Яценко О.В. Информационно-математические модели внутрицилиндровых процессов в поршневом двигателе: механизмы, уравнения, термодинамические и кинетические коэффициенты / Св-во об официальной рег. БД № 2004620137. – М.: РОСПАТЕНТ, 2004. **5.** Бакулин В.Н., Ладоша Е.Н., Потопахин В.А., Яценко О.В. Моделирование кинетики неравновесных физических процессов и реакций в многокомпонентном турбулентном заряде поршневых двигателей внутреннего сгорания // Мат. моделирование. – 2007. – Т. 19. – № 12. – С. 81-97. **6.** Яценко О.В., Ладоша Е.Н. Генератор подробных компьютерных моделей динамики реагирующего газа: новое программное обеспечение системных исследований в технике и экологии // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. – 2006. – № 1. – С. 50-59. **7.** Яхимовски К. Дж. Упрощенный механизм горения углеводородного топлива // Аэрокосмическая техника. – 1986. – № 6. С. – 148-156. **8.** Ладоша Е.Н. Автоматизированный синтез и анализ детальных компьютерных моделей реагирующих газов в задачах технической экологии / Дисс. канд. технич. наук. – Ростов н/Д., 2006. 154 с.

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ШАТУНОВ ОППОЗИТНОГО КОМПРЕССОРА

**Петрова И.М.[1], Филимонов М.А.[2]** ([1]ИМАШ РАН, Москва, Россия,
[2]АО НИЦ «Технопрогресс», Москва, Россия)

***Abstract:*** *The stress state of the connecting rod is analyzed. The stresses acting in the most loaded section of the connecting rod head are determined experimentally and by numerical experiment. The estimation of the failure probability of connecting rods depending on the current load and gaps in the conjugation. To increase the probability of failure-free operation, it is proposed to use the hardening of the working surface*
***Key words:*** *Stress state, numerical experiment, probability of failure.*

Надежность оппозитных компрессоров, используемых в химическом производстве, имеет определяющее значение для технологических линий. Редкие отказы компрессоров сопровождаются значительными разрушениями, причем поломка шатуна приводит практически к полному отказу компрессора. Правильная оценка их прочностных характеристик необходима для обеспечения требуемого уровня надежности шатунов, так

как позволяет при необходимости предусмотреть повышение их прочности технологическими методами.

Анализ эксплуатационной надежности компрессоров показал, что наиболее серьезные аварии вызывают разрушение шатунов по их крейцкопфным головкам. Обследование разрушенных машин показало, что все случаи поломок явились следствием появления усталостных трещин в поршневых головках. Образование трещин начиналось с внутренней поверхности головки в ее среднем сечении. Большие габариты шатунов, фиксированная величина зазора в сопряжении головки с шатунным пальцем не позволяют в полной мере провести всесторонние экспериментальные исследования прочности шатунов при динамическом нагружении. Расчет прочности крейцкопфной головки шатуна содержит ряд допущений, на точность расчета влияет учет кривизны головки, конструктивных особенностей исполнения головок, изменение зазора между пальцем и втулкой вследствие износа, изменение действующих нагрузок в эксплуатации.

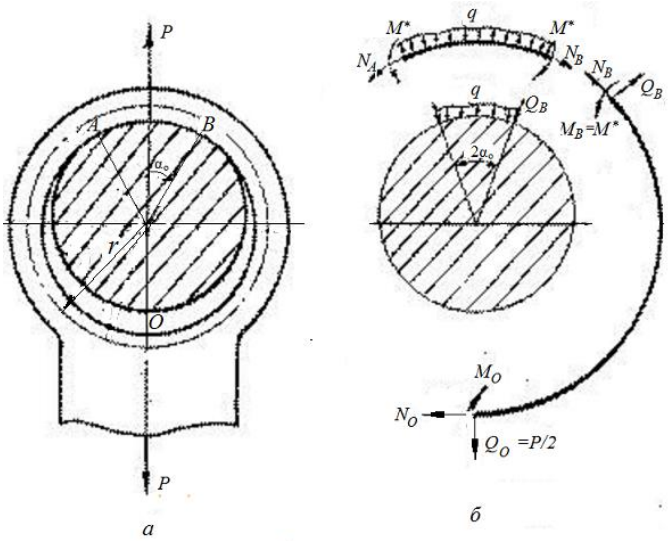



Рис. 1 Силы, действующие в крейцкопфной головке шатуна

При нагружении шатуна в крейцкопфной головке можно отметить два характерных участка (рис.1): АВ- зона контакта цилиндрических поверхностей шатунного пальца в головке шатуна с углом контакта $2\alpha_0$, где действует контактная распределенная нагрузка *q*, и участок ВО - с зазором между цилиндрическими поверхностями, где контактное давление отсутствует. На практике развитие трещин в эксплуатации наблюдалось на сечении $80\text{-}110^0$ от продольной оси симметрии шатуна, следовательно, наибольший интерес вызывает исследование распределения напряжений в этих зонах. Для определения контактного угла $2\alpha_0$ были приняты следующие допущения: головка крейцкопфного шатуна нерастяжима, палец абсолютно жесткий, силы трения в области контакта отсутствуют. Тогда на участке АВ (рис. 1) кривизна постоянна и изгибающий момент равен [1]

$$M^* = \frac{EI_x(r-\rho^*)}{r\rho^*}$$

Где $E$ – модуль упругости, $I_x$ – момент инерции, $r$ – средний радиус головки, $\frac{1}{\rho^*} = \frac{1}{r_o + \frac{h}{2}}$ – кривизна головки в области контакта, $r_o$- радиус поршневого пальца, $h$ – высота сечения головки.

На границе участков контакта и зазора пальца с расточкой шатуна возникают радиальная сила $N_B$, тангенциальная сила $Q_B$ и изгибающий момент $M_B$. Так как жесткость пальца на несколько порядков больше жесткости головки шатуна, то в соответствии с [2] на участке контакта ВО будет действовать постоянный изгибающий момент $M_B$. Из условия сопряжения участков АВ и ВО изгибающие моменты равны $M_B = M^*$. Момент в текущем сечении, при начале отсчета угла α на границе участков (контактный угол $2\alpha_o$) будет равен

$$M = M^* + N_B(1 - cos\alpha) - Q_B r\ sin\alpha \qquad (2)$$

Допуская, что головка нерастяжима, палец абсолютно жесткий, силы трения в зоне контакта отсутствуют можно представить головку в виде кольца. Тогда уравнение упругой линии кольца будет иметь вид [3]

$$\frac{d^2W}{d\alpha^2} + W = -\frac{Mr}{EI_x} \qquad (3)$$

Подставив формулу (2) в уравнение (3) получим

$$\frac{d^2W}{d\alpha^2} + W = -\frac{r^2}{EI_x}[M^* + N_B r(1 - cos\alpha) - Q_B r\ sin\alpha] \qquad (4)$$

где $W$- радиальное смещение точки контакта, $W = -dV/d\alpha$, $r$- радиус упругой линии кольца.

Угол поворота нормали υ определяется из выражения $\vartheta = \frac{V}{r} - \frac{1}{r}\frac{dW}{d\alpha}$

Используя граничные условия при α=0 и α=π-$\alpha_0$ можно определить значения силовых факторов $N$ и $Q$ как функции угла α. Напряжения в зоне от угла $\alpha_0$ до угла перехода головки в стержень шатуна были определены путем численного эксперимента с использованием формулы (4). При этом варьировались эксплуатационные нагрузки и зазоры в сопряжении шатун – палец. Расчет напряженного состояния головки шатуна проводили для сечений находящихся в пределах углов от α, соответствующего окончанию зоны контакта, до угла φ =$135^0$ (рис. 1). Заданные нагрузки соответствовали эксплуатационным: 250кН при номинальном режиме работы, 300кН при работе с перегрузкой, 180кН при недогрузке машины. Зазоры в сопряжении шатунный палец – расточка шатуна также задавалось в соответствии с эксплуатационными: крайние значения 0,05мм; 0,15мм. Среднее значение зазора приняли равным 0,1мм. По результатам аналитических расчетов, в которых варьировались нагрузки в деталях кривошипно-шатунного механизма и зазоры в сопряжении расточка шатуна – палец шатуна, были определены напряжения, действующие в наиболее нагруженном сечении головки шатуна. Было получено, что увеличение зазора оказывает влияние на рост напряжений в сечениях головки и на координаты сечений с максимальными напряжениями. Увеличение зазора от минимальной до максимальной величины вызывает увеличение напряжений на 20-30%. Для экспериментальной оценки напряженного состояния шатуна были проведены натурные тензометрические испытания при различных режимах работы компрессора [4]. Тензометрические испытания показали, что шатун работает при регулярной переменной нагруженности с асимметричным циклом. Получено, что наиболее нагруженным в крейцкопфной головке шатуна является внутренняя поверхность её средней части, расположенная в пределах

угла φ равного 95…115$^0$ Для данного сечения шатуна, находящегося в этих пределах, как наиболее нагруженного, проведена оценка надежности. Характеристики переменных напряжений, действующих в эксплуатации в этом сечении, полученные экспериментально тензометрированием представлены в табл. 1.

Оценка характеристик сопротивления усталости проведена в соответствии с [5, 6], где среднее значение предела выносливости шатуна рекомендовано определять по формуле

$$\sigma_{-1д}=\frac{\sigma_{-1}}{K}$$

Где *K* – коэффициент снижения предела выносливости. В результате расчета получена величина коэффициента снижения предела выносливости *K*=3,4. Шатун изготовлен из стали 40Х с пределом прочности 590МПа. Значение предела выносливости и его коэффициент вариации, определенное по рекомендациям [ 5, 6 ] получилось равным 285Мпа. Тогда среднее значение предела выносливости шатуна $\sigma_{-1д}$= 84 Мпа. По полученным данным о напряженно-деформированном состоянии головки шатуна при эксплуатационном нагружении и характеристиках сопротивления усталости по формуле, предложенной в [5] и по алгоритму приведенному в [7] определена квантиль нормального распределения.

$$U_p = \frac{1-n}{\sqrt{n^2\vartheta^2_{\sigma_{-1д}} + \vartheta^2_{\sigma_{аз}}}}$$

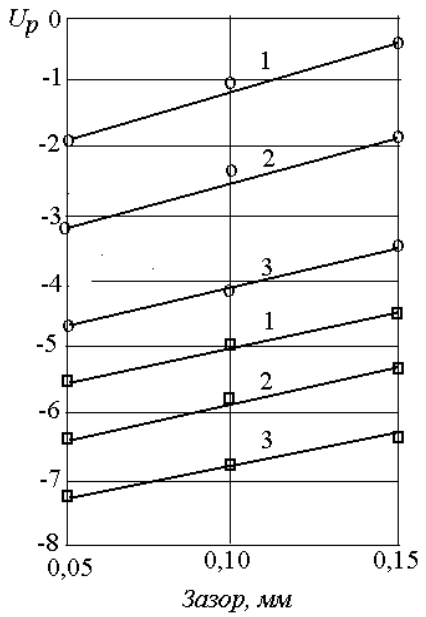
Где $n = \frac{\bar{\sigma}_{-1д}}{\bar{\sigma}_{аз}}$ – коэффициент запаса прочности при динамическом нагружении, определенный по средним значениям предела выносливости шатуна и амплитуды, действующей в эксплуатации.

По значениям квантили $U_p$ по таблицам математической статистики [8] были определены, соответствующие вероятности разрушения шатуна Р%.

Для повышения надежности шатунов предложено проводить упрочнение головки шатуна наклепом для повышения сопротивления усталости. После упрочнения коэффициент снижения предела выносливости изменился до значения *K* =1,8, при этом предел выносливости упрочненного шатуна увеличился до $\sigma_{-1Д}$ = 158Мпа.

Запасы прочности соответствующие средним значениям эксплуатационных амплитуд и пределов выносливости неупрочненных и упрочненных шатунов даны в табл. 2. Там же приведены квантили, соответствующие вероятности разрушения шатунов. Результаты расчетов вероятности разрушения шатуна до и после упрочнения в зависимости от зазора и действующей нагрузки представлены в табл.2.

Зависимости вероятности разрушения упрочненных и неупрочненных шатунов от зазоров в сопряжении при различных режимах работы, показанные на рис.2 позволяют оценивать надежность и прогнозировать работоспособность шатунов. В работе [9] отмечено, что вероятность разрушения шатунов значительно возрастает при увеличении зазора в сопряжении. Возможные перегрузки механизма движения также существенно увеличивают вероятность разрушения. Проведение упрочняющей обработки позволяет значительно повысить их надежность. Полученные результаты подтверждают возможность и целесообразность использования данных численных аналитических расчетов при оценке вероятности разрушения шатуна, учесть влияние эксплуатационной нагруженности, изменения величины зазоров в результате износа и при необходимости предусмотреть технологию упрочнения.




*Значения поршневых сил 1-180кН; 2-250кН; 3- 300кН*

o - *без упрочнения;* ▫ - *с упрочнением*

Рис. 2 Вероятность разрушения упрочненных и неупрочненных шатунов в зависимости от нагрузки и зазора в сопряжении.

Таблица 1. – Характеристики переменных напряжений, действующих на шатун в эксплуатации

| среднее значение максимального напряжения цикла, МПа | среднее значение минимального напряжения цикла, МПа | среднее напряжение цикла, МПа | амплитуда цикла, МПа | среднее значение эквивапентной амплитуды цикла, МПа | коэффициент вариации эквивалентно амплитуды цикла |
|---|---|---|---|---|---|
| $\sigma_{max}$ | $\sigma_{min}$ | $\sigma_m$ | $\sigma_a$ | $\sigma_{аэ}$ | $\vartheta_{\sigma_{аэ}}$ |
| 102 | 17,7 | 68,2 | 54 | 57,6 | 0,097 |

Таблица 2. – Вероятность разрушения упрочненных и неупрочненных шатунов в зависимости от нагрузки и зазора в сопряжении.

| Нагрузка | Зазор в | $\sigma_{аэ}$ | шатуны | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Р | сопряжении | МПа | без упрочнения | | с упрочнением | |
| кН | мм | | n | $U_P$ | n | $U_P$ |
| | 0,05 | 63,0 | 1,33 | -1,98 | 2,49 | -5,55 |
| 300 | 0,10 | 72,0 | 1,17 | -1,08 | 2,18 | -4,92 |
| | 0,15 | 78,5 | 1,07 | -0,48 | 2,0 | -4,47 |
| | 0,05 | 53,3 | 1,58 | -3,18 | 2,96 | -6,27 |
| 250 | 0,10 | 60,0 | 1,40 | -2,33 | 2,63 | -5,79 |
| | 0,15 | 66,5 | 1,26 | -1,83 | 2,37 | -5,33 |
| | 0,05 | 40,0 | 2,10 | -4,73 | 3,94 | -7,20 |
| 180 | 0,10 | 45,5 | 1,85 | -4,19 | 3,47 | -6,84 |
| | 0,15 | 50,7 | 1,66 | -3,55 | 3,11 | -6,46 |

**Список литературы: 1.** Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука. 1970, 560с. **2.** Гольбац-Кокин Э.М. Расчет поршневой головки шатуна с учетом ее жесткости и зазора посадки в ней пальца// Энергомашиностроение 1969, №8, с.39-41; **3.** Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. М.: Машиностроение, 1973, 456с.; **4.** Гусев Б.М., Несвижский Ф.А., Петрова И.М., Филимонов М.А. Повышение надежности оппозитных компрессоров. // Экспресс информация. Отечественный производственный опыт. Серия азотная промышленность Москва. НИИТхим, 1986. № 4, с.8-10; **5.** Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.:Машиностроение, 1993, 363с.; **6.** ГОСТ «Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы расчета характеристик сопротивления усталости». **7.** МУ Расчеты деталей машин на выносливость в вероятностном аспекте. Редакторы А.П.Гусенков, И.М.Петрова, И.В.Гадолина. Москва. ИМАШ РАН, МЦНТИ. 1991, 85с.; **8.** Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука. 1965. 464с.; **9.** Гриб В.В., Петрова И.М., Романов А.Н. Оценка вероятности отказа механических систем моделированием технического состояния. //Проблемы машиностроения и надежности машин, №5, 2016, с. 55-60.

## ЦЕЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Пучков Н.П., Дорохова Т.Ю.** *(ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия)*
*Тел. 89537208073; E-mail: tandor81@mail.ru*

***Abstrast****. The problems of targeted training of specialists are considered in the work. To effectively implement the target reception and training of personnel, in particular for the DIC, it is required to develop a fundamentally new system for organizing the educational process, which will enable the implementation of regional and interregional government training programs.*

***Key words:*** *target set, targeted training, vocational training, system of educational programs.*

**Введение.** Деятельность специалиста с высшим техническим образованием происходит в условиях конкретной экономической и социокультурной ситуации, которая детерминирует характер развития профессиональной среды. Преобразования и эволюция инженерной деятельности обусловлены как социальными потребностями общества, так и научно-техническим прогрессом, направлением экономической и кадровой политики государства, ситуацией на рынке труда, формированием новых ценностей и образа жизни и т.д.

Развитие производственной сферы приоритетно, особенно в «обороне», где необходимо гарантировать заданный уровень качества специалистов. Политика нашего государства ориентирована на опережающее развитие производственной сферы, особенно это чувствуется в радиоэлектронной промышленности. Радиоэлектронные предприятия и научно-исследовательские институты, ориентированы в основном на удовлетворение оборонного заказа государства и относится к наукоемкой отрасли экономики. При подготовке таких специалистов необходим как качественный отбор

абитуриентов (целевой прием), так и различные способы дополнительного стимулирования, специальные условия и программы для обучения.

В данной работе проанализировано возможное разрешение проблем подготовки специалистов радиоэлектронного профиля в Тамбовском государственном техническом университете.

**Проблемы.** Согласно целевой программе "Развитие интегрированной системы обеспечения высококвалифицированными кадрами организаций ОПК Российской Федерации в 2016-2020 годах» и реализации проекта «Новые кадры для организаций ОПК» государство финансирует около 500 млн. рублей на то, чтобы поддержать подготовку около 6000 студентов для организаций оборонно-промышленного комплекса. Это создает условия для организации целевого приема, однакл не гарантирует его качества. Поэтому *первая проблема* существующей системы организации целевого набора – это недостаточный уровень подготовки поступающих, не позволяющий им соответствовать требованиям, предъявляемым к ним заказчиками. Абитуриенты идут по отдельному конкурсу, со средним баллом по ЕГЭ ниже среднероссийского, т.к. ориентируются, в большей степени, на поступление.

В основе существующей системы целевой подготовки лежит трехсторонний договор о целевом приеме и целевом обучении, заключаемый между вузом, заказчиком (работодателем) и с абитуриентом. *Вторая проблема*, которая существует – это отсутствие нормативных гарантий, как со стороны работодателя, так и со стороны студента в выполнении договорных обязательств. Договор носит формальный характер, не исполняются обязательства по трудоустройству на предприятие. По причине нестабильности экономической обстановки, в том числе и со стороны студентов, которые находят более привлекательные места работы. Предприятие-заказчик, зачастую, предполагают конкурсные процедуры при условии найма на работу, поэтому трудоустройство не всегда оказывается возможным.

В качестве *третьей проблемы* следует отметить отсутствие законодательно установленной нормы возврата федеральных бюджетных средств, затраченных на обучение «целевиков» в случаях их отчисления. Это является причиной безответственного отношения студентов к учебе, делает необязательным трудоустройство по месту, установленному договором, и поэтому основная цель – обеспечение квалифицированными кадрами регионов, имеющих кадровый дефицит, за счет целевого обучения оказывается нереализованной.

*Четвертая* существующая проблема целевой подготовки это – не отработанная учебно-методическая нормативная база организации профессиональной подготовки, образовательные подходы и технологии, стратегия построения образовательной траектории слабо индивидуализированы и носят универсальный характер как для обучающихся, так и для предприятий-заказчиков, и не отражают специфику деятельности предприятия, с которым заключен целевой договор.

Анализ обозначенных проблем с позиций вуза ориентирует его деятельность на разрешение первой и четвертой, т.к. вторая и третья имеют организационно-юридический характер и должны разрешаться на государственном уровне.

**Перспективы.** Целевой набор абитуриентов – это весьма перспективное направление развития высшей технической школы, однако базовые принципы его функционирования нуждаются в уточнении. Качественный целевой набор должен включать профотбор абитуриентов. Предпочтительным является как обучение в профильных классах общеобразовательной школы, так и заключение целевых

договоров не просто с конкретным предприятием, а на базе оборонного кластера, с возможностью перераспределения и отбора лучших абитуриентов.

Для решения четвертой проблемы существующая система высшего технического образования не совсем пригодна, так как ориентирована на универсальный ФГОС ВО и не может в полной мере реализовать свои возможности для эффективной целевого подготовки, которая должна быть в большей степени ориентирована на разнообразные образовательные программы. Необходима система, которая позволит:

- контролировать потребности региональных промышленных предприятий ОПК в дополнительном количестве мест для целевого приема;
- позволит перераспределять студентов между предприятиями, в зависимости от кадровой обеспеченности региональных предприятий-заказчиков, а также от личностных предпочтений студентов;
- позволит сформировать набор специализированных требований для удовлетворения кадровой потребности;
- обеспечит организацию дополнительного целевого приема;
- обеспечит контроль по выполнению условий, прописанных в целевых договорах.

Эффективность целевой подготовки определяется степенью участия работодателей в образовательном процессе, как на уровне проектирования образовательных программ, так и реализации их в разработке содержания целевой подготовки, учебно-методических комплексов образовательных модулей, организации и проведении лабораторных практикумов в производственных условиях, консультировании студентов.

Существенным моментом является концентрированность обучения за счет того, что на изучение учебной дисциплины выделяется один день в неделю и занятия проводятся в производственных условиях, путем чередования теоретических и практических занятий.

Показателями степени вариативности педагогической системы, ориентированной на целевую подготовку можно считать те, которые обозначила И. И. Зарецкая, Г.Р. Никитин [2]. Это наличие в ней нескольких одинаково привлекательных и доступных вариантов программ; гибкость системы, позволяющая создать условия для изменения образовательных потребностей, нацеленность на обеспечение максимально возможной степени индивидуализации образования. Таким образом, следует, что вариативный образовательный процесс должен осуществляться во взаимосвязанной деятельности участников образовательного процесса в условиях выбора содержания (в рамках федеральных государственных образовательных стандартов), средств и способов деятельности и общения. [1]

Вариативная образовательная система, используемой нами концентрированной целевой подготовки отличается спецификой своей структуры и содержанием образования. Целостность образовательного процесса в ней обеспечивается реализацией программы, ориентированной на конкретное предприятие, с которым имеется целевой договор. Например, реализация образовательных программ совместно с кластером предприятий ОПК Тамбовского региона для направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» осуществляется по схеме представленной на рис. 1.

Рис. 1 Реализация образовательных программ для направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Как показал опыт нашей работы, в современных условиях необходима программа образовательного процесса, которая охватывала бы, с одной стороны, нормативные целевые ориентиры предприятий заказчиков (набор специализированных профессиональных компетенций), а с другой, учитывала требования к профессиональным компетенциям, предусмотренные ФГОС ВО по направлению подготовки и сочетание дополнительных образовательных программ с действующими. Это все в свою очередь влечет как потребность в новом научно-методическом обеспечении образовательной деятельности, так и учебных планах. Следует отметить, что для решения проблем целевой подготовки специалистов в техническом университете необходима разработка вариативной системы концентрированной подготовки, которая будет способствовать повышению качества целевой подготовки в целом, охватывать как целевые ориентиры предприятий заказчиков, так и требования к профессиональным компетенциям, предусмотренные ФГОС ВО, проходить в производственных условиях и включать дополнительные образовательные модули, содержать авторские учебные рабочие программы, отличающиеся оригинальностью подходов к построению процесса профессиональной подготовки и разнообразию взглядов на формирование и развитие личности профессионалов.

**Выводы.** При организации целевой подготовки специалистов в современном техническом вузе необходимо конструктивно сосредоточиться на разрешении обозначенных выше как организационно-правовых, так и педагогических проблем. Перспективное решение проблем вуза включает как довузовскую профильную

подготовку, так и организацию концентрированной целевой подготовки при максимальном участии в учебном процессе коллектива предприятий-заказчиков.

**Список литературы: 1.** Ермакова С.Д. Стажерская площадка как форма профессионального сотрудничества педагого: Автореф… дис. кан. пед. наук. – М.: 2007. – 21 с. **2.** Никитин Г.Р. Исторические опыты как базовая составляющая фундаментальных физических теорий в вариативном обучении учащихся старших классов: Дис. … кан. пед. наук. – Челябинск: 2010. – 258 с.

## MOTION OF SYSTEM WITH PROJECTED FREQUENCIES

**Bokhonsky[1] A. I., Varminskaya[2] N. I., Mozolevskaya[2] T.V.**
*[1]Sevastopol State university, Sevastopol, Russian Federation*
*bohon.alex@mail.ru [2]Black Sea Higher Naval School of P.S. Nakhimov, Sevastopol, Russian Federation nvarminska@gmail.com*

***Abstract.*** *From the given frequencies of the natural oscillations of an elastic system with a finite number of degrees of freedom (concentrated masses). The stiffness coefficients are found. The behavior of the system is studied when it moves from the source to the final stare of absolute rest for an acceptable minimum possible time of motion.*
***Key words:*** *elastic system, degrees of freedom, natural frequencies, portable motion, absolute and relative rest.*

**Introduction.** The purpose of designing of the modern equipment is ensuring new properties at improvement the mathematical models that reflect characteristic and estimated regularities of dynamic behavior of the created objects. In rather general task formulation the mechanical system with finite number of degrees of freedom can be projected as a structure with minimum mass, restrictions for durability and stiffness, and the required frequency spectrum.

Designing of optimum controls of the elastic systems frame motion with use of the reversive principle of optimality (RPO) is stated in [1 – 6]. The moment relations are expressions for displacements and velocities equal to zero at the end of the motion.

The purpose of research is the analysis of behavior of the projected linear elastic system with three degrees of freedom in the relative motion at its optimum frame motion.

**1. Dynamics of an elastic system with a finite number of degrees of freedom**

The differential equations of the system motion have the form:

$$\begin{aligned} m_1\ddot{x}_1 &= -c_1x_1 + c_2(x_2 - x_1) - m_1U_e(t), \\ m_2\ddot{x}_2 &= -c_2(x_2 - x_1) + c_3(x_3 - x_2) - m_2U_e(t), \\ m_3\ddot{x}_3 &= -c_3(x_3 - x_2) - m_3U_e(t), \end{aligned} \qquad (1)$$

where $m_1$, $m_2$, $m_3$ – concentrated masses; $c_1$, $c_2$, $c_3$ – stiffness coefficients of elastic links; $U_e(t)$ – frame motion acceleration (control); $x_1$, $x_2$, $x_3$ – the displacements of concentrated masses in relative motion.

We obtain a system of linear algebraic equations for a homogeneous system of differential equations, after substituting the particular solutions $x_1 = A_1 \sin \omega t$, $x_2 = A_2 \sin \omega t$ and $x_3 = A_3 \sin \omega t$:

$$\begin{aligned} &(c_1 + c_2 - m_1\omega^2)A_1 - c_2 A_2 = 0, \\ &-c_1 A_1 + (c_2 + c_3 - m_2\omega^2)A_2 - c_3 A_3 = 0, \\ &-c_3 A_2 + (c_3 - m_3\omega^2)A_3 = 0. \end{aligned} \tag{2}$$

After determinant solving with an arrangement composed on $\lambda$-degrees (where $\lambda = \omega^2$) the nonlinear algebraic equation is received $\lambda^3 + E_1\lambda^2 + E_2\lambda + E_3 = 0,$

With the set of concentrated masses and frequencies of own oscillations it is possible to find such stiffness coefficients that will provide the required frequency spectrum ($\omega_1$, $\omega_2$, $\omega_3$) of the projected system.

Polynomial (4) can be presented in the form of decomposition on multipliers

$$(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)(\lambda - \lambda_3) = 0, \tag{3}$$

where $\lambda_1 = \omega_1^2$, $\lambda_2 = n_1\omega_1^2$, $\lambda_3 = n_2\omega_1^2$; $n_1$, $n_2$ – predefined integers that set the relationship between the frequencies.

After removal of parentheses in (3) and decomposition of the polynomial on degrees, it is obtained

$$\lambda^3 + s_1\lambda^2 + s_2\lambda + s_3 = 0, \tag{4}$$

where $s_1 = \lambda_1 \cdot (1 + n_1 + n_2)$; $s_2 = \lambda_1^2(n_1 n_2 + n_2 + n_1)$; $s_3 = -n_1 n_2 \lambda_1^3$.

We obtain a system of significantly nonlinear algebraic equations in which the stiffness coefficients $c_1$, $c_2$, $c_3$ are the unknowns. In this case, the search for a correct solution directly depends on the initial data. The equations are rather bulky.

Therefore, further is used numerical analysis with the initial data: $m_3 = 10$ kg; $c_1$=5000 N/m; $\lambda_1 = 64$; $m_2 = 27$ kg; $n_1 = 4$; $n_2 = 16$; the system has the following own frequencies: $\omega_1 = 8s^{-1}$; $\omega_2 = 16s^{-1}$; $\omega_3 = 32s^{-1}$. As unknowns are accepted $c_2$, $c_3$, $m_1$. For these initial data a system of nonlinear algebraic equations follows

$$s_1 - E_1 = 0, \qquad s_2 - E_2 = 0, \qquad s_3 - E_3 = 0,$$

The values of the stiffness coefficients and mass are:

$c_2 = 2980{,}838$ N/m, $c_3 = 1584{,}082$ N/m, $m_1 = 52{,}119$ kg.

Substitution of the found values into the system of equations confirms their equality to zero. Substitution of the given frequencies into equation confirms the high accuracy of the solution.

$$\lambda^3 - 1344\lambda^2 + 3{,}44 \cdot 10^5 \lambda - 1{,}677 \cdot 10^7 = 0$$

Solutions of the inhomogeneous system of differential equations are searched in the form:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= A_1 \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \alpha_2) + A_3 \sin(\omega_3 t + \alpha_3) + D_1 \sin(pt) \\ x_2(t) &= A_1 \cdot \nu_{21} \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + A_2 \cdot \nu_{22} \sin(\omega_2 t + \alpha_2) + A_3 \cdot \nu_{23} \sin(\omega_3 t + \alpha_3) + D_2 \sin(pt), \\ x_3(t) &= A_1 \cdot \nu_{31} \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + A_2 \cdot \nu_{32} \sin(\omega_2 t + \alpha_2) + A_3 \cdot \nu_{33} \sin(\omega_3 t + \alpha_3) + D_3 \sin(pt) \end{aligned} \quad (5)$$

The first index of the amplitude coefficient $v_{ik}$ corresponds to the coordinate number ($i$ = 1, 2, 3) and the second one corresponds to the number of corresponding frequency ($k$ = 1, 2, 3). The coefficients are obtained from the homogeneous system of algebraic equations.

Therefore, taking into account $v_{11} = v_{12} = v_{13} = 1$ a matrix of coefficients is obtained for the frequencies from the system

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1{,}558 & -1{,}758 & -0{,}131 \\ 0{,}909 & 0{,}703 & 0{,}0239 \end{pmatrix}.$$

For example, $\nu_{21} = (c_1 + c_2 - m_1 \omega_1^2)/c_2 = 1{,}558.$

**2. Designing of the frame motion optimal control**

It is assumed that the displacement of the elastic systemcan be represented as an analytic function: $S_e(t) = d_0 \cdot \sin pt + d_1 t + d_2$, where $d_0$, $d_1$, $d_2$, $p$ – const.

*The aim of the frame motion* – movement of an elastic object from an initial condition of absolute quiescence (on distance $L$) to a final condition of absolute quiescence for acceptable minimum possible time $T$. To definite constants $d_0$, $d_1$, $d_2$ according to the purpose of the motion the following boundary conditions are used:

at $t = 0$, $S_e(0) = 0$; at $t = T = \dfrac{2\pi}{p}$, $S_e\left(\dfrac{2\pi}{p}\right) = L$, $V_e\left(\dfrac{2\pi}{p}\right) = 0$.

In the frame motion the displacement, speed and acceleration (control) take a form:

$$S_e(t) = \frac{L}{2\pi}(pt - \sin pt), \quad V_e(t) = \frac{Lp}{2\pi}(1 - \cos pt), \quad U_e(t) = \frac{Lp^2}{2\pi}\sin pt. \quad (6)$$

It is interesting to note that control $U_e(t)$ is a solution of a homogeneous differential equation $\dfrac{d^2 U_e}{dt^2} + p^2 U_e = 0$. Then after transformations for Euler's equation the criterion in the form of the principle of action follows $J = \int_0^T \left( \dfrac{\overset{*}{U}{}_e^2}{2} - p^2 \dfrac{U_e^2}{2} \right) dt$; the extremum of functionality shows optimality of the designed controlled motion. There are frame forces of inertia (for acceleration $U_e(t) = B\sin(pt)$, where $B = \dfrac{Lp^2}{2\pi}$) in the right part of system of the differentiable equations (at relative motion).

Particular solutions of system of the inhomogeneous equations of the relative motion (1) are looked for in a form: $x_1^*(t) = D_1 \sin pt$, $x_2^*(t) = D_2 \sin pt$, $x_3^*(t) = D_3 \sin pt$. Constants $D_1$, $D_2$, $D_3$ are found from the system of algebraic equations:

$$
\begin{aligned}
&(c_1 + c_2) - m_1 p^2)D_1 - c_2 D_2 = -m_1 B, \\
&-c_2 D_1 + (c_2 + c_3 - m_1 p^2)D_2 - c_3 D_3 = -m_2 B, \\
&(7) \\
&-c_3 D_2 + (c_3 - m_3 p^2)D_3 = -m_3 B.
\end{aligned}
$$

The method of the moments was used and it came down to find common roots of a system of the transcendental equations, that is equality to zero movements and speeds in the relative motion at the moment of time $T = 2\pi / p$, where $T$ is motion time.

Taking into account $p = \frac{\omega_1}{2} = 4\ s^{-1}$, $B$ = 1 m/s$^2$ and the initial conditions $x_1(0) = x_2(0) = x_3(0) = 0$, $\dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = \dot{x}_3(0) = 0$, that is, the motion starts from the state of relative quiescence, after determining the arbitrary constants $A_1$, $A_2$, $A_3$, $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\alpha_3$ the general solutions of the inhomogeneous system of differential equations take the form:

Figure 2 shows the graphics of the frame motion. Graphics of relative motion $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ are shown in Figure 3. In this case, the total motion time $T = \frac{2\pi}{p} \approx 1{,}57$ s.

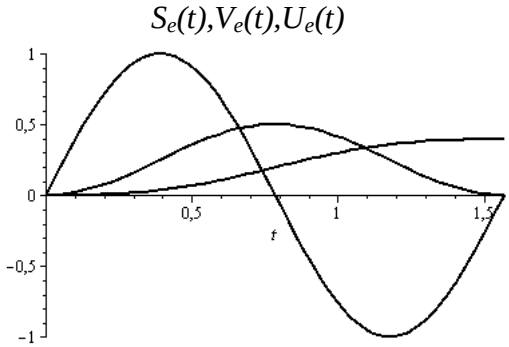



Fig. 2. Frame motion $S_e(t), V_e(t), U_e(t)$

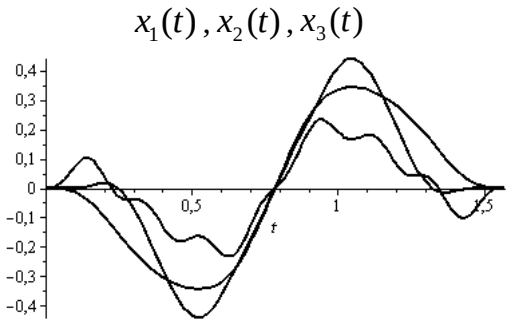



Fig. 3. Relative motion movements $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$

. It is obvious that at the moment of time $t = T$ absolute quiescence is achieved as the sum of relative and frame motions. At this point the motion control is turned off.

**Conclusions.** An optimal acceleration (control) for frame motion in which the mechanical system moves from the initial condition of absolute quiescence to the final condition of absolute quiescence is found for an elastic system with projected frequencies of natural oscillations. Oscillations are eliminated for all modes of oscillations for the given frequencies of eigentones which differ in an integral number of times. The systems of analytical calculations allow to realize laborious procedures of eigenvalues solving tasks.

**References: 1.** Bokhonsky A.I., Varminska N.I., Mozolevsky M.I. Optimum control of frame motion of deformable objects: theory and technical applications. Sevastopol, SevNTU, 2007, 296 p. **2**. Bokhonsky A.I., Varminska N.I. Variational and reversing calculus in mechanics. Sevastopol, SevNTU, 2012, 212 p. **3**. Bokhonsky A.I. Actual tasks of variational calculus. Deutschland, Pabmarium Academic Publishing, 2013. – 77 p. **4**. Bokhonsky A.I. Reversive principle of optimality. Moscow, Vuzovskij uchebnik:INFA–M, 2016, 174 p**. 5.** Bokhonsky A.I. Modelling and analysis of elastic system in motion. Cliwice, Wydawnictwo Politechniki, 2011, 171 p. **6.** Bokhonsky A., Buchacz A., Placzek M., Wrobel A. Modeling and investigation of discrete-continuous vibrating mechatronic systems with damping. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki, 2013, 207 p.

## THE PEDAGOGICAL PROCESS RENOVATION WITH THE INNOVATIVE TECHNOLOGY OF THE ACTIVITY APPROACH

**Kaverina O.G., Prikhodchenko Y.I.**( *(SEIHPE «DONNTU», Donetsk)*
*Tel: 071-306-89-14, E-mail: kapanata77@gmail.com)*

***Abstract.*** *According to Vygotskiy, the person should be taught through the process of interaction with other learners as well as with the teacher. Only interacting and intercommunicating the new knowledge is born. The overview of the scientific works is done in the article; the problem of active approach in both teaching and up-bringing processes has been investigated.*
***Key words:*** *the genesis of activity approach**,** activity approach in teaching and up-brining, interactive methods of teaching, principles of active teaching, methodology.*

Nowadays, the activity approach in education is understood as a system of principles, forms and methods that ensure the primary absorption of knowledge and skills necessary for either effective or satisfying activities in various areas of real life. The technology of the activity method is a tool that allows solving the task of changing the education paradigm - from forming to developing. It means to build an educational space in which the learner's active abilities develop effectively. Today we need to master not just one of the educational technologies (within the old method), but it is required to change the method itself - to move from explaining new knowledge to organizing the "discovery" of it.

J. Lawrence Peter identified four social functions of human activity: world-knowledge; power; economics; labor. Also we will divide people behind their natural opportunities into four groups:

- people of knowledge - "Brahmans" - embrace the activity of the organism as constituent parts of the super system;
- people of power - "Pilate" - are inherent in the activity of the whole organism;
- business people - "Entrepreneurs" - cover two or more segments of the body's activity;
- people of skilled labor - "Specialists" - operate in a narrow segment of activity, within the framework of one profession.

The founder of the activity approach to education and upbringing is Friedrich Adolf Wilhelm Diesterweg. The scientist argued that the processes of education and upbringing were going on in the inner sphere of the personality when being involved into the activity. As a result, the new experience was gained.

L.S. Vygotsky and his followers have proved that the processes of education and upbringing do not directly develop the child themselves, but only when they are expressed within activity forms and have appropriate content. Formation of the need for training activities working out relevant motives contributes to strengthening the desire to learn.

Scientists I.Y. Lerner and M.N. Skatkin also pay much attention to the activity approach in teaching. The core of the activity content of education is the transition from student activities to internal personal increments and from them to the development of cultural and historical achievements. L. Khutorskoy considers activity as the content of education and identifies three sources of the activity approach:

1) the reproductive way of mastering the educational material;
2) knowledge obtained independently;
3) knowledge that led to the creation of the own product.

At all stages of knowledge acquisition, a reflective educational activity appears a very important component, the purpose of which is to recall, identify and understand the main components of the activity, its meaning, types, methods, problems, solutions, results, etc. Reflexing helps students formulate results, adjust the goals of their future work, their educational path.

According to A.V. Kupavtseva, being drawn into activity, the human personality develops, his abilities and personal qualities of a specialist are formulated, allowing him to choose the optimal strategies for the life path, to show initiative and responsibility. The activity approach in upbringing is realized in the key idea of modern pedagogy which is the need to transform the pupil from the predominantly object of the educational process mainly into the subject. Education in this case is understood as "an ascent to subjectivity." The increase of the subjective properties of the learner is the essence of the modern pedagogical activity. H.V. Bondarevskaya. also considers subjective properties as the core of human culture.

According to the definitions of D.B. Elkonin, owing to the activity approach:

a) the trainee himself formulates the problem;
b) he finds the solution;
c) he solves the problem, finding the best way to deal with it;
d) he self-monitors the correctness of this decision.

The scientist M.I. Makhmutov emphasizes on the fact that such approach to learning develops independent researching or investigating activity, thus self-education becomes a problem-development activity, in which the activity principle is correlated with the activity directivity onto the individual, under this circumstances the individual should develop due to his implementation of this activity.

Methodological provisions of the activity approach are characterized by such criteria as (for G.O. Aknov):

- set activity and actions correlating with the nature of the future career, and this creates the activity itself;

- the ultimate goal of training is to master the way of actions that ensures the implementation of future professional activities;

- the content of education is determined by the system of actions inherent to the nature of the future career and the knowledge that ensures the implementation of all this activity;

- knowledge is not self-sufficient, it is just a means of carrying out actions and training, but not the objective, as the knowledge plays a serviceable role, explaining and preparing for practical actions;

- during the educational process, students should carry out educational activities that model future professional activity;

- one can master knowledge only by operating it, but not just memorizing it. Knowledge memorization must be the result of its adoption and use;

- learning is a combination of two interrelated, but independent activities - the activities of the teacher and the student's activities, i.e. educational activities;

- the activity of the teacher embodies via the educational activities schemes, the educational activities organization and the educational activities management;

- the learning activity is the system-forming component of training.

The concept of learning through activity was suggested by the American scientist John Dune. Basic principles of his system are the following:

- consideration of trainees' interests;
- teaching through the training of thought and action;
-knowledge as a consequence of overcoming difficulties;
- free creative work and cooperation;

A.N. Leontiev in his work "Activity. Consciousness. Personality. "(1974) emphasizes on the fact that a person is a special reality. It arises in the course of human's life. Hence it follows that the scientist defines a personality as a link, a hierarchy of activities, but not the chain of mental processes. According to the researcher, the individual turns into a personality in the course of his life. A.N. Leontiev introduces into the psychological science the phenomenological category of the "vital world". On the basis of this deduction of the scientist, another researcher, A.G. Asmolov, defines an activity approach as the psychology of existence. The activity approach, realized in the context a particular trainee's life, taking into account his life plans, value orientations and his other criteria for subjective world, is inherently personal - activity. All the components are aggregated, the activity approach in the process of upbringing evolves from the notions of the unity of the individual and his activity. This unity is manifested in the fact that activity in its diverse forms carries out changes into the individual's personality directly and indirectly. Personality, in turn, simultaneously selects the appropriate types and forms of activity directly and indirectly that meet the needs of personal development.

The essence of education from the point of view of the activity approach is the focus on not simply activity, but on the joint activity of trainees with teachers, in the implementation of jointly developed goals and objectives. The teacher does not submit ready-made samples of moral and spiritual culture, but creates, develops them together with trainees. A joint search for norms and laws of life in the process of activity makes up the content of the educational process realized in the context of the activity approach. Taking into consideration, the activity approach in training, the following components of knowledge acquisition are distinguished:

a) the perception of information;

b) the analysis of the information obtained (identification of characteristic features, comparison, awareness, transformation of knowledge, transformation of information);

c) the memorization (creating an image);

d) the self-evaluation.

Thus, activity, according to A.N. Leontiev, first of all, is a form of interaction with the world. Activities - subjective, individual, teaching - provide for the ascension to the new knowledge, reflection, intellectual activity of the student, the ability to scheme a further individual path of perfection.

**Bibliography: 1.** Асмолов, А.Г. Неодеятельностная парадигма в мышлении XXI века: деятельность как существование // Мир психологии – 2003 – № 2(34) – с. 155-158. **2.**Братусь, Б.С. Логотерапия как искусство быть // Лэнгле А. Жизнь, наполненная смыслом: Прикладная логотерапия. М.: Генезис, 2003, с. 5-13. **3.** Вергасов, В.М. Активизация познавательной деятельности студентов в высшей школе / В.М. Вергасов. – К.: Высш. шк., 1985. – 176 с. **4.**Леонтьев, А.Н. Некоторые психологические вопросы воздействия на личность // Проблемы научного коммунизма. М., 1968, вып. 2, с. 30 - 42. **5.**Леонтьев, А.Н. Деятельность и личность // Вопросы философии – 1974 – № 4 – с. 87 - 97; №5 – с. 65 - 78. **6.**Леонтьев, А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. / А.Н. Леонтьев. М.: Политиздат, 1975. – 374 с. **7.**Леонтьев, Д.А. Общее представление о мотивации // Психология в вузе, 2004 – №1 – с. 25 – 73. **8.**Субботский, Е.В. «Алексей Николаевич...фактически был экзистенциалистом в советской психологии» // Журнал практического психолога – 2003 – № 1-2 – с. 181-198. **9.** Каверина, О. Г. Культура профессионального общения будущих инженеров-педагогов / О. Г. Каверина // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Пед., психологія і соціологія. Вип. 10(193) / ДВНЗ "ДонНТУ"; редкол.: Є.О. Башков та ін. - Донецьк : ДВНЗ "ДонНТУ", 2011. - С.75-78. **10.** Приходченко, К.І. Загальні основи педагогіки / К.І. Приходченко Конспект лекцій. Донецьк: ДІПіП, 2008. – 186с. **11.** Приходченко, К.І. «Педагогіка вищої школи» для аспірантів гуманітарного та негуманітарного профілю / К.І. Приходченко Інформаційно-освітній ресурс. Донецьк: ДУІіШІ, 2009. – 109 с.

## USING PEDAGOGICAL HERMENEUTICS IN THE FORMATION OF THE CREATIVE LEARNING SPACE

**Prikhodchenko Y. I., Kapatsina N. N.** *(SEIHPE «DONNTU», Donetsk)*
*Tel: 071-306-89-14, E-mail: kapanata77@gmail.com)*

***Abstract.*** *The article deals with the actual pedagogical problem, which is the art of the interpretation of the text. This issue refers to the science called Hermeneutics. In the article different scientists' opinions on the problem of hermeneutical text research are considered. It is particularly important in the process of training future Masters who will teach others soon. Let's keep in mind that the word "Master" itself means "Teacher".*

***Key words:*** *the science of Hermeneutics, the dialogue between the author and the reader, the term of the hermeneutical circle, the concepts of hermeneutical experience in the teaching practice.*

Studying a text or an article depends on the goal set. The science of hermeneutics is aimed at interpreting content through the dialogue of the author and the reader, through the spirit of the epochs and times when the writer, the scientist lived and worked, and the time when the reader lives.

Having examined the work of domestic and foreign scientists on the problem of the hermeneutic approach, a range of issues for deepening into this problem was pointed out: 1) to study the genesis of hermeneutics as a science; 2) highlight the names of scientists who have different views on this science; 3) to conduct a comparative analysis of various hermeneutic concepts, in particular, pedagogically orientated, with the purpose of broadening the outlook of the trainees.

Hermeneutics as a science interested many scientists. It was reviewed by such researchers as A.Bernyukov, Z.Samchuk, S.Ryzhkova, M.Vesna, I.Gudinova, V.Kuznetsov, L.Ionin, A.Mikhailova, K.Bataeva, V.Andryushchenko, M. Sobolev, Y. Kavirshina, Z. Pasko, E. Anastasova and others [1-17]. Scientists studied the indicated problem from various aspects: from the historical aspect to modern philosophical views on the hermeneutical interpretation of the text [9, 11, 16]. Also in scientific works, emphasis is placed on various types of hermeneutics: social, legal, psychological, philosophical, pedagogical [1,4,5,8,10,16,17]. The scientists were interested in the logic of pedagogical hermeneutics [5,6], and the hermeneutics of education [12], on-line hermeneutics [1,3].

Having studied the problem of pedagogical hermeneutics in the works of scientists and seeing an inexhaustible interest in it at different times, a retrospective analysis of the hermeneutic circle, which makes it possible to penetrate deeper into the basis of the text has been revealed. Considering the different views of scientists on the problem of hermeneutics in general, the pedagogical side of the issue has been included. The concept of hermeneutic experience H.-G. Gadamer in his work "Truth and Method. The main features of philosophical hermeneutics "(1960) is brought to the extension of hermeneutic experience of ways of studying realitythrough cognitive activity, which is outside the scientific sphere. According to the definition of Hans-Georg Gadamer, the task of hermeneutics is to reveal hermeneutical dimensions in their full and basic meaning [8]. As to Gadamer, the historical distance between the author and the reader simplifies text understanding.

According to Fogeler, hermeneutics is usually called the art and the theory of texts interpretation. As a science and a method, F. Savinya’s hermeneutics comes down (in his book “The System of Contemporary Roman Law” (Berlin, 1840)) to four types of interpretation: on the verbal meaning - "grammatical" interpretation; on the cumulative relationship of laws in their organic integrity; on their historic origin and formation in connection with each of the given historical situations; according to the sense and purpose of the law - teleological interpretation [4].

Scientist Wilhelm Dilthey defined pedagogical hermeneutics as a theory about the art of understanding of manifestations of life fixed in writing. These views on the science of hermeneutics he outlines in his book "Young Hegel", " Shleytermaher’s life ". Martin Heidegger, the disciple of G.Rikker and the follower of Dilthey, along with Karl Jaspers, was the founder of the philosophy of existentialism. He was one of the teachers of the French playwright and philosopher J.P. Sartre.

The method of psychological interpretation was firstly introduced F. Wolfe. The scientist advised to pay attention to the content of the written, to the sequence of ideas of the author who had written this or that text. Schleiermacher, a Wolf's student, in the work "Compendium of the Exposition of 1819" formulates seven rules of psychological and pedagogical interpretation of the text: the first rule says that the psychological interpretation of the text must begin with a general image that makes it possible to understand the unity of the work and the main features of the composition; the second rule is to interpret the principle of a hermetic circle - the relationship of the whole and part; the third rule requires a perfect understanding of a style; the fourth rule is associated with a peculiar way of thinking:

thoughts and language, from his point of view, constantly penetrate into one another; the fifth rule defines the equalization of the positions of the author of the test and the interpreter as the main prerequisite of psychological interpretation; the sixth rule has to do with the need to use two methods - deviational (intuitive) and comparative. Divination involves the manifestation of the creative activity of hermeneutics in the process of psychological interpretation. Schleiermacher named the intuitive method the method of direct coming into sympathy. The comparative (discursive, analytical) method is inextricably linked with the deviational method. The seventh rule orients to understanding of the idea of the work. Thus, the basis for Schleiermacher's doctrine about the psychological interpretation of the text is a certain theory of artistic creativity. If Schleiermacher's hermeneutics demanded a direct merger of the past and the present as a necessary condition for the realization of understanding, then in the hermeneutic doctrine of Gadamer, the principle of preserving the historical distance between the present and the past, is based on understanding.

According to the Dilthey philosophy of life, the individual, while learning and self-learning, considers other individuals' life experience as his own by comparing his "I" with others "I", assimilating others experience by imitation and empathy through the penetration of this from the outside into the inner world if the individual. Tjhis process can be called the process of pedagogical influence. According to Dilthey, "hermeneutics forms the bridge over which the philosophy of life passes to art and on which the meeting occurs, the intertwining of philosophical and methodological functions, ways and methods of interaction per person" [17; p.107]. Dilthey interprets the individual's life world "not only as a phenomenon, but as a directionally evolving process, the stimulating stimuli of which are feelings, desires, which would give him a certain direction and expediency" [17; p.107]. The hermeneutic circle in the concept of Dilthey, with the pedagogical context acquired, is "the kind of movement between historically different cultures (types of life) and the changing position of the interpreter, when trying to get used to these different cultures, he is attributing his own changeable content to them " [17; p.150] Famous German scientist F.Ast put the concept of spiritual unity of the teacher and the learner in the basis of the principle of the hermeneutic circle. Characterizing the formation of the process of understanding, Ast used a modification of the "part-whole" in it. The study of the object is divided into three possible forms of understanding: historical (deepening in the content of the work); grammatical (understanding of the language); spiritual (understanding of the author's holistic view through a holistic understanding of the spirit of the era). The third spiritual form of hermeneutic understanding is further developed by his followers, in particular, Schleiermacher, who characterized the process of understanding as the art of a specific rethinking of the spiritual process that was in the author of the text.

Paul Riker, a French philosopher, in the work "Philosophy of the Will" establishes the hermeneutics of symbols. The symbol, according to Ricker's concept, is any structure of sense in which a direct, primary, literal meaning refers to another one – indirect, secondary, figurative, comprehended only through the medium of the first [17; p.225]. The theory of interpretation that follows from Heidegger's views mastered the basic principles of hermeneutics: in E. Steiger - style-interpretation, in V. Kaiser - synthesis-interpretation, V.Emrikh - myth-interpretation. The main role in Kaiser's concept is given not to the depicted, but to the image method, teaching the pedagogical art of development of figurative thinking. Following the views of V.Emrikh, M.Hochgezang pointed out the phenomenon of modernity in the myth, and V. Iens - the future phenomenon. Theories of myth-interpretation were studied in the works of Hölderlin, Goethe, Rilke, and Trakl. After all, hermeneutics itself is the art of interpreting, comprehending the meaning of dialogical relationships. Both psychological and pedagogical hermeneutics G.-H. von Wrigt called the "methodology of

feeling" which is a very accurately done. T. Flacius of Illaria (16th century) introduced new hermeneutic principles: the study of the text must take into account the context of words, the purpose of the text and the relation of the part to the whole. A great influence on the development of was also provided by the W. Humboldt's philosophy of the language. He introduced a new principle, the principle of dialogue, into pedagogical hermeneutics as a methodological reference. It is necessary pay attention to the contribution of G. G. Shpeta. His research is based on the principle of interpenetration of historical and logical methods. Aurelius Augustine at the center of his hermeneutics poses the problem of understanding as a transition from a sign to a meaning. The hermeneutic concept of E.Coret includes three types of relations: "understanding - linguistic expression", "understanding-reality", "linguistic expression - reality". "Every understanding," writes E. Koret, "is the striving to comprehend the truth" [17; p.166].

L. Wittengenshtein predominates the concept of context as an important function. The understanding of text is always based on certain models: the author's model of the text, the author's contemporaries, the interpreter and the contemporaries of the interpreter are different. V.P. Vizgin offers three levels of comprehension of the text, which, on the one hand, correspond to the historically transient approaches in the history of knowledge, reflect the main lines of its genesis, on the other hand, the synthesis of all three levels can be seen as a kind of interpretation of the logic in modern research. The first level of understanding of the text is connected with comprehension of it as an integral part of the whole system of texts of the author. At the second level of comprehension, the text sets the task of revealing meaning by means of a historical interpretation that can be internal and external. The third level relies on extrascientific data, external to scientific texts [8]. The methodology of the humanitarian sciences, including teaching, several points of view on the interpretation of the text can be distinguished: nomothetic, ideographic (both terms were first introduced V.Vindelband), phenomenological, positivist, semiotic, existentialist, dialectical materialist. For the nomothetic conception, the role of individualizing research methods was typical, the requirement of using law-based methods for explaining them.

The complete opposite to the nomothetic concept is the ideographic methodological setting. It absolutizes the value of descriptive individualizing methods. The phenomenological concept is characterized by the problem of the meaning and method of its comprehension; for positivistic - understanding as a heuristic device, helping to find an explanation for this or that phenomenon; for semiotic - understanding as a transition from knowledge to meaning, for existentialism - to feel the content of the text, for dialectical-materialistic - to study the text in the dialogue of the writer and the reader. Thus, we made an attempt to highlight the theoretical basis for the development of hermeneutics as a science, to delve into its historical past, to dwell on some aspects and issues of modern scientists. The problem has not been studied to the end, it is in great interest for scientists of different scientific fields. Therefore, there are still many unique and open questions that will help us improve as readers.

**Bibliography: 1**. Е.А. Анастасова 2011: Анастасова Е.А. Особенности герменевтики и фразеологизмов современными электронными переводчиками/ Е.А. Анастасова// Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг/ Сборник материалов I Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг» (ИУС и КМ - 2011). – Донецк, ДонНТУ – 2011, Том II, с. 185 – 188. **2**. Андрущенко В. 2009: Андрущенко В. Філософія освіти: Навчальний посібник/ В. Андрущенко, І.Передборської. – К: Вид-во НПУ ім. Домагарова,2009. – 329 с. **3.**

Батаєва К 2013: Батаєва К. Соціальна герменевтика on-line/К. Батаєва// Філософська думка.-2013. – №2 – С.103-117. **4.** Бернюков А.М 2016: Бернюков А.М. Основний зміст правової герменевтики Артура Кауфмана / А. М. Бернюков // Юридична наука. – 2016. – № 1. – С. 7-15. **5.** Весна М 2007: Весна М. Стихийно- синергетические представления в педагогике А.Макаренко: опыт герменевтического анализа/ М.Весна: Альма-матер. – 2007 – №11. – С. 36-41 . **6.** Герменевтика: история и современность(критические очерки) – М.: Мысль, 1985 – 303с. **7.** Гудінова І.Л. 2008: Гудінова І.Л. Роль повного та глибокого розуміння навчальних текстів в освітньому процесі/ І.Л. Гудінова// Проблеми освіти. – К. – 2008. – Вип.54 (Спец. випуск 1). – С.87-91. **8.** Гадамер Г.-Г 1988: Гадамер Г.-Г. Истина и метод: основы философской герменевтики / ГадамерГанс-Георг// пер с нем. под общ. ред. Б.Н. Бессонова. – М.: Прогресс,1988 – 699с. **9.** Вильгельм Дильтей 2001: Вильгельм Дильтей. Собрание сочинений в 6 томах. Т.4. Герменевтика и теория литературы./ Вильгельм Дильтей. – СПб.: Дом интеллектуальной книги, 2001 г.- 538 с. **10.** Ионин Л. Г 2000: Ионин Л. Г. Социология культуры: путь в новое тысячелетие: учебное пособие для студентов вузов/Л.Г. Ионин – М.: Логос, 2000.-431с. **11.** Кавиршина Я.В 2012: Кавиршина Я.В. Становлення категорії «розуміння» у європейській герменевтиці/ Я.В. Кавиришина, З.О. Пасько// Сучасна людина у культурному універсумі: матеріалистудентської наукової конференції, 10 травня 2012 р.,м. Донецьк/ ДВНЗ «ДонНТУ», Каф. Філософії; рекол.: В.К. Трофімюк(гол.ред.)та ін. – Донецьк:ДВНЗ «ДонНТУ»,2012. – С.32-34. **12.** Кузнецов В. Г. 1991: Кузнецов В. Г. Герменевтика и гуманитарное познание /В.Г.Кузнецов – М.: Изд-во МГУ,1991. – 191 с. **13.** Михайлова А. Г. 2005: Михайлова А. Г. Антична література: навч. посібник для ВНЗ/ А.Г. Михайлова, В.М. Миронова,І.П. Мегша та ін. – К.:Либідь,2005. – 488 с. **14.** Рижкова С. 2007: Рижкова С. Ідеї Александрійської, Антиохійської, пергамської шкіл в герменевтиці нового часу/ С. Рижкова// Філософська думка. – 2007. – №5. – С. 59-71. **15.** Самчук З. 2007: Самчук З. Конкретизація понятійного інструментарію, покликанного витлумачувати суспільну діяльність: розуміння, інтепретація, герменевтика,екзегенетика/ З.Самчук//Вища освіта України. – 2007. – №4. – С. 25-31.**16.** Соболева М.Е. 2013: Соболева М.Е. Логика герменевтики/М.Е. Соболева//Вопросы философии. – 2013. – № 6. – С. 140- 148. **17.** Koreth E. 1969: Koreth E. Grundiagen der Hermeneutik/ E. Koreth -Frieburg;Bagel;Wien, 1969. – 209 p.

## ON THE SYSTEMIC CHARACTER OF THE TECHNOLOGY TRANSFER PROCESS

**Toca A., Iatchevici V., Nitulenco T. and Rusu N.**
*(Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova)*

***Abstract.*** *Technological transfer is a complex and varied process, being realized out at different stages of technology readiness level. Being essentially a trading, technology transfer is fully subject to market laws. The technology transfer strategy and tactics are strongly influenced by the degree of technology's readiness level, systemic character, functional orientation and universality, technical and economic determination degrees that can be specified and determined in accordance with the stages of technology life cycle.*

## 1. INTRODUCTION

The phenomenon of technology transfer is, on the one hand, recognized as an important source of the technique and technology development, and on the other hand it is often treated simplistically and unilaterally. The reality is another - technology transfer is a complex process that requires an intellectual, financial and organizational effort made by many "actors" in the teamwork [1 - 4]. Moreover, without deep knowledge of the subject (itself technology, processes of technology transfer) and without a well-systematized its knowledge the technology transfer may be inefficient or may be considered inefficient. Consequently, the technology transfer are underestimated.

The technology transfer is essentially comertialization of the technology and a process of transforming of the technology into a cost-effective product. This product is the result of a combination of a several components:

- a technical effort required to convert technology into a useful product and to organize its production in sufficient quantities and at the appropriate level of quality;
- a business management and an marketing in order to determine the real needs of the market in this product-technology, to perform the intellectual property operations, to ensure the good functioning of newly created or existing companies that are in the business area with the new technology (manufacturing, production, distribution, maintenance and so on);
- the factors of production (access to technical, organizational and financial resources, to infrastructure and logistics, to suitable qualification workforce, etc.).

The key technical aspects of technology transfer are: product development and the creation of the adequate production technology.

The first aspect requires the combined efforts of researchers, conception engineers and technologists to transform innovation into a particular product with relevant technical and aesthetic features that are attractive to prospective buyers and at the same time allow for efficient production processes.

The second aspect - the creation of the production technology (which is only a sequence of the general process) and the setting of process control parameters.

In the context of technology transfer, it is very important to evaluate technologies in terms of the readiness level. We can mention the nine Technology Readiness Levels (TRLs) developed by the European Commission [4]. Earlier for the flight's conditions by NASA has been developed the similar system of Technology Readiness Levels [3].

The nine Technology Readiness Levels (European Commission):

TRL1: Basic principles observed;
TRL2: Technology concept formulated;
TRL3: Experimental proof of concept;
TRL4: Technology validated in laboratory;
TRL5: Technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies);
TRL6: Technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies);
TRL7: System prototype demonstration in operational environment;
TRL8: System complete and qualified;
TRL9: Actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies or in space).

Although the TRLs system are of a general nature, any developed technology may be subject to the TRL expertise especially when it comes to its transfer.

## 2. EVALUATION OF THE TECHNOLOGIES

Technology evaluation can be done with TRLs instruments that can and should be used together. Both instruments offer the possibility of determining the risks associated with the inclusion of technology in a technology system, because the "power" of a system is determined by the "power" of the weakest element. It is well understood that the manufacturing readiness is determined by technology readiness and by product stability.

The modern industry is characterized by the fact that product stability is increasingly being replaced with product variety so that the use of instruments TRLs becomes iterative, dynamic with reliable results in relatively small time intervals.

TRLs have a systemic character and from this reason can be used to define manufacturing readiness and risks at the system and/or subsystem levels.

The systemic analysis of technologies should be done at three levels:

- technology as an element of a technology system in links and relationships with other technologies with its role and functions;
- technology itself to detect its integrative properties, the extent of these properties (parameters, indicators), other properties that do not come from analysis of the technology within the technology system;
- technology consisting of elements, which is the most complex analysis because it has to answer questions related to the physico-technical principle of operation, the number and character of the elements, the role of the elements, the number and the character of the links between the elements, the role of the links, the functions of the elements, etc.

Evaluation of transferability of the technologies is done in situations where technological development does not have a single solution many parallel constraints and development opportunities exist. For this purpose, the evaluation tool may need to be integrated, generic and fast.

The integrated character is treated in the sense that technology is evaluated taking into account the dynamics of all segments of the technology chain and the many possible implications that development would have in these segments. The effects of this dynamics are assessed from an expanded development perspective in accordance with the objectives of the vision for sustainable industrial development, as opposed to partial approaches that focus on one or fewer constraints on development in the technology chain.

The generic character is treated in the sense that valuation tool can be applied to any chain of industrial technologies, regardless of their physic, technical and organizational nature. However, the tool is not a detailed plan for analyzing the technology chain in a specific situation. It is up to the analysts to adapt the tool to specific situations and make further analyses and interpretations.

Rapid in the sense of being simple, its application can be accomplished in a short period of time and at low cost, but however it is an effective way to get relevant information. This tool is therefore not designed to replace sophisticated analysis tools for technology chains that require substantial resources for data collection and analysis, generating very detailed information that can be used to implement the project.

The evaluation tool essentially can generate three results:

- a detailed mapping of the technologies in a specific technological chain in a given the interactions amongst them;
- a description of the level of development in the technological chain with regard to several dimensions, including the sourcing of inputs and outputs, process capability,

end-product, sustainable manufacturing and energy use, and industrial environment and socio-economical context;

- a identification of constraints to and opportunities for technological chain development leading to strategies that support its development.

The evaluation using this tool should be seen as part of the wider process of industrial technological chain development. This process is by concurrent nature and must match development opportunities with demands of potential products and processes.

The technological chain's development efforts do not start from zero. Typically, there are a number of technological development interventions coming from a large number of studies dealing with different aspects of the chain. The technology's evaluation is necessary at all stages to detect the lack of technological elements in chain development. The technology's evaluation is necessary at all stages to detect the lack of technological elements in chain development and to adjust and the complementing the development's impact.

The quality of the evaluation process will depend on the character of information it builds on. For significant results, users of the evaluation will need to be involved in substantial data collection. This includes conducting interviews with a range of specialists and other key stakeholders, especially from the enterprises in the technologic chain. The analyst may deliberately use the existing technologic chain's analyses, which are available for most chains, to cover various pieces of information as suggested in the diagnostics framework. However, it is important to verify the information in these documents. The correct organization and processing of this information is essential to make the results of the evaluation significant for technologic development.

Given the scope of the technology's evaluation, it is preferable to form a multidisciplinary team coming from different engineering fields and from such as marketing, finance, economics, business administration and environmental. Team activity can be organized, for example, according to the Quality Function Deployment methodology.

Technologic chains encompass all the activities and interactions required in the creation of a product or service from idea, conception, manufacturing to commercialization, utilization and liquidation. The term “technologic chain” refers to the all process of continued transformation, conservation and addition of product's properties that occurs while the product passes from one of the stage of life cycle to the next, gradually increasing its degree of readiness level. They are supported by a range of IT, technical, expertise, business and financial services providers. In a technologic chain the various activities in the different stages become connected, coordinated and finally integrated.

Evaluation of the technologic chain must offer the understanding how on the different stage are coordinated the transformation of the properties under given framework conditions operate and how are oriented their processes to ensure that the product obtains the required qualities. Evaluation also must offer a looks at the various effects that operations in the technologic chain have on the operators, employments, people, e.g., with regard the health, company's development, economic growth and environmental sustainability.

Evaluation of the technologic chain must be oriented to receive the answers to a series of questions:

- What are the product's life cycle technologies?
- Are there technological results that can be used as important milestones for the coordination of other technologies from the technology chain?
- What are the inputs and outputs accepted by the technologies from the chain according to the technical, economic, environmental criteria etc.

- How are produce the exchange of data between the components of the technology chain and how this exchange orient the chain towards improving the performance of processes, products and business in its entirety?
- What technical, informational, economic and financial services are available to support the technologies from the chain and the technological chain as a whole?
- What are the added values (in terms of transformed, added, preserved properties) of the component technology from the chain and what are their costs?
- What are the interdependencies relations from the technologies in the chain and to what extent do these relationships determine how the technical and economic gains and risks are distributed?
- What types of barriers exist for the technologies to make them the component of the chain and to bring the added value?
- What are the readiness levels of the technologies-components and of the technologic chain as a whole and what are their levels of performance?
- What bottlenecks exist or may exist and what possibilities are available to overcome them to develop the technology chain and its components?
- What policies at the company, branch, industry, economy level constrain or support the development of technologies from the chain and the technology chain in its entirety?

## 3. CONCLUSIONS

Technological transfer is a complex and varied process, being realized out at different stages of technology readiness level. The technology transfer strategy and tactics are strongly influenced by the degree of technology's readiness level, systemic character, functional orientation and universality, technical and economic determination degrees that can be specified and determined in accordance with the stages of technology life cycle

**References. 1**. B. Belina, A. Mazurkiewicz, T. Giesko, W. Karsznia. Tracking and predicting solution development in R&D projects using a complex assessment method. Economics and Management. V.**7**, Issue 3, 2015, pp 7 – 14; **2**. Гаврилюк А. В. Роль трансфера технологии в развитии инновационной экономикию Экономика и управление. Экономические науки. 1(122), 2015б с. 63 – 68; **3**. Guidance notes on qualifying new technologies. American Bureau of Shipping, 2017, 45 c.; **4**. Technology Readiness Assessment (TRA). Guidance. Prepared by the Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering (ASD(R&E), 2011, 21 p

# INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL DIMENSIONAL STRUCTURES ON THE TECHNOLOGICAL ACCURACY AND ON THE VALUES OF MACHINING ALLOWANCES

**Toca A., Stroncea A., Rushica I.**
*(Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova)*

***Abstract.*** *In the paper the influence of interaction between constructive and technological dimensional structures on the required technological accuracy and on the values of machining allowances is analyzed. It is shown that the non-coincidence of dimensional structures leads to an increase in the required technological accuracy. From the*

*point of view of the values of the machining allowances, the dimensional structure in chain are not optimal.*

## 1. INTRODUCTION

Creating of effective machining technology from a technical and economic point of view is a complex task. The constructive requirements about the details (the form and structure of surfaces, the sizes and its accuracy and roughness, the technical requirements etc.) considering first of all functional requirements are accepted. From the point of view of technology, the common characteristics of the piece and of the technological system are of great importance, in particular their dimensional structures. For this reason, the designer makes constructive improvements to the parts regarding their adaptability to manufacturing and brings constructive modifications to the parts without affecting their functionality. This constructive improvement often leads to shortening the time for technological preparation of manufacture and the machining time itself, the time factor being decisive for efficiency of the manufacturing.

## 2. EFFECTS OF INTERACTION OF VARIOUS CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL DIMENSIONAL STRUCTURES

In the methodology of technological processes planning emphasis is placed to the problems on the optimality of tolerances allocation for each technological element and to the problems on the optimization of machining datum selection [1, 2, 3].

It is known that the mechanical machining process is considered optimum, if in the structure of all technological dimensional chains the number of the technological sizes is minimal [4]. This condition is respected if for each constructive size corresponds, within the technological dimensional chain, the unique technological size, and in dimensional chains for machining allowances, each machining allowance is determined by two technological sizes or one technological size and one size on blank. Otherwise the accuracy of technological sizes must be higher.

The general direction of creation of optimum technological processes is the similarity of the graphs of the constructive and technological dimensional links [5]. Any deviation from the similarity of the above mentioned graphs results in the increase of the required accuracy for the technological sizes and/or the increase of the values of the machining allowances. In both cases, the probability of additional operational elements increases and the technology's degree of optimality decreases. To demonstrate these statements, we will analyze a series of examples that reflect various graphs of the constructive dimensional links and various graphs of the technological dimensional links (various technology variants for various constructive variants).

Solving the linear dimensional chains is usually done by method of the maximum-minimum $\omega_\Delta = \omega_A + \omega_B$. Here, $\Delta$ - closing element of chain, $A$ and $B$ - elements of chain. It is demonstrated that exact solutions can be obtained taking into account compensation of the errors $\omega^{comp}$, thus $\omega_\Delta = \omega_A + \omega_B - 2 \cdot \omega_{AB}^{comp}$. The dimensional analyse for diameter sizes of cylindrical surfaces (the calculation of the allowance, the intermediate size etc.) is made in accordance with relation $\omega_\Delta = \omega_A - \omega_B$ which reflects the generalized error's compensation. It is worth mentioning that in the case of linear dimensional chains there are more manifestations of the error compensation phenomenon than in the case of diametrical chains. Therefore the dimensional chain's analysis can be done with relation of the type $\omega_\Delta = \omega_A \pm \omega_B$ (here and further on - “+” by the maximum-minimum solutions and “-“ by solutions with generalized error's compensation).

Example 1 (fig. 1). The all constructive sizes are given from constructive base - surface 0 and the technological sizes are given also from locating datum surface (LDS) 0.

Conditions for ensuring the size's accuracy are optimal because the accuracy of technological sizes is not greater than accuracy of constructive sizes: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$, $\omega_{B_t^i} \le \omega_{B_c^i}$, $\omega_{C_t^i} \le \omega_{C_c^i}$, $\omega_{E_t^i} \le \omega_{E_c^i}$.

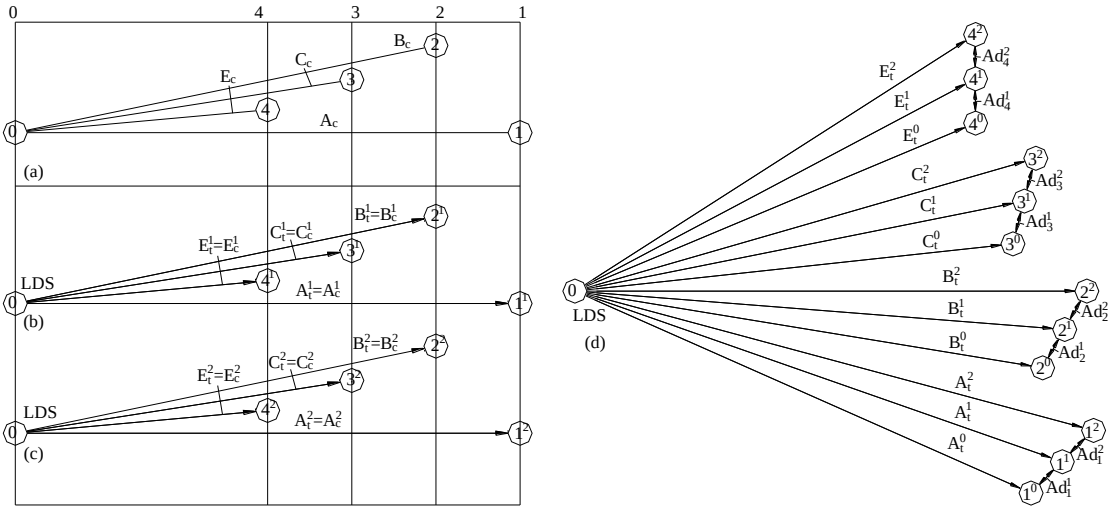



Fig. 1. Example of the graphs of dimensional links for: constructive sizes (a), technological sizes (b, c) and machining allowances (d).

From figure 1(d) should be that the tolerances of machining allowances for surfaces 1, 2, 3 and 4 can be determined:

$$\omega_{Ad_1^i} = (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i}),\ \omega_{Ad_2^i} = (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}),\ \omega_{Ad_3^1} = (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}),$$

$$\omega_{Ad_4^1} = (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}).$$

Example 2 (fig. 2). A part of constructive sizes are given from constructive base - surface 0 and other part are given in chain from the surface 4. The technological sizes are given according to the same structure from locating datum surface 0 and from locating datum surface 4.

Conditions for ensuring the size's accuracy are optimal because the accuracy of technological sizes is not greater than accuracy of constructive sizes: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$, $\omega_{B_t^i} \le \omega_{B_c^i}$, $\omega_{C_t^i} \le \omega_{C_c^i}$, $\omega_{E_t^i} \le \omega_{E_c^i}$.

From fig. 2 (d) should be that the tolerances of machining allowances for surfaces 1, 2, 3 and 4 can be determined: $\omega_{Ad_1^i} = (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})$,

$$\omega_{Ad_2^i} = (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}) + (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}) + (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}),$$

$$\omega_{Ad_3^i} = (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}) + (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}),.\ \omega_{Ad_4^i} = (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}).$$

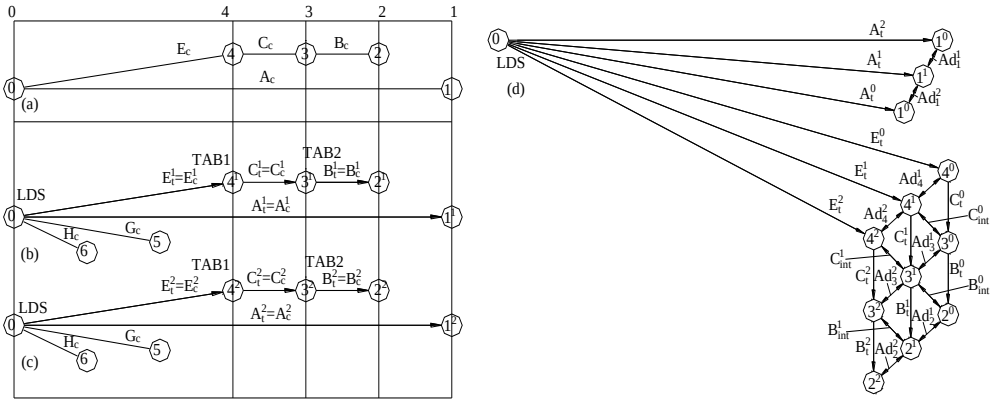



Fig. 2. Example of the graphs of dimensional links for: constructive sizes (a), technological sizes (b, c) and machining allowances (d).

Example 3 (fig. 3). One of constructive sizes is given from constructive base - surface 0 and the rest of the sizes are given from the surface 4. The machining is realized by technological sizes given from locating datum surface 0.

Conditions for ensuring the size's accuracy are not optimal because the accuracy of technological sizes is greater than the accuracy of constructive sizes: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$,

$$\omega_{A_t^i} \pm \omega_{B_t^i} \le \omega_{B_c^i}\,,\ \omega_{A_t^i} \pm \omega_{C_t^i} \le \omega_{C_c^i}\,,\ \omega_{A_t^i} \pm \omega_{E_t^i} \le \omega_{E_c^1}\,.$$

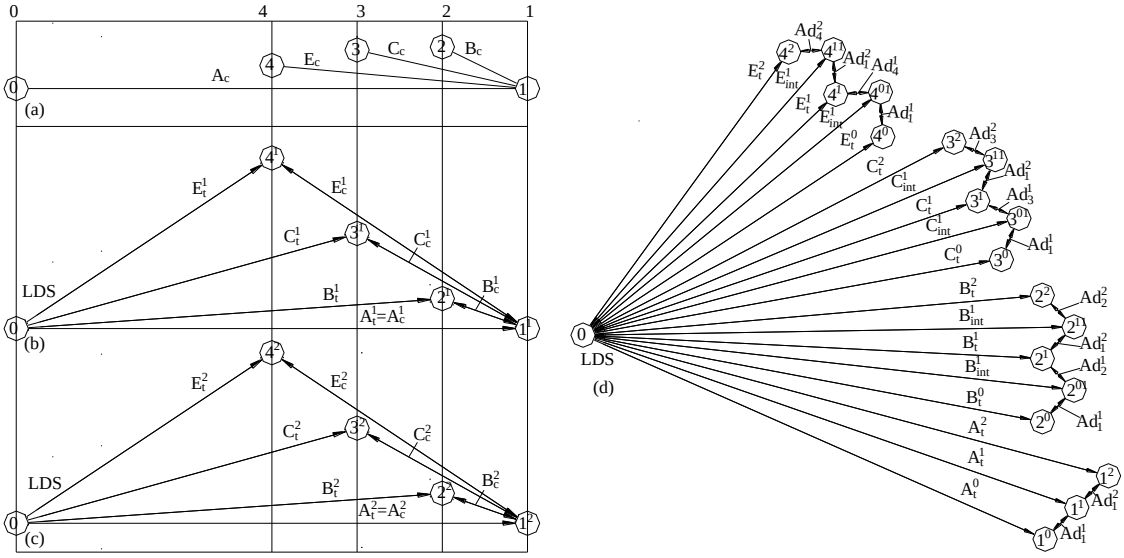



Fig. 3. Example of the graphs of dimensional links for: constructive sizes (a), technological sizes (b, c) and machining allowances (d).

From fig. 3 (d) should be that the tolerances of machining allowances for surfaces 1, 2, 3 and 4 can be determined: $\omega_{Ad_1^i} = (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})$, $\omega_{Ad_2^i} = (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})$,

$$\omega_{Ad_3^i} = (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})\,,\ \omega_{Ad_4^i} = (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})\,.$$

Example 4 (fig. 4). One of constructive sizes is given from constructive base - surface 0 and the rest of the sizes are given in chain from the surface 4. The machining is realized by technological sizes given from locating datum surface 0.

Conditions for ensuring the size's accuracy are not optimal because the accuracy of technological sizes is greater than the accuracy of constructive sizes: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$,

$$\omega_{A_t^i} \pm \omega_{B_t^i} \le \omega_{B_c^i}\,,\ \omega_{B_t^i} \pm \omega_{C_t^i} \le \omega_{C_c^i}\,,\ \omega_{C_t^i} \pm \omega_{E_t^i} \le \omega_{E_c^1}\,.$$

From figure 4 (i) should be that the tolerances of machining allowances for surfaces 1, 2, 3 and 4 can be determined: $\omega_{Ad_1^i} = (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})$,

$$\omega_{Ad_2^i} = (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i}),\ \omega_{Ad_3^i} = (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}) + (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}),$$

$$\omega_{Ad_4^i} = (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}) + (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}).$$

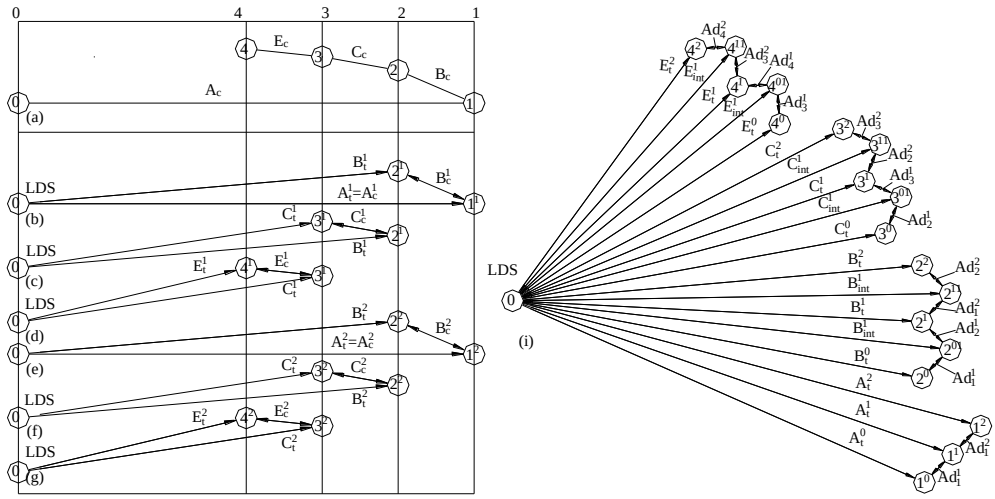



Fig. 4. Example of the graphs of dimensional links for: constructive sizes (a), technological sizes (b, c, d, e, f, g) and machining allowances (i).

Example 5 (fig. 5). One of constructive sizes is given from constructive base - surface 0 and the rest of the sizes are given in chain from the surface 4. The machining is realized by technological sizes given from locating datum surface 0 and in chain from technological adjustment bases.

Conditions for ensuring the size's accuracy are optimal because the accuracy of technological sizes is not greater than accuracy of constructive sizes: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$, $\omega_{B_t^i} \le \omega_{B_c^i}$, $\omega_{C_t^i} \le \omega_{C_c^i}$, $\omega_{E_t^i} \le \omega_{E_c^i}$.

From fig. 5 (d) should be that the tolerances of machining allowances for surfaces 1, 2, 3 and 4 can be determined: $\omega_{Ad_1^i} = (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})$, $\omega_{Ad_2^i} = (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})$,

$$\omega_{Ad_3^i} = (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}) + (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i}),$$

$$\omega_{Ad_4^i} = (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}) + (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}) + (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i}).$$

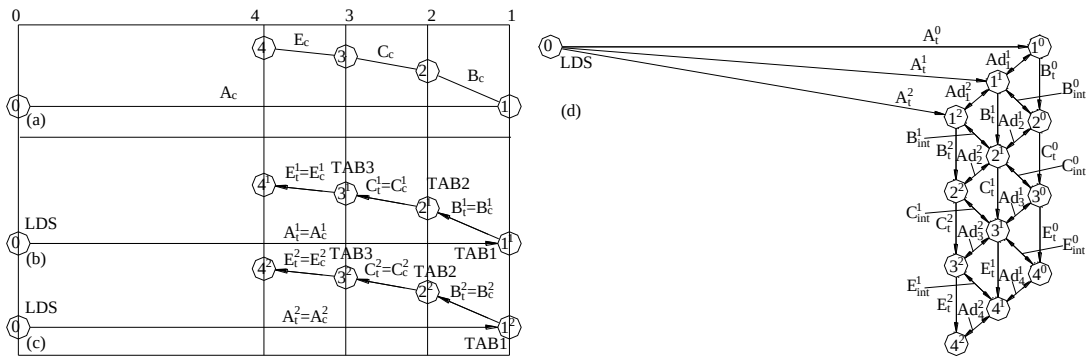



Fig. 5. Example of the graphs of dimensional links for: constructive sizes (a), technological sizes (b, c) and machining allowances (d).

Example 6 (fig. 6). One of constructive sizes is given from constructive base - surface 0 and the rest of the sizes are given directly from the surface 4. The machining is realized by technological sizes given from locating datum surface 0 and from technological adjustment bases.

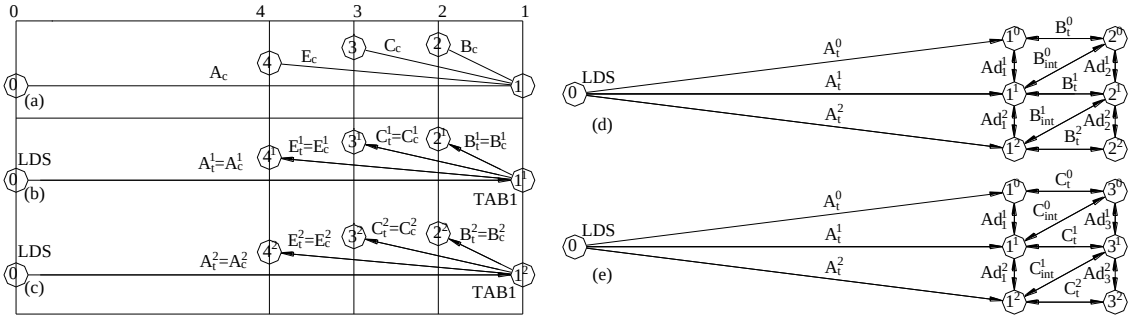



Fig. 6. Example of the graphs of dimensional links for: constructive sizes (a), technological sizes (b, c) and machining allowances (d, e).

Conditions for ensuring the size's accuracy are optimal because the accuracy of technological sizes is not greater than accuracy of constructive sizes: $\omega_{A_t^i} \le \omega_{A_c^i}$, $\omega_{B_t^i} \le \omega_{B_c^i}$,

$$\omega_{C_t^i} \le \omega_{C_c^i}, \ \omega_{E_t^i} \le \omega_{E_c^i}.$$

From fig. 6 (d, e) should be that the tolerances of machining allowances for surfaces 1, 2, 3 and 4 can be determined: $\omega_{Ad_1^i} = (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i})$,

$$\omega_{Ad_2^i} = (\omega_{B_t^{i-1}} \pm \omega_{B_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i}), \ \omega_{Ad_3^i} = (\omega_{C_t^{i-1}} \pm \omega_{C_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i}),$$

$$\omega_{Ad_4^i} = (\omega_{E_t^{i-1}} \pm \omega_{E_t^i}) + (\omega_{A_t^{i-1}} \pm \omega_{A_t^i}).$$

The analysis of the graphs of dimensional links for machining allowances (Figures 1 - 6) demonstrate that the tolerances of machining allowances are defined by the accuracy of the corresponding technological sizes at two consecutive stages of machining and by the accuracy of all similar pairs of sizes up to locating datum surface. In some cases these values may be quite great.

The dimensional chains have been solved at the machining the front surfaces S1, S2, S3 and S4 with the positioning coordinates in relation to surface S0 respectively at 200, 150, 100

and 50 mm in all cases according to figures 1-6. The accuracy of the initial dimensions were taken at IT16 and the results obtained at IT13. The values of machining allowance's tolerances on the analyzed surfaces are given in figure 7. It can be seen that there are situations with fairly high values of the machining allowance's tolerances, consequently with fairly high values of the machining allowances.

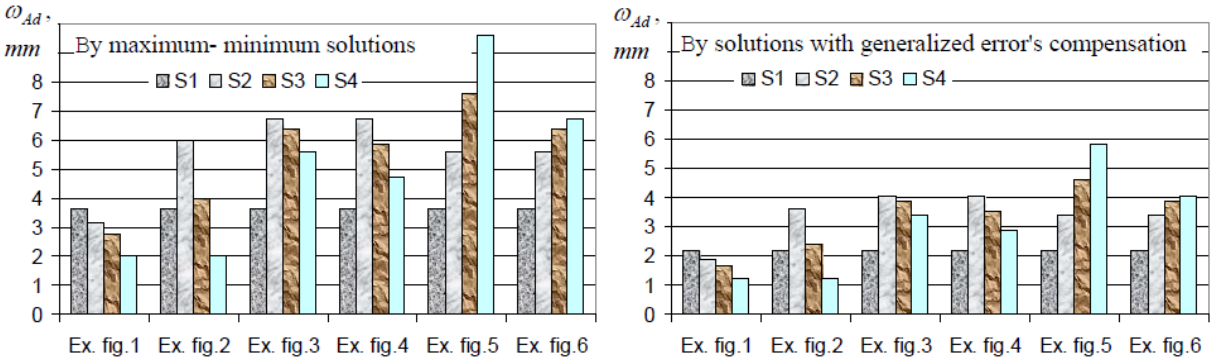



Fig. 7. The values of the machining allowances tolerance's for various constructive and technological variants according to figures 1 – 6.

## 3. Conclusions

The optimality of the machining technology is influenced by several factors and is assured at the general level by promoting the principle of processing's centralization. Structurally, optimality is ensured by the mutual approach of constructive and technological dimensional structures. In this process there are concurrent effects of increasing the accuracy of the technological sizes and of increasing the value of the machining allowances. Both factors must be taken into account at the same time. Solving the dimensional chains by the maximum-minimum method leads to exaggerated solutions regarding the accuracy of the technological sizes and the values of the machining allowances. Balanced solutions are obtained through the generalized method of error's compensation.

**References. 1**. Thilak M., Senthil Kumar N., Jayaprakash G. Optimal tolerance allocation through tolerance chain identification system. International Journal of Applied Engineering Research, V10, No78, 2015, pp. 160 – 168; **2**. González Contreras F. An improved tolerance charting technique using an analysis of setup capability. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. V. 62, Issue 9–12, 2012, pp 1205–1218; **3**. Li W., Bai G., Zhang C. and Wang B. Optimization of machining datum selection and machining tolerance allocation with genetic algorithms. International Journal of Production Research, V38, Issue 6, 2000, pp 1407-1424; **4**. Perminov A. V. The synthesis of dimensional structure of technological processes of machining with the help of a matrix of the dimensional chains. The News of High Schools. Mechanical engineering (Moscow), No 4, 2002, pp 26-30; **5**. Toca A. About the mutual influence of design and technological dimensional structures at creation of the optimum technological processes to machining Proceedings Modern Technologies, Quality and Innovation, 2010, pp. 623 – 626

# РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СБОРКИ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЯМЫХ ТРУБ

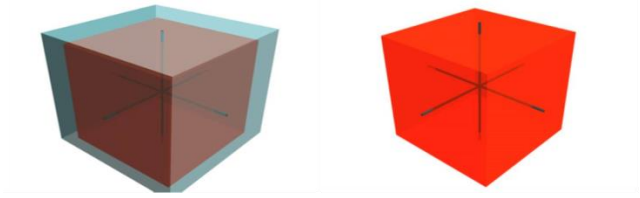
**До Тат Мань, Сахно К. Н., Нго Жа Вьет**
*(«Астраханский государственный технический университет»,*
*414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Россия)*
*E-mail: dotatmanh@gmail.com, k.sakhno@mail.ru, ngogiaviet.ast@gmail.com*

***Abstract:*** *In this paper, we consider the problem of improving the processability of pipelines of ship systems at the design stage, with the possibility of manufacturing pipes without removing dimensions in place and solving it in the context of studies of the relationship between configuration and compensation capabilities of pipeline routes. In the course of the experimental calculation, the goal, tasks and the experimental plan have been determined, the necessary initial data have been prepared. As a result of the experimental calculation, theoretical predictions of pipeline pipeline assembly capabilities during the design phase and the conceptual basis for compensating for total deviations through the movement of the traces have been confirmed, contributing to a reduction in the timing of the construction of facilities saturated with pipelines.*

## 1 Введение

По результатам исследований в [1-3] было показано, что на основе формы трубы и с использованием свободно вращающихся соединений, мы можем компенсировать фактическое отклонение в процессе монтажа трасс трубопроводов. Однако, эти выводы основывались только на построении математической модели, а также моделировании геометрии. Для того, чтобы проверить теоретическую основу, мы должны проводить исследования в ходе реального эксперимента. А также из исследований эксперимента, мы получим новые знания для уточнения процесса компенсации отклонений трасс судовых трубопроводов в условиях установки соединений во взаимное теоретическое положение с допускаемым перекосом [4, 5].

Целью экспериментальных исследований является проверка возможностей сборки труб и подтверждение разработанных математических соотношений. Если большинство областей отклонений, которые получились на самом деле, меньше или равно области компенсации, рассчитанной для трасс труб, то теоретические основы, которые мы разработали, согласуются с практикой (рис. 1.а). А если наоборот большинство областей отклонений находится с наружи (больше) вычисленной области компенсации (рис. 1.б) - это означает, что предлагаемый метод не представляется возможным, необходимо пересмотреть теоретические основы и в сочетании с другими методами компенсации отклонений.



а) б)

Рис. 1. Сравнение области отклонений с областью компенсации: а) Полная компенсация области отклонений; б) Поглощение области компенсации областью отклонений

**2 Материалы и методы**

Экспериментальные исследования проводились на ведущих судостроительных предприятиях Вьетнама. Основные этапы экспериментальных исследований проводились на реальных трубопроводах судовых систем буксира «Azimuth Rotor Tug 85-32W» (проекта № YN-512546) (рис. 2) в процессе их производства на верфи «ЛИЛАМА 69-2 Shipyard» и «Damen Song Cam shipyard» во Вьетнаме. Данные по компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием прямых труб представлены в табл. 4.

Показательными являются результаты эксперимента при изготовлении и монтаже труб; рассмотрен ряд трасс, ограниченных жёстко фиксированными соединениями изделий насыщения и ответвлений: приварными стаканами и отростками.

Рис. 2. Буксир «Azimuth Rotor Tug 85-32W».

Основные характеристики судна указаны в табл. 1:

Таблица 1. – Основные характеристики судна.

| | |
|---|---|
| Длина по КВЛ, м | 31,5 |
| Ширина, м | 13,7 |
| Высота борта, м | 4,8 |
| Осадка по КВЛ, м | 4,5 |
| Дедвейт, т | 500 |
| Скорость, уз | 12,5 |
| Мощность главного двигателя, кВт | 3 x Caterpillar 3512CTA (5400bkW/18800rpm) |

Основные этапы экспериментальных исследований:

- выбор трассы трубопровода между двумя жёстко фиксированными соединениями по чертежу и на судне;
- определение расчётной области компенсации и, при необходимости, пригоняемого участка с припуском на основе теоретических положений в рамках гипотезы о взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов;
- определение фактических отклонений собранной трассы;

- сравнение фактических отклонений и расчётной компенсации;

- корректировка чертежей посредством изменения размеров пригоняемых участков припусками.

**3 Результаты и обсуждение**

На основании разработанных теоретических положений [1-3] составлена методика расчётов. В качестве примера расчётов приведена трасса 102-321L00107, находится в судовой топливной системе трубопроводов (см. ниже).

*Примерная трасса:*

На основании разработанных теоретических положений составлена методика расчетов области компенсации трасс трубопроводов. В качестве примера приведен расчет трассы 102-321L00107 в судовой топливной системе трубопроводов 321 (рис. 4):

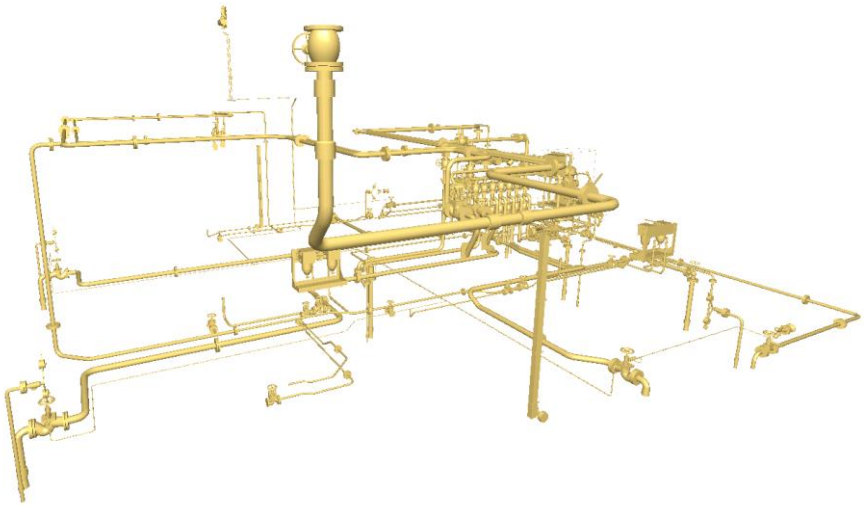


Рис. 4. Судовая топливная система трубопроводов 321.

Проведён анализ трассу труб 102-321L00107 (рис. 5):

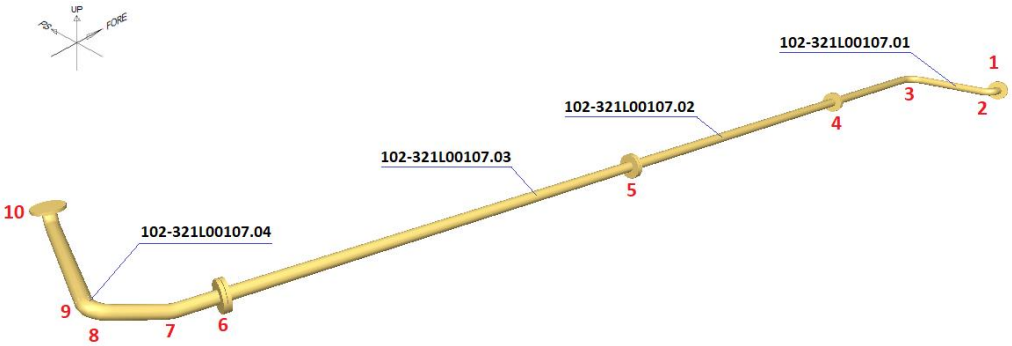



Рис. 5. Расчетная трасса 102-321L00107.

Координатные размеры расчетной трассы, состоящей из четыре труб, показаны в табл. 2:

Таблица 2. – Координаты точек расчетной трассы.

| Номер точек | X(FORE) | Y(PS) | Z(UP) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -184 | 0 | 0 |
| 3 | -184 | 805 | 0 |
| 4 | -1397 | 805 | 0 |
| 5 | -4000 | 805 | 0 |
| 6 | -6753 | 805 | 0 |
| 7 | -6947 | 805 | 0 |
| 8 | -7240 | 805 | 125 |
| 9 | -7240 | 2000 | 125 |
| 10 | -7240 | 2000 | 105 |

Номера точек свободных соединений: 1, 4, 5, 6, 10. Точка 10 расположена на конце последней трубы, поэтому она не задействована при установке и вращении труб трассы. Окончательно определяем номера точек свободного соединения: s = {1, 4, 5, 6}.

Далее необходимо провести анализ конфигурации труб расчетной трассы. Трасса 102-321L00107 состоит из двух прямых труб $Д_у$70 (названия 102-321L00107.02 и 102-321L00107.03) и двух изогнутых труб $Д_у$70 (названия 102-321L00107.01 и 102-321L00107.04). Обнаруживаем, что когда устанавливаем изогнутую трубу с перекосом в начальной её точке, то траектория конечной точки той трубы все равно всегда двигается по постоянному сегменту и не зависит от конкретной формы изогнутой трубы. Поэтому при расчете компенсации, нас просто интересует расстояние между двумя точками, начальной и конечной точки трубы, которого достаточно.

На основании математического описания [1-3] определяем расчетные параметры окружностей, полученных вращением труб с допускаемыми перекосами (табл. 3). Вращение этих участков в свободных соединениях на определенный угол поворота образует дуги, необходимые для построения области компенсации (рис. 6).

Таблица 3. – Параметры векторов труб расчетной трассы.

| № п/п | Труба | Координаты векторы | Расстояние $r_i$, мм | $Д_у$, мм |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1-4 | (-1397,805,0) | 1612 | 70 |
| 2 | 4-5 | (-2603,0,0) | 2603 | 70 |
| 3 | 5-6 | (-2753,0,0) | 2753 | 70 |
| 4 | 6-10 | (487,1195,105) | 1295 | 70 |

Уравнение (1) определяет траекторию перемещения последней точки трассы А. Эта траектория представляет собой в виде:

2 (1)

Или:

3

$\theta_1$, $\theta_2$, $\theta_3$: угол перекоса [0, α], $\varphi_1$, $\varphi_2$, $\varphi_3$: угол поворота [0, 2π]

В результате расчета определяем координаты области компенсации (в мм):

x ∈(0; 241) мм

y ∈(0; 121) мм

$z \in (0; 121)$ мм

Область компенсации принимается вид:

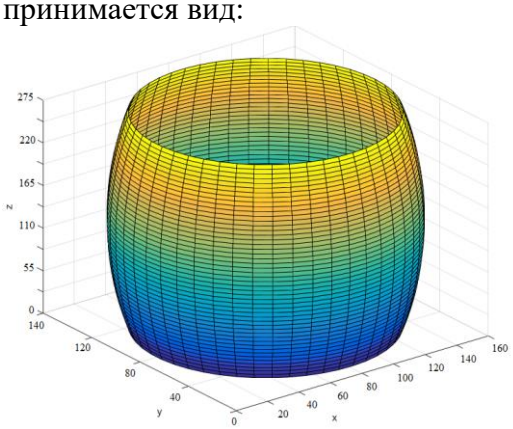



Рис. 6. Область компенсации.

Определенная область компенсация показывается траекторией последней точки трассы трубопроводов (рис. 6). Границы компенсации - это наибольшая величина, на которую мы можем переместить точку 10, чтобы компенсировать отклонение трассы. Необходимо обеспечить, чтобы направление оси конечного участка труб 6 - 10 совпадало с направлением оси, перпендикулярной плоскости фиксированного соединения (оборудования, арматуры...). Чтобы это обеспечить для трассы 102-321L00107 назначим $\theta_4 = 0$, т. е. $z_4 = 0$.

Далее, в процессе эксперимента, мы будем измерять фактические отклонения при монтаже трубопровода по месту (рис 7). Это именно те величины, которые мы должны компенсировать, чтобы соединить трассу с другими трассами или другими оборудованием... Чтобы знать, можно ли применить предлагаемый способ для компенсации этих отклонений, нам надо сравнить значения области фактических отклонений со значениями полученной расчётной области компенсации.

Конкретно в этом случае, мы измерили отклонение фактическое: $\Delta x = 52$ мм, $\Delta y = 64$ мм, $\Delta z = 31$ мм. Сравниваем со значением области компенсации и видим, что величины отклонений меньше величин области компенсации.

Рис. 7. Проведение измерения фактических отклонений по месту.

Таким образом, предлагаемым способом мы можем компенсировать полностью фактические отклонения. В качестве способа компенсации выбрана компенсация парой прямых труб Ду70: 102-321L00107.02 и 102-321L00107.03. Допускаемое смещение при длине указанных труб 2753 мм – 54 мм. Трубы собраны со смещением фланцев 40 мм.

В процессе монтажа трубопровода все отклонения смещения приварных стаканов компенсированы.

После анализа и определения значения припусков необходимо скорректировать чертежи трасс трубопроводов с указанием значения и направления этих припусков, а также участков труб, на которых следует назначить припуски. Таким образом, трубы могут изготавливаться по чертежам, не требуется снимать размеры по месту.

Рассмотрено 88 трасс, ограниченных жёсткими соединениями. Чертёж разделён на 88 участков, имеющих изометрические чертежи с указанием координат точек перегиба и расположения соединений. Данные по компенсации отклонений трасс трубопроводов путём установки соединений во взаимное теоретическое положение с допускаемым перекосом представлены в табл. 4:

Таблица 4. – Фрагмент результатов эксперимента.

| Обозначение трассы | Теоретические координаты конца трассы, *мм* | | Фактические отклонения, *мм* | Количество соединен-ий | Расчетная компенсация, ± *мм* | Припуск |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-1-351L00120 | X | 129 | 11 | 3 | 78 | |
| | Y | 320 | -25 | | 67 | |
| | Z | 868 | 32 | | 78 | |
| 2-2-310L00127 | X | -585 | -37 | 3 | 21 | 29 |
| | Y | 1777 | 19 | | 0 | 50 |
| | Z | -345 | -32 | | 113 | |
| 3-1-351L00130 | X | -310 | -20 | 4 | 239 | |
| | Y | 888 | 17 | | 93 | |
| | Z | -4571 | -32 | | 8 | 42 |
| 4-2-310L00128 | X | 946 | 26 | 4 | 35 | - |
| | Y | 2640 | 21 | | 11 | - |
| | Z | 1769 | 25 | | 9 | - |

По результатам теоретических расчётов трасс, в зависимости от их возможностей сборки можно классифицировать 88 трасс на 4 групп (см. рис. 8):

1) 19 трасс имеют возможность полной компенсации отклонений в трёх координатных направлениях, что составляет 22% от общего количества трасс трубопроводов. Все трубы этих трасс могут быть изготовлены по проектным размерам и не требуется припуск (трасса 1).

2) 39 трассы имеют возможность компенсации отклонений в двух направлениях и необходимо назначить припуск в оставшемся направлении для полной компенсации отклонений, что составляет 44% от общего количества трасс трубопроводов (трасса 3).

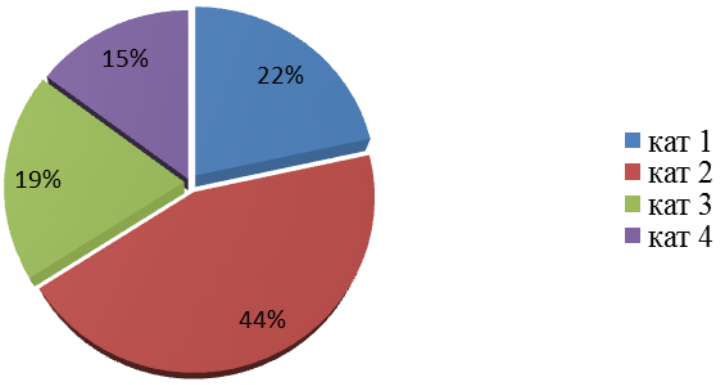



Рис. 8. Классификация трасс трубопроводов по возможности сборки.

3) 17 трасс имеют возможность компенсации отклонений только в одном направлении и необходимо назначить припуски в остальных двух направлениях для полной компенсации отклонений, что составляет 19% от общего количества трасс трубопроводов (трасса 2).

4) 13 трасса не имеет возможность компенсации отклонений, что составляет 15% от общего количества трасс трубопроводов. Для этих трасс требуется корректировка трасс (трасса 4).

Результаты проведённых комплексных исследований являются основой для разработки соответствующей методические базы, её широкомасштабного применения в процессе производства судовых трубопроводов.

**4 Заключение**

В результате экспериментальных исследований возможностей сборки прямых трасс установлено следующее:

1. Подтверждены теоретические прогнозы возможностей сборки трасс трубопроводов на этапе проектирования;

2. Разработан порядок компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием прямых участков с соединениями труб и дополнительными припусками;

3. Созданы предпосылки для разработки соответствующей методики повышения технологичности трубопроводов на стадии проектирования.

**Список литературы:** **1.** *Сахно К. Н.* Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук; специальность: 05.08.04 технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства. Астрахань: АГТУ, 2012. 353 с. **2.** *Сахно К. Н., До Т. М., Во Ч. К.* Исследование возможностей создания обобщенного метода использования параллельных участков и прямых труб для компенсации отклонений судовых трубопроводных трасс // Молодой ученый. 2016. № 6 (110). С. 181–184. **3.** *До Т. М., Сахно К. Н.* Разработка теоретической основы исследования компенсационных возможностей отклонений в судовых системах трубопроводов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — Санкт-Петербург, 2018.— № 2. **4.** *РД 5Р.0005-93*. Системы судовые и

системы судовых энергетических установок. Требования к проектированию, изготовлению и монтажу труб по эскизам и чертежам с координатами трасс трубопроводов. СПб.: ЦНИИТС, 1994. 78 с. **5.** *ОСТ 5.95057-90.* Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. РТП НПО «Ритм». 207 с.

# ПРОБЛЕМА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЭЦ) И РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

**Звягинцева А.В., Вербицкая М.В.**
*(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)*
*Тел.: 89507501062; E-mail: zvygincevaav@mail.ru*

***Abstract.*** *The waste generated during the operation of thermal electric Central, the energy facility is considered. The analysis of air pollution by emissions of Voronezh CHP-1, which uses coal as the main fuel, is carried out. A comparison with the CHP plant using gas as a fuel source is given. The maximum permissible emission standards of pollutants formed during the use of coal are established and the excess of the MPC value by various types of emissions is shown: dioxide and nitric oxide; ash of fuel oil and NO2+SO2; sulfur dioxide and carbon monoxide; soot and ash of coal. The size of The sanitary protection zone of CHP-1 is determined. The measures aimed at reducing the negative impact on the environment of such energy facilities as thermal power plants are proposed*
***Keywords:*** *hazard classes, MPC, waste, washing water, industrial soot, ion exchange desalting plant, sludge storage*

## 1. Введение

В настоящее время в Российской Федерации более двух третей общего количества электрической и тепловой энергии поставляют теплоэлектростанции (ТЭЦ), работающие на угольном топливе. В отдельных регионах, бедных гидроэнергетическими ресурсами, теплоэлектростанции до сих пор являются основным источником энергии. В результате работы этих станций образуется большое количество отходов, часто не подлежащих вторичному использованию и требующих безопасного захоронения на специальных полигонах, поостроение моделей управления экологическими параметрами технологических процессов представлено в работе [1].

## 2. Основное содержание и результаты работы

Воронежская ТЭЦ-1 - теплоэлектроцентраль, расположенная в городе Воронеж, входящая в состав ОАО «Квадра». Расположена по адресу: г. Воронеж, ул. Лебедева 2. Основной функцией ТЭЦ является производство электроэнергии и теплоэнергии. Воронежская ТЭЦ-1 – это крупная тепловая электростанция установленной электрической мощностью 138 МВт и энергетической мощностью 1181 Гкал/ч.

Для Воронежской ТЭЦ характерны следующие отходы:

1. Окалина. Класс опасности - 4. Образование окалины – процесс окисления металлов при нагреве в присутствии кислорода. Окалина возникает при прохождении природного газа через механические фильтры; при регенерации фильтров окалина собирается. Окалина на внутренних деталях котла снижает теплоотдачу и увеличивает

энергоемкость. Она образуется на трубах вследствие перегрева их до температур, значительно превышающих расчетные.

2. Мазутная зола образуется при периодических снятиях золо-сажевых отложений с наружных поверхностей нагрева котлоагрегатов. Основной загрязненной поверхностью является поверхность воздухоподогревателей. В состав золы входят оксиды и соединения ванадия, никеля, натрия, кальция, алюминия, железа. При сжигании топочных мазутов, несмотря на невысокое содержание золы, на поверхностях нагрева котлов и в регенеративных воздухоподогревателях образуются зольные отложения.

3. Нефтешлам при зачистке резервуаров. Нефтешлам при зачистке резервуаров образуется при периодических (1 раз в 5-10 лет) зачистках мазутных баков и резервуаров. Представляет собой тяжелые фракции мазута в смеси с водой.

4. Грунт, содержащий нефтепродукты. Грунт, содержащий нефтепродукты образуется вследствие проливов мазута при перекачке его в резервуары и засыпке его песком.

5. Обмывочные воды регенеративных воздухоподогревателей и конвективных поверхностей нагрева котлоагрегатов, работающих на мазуте. При обмывке отложений регенеративных воздухоподогревателей и конвективных поверхностей нагрева котлов, работающих на мазуте, образуются сточные воды с повышенным содержанием солей свободных кислот, взвешенных веществ, железа, никеля, меди, ванадия. Обмывочные воды содержат токсические вещества и должны обезвреживаться. При обмывке часть отложений (80…85 %) растворяется в воде, а остальная переходит в воду в виде грубодисперсных примесей. При нейтрализации обмывочные воды обрабатываются раствором извести в баках-нейтрализаторах, после чего поступают в чашу сброса.

6. Отходы, образующиеся от осветлителей и Na-катионитовых фильтров:
- карбонатный шлам, состоящий в основном из взвешенных веществ, $CaCO_3$ , $Mg(OH)_2$ и гидроксида железа $Fe(OH)_3$ , а также органических веществ типа гуматов;
- воды, содержащие механические примеси, образующиеся в процессе взрыхления и промывки, механических осветлительных фильтров;
- воды, содержащие механические примеси, образующиеся в процессе взрыхления натрий-
катионитовых фильтров;
- отработанные регенерационные растворы, образующиеся в процессе восстановления обменной емкости Na-катионита, содержащие хлористый натрий, хлористый кальций и хлористый магний;
- воды после промывки Na-катионитовых фильтров, содержащие хлористый натрий.

7. Отработанные масла являются отходом 3 класса опасности и обязательно подлежат утилизации или переработке, в целях сохранения благоприятного состояния окружающей среды.

8. Золошлаковые отходы. Химический состав золошлаковых отходов определялся тремя лабораториями: лабораторией ЦГСЭН Воронежской области; лабораторией ОАО «Воронежгеология»; водной лабораторией ОРГРЭС (г. Москва). Лабораторией ЦГСЭН по Воронежской области (в частности отделом контроля радиационного качества строительных материалов) проведено исследование проб из золошлаков и получены такие данные: радий (Ra) - 85,7 Бк/кг; торий (Th) - 63,5 Бк/кг; калий (К) - 210,0 Бк/кг; суммарный эффект - 186,8 Бк/кг; радиационный фон - 13-16 мкр/час. Обращает на себя внимание высокое содержание таких компонентов как $Al_2O_3$, $SiO_2$, $Fe_2O_3$, $TiO_2$, $SO_3$, суммарного железа. Уровень содержания микроэлементов

в золошлаковых отходах в целом не превышает значений, установленных требованиями СанПиН (представлены в таблице).

Проведем анализ деятельность Воронежской ТЭЦ, и выясним, какие экологические нормы будут соблюдаться. Цель нормирования - установление предельно допустимых норм, например, предельно допустимой концентрации (ПДК). По данным лаборатории Воронежской ТЭЦ-1 ежегодно сжигалось 123997 тонн угля, из которого выход золошлаков составил 40 тыс. т, то есть 27,5 % от количества израсходованного топлива. Из этого количества золошлаков зола составляет 85,4 %, шлаки 14,6 %.

При сжигании угольного топлива в котлах образуются загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу через дымовые трубы, которые оказывают влияние на загрязнение воздушного бассейна. ПДК загрязняющих веществ приведено в таблице.

Таблица 1. – Классы опасности вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест

| Наименование вещества | Класс опасности | ПДК вещества, мг/м$^3$ | |
|---|---|---|---|
| | | Максимальная разовая | Среднесуточная |
| $C_{20}H_{12}$ | 1 | - | 0,01 |
| $NO_2$ | 2 | 0,085 | 0.04 |
| NO | 3 | 0.4 | 0.06 |
| $SO_2$ | 3 | 0,05 | 0.5 |
| $SO_3$ | 3 | 0,3 | 0,1 |
| Промышленная сажа | 3 | 0,15 | 0,5 |
| CO | 4 | 5 | 3 |

В итоге устанавливаем предельно допустимые нормы выбросов загрязняющих веществ образующихся при использовании угля. На рис. 1-4 показаны значения превышения ПДК различными видами выбросов.

Анализ показывает значительные превышения концентраций загрязняющих веществ, создаваемые выбросами производства ТЭЦ-1. Твердое топливо используется в зимний период, когда ТЭЦ-1 работает на максимальной нагрузке.

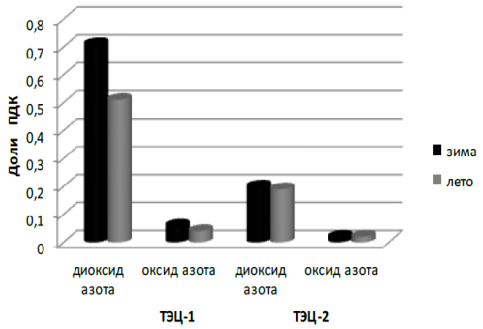



Рис. 1. ПДК выбросов диоксида и оксида азота

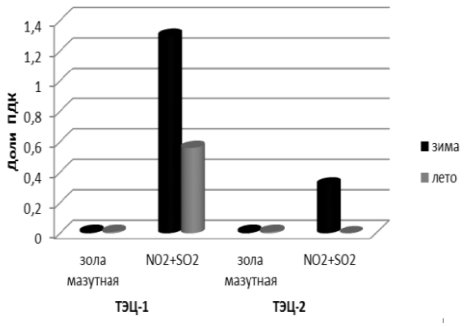



Рис. 2. ПДК выбросов золы мазутной и $NO_2$+$SO_2$

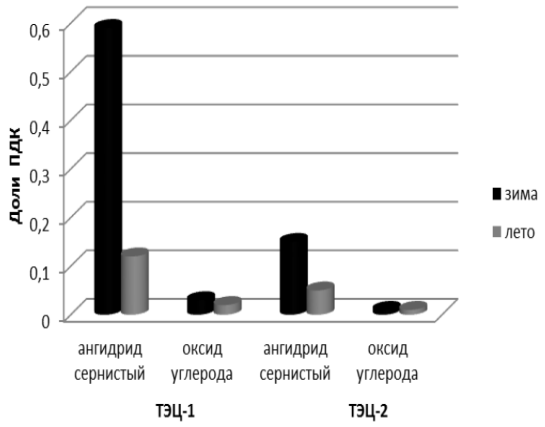



Рис. 3. ПДК сернистого ангидрида и оксида углерода

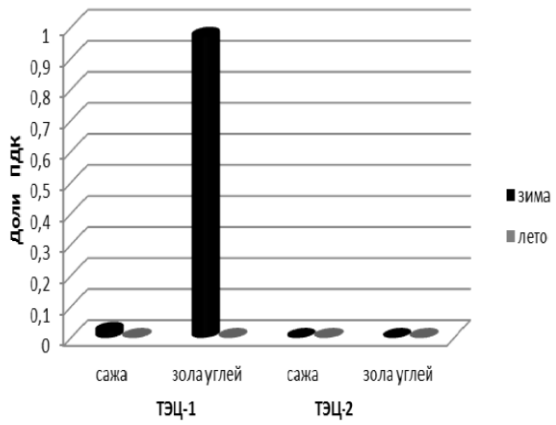



Рис. 4. ПДК выбросов сажи и золы углей

При сжигании топлива в котлах ТЭЦ-1 образуются загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу через дымовые трубы. Анализ показывает значительные превышения концентраций загрязняющих веществ, создаваемые выбросами основного производства ТЭЦ-1. Так, ТЭЦ-1, работающая на угле, отличается выбросами диоксида азота, сернистого ангидрида, $NO_2$+$SO_2$, которые в 3-4 раза выше по сравнению с ТЭЦ-2, работающей на газе. Также выбросы оксид азота и оксид углерода от ТЭЦ-1 превышают выбросы от ТЭЦ-2 в 2 раза. И основными показателями являются выбросы сажи и золы углей, которые в газовой ТЭЦ полностью отсутствуют.

Площадь производственной территории ТЭЦ-1 составляет 967 674 м$^2$. Санитарно-защитная зона (СЗЗ) для производственного подразделения ТЭЦ-1 согласована Центром Госсанэпиднадзора г. Воронежа (заключение от 31.03.98г.№ 51, приложение П) на основании «Проекта организации санитарно-защитной зоны ТЭЦ-1», разработанного ОАО «Газпроектинжинеринг».

На основании СанПиН (2.2.1/2.1.1.1200-03) установлен и согласован размер СЗЗ от источников выбросов загрязняющих веществ – 500 м от дымовых труб. Жилая застройка находится на юге - на расстоянии 1100 м, на юго-востоке – 970 м, на северо-востоке – 800 м от дымовой трубы производственного подразделения ТЭЦ-1 и не входит в границы согласованной СЗЗ, рис. 5. План расположения оборудования площадки подсобного хозяйства ТЭЦ-1 филиала ОАО «Квадра» – «Воронежская региональная генерация» представлен на рисунке 5.

Территория предприятия имеет основное ограждение из железобетонных плит, частично оборудованное колючей проволокой по верху. При работе ТЭЦ-1 используется донецкий уголь типа АШ. При его сжигании в котлах образуются загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу через дымовые трубы, которые оказывают существенное влияние на загрязнение воздушного бассейна.

В результате сгорания топлива образуются углекислый газ $CO_2$, оксиды серы (сернистый газ $SO_2$, серный ангидрид $SO_3$), диоксид азота $NO_2$ , оксид азота NO, $NO_2$+$SO_2$, *б*енз(а)пирен, а также зола углей. При неполном сгорании топлива в топках могут образовываться также монооксид углерода CO, углеводороды, такие как метан $CH_4$, этан $C_2H_6$ (4 класс опасности), а также канцерогенные вещества. Продукты неполного сгорания весьма вредны, однако при современной технике сжигания их образование можно исключить или свести к минимуму. Снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от производственного процесса ТЭЦ-1

обусловлено проведением мероприятий по охране атмосферного воздуха. Это модернизация золоулавливающей установки на пылеугольном котле с получением фактической очистки 94,78 %, что обеспечило снижение выбросов золы углей от котлов; оптимизации режимов горения котлоагрегатов в подразделениях филиала ТЭЦ-1 и тепловые сети с целью снижения выбросов оксидов азота; замены горелочных устройств на пылеугольных котлах ТЭЦ-1, что обеспечило снижение выбросов оксидов азота.

Режим работы котла, где происходит сжигание топлива, ведется по режимной карте, где указаны оптимальные параметры для работы котла, а также значения для вредных выбросов, регулирование технологического риска посредством оптимизации программы технического обслуживания оборудования рассмотрено в [2].

Для контроля надлежащего качества воды котлов существуют пробоотборные точки, откуда берут пробы для химического анализа и проверяют состояние воды в различных точках котла. Фактически все отработанные реактивы химической лаборатории сливают в раковину, по возможности нейтрализуя. При отсутствии возможности для сжигания отработанные растворители сдают для регенерации в лицензированную организацию или вывозят в лицензированную организацию для обезвреживания. Перед тем, как вода попадет в котел, ее необходимо очистить. Вода берется из Воронежского водохранилища. Обессоливающая установка. Здесь происходит двухступенчатое обессоливание воды.

В дальнейшем приведем методы утилизации представленных ранее видов отходов. Рассмотрим методы очистки сточных вод:

1 метод - Ионообменная обессоливающая установка.

Стоки также образуются после двухступенчатой обессоливающей ионообменной установки, предназначенной для получения обессоленной воды для подпитки энергетических котлов. Технологический процесс получения обессоленной воды включает в себя обработку исходной воды на Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтрах обессоливающей установки. Ионитовые фильтры загружены ионообменными смолами – ионитами, которые вступают в ионный обмен с растворенными в исходной (осветленной) воде катионами и анионами. Иониты обменивают ионы солей на эквивалентное количество ионов, которыми ионит насыщается при регенерации. Процесс регенерации фильтров установки химического(ионного) обессоливания включает в себя взрыхляющую промывку, ввод регенерационных растворов и отмывку от продуктов регенерации. Регенерация Н-катионитных фильтров осуществляется раствором серной кислоты при ступенчатом повышении её концентрации от 0,8 до3–4%. Регенерацию анионитов осуществляют 4-%м раствором едкого натра. При этом чем выше минерализация исходной воды и больше ступеней обработки, тем больше расход реагентов, количество сточных вод и содержащихся в них солей. Воды взрыхления возвращают в осветлители, а минерализованные сточные нейтрализуют раствором извести в баке-нейтрализаторе объемом 580 $м^3$ при pH=8

2 метод - Обратноосмотическая обессоливающая установка. Широкое распространение получили мембранные методы обработки исходных и сточных вод с целью снизить негативное воздействие ВПУ на окружающую среду, так как эта установка не имеет потерь и высокоминерализованных стоков. Данная технология основана на обратимости процесса естественного (прямого) осмоса — самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор. Чтобы провести обработку воды по технологии обратного осмоса нужно создать избыточное давление, чтобы заставить молекулы воды диффундировать через

полупроницаемую мембрану в направлении, противоположном естественному (прямому) осмосу.

3 метод – Шламонакопитель - (пруд-осветлитель) представляют собой открытую земляную естественные процессы - накопление атмосферных осадков, развитие микроорганизмов, протекание окислительных и других процессов, т.е. идет самовосстановление. Воды в шламонакопителе подвергаются биологической очистке с помощью высших водных растений (камыша).

4 метод - На поверхности чаши образуется пленка, которая адсорбирует растворенные вещества, находящиеся в сточных водах. Пленку собирают, а отстоявшаяся вода поступает в Воронежское водохранилище.

В дальнейшем рассмотри методы снижения загрязнения почвы.

1 метод - Размещение и утилизация обработанных масел.

Для временного размещения масел предусматриваются специальные емкости с закрывающимися крышками в помещениях цехов, масляного хозяйства или на территории топливно-транспортного цеха, а затем сдают для регенерации в лицензированную организацию или вывозят в лицензированную организацию для обезвреживания.

2 метод - Золошлаковые отвалы. Золошлаковые отвалы площадью 75,4 га введены в эксплуатацию в 1964 г. и расположены на территории ТЭЦ-1 в пойме реки Песчанка, в непосредственной близости от Воронежского водохранилища. При отсутствии свободных площадей для золошлаковых отходов сильно затрудняется работа пылеугольных котлов теплоэлектростанций, в связи с чем существенно ограничиваются возможности по выработке электрической и тепловой энергии. Для устройства полигона золошлаковых отходов выделен и оборудован участок на юго-восточной окраине г. Воронежа. Вокруг полигона жилая и прочая застройка и какие-либо объекты отсутствуют. Участок представляет собой выработанный песчаный карьер в 8,86 га на необлесенной территории государственного лесного фонда Новоусманского лесничества. Ближайшим водоемом является Воронежское водохранилище, расположенное в 2 км к западу от полигона золошлаковых отходов.

Рассмотрим методы снижения вредных выбросов в атмосферу:

1 метод - Дымосос Д-18х2. Центробежный дымосос двустороннего всасывания Д 18х2 предназначен для удаления дымовых газов из топок котлов на угле при остаточной запыленности дымовых газов не более 2 г/м$^3$. Основной принцип работы устройства – нагнетание воздуха в принудительном порядке. Вращение рабочего колеса приводит к тому, что воздух устремляется в центр конструкции. Достигнув его, воздух отбрасывается стенками дымососа и попадает в топку бытовых котлов. Там происходит постепенное разрежение, что обеспечивает приток новой порции воздушных масс и, тем самым, создается беспрерывная циркуляция. Лопатки в устройстве обеспечивают вихревое движение воздуха, направленное в сторону вращения мощного ротора вентилятора.

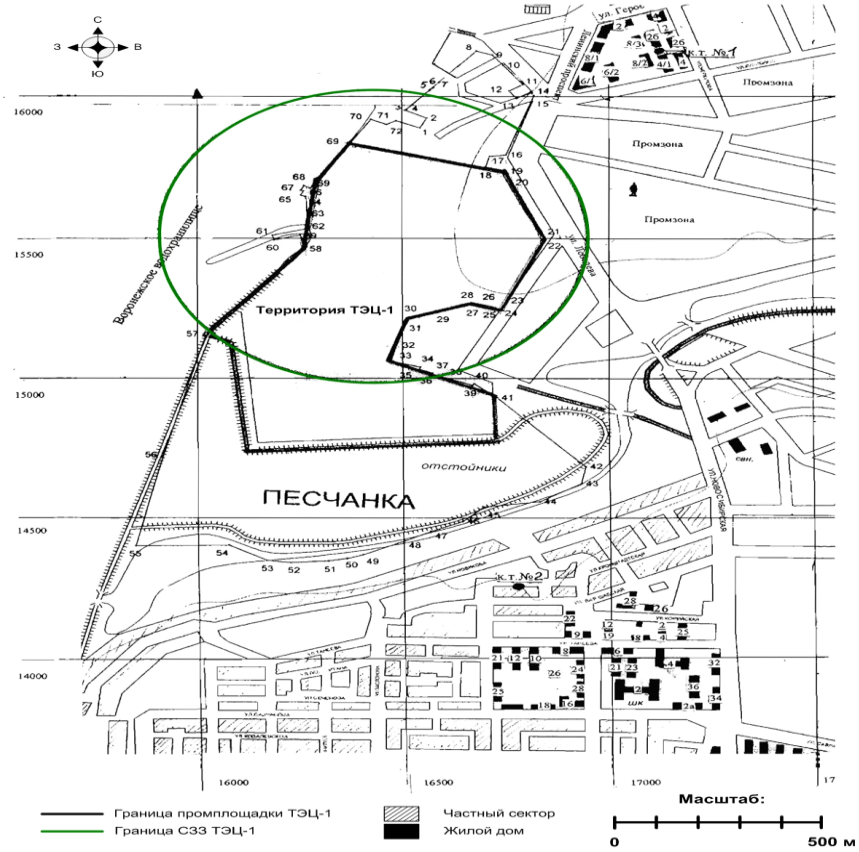



Рис. 5. Схема Санитарно-защитной зоны ТЭЦ-1

2 метод - Пластинчатый электрофильтр. Конструкция вертикального пластинчатого двухкамерного электрофильтра включает в себя следующие элементы: входной и выходной газоходы, вертикальную камеру, осадительные и коронирующие электроды, раму, пылесборник, клапан и распределительную решетку. Осадительные электроды в этом электрофильтре представляют собой тонкие пластины, выполненные из стальной проволоки, толщина которой составляет всего 3 миллиметра. Эти пластины подвешены друг от друга на расстоянии 250 миллиметров. Коронирующие электроды натягивают между верхней и нижней рамой. Обе рамы, соединенные тягами, подвешены к наружным изоляторам из фарфора. Встряхивание электродов осуществляется ручным способом с помощью специального ударного устройства. Электроды в электрофильтре подвешены свободно к верхней части камеры. Пыль оседает на пластинах осадительных электродов и при их встряхивании осыпается в нижнюю часть камеры, после чего удаляется из аппарата. Электрофильтр способен при скорости газа 0,7 метров в секунду снижать его запыленность до 0,2 грамм на кубический метр.

3 метод - Топливные присадки. Экологические эффекты:

1. Сокращение выбросов CO;

2. Сокращение выбросов оксидов азота (NOx) благодаря снижению избыточного воздуха;

3. Сокращение выбросов угольной пыли за счет изменения химического состава частиц золы;

4. Сокращение теплового излучения благодаря снижению воздухопотока в котле;

5. Кардинальное снижение образования оксидов серы ($SO_3$)

6. Сокращение выбросов оксида серы ($SO_2$) и ($CO_2$) прямо пропорционально показателям снижения расхода топлива, за счет чего повышается КПД котла.

Поэтому топливные присадки можно рассматривать как эффективную недорогую технологию, позволяющую не только оптимизировать работу оборудования, снизить производственные затраты и издержки на сервисное обслуживание, но и как вариант начального решения экологических вопросов.

4 метод - для мокрой газовой очистки - скруббер Вентури. В установку вода подается через отверстие в горловине трубы. Поток воды подвергается тонкому распылению при помощи быстро движущегося потока газа (до 70 м/сек), который вдувается в установку вентилятором. В широкой части трубы скорость потока падает, а тонко распыленная жидкость поглощает пыль. В результате этого капли жидкости становятся крупнее, что делает возможным их выделение из газа при помощи циклонного сепаратора. В отстойнике происходит отделение воды от шлама, после чего вода снова подается в скруббер. Скруббер Вентури способен удалять из потока газа до 99 % тонкодисперсной пыли, размеры частиц которой находятся в диапазоне 1,5 до 0,5 мкм. Преимуществом такого скруббера является простота устройства и способность очищать газ от тумана.

**3. Заключение**

Применение современных организационно-технических мероприятий, рассмотренных выше, а также информационно-аналитических методов, рассмотренных, например в [3], в работе Воронежской ТЭЦ-1, направлено на уменьшение выбросов, защиту окружающей среды и населения.

**Список литературы: 1.** Звягинцева А.В., Болдырева О.Н., Усов Ю.И. Построение моделей управления экологическими параметрами технологических процессов / Инженер, технолог, рабочий. - Москва, 2004. - №12(48). - С. 31-33. **2.** Болдырева О.Н., Звягинцева А.В. Регулирование технологического риска посредством оптимизации программы технического обслуживания оборудования /Вестник ВГТУ. - Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2009. - Т. 5. - №12. - С. 76-78. **3.** Артемьев А.С., Звягинцева А.В. Возможности геоинформационного моделирования при прогнозировании распространения загрязняющих веществ промышленных выбросов объектов техносферы в окружающей среде / Вестник ВГТУ, 2011. - Т.7. - №11.1. - С. 106-110.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ – ГЛАВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: СИСТЕМ ГАЗОГЕНЕРАЦИИ

**Клестер С.В., Звягинцева А.В.**

*(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)*

***Аннотация.*** *Рассмотрены процессы утилизации отходов сельхозпроизводства и лесоперерабатывающей промышленности. Показано, что используя методы переработки отходов можно получить топливо, используемое для процессов*

*газификации в генераторах обращенного типа. При организации полной переработки отходов создается система с завершенным циклом переработки отходов производства. Представлена схема разработанной газогенерирующей установки по преобразованию теплоты в электричество при использовании биологического топлива. Преимущества прилагаемого технического решения: это собственная биоэнергетическая станция, подходящая климатическим условиям РФ; в процессе газификации образуется 3 компонента генераторного газа $H_2$ $CH_4$ и CO, которые идут на питание газового дизеля. В отличие от стандартного решения, для конструкции фурменного пояса предлагается в качестве материала узла использовать металлокерамику на основе глиноземов-огнеупоров в состав, которого входят ферменты катализаторов инициирующих процесс образования водорода в результате этого повышается не только теплотворная способность газа, но и снижается выброс вредных компонентов в атмосферу – улучшается экология процесса*

Отходы целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей промышленности, сельского хозяйства представляют значительные объемы в производстве и, как правило, их утилизация производится способом полигонного сжигания. Данный способ утилизации отходов не соответствует рациональному природопользованию и эффективному энергосбережению, а также нормативам на лимиты выбросов, сбросов и захоронения отходов. При сжигании выделяется CO и продукты разложения смолистых соединений (диоксины и другие вредные компоненты). Другой способ утилизации - захоронение в структуре почвы, где процессы гниения тоже значительно ухудшают гумусную структуру земли. Полное разложение требует длительного времени. Продукты разложения повышают кислотность почвы.

Обзор литературных источников показывает большой интерес во многих странах мира по преобразованию отходов сельскохозяйственного производства в биотопливо для дальнейшего получения электрической энергии [1-3] и других работах. В качестве примера такой технологии рассмотрим процесс генерации тепловой и электрической энергии из отходов деревообработки и очистных сооружений пищевых производств, представленные рис. 1.

Основным элементом преобразователя является теплогенератор, питание топливом которого осуществляется от газогенератора. На рис. 2 показано размещение отдельных агрегатов энергоустановки с целью обеспечения режима максимального сбережения. Такая компоновка позволит исключить из системы отопления циркуляционные насосы, так как циркуляция воды в радиаторах осуществляется за счет конвективного переноса. В основе способа газогенерации твердого топлива лежит принцип термического разложения твердого топлива при дефиците окислителя (частично анаэробный). В камере переработки топлива создается небольшое разряжение по отношению к атмосфере, что исключает утечку газов в окружающую среду.

В [2] приведены технологические схемы производства биотоплив трех поколений, использующие в качестве источника углерода природный растительный материал, отходы различных производств, а также биомассу водных организмов. На основе краткого обзора литературы можно сделать вывод биологические отходы любой отрасли народного хозяйства являются высококалорийным топливом и могут быть использованы для получения исходного сырья в энергетических установках. В Российской Федерации проблема переработки отходов стоит очень остро. В таблице

показаны объёмы отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности, а на рис. 3 – индивидуальные биогазовые установки, рассчитанные на небольшие фермерские хозяйства, нижний предел количества сырья которых не ограничен, приведены на рис. 3, взяты за аналог для последующей разработки. Данная система является малоэффективной. Цель работы: разработка систем утилизации отходов сельскохозяйственного производства с целью получения тепловой и электрической энергии, а в дальнейшем также продукции сельскохозяйственного назначения.

Пути реализации:

- Исследование КПД газогенератора.

-Разработка получения тепло и электроэнергии при помощи газогенератора и сельскохозяйственных отходов.

- Проведение промышленных испытаний.

Научная концепция:

- Проект направлен на разработку способа получения энергии при утилизации сельскохозяйственных отходов.

- Исследование биогазовой установки и проведение аналога на данные климатические условия с намерением получения большей выгоды из процесса переработки сельскохозяйственных отходов.

Таблица 1. - Объёмы сельскохозяйственных отходов

| Тип производства | Объемы отходов |
|---|---|
| свинокомплексы, имеющие отходы | от поголовья более 70000 голов |
| птицефабрики, имеющие отходы | от поголовья более 1000000 голов |
| комплексы КРС, имеющие отходы | от поголовья более 8000 голов |
| предприятия, имеющие зерновые отходы | более 30 т ежесуточно |
| спиртовые заводы, имеющие отходы | более 130 т ежесуточно |
| предприятия по очистке сточных вод, имеющие отходы | более 150 т ежесуточно |
| мясоперерабатывающие предприятия, имеющие отходы бойни | более 80 т ежесуточно |
| пивоваренные заводы, имеющие отходы | более 150 т ежесуточно |
| сахарные заводы, имеющие отходы | более 220 т ежесуточ |

Аппараты данного типа полностью исключают механизмы наддува воздуха. Это выгодно их отличает от аппаратов других существующих систем. В генераторы обращенного типа разложение и термическая трансформация топлива происходит по схеме:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2;\ CO_2 + C \rightarrow 2CO.$$

Углекислый газ в зоне фурменного пояса при взаимодействии с углеродом восстанавливается до CO по схеме:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 408 \text{ кДж/моль.}$$

$$C + 1/2O_2 \rightarrow CO + 123{,}2 \text{ кДж/моль.}$$

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + 42{,}8 \text{ кДж/моль.}$$

$$C + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 - 136{,}3 \text{ кДж/моль.}$$

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO + 161{,}5 \text{ кДж/моль.}$$

Рис. 1. Операционно-технологическая схема производства тепловой и электрической энергии из отходов

Предлагаемая схема системы по переработке отходов представлена на рис. 4. Составные части разрабатываемого комплекса: 1 - склад отходов; 1.1 - приемный бункер; 1.2 - фасовочный участок; 2 - участок брикетирования; 2.2 – смеситель; 2.3 - шнековый пресс; 2.1 корректировка топлива по лизингу; 3 - газовый генератор; 3.1 - приемный бункер газогенератора; 3.2 - фурменный пояс; 3.3 - зольник; 4 - газовый дизель; 4.1 - блок регулирования числа оборотов; 4.2 - система охлаждения; 4.3 - ресивер топливного газа; 4.4 - система утилизации дымовых газов; 5 – электрогенератор; 5.1 - пульт управления; 5.2 - система распределения к потребителям; 6 – ферментер; 6.1 - система регулирования температуры; 6.2 - система корректировки минеральных компонентов; 6.3 - система управления перемешиванием биомассы; 7 - смеситель удобрений; 8 - шнековый пресс; 9 - бункер гранулированного удобрения. Кратко цепь превращения: приемный бункер-смеситель-ферментер-пресс-газогенератор.

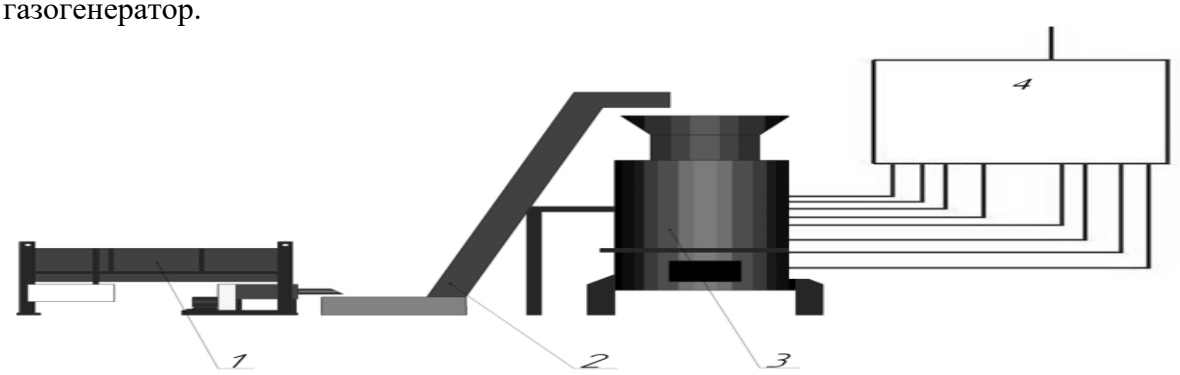



Рис. 2. Общий вид газогенератора с пультом управления и автоматики. Состав основных элементов газогенераторного блока: 1) приемный бункер твердого топлива; 2) питатель; 3) газогенератор; 4) распределительный щит питания и автоматики

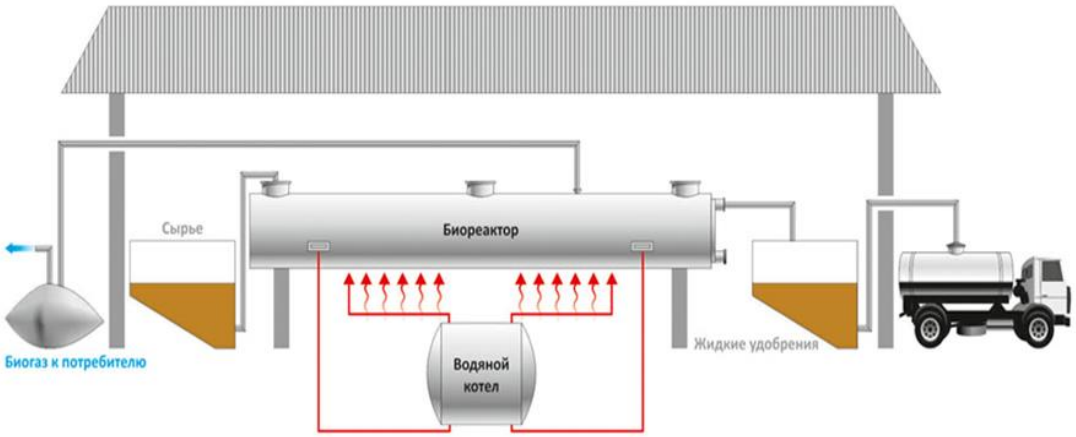



Рис. 3. Аналог - Индивидуальные биогазовые установки для фермерского хозяйства:

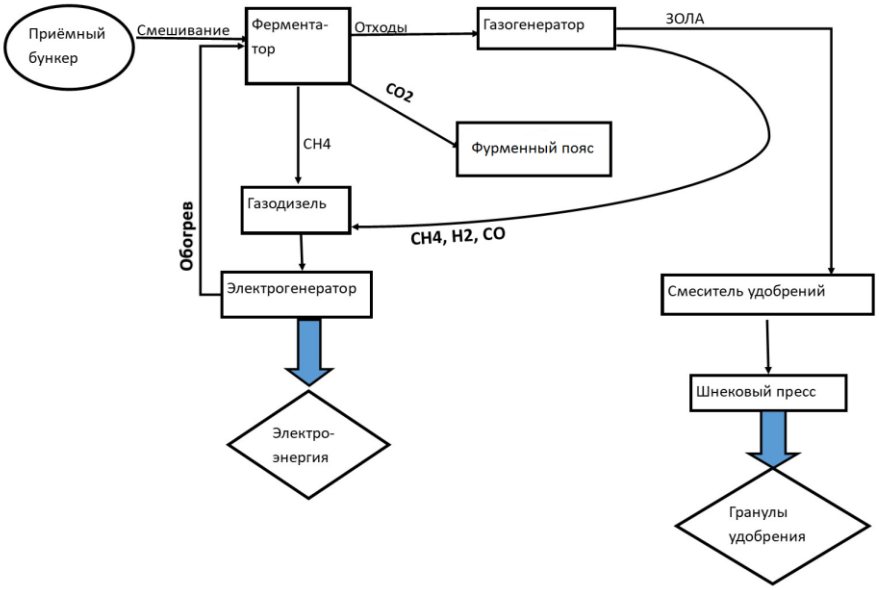



Рис. 4. Предлагаемая схема системы по переработке: отходы - биотопливо – энергия

Ограничимся описанием лишь основных энергопреобразующих узлов и элементов схемы. Шнековый пресс: основное назначение – формирование топливных брикетов на основе отходов лесопереработки смешивают с отходами очистных сооружений мясокомбинатов, содержащие остатки жиров, белка, крови. Топливные брикеты, полученные по этой технологии имеют следующие преимущества в сравнении с полученными из прессованных отходов: 1. Имеют большую теплотворную способность. 2. Не подвержены деструкции. 3. Допускают хранение на открытом воздухе в интервале температур -50 +80 $^{0}$С. 4. Исключают возможность самовозгорания. Внешний вид образца (фото) приведен на рис. 2. Одним из основных элементов энергоустановки является генератор газа обращенного типа. Использование такого генератора позволяет не только повысить эффективность работы энергоустановки, но и значительно снизить выбросы в атмосферу углекислого газа за

счет его восстановления до CO в зоне фурменного пояса по схеме $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ (топливо). Реализация этого процесса определяет достаточно высокий коэффициент полезного действия для тепловых машин (~40-45 % в зависимости от режима работы и вида топлива). Однако при включении в состав газогенераторный системы преобразователей энергии пришлось разработать систему управления режимами регулирования интенсивности тепловых потоков.

Рис. 5. Фото образца твердого топлива для газификации в генераторе обращенного типа

Преимущества прилагаемого технического решения:

- Собственная биоэнергетическая станция, подходящая климатическим условиям РФ.
- В процессе газификации образуется 3 компонента генераторного газа $H_2$ $CH_4$ и CO, которые идут на питание газового дизеля. В отличие от стандартного решения, для конструкции фурменного пояса предлагается в качестве материала узла использовать металлокерамику на основе глиноземов-огнеупоров в состав, которого входят ферменты катализаторов инициирующих процесс образования водорода в результате этого повышается не только теплотворная способность газа, но и снижается выброс вредных компонентов в атмосферу – улучшается экология процесса, анализ техногенного загрязнения приведен в работе [4].
- Биоудобрения. При использовании удобрений, полученных на газовых установках, урожайность может быть повышена на 30-50 %. Обычный навоз, барда или другие отходы нельзя эффективно использовать в качестве удобрения 3-5 лет. Предлагается использование газовой установки по принципу ферментации основанной на переработке биологических отходов методом бактериологической обработки. Рабочая среда (бактерии-термофилы) работают при температуре биомассы 50-51 $^0$C. При работе термофилов полностью уничтожается фитофторная среда (семена сорняков) и таким образом в образующихся удобрениях отсутствует возможность прорастания сорняков. Органоминеральное удобрение имеет ресурс действия 6-8 лет в отличие от минеральных удобрений, ресурс которых составляет полгода. Кроме того удобрения такого типа восстанавливают гумусный слой почвы и в этом случае почва лучше удерживает влагу.
- Электроэнергия. Установив газовую установку, предприятие будет иметь свою электроэнергию, а значит, существенное снижение себестоимости продукции, что в свою очередь позволит последнему получить дополнительные конкурентные преимущества.
- Тепло от газогенератора идет на подогрев ферментера.

В результате создаются технологические процессы с целенаправленным управлением экологической безопасностью производства [5, 6]. Соответственно в работе [5] рассмотрены вопросы регулирования технологического риска посредством оптимизации программы технического обслуживания оборудования, а в работе [6]

предложена стратегия целенаправленного управления экологической безопасностью производства.

Технический результат: Создание системы по выгодной экологичной переработке сельскохозяйственных отходов с получением энергии. Синтез топливного брикета на основе конкретного сырья. На примере свинокомплекса ООО «АПК Агроэко» в селе Верхняя Тишанка рассчитанном на 18000 голов получаем приблизительный расчет. Средний общий объём сырья: 76.5 т/сут. Общий объем получаемого биогаза: 4968 $м^3$/сут. Эквивалент возможной вырабатываемой эл. энергии, до 497 кВт/час. Дополнительно вырабатываемая тепловая энергии, до 580 кВт/час.

**Список литературы. 1.** Горбунова Н.А., Бабурина М.И., Иванкин А.Н. Основные направления в производстве и потреблении биотоплива в мире и перспективы переработки жиросодержащего сырья и отходов мясной промышленности в биодизель / Все о мясе. – М.: Изд-во «ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН», 2008. - №1. С. 10-16. **2.** Варехов А.Г. Использование возобновляемого энергетического сырья и развитие биотопливных технологий /Технико-технологические проблемы сервиса. – 2014. - №2(28). - С. 46-51. **3.** Johansson B. Biomass in Sweden – Historic Development and Future Potential under new Policy Regimes. /Environmental and Energy Systems Studies, Lund Univ., 2004. - Box 117, 221 00 LUND. - Period 2004/05/10 → 2004/05/15. **4.** Звягинцева А.В., Федянин В.И., Чекашов К.В. Анализ техногенного загрязнения природной среды / Технология гражданской безопасности. Научно-технический вестник МЧС России. - Москва, 2006. - № 2(8). - С. 96-98. **5.** Болдырева О.Н., Звягинцева А.В. Регулирование технологического риска посредством оптимизации программы технического обслуживания оборудования /Вестник ВГТУ. - Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2009. - Т. 5. - №12. - С. 76-78. **6.** Звягинцева А.В., Болдырева О.Н., Усов Ю.И. Целенаправленное управление экологической безопасностью производств / Вестник ВГТУ «Системы и средства безопасности в чрезвычайных ситуациях». Выпуск 10.1. – Воронеж, 2004. – С.

## НАХОЖДЕНИЕ ВЫСОТЫ МАКРОНЕРОВНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ЗУБЬЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДАМИ ОГИБАНИЯ

**Бабичев Д.Т., Бабичев Д.А., Лебедев С.Ю.** (ТИУ, г. Тюмень, Россия)
*Тел./Факс:* +7 (3452) 283660; *Тел. 8 9199 26 88 06; E-mail:* babichevdt@rambler.ru

***Abstract:*** *In the article three types of surfaces on the gear tooth are considered: slick (envelope); band with combs; with pyramidal asperities and combs connecting them. A method is described for finding the height of combs and pyramids above the envelope, based on the concepts of velocity and acceleration of the penetration. Just as the "velocity of penetration" allowed the author of this velocity, VA Shishkov, by 1950 to create a method of relative positions, in which "the chip thicknesses are determined ... without knowing the cutting surfaces themselves". Computer simulations have been carried out and the height dependences of the combs and the pyramids on the treatment parameters of the gears were found.*

***Key words:*** *gear cutting, profile form deviation, undulation.*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На зубчатых колёсах встречается три вида поверхностей, формируемых методами огибания: гладкие, ленточные и чешуйчатые.

*Гладкая поверхность* не имеет изломов, т.е. на ней отсутствуют следы обработки в виде макронеровностей (органической шероховатости). Гладкая поверхность – огибающая $\Sigma_2$ однопараметрического семейства производящих поверхностей $\Sigma_1$, если $\Sigma_1$, т.е. исходная инструментальная поверхность (ИИП), является реальной поверхностью. Пример – накатка зубьев на колесах.

*Ленточная поверхность* имеет изломы в виде полос (гребешков), в общем случае, переменной ширины и высоты (рис. 1). Ленточную поверхность получают:

- ✓ При обработке по методу двухпараметрического огибания, когда ИИП есть реальная поверхность. Примеры: **1**. Шлифование эвольвентных колес коническими и плоскими кругами (ленточки идут вдоль линии зуба). **2.** Шлифование колес червячным абразивом, имеющим в осевом сечении профиль, близкий к профилю колеса в нормальном сечении (ленточки идут по направлению обката – вдоль профиля зуба).
- ✓ При обработке по методу однопараметрического огибания, когда ИИП есть след режущей кромки. Пример – зубодолбление цилиндрических колес (ленточки располагаются вдоль линии зуба).

На рис. 1 изображен зуб косозубого эвольвентного колеса, прошлифованного плоским кругом. У прямозубого эвольвентного колеса боковая поверхность зуба будет множеством плоскостей, касающихся расчетной эвольвентной поверхности по всей длине плоской полоски. При этом все соседние плоские полоски пересекаются по прямым, образуя на поверхности зуба изломы. Величина угла излома $\Delta\alpha$ при числе зубьев z=18 и числе ходов круга на обработку одного одной впадины $k_X$ =10, равно $\Delta\alpha=2^0$.

*Чешуйчатая поверхность* состоит, в общем случае, из лунок: параллелограммных (вверху на рис. 2) или шестиугольных (снизу на рис. 2). Центральные точки лунок касаются расчетной поверхности зуба. Чешуйчатые поверхности систематизировал впервые Б.К. Шунаев [1], исследуя диагональное зубофрезерование червячными модульными фрезами крупномодульных цилиндрических колёс.

Гладкие поверхности зубьев называют *огибающими*, а негладкие (и ленточные и чешуйчатые) названы Г.И. Шевелёвой в [2, с.144] *обволакивающими* (рис. 3).

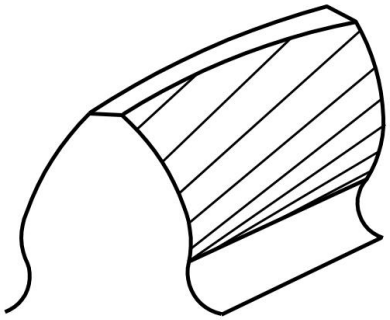


*Рис. 1.* Ленточная поверхность зуба

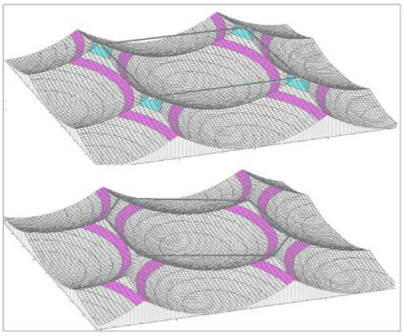


*Рис. 2.* Чешуйчатые поверхности зубьев

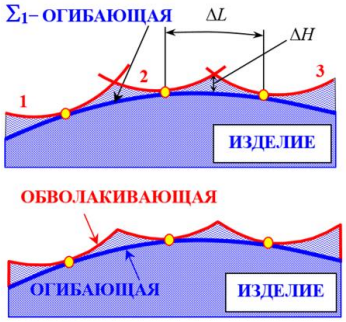



*Рис. 3.* Огибающая и обволакивающая

Ленточная поверхность представляет собой множество кусков поверхностей, каждая из которых касается огибающей $\Sigma_2$ по линии. Чешуйчатая поверхность

отличается от ленточной тем, что каждая из её лунок касается огибающей $\Sigma_2$ в точке. И всегда обволакивающая возвышается над огибающей. Нахождение этого возвышения – $\Delta H$ на рис. 3 – для конкретных видов зубообработки считается достаточно сложной задачей.

Для её решения обычно находят, как саму огибающую, так и точки на линиях пресечения сложных поверхностей соседних ленточек или лунок. В статье используется иная методология нахождения максимальных значений макронеровностей $\Delta H_{max}$:

- ✓ $\Delta H_{max}$ вычисляется одновременно с компьютерным нахождением огибающей.
- ✓ При вычислениях $\Delta H_{max}$ используются достаточно простые формулы, полученные на основе исследования формы и размеров ленточек, лунок и гребешков. Такое исследование и формулы представлены в настоящей статье.
- ✓ При исследовании используется кинематический метод нахождения поверхностей и линий, формируемых способом огибания, разработанный в [3-5], и отличающийся от всех известных методов, применяемых в классической теории зацеплений.

Этот кинематический метод основан на использовании понятий: «скорость внедрения» $V_N$ (предложена В.А. Шишковым [6]) и «ускорение внедрения» $a_N$ [3-4]. Особенности метода: 1) точки на сопряженной поверхности $\Sigma_2$ находят по простым формулам кинематики точки – без решения уравнения зацепления; 2) для вычисления координат точки на поверхности $\Sigma_2$ нужно знать только: координаты $x$, $y$, $z$ точки на производящей поверхности $\Sigma_1$; проекции орта нормали $n_x$, $n_y$, $n_z$ к $\Sigma_1$, а также скорость $V_N$ и ускорение $a_N$ внедрения в этой точке. Метод, являясь приближенным, эффективен при нахождении точек на огибающей поверхности, когда найдены точки на обволакивающей. Пример его использования, с оценкой точности вычислений, рассмотрен в [4]. В [5] метод усовершенствован: впервые был использован еще один новый геометро-кинематический показатель движения поверхности в точке пространства – производная от ускорения внедрения $a_N$, т.е. вторая производная от скорости внедрения $V_N$. Это позволило повысить точность метода на 2-3 порядка.

Опишем кратко понятия «скорость и ускорение внедрения», на которых основан кинематический метод, разработанный в [3].

## 2. СКОРОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ

Скорость внедрения $V_N$ есть проекция вектора относительной скорости $\mathbf{V}_{12}$ на нормаль $\mathbf{N}$ к исходной инструментальной поверхности (ИИП). Находят $V_N$ [6], как скалярное произведение $\mathbf{V}_{12}$ на орт нормали $\mathbf{n}$ к ИИП, *направленный из тела ИИП*:

$$V_N = \mathbf{V}_{12} \cdot \mathbf{n} = V_{12x} \cdot n_x + V_{12y} \cdot n_y + V_{12z} \cdot n_z \qquad (1)$$

При $V_N > 0$ – ИИП внедряется в объем заготовки; при $V_N < 0$ – ИИП удаляется от формируемой поверхности, и инструмент в этой точке *отходит* от обрабатываемой детали; при $V_N = 0$ – ИИП скользит по формируемой поверхности. Там, где $V_N = 0$, инструмент формирует огибающую на изделии (в точках касания обволакивающей с огибающей).

## 3. УСКОРЕНИЕ ВНЕДРЕНИЯ

Ускорение внедрения $a_N$ – ускорение, с которым ИИП внедряется в объём того тела, на котором ИИП формирует поверхность, т.е. $a_N$ – производная по времени от скорости внедрения $V_N$. Скорость $V_N$ и ускорение $a_N$ внедрения есть *скалярные величины*: если $V_N > 0$ – ИИП приближается в данной точке к формируемой поверхности;

при $V_N$ <0 – ИИП удаляется от формируемой поверхности; при $a_N$>0 – скорость внедрения $V_N$ растет. Дифференцируя (1) по времени $t$, получаем:

$$a_N = \frac{dV_N}{dt} = \frac{d}{dt}(\mathbf{V}_{12} \cdot \mathbf{n}) = \mathbf{a}_{12} \cdot \mathbf{n} + \mathbf{V}_{12} \cdot \dot{\mathbf{n}} \qquad (2)$$

где $\mathbf{a}_{12}$ – относительное ускорение точки, скользящей по ИИП со скоростью “$-\mathbf{V}_{12}$”.

Получение из (2) расчетных уравнений для нахождения $a_N$ громоздко, поэтому приведем готовые формулы для обобщенного зацепления, показанного на рис. 4. В нем оба звена, образующих зацепление, совершают винтовые движения около своих осей, а сами оси участвуют в винтовом движении вокруг межосевого перпендикуляра. На характер движения звеньев не накладывается никаких ограничений: параметры движения ($\omega_1$, $\omega_2$, $\omega_3$, $V_1$, $V_2$, и $V_3$,) могут быть переменными и постоянными во времени, положительными, отрицательными или равными нулю. Все эти параметры считаем функцией одного или двух независимых параметров движения ($t_1$, $t_2$), что будет соответствовать одно- или двух-параметрическому движению (огибанию). ИИП находится на звене 1, формируемая поверхность – на звене 2; неподвижная система координат – $X_hY_hZ_h$. В эту систему движений и координат можно вписать любое технологическое зацепление.

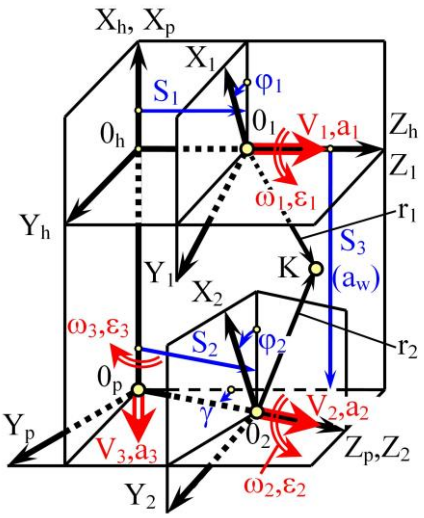



Рис. 4. Обобщенное зацепление

Формулы для вычисления ускорения внедрения $a_N$ для обобщенного зацепления по рис.4:

- Вектор относительной угловой скорости $\boldsymbol{\omega}_{12}$ в системе координат $X_hY_hZ_h$:

$$\boldsymbol{\omega}_{12}^{(h)} = \{\omega_3 \cdot \mathbf{i}, -\omega_2 \cdot \sin\gamma \cdot \mathbf{j}, (\omega_1 - \omega_2 \cdot \cos\gamma) \cdot \mathbf{k}\} \qquad (3)$$

- Вектор относительной линейной скорости $\mathbf{V}_{12}$ в системе координат $X_hY_hZ_h$:

$$\left.\begin{aligned} V_{12x}^{(h)} &= V_3 - \omega_1 \cdot y_h + \omega_2 \cdot y_p; \\ V_{12y}^{(h)} &= -V_2 \cdot \sin\gamma + \omega_1 \cdot x_h - \omega_2 \cdot x_p \cdot \cos\gamma - \omega_3 \cdot z_h; \\ V_{12z}^{(h)} &= V_1 - V_2 \cdot \cos\gamma + \omega_2 \cdot x_p \cdot \sin\gamma + \omega_3 \cdot y_h. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

- Вектор относительного ускорения $\mathbf{a}_{12}$:

$$\left.\begin{aligned} \mathbf{a}_{12} = \; & [(\mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_3) + (\boldsymbol{\varepsilon}_1 - \boldsymbol{\varepsilon}_2 - \boldsymbol{\varepsilon}_3) \times \mathbf{r}_1 + \boldsymbol{\varepsilon}_2 \times \mathbf{S}_3 - (\boldsymbol{\varepsilon}_2 + \boldsymbol{\varepsilon}_3) \times \mathbf{S}_1] + \\ & + [\boldsymbol{\omega}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_1) - \boldsymbol{\omega}_3 \times (\boldsymbol{\omega}_2 \times \mathbf{S}_2) - (\boldsymbol{\omega}_2 + \boldsymbol{\omega}_3) \times ((\boldsymbol{\omega}_2 + \boldsymbol{\omega}_3) \times \mathbf{r}_2)] - \\ & - [2 \cdot (\boldsymbol{\omega}_3 \times \mathbf{V}_2) - (\boldsymbol{\omega}_3 \times \boldsymbol{\omega}_2) \times \mathbf{r}_2] - 2 \cdot (\boldsymbol{\omega}_2 + \boldsymbol{\omega}_3) \times \mathbf{V}_{12} - \boldsymbol{\omega}_{12} \times \mathbf{V}_{12} \end{aligned}\right\} \qquad (5a)$$

Для цилиндрической, конической и червячной передач, убрав в (5а) нулевые слагаемые, получим:

$$\mathbf{a}_{12} = \boldsymbol{\omega}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_1) - \boldsymbol{\omega}_2 \times (\boldsymbol{\omega}_2 \times \mathbf{r}_2) + (\boldsymbol{\omega}_1 - \boldsymbol{\omega}_2) \times \mathbf{V}_{12} \qquad (5b)$$

- Ускорение внедрения $a_N$:

$$a_N = \mathbf{a}_{12} \cdot \mathbf{n} + \mathbf{V}_{12} \cdot \dot{\mathbf{n}} = \mathbf{a}_{12} \cdot \mathbf{n} + \mathbf{V}_{12} \cdot \mathbf{c} \cdot \omega_K + \mathbf{V}_{12} \cdot (\mathbf{c} \times \mathbf{n}) \cdot \omega_K^{\perp} \qquad (6)$$

где $\omega_K$ – угловая скорость качения производящей поверхности по формируемой в направлении, задаваемом вектором **c**; $\omega_K^{\perp}$ – угловая скорость качения производящей поверхности по формируемой в плоскости перпендикулярной вектору **c**. Эти

величины находим по формулам:

$$\omega_K = (\mathbf{n}\times\mathbf{c})\cdot\boldsymbol{\omega}_{12} + \frac{\mathbf{V}_{12}\cdot\mathbf{c}}{R_R^1} + \frac{\mathbf{V}_{12}\cdot(\mathbf{n}\times\mathbf{c})}{R_K^1} \quad (7a) \qquad \omega_K^{\perp} = \mathbf{c}\cdot\boldsymbol{\omega}_{12} + \frac{\mathbf{V}_{12}\cdot(\mathbf{n}\times\mathbf{c})}{R_R^2} - \frac{\mathbf{V}_{12}\cdot\mathbf{c}}{R_K^1} \quad (7b)$$

Здесь **c** – орт касательной, задающий направление нормального сечения. $R_R^1$ и $R_R^{1\perp}$ – радиусы кривизны нормальных сечений ИИП в сечениях, соответственно, вдоль касательной **c** и в плоскости, перпендикулярной орту **c** (при $R_R>0$ – тело выпукло). $R_K$ – радиус геодезического кручения линии на поверхности вдоль касательной **c** (при $R_K>0$ – винт левый).

Все три составляющие в формулах (7) есть вращения <u>в плоскости нормального сечения</u>. Первое слагаемое в (7a) – проекция вектора относительной угловой скорости $\boldsymbol{\omega}_{12} = \boldsymbol{\omega}_1 - \boldsymbol{\omega}_2$ на нормаль к секущей плоскости, т.е. вращение нормали, обусловленное относительным вращением звеньев. Второе слагаемое в (7a) учитывает вращение нормали к поверхности, возникающее при скольжении тел *в плоскости нормального сечения* из-за кривизны поверхности в этом сечении. Третье слагаемое в (7a) учитывает вращение нормали к поверхности, возникающее из-за скольжения тел *в направлении перпендикулярном плоскости нормального сечения* и обусловленное геодезическим кручением линии на поверхности.

## 4. ВЫСОТА МАКРОНЕРОВНОСТЕЙ

Формулы для вычисления высоты $\Delta H$ “гребешков” над огибающей поверхностью (см. рис. 2) были получены в [3]. Здесь их приводим без вывода и доказательства.

**4.1. Высота $\Delta H$ при однопараметрическом огибании.** Различаем два случая:

*Случай 1* – Огибание исходной инструментальной поверхностью (ИИП) – реальной при зубошлифовании и хонинговании или в виде следа, оставляемого режущей кромкой (нарезание цилиндрических колес долбяками, строгание зубьев конических колес резцами и др). Направление полосок и гребешков на изделии *вдоль линии зуба*.

*Случай 2* – Огибание исходной инструментальной поверхностью, которую описывает фасонная режущая кромка при обработке по методу копирования (обработка дисковыми и пальцевыми модульными фрезами, а также резцовыми головками). При этом, направление полосок и гребешков на изделии *вдоль профиля зуба*.

В обоих случаях высота $\Delta H$ «гребешков» над огибающей поверхностью можно вычислять по одной формуле:

$$\Delta H = -0{,}125\cdot a_N\cdot\Delta t^2 \quad (8)$$

Здесь: $a_N$ – ускорение внедрения *от движения обката*, вычисленное в точке касания инструмента (его ИИП) с формируемой поверхностью; $\Delta t$ – время между моментами формирования двух соседних ленточек, которое находится по одной из формул:

$$\Delta t = \frac{2\cdot\pi}{\omega_0\cdot z_0\cdot k_X} = \frac{2\cdot\pi}{\omega_1\cdot z_1\cdot k_X} = \frac{2\cdot\pi}{\omega_0\cdot z_0\cdot k_Z} \quad (9)$$

где $\omega_0$, $\omega_1$ – угловые скорости, соответственно, инструмента и изделия, при которых вычислено ускорение внедрения $a_N$; $z_0$, $z_1$ – числа зубьев долбяка и изделия; $k_X$ – число ходов долбяка или гребенки, приходящиеся на обработку одного зуба; $k_Z$ – число стружечных канавок модульной фрезы или число резцов в резцовой головке.

**4.2. Высота $\Delta H$ при двухпараметрическом огибании.** Такое огибание имеет место, например, при нарезании цилиндрических колес червячными модульными фрезами.

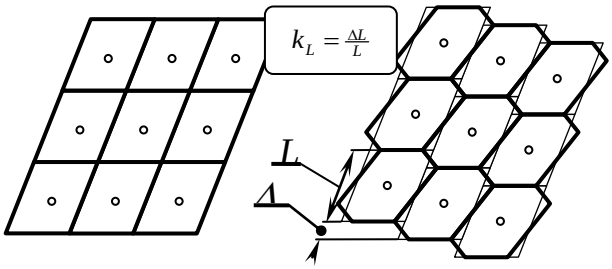



Рис. 6. Форма лунок: параллелограмные (при $\Delta L = 0$) и шестиугольные (при $\Delta L \neq 0$)

Форма лунок при этом может быть параллелограммной (и её частным случаем – прямоугольной) или шестиугольной. Параллелограммную форму лунки имеют лишь тогда, когда лунки образуют *продольные и поперечные ряды,* расположенные *точно вдоль движения обката и вдоль движения подачи* соответственно – см. рис. 5 и 6. Если хотя бы одно из этих условий не выполняется – лунки будут шестиугольные (рис. 6).

При параллелограммных лунках (в проекции на касательную плоскость) форма и ***высоты возвышений во всех четырех углах лунки одинаковы,*** и вершины имеют вид четырехгранных пирамид (рис. 5 и 6). Лунки и пирамидки, в общем случае, «косоугольные», т.е. угол $\theta \neq 90^\circ$ (см. рис. 5). Высоту четырехгранных «пирамидок» над огибающей поверхностью – наибольшую величину огранки – находим, как сумму двух высот ($\Delta=\Delta_1+\Delta_2$ на рис. 5), вызванных, соответственно, движениями обката и подачи:

$$\Delta H_{MAX} = -0{,}125 \cdot (a_{NV} \cdot \Delta t_V^{\ 2} + a_{NS} \cdot \Delta t_S^{\ 2}) \quad (10)$$

Здесь $a_{NV}$, $a_{NS}$ – ускорения внедрения, соответственно, от движения обката и от подачи; $\Delta t_V$ – время, через которое формируется соседняя *по движению обката* лунка; $\Delta t_S$ – время, через которое будет обрабатываться соседняя лунка, расположенная *в направлении подачи.* Время $\Delta t_V$ и $\Delta t_S$ вычисляются по формулам:

$$\Delta t_V = \frac{60}{n_0 \cdot z_{0k}}; \qquad \Delta t_S = \frac{60}{n_1 \cdot z_0} \qquad (11)$$

В них: $n_0$, $n_1$ – числа оборотов в минуту инструмента и заготовки, при которых вычислены ускорения внедрения; $z_0$,$z_{0k}$ – число заходов и стружечных канавок фрезы.

При шестиугольных лунках (в проекции на касательную плоскость) форма шестиугольника может существенно изменяться в зависимости от коэффициента $k_L$ – отношения смещения $\Delta L$ лунок в соседних рядах вдоль ряда к расстоянию $L$ между лунками в ряду (рис. 5 справа). Пирамидки при шестиугольных лунках трехгранные, что видно и на рисунках 5 и 6: во всех углах шестиугольников сходится по три поверхности, а не по четыре, как в параллелограммных лунках.

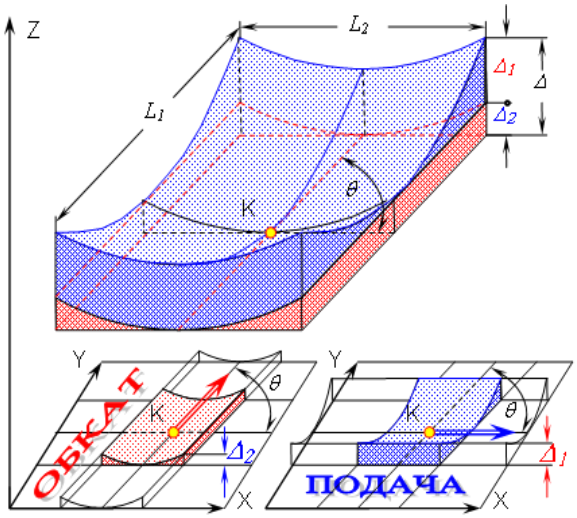



Рис. 5. Параллелограмная лунка при двухпараметрическом огибании

Было установлено аналитически и подтверждено численными расчетами в [3], что при шестиугольных лунках, получаемых при зубообработке по методу двух движений: обкати и подачи, *всегда высоты всех шести вершин одинаковы и составляют 75% – 100% от* $\Delta_{MAX}$,

*вычисленного по формуле* (10). Доказано также, что высота макронеровностей $\Delta$ зависит лишь от пяти параметров: $\Delta t_V$ и $\Delta t_S$ – времени между формированием соседних лунок в ряду и в двух соседних рядах; $a_{NV}$, $a_{NS}$ – ускорения внедрения от движений обката и подачи; $k_L$ – коэффициента смещения лунок в соседних рядах. И более ни от чего: ни от соотношения расстояний между соседними лунками в двух направлениях; ни от угла $\theta$ между движениями обката и подачи, ни от расположения режущей кромки на производящей поверхности.

Была также для всех видов лунок получена такая формула для вычисления высоты пирамидок $\Delta H$ – т.е. наибольшей величины огранки:

$$K_Z = 1 - \frac{k_{HL}}{1 + k_H} \cdot (2 - k_{HL}); \qquad \Delta H = K_Z \cdot \Delta H_{MAX} \tag{12}$$

где $\Delta H_{\text{MAX}}$ рассчитывается по формуле (10), и

$$k_H = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{a_{NV} \cdot \Delta t_V^2}{a_{NS} \cdot \Delta t_S^2}; \qquad k_{HL} = k_H \cdot k_L \cdot (1 - k_L) \tag{13}$$

Формулы (12-13) можно применять при $0 \le k_H \le 4$ и при $0 \le k_L \le 1$.

Отношение $\Delta H$ к $\Delta H_{MAX}$, обозначенное через $K_Z$, назовем коэффициентом уменьшения высоты макронеровностей.

Все соседние лунки при исследовании формы чешуйчатых поверхностей (прямоугольные, параллелограммные и шестиугольные) считаем симметричными и одинаковыми, хотя это имеет место лишь при одинаковых значениях ускорения $a_N$ во всех точках формируемой поверхности. «Центральная» точка К каждой лунки находится на поверхности, являющейся огибающей семейства производящих.

## 5. ФОРМА ЛУНОК И ВЫСОТА ПИРАМИДОК ПРИ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ОГИБАНИИ

Основываясь на формулах (1) – (13) и используя формулы преобразования координат точек и проекций векторов для обобщенного зацепления, показанного на рис. 4, разработали алгоритмы и компьютерные программы, по которым провели исследование того, как параметры зубообработки влияют на величину и вид макронеровностей.

**5.1. Форма шестиугольных лунок**. На рис. 7 и 8 показано, как происходит их трансформация в зависимости от двух важных параметров зубообработки: от угла $\theta$ между направлениями движения обката и подачи (рис. 5), а также от коэффициента $k_L = \frac{\Delta L}{L}$, характеризующего величину смещения $\Delta L$ лунок в соседних рядах вдоль направления обката (рис. 6). На рисунках 7 и 8 представлены результаты для соотношения размеров лунок: $L_1$ (в направлении обката) и $L_2$ (вдоль подачи) – см. рис. 5 – равном $k_S = \frac{L_1}{L_2}$=2. При этом интервал изменения коэффициента смещения $k_L = \frac{\Delta L}{L}$, взят от 0 до 0.5, т.к. при изменении $k_L$ от 0.5 до 1.0 лунка из симметричной шестиугольной вновь превращается в параллелограммную. Брать $k_L$ больше 1.0 также не имеет смысла, т.к. геометрия соседних лунок не изменится, а рядом с текущей лункой окажется лунка, формируемая не этой режущей кромкой фрезы, а одной из последующих. На рис. 7 результаты для угла $\theta$=90$^0$ (см. рис. 5); на рис.8 – для угла $\theta$=70$^0$ (лунки и пирамидки “косоугольные”).

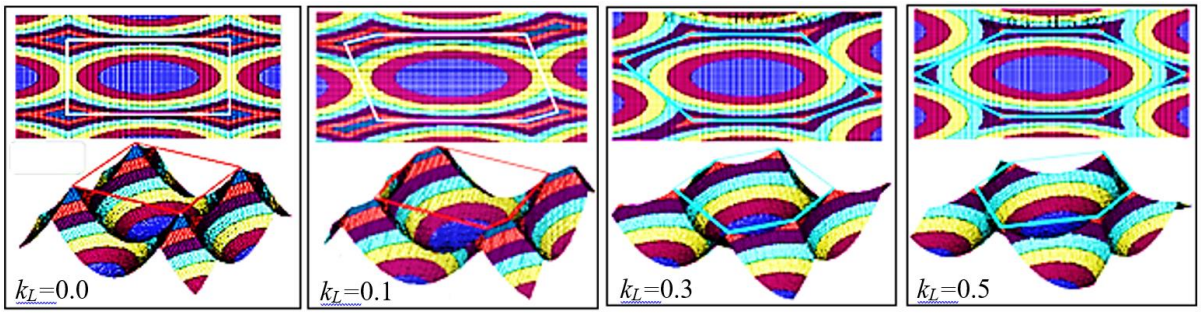



*Рис. 7.* Трансформация прямоугольной лунки в шестиугольную при изменении $k_L$:
верхний ряд – проекция на касательную плоскость в центре лунки; нижний ряд – аксонометрия

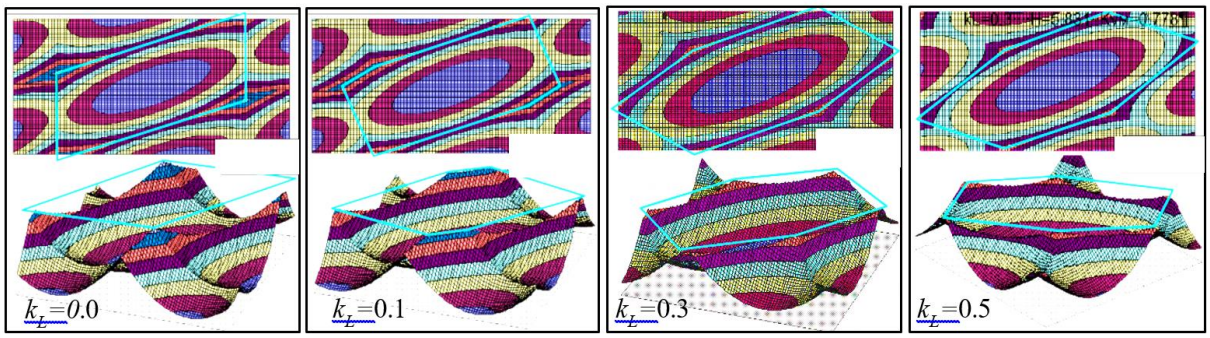



*Рис. 8.* Трансформация *параллелограмной* лунки в шестиугольную при изменении $k_L$:
верхний ряд – проекция на касательную плоскость в центре лунки; нижний ряд – аксонометрия

**5.2. Зависимость высоты пирамидок от параметров зубообработки.** Проделав расчеты формы и размеров лунок и пирамидок, установили насколько может уменьшиться высота микронеровностей $\Delta$ (в долях от их максимальной высоты $\Delta_{MAX}$) в зависимости от параметров зубообработки. Оказалось, что высота макронеровностей $\Delta$ не может стать меньше 0,75 от максимально возможной $\Delta_{MAX}$. Это один из значимых итогов проведенного аналитического исследования высоты макронеровностей. Выявлено и то, что отношение $k_\Delta = \Delta / \Delta_{MAX}$ есть функция двух параметров: $k_\Delta = f(k_L, k_H)$ – см. на рис. 8.

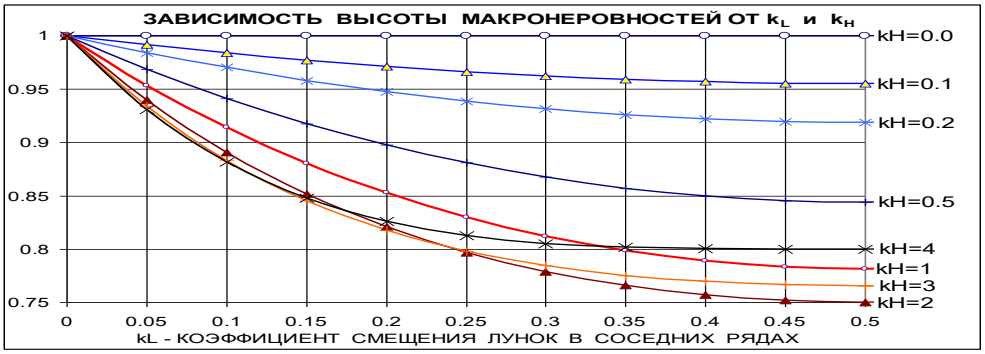



Рис. 9. Коэффициент уменьшения высоты макронеровностей $K_Z$

Обращаем внимание, что: **1**. Наибольшая высота $\Delta$ микронеровностей будет при $k_L$=0.0 и при любых $k_H$ (самое неблагоприятное расположении лунок в соседних рядах по критерию шероховатости). **2**. Наименьшая высота $\Delta$ микронеровностей будет при

$k_L$=0.5 и $k_H$=2 (самое благоприятное расположение лунок в соседних рядах). **3**. При увеличении $k_H$ от 0 до 2 высота $\Delta$ микронеровностей уменьшается при любых значениях $k_L$ (хотя и не на много). **4**. При увеличении $k_H$ от 2 до 4 высота $\Delta$ не значительно возрастает при всех значениях $k_L$. **5**. При $k_H$=4 и $k_L$>0.25 $\Delta$=*const*=0.8 $\Delta_{MAX}$.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

С использованием понятия “ускорение внедрения” проведено исследование формы и величины макронеровностей (шероховатости) поверхностей, обрабатываемых лезвийными инструментами при двух параметрах огибания и любыми инструментами при одном параметре огибания:

- Получены две общие и достаточно простые формулы для вычисления наибольшей величины огранки, т.е. высоты «гребешков» над огибающей поверхностью при зубообработке методом однопараметрического и двухпараметрического огибания.
- Показано, что при зубофрезеровании методом двух подач форма лунок может быть: прямоугольной, параллелограммной, или шестиугольной. *При этом высоты всех 4-х или 6-ти пирамидок, окружающих лунку, равны*.
- Получена формула для вычисления коэффициента *k* уменьшения высоты огранки в зависимости от коэффициента смещения лунок в соседних рядах. Показано, что *k* изменяется в пределах от 1 до 0.75, т.е. влияние на шероховатость промежуточных параметров зубообработки $k_L$ и $k_H$ носит умеренный характер.
- Скорость и, особенно, ускорение внедрения, позволяют упростить решение и других важных задач при анализе формообразования [3]: при определении кривизны поверхностей, формируемых методами огибания; при нахождении границ зон резания и толщин срезаемых слоев; при вычислении координат точек на огибающей, через координаты точек на обволакивающей, и ряда других задач. Т.е. ускорение и скорость внедрения – важнейшие и весьма полезные локальные показатели процесса формообразования и их следует вычислять и широко использовать в компьютерных программах наряду с векторами: $\mathbf{V_{12}}$, $\boldsymbol{\omega_{12}}$, **n**, **r**. Это, пожалуй, ещё один существенный результат выполненного исследования.

Работа выполнена в рамках проекта № 9.6355.2017/БЧ госзадания Минобрнауки РФ на 2017–2019 гг. в ТИУ.

**Список литературы: 1.** Шунаев Б.К. Геометрия боковой поверхности при диагональном зубофрезеровании // Конструирование и технология в тяжелом машиностроении / Труды УПИ. – сб. 14. – Свердловск: УПИ, 1965. **2.** Шевелева Г.И. Теория формообразования и контакта движущихся тел. – М.: Мосстанкин, 1999. – 494с. **3.** Бабичев Д.Т. Развитие теории зацеплений и формообразования поверхностей на основе новых геометро-кинематических представлений: Диссертация … докт. техн. наук. – Тюмень, 2005. – 421с. **4.** Бабичев Д.Т., Бабичев Д.А., Панков Д.Н., Панфилова Е.Б. Кинематический метод нахождения точек на огибающей, зная точки на обволакивающей // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010, №26. с. 9-21. **5.** Бабичев Д.А., Бабичев Д.Т., Серебренников А.А. Использование производной от ускорения внедрения при нахождении точек на огибающей, зная точки на обволакивающей // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010, №27. с. 20-25. **6.** Шишков В.А. Образование поверхностей резанием по методу обкатки. – М.: Машгиз, 1951. – 150с.

# ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОСТРАНСТВЕННОМ СТАНОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

**Витренко В.А., Ефимов А.А., Кузнецова М.Н.** *(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)*
*Тел./Факс:* +38 (0642) 341826; *E-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

***Abstract:*** *The article investigates designing of multi-pass hyperbola instrument intended for cylindrical gear-wheels production. Methodology of such instrument design parameters choice has been presented.*
***Key words:*** *gear wheel, hyperbola cutter, specific points, tooth surface, work-piece, contact.*

Зубчатые колеса являются одними из самых распространенных деталей машин. Более половины зубчатых колес изготавливают при помощи зуборезного инструмента основанного на схемах формообразования третьего класса. Стоимость изготовления зубчатых колес на этих операциях очень высокая, объясняемая высокой стоимостью зуборезного инструмента. Дороговизна зуборезных долбяков и червячных фрез обусловлена сложностью процесса затылования такого инструмента. Кроме того, после переточек рассматриваемого инструмента появляются систематические погрешности профиля его режущих кромок. С увеличением переднего и заднего угла инструмента, а также высоты профиля и угла подъема витка эти погрешности в значительной степени возрастают.

Качество нарезаемых зубчатых колес зависит от точности и качества зуборезного инструмента, а себестоимость их изготовления зависит от технологичности изготовления инструмента и допустимого количества его переточек. Таким образом, точность нарезаемых цилиндрических зубчатых колес зависит от отклонения формы режущих кромок, а также отклонения формы задней поверхности от теоретической производящей поверхности.

Имея возможность управлять отклонениями профиля инструмента, можно управлять точностью нарезаемых зубьев. Получение недорогих и качественных цилиндрических зубчатых колес полностью зависит от инструмента, который в настоящее время является очень сложным и дорогим прежде всего из-за операций заточки и затыловки.

Попытаемся изготовить зуборезный инструмент гиперболоидной формы. При изготовлении зубьев цилиндрических зубчатых колес таким инструментом, радиус-вектор текущей точки обрабатываемой поверхности описывается следующим уравнением:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_1(v,\psi) = (x_1(v) - r)\vec{i} + y_1(v)\vec{j} + z_1(\psi)\vec{k}\ , \qquad (1)$$

где: $x_1(v)$ и $y_1(v)$ необходимое число раз дифференцируемые по параметру $v$ функции, $\vec{r} = const$ - радиус окружности, $\psi$ - текущая координата по оси $z_1$.

Параметры зубчатого колеса являются независимыми, поэтому для независимости параметров $v$ и $\psi$ необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$d\vec{r}_1 / dv \times d\vec{r}_1 / d\psi \neq 0\,. \qquad (2)$$

Параметры $v$ и $\psi$ являются криволинейными координатами контактирующей поверхности. Поверхность рабочей части зубцов является непрерывной, т.е. $\vec{r}_1 = \vec{r}_1(v,\psi)$ является непрерывной функцией аргументов $v$ и $\psi$. Через каждую точку поверхности должны проходить две координатные линии: а) $v = const$, б) $\psi = const$, имеющие в этой точке две несовпадающие касательные. Направления касательных к координатным линиям определяются как направления векторов $d\vec{r}_1/dv$ и $d\vec{r}_1/d\psi$. Точка поверхности будет обыкновенной, если векторы $d\vec{r}_1/dv$ и $d\vec{r}_1/d\psi$ не коллинеарны и ни один из этих векторов неравен нулю. В любой точке поверхности должно выполняться неравенство (2). В особой же точке поверхности уравнение принимает вид:

$$d\vec{r}_1/dv \times d\vec{r}_1/d\psi = 0 \tag{3}$$

Рабочая часть поверхности зубцов должна состоять только из обыкновенных точек. Нормаль к поверхности и касательная плоскость являются определенными только в обыкновенной точке. Нормаль $\vec{N}$ к обрабатываемой поверхности в данной точке перпендикулярна плоскости, содержащей векторы $d\vec{r}_1/dv$ и $d\vec{r}_1/d\psi$, следовательно:

$$\vec{N} = d\vec{r}_1/dv \times d\vec{r}_1/d\psi \tag{4}$$

.

Для аналитического определения профиля зуба гиперболоидного инструмента необходимо рассчитать координаты зуба $x_2$, $y_2$ в подвижной системе координат. Для этого рассмотрим следующую систему уравнений, представляющую собой уравнения поверхности зубьев гиперболоидного инструмента:

$$\begin{aligned}
x_2 &= (x_1 - r)(\cos\varphi_1 \cos\varphi_2 + \cos\gamma \sin\varphi_1 \sin\varphi_2) + y_1(-\sin\varphi_1 \cos\varphi_2 + \cos\gamma \cos\varphi_1 \sin\varphi_2) + \\
&\quad + z_1 \sin\gamma \sin\varphi_2 + A\cos\varphi_2; \\
y_2 &= (x_1 - r)(\cos\varphi_1 \sin\varphi_2 - \cos\gamma \sin\varphi_1 \cos\varphi_2) + y_1(-\sin\varphi_1 \sin\varphi_2 - \cos\gamma \cos\varphi_1 \cos\varphi_2) - \\
&\quad - z_1 \sin\gamma \cos\varphi_2 + A\sin\varphi_2; \\
z_2 &= (x_1 - r)\sin\gamma \sin\varphi_1 + y_1 \sin\gamma \cos\varphi_1 - z_1 \cos\gamma;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&f_1(v,\varphi_1,\psi) = (u_{21}\cos\gamma - 1)\left[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)\right] + z_1 u_{21} \sin\gamma (y_1' \cos\varphi_1 + \\
&+ x_1' \sin\varphi_1) - A u_{21} \cos\gamma (y_1' \sin\varphi_1 - x_1' \cos\varphi_1) = 0.
\end{aligned} \tag{5}$$

Решение данной системы предлагается провести в таком порядке: из четвертого уравнения системы (5) выражаем $z_1$, полученное выражение подставляем в третье уравнение системы.

После этого, задавая значения $z_2$ (от 0мм до 100мм с шагом $\approx$1мм) и варьируя значением угла развертки эвольвенты (от 0° до 50° с шагом 2°), из (5) находим угол поворота детали $\varphi_1$, при котором происходит касание детали с гиперболоидным

инструментом. Подставляя найденные углы $\varphi_1$ в первые два уравнения системы (5), находим координаты $x_2$, $y_2$ гиперболоидного инструмента. Заметим, что координаты $x_2$, $y_2$ в данном случае получены в зависимости от $z_2$. Имея координаты $x_2$, $y_2$, находим радиус гиперболоидного инструмента при помощи выражения $r_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}$ .

Для нахождения контактных линий на нарезаемом цилиндрическом колесе найдем переменный параметр $\psi$ :

$$\psi = \{(u_{21}\cos\gamma - 1)\left[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)\right] - Au_{21}\cos\gamma(y_1'\sin\varphi_1 - \\ - x_1'\cos\varphi_1)\} / u_{21}\sin\gamma(x_1'\sin\varphi_1 - y_1'\cos\varphi_1). \quad (6)$$

Приведенные в работе уравнения при заданном значении угла поворота $\varphi_1$ будут определять контактные линии на зубьях цилиндрического обрабатываемого колеса. Варьируя значениями $\varphi_1$, получим совокупность контактных линий на обрабатываемом зубчатом колесе.

Сконструируем многозаходную гиперболоидную фрезу (обкаточный резец, долбяк) предназначенную для нарезания зубьев прямозубого зубчатого колеса с mn = 6,5 мм и числом зубьев Z2 =72. Количество заходов гиперболоидного инструмента не должно быть кратным числу зубьев нарезаемого цилиндрического зубчатого колеса. Следовательно, проектируемый инструмент с количеством заходов Z2 = 2,3,4,6,8,9,12,24,36,72 будет не работоспособным. Количество зубьев такого инструмента является кратным по количеству зубьев с нарезаемым зубчатым колесом. Такой инструмент имеет общие множители с количеством зубьев нарезаемого зубчатого колеса и поэтому является не целесообразным для обработки проектируемого зубчатого колеса. При конструировании многозаходного гиперболоидного инструмента целесообразно количество заходов принять равным Z2 = 5,7,10,11,… В нашем случае сконструируем гиперболоидный инструмент с числом заходов Z2 = 7. На первом этапе проектирования необходимо выбрать наружный диаметр инструмента. В нашем случае возьмем наружный диаметр фрезы, равный наружному диаметру стандартной червячной фрезы равный 120мм. Угол наклоны винтовой линии зуба инструмента равен β =180°-120° =60°. Следовательно, угол нарезки зуба инструмента равен ψ =30°. Направление нарезки выбираем правое.

Определим делительный диаметр гиперболоидного инструмента в горловом сечении:

$$Dd = m \times z / \cos\beta = 6{,}5 \times 7 / \cos 60° = 90 \text{ мм} \quad (7)$$

Определим наружный диаметр фрезы в горловом сечении:

$$Da = Dd + 2 \times m = 90 + 2 \times 6{,}5 = 113 \text{ мм} \quad (8)$$

Определим ширину фрезы:

$$b = (90....113)tg\psi = (90...113)tg30° = 52...66 \text{ мм} \quad (9)$$

Гиперболоидный зубообрабатывающий инструмент не затылуется, т.к. он имеет геометрические и кинематические задние углы. Это позволяет в значительной степени уменьшить величину стружечных канавок, т.к. нет необходимости обеспечить выход затыловочного резца и затыловочного шлифовального круга.

Стружечные канавки на спроектированном гиперболоидном инструменте нарезались на вертикально-фрезерном станке с делительной головкой при помощи дисковой фрезы рис.1, а также при помощи концевой фрезы рис.2.

При изготовлении стружечных канавок на обкатном инструменте можно расположить режущую кромку инструмента в плоскости, перпендикулярной к его оси. Для обеспечения этого условия огибающую инструмента нужно рассечь плоскостью, перпендикулярной к оси инструмента.

Кроме того, режущую кромку инструмента можно расположить в плоскости перпендикулярной к направлению зуба, на начальном цилиндре. Для обеспечения этого условия надо рассечь огибающую указанной плоскостью.

Из изложенного следует, что при проектировании режущего инструмента, работающего по методу обкатки, основным вопросом является определение профиля режущих кромок инструмента.

Рис.1. Нарезание стружечных канавок при помощи дисковой фрезы

Рис. 2. Нарезание стружечных канавок при помощи концевой фрезы

Профилем режущей кромки инструмента является кривая линия, по которой очерчена эта кромка. Необходимо подчеркнуть, что существующие методы определения профиля режущих кромок инструмента, работающего по методу обкатки, характеризуются тем, что для каждого вида этого инструмента имеется свой метод определения профиля, причем эти методы не связаны между собой.

К недостаткам существующих методов определения профиля инструмента относится то, что при определении профиля делают допущения, которые приводят к существенным его искажениям. Так, например, при определении профиля червячной фрезы для нарезания шлицевого вала с прямолинейным профилем шлицев. В этом случае делается допущение, согласно которому шлицевой вал зацепляется с рейкой, и задача определения профиля червячной фрезы решается в плоском станочном зацеплении. В действительности же, в рассматриваемом случае имеется зацепление шлицевого вала с червяком, и решение задачи в этом случае должно быть в пространственном станочном зацеплении. Указанное допущение вносит погрешности в профиль червячной фрезы, а естественно и в профиль обрабатываемого изделия.

Применяя предложенную методику определения профиля производящей поверхности, недостатки существующего инструмента полностью устраняются.

**Список литературы: 1.** Гавриленко В.А. зубчатые передачи в машиностроении. М.: Машгиз, 1962.-531 с. **2.** Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. – 272 с. **3.** Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений /Ф.Л.Литвин.– М.: Наука, 1968, 584 с. **4.** Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р.Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с. **5.** Сахаров Г.Н., Арбузов О.Б., Боровой Ю.Л., Кисилев А.С. Металлорежущие инструменты. - М.: Машиностроение, 1989. - 328 с. **6.** Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного инструмента / Ю.В. Цвис – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.

## СВОЙСТВА СПЛАВОВ Co-W, ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ ИЗ ГЛЮКОНАТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

**Бобанова Ж.И., Петренко В.И., Рушика И.Д.**
*(ИПФ АНМ, ТУМ, г. Кишинев, Республика Молдова),*
*Тел: +373731725,* +373 79502121*; e-mail:* v_petrenko@phys.asm.md, ion_rusica@mail.ru

***Abstract:*** *The physic-mechanical properties of electrolytic Co-W alloys obtained from gluconate electrolytes are studied. It is shown that electrolytes with an increased concentration of alloy-forming components possess high stability and efficiency and ensure the formation of fine-crystalline coatings with a high hardness.*
***Key words:*** *Co-W alloys, gluconate electrolyte, microhardness, tungstate.*

Хромовые покрытия широко применяются как защитные, твердые, и износостойкие. Однако высокая токсичность и канцерогенность шестивалентного хрома, низкие выходы по току заставляют искать им замену. Эффективным методом получения покрытий, обладающих повышенной твердостью, износо- и коррозионной стойкостью, является индуцированное соосаждение сплавов вольфрама с металлами группы железа

Целью работы является изучение некоторых физико-механических свойств осадков сплавов кобальта с вольфрамом, получаемых из глюконатных электролитов и сравнение их с хромовыми покрытиями, изучение возможности повышения работоспособности покрытий и процесса осаждения.

Исследовали состав, структуру и механические свойства покрытий из сплавов Co-W, полученных из борглюконатных электролитов при плотностях тока 1-5 А/дм$^2$, pH 5-8, температуре раствора 60- 80$^o$C.

Для осаждения Co-W использовали электролиты, описанные в литературе [1]. Повышение концентраций компонентов способствует улучшению стабильности осаждения и более длительному сохранению работоспособности электролита. Состав концентрированного электролита, М: глюконат натрия - 0,55, борная кислота-0,65, NaCl - 0,51 при концентрации $CoSO_4$ - 0,05–0,5 М и $Na_2WO_4$-0,05–0,5 М (pH = 6,5).

Состав покрытий и морфологию изучали с помощью СЭМ TESCAN-VEGA и системы элементного анализа INGA Energy DX. Структуру сплавов определяли рентгеновским анализом. Микротвердость покрытий толщиной не менее 25-30 мкм определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке индентора 20-30 мН и времени выдержки 10 с..Трибологические испытания проводили на машине трения в условиях

смазки с возвратно-поступательным движением по схеме “плоскость-цилиндр” при частоте 280 двойных ходов/мин. и с измерением коэффициентов трения при нагрузке в 2Н .

**Результаты и обсуждение:** Содержание W в покрытии, ВТ по току зависят от концентрации основных компонентов раствора, отношения концентраций солей металлов и лиганда. Увеличение концентрации $CoSO_4$ и $Na_2WO_4$ в растворе от 0,05 М до 0,5 М приводит к уменьшению содержания W в покрытии и повышению ВТ по току.( рис 1, рис 2) При этом зависимость ВТ имеет экстремальный характер, с максимумом при С ~ 0,25 М.

Содержание вольфрама в покрытиях, осажденных при плотности тока 1 А/дм$^2$ из электролитов с концентрацией вольфрамата натрия 0,05 – 0,25 М, сохраняется постоянным, что свидетельствует о возможности получения сплавов со стабильным составом из концентрированных глюконатных электролитов.

Состав электролита влияет на содержание W в покрытии, что определяет структуру получаемых сплавов. Рентгеноструктурный анализ осадков Co-W показал, что в зависимости от pH и плотности тока изменяется дисперсность соединений вольфрама и кобальта, из которых происходит осаждение сплавов. С увеличением *i* до 3 и 5 А/дм$^2$ и pH 6-7 поликристаллическая структура переходит в аморфную.

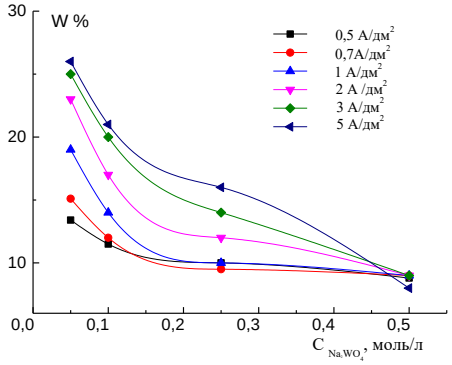



Рис. 1. Зависимость содержания вольфрама в покрытии от содержания $Na_2WO_4$ в растворе

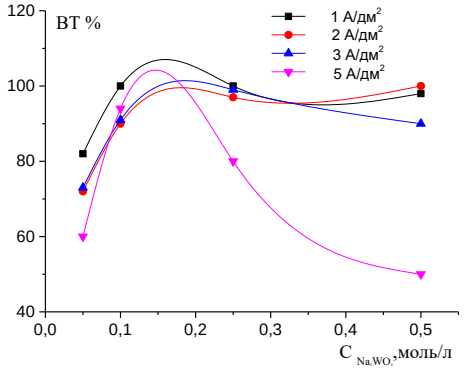



Рис. 2. Зависимость ВТ от концентрации вольфрамата натрия в растворе

Можно выделить характерные типы фазового состава: кристаллическую фазу $Co_3W$, аморфную фазу, смешанную структуру с кристаллической и аморфной фазами. При содержании W в сплаве ~ 30% в покрытии образуется аморфная фаза, которая имеет состав близкий к стехиометрическому для соединения $Co_3W$ с размером кристаллитов 16–20 Å и текстурой (00.1). При концентрации W ~ 14–16 % в покрытии образуется кристаллическая фаза $Co_3W$ с текстурой (00.1), которая с увеличением плотности тока перестраивается в текстуру (20.1). При концентрации W ~ 8–9 % при *i*~2 А/дм$^2$ формируются 2 фазы: в твердом растворе W в α-Co, текстурированном по плоскостям (00.1) и (10.0) соосаждается мелкокристаллическая фаза $Co_3W$, размер кристаллитов которой с ростом тока до 5 А/дм$^2$ уменьшается от 60 Å до 41 Å**.** В осадках сплава Co-W, полученных при *i* = 1 А/дм$^2$, образуется $Co_3W$ с поликристаллической структурой и с текстурой (00.1) и (10.0).

Изучение морфологии поверхности показало, что в сплавах, где имеется кристаллическая фаза наблюдается пирамидальный рост кристаллов, а для аморфной

фазы характерно образование кристаллитов, форма которых приближается к сферической.

При $i$ = 1 А/дм$^2$ и pH = 5–7 характерна поликристаллическая структура покрытий, причем размер кристаллитов равен ~ 3 нм. При осаждении из электролита с pH = 5–7 при $i$= 3–5 А/дм$^2$, происходит аморфизация покрытий. Рассчитанный по уравнению Шеррера размер микрокристаллитов равен ~ 2 нм**.** Рентгеноструктурные исследования подтверждают определяющее влияние pH на структуру образующихся покрытий

Формирование структуры покрытий непосредственно связано с морфологией формирующейся поверхности. Наиболее сильное влияние на морфологию оказывает плотность тока. При $i$ = 1 А/дм$^2$ образуются мелкокристаллические покрытия с кристаллами пирамидальной формы (рис. 3а, 3б) и при повышении $i$ они становятся более мелкокристаллическими (размер кристаллитов ~ 2–3 нм), аморфизируются. Их морфология изменяется и кристаллиты объединяются в зерна сфероидальной формы (рис. 3в-3е). Однако морфология различна и в зависимости от pH электролита (ср. рис. 3в и 3г, а также 3д и 3е).

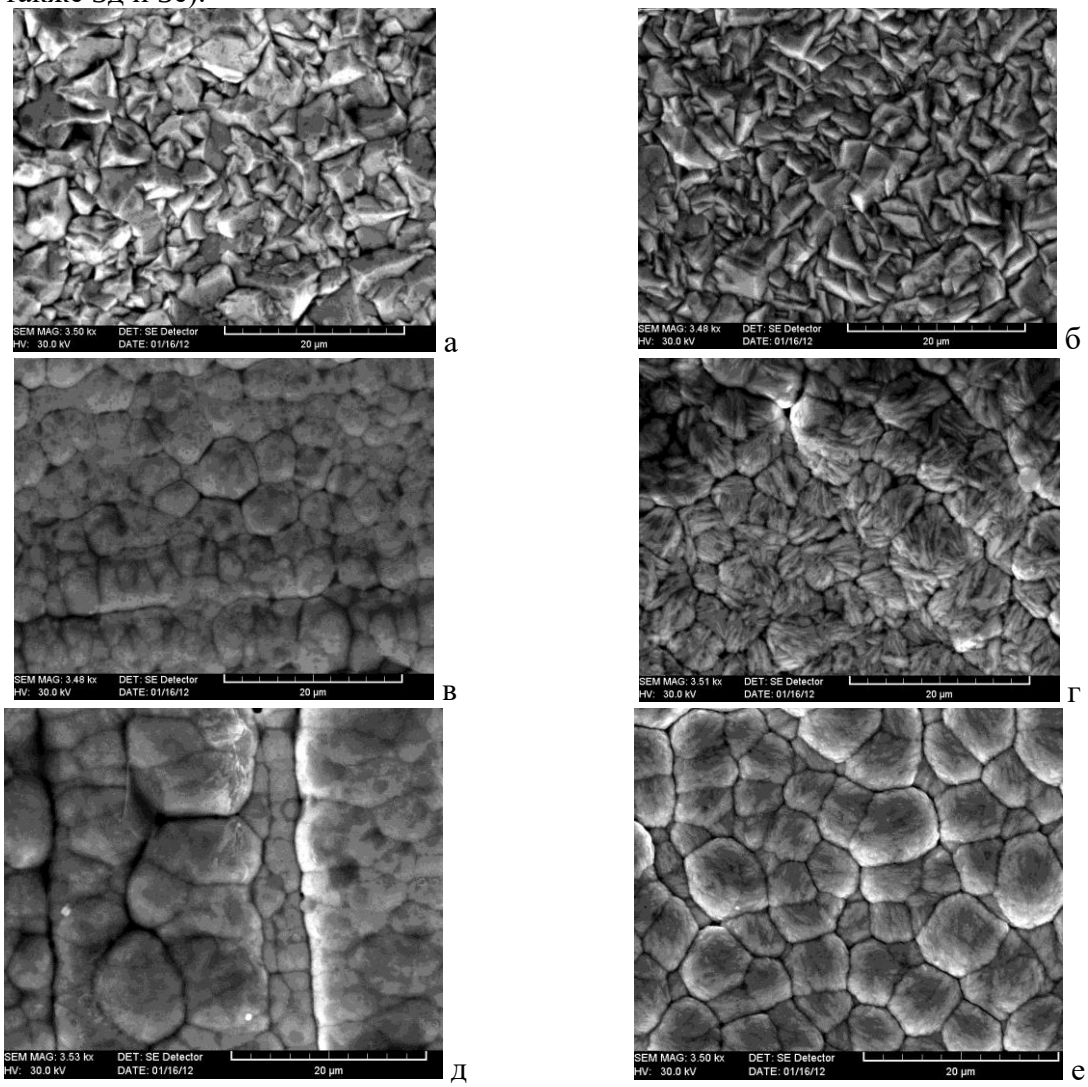



Рис. 3. Морфология сплава Co-W, полученного из глюконатного электролита с pH 6 (а, в, д) и pH 8 (б, д, е) при плотностях тока 1 (а, б), 3 (в, г) и 5 А/дм$^2$(д, е)

Микротвердость Co-W покрытий из глюконатных электролитов зависит от pH и плотности тока, причем эти зависимости носят экстремальный характер (рис. 4). Для покрытий, полученных при плотности тока осаждения 1 А/дм$^2$, достигается наиболее высокая микротвердость, превышающая 900 кг/мм$^2$. При увеличении плотности тока до 5 А/дм$^2$ твердость уменьшается. Величина микротвердости сплава Co-W 1050 кг/мм$^2$, достигнутая при концентрации W в покрытии 22,7 ат.%, близка к величине микротвердости хромовых покрытий, осаждаемых из стандартного электролита [2].

Микротвердость нанокристаллических покрытий, полученных из этого электролита (pH = 6, *i* = 2,7 А/дм$^2$), зависит от концентрации W, увеличиваясь с ростом содержания вольфрама в покрытии [3]. В нашем случае это действительно наблюдается, но только при *i* = 3 А/дм$^2$ (рис. 5). При i = 1- 5 А/дм$^2$ корреляции между микротвердостью и содержанием вольфрама в покрытии не наблюдается (также как и в [2]), поскольку микротвердость зависит не только от содержания вольфрама, но и от структуры покрытия, которая определяется также pH.

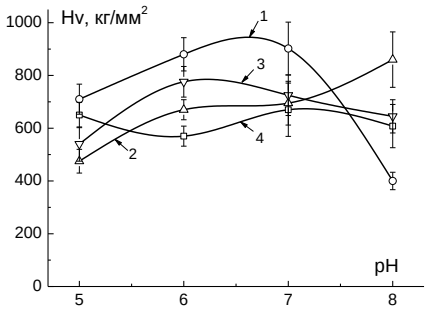



Рис.4. Зависимость микротвердости покрытий от pH электролита при плотности тока, А/дм$^2$: 1–1, 2–2, 3–3, 4–5

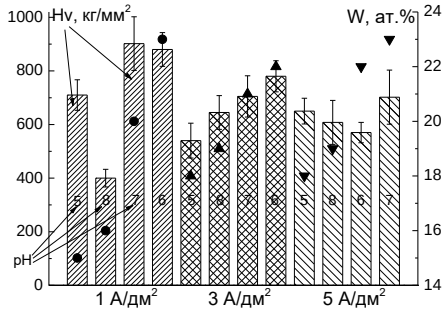



Рис. 5. Изменение микротвердости сплава с содержанием вольфрама в сплаве (при *i*= 1–5 А/дм$^2$).

Максимальная микротвердость достигается при pH = 6–7 при всех плотностях тока кроме *i* = 5 А/дм$^2$ (рис. 5). Максимальной микротвердостью обладают покрытия с поликристаллической структурой и морфологией, которая образуется при осаждении из электролита с pH = 6-7 (рис. 3а). При pH =8 происходит снижение концентрации вольфрама и как следствие изменение микротвердости покрытии, что может быть обусловлено изменением состава комплексов, образующихся в растворе. В концентрированных электролитах при увеличении конц вольфрамата натрия уменьшается содержаниее вольфрама в покрытии, что приводит к увеличению микротвердости. Наибольшая микротвердость 850 кг/мм$^2$ и 700 кг/мм$^2$ достигается в электролитах с 0,05 М и 0,1 М $Na_2W0_4$.

Глюконатный электролит, содержащий повышенные концентрации сплавообразующих компонентов, может использоваться для получения нанокристаллических покрытий Co-W, так как сохраняется высокий ВТ и постоянное значение микротвердости при длительной проработке до 10 Ач/л, является стабильным и работоспособным при эксплуатации.

*Финансовая поддержка настоящей работы обеспечивалась по Национальному проекту Молдовы (№ 15.817.02.05.А)и европейскому проекту HORISON 2020 Smartelectrodes (778357).*

**Список литературы: 1.** Weston D.P., Harris S.J., Shipway P.H., Weston N.J., Yap G.N. *Electrochim. Acta.* 2010, 55, 5695-5708. **2.** Feng-hua Su, Can-sen Liu, Ping Huang *Appl.Surf. Science*, 2012, 258, 6550-6571. **3.** Weston D.P., Gill S.P.A., Fay M., Harris S.J., Yap G.N., Zhang D., Dinsdale K. *Surf. Coat. Technol.* 2013, 236, 75-83.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИ ДВУХСУППОРТНОЙ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

**Кудрявцев В.Н., Парамонова В.А.**
*(СПбПУ, ГО ВПО «ДонНУЭТ» г. Санкт-Петербург, г. Донецк, Россия, ДНР),*
*тел.: 071-323-0841; E-mail: kudryavtsevvn@mail.ru*

***Abstract:*** *In work is executed analysis of the technological provision computer aided design operations of the mechanical processing on двухсуппортных of the lathes. The got dependencies* $\Delta_{max}$ *will Presented from presenting under minimum and maximum importance of the depth and velocities of the cutting. They are received increasing dependencies. The Analysis of the change* $\Delta_{max}$ *from velocity of the cutting has shown that under minimum importance of the presenting and depths of the cutting influence to velocities of the cutting practically not greatly. However under maximum importance these parameter function linear and decreasing. The Offered methods, which allows to forecast accuracy of the processing for given conditions (the condition of the processing, characteristic of the technological system, particularities of the adjustment) - allows with high degree of efficiency to use modern CAE-CAM-systems for technological calculation complex type processing by means of two-support tool.*

***Key words:*** *two-sided handling, accuracy, optimization, processing error, admission, allowance*

Обобщенные теоретические и экспериментальные исследования, а также производственный опыт показывают наличие значительных средств и методов оптимального управления обработкой с целью повышения производительности и качества [1]. К принципиально новым методам в технологии обработки материалов можно отнести методы, использующие электрическую энергию в качестве рабочего агента, которые принято объединять под общим названием электрофизические и электрохимические методы обработки (ультразвуковые, плазменные и ряд других методов). Данные методы имеют высокую производительность, дают возможность выполнять отдельные технологические операции, недоступные механическим методам обработки.

Другим методом повышения производительности и качества оптимального управления обработкой является создание технологических условий, использующих методы резания, при которых при нормальном изнашивании инструмента возможно добиться практически 100% выполнения требований к обработке деталей в условиях серийного производства, однако достижение данных условий возможно лишь при обеспечении эффективной подготовки производства. Один из способов - это более равномерное распределение усилий резания, при одновременном расширении состава технологических переходов, макроопределений и циклов, которые выполняются одновременно. Данное решение может быть достигнуто при двухсуппортной обработке, схема которой представлена на рисунке 1.

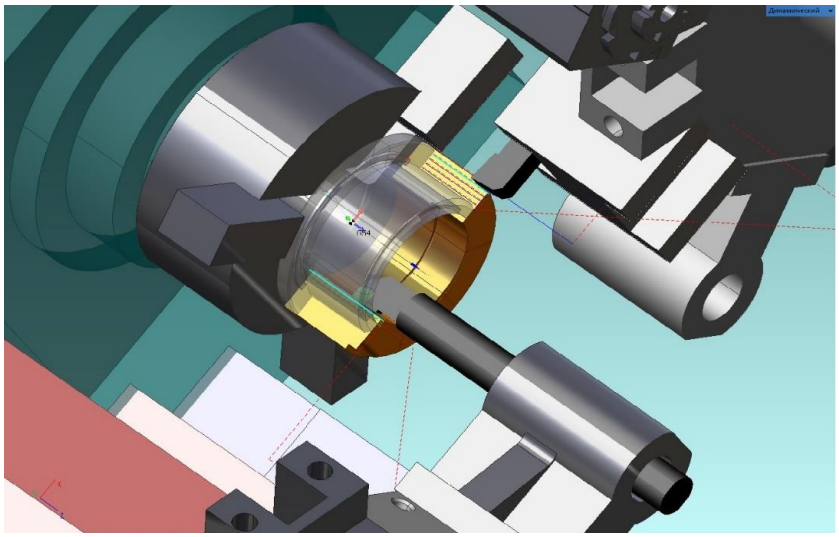


Рис. 1. Схема двухсуппортной обработки

Однако на современном этапе развития машиностроения на постсоветском пространстве, данное решение не автоматизировано и осуществляется на основе метода получения годной детали. При этом, для снижения вибрации, применяют неодинаковые (модулированные) подачи для суппортов.

Так при точении и растачивании двумя резцами одновременно с увеличением скорости точность выше, вследствие перехода в зарезонансный режим и снижении вибрации, а погрешность формы поверхности детали – не выражена, значение параметра шероховатости $R_a$ на 10-12% ниже.

В качестве критерия оптимизации используют показатель максимальной производительности. Наиболее важные ограничения для совмещения переходов – это параметр шероховатости обработанной поверхности; точность обработки; прочность и жесткость режущего инструмента; мощность привода главного движения; стойкость режущего инструмента; минимальная и максимальная частота вращения шпинделя и подача.

Так, например, ограничение по мощности электродвигателя привода главного движения станка:

$$n_ш\left(s_{O_1}^{y_{P_{z1}}}+s_{O_2}^{y_{P_{z2}}}\right)\leq 1020\cdot 60\cdot 1000*N_П\eta\left(\frac{1}{10\,C_{P_{z1}}t^{x_{P_{z1}}}K_{P_{z1}}\pi D_1}+\frac{1}{10\,C_{P_{z2}}t^{x_{P_{z2}}}K_{P_{z2}}\pi D_2}\right) \quad (1)$$

где $n_ш$ – частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$; $s_{O_1}$, $s_{O_2}$ – подачи первого и второго суппорта соответственно, мм/об; $N_П$ – мощность электродвигателя привода главного движения станка, кВт; $\eta$ – коэффициент полезного действия механизма передачи от электродвигателя к рабочему органу; $C_{P_{z1}}$, $K_{P_{z1}}$, $x_{P_{z1}}$, $y_{P_{z1}}$; $C_{P_{z2}}$, $K_{P_{z2}}$, $x_{P_{z2}}$, $y_{P_{z2}}$ – экспериментальные коэффициенты и показатели степени для процесса обработки режущим инструментом, установленным на первом и втором суппорте, соответственно [2].

Токарная обработка осуществлялась резцами PCLNR 2525 M12 со сменной пластиной CNMG 12412 NN LT 10 и S25T-PTFNR/L16-W.

Исследования зависимости *P* от параметров резания производились для интервалов значений, приведённых как рекомендованные для выбранного обрабатывающего инструмента фирмой-производителем: глубина резания изменялась

от 1 до 3 мм с шагом в 0,2 мм, подача – 0,15…0,25 мм/об с шагом 0,05 мм/об и скорость резания – от 210 до 350 м/мин. На рисунке 2 представлены полученные зависимости $\Delta_{max}$ от подачи при минимальных и максимальных значениях глубины и скорости резания. Следует отметить, что все зависимости находятся в экспоненциальной зависимости от исследуемых факторов.

Анализ изменения $\Delta_{max}$ от скорости резания показал, что при минимальных значениях подачи и глубины резания скорость резания оказывает несущественное влияние. Однако при достижении максимальных значений исследуемых факторов точность обработки снижается. Так, например, при изменении скорости с 200 до 330 м/мин $\Delta_{max}$ уменьшилась приблизительно на 0,04 мм. Исходя из производственного опыта, данное явление объясняется инерционностью системы.

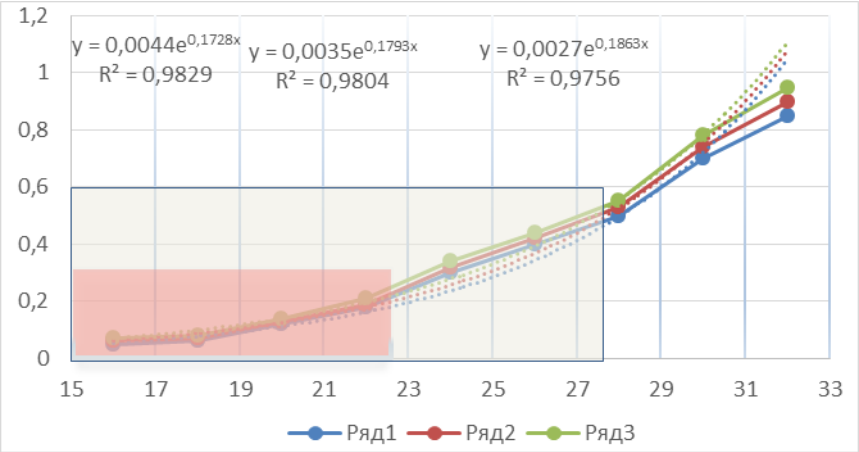



Рис. 2. Зависимость погрешности обработки от жесткости детали типа «вал»: определение точности - ряд1- по 4-м точкам, ряд 2 – 5, ряд 3 – 6-ти точкам

Исследования влияния глубины, скорости резания, модуля упругости и других параметров были проведены по аналогичным методикам. Статистическая обработка данных проводилась по стандартной методике.

Анализ результатов исследования влияния параметров резания на величину точности обработки (рис. 2) показал, что наименьшее влияние, в указанном диапазоне исследуемых факторов, оказывает изменение скорости резания, наибольшее – изменение глубины резания. При максимальных режимах обработки $\Delta_{max}$ изменилась приблизительно на 0,36 мм, а при изменении подачи – на 0,17 мм. [3]. Стоит отметить, что увеличение *s* и *t* привело к увеличению погрешности обработки, а увеличение *v*, хоть и незначительно, но её уменьшило. Следовательно, наиболее эффективным методом для снижения погрешности Δ будет варьирование глубины резания при точении, но это достаточно сложно реализовать на практике. Именно поэтому вариант варьирования подачи при максимальной скорости вращения является наиболее подходящим для практической реализации на станках с ЧПУ.

Так как обработка осуществлялась при минимальных параметрах резания (с минимальной *P*), то в этом диапазоне для повышения точности токарной обработки на станках с ЧПУ эффективно использовать оптимизацию параметров *s*, *v*, *t* с введением поправки в управляющую программу (красная зона – дорезонансный режим). В пределах L/D от 22 до 28 начинается область, где погрешность достаточно велика, но применение коррекции управляющей программы еще возможно (серая зона – резонансный режим). При L/D более 28 погрешность обработки во много раз

превышает допустимую, и применение коррекции не позволит достичь технологически заданного качества поверхности заготовки (белая зона – зарезонансный режим и режим с наложением гармоник).

Для линейных размеров, выполняемых при двухсуппортной обработке получим соответствующее ограничение по точности подачи:

$$g_1 \geq \begin{cases} \omega\left[e^{02}t_2\overline{p_t^2} - e^0 t_1\overline{p_t^1}\right] + \left[e^{02}\Delta t_2\overline{p_{\Delta t}^2} + e^0\Delta t_1\overline{p_{\Delta t}^1}\right] \\ \text{при } e^{02}t_2\overline{p_t^2} - e^0 t_1\overline{p_t^1} \leq -\frac{e^{02}\Delta t_2\overline{p_{\Delta t}^2} + e^0\Delta t_1\overline{p_{\Delta t}^1}}{2}; \\ \left(1+\frac{\omega}{2}\right)\left[e^{02}\Delta t_2\overline{p_{\Delta t}^2} + e^0\Delta t_1\overline{p_{\Delta t}^1}\right] \\ \text{при } e^{02}t_2\overline{p_t^2} - e^0 t_1\overline{p_t^1} \leq \frac{e^{02}\Delta t_2\overline{p_{\Delta t}^2} + e^0\Delta t_1\overline{p_{\Delta t}^1}}{2}; \\ -\omega\left[e^{02}t_2\overline{p_t^2} - e^0 t_1\overline{p_t^1}\right] + \left[e^{02}\Delta t_2\overline{p_{\Delta t}^2} + e^0\Delta t_1\overline{p_{\Delta t}^1}\right] \\ \text{при } \frac{e^{02}\Delta t_2\overline{p_{\Delta t}^2} + e^0\Delta t_1\overline{p_{\Delta t}^1}}{2} \leq e^{02}t_2\overline{p_t^2} - e^0 t_1\overline{p_t^1} \end{cases} \quad (2)$$

где $g_1$ – заданная величина, часть доли допуска на выполняемый размер, которую выделяют для динамических составляющих погрешности обработки; $\overline{p_t^i}$, $\overline{p_{\Delta t}^i}$ – векторы, характеризующие влияние соответственно глубин $t_1$ и $t_2$ резания на суппортах и колебаний $\Delta t_1$ и $\Delta t_2$ припусков; $\omega = \Delta e + \nu$ - величина, характеризующая суммарный разброс свойств технологической системы [4].

Сопоставляя аналитические (2) и графические данные (рис. 3) можно увидеть, что для разных точностей размеров и условий их выполнения – области допустимых значений частично перекрываются. В этих случаях итоговые области могут совпадать с одной из областей, которая и определит лимитирующий переход. Применяя комплексное взаимодействие при многоинструментальной и двухсуппортной обработках, а также производственные методы оптимизации [1], возможно получить как заданные параметры в конкретных условиях обработки, так и заранее на этапах проектирования ограничивающие параметры, которые будут определять ограничение по точности, в частности по точности подачи (2).

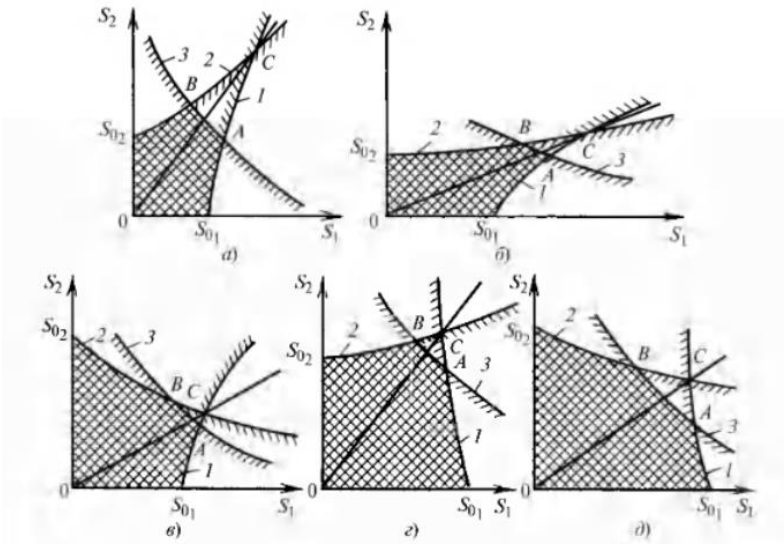



Рис. 3. Области подач $S_1$ и $S_2$, допустимых по точности диаметральных размеров, выполняемых инструментом при многоинструментальной двухсуппортной обработке: *а*

– увеличение $S_1$ и $S_2$ при $t_1 \gg t_2$; *б* - увеличение $S_1$ и $S_2$ при $t_1 \ll t_2$; *в* - увеличение $S_1$, убывание $S_2$; *г* - убывание $S_1$, увеличение $S_2$; *д* - убывание $S_1$ и $S_2$

Таким образом, при исследовании факторов, влияющих на значение дефекта формы при токарной обработке нежестких цилиндрических заготовок пластинами из твёрдого сплава, выполненными в несколько этапов, выявлено, что максимальное значение дефекта формы определяется на расстоянии 0,7L от закрепления заготовки в патроне.

Полученные результаты позволили выполнить ранжирование факторов и определить условия, при которых для повышения точности токарной обработки эффективно внесение коррекции в управляющую программу станка с ЧПУ. Также была предложена методика, позволяющая прогнозировать точность обработки заготовок на двухсуппортных станках для заданных условий (условия обработки, свойства технологической системы, особенности наладки). Предложенная методика позволяет с высокой степенью эффективности использовать современные CAE-CAM-системы для технологических расчетов сложных видов обработки с помощью двухсуппортных станков.

**Список литературы: 1.** Дроздов И.М., Кудрявцев В.Н. Разработка модели оптимизации для электроэрозионной прошивки сплавов / И.М.Дроздов, В.Н.Кудрявцев // Материалы научного форума с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. М.С. Кокорин (отв. ред.). - НЕДЕЛЯ НАУКИ СПБПУ Санкт-Петербург, 30 ноября-05 декабря 2015 г. – С.Пб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" (Санкт-Петербург), 2015 – С. 141-143 **2.** Орукари Бокумо Дж. Наладка двухсуппортного станка с ЧПУ при совмещенной работе суппортов/ Б. Орукари//Технология – Оборудование – Инструмент – Качество: тез. докл. 31-ой междунар. науч.-практич. конф., Минск, 8-9апреля 2015 г. / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск, 2015. – С. 130-132. **3.** Шелихов Е.С., Черноусова А.М., Ануфриенко О.С. Исследование факторов, влияющих на значение бочкообразности при токарной обработке нежестких заготовок//Фундаментальные исследования №7 (часть 4) за 2015г. С. 788-792. **4.** Кошин А.А., Юсубов Н.Д. Элементы матричной теории точности много инструментальной обработки в пространственных наладках//Вестник машиностроения. 2013 №9. С. 13-17.

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛ ВТЯГИВАНИЯ И ТОРМОЖЕНИЯ В ВАЛКОВОМ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

**Бахадиров Г.А., Баракаев Н.Р., Носиров М.И.**
*(ИМСС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан)*
*Тел./Факс: (+998971) 262-71-55; E-mail: instmech@rambler.ru*

***Abstract:*** In the article provided the ratio of forces in the process of feeding the tanneries to the working area with the transporting device, taking into account the clamping and transporting rollers. A condition is obtained for drawing in and feeding material into the working zone in the form of an inequality that takes into account the radii of the shafts, the friction coefficients, and the angle of the shaft's circumference with the leather semi-finished product.
***Key words:*** transporting mechanism, pulling force, semi-finished leather, angle of girth, mechanical processing.

В технологическом процессе сила, создаваемая прижимным валом недостаточно для втягивания кожевенного полуфабриката в зону обработки [1]. Для увеличения силы втягивания нами над прижимным валом установлен свободно вращающийся вал, который за счет давления увеличить силу трения, т.е. силу втягивания кожевенного полуфабриката (рис.1).

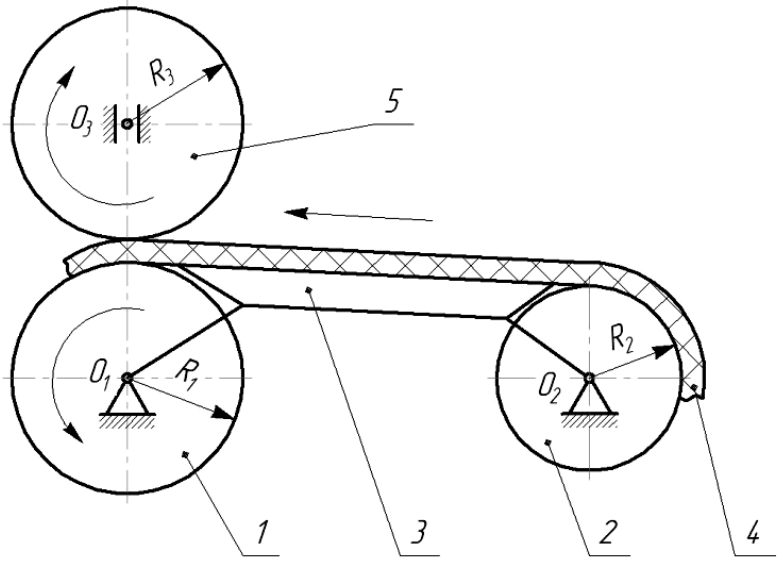



Рис. 1. Схема транспортирующего устройства со свободным верхнем рабочим валком

Из рис. 2. имеем следующее выражение для втягивающей силы:

$$T_2 = \mu N_1 cos(90 - \alpha) = \mu N_1 \sin\alpha, \quad (1)$$

где $N_1$- нормальная реакция ведущего вала на элемент кожевенного полуфабриката; $\mu$- коэффициент трения между кожевенным полуфабрикатом и ведущим валом. Если учитывать что, $\alpha = \frac{\pi}{2}$, тогда

$$T_2 = \mu N_1. \quad (2)$$

Условно разделим кожевенный полуфабрикат на четыре участка.

Средняя плотность кожевенного полуфабриката $\rho_{ср} = \dfrac{m_1}{V_1}$, откуда

$$m_1 = \rho_{ср} V_1, \tag{3}$$

где $m_1$ - масса участка на переднем конце кожевенного полуфабриката; $V_1$ - объем данного участка.

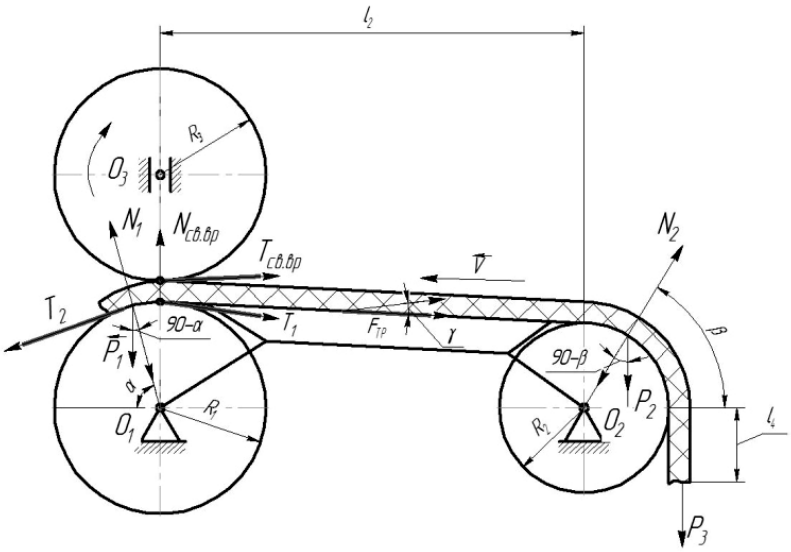



Рис. 2. Схема сил действующих на транспортирующее устройство

$V_1$ определятся следующим образом,

$$V_1 = l_1 \delta_{ср} l_ш, \tag{4}$$

где $\delta_{ср}$ - средняя толщина кожевенного полуфабриката; $l_ш$ - проходная ширина кожевенного полуфабриката; $l_1$ - длина дуги, которая определяется из

$$l_1 = R_1 \alpha, \tag{5}$$

здесь $R_1$ - радиус ведущего вала и $\alpha$ - центральный угол обхвата, в пределах которого кожевенный полуфабрикат контактируется с прижимным валом.

Подставляя выражения (4), (3) и (5) в (2) получим,

$$T_2 = \mu m_1 g = \mu \rho_{ср} V_1 g = \mu \rho_{ср} l_1 \delta_{ср} l_ш g = \mu \rho_{ср} R_1 \alpha \delta_{ср} l_ш g. \tag{6}$$

С другой сторон сила $T_1$ состоит из несколько составляющих, т.е., эти силы создают торможение движению кожевенного полуфабриката,

$$T_1 = T_{св.вр} + F_1 + F_2 + F_3, \tag{7}$$

где $T_{св.вр}$ -сила трения свободного верхнего валка; $F_1$ -сила трения; $F_2$ -тормозная сила поддерживаюшего валки; $F_3$ -реакции сил тяжести.

Каждый участок рассмотрим отдельно. На втором участке кожевенного полуфабриката ведомый вал работает по схеме тормозного колеса. На него действует

момент торможения $M_m$,

$$M_{св} = P_3 T_{св.вр}, \quad T_{св.вр} = \frac{M_{св}}{R_3}, \tag{8}$$

где $T_{св.вр}$ - сила трения; $P_3$ - реакция опор.

Из равенства работ валов за один оборот запишем,

$$2\pi R_3 T_{св.вр} = 2\pi r_ц^{св} f_ц^{св} N_{св.вр}, \tag{9}$$

где $f_ц^{св}$ - коэффициент трения в цапфах опор поддерживаюшего валки; $r_ц^{св}$ - радиус цапфы, $N_{св.вр}$ - сила нормального давления кожевенного полуфабриката [3];

$$T_{св.вр} = f_ц^{св} \frac{N_{св.вр}\, r_ц^{св}}{R_3}, \tag{10}$$

здесь $\rho_{ср}^{св} = \frac{m_{св}}{V_{св}}$ откуда $m_{св} = V_{св}\, \rho_{ср}^{св} = \rho_{ср}^{св}\, \pi R_3^2 l_ш$.

где, $\rho_{ср}^{св}$ -средняя плотность; $m_{св}$ -масса и $V_{св}$ -объем поддерживаюшего валки.

$$N_{св.вр} = m_{св}\, g = \rho_{ср}^{св}\, \pi R_3^2\, l_ш\, g. \tag{11}$$

После некоторых преобразований получим,

$$T_{св.вр} = f_ц^{св} \frac{\rho_{ср}^{св}\, \pi R_3^2\, l_ш\, g\, r_ц^{св}}{R_3} = f_ц^{св} r_ц^{св} \rho_{ср}^{св}\, \pi R_3\, l_ш\, g. \tag{12}$$

Теперь рассмотрим следующий участок, $F_1$- сила трения, возникающая (при коэффициенте трения $\mu_1$) между поверхностью расправочного стола и кожевенного полуфабриката,

$$F_1 = F_{TP} \sin\gamma .$$

Аналогично, при $\gamma = \frac{\pi}{2}$ получим,

$$F_1 = F_{TP} \sin\gamma = \mu_1 N_1. \tag{13}$$

Объем этого участка $V_2$ определяется из,

$$\rho_{ср} = \frac{m_2}{V_2} \Rightarrow m_2 = \rho_{ср}\, V_2, \tag{14}$$

где $m_3$ - масса участка на переднем конце кожевенного полуфабриката на расстоянии между ведущим и ведомым валами.

$$V_2 = l_2\, \delta_{ср}\, l_ш, \tag{15}$$

где $\delta_{ср}$ - средняя толщина кожевенного полуфабриката; $l_2$- расстояние между прижимным и поддерживающим валками.

Подставляя выражения (15) и (14) в (13) получим,

$$F_1 = \mu_1 N_1 \sin\gamma = \mu_1 m_2 g = \mu_1 \rho_{ср}\, l_2\ \delta_{ср}\, l_ш\, g. \qquad (16)$$

На втором участке кожевенного полуфабриката поддерживающий вал работает по схеме тормозного колеса. На него действует момент торможения $M_{под}$,

$$M_{под} = P_2 F_2, \quad F_2 = \frac{M_{под}}{R_2}, \qquad (17)$$

где $F_2$ - сила трения; $N_2$ - сила нормального давления кожевенного полуфабриката; $P_2$ - реакция опор.

Аналогично выше из равенства работ валов за один оборот запишем,

$$2\pi R_2 F_2 = 2\pi r_ц^{под} f_ц^{под} N_2 \cos(90-\beta) = 2\pi r_ц^{под} f_ц^{под} N_2 \sin\beta, \qquad (18)$$

где $f_ц^{под}$- коэффициент трения в цапфах опор поддерживаюшего валов; $r_ц^{под}$- радиус цапфы[3]. При $\beta = \frac{\pi}{2}$ из формулы (13) следует,

$$F_2 = f_ц \frac{N_2\, r_ц}{R_2}. \qquad (19)$$

После некоторых преобразований получим,

$$F_2 = f_ц \frac{m_3 g\, r_ц}{R_2} = f_ц\, \rho_{ср}\, l_3\ \delta_{ср}\, l_щ \frac{g\, r_ц}{R_2}. \qquad (20)$$

На третьем участке кожевенного полуфабриката имеет место:

$$F_3 = P = m_4\, g. \qquad (21)$$

Определяем $m_4$,

$$\rho_{ср} = \frac{m_4}{V_4} \ \Rightarrow m_4 = \rho_{ср}\ V_4, \qquad (22)$$

где $m_4$ - масса свободного конца кожевенного полуфабриката; $V_4 = l_4\, \delta_{ср}\, l_ш$.- объем этого участка; $\delta_{ср}$ - средняя толщина кожевенного полуфабриката; $l_4$ - длина свободного конца.

Подставляя выражение (22) в (21) получим,

$$F_3 = P = m_4\, g = \rho_{ср}\, l_4\ \delta_{ср}\, l_ш\, g. \qquad (23)$$

Для выполнения условия $T_2 \geq T_1$, с учетом (6), (12), (20) и (23) должно иметь место,

$$\mu\, \rho_{ср}\, R_1\, \alpha\, \delta_{ср}\, l_ш\, g \geq f_ц^{св} r_ц^{св} \rho_{ср}^{св}\, \pi R_3\, l_ш\, g + \mu_1\, \rho_{ср}\, l_2\ \delta_{ср}\, l_ш\, g +$$

$$+ f_ц \rho_{ср} l_3 \delta_{ср} l_щ \frac{g r_ц}{R_2} + \rho_{ср} l_4 \delta_{ср} l_ш g \quad . \tag{24}$$

После упрощения получим следующее выражение

$$\mu R_1 \alpha \geq \frac{f_ц^{св} r_ц^{св} \rho_{ср}^{св} \pi}{\rho_{ср} \delta_{ср}} R_3 + \mu_1 l_2 + \frac{f_ц^{под} r_ц^{под}}{R_2} l_3 + l_4 . \tag{25}$$

Полученное неравенство включает все параметры, участвующие при транспортировании и втягивании кожевенного полуфабриката в зону обработки. Задаваясь параметры обрабатываемого кожевенного полуфабриката подбираются рациональные параметры устройства.

**Список литературы**: 1. Бахадиров Г.А., Абдукаримов А., Хусанов К., Набиев А. М. Исследование взаимодействия сил в валковых механизмах машин для механической обработки кож. Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2017 г. – Донецк: ДонНТУ, 24-28 стр., 2017. – 368 с. 2. Бурмистров А.Г. Машины и аппараты производство кожи и меха. -М.: КолосС, 2006. - С. 381. 3. Патент на полезную модель РУз, № FAP 00675. Машина для механической обработки кож. Официальный бюллетень Агентства по интеллектуальной собственности РУз, №12 (128). – Ташкент. - С. 58. Бахадиров Г.А., Ризаев А.А., Баракаев Н.Р., Бахадиров К.Г., Умаров А.А., Атажанова Н.Б. 2010 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Нагоркин М. Н.**
ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЧУГУНА СЧ20 И СТАЛИ 45 ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ **3**

**Нагоркин М. Н., Федоров В. П., Ковалева Е. В.**
РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ **7**

**Непомилуев В.В., Белова Н.С.**
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОСТАВОК **11**

**Никитин И.Е., Николаенко Д.В.**
СИСТЕМА ТРАССИРОВКИ ПУТИ ОДНОЦВЕТНОГО ОБЪЕКТА **16**

**Новичков В.А., Степанова Е.А.**
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОРОМОРОЗИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЛЬМЕНЕЙ **20**

**Овчинников Е.В., Чекан Н.М., Эйсымонт Е.И, Акула И.П.**
МОРФОЛОГИЯ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОБРАБОТКЕ ПРИ КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ **23**

**Овчинников Е.В., Чекан Н.М., Эйсымонт Е.И, Акула И.П.**
ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОНЫХ СРЕД НА МОРФОЛОГИЮ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ **27**

**Павлыш В.Н., Бурлаева Е.И., Зори С.А**
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ВЕКТОРИЗАЦИЯ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ **32**

**Павлыш В.Н., Зайцева М.Н.**
ПРАГМАТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ НАУЧНОГО ТЕКСТА И ЕЁ УЧЁТ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ **37**

**Павлыш В.Н., Перетолчина Г.Б.**
ПРИМЕНЕНИЕ МАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ **40**

**Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Асташинский В.А. Оковитый В.В.**
ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕРАВНОВЕСНЫХ СТРУКТУР В ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ **45**

**Стешков А.Е., Парфенов В.Э., Парфенова Н.Н., Хандожко А.В., Киричек А.В.**
РАЗРАБОТКА ЧЕРНОВОЙ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА КРУПНОГО МОДУЛЯ **49**

**Переверзев П.П., Акинцева А.В., Алсигар М.К.**
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА **54**

**Петрова М.С., Лукиенко Л.В.**
ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНУЮ ПОДГОТОВКУ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗПАСНОСТЬ» В ТГПУ ИМ. Л.Н. ТОЛСТОГО **58**

**Михайлов В.А., Пичко А.П., Хавлин Т.В., Колодяжный А.А., Михайлов Д.А., Шейко Е.А., Гитуни А., Михайлов А.Н.**
ПОВЫШЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ВЕРТОЛЕТНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ **62**

**Плотников Н. С., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А.**
ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА **66**

**Поветкин В.В., Орлова Е.П., Исаметова М.Е., Букаева А.З.**
ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПРОФИЛЕМ **70**

**Попов А.И., Новиков В.И., Радкевич М.М., Медко В.С.**
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НАБОРНОГО ТОКОПОДВОДА ПРИ СТРУЙНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ **74**

**Прейс В.В., Усенко Н.А.**
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАГРУЗКИ ШТУЧНЫХ ЗАГОТОВОК В ТРУДАХ ТУЛЬСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ АВТОМАТИЗАЦИИ **78**

**Прокофьев А.Н., Польский Е.А., СорокинС.В., Звягинцев Ф.Д., Прыткова Е.С.**
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВЫСОКОТОЧНЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ **83**

**Радин В.П., Чирков В.П., Щугорев В.Н., Щугорев А.В.**
УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТОГО ТРУБОПРОВОДА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ **87**

**Ракунов Ю.П., Абрамов В.В.**
КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПОДСИСТЕМ СОВРЕМЕННОГО ГРУППОВОГО ПРОИЗВОДСТВА **91**

**Розоринов Г.Н., Чичикало Н.И., Киктев Н.В.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСИ УГЛЕРОДА В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ АВТОТРАНСПОРТА **99**

**Рябичев В.Д., Витренко В.А., Зинченко А.М.**
ПРОФИЛИРОВАНИЕ ГИПЕРБОЛОИДНОГО ОБКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАКАТКИ ЗУБЬВ ПРИ ПОМОЩИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ **108**

**Савельев К.С., Киселев Е.С.,**
К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЗ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ МИНЕРАЛОКЕРАМИКИ **111**

**Самсонов Ю.П., Щугорев В.Н.**
РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ «ОБКАТКИ» РОТОРА В ТУРБОМАШИНАХ **116**

**Свиридов А.А., Усенко Н.А.,**
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОВОЙ ТРЕХМАССНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛОТКОВОГО ВИБРАЦИОННОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА **118**

**Семенов А.Н., Непомилуев В.В.**
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ УЗЛОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ МАШИН **122**

**Серга Г. В., Белокур К.А., Хвостик Э. А.**
КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ И УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН **126**

**Синолицын Э.К., Бацемакин М.Ю., Бабец А.В.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ АДГЕЗИОННЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ НИЗКОСКОРОСТНОМ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ **132**

**Скворцов А.И., Сергеева А.В.**
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРА И МЕХАНИЗМЫ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ–ЦИНК **136**

**Сорокина Е.В., Клюкин В.Ю., Крохмаль В.В.**
ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ В СОСУДАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ **139**

**Степанов Д.А., Костенко А.В.**
ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ УСТРОЙСТВ **148**

**Стрельников В.И.**
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА **150**

**Савин Л.А., Поляков Р.Н., Корнаев А.В.**
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И МЕХАТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В

МАШИНОСТРОЕНИИ И СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ **154**

**Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Исаев А.Г., Сосницкая Т.С.**
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШАРИКО-СТЕРЖНЕВЫМ УПРОЧНИТЕЛЕМ **157**

**Таращанский М.Т., Чалая Е.Ю.**
ОСНОВЫ СИНТЕЗА ГЕОМЕТРИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АРОЧНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ СМЕШАННОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С КРУГОВОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ЛИНИЕЙ ЗУБА **163**

**Тюрин А.Н.**
ПОВЫШЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ АВТОПРОМА КАЗАХСТАНА **167**

**Федонин О.Н., Хандожко А.В., Польский Е.А, Щербаков А.Н., Захаров Л.А., Федуков А.Г.**
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИФИЦИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ **172**

**Федоров В. П., Нагоркин М. Н.**
К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ **176**

**Филиппов Д.Л.**
К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ **181**

**Хавлин Т.В., Михайлов А. Н., Михайлов Д. А., Михайлов В. А.**
СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛОПАТОК ТУРБИНЫ АВИАЦИОННГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ. **188**

**Хейфец М.Л., Бородавко В.И., Пынькин А.М., Грецкий Н.Л., Сенють В.Т., Кухта С.В., Пуйман Д.В.**
ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОСЛОЙНОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ **192**

**Хейфец М.Л.,Бородавко В.И., Пынькин А.М., Грецкий Н.Л., Семененко Д.В., Антончик К.А.**
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ **198**

**Хроматов В.Е., Щугорев В.Н., Серков С.А.**
РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ МОСКОВСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НА КОНФЕРЕНЦИЯХ ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В Г. СЕВАСТОПОЛЕ **204**

**Хроматов В.Е., Комиссарова Т.Н., Панкрашкина Н.Г., Бугаев Н.М.**
ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ПРИ ИЗЛОЖЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН **209**

**Лагунова Ю.А., Царькова Е.Н.,**
ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СНИЖЕНИЯ МАССЫ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ **213**

**Цымбалов Д.С., Яценко О.В.**
О МЕХАНИЗМЕ И ПАРАМЕТРАХ ОЗОНОВЫХ ДЫР, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЗАПУСКАХ ЖИДКОТОПЛИВНЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ **217**

**Цыркин А.Т., Раев С.С.**
БРОНЗА И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НЕЕ: ОТ ДРЕВНЕГО МИРА ДО СОВРЕМЕННСТИ **221**

**Чесноков А.В., Старцев В.А., Андреев В.Н., Перевезенцев В.А., Тимофеев А.Н., Тимофеев И.А.**
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ **231**

**Шабаев О.Е., Нечепаев В.Г., Зинченко П.П.**
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ЗАХВАТА ШНЕКОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ **237**

**Шажко Я.В., Соколов В.К., Ожегова Л.Д.**
О ПЕРСПЕКТИВАХ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ **243**

**Шигин А.О., Шигина А.А., Ступина А.А.**
ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕПРОГНОЗИРУЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОРОДНОГО МАССИВА **247**

**Шмат А. С., Петрешин Д. И., Хандожко А. В.**
УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДИКИ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ **251**

**Шнейберг А.М., Ширшкова М.А., Иванов С.В.**
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ШТАМПОВКЕ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ **255**

**Щугорев В.Н., Цой В.Е., Подмазов Д.А., Щугорев А.В.**
РЕГИСТРАЦИЯ НИЗКОСКОРОСТНОГО УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ACTION КАМЕРЫ **259**

**Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К., Николаенко В.Л.**
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННЫХ

ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО КАРБИДАМИ **262**

**Дударев А.С., Катаева С.П., Подвинцев А.В.**
РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА АКТИВНЫХ РЕЖУЩИХ ЗЁРЕН НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО КОЛЬЦЕВОГО СВЕРЛА **268**

**Ладоша Е.Н., Цымбалов Д.С., Яценко О.В.**
КОМПАКТНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ **272**

**Петрова И.М., Филимонов М.А**
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ШАТУНОВ ОППОЗИТНОГО КОМПРЕССОРА **276**

**Пучков Н.П., Дорохова Т.Ю.**
ЦЕЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ **281**

**Bokhonsky A. I., Varminskaya N. I., Mozolevskaya T.V.**
MOTION OF SYSTEM WITH PROJECTED FREQUENCIES **285**

**Kaverina O.G., Prikhodchenko Y.I.**
THE PEDAGOGICAL PROCESS RENOVATION WITH THE INNOVATIVE TECHNOLOGY OF THE ACTIVITY APPROACH **289**

**Prikhodchenko Y. I., Kapatsina N. N.**
USING PEDAGOGICAL HERMENEUTICS IN THE FORMATION OF THE CREATIVE LEARNING SPACE **292**

**Toca A., Iatchevici V., Nitulenco T. and Rusu N.**
ON THE SYSTEMIC CHARACTER OF THE TECHNOLOGY TRANSFER PROCESS **296**

**Toca A., Stroncea A., Rushica I.**
INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL DIMENSIONAL STRUCTURES ON THE TECHNOLOGICAL ACCURACY AND ON THE VALUES OF MACHINING ALLOWANCES **300**

**До Тат Мань, Сахно К. Н., Нго Жа Вьет**
РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СБОРКИ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЯМЫХ ТРУБ **307**

**Звягинцева А.В., Вербицкая М.В.**
ПРОБЛЕМА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЭЦ) И РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ **314**

**Клестер С.В., Звягинцева А.В.**
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ – ГЛАВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: СИСТЕМ ГАЗОГЕНЕРАЦИИ **321**

**Бабичев Д.Т., Бабичев Д.А., Лебедев С.Ю.**
НАХОЖДЕНИЕ ВЫСОТЫ МАКРОНЕРОВНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ЗУБЬЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДАМИ ОГИБАНИЯ **327**

**Витренко В.А., Ефимов А.А., Кузнецова М.Н.**
ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОСТРАНСТВЕННОМ СТАНОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ **336**

**Бобанова Ж.И., Петренко В.И., Рушика И.Д.**
СВОЙСТВА СПЛАВОВ Co-W, ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ ИЗ ГЛЮКОНАТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ **340**

**Кудрявцев В.Н., Парамонова В.А.**
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИ ДВУХСУППОРТНОЙ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ **344**

**Бахадиров Г.А., Баракаев Н.Р., Носиров М.И.**
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛ ВТЯГИВАНИЯ И ТОРМОЖЕНИЯ В ВАЛКОВОМ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ **349**

# ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ


**Абрамов В.В.** 91
**Акинцева А.В.,** 54
**Акула И.П.** 23,27
**Алсигар М.К.** 54
**Андреев В.Н.,** 231
**Антончик К.А.** 198
**Асташинский В.А.** 45
**Бабец А.В.** 132
**Бабичев Д.А.** 327
**Бабичев Д.Т.** 327
**Бацемакин М.Ю.,** 132
**Баракаев Н.Р.** 349
**Бахадиров Г.А.** 349
**Белова Н.С.** 11
**Белокур К.А.,** 126
**Бобанова Ж.И.** 340
**Бородавко В.И.,** 192,198
**Бугаев Н.М.** 209
**Букаева А.З.** 70
**Бурлаева Е.И.,** 32
**Вербицкая М.В.** 314
**Витренко В.А.,** 108, 336
**Гитуни А.** 62
**Грецкий Н.Л.,** 192,198
**Девойно О.Г.,** 262
**До Тат Мань** 307
**Дорохова Т.Ю.** 281
**Дударев А.С.,** 268
**Ефимов А.А.** 336
**Зайцева М.Н.** 37
**Захаров Л.А.,** 172
**Звягинцев Ф.Д.,** 83
**Звягинцева А.В.** 314,321
**Зинченко А.М.** 108
**Зинченко П.П.** 237
**Зори С.А.** 32
**Иванов С.В.** 255
**Исаев А.Г.,** 157
**Исаметова М.Е.,** 70
**Кардаполова М.А.,** 262
**Катаева С.П.,** 268
**Киктев Н.В.** 99
**Киричек А.В.** 49
**Киселев Е.С.,** 111
**Клестер С.В.** 321
**Клюкин В.Ю.,** 139
**Ковалева Е. В.** 7
**Колодяжный А.А.** 62
**Комиссаров А. П.** 66
**Комиссарова Т.Н.** 209
**Корнаев А.В.** 154
**Костенко А.В.** 148
**Крохмаль В.В.** 139
**Кудрявцев В.Н.** 344
**Кузнецова М.Н.** 336
**Кухта С.В.,** 192
**Лагунова Ю. А.** 66,213
**Ладоша Е.Н.,** 272
**Лебедев С.Ю.** 327
**Лукиенко Л.В.** 58
**Медко В.С.** 74
**Михайлов А. Н.,** 62,188
**Михайлов В. А.** 62,188
**Михайлов Д. А.,** 62,188
**Нагоркин М. Н.** 3,176
**Нагоркин М. Н.,** 7
**Нго Жа Вьет** 307
**Непомилуев В.В.** 11,122
**Нечепаев В.Г.,** 237
**Никитин И.Е.,** 16
**Николаенко В.Л.** 26
**Николаенко Д.В.** 16
**Новиков В.И.,** 74
**Новичков В.А.,** 20
**Носиров М.И.** 349
**Овчинников Е.В.,** 23,27
**Ожегова Л.Д.** 243
**Оковитый В.А.,** 45
**Оковитый В.В.** 45
**Орлова Е.П.,** 70
**Павлыш В.Н.,** 32,37,40
**Панкрашкина Н.Г.,** 209
**Пантелеенко Ф.И.,** 45
**Парамонова В.А.** 344

# ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ


**Парфенов В.Э., 49**
**Парфенова Н.Н., 49**
**Перевезенцев В.А. 231**
**Переверзев П.П., 54**
**Перетолчина Г.Б. 40**
**Петренко В.И. 340**
**Петрешин Д. И., 251**
**Петрова И.М., 276**
**Петрова М.С., 58**
**Пичко А.П., 62**
**Плотников Н. С., 66**
**Поветкин В.В., 70**
**Подвинцев А.В. 268**
**Подмазов Д.А., 259**
**Польский Е.А, 83,172**
**Поляков Р.Н., 154**
**Попов А.И., 74**
**Прейс В.В., 78**
**Прокофьев А.Н., 83**
**Прыткова Е.С. 83**
**Пуйман Д.В. 192**
**Пучков Н.П., 281**
**Пынькин А.М., 192**
**Пынькин А.М., 198**
**Радин В.П., 87**
**Радкевич М.М., 74**
**Раев С.С. 221**
**Ракунов Ю.П., 91**
**Розоринов Г.Н., 99**
**Рушика И.Д. 300, 340**
**Рябичев В.Д., 108**
**Савельев К.С., 111**
**Савин Л.А., 154**
**Самсонов Ю.П., 116**
**Сахно К. Н. 307**
**Свиридов А.А., 118**
**Семененко Д.В., 198**
**Семенов А.Н., 122**
**Сенють В.Т., 192**
**Серга Г. В., 126**
**Сергеева А.В. 136**
**Серков С.А. 204**
**Синолицын Э.К., 132**
**Скворцов А.И., 136**
**Соколов В.К., 243**
**Сорокина Е.В., 139**
**СорокинС.В., 83**
**Сосницкая Т.С. 157**
**Старцев В.А., 231**
**Степанов Д.А., 148**
**Степанова Е.А. 20**
**Стешков А.Е., 49**
**Стрельников В.И. 150**
**Ступина А.А. 247**
**Тамаркин М.А., 157**
**Таращанский М.Т., 163**
**Тимофеев А.Н., 231**
**Тимофеев И.А. 231**
**Тищенко Э.Э., 157**
**Тюрин А.Н. 167**
**Усенко Н.А. 78,172**
**Федонин О.Н., 172**
**Федоров В. П., 7,176**
**Федуков А.Г. 172**
**Филимонов М.А 276**
**Филиппов Д.Л. 181**
**Хавлин Т.В., 62,188**
**Хандожко А. В. 49,172, 251**
**Хвостик Э. А. 126**
**Хейфец М.Л., 192,198**
**Хроматов В.Е., 204,209**
**Царькова Е.Н., 213**
**Цой В.Е., 259**
**Цымбалов Д.С., 217,272**
**Цыркин А.Т., 221**
**Чалая Е.Ю. 163**
**Чекан Н.М., 23,27**
**Чесноков А.В., 231**
**Чирков В.П., 87**
**Чичикало Н.И., 99**
**Шабаев О.Е., 237**
**Шажко Я.В., 243**
**Шейко Е.А., 62**

# ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ


**Шигин А.О.,** **247**
**Шигина А.А.,** **247**
**Ширшкова М.А.,** **255**
**Шмат А. С.,** **251**
**Шнейберг А.М.,** **255**
**Щербаков А.Н.,** **172**
**Щугорев А.В.** **87,259**
**Щугорев В.Н.** **87,116, 204,259**
**Эйсымонт Е.И,** **23,27**
**Яценко О.В.** **217,272**
**Яцкевич О.К.,** **262**
**Bokhonsky A. I.,** **285**
**Iatchevici V.,** **296**
**Kapatsina N. N.** **292**
**Kaverina O.G.,** **289**
**Mozolevskaya T.V.** **285**
**Nitulenco T.** **296**
**Prikhodchenko Y. I.,** **292**
**Prikhodchenko Y.I.** **289**
**Rushica I.** **300**
**Rusu N.** **296**
**Stroncea A.,** **300**
**Toca A.,** **296**
**Toca A.,** **300**
**Varminskaya N. I.,** **285**

**XXV международная**
**научно-техническая конференция**

# «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА»

## Сборник трудов

## Том 2

**ISSN 2079-2670**

Компьютерная верстка сборника – Лахин А.М.

Пописано к печати 01.09.2018. Формат 60x84 $^{1}/_{16}$ Бумага XEROX
Ризографическая печать Усл. печ. л. 14,9
Уч.-из. л. 16 Тираж 100 экз. Заказ № 1

Издательство ЧП “Технополис”
Свидетельство о внесении в государственный реестр субъекта
издательского дела ДК № 1221 от 05.02.2003.
283001, г. Донецк, пр. Дзержинского 1
Тел. +38 062 305-01-04
E-mail: *mntk21@mail.ru*