

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДВУХСТОРОННЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Дьякова Э.В.

Тульский государственный университет, Тула

Ключевые слова: автоматическая загрузка, бункерное загрузочное устройство, полуфабрикаты двухстороннего выдавливания, производительность, ориентирование.

Аннотация. В статье рассматривается теоретическое и экспериментальное исследование производительности усовершенствованного бункерного загрузочного устройства для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания. Приведены примеры разработанных математических моделей вероятности и производительности усовершенствованного бункерного загрузочного устройства для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания в зависимости от коэффициента, описывающий зазор между стенкой кармана и бункером бункерного загрузочного устройства, от коэффициента трения и от угла наклона бункера. Разработанные теоретические математические модели вероятности и производительности были проверены экспериментальным методом на макете усовершенствованного бункерного загрузочного устройства, который позволил оценить их адекватность и корректность. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили в совокупности разработать программное обеспечение для проектирования бункерного загрузочного устройства. Данное программное обеспечение основано на разработанных теоретических и экспериментальных математических моделях захвата, и моделях производительности усовершенствованного бункерного загрузочного устройства, которые заложены в программу. При использовании разработанной программы для проектирования бункерного загрузочного устройства значительно повышается точность расчетов, а также снижается время и трудоемкость расчетов.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE PERFORMANCE OF AN IMPROVED HOPPER FEEDING DEVICE FOR SEMI-FINISHED PRODUCTS OF DOUBLE-SIDED EXTRUSION

Diakova E. V.

Tula state university, Tula

Keywords: automatic feeding, hopper feeding device, semi-finished products of double-sided extrusion, performance, orientation.

Abstract. The article considers a theoretical and experimental study of the performance of an improved hopper feeding device for semi-finished products of double-sided extrusion. Examples of the developed mathematical models of the probability and performance of an improved hopper feeding device for semi-finished products of double-sided extrusion are given, depending on the coefficient describing the gap between the pocket wall and the hopper of the hopper feeding device, on the coefficient of friction and on the angle of inclination of the hopper. The developed theoretical mathematical models of probability and productivity were tested experimentally on the layout of an improved hopper feeding device, which allowed us to assess their adequacy and correctness. The theoretical and experimental studies carried out made it possible to jointly develop software for designing a hopper feeding device. This software is based on the developed theoretical and experimental mathematical models of capture, and performance models of the advanced hopper loading device, which are embedded in the program. When using the developed program for designing a hopper loading device, the accuracy of calculations is significantly increased, as well as the time and complexity of calculations are reduced.

Введение

В настоящее время широко применяются различные технологии для производства деталей и изделий в массовом производстве [1-5]. Так широко встречаются детали формы тел вращения в форме колпачка, которые относятся к классу близких к равноразмерным. Например, к таким изделиям относятся полуфабрикаты, получаемые одной из новой технологий двухстороннего полугорячего выдавливания. Такие полуфабрикаты в

ориентированном положении необходимо подавать на операцию вытяжки. Для того, чтобы обеспечить автоматическую загрузку таких полуфабрикатов в линии с требуемой производительностью необходимо спроектировать высокотехнологичное бункерное загрузочное устройство (БЗУ), которое позволит полностью обеспечить один из этапов автоматизации технологического процесса.

Материалы и методы исследований

При осуществлении анализа многих научных отечественных и зарубежных работ, пришли к выводу, что современные концепции построения математической модели производительности БЗУ любых типов конструкций основывается на комплексном подходе. Модели позволяют выбирать наиболее благоприятные условия осуществления отдельных технологических операций с целью повышения производительности и надежности работы БЗУ в целом [6-7].

Было выявлено, что для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания, которые имеют соотношение размеров $0,9 \leq h/d \leq 1,5$ проектирование и построение математических моделей не рассматривалось. В существующих БЗУ при загрузке полуфабрикатов наблюдается резкое снижение производительности, что обусловлено конструктивными особенностями их захватывающих и ориентирующих органов. Поэтому была усовершенствована конструкция механического дискового БЗУ и предложены новые технические решения [8-10].

Производительность усовершенствованного БЗУ для полуфабрикатов определяется по выражению

$$\Pi = \frac{60v}{t} \eta = 60 \frac{v \cdot (1 - v_{\text{пред}}^{-4} \cdot v^4)}{t} \left[1 - (1 - p_{i\text{max}})^3 (1 - p_{i\text{min}})^k \right] \cdot p_c, \quad (1)$$

где η – вероятность захвата; v – окружная скорость захватывающих органов; t – шаг захватывающих органов; $p_{i\text{max}}$ – вероятность которая показывает участки зоны захвата, где полуфабрикаты находятся в один слой; $p_{i\text{min}}$ – вероятность которая показывает участки зоны захвата, где над полуфабрикатами находятся еще один слой полуфабрикатов; k – максимальное значение полуфабрикатов, которое может находиться по окружности карманов при захвате; p_c – вероятность, которая определяет, что при захвате не мешает взаимосцепляемость полуфабрикатов.

Были разработаны математические модели вероятности захвата и производительности БЗУ для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания. Результаты компьютерного моделирования производительности БЗУ для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания были созданы с помощью программного обеспечения Mathcad 14.0 и показаны на рисунке 1.

Влияние на вероятность захвата и производительность БЗУ для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания с соотношением размеров $0,9 \leq h/d \leq 1,1$ и $1,2 \leq h/d \leq 1,5$ коэффициента Δ_1 , который описывает зазор между стенкой кармана и расположившегося в нем полуфабриката, при коэффициенте трения $\mu = 0,3$ и угле наклона бункера $\alpha = 45^\circ$, представлено на графиках их зависимостей от окружной скорости захватывающих органов на рисунке 1.

При математическом моделировании производительности БЗУ было получено, что максимальная производительность для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания с соотношением размеров $0,9 \leq h/d \leq 1,1$ составляет от 100 до 200 шт./мин, а с соотношением размеров $1,2 \leq h/d \leq 1,5$ составляет от 170 до 250 шт./мин в зависимости от коэффициентов трения и коэффициента Δ_1 . При увеличении коэффициента Δ_1 с 1,1 до 1,2, который описывает зазор между стенкой кармана и полуфабрикатом с различным соотношением размеров позволяет повысить показатели захвата и производительности БЗУ в среднем на 5%.

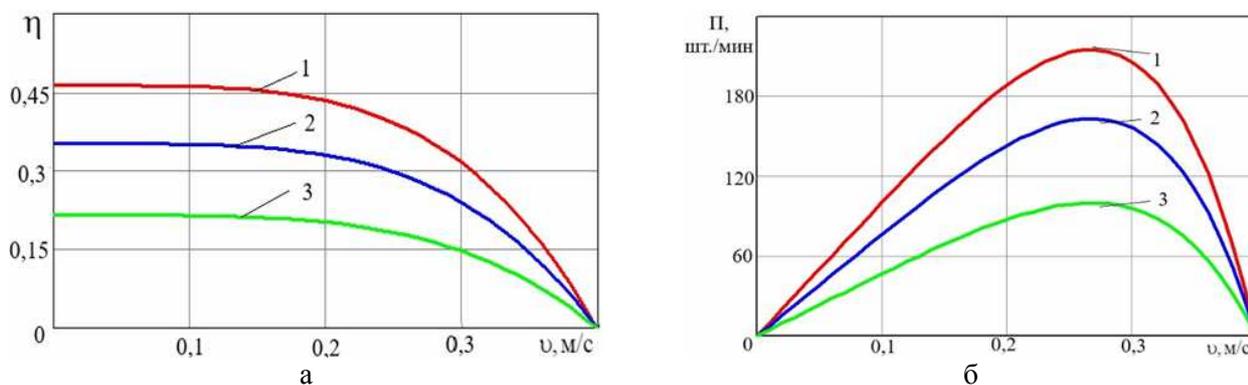


Рис. 1. Результаты математического моделирования вероятности захвата (а) и производительности (б) БЗУ в зависимости от окружной скорости при коэффициенте $\Delta_1 = 1,2$ (1), $\Delta_1 = 1,15$ (2), $\Delta_1 = 1,1$ (3)

По аналогии были получены результаты математического моделирования вероятности захвата и производительности БЗУ в зависимости от коэффициента трения и от угла наклона α бункера. Анализ коэффициента трения μ для полуфабрикатов с любым соотношением размеров показывает, что чем больше его значение вероятность захвата и производительность становится ниже в среднем на 20%. В процессе анализа было выявлено, что при изменении угла наклона бункера с 45° до 55° вероятность захвата и производительность стала выше в среднем на 15%.

Теоретические исследования производительности были верифицированы экспериментальным методом на макете усовершенствованной конструкции БЗУ. Макет усовершенствованной конструкции БЗУ был разработан для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания, которые показаны на рисунке 1. Общий вид макета усовершенствованной конструкции БЗУ представлен на рисунке 2.



Рис. 1. Общий вид полуфабрикатов для проведения экспериментальных исследований

Макет усовершенствованной конструкции имеет электропривод, станину, пульт управления, бункер, основание, вращающийся диск с пазами и приемник для ориентированных полуфабрикатов. Принцип работы заключается в следующем. В бункер засыпаются полуфабрикаты, с помощью пульта управления включается электропривод, который обеспечивает вращение диска. Также с помощью пульта управления регулируется скорость вращения диска. При вращении диска полуфабрикаты западают в его пазы и перемещаются в верхнюю часть бункера по кольцевому пазу. Правильно запавшие полуфабрикаты перемещаются на выдачу в приемник, а не правильно запавшие под действием силы тяжести выпадают из пазов обратно в бункер для ориентирования. Копир, установленный в верхней части бункера позволяет обеспечить эффективность ориентирования неправильно запавших полуфабрикатов. Усовершенствованный макет БЗУ имеет следующие параметры: радиус вращающегося диска $R = 0,2$ м; число захватывающих карманов $k = 40$; толщина диска $h_k = 4$ мм. Угол наклона бункера установлен $\alpha = 45^\circ$.

Таким образом, разработанная усовершенствованная конструкция БЗУ позволяет обеспечить автоматическую загрузку полуфабрикатов двухстороннего выдавливания.

Вначале экспериментальные исследования проводились на макете усовершенствованного БЗУ для проверки корректности и адекватности теоретических исследований при построении математической модели вероятности захвата и модели производительности.

Эксперимент был проведен следующим образом. Полуфабрикаты двухстороннего выдавливания одного размера засыпались в бункер усовершенствованного БЗУ и запускали работу конструкции. Подсчитывание ориентированных полуфабрикатов двухстороннего

выдавливания из БЗУ проводили после 60 с работы конструкции. После подсчета полуфабрикаты двухстороннего выдавливания возвращали в бункер БЗУ и опыт повторяли. Было проведено по 10 опытов для двух видов полуфабрикатов двухстороннего выдавливания.

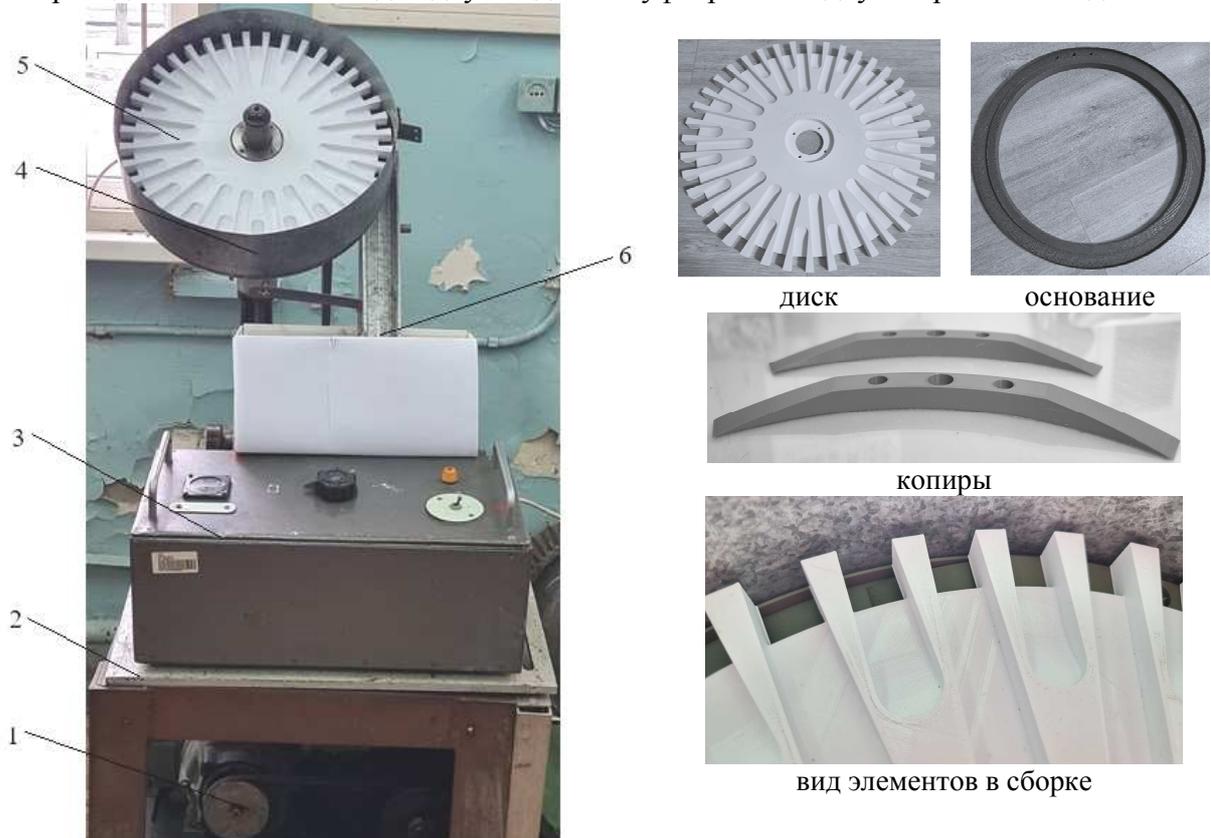


Рис. 2. Макет усовершенствованного БЗУ: 1 – электропривод; 2 – станина; 3 – блок управления; 4 – бункер; 5 – вращающийся диск с пазами; 6 – приемник

По полученным результатам были рассчитаны: значение окружной скорости захватывающих органов $v = \pi n R / 30$; теоретическая производительность БЗУ $\Pi_T = kn$ (максимально возможная при вероятности захвата, равной 1, и числе захватывающих органов k); среднее арифметическое значение $\Pi_{cp} = \frac{\sum \Pi_i}{10}$; вероятность захвата $\eta = \Pi_{cp} / \Pi_T$; среднее

квадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\Pi_i - \Pi_{cp})^2}{n-1}}$; дисперсия средней производительности

$D = \sigma^2 = \frac{\sum (\Pi_i - \Pi_{cp})^2}{n-1}$; коэффициент вариации $\delta = \frac{\sigma}{\Pi_{cp}} \cdot 100\%$. Результаты, полученные

экспериментальным способом для двух типов полуфабрикатов представлены в таблицах 1, 2.

Полученные результаты вероятности захвата η от окружной скорости v для полуфабрикатов с соотношением размеров $h/d = 1,1$ и $h/d = 1,4$ были аппроксимированы в программе *CurveExpert 1.4* и представлены на рисунке 3.

Сравнительные графики зависимостей вероятностей захвата и производительности, которые были получены теоретически и экспериментально для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания двух типов показаны на рисунке 4.

Так как рекомендуемая окружная скорость захватывающих органов БЗУ должна быть на 10-20% меньше скорости при максимальной производительности, то получим следующие значения производительности БЗУ для полуфабрикатов.

Производительность БЗУ для полуфабрикатов с соотношением размеров $h/d = 1,1$, полученная экспериментально при окружной скорости захватывающих органов 0,18-0,21 м/с

равно 75-83 шт/мин, а теоретическая производительность БЗУ при окружной скорости захватывающих органов 0,17-0,19 м/с равно 73-81 шт/мин.

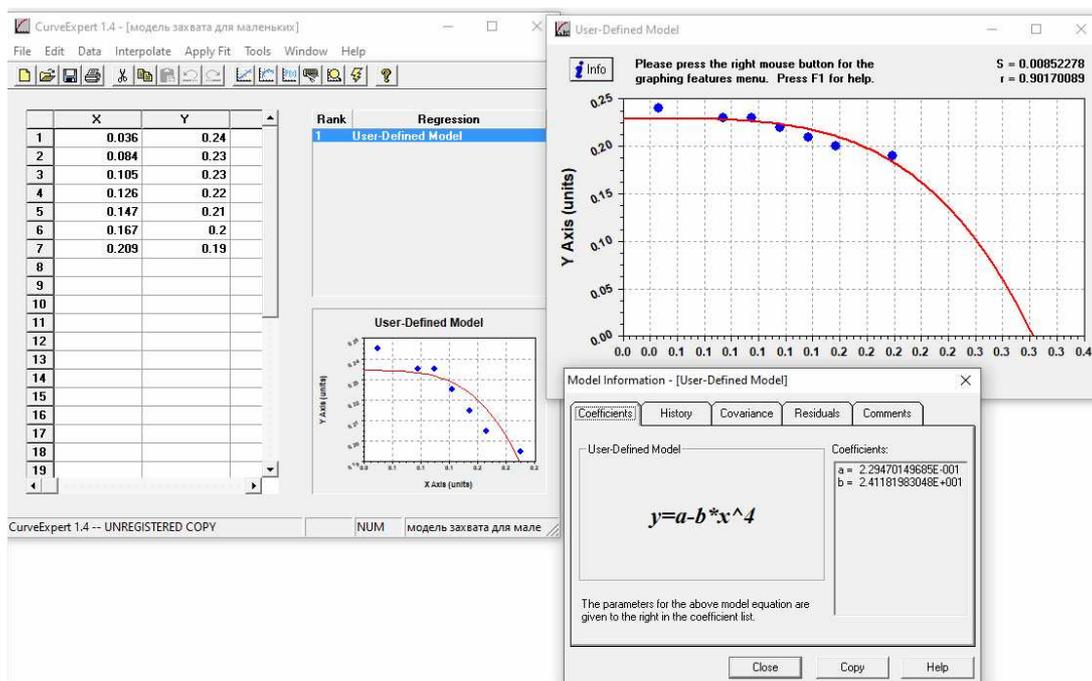
Из сравнительных графиков видно, что теоретические и экспериментальные зависимости вероятности захвата и производительности практически совпадают. Отклонения экспериментальных результатов от теоретических составляют до 3,1 %.

Табл. 1. Результаты экспериментальных исследований производительности БЗУ для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания с соотношением размеров $h/d = 1,1$

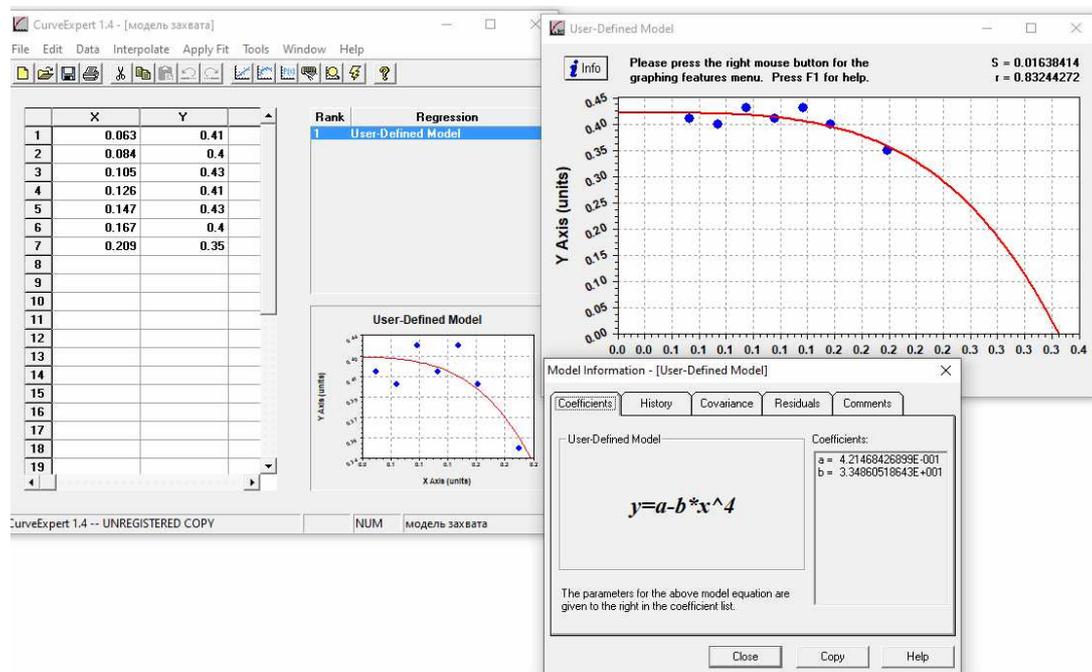
№ опыта		n , об/мин						
1	П _г , шт/мин	27	32	50	63	70	74	81
2		27	33	53	60	69	76	80
3		25	31	52	60	71	75	82
4		26	31	52	62	68	75	79
5		25	33	50	61	69	76	81
6		24	30	51	61	69	73	81
7		26	30	53	60	67	75	80
8		25	32	52	64	70	74	81
9		26	31	53	60	67	75	80
10		25	30	50	61	67	74	80
v, м/с		0,063	0,084	0,105	0,126	0,147	0,167	0,209
П _т , шт./мин		106	135	219	268	324	370	405
П _{ср} , шт./мин		25	31	51	61	68	74	80
η		0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19
σ		0,97	1,03	1,26	1,40	1,42	0,95	0,85
D		0,94	1,06	1,59	1,96	2,02	0,90	0,72
δ		0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

Табл. 2. Результаты экспериментальных исследований производительности БЗУ для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания с соотношением размеров $h/d = 1,4$

№ опыта		n , об./мин						
1	П _г , шт./мин	59	47	96	113	120	130	143
2		61	73	97	112	123	134	144
3		62	75	95	114	123	135	149
4		61	70	96	114	124	128	151
5		60	72	97	109	120	131	145
6		59	72	96	112	121	130	146
7		64	72	101	112	125	134	145
8		62	75	97	111	122	129	147
9		58	70	100	110	125	130	138
10		60	73	98	115	121	132	149
v, м/с		0,063	0,084	0,105	0,126	0,147	0,167	0,209
П _т , шт./мин		144	177	222	268	283	327	411
П _{ср} , шт./мин		60	72	97	112	122	131	145
η		0,41	0,40	0,43	0,41	0,43	0,40	0,35
σ		1,78	1,84	1,89	1,87	1,90	2,36	3,68
D		3,17	3,38	3,57	3,49	3,61	5,56	13,54
δ		0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03



a



б

Рис. 3. Аппроксимирующая функция экспериментальной зависимости вероятности захвата от окружной скорости захватывающих органов для полуфабрикатов с соотношением размеров $h/d = 1,1$ (а) и $h/d = 1,4$ (б)

Производительность БЗУ для полуфабрикатов с соотношением размеров $h/d = 1,4$, полученная экспериментально при окружной скорости захватывающих органов 0,18-0,21 м/с равно 145-172 шт/мин, а теоретическая производительность БЗУ при окружной скорости захватывающих органов 0,17-0,19 м/с равно 140-170 шт/мин. Из сравнительных графиков видно, что теоретические и экспериментальные зависимости вероятности захвата и производительности практически совпадают. Отклонения экспериментальных результатов от теоретических составляют до 3,3%. Таким образом, результаты, полученные в ходе теоретических и экспериментальных исследований можно считать адекватными и корректными.

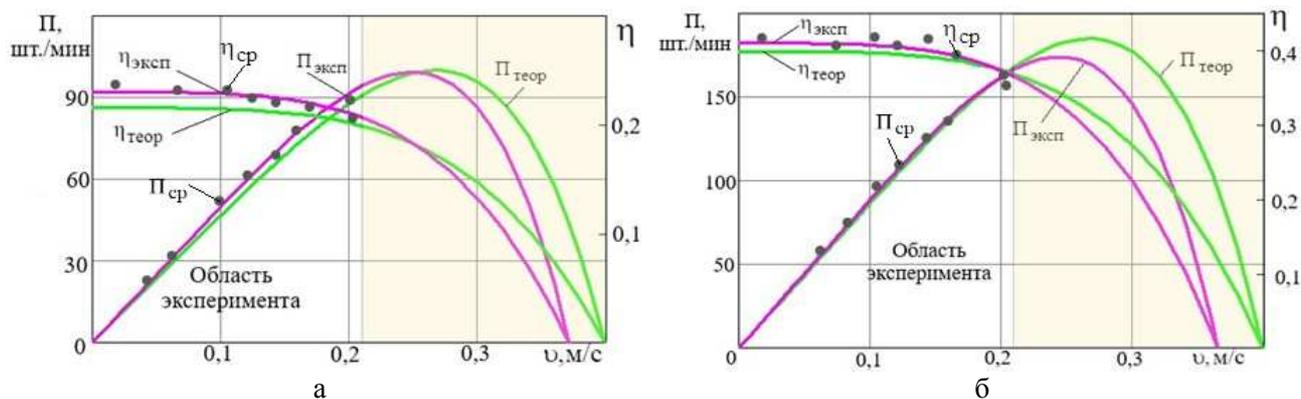


Рис. 4. Сравнительные графики теоретических и экспериментальных значений вероятности захвата и производительности для полуфабрикатов с соотношением размеров $h/d = 1,1$ (а) и $h/d = 1,4$ (б)

При проектировании усовершенствованного БЗУ для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания был разработан комплекс программного обеспечения с помощью языка PascalABC.net. Данное программное обеспечение позволяет снизить трудоемкость вычислений.

На рисунке 5 представлены окно программы и интерфейс для расчета конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов БЗУ, а также расчет производительности по исходным данным. Для обеспечения требуемой производительности программа позволяет выбрать нужную окружную скорость, которая необходима для обеспечения необходимой производительности.

Программное обеспечение проводит расчеты в автоматическом режиме. Разработанная программа имеет три блока: первый блок – ввод исходных параметров полуфабрикатов и параметров БЗУ; второй блок – результаты расчетов конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов БЗУ и его максимальной скорости и производительности; третий блок – результат расчетов заключительной производительности и коэффициента выдачи.

Первый этап включает в себя ввод в программу исходных параметров полуфабрикатов ($d, d_1, d_2, d_3, h, h_1, h_2$), параметров БЗУ (радиус рабочего диска, угол наклона бункера) и коэффициент трения полуфабрикатов о стенки бункера. Рядом с вводом всех исходных параметров указаны их размерности.

На рисунке 5 представлен пример расчета для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания с параметрами $d = 0,016$ м, $d_1 = 0,011$ м, $d_2 = 0,010$ м, $d_3 = 0,005$ м, $h = 0,020$ м, $h_1 = 0,012$ м, $h_2 = 0,002$ м, для БЗУ с параметрами радиус диска $R = 0,2$ м, угол наклона бункер $\alpha = 45^\circ$, коэффициент трения полуфабрикатов о стенки бункера $\mu = 0,3$.

После того как ввод всех исходных параметров закончен необходимо нажать «Рассчитать». Во втором блоке видим расчет конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов БЗУ, такие как длина кармана, ширина кармана, высота диска, глубина кольцевого паза, ширина кольцевого паза и высота копира. Сбоку расчетов конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов БЗУ представлена 3D-модель рабочего диска. Чуть ниже во втором блоке представлен расчет скорости, и максимальная производительность при этой скорости.

Далее программа позволяет ввести значение необходимой окружной скорости захватывающих органов в интервале от 0 до рассчитанной ранее скорости (для примера до 0,21 м/с). Значение окружной скорости рекомендуется выбирать так, чтобы его значение не превышало 10-20% при котором достигается максимальная производительность. Таким образом, приняв данную рекомендацию, получаем значение окружной скорости в интервале от 0 до 0,19-0,21 м/с. Выбрав значение, вводим в программу 0,21 м/с и нажимаем «Рассчитать».

Параметры полуфабриката		Параметры БЗУ	
		Радиус диска, м <input type="text"/>	
		Угол наклона бункера (в градусах) <input type="text"/>	
		Коэффициент трения полуфабриката о стенки бункера <input type="text"/>	
d, м	<input type="text"/>	h, м	<input type="text"/>
d1, м	<input type="text"/>	h1, м	<input type="text"/>
d2, м	<input type="text"/>	h2, м	<input type="text"/>
d3, м	<input type="text"/>		
<input type="button" value="Рассчитать"/>			
Расчет конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов БЗУ			
Длина кармана, м	<input type="text"/>		
Ширина кармана, м	<input type="text"/>		
Высота диска, м	<input type="text"/>		
Глубина кольцевого паза, м	<input type="text"/>		
Ширина кольцевого паза, м	<input type="text"/>		
Высота копира, м	<input type="text"/>		
Расчет производительности			
Скорость, при которой производительность максимальна, м/с	<input type="text"/>	<input type="button" value="Рассчитать"/>	
Максимальная производительность, шт./мин	<input type="text"/>		
Выбор скорости, м/с	<input type="text"/>		
Коэффициент выдачи	<input type="text"/>	Фактическая производительность, шт./мин	<input type="text"/>

Параметры полуфабриката		Параметры БЗУ	
		Радиус диска, м <input type="text" value="0,2"/>	
		Угол наклона бункера (в градусах) <input type="text" value="45"/>	
		Коэффициент трения полуфабриката о стенки бункера <input type="text" value="0,3"/>	
d, м	<input type="text" value="0,016"/>	h, м	<input type="text" value="0,020"/>
d1, м	<input type="text" value="0,011"/>	h1, м	<input type="text" value="0,012"/>
d2, м	<input type="text"/>	h2, м	<input type="text" value="0,002"/>
d3, м	<input type="text" value="0,005"/>		
<input type="button" value="Рассчитать"/>			
Расчет конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов БЗУ			
Длина кармана, м	<input type="text" value="0,0176"/>		
Ширина кармана, м	<input type="text" value="0,0192"/>		
Высота диска, м	<input type="text" value="0,006"/>		
Глубина кольцевого паза, м	<input type="text" value="0,008"/>		
Ширина кольцевого паза, м	<input type="text" value="0,0176"/>		
Высота копира, м	<input type="text" value="0,009"/>		
Расчет производительности			
Скорость, при которой производительность максимальна, м/с	<input type="text" value="0,28"/>	<input type="button" value="Рассчитать"/>	
Максимальная производительность, шт./мин	<input type="text" value="240,038"/>		
Выбор скорости, м/с	<input type="text" value="0,21"/>		
Коэффициент выдачи	<input type="text" value="0,481"/>	Фактическая производительность, шт./мин	<input type="text" value="219,389"/>

Рис. 5. Интерфейс программы проектирования БЗУ для полуфабрикатов двухстороннего выдавливания: а – ввод исходных данных; б – полученные программой результаты

Результаты третьего блока являются заключительными и показывают расчет коэффициента выдачи и фактической производительности для введенной в программу скорости. В некоторых случаях программа может выдать ошибку: если при введении исходных параметров не ввести необходимый параметр полуфабриката или параметр БЗУ, а также целую часть от дробной разделить точкой, а не запятой.

Заключение

Таким образом, разработанное программное обеспечение для проектирования БЗУ построено на проведенных ранее результатах математического моделирования вероятности захвата, которое определяет благоприятные положения полуфабрикатов двухстороннего выдавливания для захвата, а также влияние параметров полуфабрикатов двухстороннего выдавливания, конструктивных и кинематических параметров на производительность БЗУ. Данное программное обеспечение основано на разработанных ранее в работе математических моделях захвата и моделях производительности усовершенствованного БЗУ, которые заложены в программу. При использовании разработанной программы для проектирования БЗУ значительно повышается точность расчетов, а также снижается время и трудоемкость расчетов конструктивных ограничений на параметры захватывающих и ориентирующих органов и производительности БЗУ.

Список литературы

1. Быстров В.А., Фролович Е.Н., Прейс В.В. Роторные технологии, машины и линии на современном этапе промышленного развития // Вестник машиностроения. – 2003. – № 10. – С. 43-47.
2. Прейс В.В. Надежность автоматических роторно-конвейерных линий для сборки многоэлементных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2003. – № 10. – С. 17-22.
3. Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / Под ред. И.А. Клусова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
4. Прейс В.В., Усенко Н.А., Давыдова Е.В. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства. Ч. 1. Механические бункерные загрузочные устройства. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – 125 с.
5. Прейс В.В. Технологичность штучных предметов обработки для автоматической загрузки в роторные и роторно-конвейерные линии // Теория, технология, оборудование и автоматизация обработки металлов давлением и резанием: сборник статей. Вып. 1. – Тула: Гриф и К°, 1999. – С. 208-214.
6. Boothroyd G. Assembly Automation and Product Design. Second Edition. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005. – 536 p.
7. Прейс В.Ф., Бляхеров И.С., Прейс В.В., Усенко Н.А. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / Под ред. В.Ф. Прейса. – М., Машиностроение, 1975. – 280 с.
8. Патент №216181 РФ. Бункерное загрузочно-ориентирующее устройство для объемных заготовок с асимметрией по торцам / Е.В. Пантюхина, Э.В. Дьякова. – Заявка №2022130598 от 23.11.2022; опубл. 20.01.2023, Бюл. № 2.
9. Патент №221163 РФ. Бункерное загрузочно-ориентирующее устройство для объемных заготовок с асимметрией по торцам / В.В. Прейс, Е.В. Пантюхина, Э.В. Дьякова. – Заявка №2023108057 от 30.03.2023; опубл. 23.10.2023, Бюл. № 30.
10. Дьякова Э.В. Вопросы разработки надежной конструкции бункерного загрузочного устройства для близких к равноразмерным деталей с асимметрией по торцам // Фундаментальные основы механики. – 2023. – № 11. – С. 103-105.

References

1. Bystrov V.A., Frolovich E.N., Preis V.V. Rotary technologies, machines and lines at the present stage of industrial development // Bulletin of Mechanical Engineering. 2003, no. 10, pp. 43-47.
2. Preis V.V. Reliability of automatic rotary conveyor lines for assembly of multi-element products // Assembly in mechanical engineering, instrumentation. 2003, no. 10, pp. 17-22.
3. Automatic feeding of technological machines: Handbook / Edited by I.A. Klusov. – M.: Mechanical Engineering, 1990. – 400 p.
4. Preis V.V., Usenko N.A., Davydova E.V. Automatic feeding-orienting devices. Part 1. Mechanical hopper feeding devices. – Tula: TulSU Publ. house, 2006. – 125 p.
5. Preis V.V. Manufacturability of piece processing items for automatic feeding into rotary and rotary conveyor lines // Theory, technology, equipment and automation of metal processing by pressure and cutting: collection of articles. Issue 1. – Tula: Vulture and Co., 1999. – P. 208-214.
6. Boothroyd G. Assembly Automation and Product Design. Second Edition. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005. – 536 p.
7. Preis V.F., Blyakherov I.S., Preis V.V., Usenko N.A. Automation of feeding presses with piece blank / Edited by V.F. Preis. – M.: Mechanical Engineering, 1975. – 280 p.
8. Patent No. 216181 RU. Hopper feeding-orienting device for volumetric workpieces with asymmetry at the ends / E.V. Pantyukhina, E.V. Diakova. – Appl. No. 2022130598 from 23.11.2022; publ. 20.01.2023, Bul. No. 2.
9. Patent No. 221163 RU. Hopper feeding-orienting device for bulk blanks with asymmetry at the ends / V.V. Preis, E.V. Pantyukhina, E.V. Dyakova. – Appl. No. 2023108057 from 30.03.2023 RU; publ. 23.10.2023, Bul. No. 30.
10. Diakova E.V. Issues of developing a reliable design of a hopper feeding device for parts with asymmetry at the ends close to equivalent dimensions // Fundamental Principles of Mechanics. 2023, no. 11, pp. 103-105.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Дьякова Элеонора Владимировна – аспирант	Diakova Eleonora Vladimirovna – postgraduate student
eleonora.borovkova@yandex.ru	

Получена 11.06.2024