УДК 664.692.5

Поступила в редакцию 18.12.2017
Received 18.12.2017

В.Я. Груданов, А.Б. Торган, А.И. Григель

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ВЫРАВНИВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЫПРЕССОВЫВАНИЯ ТЕСТА В КРУГЛЫХ МАТРИЦАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация: В статье показано новое направление в развитии теории предпочтительных чисел. Предложена современная классификация рядов предпочтительных чисел, содержащая основной ряд предпочтительных чисел с применением последовательности Фибоначчи. На основе геометрической теории чисел построены математические модели матрицы для производства макаронных изделий, в которых использованы закономерности рядов предпочтительных чисел и дано их расчетное обоснование в виде конкретных примеров. Использование закономерности рядов предпочтительных чисел позволило выровнять давление и скорости выпрессовывания теста. Разработаны практические рекомендации по выбору основных геометрических и конструктивных размеров матриц.

Ключевые слова: теория предпочтительных чисел, геометрическая теория чисел, математическая модель, макаронная матрица, давление теста, скорости выпрессовывания теста

V.J. Grudanov, A.B. Torgan, A.I. Grigel

Educational institution "The Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, Republic of Belarus

THE ALIGNMENT OF PRESSURE AND SPEED OF DOUGH EXTRUDING IN THE ROUND MATRIX FOR THE PRODUCTION OF MACARONI

Abstract: The article shows a new direction in the development of the preferred number theory. A modern classification of the series of preferred numbers is suggested using the Fibonacci sequence. Based on the geometric number theory, mathematical models for the production of pasta have been developed, using the patterns of preferred numbers and their calculated justification in case studies. The use of a pattern of preferred numbers allows aligning the pressure and velocity of the spreading test. Practical recommendations for the selection of basic geometric and structural dimensions of the matrices have been made.

Keywords: preferred number theory, geometric number theory, mathematical model, pasta matrix, test pressure, dough extruding speed

Numbers do not rule the world but they show how to manage the world.
I. Goethe

«Миром правят числа, все в мире — есть Число»
Пифагор

Введение. На предприятиях пищевой промышленности, общественного питания и торговли перерабатывается, хранится, транспортируется и реализуется большое количество самых разнообразных пищевых продуктов и кулинарных изделий, что в свою очередь обусловливает создание и эксплуатацию разнотипного технологического оборудования, отличающегося между собой не только функциональным назначением, но и конструктивным оформлением рабочих органов. Рабочие органы технологического оборудования определяют такие основные его характеристики как качество обработки сырья, производительность и энергетические затраты.

Это значительно усложняет выработку единых подходов и методов конструирования технологического оборудования, затрудняет, а в ряде случаев и делает невозможным, создание единой взаимосвязанной системы машин и аппаратов.

Таким образом, встает необходимость создания новой концепции в подходах и принципах конструирования энергосберегающих, малоинерционных и компактных технологических машин и аппаратов.

Для ее создания возможно использовать такие фундаментальные законы природы, как принцип «золотой» пропорции и закономерности системы предпочтительных чисел, основанной на свойствах последовательности чисел Фибоначчи.

Предварительные сведения. Предпочтительные числа. Предпочтительные числа устанавливают взаимосвязь в параметрах деталей и узлов, размеры продукции и сооружений, мощность, грузоподъемность, массовые характеристики, геометрические размеры и т.п. [1, 2].

Впервые в СССР общесоюзный стандарт на числа был разработан и издан в 1956 г. (ГОСТ 8032-56), а затем переиздан в 1984 г. — ГОСТ 8032-84 взамен стандарта Совета Экономической Взаимопомощи - СТ СЭВ 3981-83.

Известные ряды предпочтительных чисел основаны на принципе геометрической прогрессии. Согласно определению, предпочтительные числа — система параметрических десятичных рядов чисел, построенных по геометрической прогрессии со знаменателем $q = \sqrt[n]{10}$, где n = 5, 10, 20, 40, 80 — номера рядов безграничных как в большую, так и в меньшую сторону и обладающих свойствами, которые позволяют применять их при выборе основных и базовых размеров, параметров и характеристик изделий. Значения знаменателей геометрических прогрессий рядов R5, R10, R20, R40 и R80 приведены в табл. 1.

В соответствии со стандартом ГОСТ 8032-84 ряды предпочтительных чисел подразделяются на основные, дополнительные, выборочные, составные, приближенные, производные и специальные.

Таблица 1. **Новые основные ряды предпочтительных чисел**
Table 1. **New basic series of preferred numbers**

Существующие ряды предпочтительных чисел	$q = \sqrt[n]{10}$, где n = 5, 10, 20, 40, 80
R5	1,585
R10	1,259
R20	1,122
R40	1,059
R80	1,029

Однако определение знаменателей геометрической прогрессии по формуле $q = \sqrt[n]{10}$ не имеет достаточно полного научного обоснования. По этой причине некоторые ученые и специалисты считают использование рядов предпочтительных чисел в конструировании технических устройств неправомерным. Но если обратиться к теории чисел и конкретно к научным трудам итальянского математика Леонардо Пизанского (Фибоначчи), мы увидим, что существует теоретическая взаимосвязь между основными рядами предпочтительных чисел, «золотой» пропорцией и последовательностью Фибоначчи, которая заключается в том, что значение знаменателей геометрических прогрессий основных рядов можно определить по формуле [10, 11]:

$$q_n = \sqrt[n]{\Phi}, \tag{1}$$

где q_n – значение знаменателя геометрической прогрессии n-го основного ряда предпочтительных чисел; Φ — 1,618....– значение «золотой» пропорции (сечения); n — целые числа 1, 2, 4, 8 и 16.

При использовании формулы $q_n = \sqrt[n]{\Phi}$ получаем новый ряд предпочтительных чисел: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89. 144, 233, 377, 610 и т.д., который совпадает с последовательностью Фибоначчи.

Эта последовательность чисел, описанная итальянским математиком в XIII веке, начинается с двух единиц, а каждое следующее число равно сумме двух предыдущих. Частное от деления любого числа последовательности на предшествующее ему число будет стремиться к Φ, давая все более точное значение для каждого следующего числа последовательности: 1/1=1; 2/1=2; 3/2=1,5; 5/3=1,666..., 8/5=1,6; 13/8=1,625; 21/13=1,615348...; 34/21=1,61904...; 55/34=1,61764...; 89/55=1,61818...; 144/89=1,61747...; т.е. Φ=1,6180339887... Здесь важно отметить, что определение основных рядов предпочтительных чисел по формуле $q_n = \sqrt[n]{\Phi}$ даст более точные значения знаменателей геометрической прогрессии рядов R5, R10, R20, R40 и R80 (табл. 2).

Таблица 2. Существующие ряды предпочтительных чисел
Table 2. Existing rows of preferred numbers

Новые ряды предпочтительных чисел	$q_n = \sqrt[n]{\Phi}$, где n = 1, 2, 4, 8, 16
R1	1,618
R2	1,272
R4	1,128
R8	1,062
R16	1,031

Для практических расчетов приближенное значение Φ с точностью до пяти десятичных знаков после занятой вполне достаточно, т.е. $\Phi = 1{,}61803$. Отметим, что $(\Phi)^2 = 2{,}618$, $\sqrt{\Phi} = 1{,}272$, $\sqrt[4]{\Phi} = 1{,}128$, $1{,}272 \cdot \Phi = 2{,}06$ и $\dfrac{\Phi}{2{,}06} = 0{,}786$. С учетом вышеизложенного, классификация рядов предпочтительных чисел представлена на рис. 1 [5, 6].

Из представленной классификации видно, что новые основные ряды предпочтительных чисел практически полностью совпадают с основными рядами предпочтительных чисел по стандарту ГОСТ 8032-84, но при этом значение знаменателей геометрических прогрессий является более точным, что дает основание для достижения технического совершенства нового устройства [7, 8, 9].

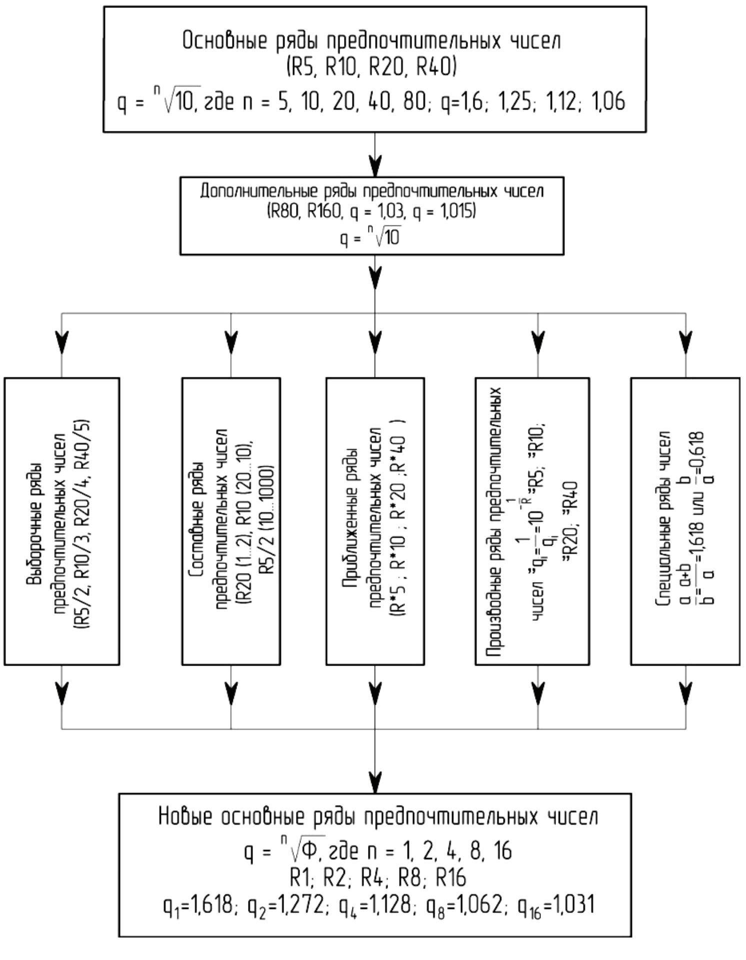


Рис. 1. Современная классификация рядов предпочтительных чисел
Fig. 1. Modern classification of series of preferred numbers

В дальнейшем будет показано, как новые ряды предпочтительных чисел можно использовать в построении математической модели матрицы для производства макаронных изделий, с целью оптимизации конструктивных и технологических параметров.

Существенным недостатком прессования на шнековых макаронных прессах является неравномерность выпрессовывания макаронных изделий по плоскости и высоте матрицы, что приводит к увеличению отходов в виде обрезков (до 20 %) и снижению производительности.

Неравномерность скоростей формования макаронных изделий по сечению матрицы является нерешенной проблемой, как в отечественной, так и в зарубежной практике. Известно несколько способов частичного устранения неравномерности формования по зонам матрицы:

- применение устройств конусно-цилиндрической формы;
- использование колосников или тормозящих решеток, устанавливаемых на диск матрицы;
- выполнение формующих отверстий различной высоты: с изменением высоты формующих отверстий изменяется и противодавление (чем больше высота, тем выше сопротивление и меньше скорость истечения теста).

Оптимизировать конструктивные и технологические параметры матриц целесообразно по следующим направлениям:

- выравнивание давления теста в колодцах по плоскости рабочей поверхности диска матрицы;
- выравнивание гидравлического сопротивления в формующих каналах (скорость выпрессовывания) по радиусу диска;
- выравнивание коэффициента уплотнения (сжатия) теста по высоте каналов формующих механизмов матрицы, при этом наибольший положительный эффект дает использование в конструкции матрицы закономерностей «золотой» пропорции, основанных на предпочтительных числах. Покажем это на конкретных конструкциях матриц — на новых технических решениях.

Выравнивание давления теста по плоскости рабочей поверхности матрицы. Построение математической модели. Матрица — перфорированная перегородка, которая является главным рабочим элементом узла прессования. Основная характеристика матрицы — пропускная способность, которая определяется отношением площади живого (проходного) сечения всех отверстий к общей площади, при этом особое значение имеет характер расположения отверстий:

- по вершинам равносторонних треугольников;
- по вершинам квадратов;
- по концентрическим окружностям и др.

Принимаем концентрическое расположение отверстий (колодцев) с целью выравнивания давления тестовой массы по плоскости рабочей поверхности (скорости выпрессовывания). Сущность модели поясняется чертежом — на рис. 2 показан общий вид матрицы для производства макаронных изделий [3].

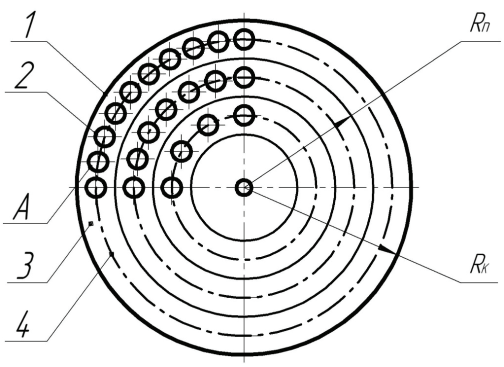


Рис. 2. Схема матрицы по патенту РБ №7401 на изобретение
Fig. 2. Diagram of the matrix for the patent for invention of the Republic of Belarus No. 7401

Матрица для производства макаронных изделий содержит цилиндрический корпус *1* с колодцами *2*, установленные внутри последних, вкладыши со сквозными формующими отверстиями, сгруппированными в гнезда. Колодцы *2* по площади матрицы расположены в условных кольцах *3* на концентрических окружностях *4*, при этом наружные радиусы условных колец определены по формуле:

$$R_n = (0{,}786)^n R_к, \tag{2}$$

где R_n — наружный радиус n-го условного кольца; $R_к$ — радиус корпуса матрицы; n — порядковый номер условного кольца, считая от радиуса корпуса матрицы; 0,786 – коэффициент пропорциональности, при этом количество колодцев 2 на каждой концентрической окружности 4 каждого условного кольца 3 вычислено по уравнению

$$Z_{n+1} = \left[\frac{Z_n}{1{,}618}\right], \quad (3)$$

где Z_n — количество колодцев на n-м условном кольце; Z_{n+1} — количество колодцев на $(n+1)$-м условном кольце; 1,618 — коэффициент пропорциональности, а площадь матрицы можно определить по формуле:

$$S_м = \frac{D_м^2}{\sqrt{\Phi}}, \quad (4)$$

где $D_м$ — диаметр корпуса матрицы; $\Phi = 1{,}618$.

Устройство работает следующим образом. Устройство работает следующим образом. Уплотненное макаронное тесто с помощью шнека, преодолевая сопротивление матрицы, продавливается сквозь формующие отверстия вкладышей, установленных в колодцах *2* корпуса *1* матрицы посредством запрессовки.

Происходит формование теста, т.е. получение сырых макаронных изделий заданной формы, которая определяется профилем формующих отверстий.

Выполнение условия $R_n = (0{,}786)^n R_к$ обеспечивает пропорциональное увеличение площади рабочей поверхности матрицы по мере увеличения радиуса расположения колодцев *2*. Выполнение условия $Z_{n+1} = \left[\frac{Z_n}{1{,}618}\right]$ обеспечивает пропорциональное увеличение живого сечения рабочей поверхности корпуса *1* матрицы по мере увеличения радиуса расположения колодцев *2* на концентрических окружностях *4*условных колец *3*.

Таким образом, в результате соблюдения уравнений (2), (3) и (4) достигается одинаковое значение пропускной способности матрицы и одновременное выравнивание давления тестовой массы по все площади рабочей поверхности матрицы. Это гарантирует более качественное формование сырья, снижение при этом потерь клейковины, выравнивание скорости прессования по площади матрицы, увеличение производительности матрицы и макаронного пресса в целом и, следовательно, повышение эффективности работы устройства.

Для подтверждения вышеизложенного приведем конкретный пример.

Пример 1.

Начальные условия:

$D_м$ — диаметр корпуса матрицы, $D_м = 350$ мм ($R_м = 175$ мм),

d_0 — диаметр колодцев, $d_0 = 18$ мм,

Z_1 — количество колодцев на первом от оси корпуса матрицы условном кольце, $Z_1 = 34$.

Решение.

1. Рабочую поверхность матрицы условно делим на четыре кольца, т.е. n=4. Определяем наружные радиусы условных колец:

$$R_1 = (0{,}786) \times R_к = 0{,}786 \times 175 = 137{,}55 \text{ мм} \qquad R_2 = (0{,}786)^2 \times R_к = 108{,}114 \text{ мм}$$

$$R_3 = (0{,}786)^3 \times R_к = 84{,}978 \text{ мм} \qquad R_4 = (0{,}786)^4 \times R_к = 66{,}793 \text{ мм}$$

1.1. Определяем количество колодцев на каждой концентрической окружности каждого условного кольца:

$$Z_1 = 34; \quad Z_2 = \left[\frac{Z_1}{1{,}618}\right] = 21; \quad Z_3 = \left[\frac{Z_2}{1{,}618}\right] = 13; \quad Z_4 = \left[\frac{Z_3}{1{,}618}\right] = 8$$

1.2.Определяем пропускную способность каждого условного кольца по формуле:

$$K_1 = \frac{f_0 \cdot Z_1}{\pi\left(R_к^2 - R_1^2\right)} = \frac{\pi r_0^2 \cdot Z_1}{\pi\left(R_к^2 - R_1^2\right)} = \frac{34 \cdot 3{,}14 \cdot 81}{(175)^2 - (137{,}55)^2} = 0{,}7387; \quad K_2 = \frac{21 \cdot 3{,}14 \cdot 81}{(137{,}55)^2 - (108{,}12)^2} = 0{,}7386$$

$$K_3 = \frac{13 \cdot 3{,}14 \cdot 81}{(108{,}12)^2 - (84{,}97)^2} = 0{,}7397; \qquad K_4 = \frac{8 \cdot 3{,}14 \cdot 81}{(84{,}97)^2 - (66{,}79)^2} = 0{,}7375,$$

где f_0 — площадь колодца матрицы, мм^2; r_0 — радиус колодца, мм.

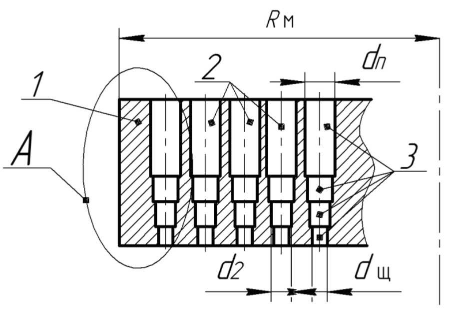
Из расчетов следует, что $K_1 = K_2 = K_3 = K_4$. Пропускная способность всех условных колец одинаковая, т.е. происходит увеличение площади живого сечения условных колец пропорционально увеличению общей площади рабочей поверхности матрицы.

Отсюда следует, что и скорости движения отдельных слоев теста через матрицу одинаковые. Следовательно, движение потока теста стабилизируется по всей площади матрицы, и, как следствие, имеет место увеличение производительности матрицы и улучшение качества формования. Таким образом, эффективность работы такого устройства в целом повышается.

Выравнивание скорости выпрессовывания по высоте формующих механизмов матрицы. Построение математической модели. Сущность модели поясняется чертежом: на рис. 3, *а* показана принципиально-конструктивная схема матрицы для прессования вермишели, на рис. 3, *б* — вид А формующего отверстия перфорации с высотой ступеней, уменьшающейся по ходу движения теста в сторону выходной формующей щели [4].

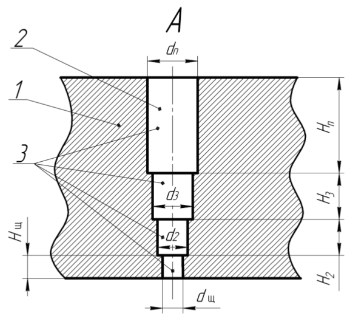
Матрица для прессования вермишели содержит плоский перфорированный диск *1* определенной толщины, отверстия перфорации *2* выполнены ступенчато по толщине матрицы, их диаметр и высота ступеней *3* уменьшаются по ходу движения теста в сторону выходной формующей щели. Матрица имеет четыре ступени, считая от формующей щели.

$R_м$ — наружный радиус диска 1 матрицы;
$d_щ$ — диаметр формующей щели;
d_2 — диаметр отверстия во второй ступени;
d_3 — диаметр отверстия в третьей ступени;
d_n — диаметр отверстия в *n*-ой ступени;
$H_щ$ — высота формующей щели (она же первая ступень);
H_2 — высота второй ступени;
H_3 — высота третьей ступени;
H_n — высота *n*-ой ступени (она же четвертая ступень).



а

Рис. 3. Схема матрицы по патенту РБ № 13323 на изобретение
Fig. 3. Diagram of the matrix for the patent for invention of the Republic of Belarus No. 13323



б

Рис. 3. Вид А на рис.3
Fig. 3. Kind A on a fig. 3

В данной модели матрицы площадь отверстий определяется соотношением

$$S_{отв} = \frac{d_n^2}{\sqrt{\Phi}}, \quad (5)$$

где d^2_n — диаметр отверстия; $\Phi = 1{,}618$,

а диаметр отверстий в ступенях определяется по формуле:

$$d_n = (1{,}128)^{n-1} \cdot d_щ, \quad (6)$$

где d_n — диаметр отверстия в *n*-ой ступени; $d_щ$ — диаметр отверстий формующей щели; *n* — количество ступеней, считая от формующей щели; 1,128 — коэффициент пропорциональности, а высота отверстий в ступенях вычисляется по уравнению:

$$H_n = (1{,}128)^{n-1} \cdot H_щ, \quad (7)$$

где H_n — высота отверстий в *n*-ой ступени; $H_щ$ — высота отверстий формующей щели.

Устройство работает следующим образом. Уплотненное макаронное тесто с помощью шнека (не показан), преодолевая сопротивление матрицы, продавливается сквозь формующие отверстия *2* корпуса *1* матрицы посредством запрессовки.

Происходит формование теста, т.е. получение сырых макаронных изделий заданной формы, которая определяется профилем формующих отверстий.

Использование уравнений (5), (6) и (7) позволяет в данной конструкции матрицы получить равенство гидравлического сопротивления во всех ступенях по ходу движения теста. Это гарантирует более качественное формование сырья, снижение при этом потерь клейковины, выравнивание скорости прессования по высоте матрицы, увеличение производительности матрицы и макаронного пресса в целом и, следовательно, повышение эффективности работы устройства.

Для подтверждения вышеизложенного приведем конкретный пример.

Пример 2.

Принимаем:

$d_{щ}$ — диаметр отверстий формующей щели, $d_{щ} = 5{,}5$ мм;

$H_{щ}$ — высота отверстий формующей щели, $H_{щ} = 7$ мм.

Решение.

1. Рабочую поверхность отверстия перфорации условно делим на четыре ступени, т.е. $n = 4$. Определяем диаметр отверстия в каждой ступени, начиная от выходной формующей щели:

$$h_{ср} = 1{,}618 h_{ср} = 1{,}618 \cdot 3 = 4{,}854 \text{ мм}; \qquad h_{ц} = 2{,}618 \mathrm{h}_{ср} = 2{,}618 \cdot 3 = 7{,}854 \text{ мм}.$$

$$d_{п} = (1{,}128)^{n-1} \cdot d_{щ}; \quad d_1 = 1{,}128^0 \cdot d_{щ} = 1{,}128^0 \cdot 5{,}5 = 5{,}5 \text{ мм}; \quad d_2 = 1{,}128 \cdot d_{щ} = 1{,}128 \cdot 5{,}5 = 6 \text{ мм};$$

$$d_3 = 1{,}128^2 \cdot d_{щ} = 1{,}128^2 \cdot 5{,}5 = 7 \text{ мм}; \qquad d_4 = 1{,}128^3 \cdot d_{щ} = 1{,}128^3 \cdot 5{,}5 = 8 \text{ мм}.$$

2. Определяем высоту формующих отверстий:

$$H_{п} = (1{,}128)^{n-1} \cdot H_{щ}; \quad H_1 = 1{,}128^0 \cdot H_{щ} = 1{,}128^0 \cdot 7 = 7 \text{ мм}; \quad H_2 = 1{,}128 \cdot H_{щ} = 1{,}128 \cdot 7 = 8 \text{ мм};$$

$$H_3 = 1{,}128^2 \cdot H_{щ} = 1{,}128^2 \cdot 7 = 9 \text{ мм}; \qquad H_4 = 1{,}128^3 \cdot H_{щ} = 1{,}128^3 \cdot 7 = 10 \text{ мм}.$$

3. Определяем линейное гидравлическое сопротивление в каждой ступени:

$$\Delta P_n = \lambda_n \frac{H_n}{d_n} \cdot \frac{W^2}{2\mathrm{g}},$$

где $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$ — коэффициент гидравлического трения; $W_1 = W_2 = W_3$ — скорость теста; g — ускорение свободного падения;

$$\Delta P_1 = \frac{H_1}{d_1} = \frac{7}{5{,}5} = 1{,}3; \quad \Delta P_2 = \frac{H_2}{d_2} = \frac{8}{6} = 1{,}3; \quad \Delta P_3 = \frac{H_3}{d_3} = \frac{9}{7} = 1{,}3; \quad \Delta P_4 = \frac{H_4}{d_4} = \frac{10}{8} = 1{,}3.$$

Из расчетов следует, что $\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3 = \Delta P_4$. Гидравлическое сопротивление всех ступеней одинаковое, что стабилизирует движение теста через матрицу, тем самым повышает качество формования и производительность матрицы, а, следовательно, повышает эффективность работы устройства.

Практическое внедрение. Новые технические решения использованы при изготовлении опытной партии формующих механизмов, которые были установлены в итальянских матрицах фирмы Lanclucci. В настоящее время на филиале «Боримак» УП «Борисовский комбинат хлебопродуктов» ОАО «Минскоблхлебпром» эти матрицы работают в технологической линии для производства короткорезаных макаронных изделий (рис. 4).

Заводские испытания показали, что опытные образцы матриц обеспечивают высокое качество полуфабрикатов при снижении количества отходов и увеличении производительности линии на 10–15 %. Ниже приведены рекомендации по выбору основных геометрических и конструктивных параметров матриц (табл. 3).

Из табл. 3 следует, что если наружный диаметр матрицы — предпочтительное число, а площадь отверстий определяется по формуле

$$S_{отв} = \frac{d_n^2}{\sqrt{\Phi}}, \tag{8}$$

то в этом случае достигается максимальная (наибольшая) взаимосвязь всех параметров между собой. Кроме того, в соответствии с ГОСТ 8032-56, в рядах, начиная с R10, находится число 3,15, приблизительно равное π, т.е. длины окружности и площади круга примерно равны предпочтительным числам, а ряд R40 включает предпочтительные числа 3000, 1500, 750 и 375, представляющие собой синхронные частоты вращения валов электродвигателей в оборотах в мин.

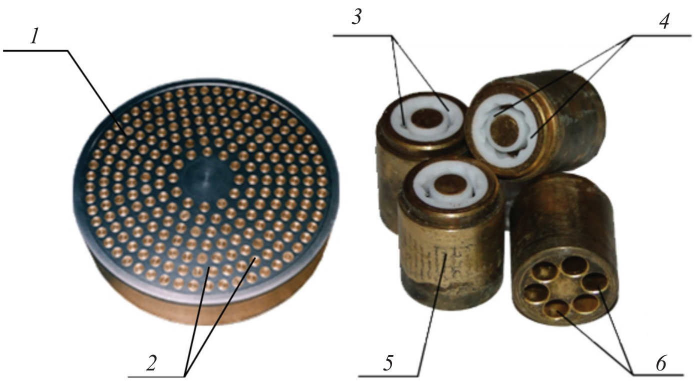


Рис. 4. Общий вид матрицы и формующих механизмов
Fig. 4. The General view of matrix and pilchard mechanisms

Таблица 3. **Рекомендации по выбору основных геометрических и конструктивных размеров матрицы**
Table 3. **Recommendations for choosing the basic geometric and structural dimensions of the matrix**

Площадь отверстий	Наружный диаметр матрицы, мм	Диаметры отверстий, длина щели, ширина щели, высота щели, мм	Ряды предпочтительных чисел	Количество отверстий в матрицах, шт.
$S_{отв} = \frac{d^2}{\sqrt{\Phi}}$, где Φ = 1,618 *d* — диаметр отверстия	123	1,272		113
	156	1,618	R1 $q_1 = 1{,}618$	144
	199	2,058		233
	253	4,242	R2 $q_2 = 1{,}272$	377
	321	5,396		425
	409	6,081	R4 $q_4 = 1{,}128$	540
	520	8,728		609
	662	11,092	R8 $q_8 = 1{,}061$	775

Заключение. Для совершенствования важнейших параметров рабочих органов (матриц) прессов для производства макаронных изделий предложен методологический метод, основанный на использовании теории предпочтительных чисел. Показано новое направление в развитии теории предпочтительных чисел, составлена современная классификация, включающая в себя геометрическую теорию чисел, предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. Предложена современная классификация рядов предпочтительных чисел, содержащая основной ряд предпочтительных чисел с применением последовательности Фибоначчи, получена новая формула для определения знаменателей геометрических прогрессий рядов предпочтительных чисел. Разработаны модели матриц, в которых использованы закономерности рядов предпочтительных чисел и дано их расчетное обоснование в виде конкретных примеров, выработаны практические рекомендации по выбору основных геометрических и конструктивных размеров матриц.

Список использованных источников

1. *Бухштаб, А.А.* Теория чисел / А.А. Бухштаб. — М.: Просвещение, 1966. — 384 с.
2. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел : ГОСТ 8032-84 (СТ СЭВ 3961-83). Введ. 01.07.85. -М.: Изд-во стандартов, 1987 — 19 с.
3. Матрица для производства макаронных изделий: пат. 7401 Респ. Беларусь : МПК A21C11 /16/ (2005) / В.Я. Груданов, В.Я. Смагин, А.А. Выскварко ; дата публ. 30.03.2003.
4. Матрица для производства макаронных изделий: пат. 12618 Респ. Беларусь : МПК A21C3/00 (2006) / Груданов В.Я., Бренч А.А., Флексер Р.В. ; дата публ. 30.12.2008.
5. *Воробъев, Н.Н.* Числа Фибоначчи / Н.Н. Воробьев. - М.: Наука, 1969. — 216 с.
6. *Васютинский, Н.А.* Золотая пропорция / Н.А. Васютинский.- М.: Мол. Гвардия, 1990. — 123 с.
7. *Иванус, А.И.* Код да Винчи в бизнесе или гармоничный менеджмент по Фибоначчи / А.И. Иванус. — М.: Ленанд, 2005.- 104 с.

8. *Фернандо, К.* Золотое сечение. Математический язык красоты: пер. с англ. / К. Фернандо. — М.: Де Агостини, 2013.- 160 с.
9. *Вайтехович П.Е.* Моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования / П.Е. Вайтехович, В.С. Францкевич. — Мн.: БГТУ, 2014 — 268 с.
10. *Груданов, В.Я.* Основы инженерного творчества / В.Я. Груданов. — Мн.: Изд. центр БГУ, 2005. — 299 с.
11. *Груданов, В.Я.* «Золотая» пропорция в инженерных задачах / В.Я. Груданов. — Могилев, МГУ им. А.А. Кулешова, 2006. — 288 с.

References

1. Buchstab A.A. Teoriychisel [NumberTheory]. Moscow: Education, 1966. 384 p.
2. Predpochtitelnye chisla i ryadi predpochtitelnykh chisel [Preferred numbers and preferred number]: GOST 8032-84 (ST SEV 3961-83). Introduced. 7.1.85. M .: Publishing House of Standards, 1987. 19 p.
3. Matrica dlya proizvodstva makaronnykh izdeliy [The matrix for the production of pasta]: US Pat. 7401 Rep. Belarus: IPC A21S11 / 16 / (2005) / V.J. Grudanov, V.Y. Smagin, A. Vyskvarko; publ date. 30.03.2003.
4. Matrica dlya proizvodstva makaronnykh izdeliy [Matrix for the production of pasta]: US Pat. 12618 Rep. Belarus: A21S3 IPC / 00 (2006) / V.J. Grudanov, A.A. Brench, R.V.Flexer ; publ date. 30.12.2008.
5. Vorobyov N.N. Chisla Fibonachi [Numbers Fibonacci].Moscow: Nauka, 1969.216 p.
6. Vasyutinskiy N.A. Zolotaya proporciya [Golden Ratio].Moscow: Mol. Guard, 1990. 123 p.
7. Ivanus A.I. Kod da Vinchi v biznese ili garmonichniy menedgment po Fibonachi [The Da Vinci Code in a business or balanced management Fibonacci].Moscow: LENAND, 2005. 104 p.
8. Fernando K. Zolotoe sechenie. Matematicheskiy yazik krasoti [Golden Section. Mathematical Beauty language: Per. from English]. Moscow: De Agostini, 2013. 160 p.
9. Vaytehovich P.E. Modelirovanie i optimizaciya tekhnologicheskich procecov i oborydovaniy [Modelling and optimization of technological processes and equipment]. Minsk: Baltic State Technical University, 2014.268 p.
10. Grudanov V.Y. Osnov iingenernogo tvorchestva [Fundamentals of engineering creativity].Minsk: Ed. Center BSU, 2005. 299 p.
11. Grudanov V.Y. "Zolotaya" proporciya v ingenernikh zadachakh [„Golden" proportion in the engineering tasks]. Mogilev, Moscow State University A.A. Kuleshov, 2006. 288 p.

Информация об авторах

Груданов Владимир Яковлевич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь).

Торган Анна Борисовна — кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: anechkat@tut.by

Григель Алексей Иосифович — магистрант кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: alex_10.92@mail.ru

Information about the authors

Grudanov Vladimir Yakovlevich — D. Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology and Technical supply of the processes of agricultural products processing of educational institution "Belarusian State Agrarian Technical University" (99, Nezavisimosti ave., 220124, Minsk, Republic of Belarus).

Torhan Anna Borisovna — Ph. D, (Engineering), Assistant Professor of the Department of technology and technical supply of the processes of agricultural products processing of educational institution "Belarusian State Agrarian Technical University" (99, Nezavisimosti ave., 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anechkat@tut.by

Grigel Alexey Iosifovich — master graduate student of the Department of technology and technical supply of the processes of agricultural products processing of educational institution "Belarusian State Agrarian Technical University" (99, Nezavisimosti ave., 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alex_10.92@mail.ru