



Совершенствование технологии подготовки зерна к помолу на малых предприятиях

А. В. Анисимов*, **Ф. Я. Рудик**, **Б. П. Загородских**
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (г. Саратов, Россия)
**anisimovaleksan@mail.ru*

Введение. На малых предприятиях с упрощенным технологическим процессом сортового помола подготовительные операции, включающие в себя очистку, шелушение и увлажнение зерна, играют существенную роль в обеспечении высокого качества сортовой муки. Современное оборудование для мельниц малой производительности предполагает лишь сухую очистку зерна в обоечной машине с последующим его холодным кондиционированием. Использование оборудования, предназначенного для сортового помола с тщательной неоднократной очисткой, мойкой и гидротермической обработкой, не представляется возможным, так как это существенно повышает себестоимость муки. Целью статьи является повышение качественных и количественных показателей сортовой муки, получаемой на малых предприятиях за счет шелушения и подсушивания зерна перед помолом.

Материалы и методы. Исследования качества обработки зерна по таким показателям, как зольность (белизна), влажность, количество битых зерен проведены по ГОСТам РФ, а также установленным в науке и практике методам. Степень шелушения определена по показателю белизны с помощью фотоэлектрического белизномера СКИБ-М (ГОСТ 26361-2013 «Мука. Метод определения белизны»), влажность зерна – по ГОСТ 13586.5-2015 с использованием сушильного шкафа СЭШ-3М, количество битых зерен – по ГОСТ 30483-97.

Результаты исследования. В результате проведенного исследования было установлено, что эффективность обработки зерна в настоящее время зависит от использованных технических средств. На этом основании разработана комбинированная шелушильно-сушильная машина. Исследованы и установлены рациональные режимы обработки зерна, позволяющие повысить белизну получаемой муки в среднем на 4–7 условных единиц белизномера РЗ-БПЛ: производительность машины $Q = 700$ кг/ч; время обработки зерна $t = 72$ с; оптимальная влажность (с точки зрения белизны получаемой муки) поступающего на размол зерна $W = 14$ %; мощность излучателей $P = 1\ 000$ Вт.

Обсуждение и заключение. Теоретические исследования показывают, что шелушение зерна является одним из самых эффективных способов повышения сортности конечной продукции малых предприятий по переработке зерна с упрощенными технологическими схемами. Эффективность шелушения зерна пшеницы с влажностью выше 16 % снижается; данное обстоятельство говорит о целесообразности его подсушивания. Авторами статьи предложено оборудование и технология для обработки зерна перед сортовым помолом, обеспечивающие шелушение зерна и, в случае необходимости, его подсушивание. Определены режимные параметры шелушильно-сушильной машины для подготовки зерна к помолу. Разработанная технология позволяет в случае необходимости подсушивать переувлажненное зерно до необходимых кондиций, что дает возможность получить муку высокого качества из зерна, при гидротермической обработке которого был нарушен влажностный режим. Производительность машины в режиме подсушивания следует связать с мощностью микровол-

© Анисимов А. В., Рудик Ф. Я., Загородских Б. П., 2018



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

нового инфракрасного излучения, а его время и мощность должны ограничиваться максимально допустимой температурой нагрева зерна, не превышающей 60 °С.

Ключевые слова: шелушение, белизна, влажность, сушка, подготовка зерна к помолу

Для цитирования: Анисимов А. В., Рудик Ф. Я., Загородских Б. П. Совершенствование технологии подготовки зерна к помолу на малых предприятиях // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 4. С. 603–623. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201804.603-623>

Благодарности: Исследование проведено в рамках договора с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (№ 180ГС1/6784 от 25.12.2014) по программе «СТАРТ-1» совместно с ООО «Здоровое питание».

Technological Improvements of Grain Preparation for Milling in Small Enterprises

A. V. Anisimov*, F. Ya. Rudik, B. P. Zagorodskikh

Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (Saratov, Russia)

**anisimovaleksan@mail.ru*

Introduction. In small enterprises with simplified technological process of graded milling, preparations, which involve cleaning, peeling and moistening grain, play an essential role for ensuring high quality of graded flour. Modern equipment for the low-productive mills implies only dry cleaning of grains in an abrasive machine with their further cold conditioning. The equipment designed for graded milling with deep multiple cleaning, washing and hydrothermal treatment is not possible. It significantly increases the cost of flour. The aim of the study is to increase both qualitative and quantitative indicators of graded flour in small enterprises through peeling and drying of grains before milling.

Materials and Methods. The quality analyses of grain processing according to such indicators as ash content (whiteness), moisture, quantity of fractured grains were carried out according to State Standards of the Russian Federation and the methods established in science and practice. The degree of peeling was determined by the whiteness indicator with a photoelectric whiteness SKIB-M (GOST 26361-2013 “Flour. Test method for whiteness”). Grain moisture was determined according to GOST 13586.5-2015 by the drying cabinet DEC-3M (drying electrical cabinet, model type 3M). The number of fractured grains was determined according to GOST 30483-97.

Results. The research result revealed the dependence of grain processing on the technical aids. A combined peeling–drying machine was developed on this principle. The authors have developed rational operations of grain processing, which increase the whiteness of the received flour on average 4–7 conventional units. The standard instrument for whiteness definition has been studied and set. According to the given results optimal operating parameters for grain processing before milling have been developed: machine productivity ($Q = 700$ kg/h); the period of grain processing ($t = 72$ s.); optimum moisture content (from the point of view of obtained flour whiteness) of grains received for milling ($W = 14$ %); radiant power ($P = 1\ 000$ W).

Conclusions. The research proved the fact that peeling of grains is one of the most effective ways of increasing the grade of end products of small enterprises with simplified technological process of graded milling. The efficiency of peeling seeds of wheat with humidity higher than 16 % decreases that speaks for the need to dry grains. The authors of the article introduce the equipment and technology for grain processing before graded milling, which provide grain peeling and, if necessary, drying. The operating parameters of the peeling-drying machine for preparation of grains for milling have been determined. The developed technology provide, if necessary, drying the remoistened grain to necessary standards that gives the chance to produce high-quality flour from the grains processed hydrothermally without processing moisture conditions required. The machine productivity in the mode of drying should be connected with the power of microwave infrared



radiation, and its time and power should be limited to a maximum permissible grain temperature, which does not exceed 60 °C.

Keywords: peeling, whiteness, moisture, drying, preparation of grain for grinding

For citation: Anisimov A. V., Rudik F. Ya., Zagorodskih B. P. Technological Improvements of Grain Preparation for Milling in Small Enterprises. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*. 2018; 28(4):603–623. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201804.603-623>

Acknowledgments: The study was conducted as part of an agreement with the Foundation for Assistance to Development of Small Enterprises in Scientific and Technical Sphere (No. 180GS1 / 6784, 25 December 2014) under the “START-1” program together with “Healthy Food” LLC.

Введение

Качество муки в первую очередь зависит от начальной операции технологического процесса, заключающегося в подготовке зерна к помолу. Необходимы тщательная очистка зерна от минеральных примесей и микронасекомых, а также шелушение оболочки. В соответствии с ГОСТ Р 52554-2006¹ в зерне, подготовленном к помолу, допускается не более 1 % примесей. В связи с этим актуальность процесса подготовки обусловлена важностью технологических операций, связанных не только с очисткой зерна от высокозольных прочных и трудноотделимых минеральных отложений, но и от оболочек, которые темнят и снижают сортность муки.

При крупнотоннажном производстве для подготовки зерна к помолу используется высокоэффективное (чаще всего импортное) оборудование. Для мельниц с малыми объемами производства (такие мельницы перерабатывают в России до 5 млн т зерна в год) в связи с высокой стоимостью, а также длительностью и сложностью технологического процесса подобное оборудование неприемлемо.

Целью данного исследования является повышение качественных и количественных показателей муки, получаемой на малых предприятиях за счет

очистки, шелушения и подсушивания зерна перед помолом.

Задачи исследования:

1. Анализ физико-механических свойств зерна пшеницы; определение основных факторов, влияющих на эффективность повышения качественных показателей получаемой муки;
2. Теоретическое обоснование основных режимных параметров шелушения и подсушивания зерна;
3. Экспериментальное исследование влияния технологических свойств зерна (влажности) и режимных параметров (степени шелушения) на качество получаемой из него муки.

Обзор литературы

На крупных предприятиях России очистка поверхности зерна от грязи, пыли и волосков осуществляется сухим методом в обоечных машинах типа РЗ-БМО или щеточных машинах типа А1-БЦМ [1]. Многочисленные исследования показывают, что очистка на оборудовании такого типа сопровождается образованием большого количества битого зерна с поврежденным эндоспермом; зольность при этом практически не снижается².

Шелушение зерна является одним из самых эффективных способов очистки поверхности от загрязнений и удаления наружных оболочек [2].

¹ Пшеница. Технические условия : ГОСТ Р 52554-2006. Введ. 2006-09-06. М. : Изд-во стандартов, 2006. 15 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52554-2006>

² Бузоверов С. Ю., Тарасов С. А. К вопросу интенсификации подготовки зерна к помолу различными способами // *Аграрная наука – сельскому хозяйству* : сб. ст. : в 3 кн. Барнаул : РИО Алтайского ГАУ. 2017. Кн. 3. С. 24–27. URL: <https://www.twirpx.com/file/2153495/>

Целями шелушения зерна при сортовом помоле являются:

1. Удаление наружных оболочек зерна вместе с загрязнениями и микроорганизмами, которые, попадая в конечную продукцию, уменьшают выход муки высшего сорта и сокращают срок хранения;

2. Упрощение технологической схемы переработки зерна за счет снижения процентного содержания оболочек по отношению к эндосперму [3].

Удаление внешних оболочек позволяет на упрощенных схемах помола получать более чистый в структурном и микробиологическом плане продукт с высоким показателем белизны.

Сравнительные опыты П. А. Козьмина по использованию зерна, шелушенного сухим способом и предварительно увлажненного до 16 % (количество удаленных плодовых оболочек составило около 50 % от их общего содержания), показали, что мука из увлажненного зерна получается более однородной, светлой и имеет лучшие хлебопекарные показатели качества. Относительное содержание клетчатки в зерне при этом снизилось на 15–25 %³. При помоле шелушенного зерна общий выход муки увеличился на 2–3 %, в т. ч. муки высоких сортов – на 5–6%.

Исследования, проведенные посредством шелушения увлажненного и сухого зерна в обоечной машине, показали, что шелушение предварительно увлажненного зерна несколько эффективнее сухого: мука становится светлее [4].

Отмечено также, что чрезмерное переувлажнение зерна перед шелушением имеет также и отрицательные свойства: отходы шелушения (отруби) обладают высокой влажностью, возникает необходимость в их последующем просушивании; мука также имеет высокую влажность, а рабочая поверх-

ность обоечной машины быстро зашлифовывается [5].

В то же время на процесс шелушения влияет предшествующая гидротермическая обработка, в т. ч. влажность зерна. При влажности более 17 % зерно проявляет себя как упруго-пластичное тело, в результате чего возрастают работа разрушения и энергозатраты на шелушение. Повышенная влажность зерна негативно влияет на качество конечных продуктов и производительность всей ПТЛ, а рабочая поверхность шелушительных машин быстро заливается [6].

Обобщая приведенные данные, следует отметить, что поставленная исследователями задача полного удаления оболочек зерна перед помолом не достигнута по причине особенностей анатомического строения зерна (сложная форма с бороздкой и бородкой). Поэтому последующие исследования полноты отделения оболочек были направлены на поиск оптимальной с технологической точки зрения степени шелушения зерна перед помолом.

Ж. С. Алимкуловым [7] установлено, что предварительное шелушение зерна следует применять при многосортных помолах пшеницы. Исследователем принята оптимальная степень шелушения – 0,8–1,0 % в расчете на сухую массу. В этом случае заметно снижается средневзвешенная зольность муки и содержание в ней клетчатки, а белизна повышается. Отмечено, что при 1 % степени шелушения содержание продуцентов микотоксинов снижается примерно на 50 %, а зольность зерна – на 0,02–0,03 %. В последние годы в разных странах появились разработки технологии сортового помола пшеницы с предварительным шелушением зерна. Чешская фирма «Прокоп» совместно с канадскими учеными разработала подобный вариант технологии под названием «Дебраннинг», что в пе-

³ Галимзянов Д. А. Интенсификация подготовки зерна для мельниц малой производительности : дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 27 с. URL: <http://tekhnosfera.com/intensifikatsiya-podgotovki-zerna-dlya-melnits-maloy-proizvoditelnosti>



реводе с английского языка означает «оголение, удаление оболочек». Имеются данные о разработке особых вариантов технологии в Китае и Японии. Технология шелушения, разработанная фирмой Bühler, позволяет повысить качественные показатели очистки и шелушения. После очистки, увлажнения и кондиционирования зерна шелушитель удаляет наружный слой оболочки зерен. По данным фирмы, количество микроорганизмов после обработки зерна в шелушителе уменьшается почти на 90 %, микотоксинов – на 50 %, тяжелых и токсичных металлов – на 90 %, песка – более чем на 90 %⁴ [8].

Наряду с очисткой поверхности зерна важнейшим этапом современной технологии мукомольного производства является гидротермическая обработка⁵ [9]. Именно варьируя параметры и режимы ГТО, можно изменить исходные технологические свойства зерна в требуемом направлении, что даст возможность оптимизировать технологический процесс и получить больший выход муки высшего сорта. Это говорит о необходимости проведения исследований по подготовке зерна к помолу с учетом всех подготовительных операций.

В последнее время произошли значительные изменения в структуре, способах и режимах гидротермической обработки. Однако ограниченность технологического оборудования мельниц малой производительности позволяет провести только один сокращенный по времени этап холодного кондиционирования. На предприятиях малой мощности по переработке зерна упрощение технологии подготовки зерна к помолу

привело к снижению выхода муки высоких сортов, при этом ее значительная часть не соответствует требованиям ГОСТ Р 52189-2003⁶.

В настоящее время гидротермическая обработка на малогабаритных технологических линиях осуществляется в простейших по устройству увлажняющих машинах, где к зерну добавляется вода и перемешивается шнеком. Количество поступающей в машину воды устанавливается вручную в зависимости от количества зерна и его требуемой конечной влажности и не регулируется в процессе последующего увлажнения зерна. Данная система проста и довольно эффективна в работе с водопроводными сетями со стабильным давлением. В условиях 80%-процентного износа коммунальных сетей российских городов и сел давление воды в питающем трубопроводе часто не является постоянной величиной и изменяется в различных пределах. При этом нарушается расчетное соотношение воды и зерна, вследствие чего влажность зерна, поступающего в бункеры для отволаживания, не всегда соответствует норме. Если недостаточную увлажненность можно устранить повторным увлажнением, то избыточную влажность снизить затруднительно, т. к. в технологических линиях после бункеров для отволаживания не предусмотрены сушильные установки. Избыточная влажность зерна, поступающего на размол, ведет к повышению энергозатрат на шелушение и снижению производительности линии. Повышенная влажность конечных продуктов (муки, крупы, отрубей) также негативно сказывается на их качестве и сроке хранения⁷. Сове-

⁴ Там же.

⁵ Там же

⁶ Анисимова Л. В., Выборнов А. А. Влияние гидротермической обработки зерна ячменя на эффективность его шелушения и качество получаемой ячменной муки // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств : сб. ст. и докл. 5-й Всероссийской науч.-практ. конф. «Исследования и достижения в области теоретической и прикладной химии. Экология. Продукты питания». Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2011. С. 15–21.

⁷ Разработка и создание экспериментального образца энергосберегающего оборудования для подготовки зерна к помолу / А. В. Анисимов [и др.]. Отчет о НИОКР, рег. № НИОКР 115082610022, 14.12.2015. 65 с.

менное же автоматическое оборудование для холодного кондиционирования на малых предприятиях, осуществляющее точное поддержание необходимого соотношения воды и зерна, недоступно из-за высокой стоимости.

Анализ основных направлений развития оборудования для шелушения и технологий переработки зерновых культур показывает, что они характеризуются большим разнообразием и значительно отличаются по способу шелушения.

С целью разработки и создания нового эффективного оборудования для шелушения зерновых культур была проведена работа по систематизации машин для шелушения по типу их рабочих органов и признакам, определяющим конструктивно-технологическое исполнение машины на основе того или иного способа шелушения. Такая систематизация машин для шелушения зерна по наиболее существенным признакам легла в основу их классификации (рис. 1).

Анализ разработанной классификации показал, что наряду с современными пневмомеханическими рабочими органами, основанными на комплексных ударно-инерционном и аэродинамическом воздействии на объект шелушения [10], в мукомольном производстве получили распространение машины с механическими рабочими органами, работающие по принципу сжатия и трения, обеспечивающие среднее качество шелушения зерна пшеницы, но обладающие невысокой стоимостью⁸.

Такие шелушители могут иметь как горизонтальное, так и вертикальное расположение рабочих органов [11]. Тип поверхности рабочих органов у данных устройств также может быть различным в зависимости от вида и физико-механических свойств перерабатываемой культуры [12]. Представленная класси-

фикация позволяет учесть все основные особенности при разработке конструктивно-технологических схем новых шелушителей, способных обрабатывать зерно повышенной влажности и подсушивать его, обеспечивая при этом высокое качество шелушения.

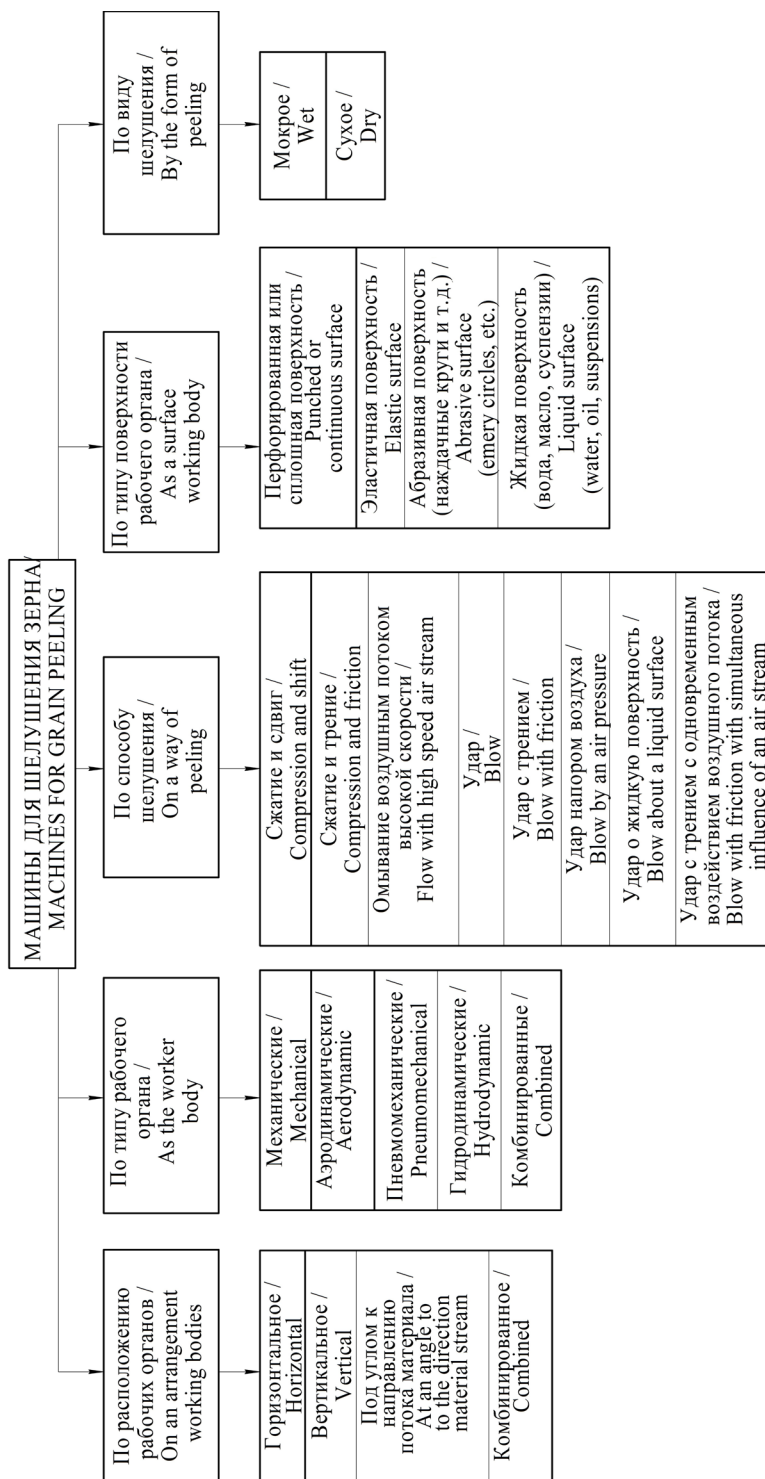
На существующих зерноперерабатывающих предприятиях самым распространенным оборудованием для обработки поверхности зерна пшеницы являются машины, разработанные на базе А1-ЗШН-3. Они предназначены для удаления поверхностных слоев зерна пшеницы (вместе с загрязнениями) при переработке в муку, ячменя – при производстве крупы [13].

Обработка в машинах данного типа использует принцип трения зерна о рабочие органы (подвижные абразивные круги и неподвижный ситовый цилиндр) и трение между самими зерновками.

Материал для обработки подается сверху в рабочую зону машины (между рабочими органами), и в результате интенсивного трения, происходящего при движении потока зерна вниз по машине, происходит соскабливание верхних слоев зерновки вместе с содержащимися на них загрязнениями, которые удаляются воздушным потоком встроенного вентилятора. Задвижкой на выходе машины регулируется степень шелушения и, соответственно, производительность машины.

Среди зарубежных фирм следует выделить швейцарскую компанию Bühler, являющуюся основным производителем машин для зернопереработки. 90 % современной техники остальных производителей оборудования для переработки зерна являются репликами моделей данной фирмы. Предприятие выпускает шелушительные машины, работающие по принципу трения и удара: это шелушительная машина для

⁸ Обзор и анализ способов шелушения овса / И. А. Хозяев [и др.] // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. ст. 9-й междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2016. С. 137–140.



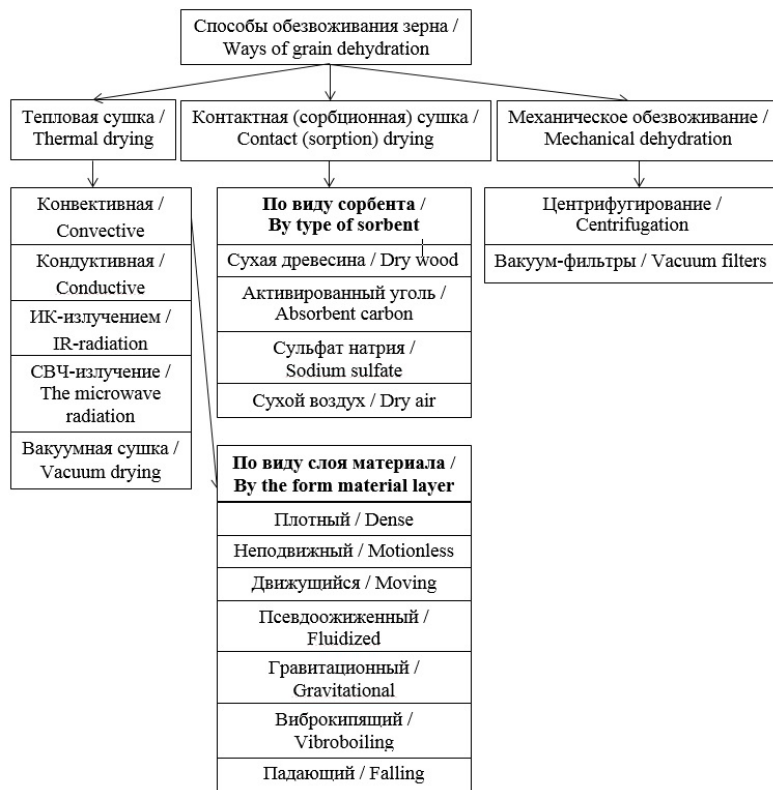
Р и с. 1. Классификация машин для шелушения зерна / Fig. 1. Classification of machines for grain peeling

обеззараживания МНХМ-W (основанная на трении зерна об обечайку), шелушитель ударного действия DOSB, шелушитель MNSA (многократный удар)⁹. Однако высокая производительность данного оборудования и чрезвычайно высокая стоимость не позволяет применять его на малых предприятиях по переработке зерна.

Достаточно высокая степень шелушения, низкий выход битого зерна и невысокая стоимость машин, действующих по принципу сжатия и трения,

свидетельствует о возможности разработки техники, основанной на данном принципе обработки.

При определении способа сушки авторы ориентировались главным образом на то, что выбранный вид сушки должен обеспечивать эффективное и быстрое удаление влаги из внутренних слоев зерновки из-за ограниченного времени нахождения зерна в машине. На основе научных данных были систематизированы способы обезвоживания зерна (рис. 2)¹⁰⁻¹¹.



Р и с. 2. Способы обезвоживания зерна
F i g. 2. Ways of grain dehydration

⁹ Продукция – BUHLERGROUP.com. URL: <http://www.buhlergroup.com/europe/ru/10.htm#.Wn-A2bdSWSM8>

¹⁰ **Васильев А. Н., Будников Д. А.** Совершенствование способов и оборудования для сушки зерна // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : тр. междунар. науч.-техн. конф. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2012. Т. 5. С. 152–157.

¹¹ **Буханцов К. Н.** Использование электрофизических способов для повышения эффективности сушки зерна // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона : мат-лы Международной научно-практической конференции. Ставрополь : АГРУС, 2006. С. 27–30.



Наибольшее распространение получила тепловая сушка. При тепловой сушке энергия расходуется на преодоление силы связи влаги с сухим веществом зерна и на теплоту парообразования¹².

В большинстве зерносушилок, применяемых в сельском хозяйстве, тепло передается конвективным способом. Агент сушки служит не только для передачи тепла зерну, но и одновременно – для поглощения испарившейся из него влаги [14]. Данный способ характеризуется большой длительностью нагрева материала и малой энергоэффективностью. Сушка зернового слоя, находящегося непосредственно на горячей поверхности (кондуктивная сушка), малоэффективна и требует большого расхода тепла. При таком способе нижний слой зерна, соприкасающийся с горячей поверхностью, быстро нагревается; в то же время поверхностный слой почти не нагревается и не просушивается. Для интенсификации данного способа сушки необходимо обеспечивать ворошение слоя, что усложняет конструктивное исполнение сушилки [15–16].

Основанные на использовании СВЧ-излучения способы сушки состоят в том, что зерно находится в поле токов высокой частоты, где энергия превращается в теплоту, благодаря чему зерно нагревается¹³. Температура зерна в поле СВЧ быстро повышается (в течение нескольких секунд), причем однородный материал нагревается равномерно по всей толщине слоя. Разогрев зерна происходит за счет передачи молекулам зерна (как и любому токопроводящему материалу) дополнительной кинетической энергии (разгона молекул) [17].

Инфракрасные лучи широко применяются практически во всех отраслях жизнедеятельности человека [18]. Инфракрасный энергоподвод так же активно применяется в таких технологических процессах, как нагрев, обжарка, выпечка, термообработка зернового сырья и сушка [19–20]. Воздействие инфракрасного излучения на пищевые продукты растительного и животного происхождения связано с интенсификацией процессов биохимических превращений вследствие резонансного воздействия поглощаемой энергии на связи атомов в молекулах, частоты колебаний которых совпадают или кратны частоте падающего ИК-излучения [21]. Благодаря высокой проникающей способности ИК-излучение не только обеспечивает быстрый прогрев зернового сырья, но и изменяет его биохимические, физико-технологические, микробиологические и органолептические свойства. Это позволяет вырабатывать качественно новые продукты с высокой степенью усвояемости, низкой микробиологической обсемененностью, повышенным сроком хранения [22].

В настоящее время отдельные производители выпускают небольшими партиями зерносушилки различных конструкций, компонентов и производительности, принцип работы которых основан на ИК-излучении, но все они характеризуются высокой энергоэффективностью и скоростью сушки, а также низкой температурой нагрева зерна¹⁴ [23–25].

Проведенный анализ видов и способов сушки позволил сделать выбор в пользу ИК- и СВЧ-сушки. Только при данных видах подвода энергии обеспечивается быстрый равномерный нагрев

¹² Булахов Е. Ю., Канатьева А. В., Безносюк Р. В. Перспективное направление совершенствования способа сушки зерна // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : мат-лы 68-ой Междунар. науч.-практ. конф. Рязань : РГАТУ, 2017. С. 42–46. URL: http://rgatu.ru/archive/sborniki_konf/16/68_1.pdf

¹³ Файзрахманов Ш. Ф. Применение СВЧ для сушки сельскохозяйственной продукции // Лапшинские чтения : мат-лы IX Междунар. науч.-практ. конф. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 369–371. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22253101>

¹⁴ ИК-оборудования – ООО Производственная компания Старт. URL: <http://pcstart.ru/ik-oborudovaniya>

и удаление влаги, находящейся внутри зерновки.

Материалы и методы

Белизна муки определена по ГОСТ 26361-2013 «Мука. Метод определения белизны»¹⁵ с помощью фотоэлектрического прибора СКИБ-Л; влажность зерна в потоке – с помощью разработанной для машины автоматизированной системы управления (АСУ). Контроль влажности проведен по ГОСТ 13586.5-2015¹⁶ с использованием сушильного шкафа СЭШ-3М. Количество битых зерен определено по ГОСТ 30483-97¹⁷.

Выбор рациональных режимных параметров обработки зерна осуществлен на шелушильно-сушильной установке с производительностью 500–1 000 кг/ч.

Результаты исследования

В результате проведенных исследований установлено, что шелушение зерна пшеницы перед помолом повышает качество получаемой из него муки. Главными показателями качества шелушения при переработке зерна в муку, определяющими ее сортность, являются степень шелушения (определяется по зольности или белизне муки) [26], влажность¹⁸ и количество битых зерен.

Конструктивная схема шелушильно-сушильной установки

Была разработана и исследована комбинированная шелушильно-сушильная машина с ИК-излучением (вертикального исполнения), в которой наряду с шелушением зерна осуществляется его подсушивание и обеззараживание. Шелушение протекает по принципу

трения зерна о неподвижный ситовый цилиндр и подвижные абразивные круги (рис. 3), где 1 – корпус; 2, 3 – входной и выходной патрубки; 4 – привод; 5 – ситовый цилиндр; 6 – полый вал с отверстиями; 7 – ИК-излучатели; 8 – абразивные круги; 9 – обечайки; 10 – вентилятор [27]. Для машины была разработана автоматизированная система управления (АСУ) на основе приборов фирмы «ОВЕН» [28]. Схема процесса обработки зерна при подготовке к помолу с использованием разработанной машины представлена на рис. 4.

Шелушильно-сушильная машина работает следующим образом. Электропривод 4 через поликлиноременную передачу передает вращение полному валу 6 с установленными на нем абразивными кругами 8. Неочищенное зерно, подвергаемое обработке, самоотекотом через загрузочный патрубок 2 попадает в рабочую зону машины между подвижными абразивными кругами 8 и статичным ситовым цилиндром 5, где, благодаря интенсивному трению о них и перемешиванию, происходит отделение загрязнений и наружных оболочек зерна, которые в последующем удаляются аспирационной системой машины.

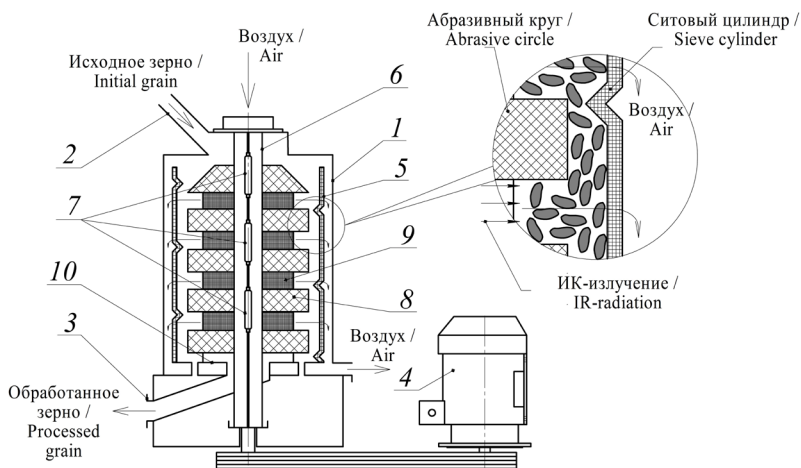
По мере прохождения зерна в рабочем пространстве выштамповка 10 ситового цилиндра 5, выполненная в виде винтовой линии, заставляет его двигаться от внешней стенки барабана к вращающимся абразивным кругам (к центру машины), что улучшает перемешивание слоев зерна, а отшелушенные оболочки быстрее удаляются через перфорацию ситового цилиндра.

¹⁵ Мука. Метод определения белизны : ГОСТ 26361-2013. Введ. 2014-07-01. М. : Стандартинформ, 2014. 10 с. URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/54625/>

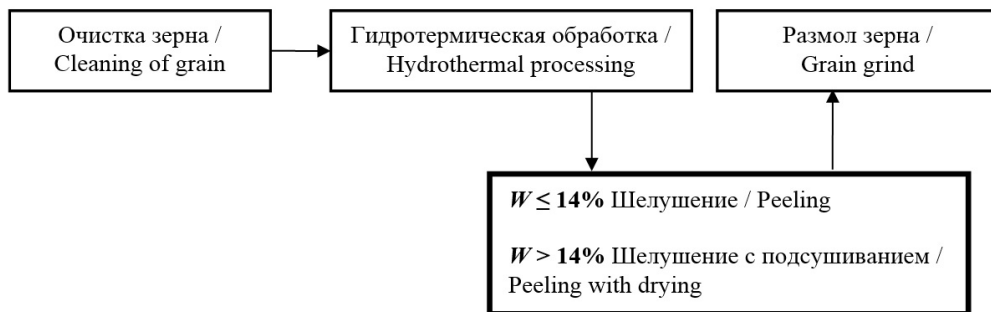
¹⁶ Зерно. Метод определения влажности : ГОСТ 13586.5-2015. Введ. 2016-07-01. М. : Стандартинформ, 2016. 15 с. URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/60687/>

¹⁷ Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержание металломагнитной примеси : ГОСТ 30483-97. Минск : ИПК Издательство стандартов, 1998. Введ. 1998-07-01. 21 с. URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/27696/>

¹⁸ Разработка и создание экспериментального образца энергосберегающего оборудования для подготовки зерна к помолу / А. В. Анисимов [и др.]. Отчет о НИОКР, рег. № НИОКР 115082610022, 14.12.2015. 65 с.



Р и с. 3. Шелушильно-сушильная машина
F i g. 3. Peeling-drying machine



Р и с. 4. Схема процесса обработки зерна при подготовке к помолу
F i g. 4. The scheme of grain processing during preparation for milling

Радиационное инфракрасное излучение, выделяемое инфракрасными излучателями 7, проходя сквозь сетчатые обечайки 9, воздействует на молекулы воды и зерна, переходит в тепло, нагревает зерно и выпаривает из него избыточную влагу. Наружный воздух, нагнетаемый вентилятором 10, являющимся частью аспирационной системы машины, проходит через полый вал 6 с инфракрасными излучателями 7 и в нагретом состоянии поступает в зону обработки зерна, осуществляя конвективный тепло- и массообмен с удалением паров воды. Из машины обработанное зерно удаляется через выпускной патрубков 3 [27].

В соответствии с теоретическими исследованиями определены конструктивные и режимные параметры машины, представленные в табл. 1.

При переработке зерна без шелушения поток зерна направляется шиберными заслонками на самотеках в обход установки. Производительность шелушильно-сушильной машины (500–1 000 кг/ч с шагом 100 кг) задается шиберной заслонкой, управляемой штурвалом через червячную передачу путем изменения площади выходного отверстия установки. Все данные архивировались на жестком диске компьютера. Для связи АСУ машины с компьютером использован адаптер сети ОВЕН АС4,

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

Технические характеристики установки
Technical characteristics of the installation

Параметр / Parameter	Размерность / Dimension	Значение / Value
Производительность, Q / Productivity, Q	кг/ч / kg/h	500–1 000
Диаметр абразивных кругов, d / Diameter of abrasive disks, d	мм / mm	250
Частота вращения вала, n / Shaft speed, n	мин ⁻¹ / min ⁻¹	1 460
Диаметр ситового цилиндра, d_s / Diameter of the screen cylinder, d_s	мм / mm	270
Площадь ситового цилиндра, S / Area of the screen cylinder, S	м ² / m ²	0,29
Расход воздуха на аспирацию, V / Air consumption on an aspiration, V	м ³ /ч / m ³ /h	920
Установленная мощность (общая), P / Rated capacity (common), P	кВт / kW	14
Мощность электродвигателя, $P_{дв}$ / Electric motor power, P_{mot}	кВт / kW	11
Мощность ИК-излучателей, $P_{изл}$ / Power of IR-radiators, P_{rad}	кВт / kW	3
Тип излучателя / Radiator type	–	КГТ 220-1 000

преобразующий сигналы интерфейса RS 485 в USB и обратно, и OPC-сервер OWEN. В непрерывном режиме компьютер обрабатывал информацию, которая поступала от термопар, пирометра и датчика влажности, и выводил на монитор линии трендов температуры и влажности зерна на входе и выходе из машины. Поступающие данные обработаны программным комплексом Statistica 10.1.

На основе экспериментальных данных построены зависимости скорости сушки от мощности излучателей в камере нагрева. Мощность изменялась встроенным в АСУ установки регулятором. На рис. 5 представлен график скорости сушки при различной мощности излучателя.

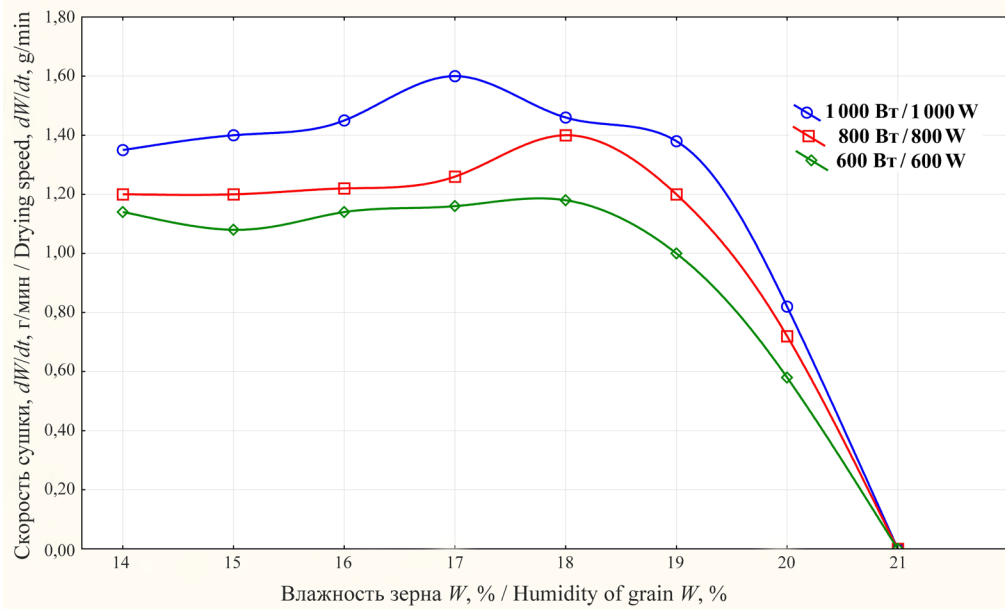
Полученные графики описывают динамику процесса сушки и дают возможность оценить изменения ее скорости. Анализ данных показывает, что скорость сушки существенно не снижается на всем протяжении операции и прямо пропорционально зависит от мощности ИК-излучения. Исходя из этого, наиболее эффективным следует

считать использование ИК-излучателей максимальной мощности – 1 000 Вт.

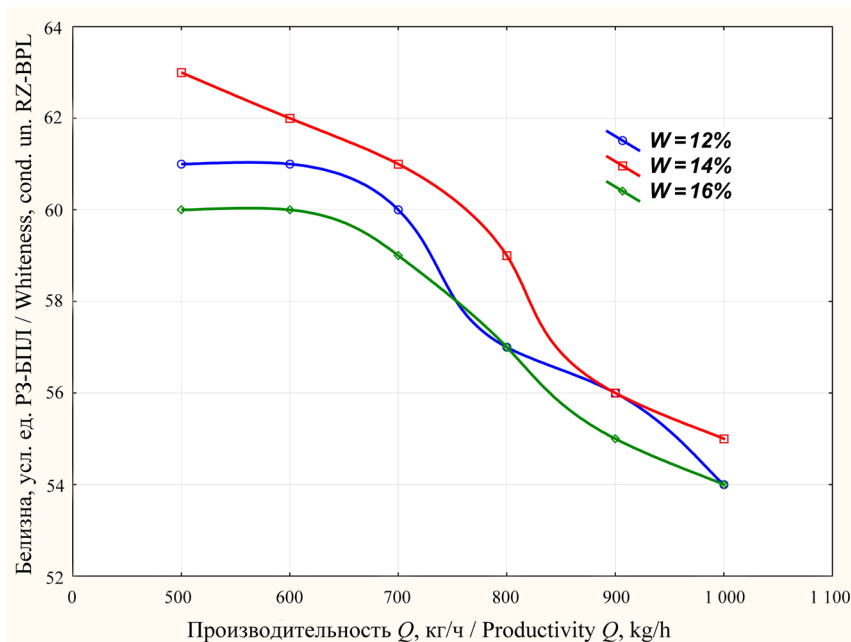
Белизна

Белизна муки определялась по стандартной методике путем отбора проб муки из обработанного и необработанного зерна разной влажности. Замеры проведены при значениях производительности 500–1 000 кг/ч с шагом в 100 кг/ч. Результаты исследований представлены на рис. 6–7.

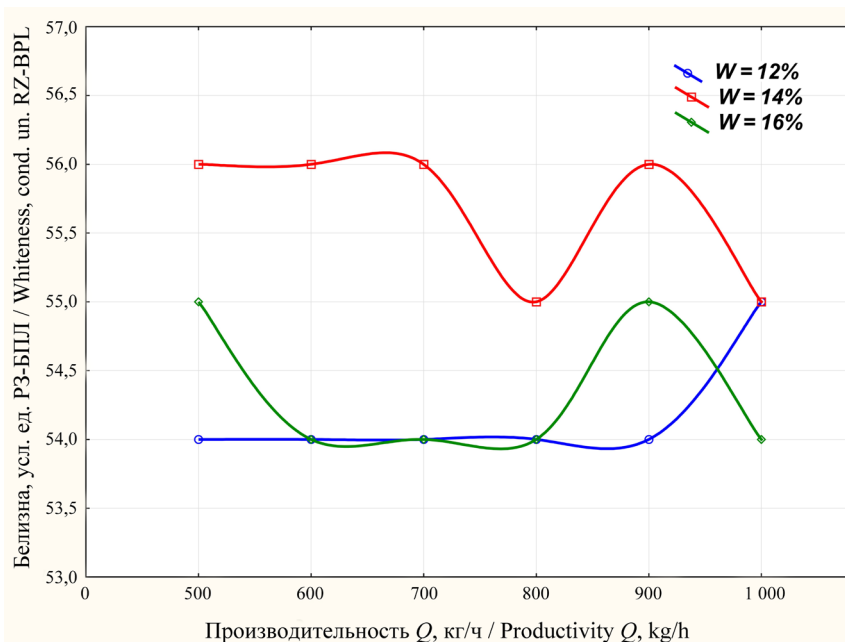
Анализ полученных результатов показывает, что белизна муки из зерна, обработанного в шелушильно-сушильной машине, выше, чем белизна муки из необработанного зерна. При самой высокой производительности машины (наименьшее время нахождения зерна в рабочей зоне и, следовательно, наименьшая степень шелушения) белизна муки выше на 1 усл. ед. РЗ-БПЛ, а при наименьшей производительности (самой высокой степени шелушения) – на 7 усл. ед. РЗ-БПЛ. В то же время экспериментальные данные показывают, что влажность исходного зерна также влияет на белизну получаемой муки. В частности, максимальная белизна



Р и с. 5. Кинетика сушки пшеницы
 F i g. 5. Kinetics of wheat drying



Р и с. 6. График зависимости белизны муки от производительности машины (шелушенное зерно)
 F i g. 6. Graph of dependence of flour whiteness on machine productivity (scoured grain)



Р и с. 7. График зависимости белизны муки от производительности машины (нешелушенное зерно)

Fig. 7. Graph of dependence of flour whiteness on machine productivity (unscoured grain)

муки наблюдается при обработке зерна влажностью 14 %, дальнейшее же увлажнение выше 16 % не приводит к росту белизны муки. Это говорит о необходимости подсушивания зерна перед первой драной системой в случае переувлажнения зерна после проведения ГТО.

Влажность

Влажность и температура зерна на входе и выходе из машины в онлайн-режиме определены автоматической системой управления машины (контроль полученных значений влажности зерна осуществлен определением влажности отобранных образцов по ГОСТ 13586.5-2015 с использованием сушильного шкафа СЭШ-3М).

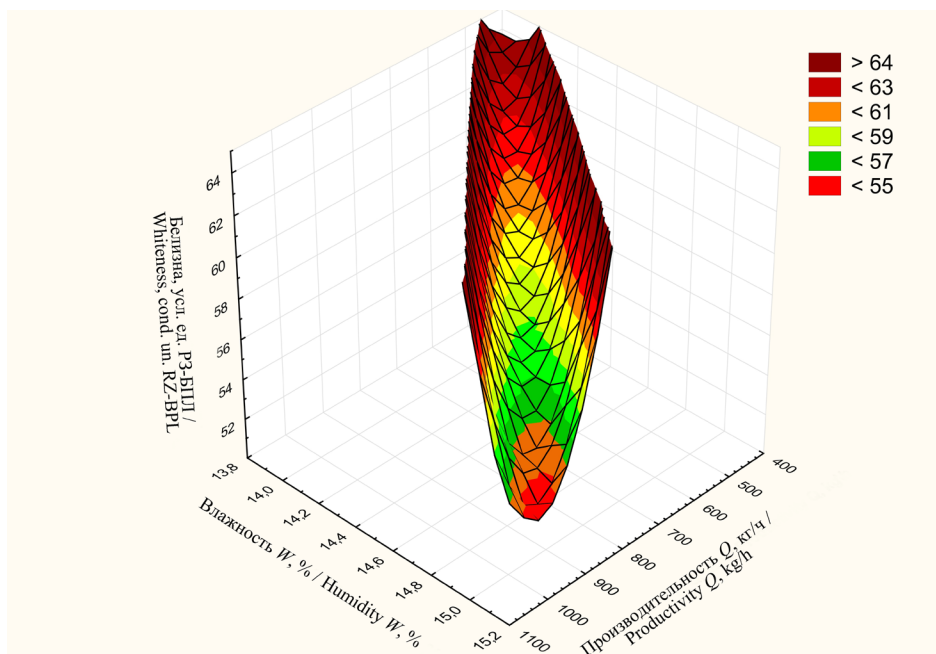
Основные результаты экспериментов по шелушению и сушке переувлажненного в результате ГТО зерна представлены в табл. 2 и на рис. 8 в виде трехмерной поверхности отклика.

Анализ зависимости показывает, что при влажности зерна $W_{нач} = 17\%$ на

выходе из машины влажность уменьшается до 15 % при максимальной производительности (наименьшее время нахождения зерна в рабочей зоне) и до 14,2 % – при минимальной производительности машины. Белизна полученной муки максимальна при производительности выше 700 кг/ч и влажности, близкой к 14 %.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что в случае переувлажнения зерна при проведении ГТО целесообразнее снизить производительность всей ПТЛ, подсушить объем зерна и получить муку высокого качества, чем произвести размол зерна с повышенной влажностью и получить муку с меньшей белизной и повышенной влажностью. Кроме того, при размолу переувлажненного зерна наблюдается повышенное выделение влаги в отсевах, что приводит к залипанию рабочих поверхностей сит и уменьшению их эффективной площади.

Экспериментально было определено время нахождения зерна в машине



Р и с. 8. График зависимости белизны муки и влажности зерна от производительности машины ($W_{нач} = 17\%$)
 F i g. 8. Graph of dependence of flour whiteness and grain moisture on machine productivity ($W_{init} = 17\%$)

Таблица 2

Table 2

Белизна муки и влажность зерна при различной производительности машины
Whiteness of flour and humidity of grain at various machine productivity

Производительность Q , кг/ч / Productivity Q , kg/h	Влажность зерна W , % / Humidity W , %	Белизна муки, усл. ед. РЗ-БПЛ / Whiteness, cond. un. RZ-BPL
500	13,9	64
600	14,1	63
700	14,7	61
800	14,9	59
900	15,0	56
1 000	15,1	55

в зависимости от ее производительности: 500 кг/ч – 94 с; 600 кг/ч – 84 с; 700 кг/ч – 72 с, 800 кг/ч – 54 с; 900 кг/ч – 42 с; 1 000 кг/ч – 34 с.

Количество битых зерен

Приращение содержания битых зерен в результате шелушения незначи-

тельно и составляет 0,36–0,79 %. Некоторое увеличение содержания зерновой примеси обусловлено ростом содержания битых зерен. За счет уменьшения размеров зерен в результате шелушения незначительно увеличивается содержание мелкого зерна.

Обсуждение и заключение

В статье представлена технология обработки зерна перед помолом, обеспечивающая шелушение зерна и его подсушивание. Разработана конструкция и определены режимные параметры шелушильно-сушильной машины для обработки зерна.

Теоретическими исследованиями установлено, что шелушение зерна является одним из самых эффективных способов повышения сортности конечной продукции малых предприятий по переработке зерна с упрощенными технологическими схемами. Эффективность шелушения зерна пшеницы с влажностью выше 16 % снижается; данное обстоятельство говорит о целесообразности его подсушивания.

В ходе экспериментальных исследований определены оптимальные технологические режимы, обеспечивающие эффективную обработку зерна пшеницы:

- производительность установки, кг/ч – 700;
- время нахождения зерна в машине, с – 72;
- влажность обрабатываемого зерна, % – 14;
- мощность излучателей, Вт – 1 000.

В результате проведенных исследований разработана конструкция и проведена производственная проверка технологии шелушильной установки, позволяющей в случае необходимости подсушивать зерно до необходимых кондиций после ГТО. Это дает возможность получить муку высокого качества из зерна, при гидротермической обработке которого был нарушен влажностный режим. Предложенная технология обеспечивает повышение сортности получаемой муки, белизна которой выше в среднем на 4–7 усл. ед. РЗ-БПЛ. Переработка переувлажненного зерна не позволяет получить муку высокого качества (с большим значением белизны); более того, переработка такого зерна приводит к выделению в технологическом оборудовании дополнительной влаги, которая становится причиной залипания рабочих органов машин и образования засоров.

Производительность машины в режиме подсушивания следует связать с мощностью микроволнового ИК-излучения, а его время и мощность должны ограничиваться максимально допустимой температурой нагрева зерна, не превышающей 60 °С.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Гафин М. М.** Подготовка зерна к помолу с использованием традиционного оборудования // Научный вестник Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина. 2014. № 13. С. 51–55. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22481480_35728280.pdf
2. **Кандрокров Р. Х., Панкратов Г. Н.** Роль шелушения зерна в технологии переработки твердой пшеницы // Хлебопродукты. 2013. № 3. С. 44–45. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20230231_84552895.pdf
3. Оптимизация параметров и совершенствование технологии зерношелушения / В. Н. Невзоров [и др.] // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 4. С. 160–165. URL: <http://www.kgau.ru/vestnik/content/2013/4.13.pdf>
4. Влияние шелушения зерна на параметры процесса его измельчения / О. С. Журба [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 8. С. 18–23. URL: <http://www.foodprom.ru/images/pdf/hips/2012/HIPS-2012-08.pdf>
5. Adherence within biological multilayered systems : Development and application of a peel test on wheat grain peripheral tissues / M. R. Martelli [et al.] // Journal of Cereal Science. 2010. Vol. 52, Issue 1. P. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.007>



6. Бузоверов С. Ю., Антипина Г. А. Влияние гидротермической обработки на качество зерна пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 10 (72). С. 83–86. URL: http://www.asau.ru/vestnik/2010/10/Processing_Busoverov.pdf
7. Опыт подготовки зерна пшеницы к помолу с предварительным отделением оболочек / Ж. С. Алимкулов [и др.] // Экспресс-информация (Сер. «Мукомольно-крупяная промышленность»). 1979. Т. 1, вып. 7. С. 22.
8. Bühler: только чистое зерно можно долго хранить // Хлебопродукты. 2014. № 1. С. 34–35. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21258149>
9. Верещинский А. П. Подготовка зерна шелушением на мельницах сортов помолов пшеницы большой производительности // Хлебопродукты. 2010. № 1. С. 32–33. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15117299_30443856.pdf
10. Патент 2457904 РФ, МПК В02В3/00. Устройство для шелушения зерна / М. Ц. Диданов, А. М. Диданов, Г. А. Исакова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова»; заявл. 2010144596/13; опубл. 10.08.2012, бюл. № 13. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2457904>
11. Перов А. А. Способы шелушения зерна // Комбикорма. 2010. № 3. С. 45–46. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16543568>
12. Верещинский А. П. Эффективность шелушильно-шлифовальных машин «Каскад» при подготовке зерна пшеницы в сортовых помолках // Хлебопродукты. 2012. № 11. С. 40–41. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_18101211_78937508.pdf
13. Патент 2159679 РФ, МПК В02В3/02. Шелушильно-шлифовальная машина / Н. М. Иванов; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество научно-производственное предприятие фирма «ВОСХОД»; заявл. 11.06.1999; опубл. 27.11.2000, бюл. № 33. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2159679>
14. Nascimento V. R. G., Biagi J. D, de Oliveira R. A. Mathematical modeling of convective drying with infared radiation of Moringa oleifera grains // Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental. 2015. Vol. 19 (7). P. 686–692. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p686-692>
15. Курдюмов В. И., Павлушин А. А. Теоретические и экспериментальные аспекты контактного способа передачи теплоты при сушке зерна // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 3. С. 106–110. URL: <http://lib.ugsha.ru:8080/bitstream/123456789/680/1/vestnik-2011-3-106-110.pdf>
16. К вопросу управления процессом комбинированной сушки зерна / В. А. Афонькина [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 1. С. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201601.032-039>
17. Патент 2509275 РФ, МПК F26В15/14, F26В17/04. СВЧ-конвективная сушилка / А. Н. Остриков, В. Д. Демьянов; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный университет инженерных технологий; заявл. 27.09.2012; опубл. 10.03.2014, бюл. № 7. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2509275>
18. Analysis on the influence of the exchange area on the heat exchange efficiency during far-infrared convection combination grain drying process / C. S. Liu [et al.] // 2017 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA). 2017. P. 155–158. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSGEA.2017.177>
19. Image analysis and quality attributes of malting barley grain dried with infrared radiation and in a spouted bed / I. Konopka [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. 2008. Vol. 43, Issue 11. P. 2047–2055. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01820.x>
20. Reducing cracking and breakage of soybean grains under combined near-infrared radiation and fluidized-bed drying / S. Dondee [et al.] // Journal of Food Engineering. 2011. Vol. 104, Issue 1. P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.11.018>

21. **Давидович Е. А.** Влияние ИК-обработки зерна пшеницы и ржи на параметры процесса его измельчения [сырье для производства спирта] // Пищевая и перерабатывающая промышленность. 2009. № 4. С. 1033. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13048584>

22. **Долгих П. П., Кулаков Н. В., Лоц Е. В.** Исследование инфракрасного способа сушки зерна // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 12 (123). С. 85–92. URL: http://www.kgau.ru/vestnik/2016_12/content/15.pdf

23. Патент 2352880 РФ, МПК F26B330. Сушилка инфракрасная / С. К. Волончук; заявитель и патентообладатель ФГБНУ СибНИТИП; заявл. 19.04.2007; опубл. 20.04.2009, бюл. № 11. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2352880>

24. Патент 2459166 РФ, МПК F26B17/12, F26B3/347. Установка для сушки и обработки зерна и кормов / Б. Г. Смирнов, А. Н. Васильев, А. А. Васильев; заявитель и патентообладатель ГНУ ВИ-ЭСХ; заявл. 02.08.2010; опубл. 20.08.2012, бюл. № 23. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2459166>

25. Патент 2134995 РФ, МПК A23L 1/025, A23B 9/04, F26B 3/30. Установка для термообработки зернового сырья / Н. В. Елькин, В. В. Кирдяшкин; заявитель и патентообладатель Н. В. Елькин, В. В. Кирдяшкин. № 98117679/13; заявл. 29.09.1998; опубл. 27.08.1999, бюл. № 33. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2134995>

26. **Штейнберг Т. С., Леонова Т. А.** Определение белизны муки. Новый стандарт // Контроль качества продукции. 2016. № 11. С. 22–25. URL: <http://vniiz.org/science/publication/article-208>

27. Патент 2491124 Российская Федерация, МПК B02B3/02. Шелушильно-сушильная машина / А. В. Анисимов, М. С. Богданова; заявитель и патентообладатель Саратовский гос. аграрный ун-т имени Н. И. Вавилова. № 2012104970; заявл. 13.02.2012; опубл. 27.08.2013, бюл. № 24. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2491124>

28. **Анисимов А. В.** Усовершенствованная система для автоматического управления температурой и влажностью зерна при подготовке к помолу // Вестник Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова. 2015. № 6. С. 53–56. URL: <http://globalf5.com/Zhurnalny/Inzhenerno-tehnicheskie-nauki/Agrarniy-nauchnyi-jurnal/vypusk-2015-6?article=115070>

Поступила 05.03.2018; принята к публикации 15.05.2018; опубликована онлайн 28.12.2018

Об авторах:

Анисимов Александр Владимирович, доцент кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1), кандидат технических наук, ResearcherID: E-7817-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-6329>, anisimovaleksan@mail.ru

Рудик Феликс Яковлевич, профессор кафедры технологий продуктов питания ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1), доктор технических наук, ResearcherID: E-8546-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8444-0115>, k-pappsgau@rambler.ru

Загородских Борис Павлович, профессор кафедры технического сервиса и технологии конструкционных материалов ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1), доктор технических наук, ResearcherID: E-8582-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3480-0631>, zagorodskihbp@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. В. Анисимов – подготовка первоначального варианта текста с последующей доработкой, анализ литературных данных; Ф. Я. Рудик – научное руководство, анализ и доработка текста; Б. П. Загородских – подготовка и первичный анализ литературных данных.



REFERENCES

1. Gafin M. M. Preparing grain for milling using conventional equipment. *Nauchnyy vestnik Tekhnologicheskogo instituta – filiala FGBOU VPO Ulyanovskaya GSKhA im. P. A. Stolypina* = Scientific bulletin of the Technological Institute – Branch of Stolypin Ulyanovsk State Academy of Agriculture. 2014; 13:51–55. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_22481480_35728280.pdf (In Russ.)
2. Kandrov R. H., Pankratov G. N. The role of peeling of grain in technology of processing of solid wheat. *Khleboпродукты* = Bakery Products. 2013; 3:44–45. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_20230231_84552895.pdf (In Russ.)
3. Nevzorov V. N., Holopov V. N., Samoylov V. A., Yarum A. I. Parameter optimization and technology improvement of the grain-peeler. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Krasnoyarsk State Agrarian University Bulletin. 2013; 4:160–165. Available at: <http://www.kgau.ru/vestnik/content/2013/4.13.pdf> (In Russ.)
4. Zhurba O. S., Karamzin A. V., Krikunova L. N., Ryabova S. M. Influence of peeling of grain on parameters of process of its refinement. *Khraneniye i pererabotka selkhozsyrya* = Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2012; 8:18–23. Available at <http://www.foodprom.ru/images/pdf/hips/2012/HIPS-2012-08.pdf> (In Russ.)
5. Martelli M. R., Barron C., Mabile F., Rouau X., Sadoudi A. Adherence within biological multi-layered systems : Development and application of a peel test on wheat grain peripheral tissues. *Journal of Cereal Science*. 2010; 52(1):83–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.007>
6. Buzoverov S. Yu., Antipina G. A. Influence of a hydroheat treatment on quality of grain of wheat/page. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Altai State Agricultural University Bulletin. 2010; 10:83–86. Available at: http://www.asau.ru/vestnik/2010/10/Processing_Buzoverov.pdf (In Russ.)
7. Alimkulov Zh. S., Egorov G. A., Maksimchuk B. M., Shcherbakova G. S. Experience of preparation of seed of wheat for a grinding with preliminary office of envelopes. *Ekspress-informatsiya. Seriya "Mukomolno-krupyanaya promyshlennost"* = Express Information. Series: Flour-Grinding Grain Industry. 1979; 1(7):22. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28337104> (In Russ.)
8. Bühler: only pure grain can be stored long. *Khleboпродукты* = Bakery Products. 2014; 1:34–35. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21258149> (In Russ.)
9. Vereshchinsky A. Grain preparation by peeling on mills high-quality grindings of wheat of big efficiency. *Khleboпродукты* = Bakery Products. 2010; 1:32–33. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_15117299_30443856.pdf (In Russ.)
10. Patent 2457904 of the Russian Federation, IPC B02B3/00. The device for grain peeling / Didanov M. Ts., Didanov A. M., Iskakova G. A.; applicant and patent holder Berbekov Kabardino-Balkarian State University; appl. 2010144596/13; publ. 10.08.2012; bulletin no. 13. Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2457904> (In Russ.)
11. Perov A. A. Ways of peeling grain. *Kombikorma* = Compound feeds. 2010; 3:45–46. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=16543568> (In Russ.)
12. Vereshchinsky A. P. Effectiveness peeling-rubbing machines “Cascade” by wheat seed preparation in high-quality grindings. *Khleboпродукты* = Bakery Products. 2012; 11:40–41. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_18101211_78937508.pdf (In Russ.)
13. Patent 2159679 of Russian Federation, IPC B02B3/02. Peeling-rubbing machine / Ivanov N. M.; applicant and patent holder Voskhod Scientific and Production Enterprise; appl. 99112348/13; publ. 27.11.2000, bulletin no. 33. Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2159679> (In Russ.)
14. Nascimento V. R. G., Biagi J. D., de Oliveira R. A. Mathematical modeling of convective drying with infrared radiation of Moringa oleifera grains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2015; 19(7):686–692. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p686-692>
15. Kurdyumov V. I., Pavlushin A. A. Theoretical and experimental aspects of a contact way of transfer of warmth when drying grain. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Ulyanovsk State Agricultural Academy Bulletin. 2011; 3:106–110. Available at: <http://lib.ugsha.ru:8080/bitstream/123456789/680/1/vestnik-2011-3-106-110.pdf> (In Russ.)

16. Afonkina V. A., Zakhakhatnov V. G., Mayerov V. I., Popov V. M. On the question of process control combined grain drying. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*. 2016; 26(1):32–39. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201601.032-039> (In Russ.)
17. Patent 2509275 of Russian Federation, IPC F26B15/14, F26B17/04. Microwave Oven as Convective Dryer / Ostrikov A. N., Demyanov V. D.; applicant and patent holder Voronezh State University of Engineering Technologies; appl. 2012141222/06; publ. 10.03.2014; bulletin No. 7. Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2509275> (In Russ.)
18. Liu C. S., Shang T., Yang S. Q., Wu W. F., Chen S. Y. Analysis on the influence of the exchange area on the heat exchange efficiency during far-infrared convection combination grain drying process. In: *International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)*. 2017; 155–158. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSGEA.2017.177>
19. Konopka I., Markowski M., Tanska M., Zmojda M., Malkowski M., Bialobrzewski I. Image analysis and quality attributes of malting barley grain dried with infrared radiation and in a spouted bed. *International Journal of Food Science and Technology*. 2008; 43(11):2047–2055. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01820.x>
20. Dondee S., Meeso N., Soponronnarit S., Siriamornpun S. Reducing cracking and breakage of soybean grains under combined near-infrared radiation and fluidized-bed drying. *Journal of Food Engineering*. 2011; 104(1):6–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.11.018>
21. Davidovich E. A. Influence IR-processing of seed wheat and a rye on parameters of process its refinement [raw materials for production of alcohol]. *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost = Food and Processing Industry*. 2009; 4:1033. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13048584> (In Russ.)
22. Dolgikh P. P., Kulakov E. V. The research of infra-red way of grain drying. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Krasnoyarsk State Agrarian University Bulletin*. 2016; 12:85–92. Available at: http://www.kgau.ru/vestnik/2016_12/content/15.pdf (In Russ.)
23. Patent 2352880 of Russian Federation, IPC F26B330. Dryer infrared / Volonchuk S. K.; applicant and patent holder Public Siberian Research and Design Institute of Technology of Processing of Agricultural Production Scientific Institution; appl. 2007114874/06; publ. 20.04.2009; bulletin no. 11. Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2352880> (In Russ.)
24. Patent 2459166 of Russian Federation, IPC F26B17/12, F26B3/347. Installation for drying and processing of grain and forages / Smirnov B. G., Vasilyev A. N., Vasilyev A. A.; applicant and patent holder GNU VIESKh; appl. 02.08.2010; publ. 20.08.2012, bulletin no. 23. <http://www.freepatent.ru/patents/2459166> (In Russ.)
25. Patent 2134995 of Russian Federation, IPC A23L 1/025, A23B 9/04, F26B 3/30. Installation for heat treatment of grain raw materials / Elkin N. V., Kiryashkin V. V.; appl. 29.09.1998; publ. 27.08.1999, bulletin no. 33. <http://www.freepatent.ru/patents/2134995> (In Russ.)
26. Steinberg T. S., Leonova T. A. Determination of whiteness of flour. New standard. *Kontrol kachestva produktsii = Quality Control of Production*. 2016; 11:22–25. Available at: <http://vniiz.org/science/publication/article-208> (In Russ.)
27. Patent 2491124 of Russian Federation, IPC B02B3/02. Peeling-drying machine / Anisimov A. V., Bogdanova M. S.; applicant and patent holder Vavilov Saratov State Agrarian University; appl. 13.02.2012; publ. 27.08.2013, bulletin no. 24. <http://www.freepatent.ru/patents/2491124> (In Russ.)
28. Anisimov A. V. An improved system for automatic control of grain temperature and moisture content in preparation for grinding. *Vavilov Saratov State Agrarian University Bulletin*. 2015; 6:53–56. Available at: <http://globalf5.com/Zhurnaly/Inzhenerno-tehnicheskie-nauki/Agrarniy-nauchnyi-jurnal/vypusk-2015-6?article=115070> (In Russ.)

Received 05.03.2018; revised 15.05.2018; published online 28.12.2018



About authors:

Alexander V. Anisimov, Associated Professor, Chair of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (1 Theatre Square, Saratov 410012, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: E-7817-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-6329>, anisimovaleksan@mail.ru

Felix Ya. Rudik, Professor, Chair of Technology of Food Products, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (1 Theatre Square, Saratov 410012, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: E-8546-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8444-0115>, k-pappsgau@rambler.ru

Boris P. Zagorodskih, Professor of Chair of Technical Service and Technology of Structural Materials, Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov (1 Theatre Square, Saratov 410012, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: E-8582-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3480-0631>, zagorodskihbp@yandex.ru

Contribution of the authors:

A. V. Anisimov – writing the draft, reviewing and analyzing the literature; F. Ya. Rudik – scientific supervision, analysis and revision of the draft; B. P. Zagorodskih – analyzing the literature.

All authors have read and approved the final version of the paper.