

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВЫДАЧИ КРЫШЕК В РОТОРНУЮ ЗАКАТОЧНУЮ МАШИНУ

Дубчинский А.В., Прейс В.В., Провоторов Д.А. (ОАО «КБАЛ им. Л.Н. Кошкина,  
г. Климовск, ТулГУ, г. Тула, Россия)  
Тел. +7 (4872) 332438; E-mail: [rabota-preys@yandex.ru](mailto:rabota-preys@yandex.ru)

**Abstract:** We consider the improved design of the automatic issuance of the rotor caps canning machine, A mathematical model of the process of issue cover from the store, as well as experimental results confirming the adequacy of the mathematical model.

**Key words:** rotary sealing machine, dispenser caps, mathematical model, experimental research.

Одной из таких областей эффективного применения роторных машин является консервная промышленность. Анализ современного состояния российской консервной промышленности показывает, что на действующих предприятиях более 91 % парка закаточных машин имеют срок эксплуатации более 12 лет, при среднем сроке службы до полного капитального ремонта около 7 лет. На российском рынке сложился устойчивый дефицит нового закаточного оборудования, восполняемый в основном за счет итальянских, испанских, немецких, а за последние несколько лет и китайских производителей [1]. Отечественная консервная промышленность остро нуждается в современных роторных закаточных машинах производительностью 200... 400 банок/мин.

Производительность и надежность роторных закаточных машин во многом зависит от устройства выдачи крышек в зону обработки, которое должно быть надежным, технологичным и простым в наладке.

С целью уменьшения контакта крышки с отсекателем, а, следовательно, возможных повреждений, предложена схема усовершенствованного устройства автоматической выдачи крышек (рис. 1), в котором отсекатель 1 крышек, имеет винтовую канавку с переменным шагом, взаимодействующую с отделяемой крышкой, а стопа крышек 2 находится под углом к горизонтальной плоскости и одним краем лежит на направляющей 3 [2]. На рис 2 показана расчетная схема падения крышки из магазина.

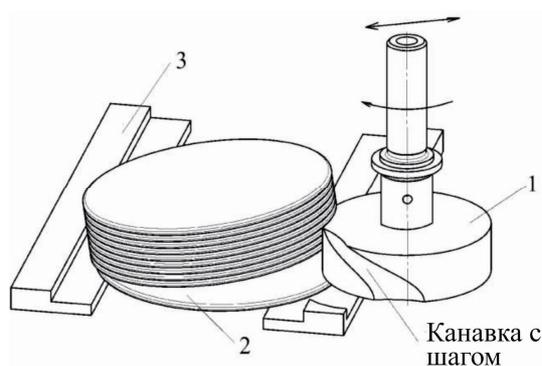


Рис. 1. Схема усовершенствованного устройства автоматической выдачи крышек: 1 – отсекатель; 2 – стопа крышек; 3 – направляющая

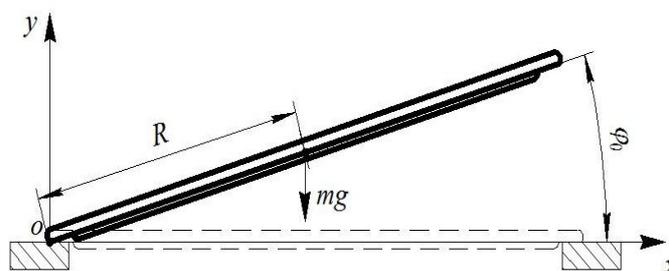


Рис. 2. Расчётная схема падения крышки из магазина

Выполнение отсекателя с винтовой канавкой, имеющей переменный шаг, позволит обеспечить плавное изменение скорости падения крышки при отделении её от стопы до момента укладки на направляющую, в отличие от известных устройств, где ха-

ракетер изменения скорости крышки при падении не учитывается. Таким образом, установление закона изменения скорости падения крышки является необходимым условием моделирования процесса.

После отсечения от стопы крышка радиуса  $R$  и массой  $m$ , установленная под углом  $\varphi_0$ , под действием силы тяжести падает на направляющие, при этом один ее конец зажат в стопе (точка  $O$ ) и является центром вращения, а диаметральной противоположный конец крышки совершает свободное вращение относительно неподвижной точки  $O$ . При этом за время  $t$  угол изменяется от  $\varphi_0$  до  $\varphi = 0$ .

Уравнение вращательного движения крышки относительно точки  $O$

$$M \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\cos\varphi, \quad M = \left( \frac{\pi R^2}{4} + 1 \right) \frac{R}{g}$$

с начальными условиями:  $\varphi_{t=0} = \frac{\pi}{18}$  и  $\frac{d\varphi}{dt}_{t=0} = 0$ .

Получить аналитическое решение данного уравнения не представляется возможным, поэтому выполнено его приближенное решение в виде рядов по степеням времени. В результате решение уравнения может быть представлено в виде

$$\varphi \approx \varphi_0 - \frac{1}{2} \frac{\cos(\varphi_0)}{M} t^2. \quad (1)$$

Уравнение (1) позволяет определить теоретическое время падения крышки при  $\varphi = 0$ . Записав уравнение динамики вращательного движения в виде

$$Y \frac{dw}{dt} = \sum Mi,$$

можем определить линейную скорость падения свободного конца крышки

$$V = \left( \sqrt{\frac{2g}{\left( \frac{\pi R^2}{4} + 1 \right)}} \cdot (\sqrt{\sin \varphi_0} - \sqrt{-\sin \varphi}) \right) \cdot 2R. \quad (2)$$

В связи с тем, что изменение скорости свободного падения крышки носит нелинейный характер, путь, который она проходит, также будет меняться нелинейно в соответствии с выражением

$$S(t) = 2 \cdot R \cdot \sin(\varphi(t)). \quad (3)$$

За время падения крышки вращающийся отсекатель должен повернуться на некий угол  $\gamma$ , который зависит от заданной угловой скорости вращения отсекателя в соответствии с выражением

$$\gamma = 2 \cdot \pi \cdot W \cdot t, \quad (4)$$

где  $W$  – угловая скорость вращения отсекателя.

Длина участка  $L$ , который пройдет отсекатель за время  $t$  равна

$$L = 2 \cdot r \cdot \sin(\pi \cdot W \cdot t), \quad (5)$$

где  $r$  – радиус отсекателя,  $W$  – частота вращения отсекателя, об/мин.

На рис. 3 показана расчетная схема отсекателя, на которой показан профиль замкнутой поверхности при повороте отсекателя на угол  $\gamma$  и прохождении им пути  $L$  при одновременном прохождении крышкой пути  $S$  и ее падении на направляющую.

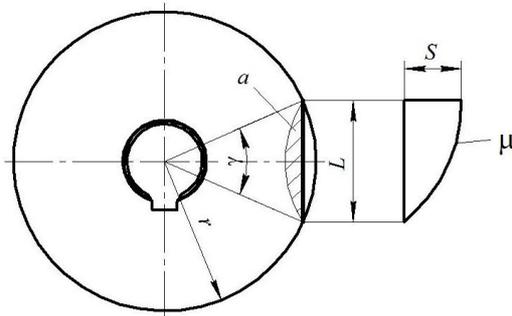


Рис. 3. Расчётная схема отсекателя

Для обеспечения плавного падения крышки, в соответствии с законом изменения ее скорости, необходимым условием является определение функции  $S(L)$ , отражающей изменение координат точки касания крышки и криволинейной поверхности отсекателя во времени, образующих кривую  $\mu$ . Таким образом, при проецировании кривой  $\mu$  на боковую поверхность отсекателя, в сечении которого лежит сегмент  $a$ , геометрически повторяющий контур заходящего в отсекатель края крышки.

Для нахождения аналитической зависимости  $S(L)$  выразим  $t$  из выражения (5) и подставим в выражение (3)

$$S = 2r \cdot \sin \left( \varphi_0 - \frac{\cos \varphi_0}{2\pi} \left( \frac{\arcsin \left( \frac{L}{2r} \right)}{\pi W} \right)^2 \right). \quad (6)$$

Путем проецирования кривой  $\mu$  на боковую поверхность отсекателя, в сечении которого лежит сегмент  $a$ , геометрически повторяющий контур заходящего в отсекатель края крышки, получаем винтовую поверхность  $b$  (рис. 4), обеспечивающую плавное опускание крышки на направляющую в соответствии с законом изменения ее скорости во времени.

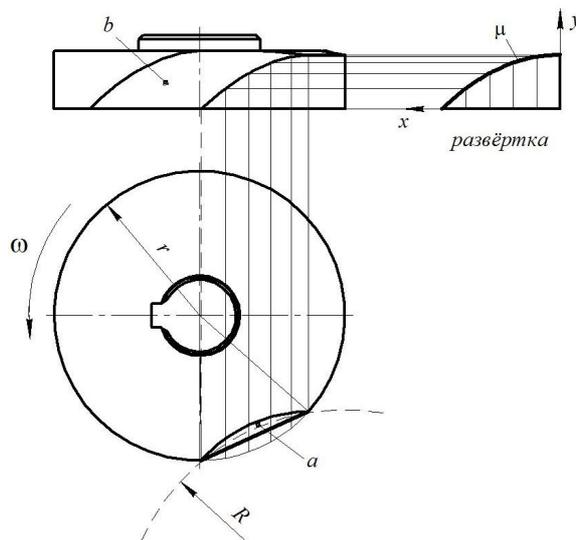


Рис. 4. Результат проецирования кривой  $\mu$  на боковую поверхность отсекателя

Современные системы автоматизированного проектирования позволяют выполнять операции проецирования кривых на поверхности различных тел, в том числе и ци-

линдрических, путём специальных команд. Обязательным условием такого вида построений является задание функции изменения  $y(x)$ , которой в нашем случае является найденная зависимость  $S(L)$ .

С целью проверки адекватности математической модели, представленной выше, был разработан и изготовлен опытный образец устройства выдачи крышек, состоящий из корпуса, в котором расположен магазин для крышек и отсекающий механизм, а также двух направляющих. Угол наклона стопы крышек относительно горизонтальной плоскости составляет  $9^\circ$ , который соответствует углу наклона стопы в закаточном автомате, выбранном в качестве прототипа. В качестве устройства, регистрирующего время падения крышки, использовалась видеокамера для скоростной съемки движущихся объектов GoPro HERO3 black edition. Скорость видеосъемки для данной модели составляет 120 кадров в секунду [3].

В экспериментах использовали крышки двух типоразмеров: 1-й типоразмер – диаметр крышки 110 мм, масса 16 г; 2-й типоразмер – диаметр крышки 83,4 мм, масса 9 г. Всего было проведено 20 опытов с видеофиксацией падения крышек из магазина: 10 опытов с падением крышек 1 типоразмера из наполненного магазина, и аналогично, по 10 опытов с падением крышки 2 типоразмера из наполненного магазина [3].

Анализ видеозаписи позволил установить, что за время падения крышек 1-го типоразмера с полным магазином прошло 9 кадров, что соответствует времени  $9/120 = 0,075$  с. Аналогично установлено, что падение крышек 2-го типоразмера происходило за время 0,058 с. В таблице представлены значения времени свободного падения крышек двух типоразмеров на направляющую, полученные теоретически ( $t_{теор.}$ ) с использованием выражения (1), и экспериментально ( $t_{эксп.}$ ).

Теоретические и экспериментальные значения времени свободного падения крышек двух типоразмеров на направляющую

Исполнение крышки	$t_{теор.}, с$	$t_{эксп.}, с$
Исполнение 1	0,071	0,075
Исполнение 2	0,054	0,058

По результатам экспериментального исследования можно сделать вывод, что полученные результаты дают удовлетворительное подтверждение разработанной математической модели свободного падения крышки из магазина. Сравнительный анализ показывает, что расхождение теоретических и экспериментальных значений времени свободного падения крышек на направляющую составляет 5 %.

Экспериментально установленное время падения крышек позволяет прогнозировать фактическую производительность разработанного устройства автоматической выдачи крышек: для 1-го типоразмера крышек - 720 крышек в минуту, для 2-го типоразмера - 896 крышек в минуту.

**Список литературы:** 1. Дубчинский А.В., Прейс В.В. Анализ парка закаточного оборудования в России // Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. трудов междунар. научно-техн. конф. АПИР-17, 16-17 октября 2012 г. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 135-139. 2. Дубчинский А.В., Провоторов Д.А. Совершенствование устройства автоматической выдачи крышек для роторных закаточных машин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып.7; в 2 ч. 2013. Ч. 1. С. 53-59. 3. Дубчинский А.В., Коврежкина Е.А. Исследование производительности устройства автоматической выдачи крышек с использованием скоростной киносъемки // Молодёжный вестник политехнического института: сб. статей. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. С.93-95.