

УДК 664.692.5

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1\(59\)-76-84](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2023-16-1(59)-76-84)

Поступила в редакцию 31.08.2022

Received 31.08.2022

В. Я. Груданов¹, А. Б. Торган,¹ П. В. Станкевич²¹*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*²*Открытое акционерное общество «Борисовдрев», Минская область, г. Борисов, Республика Беларусь*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВНЫХ МАТРИЦ И РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В статье приводятся преимущества применения в процессе формирования короткорезанных макаронных изделий составной матрицы с формующими отверстиями, концентрично расположенными равномерно по всей плоскости по сравнению с серийной (заводской) матрицей. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению зависимостей технологических параметров составных матриц. Получены графические соотношения зависимости производительности прессы от величины частоты вращения шнека прессы, создаваемого давления прессования в тубусе матрицы от частоты вращения шнека, изменения температуры теста в тубусе в зависимости от давления, мощности прессы от частоты вращения шнека прессы и производительности прессы от величины давления прессования на сплошных (серийных) матриц и матриц составных. Разработана методика инженерного расчета конструктивных параметров матрицы для определения рациональных параметров процесса прессования макаронных изделий. Произведен расчетный экономический эффект от внедрения составной матрицы. Новые технические решения на составные матрицы защищены патентами Республики Беларусь на изобретения № 17855, 18195, 19138 и 21246.

Ключевые слова: серийная матрица, частота вращения шнека, производительность прессы, давление прессования, температура теста, СТБ 1963–2009, мощность прессы, методика инженерного расчета, экономический эффект, составная матрица, площадь живого сечения матрицы.

V. Y. Grudanov¹, A. B. Torgan¹, P. V. Stankevich²¹*Educational Institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Minsk, Belarus*²*Open Joint Stock Company “Borisovdrev”, Minsk region, Borisov, Republic of Belarus*

DETERMINATION OF DEPENDENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF COMPOSITE MATRIXES AND RATIONAL PARAMETERS OF THE PROCESS OF PRESSING PASTA

Abstract. The article presents the advantages of using a composite matrix with forming holes concentrically spaced evenly over the entire plane in the process of forming short-cut pasta products compared to a serial (factory) matrix. The results of experimental studies to determine the dependences of the technological parameters of composite matrices are presented. Graphical relationships are obtained depending on the productivity of the press on the rotational speed of the press screw, the pressing pressure created in the matrix tube on the rotational speed of the screw, the change in the temperature of the dough in the tube depending on the pressure, the power of the press on the rotational speed of the screw of the press and the productivity of the press on the value pressing pressure on solid (serial) matrices and composite matrices. A technique for engineering calculation

of the design parameters of the matrix has been developed to determine the rational parameters of the pasta pressing process. The calculated economic effect from the introduction of a composite matrix was made. New technical solutions for composite matrices are protected by patents of the Republic of Belarus for inventions No. 17855, 18195, 19138 and 21246.

Key words: serial matrix, screw speed, press performance, pressing pressure, dough temperature, STB 1963–2009, press power, engineering calculation method, economic effect, composite matrix, square living section matrix.

Введение. Широкое применение высокопроизводительного оборудования и создание на его основе комплексных автоматизированных линий по изготовлению короткорезанных макаронных изделий обуславливают необходимость создания сменных матриц и решения проблемы импортозамещения. Определяющее значение на технико-экономические показатели работы пресса оказывает и конструкция матрицы. Именно матрица представляет наибольшее гидравлическое сопротивление, на преодоление которого затрачивается основная энергия пресса. Снижение гидравлического сопротивления матрицы позволит добиться соотношения, чтобы производительность матричного узла была бы равна производительности шнека. В этом случае проходное (живое) сечение матрицы будет значительно больше, сопротивление меньше, что в конечном итоге увеличит производительность пресса, снизит энергозатраты и повысит экономическую эффективность машины в целом.

Результаты исследований и их обсуждение. Наибольший экономический эффект можно получить при использовании матриц с формующими отверстиями, концентрично расположенными равномерно по всей плоскости и изготовленной составной из двух частей. Для концентричного расположения отверстий необходимо применить математическую модель перфорированной перегородки, которая изготовлена основываясь на законах «золотой пропорции» и свойств ряда чисел Фибоначчи.

На рис. 1 показана разработанная и изготовленная составная матрица, состоящая из двух частей: периферийной (1), выполненной в виде кольца, и центральной (3), имеющей вид диска. На рис. 2 показаны матрицы серийные и новые составные.

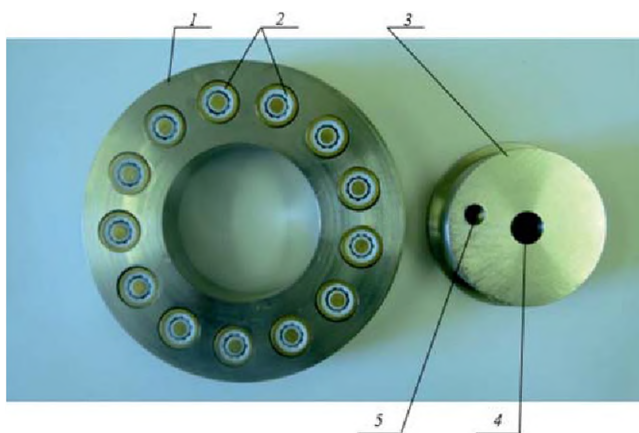


Рис. 1. Матрица в разобранном состоянии: 1 — периферийная часть матрицы; 2 — формующие вставки; 3 — центральная часть матрицы; 4 — отверстие для ножа; 5 — отверстие для датчика

Fig. 1. Matrix in disassembled state: 1 — peripheral part of the matrix; 2 — forming inserts; 3 — central part of the matrix; 4 — knife hole; 5 — hole for the sensor

Таким образом, лабораторные испытания необходимо провести в двух вариантах:

- ♦ на заводских (серийных) матрицах;
- ♦ на опытных образцах составных матриц.

В целях проведения экспериментального исследования технологических параметров испытываемых матриц был сконструирован, изготовлен, скомплектован и запущен лабораторный стенд на базе комплектного пресс-автомата по изготовлению короткорезанных макаронных изделий МИТ-2 и сопутствующей подобранной контрольно-измерительной аппаратуре и автоматике для фиксации выбранных значений параметров процесса формирования короткорезанных макаронных изделий, все между собой объединенных в автоматическую систему компьютерного контроля основных значений параметров процесса (рис. 3).

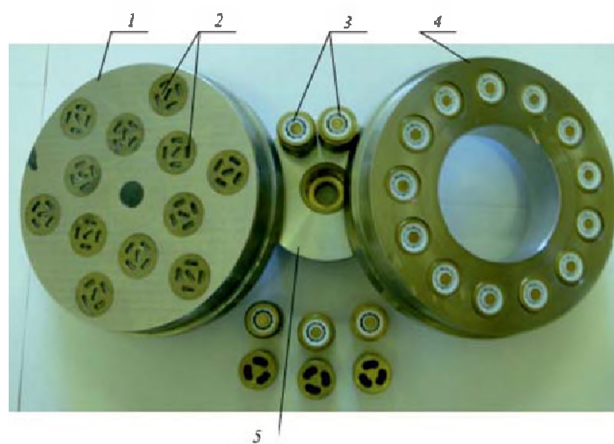
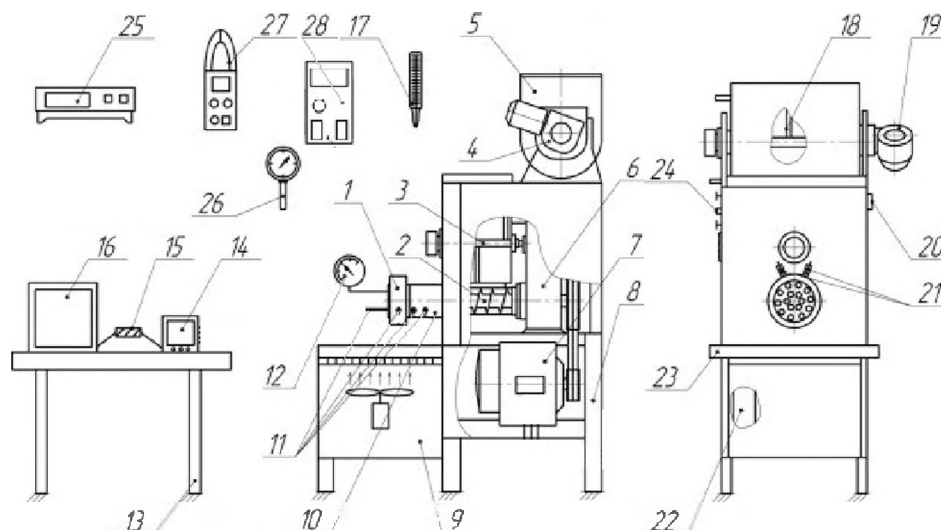


Рис. 2. Матрицы для производства макаронных изделий: 1 — матрица серийная; 2, 3 — формирующие механизмы; 4 — матрица составная (кольцевая часть); 5 — матрица составная (центральная часть)
Fig. 2. Matrices for the production of pasta: 1 — serial matrix; 2, 3 — forming mechanisms; 4 — composite matrix annular part; 5 — composite matrix (central part)



1 — составная матрица; 2 — шнек пресса; 3 — вал смесителя с лопатками; 4 — редуктор приводной; 5 — бункер для предварительного хранения сырья; 6 — редуктор шнека пресса; 7 — привод шнека пресса; 8 — рама основная; 9 — узел вентиляции для обдува сырых макаронных изделий; 10 — корпус основания; 11 — термопары; 12 — 8-ми диапазонный датчик давления; 13 — лабораторный стол; 14 — 8-ми канальный ПИД-регулятор с RS-485 измеритель-регулятор; 15 — AC4-M преобразователь интерфейсов RS-485; 16 — компьютер переносной; 17 — лабораторный термометр; 18 — вал смесителя; 19 — привод смесительного устройства; 20 — выключатель концевой; 21 — штуцера рубашки охлаждения тубуса; 22 — шкаф электрический; 23 — лоток направляющий; 24 — шкаф для управления МИТ-2; 25 — весоизмерительное устройство; 26 — бесконтактный автоматический тахометр; 27 — клещи-ваттметр; 28 — малогабаритный векторный частотный привод

Рис. 3. Схема стенда по проведению экспериментальных исследований по определению зависимости технологических параметров матриц
Fig. 3. Scheme of the stand for conducting experimental studies to determine the dependence of technological parameters of matrices

В процессе исследований зависимости технологических параметров испытываемых матриц определены входные регулируемые параметры процесса формирования: влажность теста (W_T , %); температура макаронной матрицы (t , °C); частота вращения шнека пресса (n , мин⁻¹); геометрические и конструктивные параметры макаронной матрицы (мм).

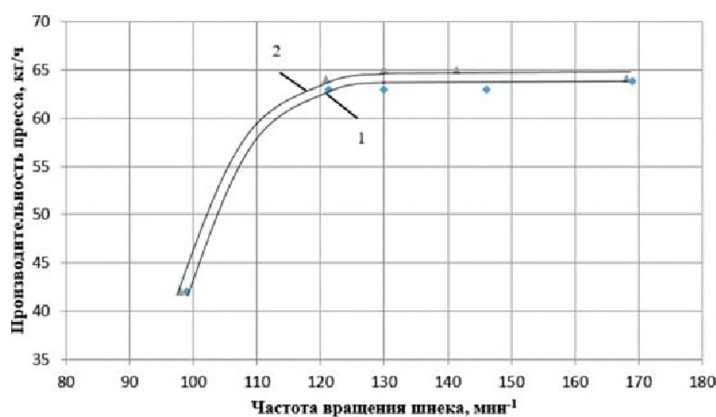
Выходными параметрами процесса формования определены: мощность пресса (N , кВт), производительность процесса (Q , кг/ч), повышение температуры теста при прессовании (Δt , °C), создаваемое давление прессования в тубусе матрицы (P , МПа).

Для проведения эксперимента выбрана мука хлебопекарная высшего сорта М-54-28 (СТБ 1666–2006 «Мука пшеничная»). При проведении опыта определялась влажность муки для расчета необходимого объема воды для получения теста влажностью 29–31 %.

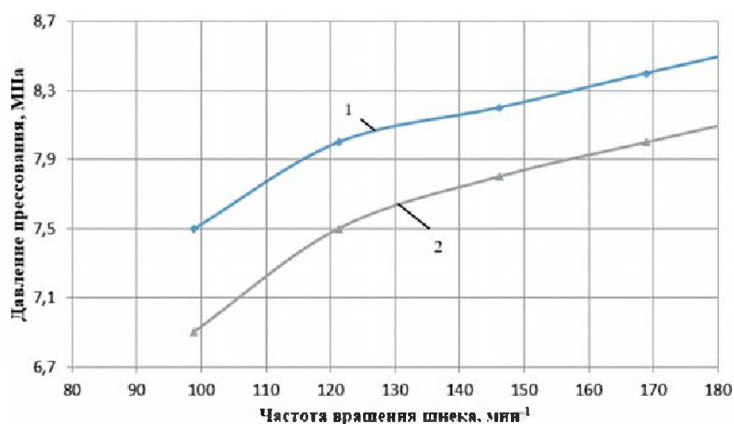
После обработки полученных данных эксперимента, созданы следующие графические соотношения: зависимость производительности пресса от величины частоты вращения шнека пресса; зависимость создаваемого давления прессования в тубусе матрицы от частоты вращения шнека пресса; изменение температуры теста при прессовании в тубусе от создаваемого давления прессования в тубусе матрицы; зависимость электрической мощности от частоты вращения шнека пресса. Проведен анализ построенных графических зависимостей макаронных обычных матриц и составных матриц и обоснованы рациональные технологические параметры.

Графическое соотношение зависимости производительности пресса от величины частоты вращения шнека пресса сплошных (серийных) матриц и матриц составных представлена на рисунке 4а.

В результате проведения анализа данных графиков можно отметить, что графические зависимости производительности пресса от величины частоты вращения шнека пресса на сплошных и составных матрицах выглядят в виде экспоненты. Но при значении частоты около 120 мин^{-1} при выходе на полную производительность графическая зависимость приобретает сугубо линейный характер, более того, оба графика изменяются по одному и тому же закону.



а



б

Рис. 4. Графики зависимости а) производительности пресса от величины частоты вращения шнека; б) давления прессования от частоты вращения шнека: 1 — серийная матрица; 2 — матрица составная

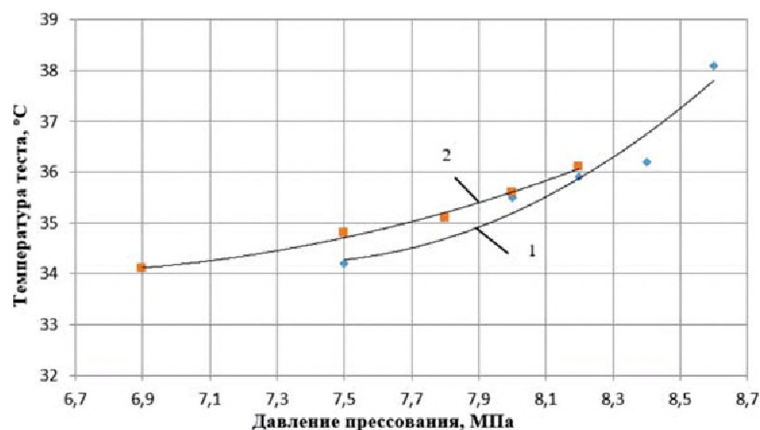
Fig. 4. Graph of the a) dependence of the press productivity on the value of the screw speed; b) pressing pressure on the speed of the screw: 1 — serial matrix; 2 — composite matrix

Также очевидно, что частота вращения $120 \pm 5 \text{ мин}^{-1}$ является рациональной для производительности процесса, а составная матрица имеет большую пропускную способность и меньшее гидравлическое сопротивление.

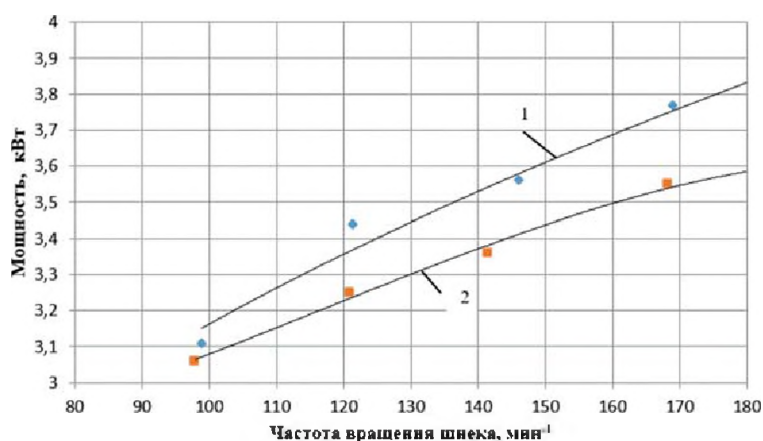
Графическое соотношение зависимости создаваемого давления прессования в тубусе матрицы от частоты вращения шнека пресса для серийных матриц и матриц составных представлена на рис. 4б. При проведении анализа построенных графиков можно определить такую тенденцию, что давление прессования в тубусе матрицы по абсолютной величине больше на обычных матрицах в отличие от составных матриц, а изменения давления в обеих матрицах происходит равномерно. С увеличением частоты вращения шнека пресса повышение давления на составных матрицах замедляется.

График зависимости давления от величины частоты вращения шнека представлены в виде полиномиальных кривых. По графикам возможно сделать заключение, что при частотах вращения шнека пресса $120\text{--}180 \text{ мин}^{-1}$ — рабочее давление составляет $7,2\text{--}8,4 \text{ МПа}$, значит рациональное давление прессования в пределах $7,4\text{--}8,0 \text{ МПа}$.

На рис. 5а представлена кривая зависимости изменения температуры теста в тубусе в зависимости от давления на сплошных (серийных) матрицах и составных матрицах. При анализе кривых можно отметить, что при росте давления происходит увеличение температуры теста, а минимальная разница между значениями давления на сплошной и составной матрицах фиксируется при значении температуры теста около 36°C .



а



б

Рис. 5. Графики зависимости а) температуры теста от давления прессования; б) электрической мощности от величины частоты вращения шнека пресса:

1 — серийная матрица; 2 — матрица составная

Fig. 5. Graph of dependence a) of dough temperature on pressing pressure; b) electric power from the value of the frequency of rotation of the press screw: 1 — serial matrix; 2 — composite matrix

С уменьшением давления прессования и при достижении абсолютного значения давления прессования к рабочему давлению, равному ориентировочно 8 МПа на сплошных (серийных) матрицах и на составных матрицах, температура теста будет ориентировочно одинаковой в диапазоне 35,5–35,8 °С.

Графики зависимости давления прессования серийной и составной матриц имеют полиномиальную зависимость и, при увеличении давления прессования, равномерно увеличивается температура теста. Увеличение температуры происходит, потому что сплошные матрицы имеют большее гидравлическое сопротивление, чем составные матрицы, и не наблюдается процесс изменения структуры белка теста, тем самым повышается качество продукта.

На рис. 5б представлены кривые зависимости мощности прессования от частоты вращения шнека пресса на сплошных (серийных) матрицах и на составных матрицах. Из данных зависимостей определено, что мощность прессования по абсолютной величине большая на серийных матрицах и меньше на составных матрицах и дальше также происходит рост.

Увеличение мощности пресса в серийных матрицах и составных матрицах происходит равномерно.

При анализе графика зависимости электрической мощности от величины частоты вращения шнека пресса характеризуются в виде линейных зависимостей, это объясняется тем, что сплошные матрицы имеют большее гидравлическое сопротивление, чем составные матрицы, что ведет к росту электрической мощности на 5–7 % и приводит к увеличению энергозатрат в целом по процессу формования.

При частоте вращения $120 \pm 5 \text{ мин}^{-1}$ мощность доходит до 3,3–3,5 кВт.

Кривые зависимостей производительности пресса от величины давления прессования на сплошных матрицах и на составных матрицах показаны на рис. 5.

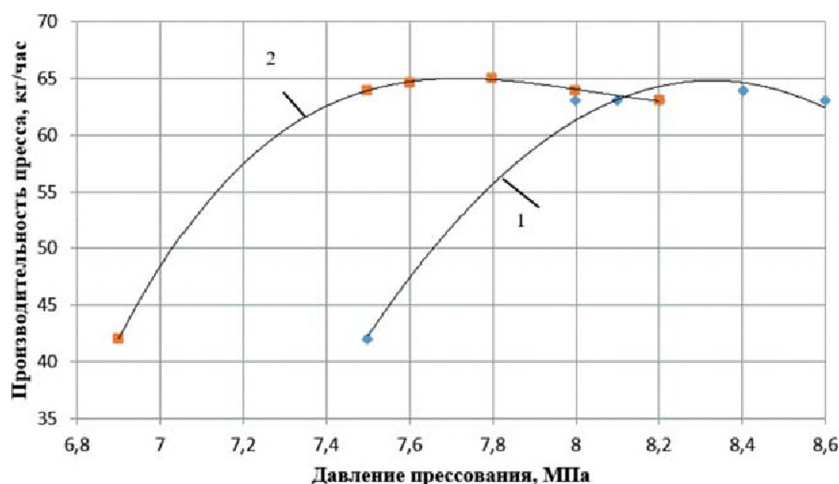


Рис. 6. Графики зависимости производительности пресса от давления прессования:

1 — серийная матрица; 2 — матрица составная

Fig. 6. Graph of dependence of press productivity on pressing pressure:

1 — serial matrix; 2 — composite matrix

Как показывают графики на рис. 6, производительность пресса стремительно повышается в зависимости от давления прессования в предматричном пространстве, но затем при значениях давления прессования 7,5–7,9 МПа графики приобретают линейную зависимость с небольшим снижением при дальнейшем росте давления, причем достижение полной производительности пресса $63 \pm 5 \text{ кг/ч}$ происходит при значении давления прессования 7,7–7,8 МПа на сплошных и составных матрицах. Особенность кривых объясняется преимуществами составных матриц по сравнению с серийными (сплошными).

Методика инженерного расчета конструктивных параметров матрицы. В целях определения рациональных параметров процесса прессования макаронных изделий, построим графические зависимости параметров процесса (рис. 7): производительность пресса Q (кг/час), площадь живого сечения матрицы f_m (м²), давления прессования P (МПа), частота вращения шнека ($n \text{ мин}^{-1}$), мощность N (кВт).

Для достижения установленной производительности необходимо произвести выбор частоты вращения шнека, затем определить параметры мощности и давления прессования. При со-

вершенствовании технологического процесса в нашем случае установлены рациональные параметры: частота вращения $n = 120 \pm 5 \text{ мин}^{-1}$, рабочее давление $P = 7,4\text{--}8,0 \text{ МПа}$, потребляемая мощность $N = 3,3\text{--}3,5 \text{ кВт}$, при которых достигается максимальная производительность пресса $Q = 63 \pm 2 \text{ кг/час}$, снижение потерь за счет уменьшения отходов в виде концов, при уменьшении количества отбракованных изделий, не соответствующих СТБ 1963–2009 «Изделия макаронные. Общие технические условия», которые отправляют на повторную переработку (размол) и экономический эффект.

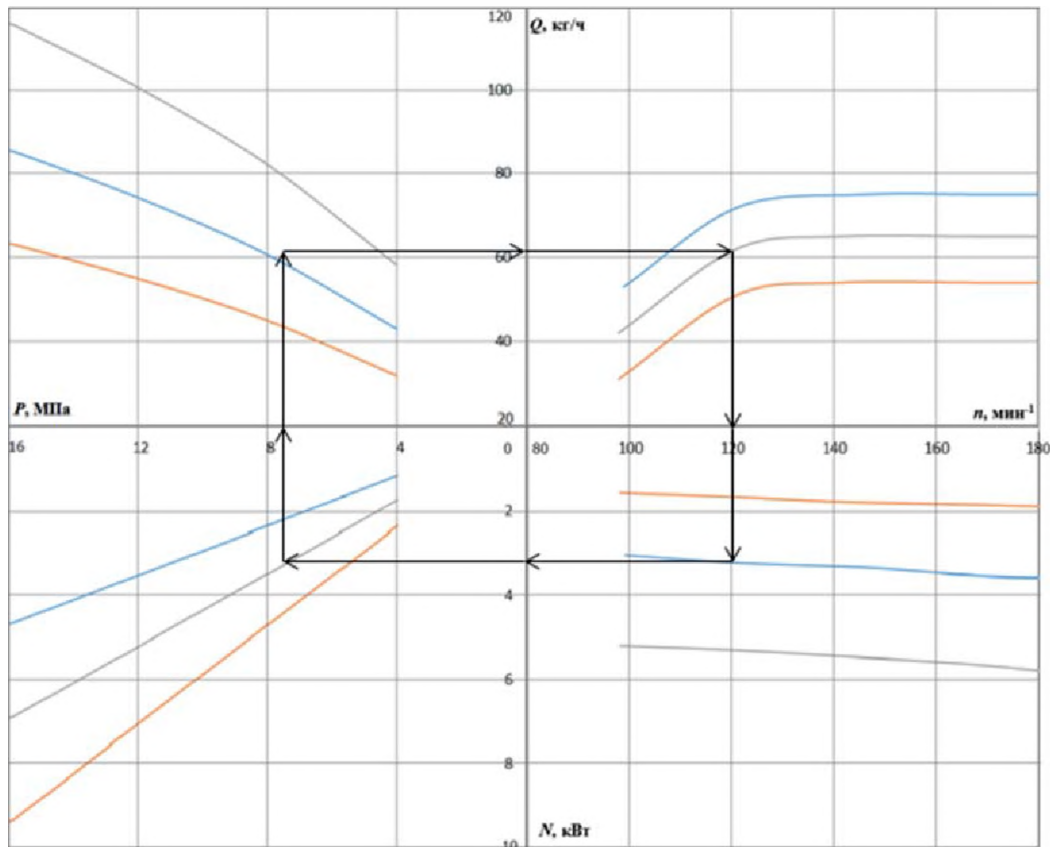


Рис. 7. График по определению рациональных параметров матрицы
Fig. 7. Graph for determining the rational parameters of the matrix

Расчетный экономический эффект. Расчетный экономический эффект при внедрении составной матрицы, изготавливаемой из твердой фосфористой бронзы БрАЖ9-4 и центральной вставки из стали марки 20Х13, с учетом стоимости металла, эксплуатационных издержек с учетом инвестиций составит 3390 Евро по сравнению с базовым вариантом (табл. 1).

Заключение. На основании разработанной программы и методики, расчетных данных изготовлен опытный образец составной матрицы и проведены экспериментальные исследования. Экспериментально доказано, что расположение колодцев (формирующих механизмов) по концентрическим окружностям с использованием рядов предпочтительных чисел и коэффициента пропорциональности в виде значения «золотого сечения» (пропорции) позволяют получить одинаковую пропускную способность теста по всем рядам колодцев, включая периферийные, что и приводит к выравниванию скорости выпрессовывания, повышению качества отформованных изделий и снижению отходов при их отрезании.

Улучшенная технология производства макаронных изделий с применением составных матриц на базе пресс-автомата МИТ-2 позволила достигнуть снижения значений давления в предматричном пространстве на 4–7 %, уменьшения энергопотребления на 8–10 %, увеличения производительности до 5 %. Опытный образец новой конструкции матрицы для производства макаронных изделий обеспечивает получение качественной продукции при улучшении эксплуатационных характеристик и может быть рекомендован взамен итальянских аналогов.

Таблица 1. Основные расчетные технико-экономические показатели
Table 1. Main calculated technical and economic indicators

Наименование показателя	Ед. изм.	Варианты	
		Базовый	Проектируемый
Годовой объем выпуска, A_n	тонн	4870,95	4870,95
Годовые эксплуатационные издержки, $C_{ед}$	Евро	1612,10	1351,24
Инвестиции, I	Евро	1372,92	1150,76
Эксплуатационные издержки на единицу продукции, $C_{ед.i}$	Евро	0,33	0,28
Амортизационные отчисления, A_0	Евро	155,14	130,04
Удельные инвестиции (капитальные вложения), $I_{ед}$	ро	08	0,23
Прочие расходы, $C_{пр}$	Евро	84,	70,44
Прямые затраты на матрицу, I_m	Евро	1372,92	1150,76
Количественные показатели:			
прибыль	Евро		260,86
годовой объем выпуска	тонн	4870,95	4870,95
Показатели эффективности:			
внутренняя норма доходности инвестиций	%		26,2
чистый приведенный доход	Евро		2553,76
приведенные затраты	Евро	0,372	0,314
срок окупаемости инвестиций	лет		2
годовой экономический эффект	Евро		3390,18

Расчетный экономический эффект от внедрения предложенной технологии в производство составляет 3390 Евро, что свидетельствует о целесообразности практической реализации проекта, что позволит увеличить производительность и эффективность производственного процесса формования макаронных изделий.

Предложена методика инженерного расчета по определению конструктивных и технологических параметров составных матриц нового поколения. На основании полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований обоснованы рациональные технологические параметры для предложенной матрицы пресса: частота вращения $n = 120 \pm 5 \text{ мин}^{-1}$, рабочее давление $P = 7,4...8,0 \text{ МПа}$, потребляемая мощность $N = 3,3...3,5 \text{ кВт}$, при которых достигается максимальная производительность пресса $Q = 63 \pm 2 \text{ кг/час}$ при увеличении энергоэффективности процесса, улучшении качества и уменьшении отходов.

Список использованных источников

1. Назаров, Н. И. Технология макаронных изделий: учебник для вузов / Н. И. Назаров. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 286 с.
2. Медведев, Г. М. Технология макаронного производства: учебник для вузов / Г. М. Медведев. — М.: Колос, 1998. — 272 с.
3. Буров, Л. А. Технологическое оборудование макаронных фабрик / Л. А. Буров, Г. М. Медведев. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 287 с.
4. Вандакурова, Н. И. Технологический контроль и учет макаронного производства: учебное пособие / Н. И. Вандакурова. — Кемерово: РИО Кем-ТИПП, 1998. — 97 с.
5. Матрица для производства макаронных изделий: Пат. 17855 Республики Беларусь. МПК А21С11/16 / В.Я. Груданов, В.М. Поздняков, А.А. Бренч, П.В. Станкевич; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»; заявл. 21.04.2011, опубликовано 30.12.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэл. уласн. — 2013. — №12.
6. Матрица для производства макаронных изделий: Пат. 18195 Республики Беларусь. МПК А21С11/16 / В.Я. Груданов, В.М. Поздняков, А.А. Бренч, П.В. Станкевич; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»; заявл. 28.09.2011, опубликовано 29.01.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэл. уласн. — 2014.
7. Матрица для производства макаронных изделий: Пат. 19138 Республики Беларусь. МПК А21С11/16 / В.Я. Груданов, В.М. Поздняков, А.А. Бренч, П.В. Станкевич; заявитель

- Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»; заявл. 27.01.2012, опубликовано 30.04.2015.
8. Матрица для производства макаронных изделий: Пат. 21246 Республики Беларусь. МПК А21С11/16 / В.Я. Груданов, А.Б. Торган, П.В. Станкевич; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»; заявл. 16.02.2016, опубликовано 26.07.2018.

Информация об авторах

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

Торган Анна Борисовна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь).

E-mail: anechkat@tut.by

Станкевич Павел Витальевич, кандидат технических наук, заместитель генерального директора — главный инженер ОАО «Бирисовдрев» (222120, ул. 30 лет ВЛКСМ, 18, г. Борисов, Минская область, Республика Беларусь).

E-mail: pavelstankevichy@gmail.com

Information about authors

Grudanov Vladimir Yakovlevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Technology and Logistics Processes, Processing of Agricultural Products Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti avenue, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

Torhan Anna Borisovna, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Technologies and Technical Support of Agricultural Processing Processes Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosti avenue, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: anechkat@tut.by

Stankevich Pavel Vitalevich, PhD (Engineering), Deputy General Director — Chief Engineer of OAO Birisovdrev (18 str. 30 years of Komsomol, 222120, Borisov, Minsk region, Republic of Belarus).

E-mail: pavelstankevichy@gmail.com