

# ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА С КОЛЬЦЕВЫМ ОРИЕНТАТОРОМ

Давыдова Е.В., Прейс В.В., Хачатурян А.В. (ТулГУ, г. Тула, Россия)  
Тел. +7 (4872) 734493; E-mail: [rabota-preys@yandex.ru](mailto:rabota-preys@yandex.ru)

**Abstract:** A verification of the mathematical model of productivity of the mechanic hopper feeding device with the ring orientation device for form processing bodies of revolution with an implicit asymmetry at the ends are considered.

**Key words:** verification, mathematical model, hopper feeding device, productivity.

Для захвата и ориентирования предметов обработки формы с неявно выраженной асимметрией торцов и незначительным смещением центра масс вдоль продольной оси симметрии предложена усовершенствованная конструкция механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства (БЗУ) с кольцевым ориентатором [1].

Фактическая производительность  $\Pi_{\Phi\text{БЗУ}}$  механического дискового БЗУ определяются выражениями:

$$\Pi_{\Phi\text{БЗУ}} = \Pi_{\text{ТБЗУ}} \eta, \quad (1)$$

$$\Pi_{\text{ТБЗУ}} = 60 \frac{v u}{\pi D_{\text{к}}}, \quad (2)$$

$$\eta = \eta_{\text{max}} (1 - \varepsilon v^4), \quad (3)$$

где  $\Pi_{\text{ТБЗУ}}$  – теоретическая производительность БЗУ, шт./мин;  $\eta$  – коэффициент выдачи БЗУ;  $v$  – окружная скорость вращающегося диска БЗУ по центру захватывающих органов (карманов), м/с;  $u$  – число карманов;  $D_{\text{к}}$  – диаметр диска по центру карманов;  $\eta$  – коэффициент выдачи БЗУ;  $\eta_{\text{max}}$  – максимальный коэффициент выдачи, соответствующий окружной скорости диска с захватывающими органами, стремящейся к нулю;  $\varepsilon$  – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности БЗУ.

В работе [2] рассмотрена математическая модель производительности дискового зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором. В основу модели положен разработанный соавторами методологический подход, заключающийся в том, что для математического описания коэффициента выдачи используют выражение (3), предложенное проф. В.Ф. Прейсом, а математическое описание максимального коэффициента выдачи ищут в виде произведения вероятностей, предложенных проф. М.В. Медвидем [3].

Математическое описание коэффициента  $\varepsilon$ , получаем, принимая во внимание известный факт, что при достижении некоторого предельного значения окружной скорости  $v_{\text{max}}$  вращающегося диска с гнездами фактическая производительность БЗУ (1) падает до нуля. Тогда из выражения (3) коэффициент  $\varepsilon$  может быть определен следующим образом

$$\varepsilon = v_{\text{max}}^{-4}. \quad (4)$$

Рассматривая процесс западания предмета обработки в радиальный паз, при котором произойдет неупругий удар предмета обработки о край паза и предмет будет выброшен из паза, определим как

$$v_{\text{max}} = \sqrt{0,75 + \frac{\Delta}{d_1}} \sqrt{g d_1}, \quad (5)$$

где  $d_1$  – диаметр цилиндрического торца предмета обработки;  $\Delta$  – конструктивный зазор между цилиндрической поверхностью предмета обработки и радиальным пазом;  $g$  – ускорение свободного падения.

Для верификации предложенной математической модели был разработан экспериментальный макет БЗУ и проведены экспериментальные исследования его фактической производительности. В экспериментальной конструкции БЗУ принято: диаметр по центру карманов  $D_k = 0,39$  м; число карманов  $u = 58$ . Экспериментальные исследования БЗУ были проведены на стальных предметах обработки с коническим торцом двух типоразмеров по соотношению длины  $l$  к диаметру  $d_1$  (рис. 1).

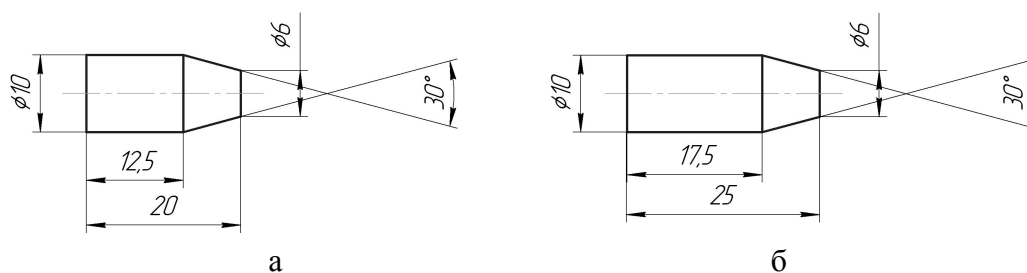


Рис. 1. Чертежи предметов обработки с коническими торцами:  
а –  $l/d_1 = 2$ ; б –  $l/d_1 = 2,5$

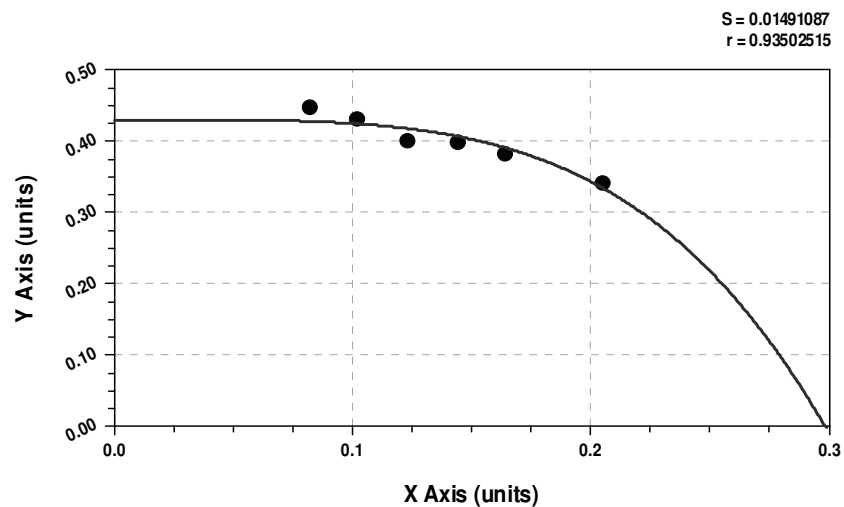
Результаты экспериментальных исследований дискового зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором для двух типоразмеров предметов обработки (см. рис. 1) представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований дискового зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором

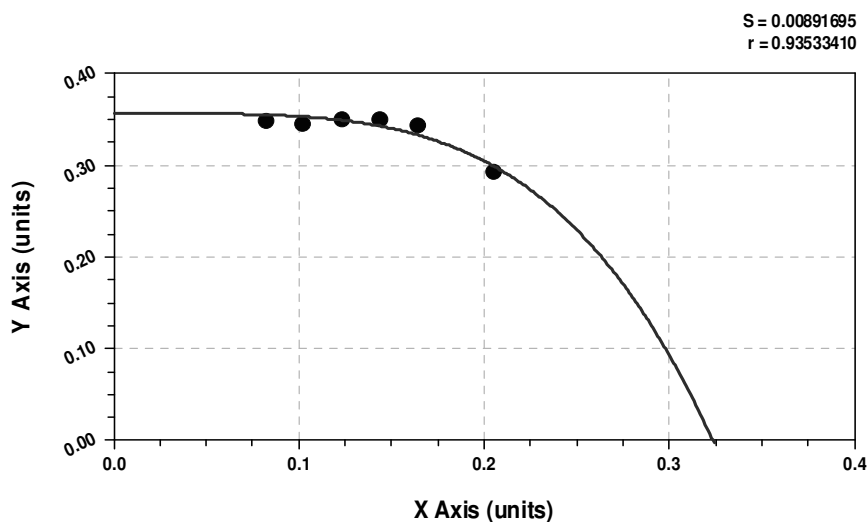
Окружная скорость зубчатого диска по центру карманов $v$ , м/с	0,082	0,102	0,123	0,144	0,164	0,205
Теоретическая производительность $\Pi_{Т\text{БЗУ}}$ , шт./мин	232	290	348	406	464	580
Типоразмер предмета обработки $l/d_1 = 2$ (рис. 1, а)						
Среднее арифметическое значение фактической производительности $\Pi_{ф\text{БЗУ}}$ , шт./мин	104	125	140	162	177	198
Коэффициент выдачи $\eta$	0,448	0,431	0,402	0,399	0,382	0,341
Типоразмер предмета обработки $l/d_1 = 2,5$ (рис. 1, б)						
Среднее арифметическое значение фактической производительности $\Pi_{ф\text{БЗУ}}$ , шт./мин	81	100	122	142	155	170
Коэффициент выдачи $\eta$	0,349	0,345	0,351	0,350	0,344	0,293

По результатам экспериментов (см. табл. 1) с помощью стандартного пакета *CurvExpert 1.3* были построены аппроксимирующие функции в форме уравнения (3),

отражающие зависимость коэффициента выдачи БЗУ от окружной скорости зубчатого диска по центру карманов (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Аппроксимирующие функции (выходные графики пакета *CurvExpert 1.3*) экспериментальной зависимости коэффициента выдачи БЗУ ( $y \equiv \eta$ ) от окружной скорости ( $x \equiv v$ , м/с) зубчатого диска для двух типоразмеров предметов обработки: а –  $l/d_1 = 2$ ; б –  $l/d_1 = 2,5$ ; • – экспериментальные значения коэффициента выдачи

Величины стандартного среднеквадратического отклонения  $S = 0,0149$ ;  $0,0089$  и коэффициента корреляции  $r = 0,935$  (см. рис. 3) говорят о хорошей сходимости результатов аппроксимации. Уравнения аппроксимирующих функций  $y(x) \equiv \eta(v)$  зависимости коэффициента выдачи (3) от окружной скорости зубчатого диска для двух типоразмеров предметов обработки:

а)  $l/d_1 = 2$  (см. рис. 3, а)

$$\eta = 0,431 - 126,8v^4; \quad (6)$$

б)  $l/d_1 = 2,5$  (см. рис. 3, б)

$$\eta = 0,357 - 91,8v^4. \quad (7)$$

Приравнивая нулю аппроксимирующие уравнения (6), (7) и решая их, получим значения окружных скоростей  $v_{\max}$  зубчатого диска, при которых фактическая производительность БЗУ стремится к нулю.

Результаты аппроксимации сведены в табл. 2, где указаны экспериментальные значения максимального коэффициента выдачи  $\eta_{\max}$ , коэффициента  $\varepsilon$  и максимальной скорости диска  $v_{\max}$ , а также их теоретические значения, полученные из разработанной ранее математической модели производительности зубчатого БЗУ и вышеприведенных выражений (4), (5).

Таблица 2 - Результаты верификации математической модели производительности дискового зубчатого БЗУ

Типоразмер предмета обработки	$\eta_{\max}$		$\varepsilon$		$v_{\max}$ , м/с	
	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.
$l/d_1 = 2$ (рис. 1, а)	0,431	0,450	126,8	143,4...94,5	0,298	0,289...0,321
$l/d_1 = 2,5$ (рис. 1, б)	0,357	0,350	91,8		0,323	

Как следует из табл. 2 теоретические и экспериментальные значения основных величин, входящих в выражения (1) – (3), определяющие фактическую производительность дискового зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором, в принципе хорошо согласуются между собой.

Таким образом, верификация разработанной математической модели производительности механического дискового зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором на основе результатов экспериментальных исследований позволяет говорить о возможности её использования в практике конструирования подобных БЗУ на заданную производительность.

**Список литературы:** 1. Патент № 159403 РФ. МПК8 В 23Q 7/02. Бункерное загрузочное устройство / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс, А.В. Хачатурян. Оpubл. 10.02.2016. Бюл. № 4. 2. Давыдова Е.В., Дружинина А.В., Прейс В.В. Компьютерное моделирование производительности механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: материалы междунар. научно-техн. конф. в г. Севастополе, 8-12 сентября 2014 г. / Севастоп. гос. техн. ун-т; науч. ред. В.Я. Копп. Севастополь: СевГТУ, 2014. С. 27-29. 3. Давыдова Е.В., Прейс В.В. Автоматическая загрузка стреловых предметов обработки с неявно выраженной асимметрией по торцам / Под ред. В.В. Прейса. Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. 112 с. 4. Дружинина А.В., Прейс В.В. Экспериментальные исследования производительности дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором // Производительность и надежность технологических систем в машиностроении: сб. науч. трудов междунар. научно-техн. конф., посвящ. 85-летию со дня рожд. д-ра техн. наук, проф. Волчкевича Л.И., 20-23 мая 2015 года в г. Москве; под науч. ред. В.В. Прейса и И.Л. Волчкевича. Тула: Изд-во ТулГУ. 2015. С. 99-104.