

УДК 664.692.5
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-4\(54\)-91-96](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-4(54)-91-96)

Поступила в редакцию 11.10.2021
Received 11.10.2021

В. Я. Груданов, А. Б. Торган, Г. И. Белохвостов

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

УЗЕЛ ПРЕССОВАНИЯ С ПРОЦЕССИНГОВЫМ ЦЕНТРОМ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ МАКАРОННОГО ТЕСТА В ПРЕДМАТРИЧНОЙ КАМЕРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Аннотация. Предложена новая конструкция узла прессования, в котором применяется процессинговый центр управления потоком макаронного теста в предматричной камере оптимальной конфигурации. Внутренняя конфигурация предматричной камеры выполнена в виде трубы Вентури, при этом конфузуром труба соединена со шнековой камерой, а диффузором — с формующими отверстиями матрицы, что позволило реализовать механизм использования предматричного пространства для предварительного уплотнения, пластификации и разогрева теста.

Лабораторные эксперименты на пресс-автомате МИТ — 2 по выработке макаронных изделий с использованием трубы Вентури дали положительные результаты, а ожидаемый экономический эффект за счет повышения производительности пресса, снижения удельных энергозатрат при повышении качества продукции составляет около 20%.

Ключевые слова: шнековая камера, матрица, колодцы, формующие отверстия, конфузор, диффузор, горловина, уплотнение, пластификация, разогрев теста, вязкость, труба Вентури, скорость выпрессовывания теста, удельные энергозатраты, объемный расход теста, влажность теста.

V. Ya. Grudanov, A. B. Torgan, G. I. Belokhvostov

*Educational Institution «Belarusian State Agrarian Technical University»,
Minsk, Republic of Belarus*

A PRESSING UNIT WITH A PROCESSING CENTER FOR CONTROLLING THE FLOW OF PASTA DOUGH IN A PRE-MATRIX CHAMBER OF OPTIMAL CONFIGURATION

Abstract. A new design of the pressing unit is proposed, which uses a processing center for controlling the flow of pasta dough in the pre-matrix chamber of the optimal configuration. The internal configuration of the pre-matrix chamber is made in the form of a Venturi pipe, while the pipe is connected to the rod chamber by a confuser, and the diffuser is connected to the forming holes of the matrix, i.e. the mechanism for using the pre-matrix space for pre-compaction, plasticization and heating of the dough is implemented. Laboratory experiments on the MIT-2 press machine for the production of pasta using a Venturi pipe gave positive results, and the expected economic effect due to increasing the productivity of the press, reducing specific energy consumption while improving the quality of products is about 20%.

Keywords: screw chamber, matrix, wells, forming holes, confuser, diffuser, neck, seal, plasticization, dough heating, viscosity, Venturi pipe, dough pressing rate, specific energy consumption, dough volume flow, dough humidity.

Введение. Основным рабочим органом макаронного пресса является узел прессования, состоящий из тестосмесителя с дозаторами сырья, шнековой камеры с прессующим шнеком, системы охлаждения, предматричной камеры, матрицы с формующими отверстиями и устройство для вакуумной обработки теста.

Из шнековой камеры тесто поступает в предматричную камеру, в которой устанавливается круглая матрица. В отечественных прессах марок ЛПШ — 500, ЛПШ — 750 и ЛПШ — 1000 применяются круглые матрицы диаметром 298 мм, а в прессах зарубежного производства используются круглые матрицы итальянской фирмы «Landucci» наружным диаметром 520 мм и 610 мм.

Предматричная камера выполнена в виде конуса с диаметром 300, 520 и 610 мм и с отношением высоты к диаметру примерно 1 : 1,5, т.е. предматричная камера имеет значительные размеры, при этом до настоящего времени внутренняя конфигурация предматричного пространства не оптимизирована, несмотря на большое количество многолетних научных работ, проведенных М.И. Караваевым, Ю.А. Калошиным, А.А. Сердюченко, В.И. Коломейцевым, Г.К. Берменом, Ю.В. Калошиным и др. В работах Н.И. Назарова были исследованы даже фотографии продольных и поперечных разрезов теста, вынутого из предматричной камеры. Было установлено, что тесто представляет собой неоднородную слоистую массу, слои имеют различную форму и толщину, не слипаются, между слоями наблюдаются расщелины, которые после снятия давления приобретают достаточно большие размеры и становятся заметными без увеличения, т.е. тесто имеет явно отрицательные физико-химические свойства, что и ухудшает качество полуфабриката и повышает удельные энергозатраты.

Главная причина такого нежелательного эффекта состоит в том, что в узле прессования от шнека до матрицы тестовый поток практически никак и ничем не контролируется и не управляется, а характер течения теста носит лавинообразный, стихийный и ярко выраженный турбулентный характер, при этом возникают застойные зоны, что приводит к усилению неравномерности скоростей выпрессовывания по рабочей поверхности матрицы в радиальном направлении. Данная проблема может быть решена коренным образом, если в предматричном пространстве установить процессинговый центр управления потоком теста и оптимизировать одновременно внутреннюю конфигурацию камеры. В качестве процессингового центра можно использовать устройство, выполненное в виде трубы Вентури, диффузором установленной на матрице, а конфузуром соединенную со шнеком.

В конфузоре поток теста постепенно уплотняется (сжимается), в горловине его движение стабилизируется, а в диффузоре — скорость потока падает, его кинетическая энергия частично переходит в потенциальную, необходимую для преодоления последующих гидравлических сопротивлений формирующих отверстий, при этом одновременно происходит процесс предварительного уплотнения теста, дополнительная его пластификация и разогрев, приобретая оптимальные физико-механические свойства.

Цель работы — повышение качества формования макаронных изделий путем управления потоком теста в конфузурно-диффузорных вставках, установленных в камере узла прессования и осуществляющих предварительное уплотнение, пластификацию и разогрев теста перед входом его в формирующий механизм.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве конфигурации предматричного пространства (канала) принята труба Вентури.

На рис. 1 представлена принципиально-конструктивная схема узла прессования с управляемым потоком теста в предматричном пространстве с помощью трубы Вентури.

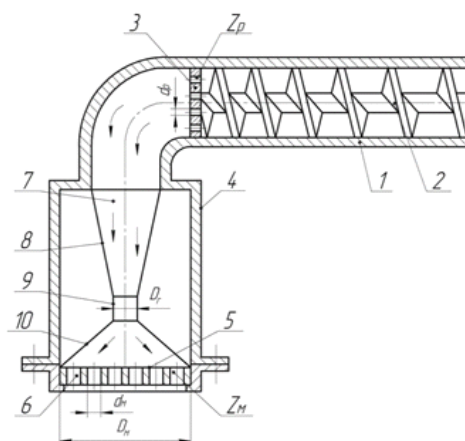


Рис. 1. Принципиально-конструктивная схема узла прессования с управлением потока теста в предматричном пространстве (по патенту на изобретение РБ № 23082)

Fig. 1. A fundamentally constructive scheme of the pressing unit with the control of the dough flow in the pre-matrix space (according to the patent for the invention of the Republic of Belarus No. 23082)

Узел прессования макаронного пресса содержит шнековую камеру 1, шнек нагнетающего типа 2, перфорированную направляющую решетку 3 для выравнивания скоростей окончательного перемещения теста с диаметром отверстий d_p и количеством отверстий z_p , прессовую головку 4, выполненную с внутренней камерой в виде цилиндрического потрубка, в нижней части которого расположена матрица 5 с формирующими отверстиями 6 диаметром d_m и количеством отверстий z_m .

Внутри прессовой головки 4 на матрице 5 установлена вставка 7, состоящая из конфузора 8, горловины 9 и диффузора 10, при этом диаметр диффузора равен диаметру матрицы D_m , конфузуром вставка направлена в сторону шнека, а диффузором она опирается на матрицу 5, т.е. вставка 7 выполнена в виде трубы Вентури. Горловина 9 имеет диаметр D_r . Здесь весьма важно, что поперечное сечение горловины 9 равно суммарной площади поперечных сечений формирующих отверстий 6 — формирующих механизмов. Стрелками показано направление движения теста.

Устройство работает следующим образом. Макаронное тесто с помощью шнека нагнетающего типа 2, расположенного в шнековой камере 1, преодолевая сопротивление перфорированной направляющей решетки 3 для выравнивания скоростей окончательного перемещения теста, поступает в прессовую головку 4, где попадает в конфузор 8, в котором происходит стабилизация теста и его пластификация. Из горловины 9 тесто направляется в диффузор 10, в котором имеет место расширение потока, снижение скорости движения теста, при этом часть кинетической энергии потока переходит в потенциальную, необходимую для преодоления гидравлического сопротивления последующих отверстий 6, а теплота трения из механической энергии движения повышает температуру теста и уменьшает его динамическую вязкость.

Так как тесто предварительно уплотнено, дополнительно пластифицировано и частично подогрето, оно плавно проходит через формирующие отверстия 6 при минимально возможном гидравлическом сопротивлении (без гидравлического удара).

Вставка, выполненная в виде трубы Вентури, играет основную роль в подготовке тестовой массы и оказывает решающее влияние на полноту процесса формования макаронных изделий в формирующих механизмах, а именно:

- ♦ осуществляется предварительное и равномерное уплотнение теста в конфузоре и горловине вставки при одновременной его пластификации;
- ♦ имеет место предварительный подогрев (разогрев) теста за счет теплоты трения при его движении через конфузор и горловину вставки, вязкость его уменьшается, что обеспечивает более плавный проход теста через формирующие отверстия;
- ♦ форма вставки (труба Вентури) имеет минимальное гидравлическое сопротивление, что позволяет не только поддерживать необходимую величину давления, но и не снижать его уровень;
- ♦ за счет предварительного уплотнения, дополнительной пластификации и стабилизации потока теста, а также за счет предварительного подогрева тестовой массы и снижения гидравлических потерь в формирующих механизмах скорость выпрессовывания увеличивается, а, следовательно, повышается производительность устройства при явном улучшении качества полуфабрикатов.

Для нормальной и эффективной работы узла прессования необходимо, чтобы площадь поперечного сечения горловины F_r была равна суммарной площади формирующих отверстий матрицы, т.е.

$$F_r = \sum z_m \cdot \frac{\pi d_m^2}{4}, \quad (1)$$

где z_m — количество формирующих отверстий в матрице; d_m — диаметр формирующего отверстия. С другой стороны,

$$F_r = \frac{D_r^2}{\sqrt{1,618}}, \quad (2)$$

где D_r — диаметр горловины; $\Phi \approx 1,618...$ — значение золотого сечения.

Заметим, что $\sqrt{\Phi} = \sqrt{1,618} = 1,272$. Отсюда можно определить диаметр горловины

$$\sum z_m \cdot d_m = \frac{D_r}{1,272} \quad (3)$$

или

$$D_r = 1,272 \sum z_m \cdot d_m. \quad (4)$$

Вставку целесообразно изготавливать из того же материала, что и сама матрица — бронза БрАЖ9-4, латунь ЛС59-1, нержавеющей сталь ТХ18Н9Т и др. Внутренние поверхности вставки желательно полировать или хромировать, но лучшее покрытие — тефлон (фторопласт). Конструкция вставки должна быть прочной и жесткой, т.к. она работает под высоким избыточным давлением. Главный геометрический параметр вставки — диаметр горловины D_r . Приведем пример определения этого параметра.

В нашем случае, матрица изготовлена из латуни ЛС59-1, имеет наружный диаметр $D_m = 298$ мм. В корпусе матрицы высверлены 102 колодца, внутри которых установлены вкладыши с формирующими

ми отверстиями. В каждом вкладыше просверлено 19 отверстий диаметром 2,3 мм, т.е. $z_m = 19$, $d_m = 2,3$ мм. Перед матрицей плотно и неподвижно установлена вставка в виде трубы Вентури, диффузором, опирающаяся на матрицу, при этом диаметр диффузора равен диаметру корпуса матрицы D_m .

Тогда диаметр горловины вставки D_r определим следующим образом. По условию площадь поперечного сечения горловины S_r равна суммарной площади поперечного сечения формирующих отверстий всех вкладышей F_b , т.е.

$$S_r = F_b = 8060,04 \text{ мм}^2, \quad (5)$$

где $S_r = \frac{D_r^2}{\sqrt{\Phi}} = \frac{D_r^2}{\sqrt{1,618}} = \frac{D_r^2}{1,272}$, или $D_r = \sqrt{110252,37} = 101,25$ мм.

Принимаем $D_r = 101$ мм, а диаметр диффузора равен 298 мм.

Таким образом, при $D_r = 101$ мм обеспечивается равенство основных проходных поперечных сечений в процессе движения тестовой массы: горловины и формирующих отверстий, что обеспечивает более качественное формование сырья, увеличение производительности узла прессования и, следовательно, повышает эффективность работы устройства.

Для экспериментального подтверждения теоретических предпосылок на заводе ОАО «Торгмаш» (г. Барановичи) был изготовлен промышленный образец предматричной камеры к пресс-автомату МИТ-2, конфигурация которой имеет вид трубы Вентури. На рис. 2 представлена фотография такой предматричной камеры. Конфузором вставка устанавливается в сторону шнека, а диффузором она опирается на матрицу, рабочее положение камеры — горизонтальное.

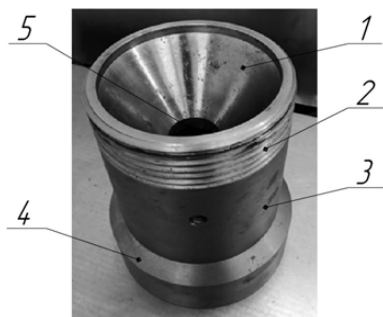


Рис. 2. Фотография предматричной камеры, внутренняя конфигурация которой выполнена в виде трубы Вентури: 1 — диффузор; 2 — резьба; 3 — корпус камеры; 4 — конфузор; 5 — горловина
 Fig. 2. Photo of the pre-matrix chamber, the internal configuration of which is made in the form of a Venturi pipe: 1 — diffuser; 2 — thread; 3 — camera body; 4 — confuser; 5 — neck

Конструктивными и технологическими входными регулируемыми параметрами макаронного пресса выбраны:

- ♦ температура матрицы (t , °С)*
- ♦ частота вращения шнека ($n_{\text{ш}}$, мин⁻¹)
- ♦ влажность теста (W_t)
- ♦ конструктивные особенности матрицы (мм).

В качестве выходных параметров выбраны производительность макаронного пресса (Π , кг/ч), прирост температуры сырья (теста) во время формования (t , С), давление в предматричном пространстве (P , МПа) и удельная энергоёмкость процесса ($n_{\text{уд}}$, Вт·ч/кг).

Для проведения эксперимента выбрана мука хлебопекарная высшего сорта М-54 (СТБ 1666-2066 «Мука пшеничная» ТУ), которую используют на филиале «Боримак» УП «Борисовский комбинат хлебопродуктов» ОАО «Минскхлебпродукт».

Для среднего замеса теста необходимо достичь влажности муки 29,10 — 31,10%, для получения макаронных изделий данного наименования.

Влажность муки определяется методом по ГОСТ 9404-60. Данный метод предусматривает высушивание навесок муки в электрических сушильных шкафах типа СЭШ.

При расчете влажности учитывается, что удаление влаги проводилось в два приема, поэтому для вычисления влажности (%) используется формула

$$W_t = [1 - (b_1 \cdot b_2) / (a_1 \cdot a_2)] \cdot 100, \quad (6)$$

где b_1 — масса первой навески после подсушки, г; b_2 — масса второй навески после подсушки, г; a_1 — масса первой навески до подсушки, г; a_2 — масса второй навески до сушки, г.

Для проведения экспериментальных исследований был разработан, изготовлен, смонтирован и налажен стенд, который основывается на базе пресс-автомата для производства макаронных изделий МИТ-2 ТУ РБ 200167377,002-2001 и контрольно-измерительной аппаратуры для измерения основных параметров процесса формирования макаронных изделий, соединенные с компьютерной системой контроля параметров процесса формирования. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 3.

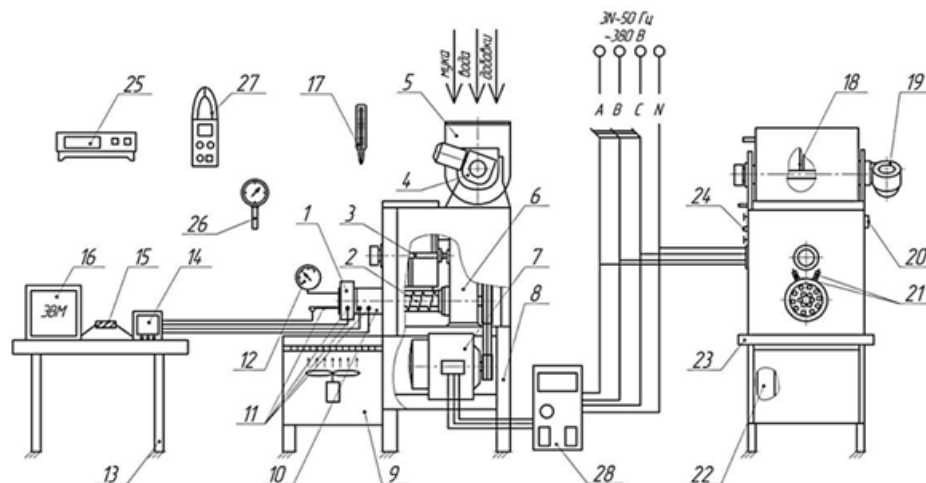


Рис. 3. Схема экспериментального стенда: 1 — матрица; 2 — шнек; 3 — подающий вал с лопатками; 4 — червячный редуктор; 5 — смесительный бункер; 6 — редуктор; 7 — привод прессующего корпуса; 8 — рама; 9 — узел обдува; 10 — корпус экструдера; 11 — преобразователи термоэлектрические ТКХ (L)-1199; 12 — датчик давления АИР 10; 13 — стол; 14 — измеритель-регулятор микропроцессорный TRM-148; 15 — преобразователь интерфейса; 16 — персональный компьютер; 17 — термометр; 18 — перемешивающий вал смесительного устройства; 19 — привод смесителя; 20 — путевой выключатель; 21 — штуцер охлаждающей рубашки; 22 — блок электрооборудования; 23 — лоток; 24 — пульт управления; 25 — весы электронные; 26 — тахометр — АКИП 9201; 27 — электроизмерительные клещи ваттметр А-КИП 4022; 28 — преобразователь частоты E2 — 8300-007N

Fig. 3. Scheme of the experimental stand: 1 — matrix; 2 — screw; 3 — feed shaft with blades; 4 — worm gear; 5 — mixing hopper; 6 — gearbox; 7 — drive of the pressing body; 8 — frame; 9 — blowing unit; 10 — extruder body; 11 — thermoelectric converters TKH (L)-1199; 12 — AIR pressure sensor 10; 13 — table; 14 — meter-controller microprocessor TRM-148; 15 — interface converter, 16 — personal computer; 17 — thermometer; 18 — mixing shaft of the mixing device; 19 — mixer drive; 20 — way switch; 21 — cooling jacket fitting; 22 — electrical equipment unit; 23 — tray; 24 — control panel; 25 — electronic scales; 26 — tachometer — АКИП 9201; 27 — electric measuring pliers wattmeter A-KIP 4022; 28 — frequency converter E2 — 8300-007N

В процессе испытаний проводился сравнительный анализ опытного образца узла прессования с заводским аналогом. На основании экспериментальных данных построены зависимости производительности прессы от частоты вращения шнека, давления в предматричном пространстве, номинальной мощности от частоты вращения шнека, производительности прессы от давления в предматричном пространстве и проведен анализ полученных результатов.

В целом, испытания показали, что новая конструкция предматричной камеры на 15-20% увеличивает производительность прессы, на 5-7% снижает давление теста и повышает его температуру за счет предварительного уплотнения и уменьшения вязкости, а дополнительная пластификация теста улучшает его характеристики, повышает качество готовых изделий при этом увеличивается скорость выпрессовывания теста, а удельные энергозатраты снижаются.

Заключение. Выполнение предматричного пространства (камеры) в виде трубы Вентури позволяет управлять (контролировать) потоком теста от шнека до матрицы, при этом происходит предварительное его уплотнение, пластификация и разогрев, т.е. осуществляется предварительная подготовка теста перед входом теста в колодцы матрицы. В этом случае тесто представляет собой более однородную слоистую массу, слои имеют одинаковую форму и толщину, происходит их слипание, между слоями отсутствуют расщелины, они становятся малозаметными, при этом происходит постепенное взаимное смешение и трение слоев, что приводит к интенсивному выделению теплоты: тесто перестает закручиваться и в дальнейшем слои лишь расплющиваются с изменением их формы

и толщины, однако самое главное достижение — ликвидируются застойные зоны, наблюдается стабилизация потока и понижение вязкости.

Таким образом, под воздействием необратимых деформаций в результате многократных сдвигов элементарных слоев тесто уплотняется, приобретая оптимальные физико-механические свойства. Техническая новизна нового узла прессования подтверждается патентом на изобретение Республики Беларусь №23082.

Список использованных источников

1. *Чернов, М. С.* Справочник по макаронному производству / М.С. Чернов, Г.М. Медведев, В.П. Негруб - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 280 с.
2. Пути улучшения качества макаронных изделий / М.И. Васин, М.А. Калинина, С.А. Парфенова. — М.: ЦНИИГЭИ хлебопродуктов, 1991. — 24 с.
3. *Мачихин, Ю. А.* Формование пищевых масс / Ю.А. Мачихин, Г.К. Берман, Ю.В. Клаповский. — М.: Колос, 1992. — 272 с.
4. *Груданов, В. Я.* Процесс формования макаронных изделий в узлах прессования с улучшенными гидравлическими и технологическими характеристиками / В.Я. Груданов, А.Б. Торган, В.М. Поздняков // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. — 2013. — №2. — С. 58–65.
5. Трубы Вентури. Технические условия : ГОСТ 23720-79. — Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. — 17 с.
6. *Demianiuk, L.* Sily i odkształcenia występujące podczas brykietowania materiałów drobnoziarnistych w komorze orwartej-analiza doświadczalna / L. Demianiuk, R. Hejft, A. Seweryn // Zeszyty naukowe Politechniki Białostockiej. Nauki Techniczne. Nr. 130. Mechanika 21. — 1999. — Nr. 130. Mechanika 21. — S. 95–107.
7. *Fabrode, M. O.* A rheological model for the compaction of fibrous agricultural materials / M.O. Fabrode, J.R. Callaghan // J. Agric. Eng. Res. — 1989. — Vol. 42, No. 5. — Pp.165–178.
8. *Hryniewicz, M.* Zmiennosc tarcia zewnętrznej w procesie brykietowania. Zeszyty naukowe AGH. Mechanika. — 1994. — T. 13, z.4. — S. 555–563.
9. *Барсуков, В. Г.* Технологическое трение при экструзии композитов / В.Г. Барсуков, А.И. Свириденко. — Гродно: ГрГУ, 1998. — 272 с.
10. *Медведев, Г. М.* Технология макаронного производства: учебник для вузов / Г.М. Медведев. — М.: Колос, 1998. — 272 с.
11. *Назаров, Н. И.* Технология макаронных изделий: учебник для вузов / Н.И. Назаров, 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 286 с.
12. *Мачихин, Ю. А.* Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 216 с.
13. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов [и др.]; под ред. А.В. Горбатова. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 296 с.
14. *Ковальская, Л. П.* Технология пищевых производств / Л.П. Ковальская. — М.: Колос, 1999. — 752 с.
15. *Остриков, А. Н.* Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. — СПб.: ГИОРД, 2004. — 288 с.

Информация об авторах

Груданов Владимир Яковлевич — доктор технических наук, профессор, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220023, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 99). E-mail: rektorat@bsatu.by

Торган Анна Борисовна — кандидат технических наук, доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220023, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 99). E-mail: rektorat@bsatu.by

Белохвостов Геннадий Иванович — кандидат технических наук, доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220023, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 99). E-mail: rektorat@bsatu.by

Information about the authors

Grudanov Vladimir Yakovlevich — D Sc. (Engineering), Professor, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosty Ave., 220023, Minsk, Belarus), e-mail: rektorat@bsatu.by

Torgan Anna Borisovna — Ph D (Engineering), Associate Professor, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosty Ave., 220023, Minsk, Belarus), e-mail: rektorat@bsatu.by

Belokhvostov Guennadi Ivanovich — Ph D (Engineering), Associate Professor, Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nezavisimosty Ave., 220023, Minsk, Belarus), e-mail: rektorat@bsatu.by