

ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ
PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 664.692.5
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-2-235-243>

Поступила в редакцию 31.12.2019
Received 31.12.2019

В. Я. Груданов, А. Б. Торган, П. В. Станкевич

Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

**ПРОЦЕСС ФОРМОВАНИЯ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
В КОЛОДЦАХ МАТРИЦЫ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ,
ПЛАСТИФИКАЦИЕЙ И РАЗОГРЕВОМ ТЕСТА**

Аннотация: В существующих конструкциях матриц отечественного и зарубежного производства отсутствует предварительное уплотнение, пластификация и разогрев теста, что приводит к значительному гидравлическому сопротивлению в зоне входа потока теста в формирующие отверстия фильер и увеличивает энергозатраты, при этом в типовых матрицах поперечное сечение глубоких и пустых колодцев значительно больше суммарной площади формирующих отверстий. Поток теста практически становится неуправляемым, а это приводит к гидравлическому удару и разрушению фильер. Данная проблема может быть решена установкой в колодцах (их глубина составляет 50–120 мм) матрицы специальных вставок. В статье показано новое направление в конструировании матриц для производства макаронных изделий, в частности, предложено в колодцах матрицы устанавливать вставки, выполненные в виде трубы Вентури. Рассмотрены реологические основы течения теста в цилиндрических каналах вставок, построены математические модели для определения объемного расхода теста и скорости течения теста. Теоретически установлено, что объемный расход теста Q_0 и скорость его течения зависят от длины цилиндрического канала и вязкости теста. Приведены результаты экспериментальных исследований. Опытным путем установлено, что вставки, расположенные в колодцах матрицы, предварительно уплотняют тесто, пластифицируют и разогревают его, при этом производительность пресс-автомата МИТ-2 за счет увеличения скорости выпрессовывания повышается в среднем на 25–26 % при заметном улучшении качества отформованных полуфабрикатов и снижении удельных энергозатрат.

Ключевые слова: макаронные изделия, матрица, колодцы, вставка, формирующие отверстия, трубы Вентури, длина цилиндрической части вставки, разогрев теста, уплотнение теста, скорость течения теста, реологические основы прессования, коэффициент вязкости

Для цитирования: Груданов, В. Я. Процесс формирования макаронных изделий в колодцах матрицы с предварительным уплотнением, пластификацией и разогревом теста / В. Я. Груданов, А. Б. Торган, П. В. Станкевич // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, №2. – С. 235–243. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-2-235-243>

Vladimir Ya. Grudanov, Anna B. Torhan, Pavel V. Stankevich

The Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

**PROCESS OF PASTA PRODUCTS FORMING IN MATRIX WELLS WITH PRE-COMPACTION,
PLASTICIZATION AND HEATING OF DOUGH**

Abstract: The existing designs of domestic and foreign matrices lack pre-compaction, plasticization and heating of dough, which leads to significant hydraulic resistance in the area where dough flow enters the forming holes of the dies and increases energy consumption, while in typical matrices the cross section of deep and empty wells is much larger than the total area of forming holes. The dough flow almost becomes uncontrollable, and this leads to water hammer effect and destruction of dies. This problem can be solved by installing special inserts in the matrix wells (depth of wells is 50-120 mm). The paper shows a new direction in design of matrices for production of pasta, in particular, it is proposed to install spiral inserts in the wells of matrix, manufactured in the form of Venturi tubes. Rheological basis of dough flow in the cylindrical channels of the insert are

considered, mathematical models for determination of the dough volume flow rate and dough flow rate are constructed. It is theoretically established that the volume flow rate of the dough Q_0 and its flow rate depend on the length of the cylindrical channel and the viscosity of dough. The results of experimental researches are presented. It is empirically established that the inserts located in the wells of the matrix pre-compact dough, plasticize and heat it, the productivity of the press machine MIT-2 due to increasing the speed of extrusion is increased averagely by 25-26 % with significant improvement in quality of the formed semi-finished products and reduction of energy consumption.

Keywords: pasta, matrix, wells, insert, forming holes, Venturi tubes, length of the cylindrical part of insert, dough heating, dough compaction, dough flow rate, rheological basis of pressing, viscosity coefficient

For citation: Grudanov V. Ya., Torhan A. B., Stankevich P. V. Process of pasta products forming in matrix wells with pre-compaction, plasticization and heating of dough. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no 2, pp. 235–243 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-2-235-243>

Введение. Наибольшее распространение в макаронной промышленности Республики Беларусь получили автоматизированные технологические линии зарубежного производителя фирмы BUNLER AG (Швейцария), в которых используются матрицы итальянской фирмы Landucci. Матрицы имеют значительные габаритные размеры: толщина (высота) 110 и 140 мм при наружном диаметре 520 и 610 мм. При этом на дне колодцев матрицы устанавливаются вкладыши с формирующими щелями (фильеры), высота которых в большинстве случаев не превышает 20 мм, т.е. колодцы глубокие и пустые.

Типовые матрицы для производства макаронных изделий в целом работают хорошо, однако имеют весьма существенные конструктивные недостатки: значительное гидравлическое сопротивление в колодцах матрицы при входе потока теста в формирующие отверстия фильер; неравномерная скорость выпрессовывания теста на периферийных участках рабочей поверхности корпуса матрицы и др. [1–9]

Колодцы в матрицах глубокие и пустые, их поперечное сечение больше суммарной площади формирующих отверстий фильер, что и приводит к гидравлическому удару при входе потока теста из колодцев в формирующие отверстия фильер, при этом в колодцах практически не происходит предварительного уплотнения, пластификации и разогрева теста, т.е. отсутствует предварительная подготовка теста к процессу формования [10–16].

Данная проблема может быть решена установкой в колодцах матрицы специальных вставок. Применение вставки позволяет: стабилизировать поток и осуществить более плавный переход теста в формирующие отверстия фильеры без завихрения теста и обратной его подачи; провести дополнительное уплотнение, пластификацию и разогрев теста, тем самым снизить гидравлическое сопротивление при продавливании теста сквозь формирующие отверстия матрицы; повысить качество макаронных изделий; увеличить производительность макаронного пресса; повысить долговечность работы фильер.

Анализ современных технических решений показывает, что для колодцев матрицы наилучшим образом подходит вставка, выполненная в виде аналога трубы Вентури. Такие трубы имеют в своей основе стальную конструкцию с круглым поперечным сечением, изготавливаемую посредством сварки. Строение горловины позволяет не только поддерживать величину давления, но и не снижать его уровень существенно, что в целом обеспечивает минимальные гидравлические потери. Согласно литературным данным [2], трубы Вентури используются в качестве сужающих устройств расходомеров переменного перепада при измерении расхода жидкости, пара и газов.

Цель работы – повышение качества формования макаронных изделий путем управления потоком теста в конфузорно-дифузорных вставках, установленных в колодцах матрицы перед формирующими механизмами и обуславливающими предварительное уплотнение, пластификацию и разогрев теста.

Теоретическая часть. Исследования проводили в Белорусском государственном аграрном техническом университете на кафедре технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции в 2019 г.

Практическая разработка. В качестве образца формы вставки принята труба Вентури¹, обеспечивающая, как известно, минимально возможные гидравлические потери (рис. 1).

¹ Трубы Вентури. Технические условия : ГОСТ 23720–79. Введ. 01.07.80. М. : [б. и.], 1979. 17 с.

Вставка состоит из двух усеченных конусов различной длины: конфузора 1 диаметром d_k и высотой h_4 и диффузора 2 высотой h_2 с небольшой цилиндрической горловиной 3 между ними диаметром d_r и высотой h_3 . Конфузор 1, обращенный большим основанием в сторону шнека, служит для плавного входа потока теста и постепенного его уплотнения. Средняя, самая узкая, цилиндрическая часть вставки – горловина 3 – предназначена стабилизировать поток теста и направить его в диффузор 2. В диффузоре – конической части вставки, примыкающей расширенной частью к вкладышу 4 высотой h_1 с формующими отверстиями 5, – происходит преобразование части скоростного напора потока теста в статический, используемый для преодоления последующих гидравлических сопротивлений формующих отверстий вкладыша 4. В диффузоре скорость теста постепенно снижается, и кинетическая энергия тестового потока переходит в энергию давления с минимальными потерями. Одновременно происходит выравнивание плотности теста по объему. Важно отметить, что в конфузоре, горловине и диффузоре вставки имеет место не только постепенное уплотнение и пластификация тестового потока, но одновременно происходит предварительный его разогрев [10].

Таким образом, тесто подходит к вкладышу 4 предварительно уплотненным, пластифицированным и разогретым, а затем плавно входит в формующие отверстия 5 (без гидравлического «удара»).

Вставка установлена в колодце 6 на вкладыше 4 плотно (с натягом) без возможности проворачивания, при этом диаметр диффузора 2 равен диаметру вкладыша 4, что обеспечивает свободный проход теста из диффузора 4 в формующие отверстия 5. На рис. 1 показан вариант размещения вставки внутри колодца 6 на вкладыше 4 (вплотную без зазора). Вставка установлена неподвижно диффузором 2 вниз, а конфузором 1 вверх – навстречу движения теста, в плоскости с рабочей поверхностью корпуса 7 матрицы высотой H , при этом формующие отверстия 5 остаются открытыми для прохода теста.

Рабочее положение матрицы – горизонтальное. Под матрицей устанавливается вращающийся нож для отрезания отформованных изделий (не показан). Стрелками указано направление движения исходного сырья.

Для нормальной и эффективной работы устройства необходимо, чтобы площадь поперечного сечения горловины была равна суммарной площади формующих отверстий вкладыша, т.е.

$$F_{\Gamma} = \sum n_o d_o \text{ или } \frac{d_{\Gamma}^2}{\sqrt{\Phi}} = \sum n_o d_o,$$

где d_o – диаметр формующего отверстия; n_o – количество формующих отверстий во вкладыше; $\Phi = 1,618$ (значение золотого сечения), а $\sqrt{\Phi} = 1,272$.

Отсюда можно найти диаметр горловины:

$$d_{\Gamma}^2 = \sqrt{\Phi} \sum n_o d_o = 1,272 \sum n_o d_o,$$

и

$$d_{\Gamma} = \sqrt{1,272 \cdot \sum n_o d_o}.$$

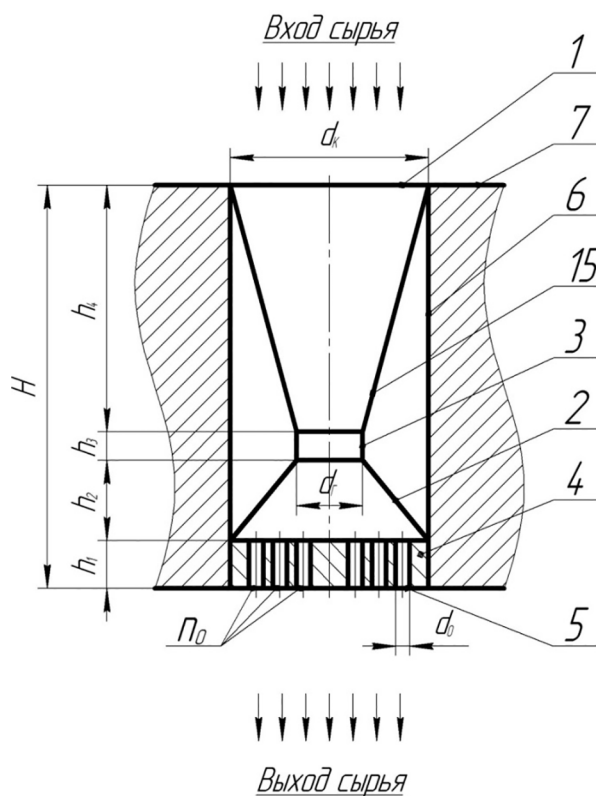


Рис. 1. Схема вставки макаaronной матрицы с предварительным уплотнением, пластификацией и разогревом теста

Fig. 1. Layout of insert for pasta matrix with pre-compaction, plasticization and heating of dough

Устройство работает следующим образом. В шнековой камере пресса тесто подвергается интенсивному механическому воздействию со стороны винтовой лопасти шнека, постепенно уплотняется, освобождается от включений воздуха, становится плотной, упруго-пластичной и вязкой массой. Уплотненное макаронное тесто с помощью шнека, преодолевая сопротивление матрицы, продавливается сквозь колодцы *б* и вкладыши *4*.

Вставку целесообразно изготавливать из того же материала, что и сама матрица, иначе при контакте с тестом может возникнуть гальваническая пара, и возникающие в ее системе слабые токи приведут к коррозии металла. Матрицы изготавливают из антикоррозийных и прочных материалов, таких как бронза Бр-АЖ9-4, латунь ЛС59-1, нержавеющая сталь 1Х18Н9Т [1, 11]. Внутренние поверхности вставки (конфузор, горловина и диффузор) желательно полировать или хромировать, но лучшее покрытие – тефлон (фторопласт). Толщина стенки вставки (трубы Вентури) должна быть минимальной, но обеспечивающей жесткость и прочность конструкции ($\approx 1,0$ – $1,5$ мм) [12–16].

Модель 1. Реологические основы течения теста в цилиндрических каналах вставки. Построение математических моделей. Определение объемного расхода теста.

Предварительные сведения. Рассмотрим течение теста через цилиндрический канал вставки конечной длины и постоянного диаметра под действие разности давлений у его входного и выходного отверстия через диффузор [17–19].

Так как диаметр канала постоянный, то скорость течения теста во всех точках, равностоящих от стенки канала, одинакова, при этом скорость у стенки вследствие прилипания к ней теста равна нулю. Скорость течения есть функция от r , т.е. $v = v(r)$, где r – расстояние слоя теста от центральной оси симметрии канала (рис. 2).

Тогда скорость течения теста будет определяться по такой формуле:

$$v = \frac{1}{4\eta} \cdot \frac{P - P_0}{L} \cdot (r_0^2 - r^2), \quad (1)$$

где v – скорость течения; η – коэффициент вязкости теста; P и P_0 – давление (после конфузора) у входного и выходного (перед диффузором) отверстий цилиндрической горловины вставки соответственно; L – длина горловины вставки; r_0 – радиус горловины вставки.

Построение математической модели. Выделим в поперечном сечении цилиндрического канала вставки элементарное кольцо радиусом r и толщиной Δr (рис. 2) и найдем его площадь ΔS как разность площадей двух кругов с радиусами $(r + \Delta r)$ и r :

$$\Delta S = \pi(r + \Delta r)^2 - \pi r^2 = \pi(r^2 + 2r\Delta r + \Delta r^2) - \pi r^2 = 2\pi r\Delta r.$$

Тогда объем теста, протекающий через это кольцо за 1 с, будет равен

$$\Delta Q = \Delta S v$$

(v – скорость течения теста).

Принимая во внимание равенство (1) и значение ΔS , получаем:

$$\Delta Q = \frac{\pi}{2\eta} \frac{P - P_0}{L} r (r_0^2 - r^2) \Delta r, \quad (2)$$

или в дифференциальной форме:

$$dQ = \frac{\pi}{2\eta} \frac{P - P_0}{L} r (r_0^2 - r^2) dr. \quad (3)$$

Найдем объем теста, протекающий за 1 с через поперечное сечение горловины вставки, если известны давление P у входного отверстия канала, давления P_0 у выходного отверстия канала, диаметр d горловины, ее длина L , коэффициент вязкости η и скорость течения v теста, заданная формулой (1).

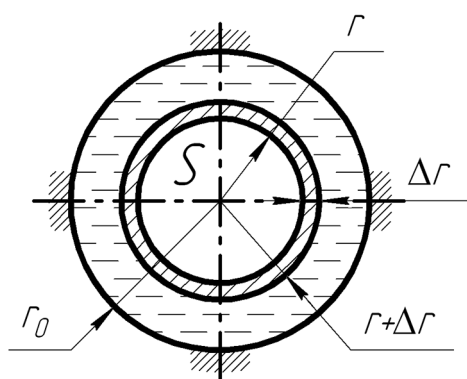


Рис. 2. Схема течения теста в цилиндрическом канале вставки
Fig. 2. Layout of dough flow in cylindrical channel of insert

Если r изменяется от 0 до r_0 , то по смыслу задачи Q изменяется от 0 до Q_0 . Интегрируя значение (2) в указанных пределах, получаем

$$\int_0^{Q_0} dQ = \frac{\pi}{2\eta} \frac{P - P_0}{L} \int_0^{r_0} r(r_0^2 - r^2) dr,$$

Откуда

$$Q_0 = \frac{\pi}{128} \frac{P - P_0}{L} \frac{d^4}{\eta}. \quad (4)$$

В данном случае рассмотрен закон истечения теста через цилиндрический канал вставки с позиции так называемых нормально вязких «ньютоновских» жидкостей, т.е. для таких, которые не образуют сцепление частиц и макромолекул, вызывающих резкое повышение вязкости, а коэффициент вязкости не является постоянной величиной, при этом работа внешней силы затрачивается не только на преодоление «ньютоновской» вязкости, но и на разрушение структуры.

Из формулы (3) следует, что объемный расход теста Q_0 зависит от длины горловины вставки L : с увеличением L уменьшается Q_0 , а с уменьшением вязкости теста за счет его предварительного разогрева в колодце объемный расход Q_0 увеличивается.

Модель 2. Определение скорости течения теста в цилиндрическом канале вставки.

Предварительные сведения. Рассмотрим тонкую цилиндрическую трубку (горловину вставки) конечной длины. Через нее под действием разности давлений у входного и выходного отверстия трубки протекает поток теста с заданным коэффициентом вязкости [20, 21].

Учитывая симметричность сечения канала, можно предположить, что скорость теста во всех точках, равностоящих от стенки, одна и та же, скорость у стенки вследствие прилипания к ней теста равна нулю. Таким образом, скорость v слоя теста зависит от его расстояния до стенки канала: $v = v(r)$.

Схема однородного сдвига слоев теста в продольном сечении канала приведена на рис. 3.

Основной закон вязкого течения, открытый Ньютоном, можно записать в следующем виде:

$$F_T = \eta \frac{v_2 - v_1}{r_2 - r_1} S,$$

где F – сила внутреннего трения; S – площадь слоя; v_1 и v_2 – скорость слоев, отстоящих от стенки канала на расстоянии r_1 и r_2 соответственно; η – коэффициент вязкости теста.

Построение математической модели. Длина канала L , давление у его входного и выходного отверстия P и P_0 соответственно.

Согласно закону вязкого течения (закону Ньютона), получим дифференциальное уравнение для скорости движения теста. Для этого выделим в канале элементарный цилиндр длиной ΔL и радиусом r и изменим его радиус на Δr (см. рис. 3). Этот цилиндр будет испытывать трение, сила которого, согласно закону:

$$\Delta F_T = \eta \frac{\Delta v}{\Delta r} \Delta S,$$

(ΔS – боковая поверхность цилиндра).

Тогда

$$\Delta F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta r} 2\pi r \Delta L.$$

Сила трения противодействует силе давления, которая равна ΔF и противоположна ей по направлению, т.е.

$$\Delta F = -\pi r^2 \Delta P,$$

где πr^2 – площадь основания элементарного цилиндра,

$$P = P - P_0.$$

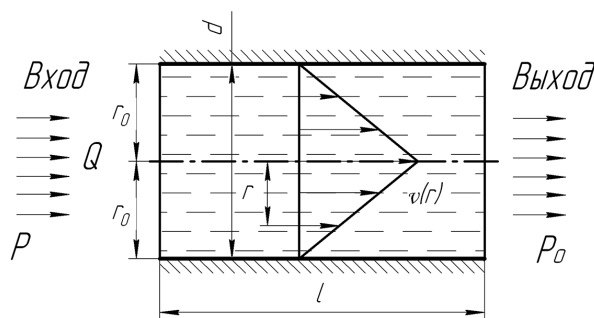


Рис. 3. Схема движения теста в продольном сечении горловины вставки

Fig. 3. Layout of dough movement in longitudinal section of the insert neck

Приравняв правые части двух последних равенств для ΔF , получим

$$\Delta v = -\frac{1}{2\eta} \frac{\Delta P}{\Delta L} r \Delta r.$$

Так как поперечные сечения канала одинаковы по всей длине, то давление в ней распределяется равномерно и равно $(P - P_0)/L$, поэтому:

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{P - P_0}{L}.$$

Значит

$$\Delta v = -\frac{1}{2\eta} \frac{P - P_0}{\Delta L} r \Delta r,$$

или в дифференциальной форме

$$dv = -\frac{1}{2\eta} \frac{P - P_0}{L} r dr.$$

Пример 2. Найти скорость ламинарного течения теста как функцию r , если радиус канала r_0 и $v_0(r_0) = 0$.

Очевидно, что дифференциальное уравнение (4) с условием $v(r_0) = 0$ является задачей Коши. Поэтому интегрируя это уравнение, получаем

$$\int_0^v dv = -\frac{P - P_0}{2\eta L} \int_{r_0}^r \rho d\rho,$$

Откуда

$$v = \frac{1}{4\eta} \frac{P - P_0}{L} (r_0^2 - r^2). \quad (5)$$

Примечание. Как уже отмечалось, в конфузоре вставки имеет место предварительное уплотнение теста, его пластификация и разогрев. Таким образом, в горловине вставки наблюдается упорядоченное течение теста, при котором поток перемещается слоями, параллельными направлению течения, т.е. можно считать, что такое течение носит ламинарный характер и справедливо для нормально вязких, так называемых «ньютоновских» жидкостей.

Из формулы (5) следует, что скорость течения теста в цилиндрической горловине вставки зависит от длины L : с увеличением L скорость уменьшается при одной и той же разности давлений $P - P_0$.

При наличии в колодцах матрицы вставок особой формы (аналогичной трубе Вентури) в конфузоре происходит разогрев теста, его вязкость уменьшается, следовательно, скорость потока увеличивается (см. формулу (5)).

Таким образом, вставка играет в процессе формования макаронных изделий важную и явно положительную роль.

Практическая часть. Экспериментальные исследования. Для экспериментального подтверждения теоретических предпосылок изготовлены специальные вставки – трубы Вентури, установленные в колодцах матрицы для производства лапши к малому макаронному прессу МИТ-2 (рис. 4).

В колодцы матрицы были установлены изготовленные специальные вставки. Выходной поток лапши (полуфабрикатов) измерялся в двух случаях: I – полученная масса без установленных специальных вставок; II – полученная масса с установленными специальными вставками.

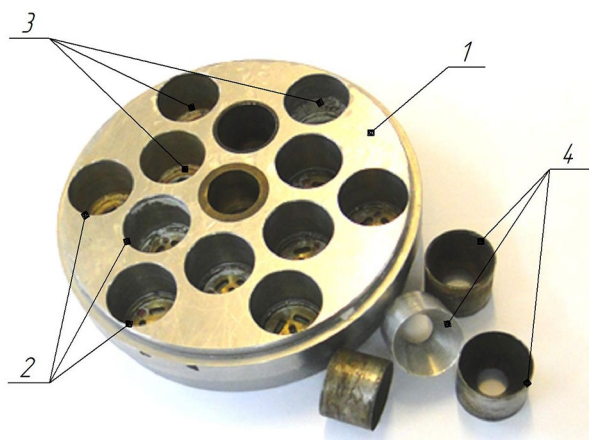


Рис. 4. Фотография матрицы и изготовленных специальных вставок: 1 – матрица; 2 – колодцы; 3 – вкладыши; 4 – вставки

Fig. 4. Photograph of the matrix and manufactured special inserts: 1 – matrix; 2 – wells; 3 – liners; 4 – inserts

Умовы правядзення эксперымента. В качестве сырья выбрана мука хлебопекарная высшего сорта М-54-28 (СТБ 1666–2006 «Мука пшеничная. Технические условия») и вода, соответствующая СТБ 1188–99 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества».

На одну загрузку использовали 8 кг муки. Количество воды рассчитывали исходя из влажности муки 12 % (по заранее определенному значению). По заданной влажности теста и известной влажности муки определено количество необходимой для замеса муки.

Испытания проводились при следующих условиях: температура окружающей среды – 21 ± 1 °С; относительная влажность воздуха – 72 ± 5 %; атмосферное давление – 750–760 мм рт.ст.

Результаты эксперимента. Установлено, что производительность прессы увеличилась на 24–26 % при заметном улучшении качества (рис. 5). Следовательно, производительность макаронного прессы с матрицей с установленными специальными вставками повышается, а удельные затраты энергии снижаются.



Рис. 5. Образцы полученных при испытаниях макаронных изделий (*a* – с использованием специальных вставок; *b* – без вставок)

Fig. 5. Samples obtained during pasta tests (*a* – using special inserts; *b* – with no inserts)

Выводы

1. Впервые изучены реологические закономерности течения теста в цилиндрических каналах, построены математические модели для определения объемного расхода теста и скорости выпрессовывания, выведены формулы для определения геометрических параметров вставок в зависимости от вида изделий. Теоретически обосновано применение конфузорно-дифузорных вставок в колодцах матрицы с целью управления потоком теста для его предварительного уплотнения, пластификации и разогрева.

2. Наибольшее распространение в макаронной промышленности получили матрицы толщиной (высотой) 60–110 мм и даже до 140 мм, при этом толщина (высота) вкладышей с формирующими отверстиями составляет всего 10–21 мм. Так, например, на филиале «Боримак» УП «Борисовский комбинат хлебопродуктов» эксплуатируются автоматические линии по производству коротких макаронных изделий фирмы FAVA S.p.A. (Италия), оснащенные матрицами фирмы Landucci толщиной (высотой) $H = 110$ мм, в колодцах которых установлены вкладыши высотой (толщиной) $h = 21$ мм. На ОАО «Минский комбинат хлебопродуктов» эксплуатируется линия фирмы BUNLER AG (Швейцария), матрицы в которой при наружном диаметре $D = 610$ мм имеют толщину $H = 140$ мм при толщине (высоте) вкладышей 21 мм. Поперечное сечение колодцев значительно больше суммарной площади формирующих отверстий вкладышей, что и обуславливает гидравлический «удар» при движении теста из колодцев в формирующие отверстия, при этом в «пустотелых» колодцах практически не происходит предварительного уплотнения теста по высоте. Здесь важно отметить: чем глубже колодец, тем эффективнее работает вставка – труба Вентури.

Следует также отметить, что при наличии вставок в колодцах матрицы можно регулировать (подравнивать) скорость выпрессовывания макаронных изделий в радиальном направлении рабочей поверхности, изменяя поперечное сечение горловины трубы Вентури. Новые технические решения защищены патентами Республики Беларусь на изобретения.

Список использованных источников

1. *Медведев, Г.М.* Технология макаронного производства / Г.М. Медведев ; ред. Н.В. Куркина. – М. : Колос, 1998. – 271 с.
2. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / под ред. А.Я. Соколова. – М. : Пищепромиздат, 1960. – 742 с.
3. *Гуськов, К.П.* Перфорированные пластины в макаронном производстве / К.П. Гуськов, Б.М. Азаров ; Центр ин-т науч.-техн. информ. пищевой пром-сти Гос. ком. по пищевой пром-сти при Госплане СССР. – М. : [б. и.], 1965. – 48 с.
4. Влияние параметров прессования макаронного теста на мощность пресса / Н.Г. Щеглов [и др.] // Управление реологическими свойствами пищевых продуктов = The Management of rheological properties of food products : сб. материалов первой науч.-практ. конф. и выставки с междунар. участием, 25–26 сент. 2008 г. / Моск. гос. ун-т пищевых пр-в ; сост. В.Я. Черных. – М., 2008. – С. 199–203.
5. *Новикова, Г.В.* Пресс для макаронных изделий / Г.В. Новикова, В.С. Иванов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 2011. – № 12. – С. 26–27.
6. *Черных, В.Я.* Формирование требований к современному лабораторному макаронному агрегату / В.Я. Черных, В.Ю. Митин, К.А. Сарбашев // Хлебопечение России. – 2015. – № 5. – С. 26–28.
7. Разработка и исследование малогабаритного пресса для производства макаронных изделий [Электронный ресурс] / Р.Р. Эльмесов [и др.] // Современ. проблемы науки и образования : электрон. науч. журн. – 2015. – № 2, ч. 1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20358>. – Дата доступа: 15.10.2019.
8. *Романчиков, С.А.* Устройство для прессования макаронного теста с ультразвуковым капиллярным эффектом / С.А. Романчиков // Науч. жизнь. – 2019. – Т. 14, № 4 (92). – С. 463–471. <https://doi.org/10.26088/INOV.2019.92.30192>
9. *Назаров, Н.И.* Технология макаронных изделий / Н.И. Назаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Пищевая пром-сть, 1978. – 287 с.
10. *Киштыков, Х.Б.* Влияние температуры матрицы на параметры прессования и качественные показатели макаронных изделий / Х.Б. Киштыков, М.И. Ульбашева // Аллея науки. – 2017. – Т. 1, № 9. – С. 720–728.
11. *Гнатув, Е.* Влияние износа формующих отверстий макаронных матриц на показатели качества изделий / Е. Гнатув, М. Чернов // Хлебопродукты. – 2009. – № 10. – С. 48–49.
12. *Григолюк, Э.И.* Перфорированные пластины и оболочки и связанные с ними проблемы: обзор результатов / Э.И. Григолюк, Л.А. Фильштинский // Упругость и пластичность, 1965 / ВИНТИ ; гл. ред. Л.И. Седов. – М., 1967. – С. 7–163. – (Итоги науки. Серия «Механика»).
13. *Смоленцев, Ю.А.* Экспериментальное определение коэффициента ослабления растягиваемых перфорированных пластин / Ю.А. Смоленцев // Хим. и нефт. машиностроение. – 1966. – № 6. – С. 12–13.
14. *Мельников, Н.П.* Конструктивные формы и методы расчета ядерных реакторов / Н.П. Мельников. – М. : Госатомиздат, 1963. – 519 с.
15. *Гоголев, А.Я.* Экспериментальное определение коэффициента ослабления трубных досок / А.Я. Гоголев // Энергомашиностроение. – 1962. – № 10. – С. 38–39.
16. Расчеты на прочность в машиностроении / под ред. С.Д. Пономарева. – М. : Машгиз, 1956. – Т. 1 : Теоретические основы и экспериментальные методы. Расчеты стержневых элементов конструкций при статической нагрузке. – 884 с.
17. *Скатецкий В.Г.* Математическое моделирование физико-химических процессов / В.Г. Скатецкий. – Минск : Выш. шк., 1981. – 144 с.
18. *Торган, А.Б.* Анализ реологических аспектов течения макаронного теста в каналах ступенчато-переменного сечения с использованием нелинейной модели Балкли-Гершеля / А.Б. Торган // Пищевая пром-сть: наука и технология. – 2015. – № 3 (29). – С. 64–71.
19. Математическое моделирование процесса формирования макаронных изделий в матрицах с улучшенными гидравлическими и технологическими характеристиками / В.Я. Груданов [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2012. – № 3. – С. 57–65.
20. *Торган, А.Б.* Методика оценки вклада пластичной и вязкой составляющих в сопротивление течению макаронного теста / А.Б. Торган // Весн. Гродз. дзярж. ун-та ім. Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2015. – № 1 (198). – С. 90–98.
21. Исследование основных характеристик формующего механизма для производства макаронных изделий / В.Я. Груданов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2011. – № 2. – С. 103–110.

References

1. Medvedev G. M. *Technology of pasta production*. Moscow, Kolos Publ., 1998. 271 p. (in Russian).
2. Sokolov A. Ya. *Basis for calculating and design of machines and apparatus for food production*. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1960. 742 p. (in Russian).
3. Gus'kov K. P., Azarov B. M. *Perforated plates in pasta production*. Moscow, 1965. 48 p. (in Russian).
4. Shcheglov N. G., Martirosyan V. V., Maklichenko O. A., Zhirkova E. V. *The effect of pasta pressing parameters on press power. Upravlenie reologicheskimi svoystvami pishchevykh produktov: sbornik materialov pervoi nauchno-prakticheskoi konferentsii i vystavki s mezhdunarodnym uchastiem, 25–26 sentyabrya 2008 g.* = The Management of rheological properties of food products: a collection of papers of the 1st scientific and practical conference and international exhibition, 25–26 September 2008]. Moscow, 2008, pp. 199–203 (in Russian).

5. Novikova G. V., Ivanov B. C. Pasta press. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva* [Mechanization and Electrification of Agriculture], 2011, no. 12, pp. 26–27 (in Russian).
6. Chernykh V. Ya., Mitin V. Yu., Sarbashev K. A. Formation of requirements for modern laboratory pasta unit. *Khlebopechenie Rossii = Baking in Russia*, 2015, no. 5, pp. 26–28 (in Russian).
7. El'mesov R.R., Didanov A.M., Tlishev A.B., Didanov M.Ts. Development and research press small-sized for pasta. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*, 2015, no. 2, pt. 1. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20358> (accessed:) (in Russian).
8. Romanchikov S. A. Pasta pressing device with ultrasonic capillary effect. *Nauchnaya zhizn' = Scientific Life*, 2019, vol. 14, no. 4 (92), pp. 463–471 (in Russian). <https://doi.org/10.26088/INOB.2019.92.30192>
9. Nazarov N. I. *Technology of pasta*. 2nd ed. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1978. 287 p. (in Russian).
10. Kishtykov Kh. B., Ul'basheva M. I. The influence of the temperature of the matrix to the parameters of pressing and quality pasta. *Alleya nauki* [Alley Science], 2017, vol. 1, no. 9, pp. 720–728 (in Russian).
11. Gnativ E., Chernov M. The influence of wear of forming holes of pasta matrix on product quality indicators. *Khleboprodukty*, 2009, no. 10, pp. 48–49 (in Russian).
12. Grigolyuk E. I., Fil'shtinskii L. A. Perforated plates and shells and related problems: a review of the results. *Uprugost' i plastichnost', 1965* [Elasticity and Plasticity, 1965]. Moscow, 1967, pp. 7–163 (in Russian).
13. Smolentsev Yu. A. Experimental determination of the attenuation coefficient of stretched perforated plates. *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie* [Chemical and Petroleum Engineering], 1966, no. 6, pp. 12–13 (in Russian).
14. Mel'nikov N. P. *Constructive forms and methods for calculating nuclear reactors*. Moscow, Gosatomizdat Publ., 1963. 519 p. (in Russian).
15. Gogolev A. Ya. Experimental determination of the attenuation coefficient of tube plates. *Energomashinostroenie* [Power Plant Engineering], 1962, no. 10, pp. 38–39 (in Russian).
16. Ponomarev S. D. (ed.). *Strength calculations in mechanical engineering. Vol. 1. Theoretical foundations and experimental methods. Calculations of bar structural elements under static load*. Moscow, Mashgiz Publ., 1956. 884 p. (in Russian).
17. Skatetskii V. G. *Mathematical modeling of physical and chemical processes*. Minsk, Vysheishaya shkola Publ., 1981. 144 p. (in Russian).
18. Torgan A. B. Analysis of rheological aspects of pasta flow in step-variable cross-section channels with the use of non-linear Herschel-Bulkley model. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii = Food Industry: Science and Technology*, 2015, no. 3 (29), pp. 64–71 (in Russian).
19. Grudanov V. Ya., Pozdnyakov V. M., Brench A. A., Torgan A. B. Mathematical modelling of a pasta moulding process in a matrix with improved hydraulic and technological characteristics. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2012, no. 3, pp. 57–65 (in Russian).
20. Torgan A. B. Method of assessing the contribution of plastic and viscous components in resistance to flow of pasta dough. *Vesnik Grodzenskaga dzjarzhavnaga universiteta imya Yanki Kupaly. Seryya 6. Tekhnika = Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science*, 2015, no. 1 (198), pp. 90–98 (in Russian).
21. Grudanov V. Ya., Torgan A. B., Brench A. A., Pozdnyakov V. M. Research of the basic characteristics of a forming mechanism for pasta manufacturing. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2011, no. 2, pp. 103–110 (in Russian).

Информация об авторах

Груданов Владимир Яковлевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции, Белорусский государственный аграрный технический университет (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pererabotka.kafedra@mail.ru

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

Станкевич Павел Витальевич – аспирант кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Белорусский государственный аграрный технический университет (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: boginy@tut.by

Information about the authors

Vladimir Ya. Grudanov - D. Sc. (Engineering), Professor. Belarusian State Agrarian Technical University (99 Nezavisimosti Ave., 220124 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pererabotka.kafedra@mail.ru

Anna B. Torhan - Ph. D. (Engineering). Belarusian State Agrarian Technical University (99 Nezavisimosti, 220124 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anechkat@tut.by

Pavel V. Stankevich - Postgraduate Student. Belarusian State Agrarian Technical University (99 Nezavisimosti Ave, 220124 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: boginy@tut.by