

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА / TECHNOLOGIES AND MEANS OF AGRICULTURAL MECHANIZATION

УДК 631.361.43

doi: 10.15507/2658-4123.031.202104.577-590

Научная статья



Экспериментальное определение влияния конструктивных и режимных параметров шелушильной машины на критерии эффективности процесса шелушения

А. В. Анисимов*, Ф. Я. Рудик*Саратовский ГАУ (г. Саратов, Российская Федерация)*** anisimovaleksan@mail.ru*

Аннотация

Введение. Определение оптимальной технологической эффективности процесса шелушения, с точки зрения количества отделяемых оболочек и удельных затрат на процесс, является важной задачей. Цель исследования – обосновать комплексный критерий оценки технологической эффективности шелушения зерна пшеницы и выбрать оптимальные значения параметров шелушения зерна с учетом энергоемкости процесса.

Материалы и методы. Для количественной оценки технологической эффективности шелушения зерна пшеницы были использованы следующие локальные критерии эффективности: относительный выход отходов шелушения, относительное снижение зольности зерна, увеличение количества битых зерен, а также комплексный критерий эффективности, учитывающий локальные критерии и удельный расход электроэнергии.

Результаты исследования. Проведенные эксперименты показали, что технологическая целесообразность процесса шелушения обеспечивается при проценте открытия заслонки на выходе из машины 60–70 %. При этом относительный выход отходов шелушения составляет 3,2–2,8 %, относительное снижение зольности зерна 0,32–0,20 %, а увеличение количества битых зерен не превышает 0,85 %. С увеличением степени открытия заслонки на выходе из машины с 50 до 100 % удельные затраты электроэнергии снижаются с 8,7 до 3,5 кВт·ч/т.

Обсуждение и заключение. Для оценки технологической эффективности шелушения зерна пшеницы предложен обобщенный критерий эффективности, включающий в себя локальные критерии. Экспериментально доказана их зависимость от интенсивности процесса обработки зерна в машине. Определено оптимальное сочетание степени открытия заслонки на выходе машины 67 % (производительность 0,7 т/ч) с удельным расходом электроэнергии 5,8 кВт·ч/т. В этом случае комплексный критерий эффективности, с учетом энергоемкости процесса, равен 4,5 кг/кВт·ч.

© Анисимов А. В., Рудик Ф. Я., 2021

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

Ключевые слова: шелушение, критерии эффективности, отходы шелушения, зольность, удельные энергозатраты

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Анисимов А. В., Рудик Ф. Я. Экспериментальное определение влияния конструктивных и режимных параметров шелушильной машины на критерии эффективности процесса шелушения // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 4. С. 577–590. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104.577-590>

Original article

Experimental Determination of the Influence of the Peeling Machine Constructive and Operating Parameters on the Criteria of the Peeling Process Efficiency

A. V. Anisimov*, F. Ya. Rudik

Saratov State Agrarian University (Saratov, Russian Federation)

* anisimovaleksan@mail.ru

Abstract

Introduction. The determination of the optimal technological efficiency of the peeling process, in terms of the number of detached casings and unit costs of the process, is an important task. The purpose of the study is to give reasons for a comprehensive evaluation criterion of the technological efficiency of peeling wheat grain and choose the optimal values of the parameters of grain peeling, taking into account the energy intensity of the process.

Materials and Methods. To quantify the technological efficiency of peeling wheat grain, we used the following local efficiency criteria: the relative yield of peeling by-products, the relative decrease in grain ash content, the increase in the number of cracked grains, and a comprehensive criterion of efficiency taking into account local criteria and the specific power consumption.

Results. The experiments have shown that the technological feasibility of the peeling process is ensured at the percentage of the flap opening at the outlet of the machine 60–70%. In this case, the relative yield of waste husk is 3.2–2.8%, the relative decrease in grain ash content is 0.32–0.20%, and the increase in the number of cracked grains does not exceed 0.85%. With increasing the degree of the flap opening at the outlet of the machine from 50 to 100%, the specific power consumption decreases from 8.7 to 3.5 kW·h/t.

Discussion and Conclusion. To assess the technological efficiency of wheat grain peeling a generalized efficiency criterion, which includes local criteria, is proposed. It has been experimentally proved their dependence on the intensity of grain processing in the machine. The optimum combination of the flap opening degree at the outlet of the machine at 67% (productivity 0.7 t/h) and the specific power consumption of 5.8 kW·h/t was defined. In this case, the efficiency complex criterion, taking into account the process energy intensity of, is 4.5 kg/kW·h.

Keywords: peeling, efficiency criteria, peeling by-products, ash content, specific energy consumption

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Anisimov A.V., Rudik F.Ya. Experimental Determination of the Influence of the Peeling Machine Constructive and Operating Parameters on the Criteria of the Peeling Process Efficiency. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(4):577-590. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104.577-590>

Введение

Уровень продовольственного использования белков, витаминов и минеральных веществ, содержащихся в зерне пшеницы, повышается с увеличением общего выхода муки. При этом увеличение выхода муки высшего сорта, при неизменном общем выходе, приводит к увеличению содержания эндосперма в конечной продукции и уменьшению ценных компонентов зерна: белков, витаминов, микро- и макроэлементов. Шелушение увлажненного зерна как способ очистки поверхности от минеральных и микробиологических загрязнений вместе с внешними плодовыми оболочками, не представляющими пищевой ценности, является наиболее рациональной и эффективной технологической операцией. В обработанном зерне сохраняется более 90 % ценных для питания человека веществ. Они перейдут в муку при обойном помоле. Из этой муки производится хлеб с повышенными пищевыми качествами.

В результате технологической операции шелушения зерна пшеницы в машинах, сжатии и трении, продукты обработки должны состоять только из ошелушенного зерна и отделяемых оболочек [1–4]. Однако несовершенство применяемых методов и средств шелушения приводит к получению смеси из следующих продуктов: целое и дробленое, шелушенное и нешелушенное зерно; снятые оболочки и мучка; загрязнения, удаленные с поверхности зерна [5–9]. При этом эффективность процесса увеличивается, если содержание мучки, нешелушенных и битых зерен в продуктах шелушения ниже, а содержание целого ядра и снятых оболочек выше.

Цель исследования – обосновать комплексный критерий оценки технологической эффективности шелушения зерна пшеницы и выбрать оптимальные значения параметров шелушения зерна с учетом энергоемкости процесса.

Обзор литературы

Шелушение зерна – это процесс отделения наружных плодовых оболочек (для зерновых культур) или пленок (для пленчатых культур). Операция шелушения является одним из основных этапов технологического процесса получения муки и крупы. Эта операция непосредственно влияет на выход и качество конечной продукции, а также на технико-экономические показатели производства муки и крупы в целом. Проблемой шелушения зерна пшеницы и крупяных культур перед переработкой занимались многие ученые [10–13].

В исследованиях авторов представлены данные по шелушению как пленчатых культур (гречиха, рис, ячмень и др.), так и голозерновых (пшеница и др.). Эффективность процесса шелушения оценивают либо визуально, либо с помощью коэффициента шелушения [14–16]. Главной целью исследований было удалить максимальное количество оболочек вместе с наиболее ценными веществами и оставить только ядро с крахмалом. Для сохранения в зерне всех витаминов, макро- и микроэлементов (содержащихся в основном во внутренних оболочках зерна) и передачи в конечный продукт (муку, крупу) важной задачей является изучение процесса шелушения с точки зрения влияния интенсивности процесса на выход и качество продуктов шелушения. Важно установить критерии оценки эффективности процесса шелушения, в частности зерна пшеницы, при получении крупы и муки и обосновать их оптимальные значения с точки зрения технологической эффективности и затрат энергии [17–20].

Технологический эффект работы шелушильной машины может быть установлен после определения количества ошелушенного зерна и полученного целого ядра. Для характеристики используется коэффициент шелушения [16; 17].

Однако известно, что данный коэффициент достаточно легко определить при обработке пленчатых культур (ячмень, овес и др.), а при шелушении зерна пшеницы достаточно сложно отличить обработанные и необработанные зерна без использования приборов (визуально) [21–24].

Материалы и методы

Для количественной оценки технологической эффективности шелушения зерна пшеницы при выборе оптимальных кинематических и конструктивных параметров машины может быть применен обобщенный критерий эффективности. Он включает следующие составляющие, выраженные в долях единицы:

1. Относительный выход отходов шелушения

$$C_{\text{о.ш.}} = \left(1 - \frac{Q_{\text{о.з.}}}{Q_{\text{и.з.}}} \right) \leq 1,$$

где $Q_{\text{и.з.}}$ и $Q_{\text{о.з.}}$ – производительность машины по исходному и обработанному зерну, кг/ч.

2. Относительное снижение зольности зерна

$$\Delta Z = \left(1 - \frac{Z_{\text{о.з.}}}{Z_{\text{и.з.}}} \right) \leq 1,$$

где $Z_{\text{и.з.}}$ и $Z_{\text{о.з.}}$ – зольность (в перерасчете на абсолютно сухое вещество) исходного и ошелушенного зерна, %.

3. Относительное увеличение количества битых зерен

$$\Delta B = \frac{Q_{\text{о.з.}} \cdot B_{\text{о.з.}} - Q_{\text{и.з.}} \cdot B_{\text{и.з.}}}{Q_{\text{и.з.}} (1 - B_{\text{и.з.}})} \leq 1,$$

где $B_{\text{и.з.}}$ и $B_{\text{о.з.}}$ – содержание битых зерен в исходном и шелушенном зерне, выраженное в долях единицы.

Если отходы шелушения состоят только из покровных тканей зерна, то они не содержат эндосперма (мучки).

Попадание его в отходы шелушения свидетельствует о разрушении ядра зерна, его истирании и выкрашивании. Так как образование битых зерен при шелушении учитывается локальным критерием ΔB , то в критерий $C_{\text{о.ш.}}$ показатель содержания мучки вводить нецелесообразно.

Локальные критерии возможно применять для оценки эффективности различных режимов обработки зерна с одинаковыми механико-технологическими свойствами. Их применение весьма ограничено для сопоставления технологической эффективности шелушительных машин различных принципов действия.

Комплексную оценку эффективности процесса целесообразно осуществлять по критериям, значения которых сопоставляются с единицей, считая ее оптимальной величиной.

Интенсивность образования отходов шелушения E_0 можно характеризовать выражением

$$E_0 = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(\frac{C_{\text{об}}}{C_{\text{о.ш.}}} \right)^2 - 1}} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta \text{Об}}{C_{\text{о.ш.}}}} \leq 1,$$

где $C_{\text{об}}$ – максимально возможный относительный выход оболочек, подлежащих удалению с поверхности исходного зерна; $\Delta \text{Об}$ – остаток покровных тканей в обработанном зерне.

При $C_{\text{о.ш.}} = C_{\text{об}}$ значение $E_0 = 1$ и, следовательно, технологический режим обработки поверхности зерна оптимален. При $C_{\text{о.ш.}} < C_{\text{об}}$ значение $E_0 < 1$ отражает сниженную эффективность процесса шелушения, характеризуемого неполным отделением оболочек. Увеличение количества отходов шелушения до значения $C_{\text{о.ш.}} > C_{\text{об}}$ возможно только в результате полного съема оболочек и дополнительных потерь эндосперма зерна, что снижает

эффективность шелушения и отражает минимальное значение критерия E_0 .

Для повышения достоверности обобщенного критерия оценки эффективности процесса шелушения дополнительно необходимо ввести составляющие, учитывающие образование битых зерен E_6 и снижение зольности зерна пшеницы E_3 .

Значение E_6 определяется выражением

$$E_6 = \frac{1}{1 + \frac{\Delta B}{\Delta B_n}} \leq 1,$$

где ΔB_n и $\Delta B = B_{o.z.} - B_{n.z.}$ – нормативно допустимое и действительное содержание битых зерен соответственно.

Оптимальный режим шелушения зерна будет при $\Delta B = 0$ и $E_6 = 1$, а при $\Delta B > 0$ значение $E_6 < 1$.

Величина E_3 характеризуется выражением

$$E_3 = \frac{1}{1 + \frac{\Delta Z_n}{\Delta Z}} \leq 1,$$

где $\Delta Z_n = 1 - \frac{Z_3}{Z_{i.z.}}$ – определяемое

в лабораторных условиях предельно возможное снижение зольности зерна пшеницы в результате практически полного отделения покровных тканей; Z_3 – зольность эндосперма зерна пшеницы.

В то же время следует отметить, что достижение 100 % отделения оболочек ($E_0 = 1$) не всегда целесообразно (особенно при обойном помоле), так как при повышении интенсивности шелушения увеличивается содержание битых зерен (E_6 уменьшается) и снижается содержание в конечном продукте ценных компонентов зерна: минеральных веществ и витаминов. Выбор оптимальной

интенсивности шелушения, при которой бы выполнялась основная задача шелушения – отделить внешние оболочки вместе с загрязнениями при минимальном приращении дробленого зерна, является важной задачей.

Для зерна пшеницы при минимальном и максимальном содержании покровных тканей в интервале $C_{o6} = 0,04-0,08$ (среднее 0,06) зона технологического оптимума критерия E_0 находится в интервале $0,45 \leq E_0 < 1$ [17; 24].

С учетом данных о допуске увеличении относительного количества битых зерен $\Delta B_n = \Delta B = 2,0$ % зона технологического оптимума для критерия E_6 определяется интервалом $0,5 \leq E_6 < 1$ [17; 24]. Для принятых интервалов зольности зерна и эндосперма пшеницы $Z_{i.z.} = 1,5-2,2$ % (среднее 1,85 %) и $Z_3 = 0,36-0,60$ % (среднее 0,48 %) величина предельно возможного относительного ее снижения составляет $\Delta Z_n = 0,74$ [17; 24]. Тогда при рекомендуемом снижении зольности на 0,02 % в процессе обработки поверхности зерна на существующих машинах зона технологического оптимума для критерия E_3 будет ограничена значениями $0,03 \leq E_3 < 1$.

При известных пределах изменения каждого из частных критериев можно определить комплексный критерий эффективности:

$$E_1 = \frac{\nu_1 \left(E_0 + \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} E_6 + \frac{\vartheta_3}{\vartheta_1} E_3 \right)}{\vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3} \leq 1,$$

где $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$ – коэффициенты значимости влияния составляющих величин на результирующую функцию. Отношения $\vartheta_2 / \vartheta_1, \vartheta_3 / \vartheta_1$ характеризуют величину долевого вклада каждого из коэффициентов по сравнению с коэффициентом наименьшего влияния на обобщенный критерий.

Возможным является также применение размерного комплексного критерия, учитывающего энергоёмкость процесса. Энергоёмкость характеризуется отношением производительности машины $(Q_{и.з.} - Q_{о.з.})$ по отходам шелушения к среднему расходу энергии $N(t)$ за контролируемый промежуток времени:

$$E_2 = \frac{\nu_1 \left(E_0 + \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} E_6 + \frac{\vartheta_3}{\vartheta_1} E_3 \right) (Q_{и.з.} - Q_{о.з.})}{(\vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3) N(t)} \leq 1.$$

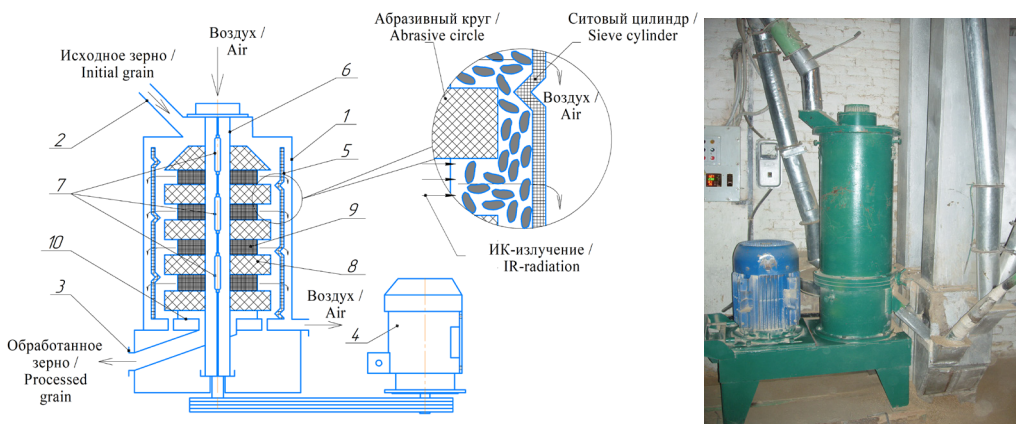
При необходимости обеспечить многократную обработку зерна в шелушильной машине сопоставление результатов позволяет подбирать по каждому из значений E_2 наиболее приемлемые конструктивные и кинематические параметры.

Опыты шелушения увлажненного и кратковременно отволоженного зерна пшеницы проводили при зольности 1,9 %, содержании битых зерен $B_{и.з.} = 1,0$ % и различных режимах работы шелушильной машины с осредненной производительностью 0,7 т/ч.

Установлено, что соотношение значений коэффициентов значимости локальных критериев E_0, E_6, E_3 с достоверной вероятностью 95 % может быть принято как $\vartheta_1 = 1; \vartheta_2 = 2,5; \vartheta_3 = 3$ [7; 20]. Для исследования было использовано зерно мягкой пшеницы сорта Саратовская 90.

Шелушение исследуемых образцов осуществляли в производственных условиях на разработанной шелушильной машине с производительностью 0,5–1,0 т/ч. [20; 25]. Обработка протекает по принципу трения зерна о неподвижный ситовый цилиндр и подвижные абразивные круги (рис. 1). Производительность машины задается шиберной заслонкой, установленной на выходном патрубке и управляемой штурвалом через червячную передачу путем изменения площади выходного отверстия установки.

Шелушению подвергали зерно, очищенное от примесей, без мелкого зерна (проход сита $1,7 \times 20$ мм) после проведенной гидротермической обработки [7]. Фракцию дробленого ядра отбирали проходом сита диаметром 2,7 мм.



Р и с. 1. Шелушильно-сушильная машина: 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

F i g. 1. Peeling and drying machine: 1 – body; 2, 3 – inlet and outlet nozzles; 4 – drive; 5 – sieve cylinder; 6 – hollow shaft with holes; 7 – infrared radiators; 8 – abrasive wheels; 9 – shells; 10 – fan

Зольность определяли по ГОСТу 10847-2019 (рис. 2)¹. Удельный расход электроэнергии $N_{уд}$ определяли по показаниям амперметра, включенного в цепь питания электродвигателя.

Результаты исследования

При изучении процесса шелушения была поставлена задача проанализировать влияние степени открытия заслонки на выходе δ_3 разработанной шелушильной машины на частные и комплексный критерии эффективности. В процессе исследований проводили обработку партий зерна в машине с различным процентом открытия заслонки (от 50 до 100 %, с шагом 10 %), определяли $C_{о.ш.}$, ΔZ и ΔB , а также зависимости Q и $N_{уд}$ от δ_3 .

В результате проведенных исследований получены следующие зависимости: выход продуктов шелушения и дробленого зерна, зольность обработанного зерна и удельного расхода электроэнергии $N_{уд}$ от положения заслонки

на выходе из машины δ_3 , % открытия. Графики зависимостей представлены на рисунках 3–5.

Уравнения регрессии для рисунка 3

$$\delta_3 / \Delta B:$$

$$y = 4,3586 - 0,0791 \cdot x + 0,0004 \cdot x^2;$$

$$R^2 = 0,8556; p = 0,0082;$$

$$\delta_3 / C_{о.ш.}:$$

$$y = 3,3429 + 0,0351 \cdot x - 0,0007 \cdot x^2;$$

$$R^2 = 0,9318; p = 0,0018.$$

Уравнение регрессии для рисунка 4

$$\delta_3 / \Delta Z:$$

$$y = 1,2414 - 0,0217 \cdot x + 9,6429 \cdot E - 5 \cdot x^2;$$

$$R^2 = 0,9374; p = 0,0015.$$

Уравнения регрессии для рисунка 5

$$\delta_3 / Q: y = -0,1214 + 0,0123 \cdot x;$$

$$r = 0,9984; R^2 = 0,9968;$$

$$\delta_3 / N_{уд}: y = 24,1143 - 0,4078 \cdot x +$$

$$+ 0,002 \cdot x^2; R^2 = 0,9240; p = 0,0022.$$



a)

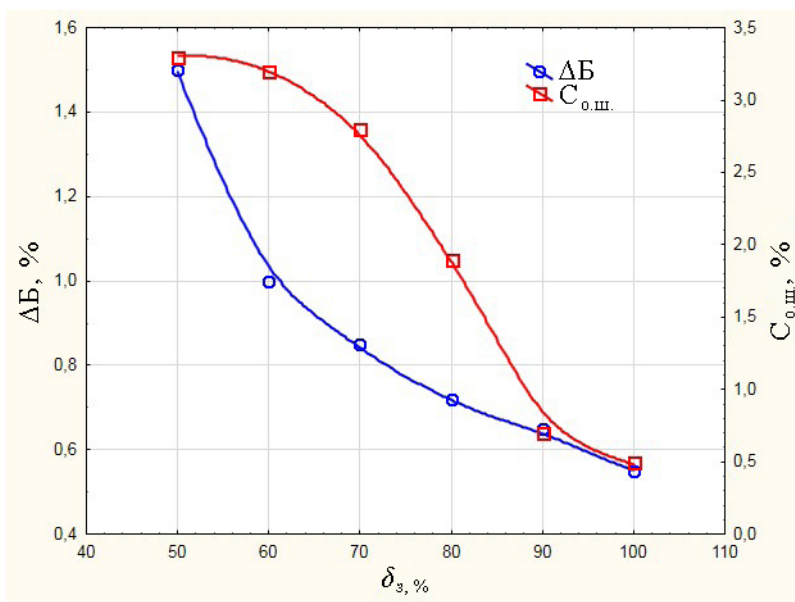


b)

Р и с. 2. Оборудование для определения зольности: а) лабораторные электронные весы ADAM HCB 123; б) печь муфельная ПМ-8

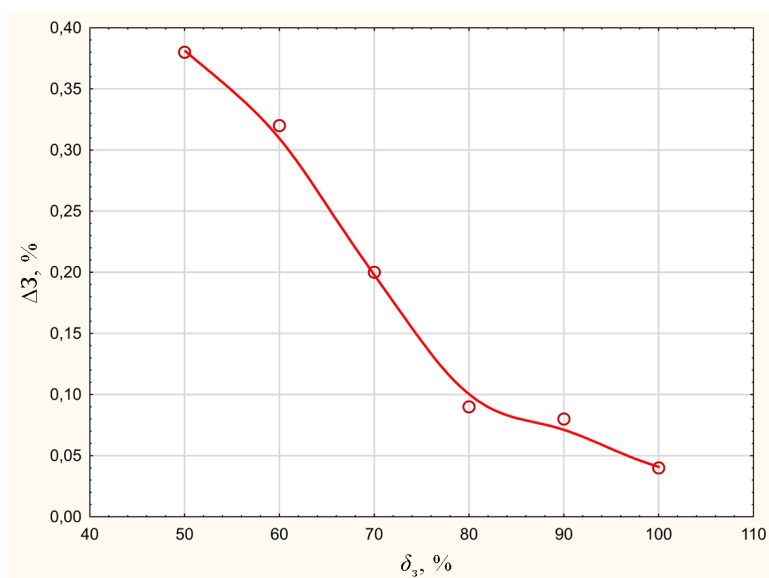
F i g. 2. Equipment for determining ash content: a) laboratory electronic scales ADAM HCB 123; b) muffle furnace PM-8

¹ ГОСТ 10847-2019. Зерно. Методы определения зольности. М., 2019.



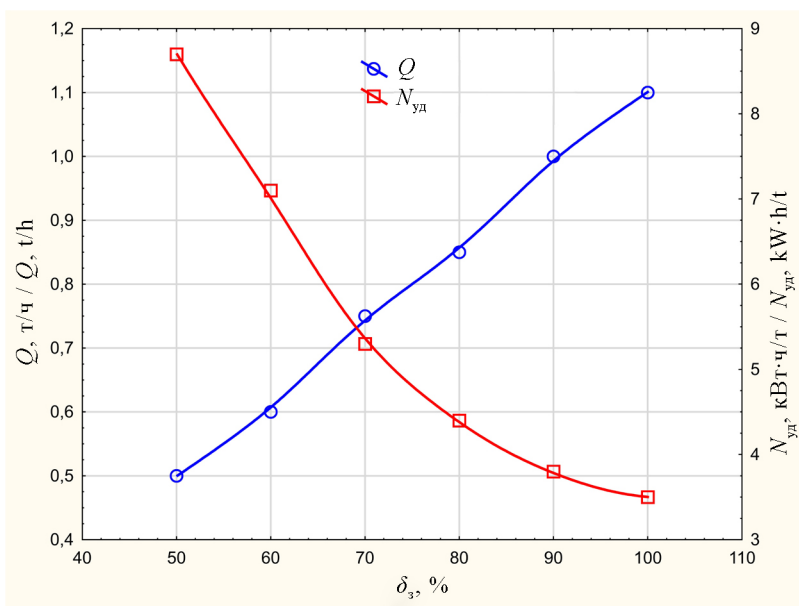
Р и с. 3. График зависимостей количества снятых оболочек шелушения $C_{0.ш.}$ и битых зерен $\Delta Б$ от положения заслонки на выходе из машины δ_z

F i g. 3. Diagram of dependencies of the number of peelings removed $C_{0.ш.}$ and craked grains $\Delta Б$ on the position of the damper at the exit of the machine δ_z



Р и с. 4. График зависимости относительного снижения зольности $\Delta З$ от положения заслонки на выходе из машины δ_z

F i g. 4. Graph of the dependence of the relative decrease in ash content $\Delta З$ on the position of the damper at the exit from the machine δ_z



Р и с. 5. График зависимостей производительности Q и удельных энергозатрат $N_{уд}$ от положения заслонки на выходе из машины δ_3

F i g. 5. Graph of dependences of productivity Q and specific energy consumption $N_{уд}$ on the position of the damper at the exit from the machine δ_3

Анализ полученных зависимостей (рис. 3, 4) показывает, что с увеличением процента открытия заслонки на выходе из машины δ_3 с 50 до 100 % происходит снижение показателей $C_{о.ш.}$ с 3,3 до 0,6 %, ΔZ с 0,38 до 0,04 % и ΔB с 1,50 до 0,55 %. Это объясняется тем, что при небольших зазорах выпускного отверстия на выходе из машины создается подпор зерна и увеличивается межзерновое давление, а процесс шелушения идет более интенсивно. При 90 % открытии заслонки сопротивление выпуску значительно уменьшается и снижается эффективность шелушения. Дальнейшее открытие заслонки позволяет зерну практически свободно выходить из машины, и шелушение осуществляется только за счет давления, создаваемого абразивными дисками при трении зерна о них и перфорированный ситовый барабан.

Максимальное количество битых зерен $\Delta B = 1,5$ % наблюдалось при открытии заслонки $\delta_3 = 50$ %, что объясняется значительным подпором зерна на выходе из машины и возникающими при этом в зерновой массе напряжениями, близкими к пределу прочности зерновок. При $\delta_3 = 80$ % величина $\Delta B = 0,8$ % и далее снижается. Незначительное разрушение зерен объясняется снижением напряжений в зерновой массе до значений, достаточных для отделения оболочек. Однако они меньше предела прочности зерновок.

Проведенный анализ позволил установить, что технологическая целесообразность процесса шелушения обеспечивается при проценте открытия заслонки на выходе из машины $\delta_3 = 60-70$ %, при этом значение $C_{о.ш.}$ составляет 3,2–2,8 %, $\Delta Z = 0,32-0,20$ %, а ΔB не превышает 0,85 %. В то же время при оценке технологического

оптимума необходимо также брать во внимание и удельные энергозатраты $N_{уд}$ на шелушение с учетом производительности машины Q .

Анализ зависимости (рис. 5) показывает, что с увеличением процента открытия заслонки на выходе из машины производительность возрастает с 0,5 до 1,1 т/ч, а удельные затраты электроэнергии снижаются с 8,7 до 3,5 кВт·ч/т. Оптимальное сочетание этих двух параметров находится в точке пересечения графиков при $\delta_3 = 67\%$, что соответствует $Q = 0,7$ т/ч, $N_{уд} = 5,8$ кВт·ч/т и согласуется с вышеприведенными данными. В этом случае комплексный критерий эффективности, с учетом энергоемкости процесса, $E_2 = 4,5$ кг/кВт·ч.

Обсуждение и заключение

Предложен обобщенный критерий оценки технологической эффективности шелушения зерна пшеницы, учитывающий энергоемкость процесса.

Экспериментально выяснена зависимость локальных критериев эффективности процесса шелушения $C_{о.ш.}$, ΔB и ΔZ от интенсивности процесса обработки зерна в машине.

Установлена и обоснована производительность шелушильной машины $Q = 0,6-0,7$ т/ч, обеспечивающая оптимальные показатели локальных критериев эффективности обработки зерна с учетом удельных энергозатрат $N_{уд}$ на шелушение, $C_{о.ш.} = 3,2-2,8\%$, $\Delta Z = 0,32-0,20\%$, а ΔB не превышает 0,85%. Комплексный критерий эффективности при этом $E_2 = 4,5$ кг/кВт·ч.

Полученные результаты позволяют подобрать оптимальную интенсивность шелушения зерна при различных помолах (сортовой, обойный) и определить для каждого из показателей, входящих в комплексный критерий эффективности E_2 , наиболее приемлемые конструктивные и кинематические параметры шелушильной машины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кондрок Р. Х., Панкратов Г. Н. Роль шелушения зерна в технологии переработки твердой пшеницы // Хлебопродукты. 2013. № 3. С. 44–45. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20230231> (дата обращения: 01.04.2021).
2. Влияние шелушения зерна на параметры процесса его измельчения / О. С. Журба [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 8. С. 18–23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17972818> (дата обращения: 01.04.2021).
3. 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>
4. Electrostatic Separation of Peeling and Gluten from Finely Ground Wheat Grains / M. Remadnia [et al.] // Particulate Science and Technology. 2014. Vol. 32, Issue 6. P. 608–615. doi: <https://doi.org/10.1080/02726351.2014.943379>
5. Марьин В. А., Верещагин А. Л., Бычин Н. В. Шелушения зерна гречихи на деках из вязкоупругого материала // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2019. № 2. С. 237–242. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42332683> (дата обращения: 01.04.2021).
6. Study of Efficiency of Peeling Machine with Variable Deck / A. Dmitriev [et al.] // Proceedings of International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (20–22 May 2020). Jelgava, 2020. P. 1053–1058. doi: <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf249>

7. Анисимов А. В., Рудик Ф. Я. Экспериментальное определение оптимальных параметров оборудования для обработки зерна при подготовке к помолу // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 4. С. 594–613. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.594-613>
8. К вопросу шелушения зерна в пневмомеханическом шелушителе / П. Ш. Лотфуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11, № 4. С. 84–88. doi: https://doi.org/10.12737/article_592fc7b69bdfd2.43572402
9. Халиуллин Д. Т., Дмитриев А. В. Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2016. № 2. С. 85–88. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26747961> (дата обращения: 01.04.2021).
10. Перов А. А. Способы шелушения зерна // Комбикорма. 2010. № 3. С. 45–46. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16543568> (дата обращения: 01.04.2021).
11. Верещинский А. П. Подготовка зерна шелушением на мельницах сортовых помолов пшеницы большой производительности // Хлебопродукты. 2010. № 1. С. 32–33. URL: <https://khlebprod.ru/old/text.php?text=2651&heads=1> (дата обращения: 01.04.2021).
12. Верещинский А. П. Эффективность шелушильно-шлифовальных машин «Каскад» при подготовке зерна пшеницы в сортовых помолах // Хлебопродукты. 2012. № 11. С. 40–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18101211> (дата обращения: 01.04.2021).
13. Шелушение увлажненной пшеницы / И. Р. Дударев // Хранение и переработка зерна. 1973. № 2. С. 34–35.
14. Марьин В. А., Верещагин А. Л. Повышение целостности ядра овса при шелушении // Хлебопродукты. 2018. № 7. С. 54–56. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35235264> (дата обращения: 01.04.2021).
15. Маланичев И. В., Нуруллин Э. Г. Компьютерная модель процесса пневмомеханического шелушения зерна гречихи // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2008. Т. 3, № 1. С. 169–171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11684557> (дата обращения: 01.04.2021).
16. Брасалин С. Н., Минаков А. С. Влияние режима влаготепловой обработки на оценки технологической эффективности шелушения зерна овса // Ползуновский вестник. 2020. № 4. С. 40–43. doi: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.008>
17. Косцова И. С., Лысенкова А. И. Процесс шелушения твердой пшеницы при получении недробленной крупы и оценка его эффективности // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. 2019. № 2. С. 58–67. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43784396> (дата обращения: 01.04.2021).
18. Горбатовская Н. А. Разработка техники и технологии в переработке зерновых культур для создания продуктов питания повышенной ценности // Механика и технологии. 2013. № 1. С. 59–66. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25411135> (дата обращения: 01.04.2021).
19. Влияние способов увлажнения зерна овса при гидротермической обработке на эффективность его шелушения [Электронный ресурс] / В. В. Беляев [и др.] // Горизонты образования. 2017. Вып. 19. URL: http://edu.secna.ru/media/f/thpz_tez_2017_.pdf (дата обращения: 01.04.2021).
20. 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>
21. Брасалин С. Н. Оценка технологической эффективности шелушения зерна в крупяном производстве // Хлебопродукты. 2014. № 9. С. 60–62. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21853052> (дата обращения: 01.04.2021).
22. Марьин В. А., Верещагин А. Л., Бычин Н. В. Влияние увлажнения зерна гречихи перед пропариванием на эффективность шелушения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 7. С. 163–168. URL: <http://www.asau.ru/vestnik/2016/7/163-168.pdf> (дата обращения: 01.04.2021).
23. Константинов М. М., Румянцев А. А. Комплексный показатель эффективности технологического процесса производства крупы // Вестник Российской академии сельскохозяйственных

наук. 2012. № 6. С. 81–82. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18372731> (дата обращения: 01.04.2021).

24. Брасалин С. Н. Методические аспекты определения коэффициента технологической эффективности шелушения пленчатого зерна // *Хлебопродукты*. 2013. № 5. С. 48–49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20221348> (дата обращения: 01.04.2021).

25. Шелушильно-сушильная машина : патент 2491124 Российская Федерация / Анисимов А. В., Богданова М. С. № 2012104970 ; заявл. 13.02.2012 ; опублик. 27.08.2013. 7 с. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2491124C1_20130827.pdf (дата обращения: 01.04.2021).

Поступила 16.04.2021; одобрена после рецензирования 20.05.2021; принята к публикации 15.06.2021

Об авторах:

Анисимов Александр Владимирович, доцент кафедры технологий продуктов питания Саратовского ГАУ (410012, Российская Федерация, г. Саратов, Театральная пл., д. 1), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-6329>, Researcher ID: E-7817-2018, anisimovaleksan@mail.ru

Рудик Феликс Яковлевич, профессор кафедры технологий продуктов питания Саратовского ГАУ (410012, Российская Федерация, г. Саратов, Театральная пл., д. 1), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8444-0115>, Researcher ID: E-8546-2018, rudik.sgau@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

А. В. Анисимов – подготовка начального текста с последующей доработкой, проведение исследований, анализ исследований, визуализация.

Ф. Я. Рудик – научное руководство, анализ и доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kondrokov R.Kh., Pankratov G.N. [The Role of Grain Peeling in Durum Wheat Processing]. *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2013; (3):44-45. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20230231> (accessed 01.04.2021). (In Russ.)

2. Zhurba O.S., Karamzin A.V., Krikunova L.N., Ryabova S.M. Influence of a Peeling of Grain on Parameters of Process of Its Crushing. *Khranenie i pererabotka selhozsyrya* = Storage and Processing of Farm Products. 2012; (8):18-23. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17972818> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

3. Martelli M.R., Barron C., Mabilie F., et al. Adherence within Biological Multilayered Systems: Development and Application of a Peel Test on Wheat Grain Peripheral Tissues. *Journal of Cereal Science*. 2010; 52(1):83-89. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.007>

4. Remadnia M., Kachi M., Messal S., et al. Electrostatic Separation of Peeling and Gluten from Finely Ground Wheat Grains. *Particulate Science and Technology*. 2014; 32(6):608-615. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1080/02726351.2014.943379>

5. Maryin V.A., Vereshchagin A.L., Bychin N.V. Characteristics of Grain Buckwheats on Viscoelastic Material Decks. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova* = Proceedings of the Razzakov Kyrgyz State Technical University. 2019; (2):237-242. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42332683> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

6. Dmitriev A., Ziganshin B., Khaliullin D., Aleshkin A. Study of Efficiency of Peeling Machine with Variable Deck. In: Proceedings of International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (20-22 May 2020). Jelgava; 2020. p. 1053-1058. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf249>

7. Anisimov A.V., Rudik F.Ya. The Experimental Determination of Optimum Parameters of the Equipment for Processing Grain in Preparation for Grinding. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2019; 29(4):594-613. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.594-613>
8. Lotfullin R., Ibyatov R., Dmitriev A., Ziganshin B. On the Issue of Grain Peeling in Rotor Peelers. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2016; 11(4):84-88. (In Russ., abstract in Eng.) doi: https://doi.org/10.12737/article_592fc7b69bdfd2.43572402
9. Khaliullin D.T., Dmitriev A.V. Pnevmo Mechanical Device for Grain Hulling. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2016; (2):85-88. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26747961> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
10. Perov A.A. [Ways of Peeling Grain]. *Kombikorma* = Compound Feeds. 2010; (3):45-46. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16543568> (accessed 01.04.2021). (In Russ.)
11. Vereshchinskiy A.P. [Grain Preparation by Husking in High-Capacity Wheat Mills]. *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2010; (1):32-33. Available at: <https://khlebprod.ru/old/text.php?text=2651&heads=1> (accessed 01.04.2021). (In Russ.)
12. Vereshchinskiy A.P. [Effectiveness Peeling-Rubbing Machines “Cascade” by Wheat Seed Preparation in High-Quality Grindings]. *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2012; (11):40-41. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18101211> (accessed 01.04.2021). (In Russ.)
13. Dudarev I.R. [Pilling of Moistened Wheat]. *Khranenie i pererabotka zerna* = Storage and Processing of Grain. 1973; (2):34-35. (In Russ.)
14. Marin V.A., Vereshchagin A.L. [Increasing the Integrity of the Oat Kernel in Peeling]. *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2018; (7):54-56. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35235264> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
15. Malanichev I.V., Nurullin E.G. [Computer Model of Pneumatic-Mechanical Buckwheat Grain Peeling Process]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Kazan State Agrarian University Bulletin. 2008; 3(1):169-171. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11684557> (accessed 01.04.2021). (In Russ.)
16. Brasalin S.N., Minakov A.S. [Influence of Moisture-Heat Treatment Mode on Assessments of Technological Efficiency of Oat Grain Flaking]. *Polzunovskiy vestnik* = Polzunov’s Bulletin. 2020; (4):40-43. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.008>
17. Kostsova I.S., Lysenkova A.I. Peeling Process of Durum Wheat in the Production of Uncrushed Cereals and Evaluation of Its Efficiency. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* = Bulletin of the Mogilev State University of Food. 2019; (2):58-67. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43784396> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
18. Gorbatovskaya N.A. Development of Engineering and Technology in Processing of Grain Food for Creating High Value Food Products. *Mekhanika i tekhnologii* = Mechanics and Technology. 2013; (1):59-66. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25411135> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
19. Belyaev V.V, Ovcharov D.Ye., Anisimova L.V., et al. [Influence of Methods of Oat Grain Moistening at Hydrothermal Treatment on Its Peeling Efficiency]. *Gorizonty obrazovaniya* = Horizons of Education. 2017; 19. Available at: http://edu.secna.ru/media/f/thpz_tez_2017_.pdf (accessed 01.04.2021). (In Russ.)
20. 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. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201804.603-623>
21. Brasalin S.N. [Assessment of Technological Efficiency of Grain Flaking in Cereal Production]. *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2014; (9):60-62. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21853052> (accessed 01.04.2021). (In Russ.)

22. Maryin V.A., Vereshchagin A.L., Bychin N.V. The Effect of Buckwheat Grain Damping Prior to Steaming on Hulling Effectiveness. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2016; (7):163-168. Available at: <http://www.asau.ru/vestnik/2016/7/163-168.pdf> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

23. Konstantinov M.M., Rummyantsev A.A. Complex Indicator of Efficiency in the Technological Process of Groats Production. *Vestnik Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk* = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2012; (6):81-82. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18372731> (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

24. Brasalin S.N. [Methodological Aspects of Determining the Coefficient of Technological Efficiency of Flaked Grain Peeling]. *Khleboprodukty* = Bakery Products. 2013; (5):48-49. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20221348> (дата обращения: 01.04.2021).

25. Anisimov A.V., Bogdanova M.S. Shelling Drier. Patent 2,491,124 Russian Federation. 2013 August 27. 7 p. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU2491124C1_20130827.pdf (accessed 01.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

Submitted 16.04.2021; approved after reviewing 20.05.2021; accepted for publication 15.06.2021

About the authors:

Alexander V. Anisimov, Associate Professor of the Chair of Technologies of Production and Processing of Livestock Products, Saratov State Agrarian University (1 Theatre Sq., Saratov 410012, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5313-6329>, Researcher ID: E-7817-2018, anisimovaleksan@mail.ru

Feliks Ya. Rudik, Professor of the Chair of Technologies of Food Products, Saratov State Agrarian University (1 Theatre Sq., Saratov 410012, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8444-0115>, Researcher ID: E-8546-2018, rudik.sgau@mail.ru

Contribution of the authors:

A. V. Anisimov – preparation of the initial text with subsequent refinement, research, research analysis, visualization.

F. Ya. Rudik – scientific guidance, analysis and revision of the text.

All authors have read and approved the final manuscript.