

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 534.8:542.67:675.045.33

<https://doi.org/10.28983/asj.y2025i6pp116-123>

Исследование изменения качественных показателей продукции растениеводства при эксплуатационно-технологической обработке ультразвуком

**Наталья Львовна Моргунова, Феликс Яковлевич Рудик,
Андрей Анатольевич Жиздюк, Валерий Николаевич Буйлов**

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова,
г. Саратов, Россия

e-mail: a.sgau@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования показателей качества продукции растениеводства при обработке ультразвуком. Актуальность работы обусловлена значительными потерями зерновых, масличных и бобовых культур из-за несовершенных технологий хранения и обработки. Цель исследования – разработка научно обоснованных ресурсосберегающих технологий, позволяющих минимизировать потери, продлить сроки хранения и повысить питательную ценность продукции. В работе проведен анализ технологических процессов обработки зерновых, зернобобовых культур и нерафинированных растительных масел. Разработаны математические модели, описывающие влияние режимных параметров ультразвукового воздействия на качественные показатели продукции, такие как влажность и зольность. Использованы методы множественной регрессии и плана Бокса-Бенкена для оптимизации параметров обработки. Экспериментальные исследования подтвердили, что ультразвуковое воздействие способствует эффективной очистке зерна, началу шелушения оболочки и сокращению времени и энергозатрат на увлажнение.

Ключевые слова: ультразвуковая обработка, зерновые культуры, качество продукции, влажность, зольность, математическое моделирование, оптимизация параметров, массопередача, ресурсосберегающие технологии, продовольственная безопасность

Для цитирования: Моргунова Н. Л., Рудик Ф. Я., Жиздюк А. А., Буйлов В. Н. Исследование изменения качественных показателей продукции растениеводства при эксплуатационно-технологической обработке ультразвуком // Аграрный научный журнал. 2025. № 6. С. 116–123. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i6pp116-123>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Investigation of changes in qualitative indicators of crop production at operational and technological treatment with ultrasound

Natalia L. Morgunova, Felix Ya. Rudik, Andrey A. Zhizdyuk, Valery N. Builov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: a.sgau@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of the study of quality indicators of crop production during ultrasonic processing. The relevance of the work is caused by significant losses of grain, oilseed and leguminous crops due to imperfect storage and processing methods. The objective of the study is to develop scientifically based, resource-saving technologies that minimize losses, extend storage life and increase the nutritional value of products. The work analyzes production methods of processing cereals, leguminous crops and unrefined vegetable oils. Mathematical models describing the influence of mode parameters of ultrasonic influence on qualitative parameters of products, such as moisture and ash content, have been developed. Methods of multiple regression and Box-Behnken design for optimization of processing parameters were used. Experimental studies confirmed that ultrasonic influence promotes effective grain cleaning, the beginning of shell peeling and reduction of time and energy consumption for moistening.

Keywords: ultrasonic processing, grain crops, product quality, moisture content, ash content, mathematical modeling, parameter optimization, mass transfer, resource-saving technologies, food security



For citation: Morgunova N. L., Rudik F. Ya., Zhizdyuk A. A., Builov V. N. Investigation of changes in qualitative indicators of crop production at operational and technological treatment with ultrasound. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(6):116–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i6pp116-123>.

Введение. Актуальность темы исследования обусловлена значительными потерями зерновых, масличных и бобовых культур, которые достигают 15 % из-за несовершенных технологий хранения и обработки. В России потенциал этих культур используется не в полной мере, что связано с отсутствием современных технологий, обеспечивающих сохранность их полезных свойств [4].

Нерациональное использование сельскохозяйственных культур остается одной из ключевых проблем, требующих решения [5]. В этой связи особую важность приобретает разработка научно обоснованных ресурсосберегающих технологий, которые позволят минимизировать потери, продлить сроки хранения и повысить питательную ценность кормов и продуктов питания [1].

Совершенствование процесса подготовки зерна к помолу актуально в связи с необходимостью его тщательной очистки от минеральных примесей, микотоксинов и вредителей, а также достижения требуемых кондиционных показателей. В случае с соей актуальность обусловлена необходимостью удаления антипитательных веществ, таких как ингибиторы трипсина, которые снижают усвояемость белка и негативно влияют на здоровье сельскохозяйственных животных. Существующие методы обработки сои недостаточно эффективны, что приводит к потере биологической ценности продукта и увеличению себестоимости.

Кроме того, актуальным является совершенствование технологий производства растительных масел, направленное на увеличение сроков их хранения за счет фильтрации продуктов окисления и регенерации на этапах производства и хранения. Это позволит сохранить высокую пищевую ценность нерафинированных масел.

Таким образом, исследования, направленные на повышение эффективности технологий и технических средств обработки зерновых, зернобобовых и масличных культур, имеют важное хозяйственное значение для России, т.к. способствуют снижению потерь, улучшению качества продукции и укреплению продовольственной безопасности страны.

Материалы и методы. Цель исследования – провести комплексное изучение технологических процессов обработки зерновых, зернобобовых культур и нерафинированных растительных масел, включая анализ существующих методов инактивации ингибиторов трипсина и уреазы в сое, обеззараживания, очистки и увлажнения зерна пшеницы, а также фильтрации и очистки подсолнечного масла от продуктов окисления. На основе анализа литературных [2, 5, 13, 15, 16] и патентных [9, 11, 14] источников выявили недостатки применяемых технологий и обосновали целесообразность использования направленного ультразвукового воздействия. Для обработки математических данных использовали методику, предложенную в литературе [3, 12], и адаптировали параметры под конкретные условия производства на установке [11, 14].

Результаты исследований. На основании проведенного анализа работ [5] выдвинута научная гипотеза о возможности повышения эффективности обработки продукции растениеводства ультразвуковой интенсификацией процессов, обеспечивающих низкотемпературную активацию массообмена и сохранность полезных составляющих обрабатываемых продуктов.

В современных условиях агропромышленного комплекса одной из ключевых задач является оптимизация технологических процессов обработки продукции растениеводства [6]. Это позволяет не только повысить качество конечной продукции, но и снизить затраты на производство. Одним из эффективных методов достижения этих целей является математическое моделирование технологических процессов. Выполняли математическое моделирование показателей качества продукции растениеводства с использованием программ Excel, Statistica и программы расчета оценки качества зерновой продукции [9].

Для построения математической модели технологического процесса обработки продукции растениеводства за основу принята множественная регрессия, т.к. исследуемые качественные показатели есть функции от нескольких переменных.

Для составления многофакторной модели эксперимента в качестве технических параметров обработки продукции растениеводства приняты частота ультразвука (f), температура (T) и время (t) обработки, а в качестве факторов, определяющих качественные показатели зерна пшеницы, приняты влажность (φ) и зольность (Z), сои – содержание ингибиторов трипсина (H) и уреазы (U), масла – кислотное (K), перекисное (χ), цветное (h) числа.



Зависимости технических параметров обработки и качественных показателей растениеводства представлены на рисунке 1.

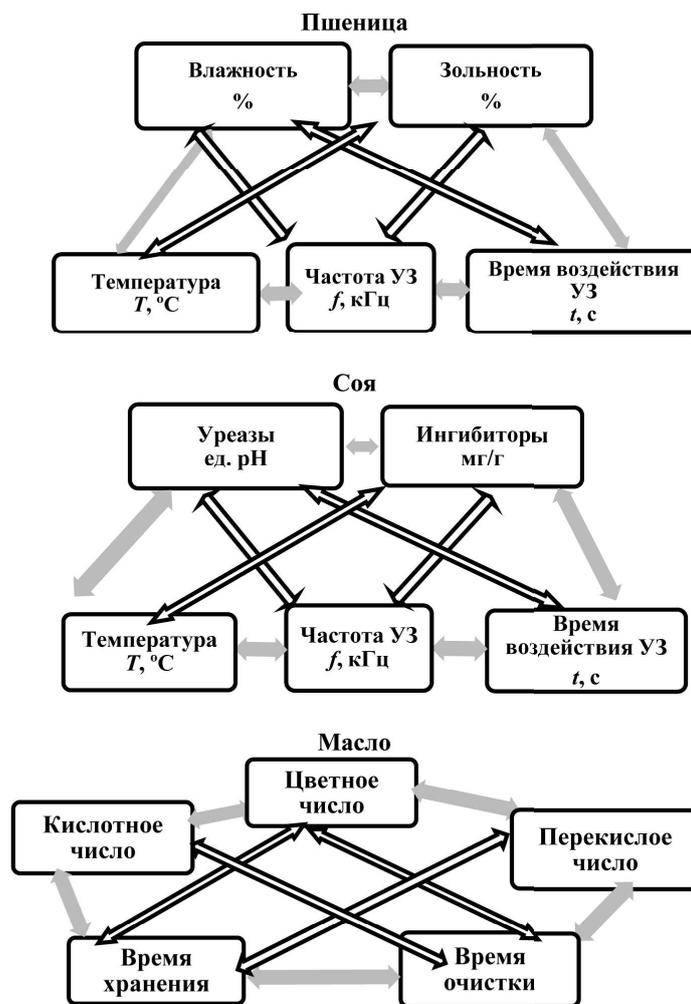


Рисунок 1 – Зависимость технических параметров обработки и качественных показателей растениеводства

Figure 1 – Dependence of technical parameters of processing and quality indicators of crop production

Представим математическое моделирование показателей качества продукции растениеводства на примере пшеницы. Однофакторные зависимости исследуемых качественных параметров пшеницы от технических параметров обработки, определенные по результатам расчета процесса обработки, представили следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} Z &= 0,0006T^2 - 0,0644T + 2,659 \\ Z &= 0,0001t^2 - 0,0167t + 1,7775 \\ Z &= -0,2244f^2 + 8,5718f - 80,34 \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= -0,0118T^2 + 0,9478T - 0,26 \\ \varphi &= -0,0002t^2 + 0,0843t + 14,625 \\ \varphi &= -2,9658f^2 + 105,03f - 911,79 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Многофакторные математические модели исследуемых качественных параметров обработки зерна пшеницы с учетом принятых факторов в соответствии с выражением (1, 2) представили в следующем виде:

$$Z = -5,8 - 0,006t - 0,02T + 0,44f. \quad (3)$$

$$\varphi = 56,6 + 0,06879t + 0,21939T - 0,268774f. \quad (4)$$



Разработанные математические модели корректно отражают динамику изменений качественных характеристик сельскохозяйственной продукции в зависимости от технологических параметров ультразвукового воздействия. Эти модели позволяют при решении практических задач оптимизировать значения переменных, входящих в уравнения, учитывая их совокупное влияние на изучаемые параметры.

Статистическую обработку полученных результатов при подготовке зерна к помолу проводили с использованием программы Statistica 10.0. На основе экспериментальных данных разработали математические модели технологического процесса обработки зерна пшеницы в ультразвуковой установке при его подготовке к простому помолу и для обеззараживания.

Для проведения многофакторных экспериментов использовали модели плана Бокса-Бенкена (Box-Behnken design), который является разновидностью симметричного некомпозиционного плана.

Сравнение теоретических и экспериментальных кривых по зольности и влажности в зависимости от изменения температуры, времени и частоты обработки представили на рисунке 2, по влажности – на рисунке 3.

Величина достоверности аппроксимации по зольности составляет 0,96–0,97, по влажности – 0,98–0,99, что свидетельствует о высокой точности разработанных моделей.

Для определения оптимальных значений параметров обработки зерна пшеницы на основе представленных математических моделей необходимо проанализировать уравнения и найти значения, при которых целевые показатели (например, качество продукции) достигают максимума или минимума в зависимости от задачи.

Однофакторные зависимости.

1. Зависимость зольности зерна пшеницы от температуры, T :

$$Z = -0,0006T^2 - 0,0644T + 2,659.$$

Это квадратное уравнение, график которого парабола, направленная вниз. Оптимальное значение зольности зерна пшеницы находится в вершине параболы. Координата этой вершины по оси абсцисс является значением оптимальной температуры, $T_{\text{опт}}$, °C; $T_{\text{опт}} = 53,67$.

2. Зависимость зольности зерна пшеницы от времени, t :

$$Z = -0,0001t^2 - 0,0167t + 1,7775.$$

Это квадратное уравнение, график которого парабола, направленная вниз. Оптимальное значение зольности зерна пшеницы находится в вершине параболы. Координата этой вершины по оси абсцисс является значением оптимального времени, $t_{\text{опт}}$, с; $t_{\text{опт}} = 83,5$.

3. Зависимость зольности зерна пшеницы от частоты ультразвука, f :

$$Z = -0,2244f^2 + 8,5718f - 80,32.$$

Это квадратное уравнение, график которого парабола, направленная вниз. Оптимальное значение зольности зерна пшеницы находится в вершине параболы. Координата этой вершины по оси абсцисс является значением оптимальной частоты ультразвука, $f_{\text{опт}}$, кГц; $f_{\text{опт}} = 19,1$.

4. Зависимость влажности зерна пшеницы от температуры, T :

$$\varphi = -0,0118T^2 + 0,9478T - 0,26.$$

Это квадратное уравнение, график которого парабола, направленная вниз. Оптимальное значение влажности зерна пшеницы находится в вершине параболы. Координата этой вершины по оси абсцисс является значением оптимальной температуры $T_{\text{опт}}$, °C; $T_{\text{опт}} = 40,16$.

5. Зависимость влажности зерна пшеницы от времени, t :

$$\varphi = -0,0002t^2 + 0,0843t + 14,625.$$

Это квадратное уравнение, график которого парабола, направленная вниз. Оптимальное значение влажности зерна пшеницы находится в вершине параболы. Координата этой вершины по оси абсцисс является значением оптимального времени, $t_{\text{опт}}$, с; $t_{\text{опт}} = 210,75$.

6. Зависимость влажности зерна пшеницы от частоты ультразвука, f :

$$\varphi = -2,9658f^2 + 105,03f - 911,79.$$



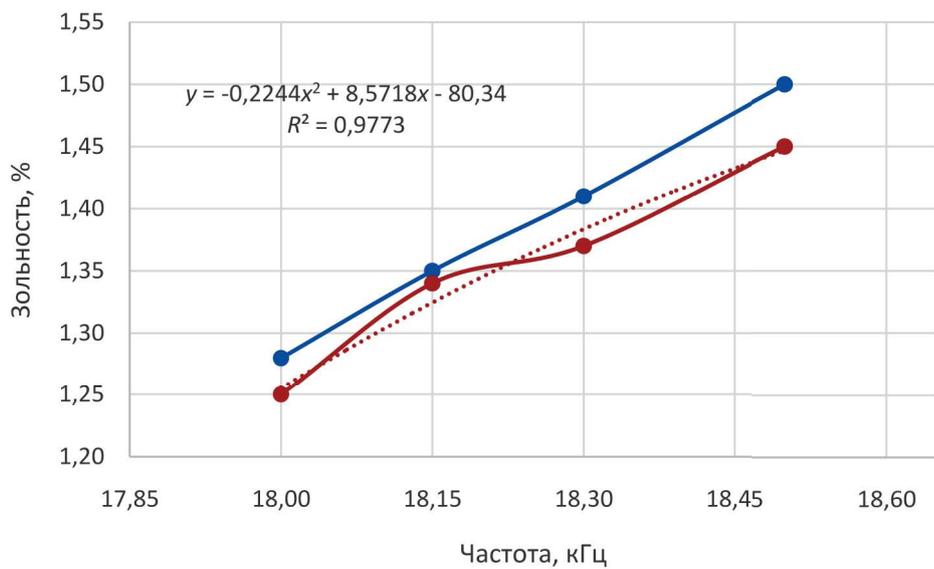
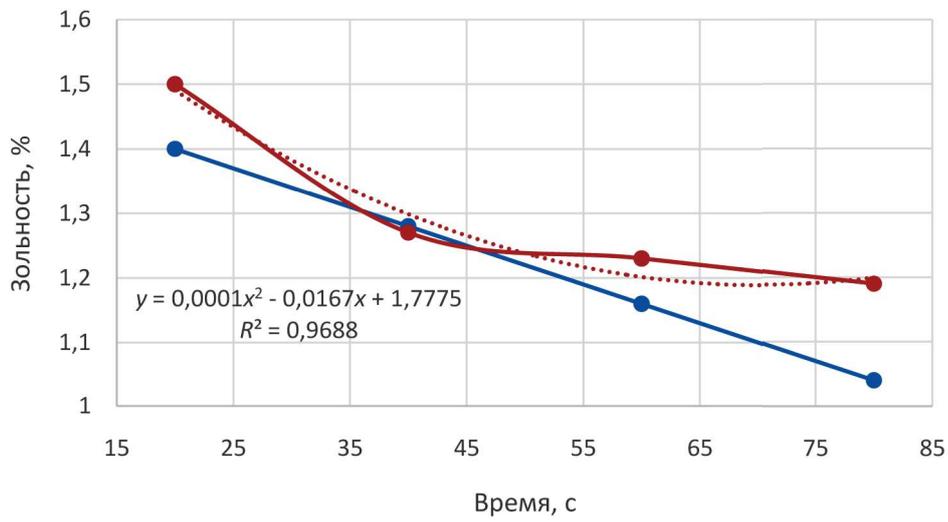
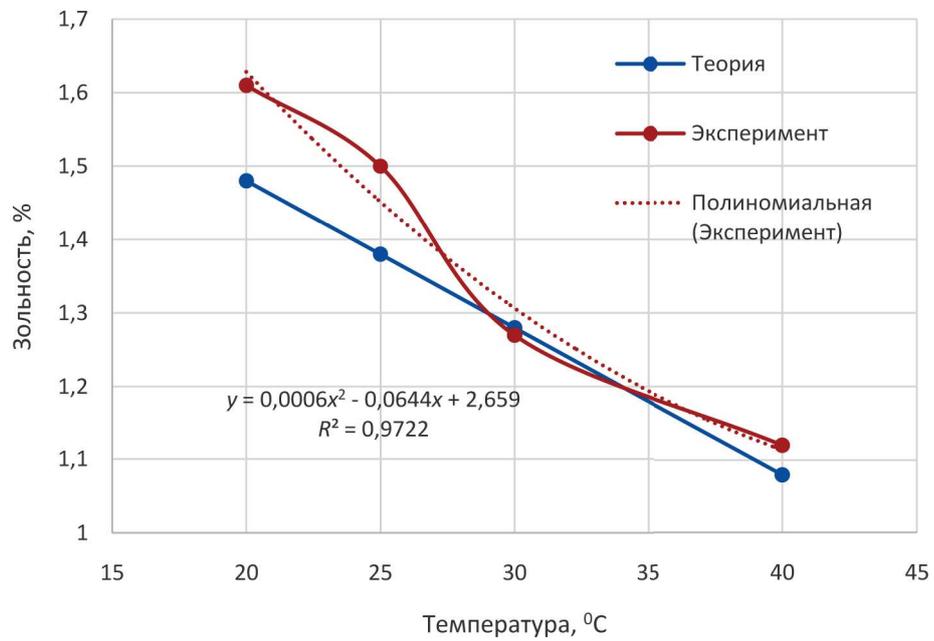


Рисунок 2 – Сравнение теоретических и экспериментальных кривых по зольности

Figure 2 – Comparison of theoretical and experimental ash content curves



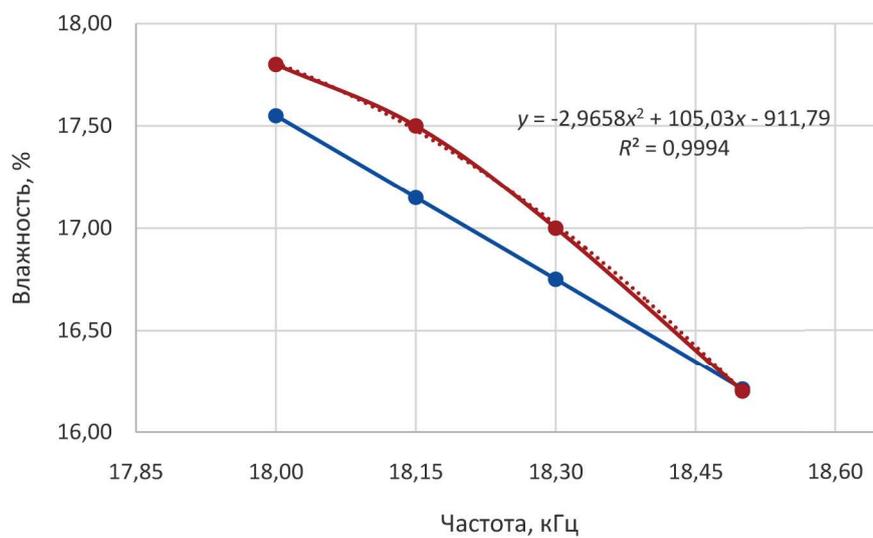
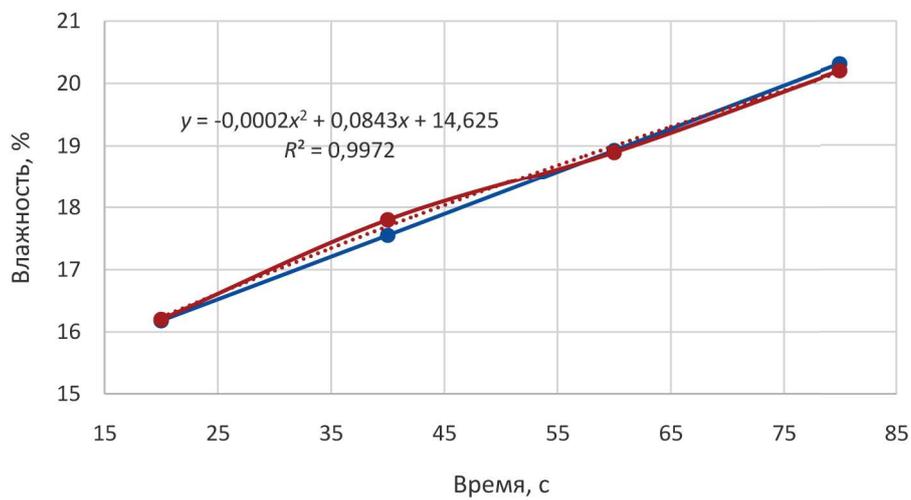
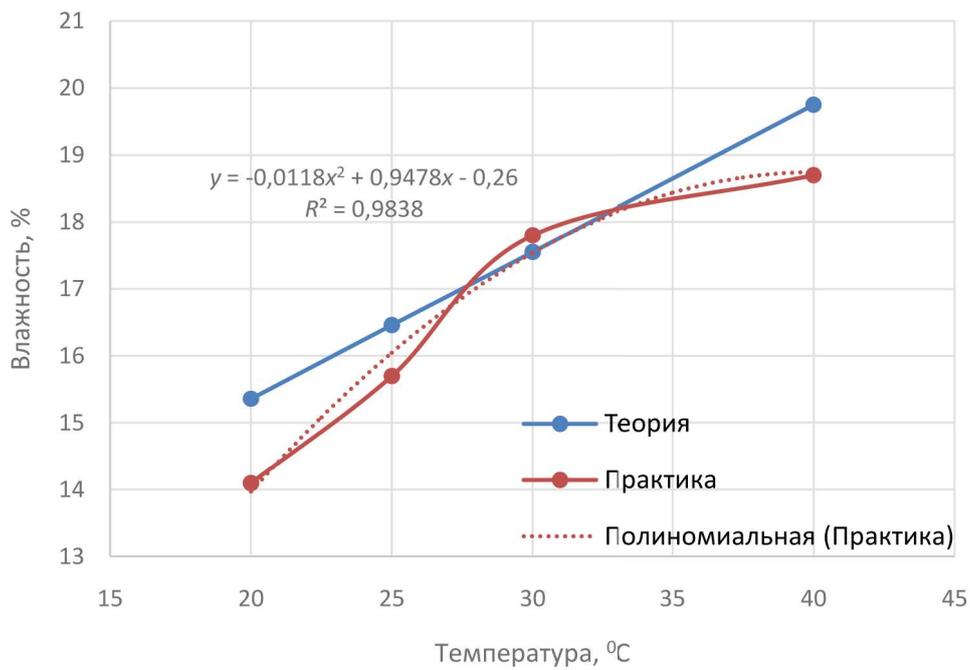


Рисунок 3 – Сравнение теоретических и экспериментальных кривых по влажности

Figure 3 – Comparison of theoretical and experimental moisture curves





Это квадратное уравнение, график которого парабола, направленная вниз. Оптимальное значение влажности зерна пшеницы находится в вершине параболы. Координата этой вершины по оси абсцисс является значением оптимальной частоты ультразвука, $f_{\text{опт}}$, кГц; $f_{\text{опт}} = 17,7$.

Увеличение времени t и температуры T увеличивает влажность зерна пшеницы, тогда как увеличение частоты f снижает влажность зерна пшеницы. Оптимальные значения зависят от конкретных условий и ограничений.

Оптимальные значения параметров обработки зерна пшеницы зависят от целевых показателей (зольности или влажности) и ограничений на параметры. Для однофакторных моделей оптимальные значения можно найти через вершины парабол. Для многофакторных моделей требуется более сложный анализ, включая возможные ограничения и взаимодействия факторов.

Итоговые оптимальные значения для получения минимальной влажности при обработке зерна пшеницы: температура 20–25 °С; время обработки 100–150 с; частота ультразвукового воздействия 18 кГц.

Итоговые оптимальные значения для получения минимальной зольности при обработке зерна пшеницы: температура 20–25 °С; время обработки 100–150 с; частота ультразвукового воздействия 18 кГц.

Эти параметры определили на основе анализа графиков и математических моделей, описывающих зависимость зольности от температуры, времени обработки и частоты ультразвукового воздействия. Для более точного определения оптимальных значений рекомендуется провести дополнительные эксперименты и уточнить используемые модели.

Заключение. На основе анализа графиков и математических моделей, представленных для влажности и зольности, можно определить общие оптимальные значения параметров обработки зерна пшеницы, которые обеспечивают значения как влажности, так и зольности.

Оптимальные параметры обработки: температура 20–25 °С; время обработки 100–150 с; частота ультразвукового воздействия 18 кГц.

При указанных параметрах обработки ожидаемая влажность составит 14–15 %. Это значение основано на анализе уравнений и графиков, где минимальная влажность достигается при температуре 20–25 °С, времени 100–150 с и частоте 18 кГц.

При тех же условиях обработки ожидаемая зольность составит 1,2–1,5 %. Это значение также соответствует минимальным показателям, полученным из анализа уравнений и графиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиздюк А. А., Буйлов В. Н., Чумакова С. В. Цифровые решения для полевых работ // Вавиловские чтения – 2023: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 136-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова, Саратов, 23–25 ноября 2023 года. Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2023. С. 296–303. EDN: КННРВН.
2. Жиздюк А. А., Журавлева Л. А., Карпов М. В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических машин. М.: ИНФРА-М, 2024. 288 с. ISBN: 978-5-16-018326-8. DOI: 10.12737/1977999. EDN: KGFEEC.
3. Жиздюк А. А. Улучшение экологических показателей дизелей путем оптимизации параметров топливоподдачи: на примере двигателя КАМАЗ: дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2006. 152 с. EDN: NNUPYJ.
4. Интенсификация процесса массопередачи ультразвуковыми колебаниями / Ф. Я. Рудик [и др.] // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 12–13 марта 2020 г. Саратов: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. С. 314–316. EDN: ZONJAS.
5. Исследование изменения качественных показателей зерна пшеницы при эксплуатационно-технологической обработке ультразвуком в водной среде / Н. Л. Моргунова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2025. № 4. С. 111–118. DOI: 10.28983/asj.y2025i4pp111-118. EDN: VRWRFE.
6. Моргунова Н. Л. Ультразвуковая технология обработки зерновых и зернобобовых культур // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 86–88. DOI: 10.28983/asj.y2022i12pp86-88. EDN: JJUYDI.
7. Повышение эффективности подготовки зерна к помолу пульсирующими ультразвуковыми микропотоками / Н. Л. Моргунова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2024. № 2. С. 198–204. DOI: 10.24412/2311-6447-2024-2-198-204. EDN: BUZBBD.
8. Применение цифровых двойников технологических машин в АПК при эксплуатации и сервисном обслуживании / А. А. Жиздюк [и др.] // Агроинженерия. 2025. Т. 27. № 1. С. 20–25. DOI: 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25. EDN: CSHMVF.
9. Программа расчета оценки качества зерновой продукции: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2024660210 / В. Н. Буйлов, А. В. Косарев, А. А. Жиздюк; заявл. 22.04.2024; опубл. 03.05.2024. EDN: NTGDTN.
10. Разработка установки для инактивации зерна сои ультразвуком / Д. В. Макаров [и др.] // Агропромышленные технологии Центральной России. 2023. № 3(29). С. 116–128. DOI: 10.24888/2541-7835-2023-29-116-128. EDN: VKUJSQ.

11. Способ профилактической обработки зерна: патент № 2707130 С1 Российская Федерация / Н. Л. Моргунова, Ф. Я. Рудик, Е. С. Красникова; заявл. 25.03.2019; опубл. 22.11.2019. EDN: FZFUZJ.
12. Сундуков Е. А., Моргунова Н. Л., Рудик Ф. Я. Повышение эффективности действия совмещенных ультразвуковых и вибрационных колебательных волн // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф. в рамках междунар. науч.-практ. форума, посвящ. Дню хлеба и соли, Саратов, 24–25 марта 2021 года / под общ. ред. О. М. Поповой, Н. В. Неповинных, В. А. Буховец. Саратов: Центр социальных агроинноваций СГАУ, 2021. С. 686–688. EDN: MHUWOP.
13. Тилоев С., Ивженко С. А., Жиздюк А. А. Уравнения движения частиц зернового вороха на решете // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2009. № 6. С. 58–60. EDN: KJVWYD.
14. Устройство для обработки зерна, пивного солода, семян масличных культур: патент на полезную модель № 208531 U1 Российская Федерация / Д. В. Макаров [и др.]; заявл. 05.04.2021; опубл. 23.12.2021. EDN: KIIHAC.
15. Improvement of grain processing via ultrasonic treatment / F. Ya. Rudik et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. Vol. 341. P. 012117. EDN: SMAEEA.
16. Influence of the design parameters of the peeling machine on the criteria of the peeling process effectiveness / A. V. Anisimov et al. // Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture, Moscow, October 19–24, 2021. Vol. 979. P. 012033. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012033. EDN: AYERWO.

REFERENCES

1. Zhizdyuk A. A., Builov V. N., Chumakova S. V. Digital Solutions for Field Work. *Vavilov Readings – 2023: Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 136th Anniversary of the Birth of Academician N. I. Vavilov*. Saratov, 2023:296–303. (In Russ.). EDN: KHHPWH.
2. Zhizdyuk A. A., Zhuravleva L. A., Karpov M. V. Design and calculation of ground transportation and technological machines. Moscow: INFRA-M, 2024. 288 p. ISBN: 978-5-16-018326-8. (In Russ.). DOI: 10.12737/1977999. EDN: KGFEEC.
3. Zhizdyuk A. A. Improvement of ecological indicators of diesel engines by optimization of fuel supply parameters: by the example of KAMAZ engine: thesis of Candidate of Science. Saratov, 2006. 152 p. (In Russ.). EDN: NNUPYJ.
4. Intensification of mass transfer process by ultrasonic vibrations / F. Ya. Rudik, N. L. Morgunova, N. A. Semilet, F. Hasanov. *Food Technologies of the Future: Innovations in the Production and Processing of Agricultural Products: a Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference, Saratov, March 12–13, 2020*. Penza: Penza State Agrarian University, 2020:314–316. (In Russ.). EDN: ZONJAS.
5. Investigation of changes in qualitative indicators of wheat grain at operational and technological treatment with ultrasound in aqueous medium / N. L. Morgunova, F. Ya. Rudik, A. A. Zhizdyuk, V. N. Builov. *Agrarian Scientific Journal*. 2025;(4):111–118. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i4pp111-118>.
6. Morgunova N. L. Ultrasonic technology processing of grain and leguminous crops. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;(12):86–88. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2022i12pp86-88. EDN: JJUYDI.
7. Improving the efficiency of grain preparation for grinding by pulsating ultrasonic microflows / N. L. Morgunova, F. Ya. Rudik, V. S. Kutsenkova, A. V. Bannikova, S. A. Leonova. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC – Healthy Food*. 2024;(2):198–204. (In Russ.). DOI: 10.24412/2311-6447-2024-2-198-204. EDN: BUZBBD.
8. Application of digital twins of technological farm machines during their operation and maintenance / A. A. Zhizdyuk, V. N. Builov, S. V. Chumakova, M. N. Akhilbekov. *Agricultural Engineering*. 2025;27(1):20–25. (In Russ.). DOI: 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25. EDN: CCHMVF.
9. Program for calculating the quality assessment of grain products: Certificate of State Registration of Computer Program No. RU 2024660210 / V. N. Builov, A. V. Kosarev, A. A. Zhizdyuk; appl. 04/22/2024; publ. 05/03/2024. (In Russ.). EDN: NTGDTN.
10. Development of an installation for inactivation of soybean grain by ultrasound / D. V. Makarov, N. L. Morgunova, F. Ya. Rudik, O. S. Fomenko, N. A. Semilet. *Agroindustrial Technologies of Central Russia*. 2023;3(29):116–128. (In Russ.). DOI: 10.24888/2541-7835-2023-29-116-128. EDN: BKUJSQ.
11. Method for preventive treatment of grain: patent No. RU2707130C1 / N. L. Morgunova, F. Ya. Rudik, E. S. Krasnikova; appl. 03/25/2019; publ. 11/22/2019. (In Russ.). EDN: FZFUZJ.
12. Sundukov E. A., Morgunova N. L., Rudik F. Ya. Increasing the effectiveness of combined ultrasonic and vibrating oscillation waves. *Food Technology of the Future: Innovations in the Production and Processing of Agricultural Products: a Collection of Articles II International Scientific Practical Conference within the Framework of the International Scientific and Practical Forum, dedicated to the Day of Bread and Salt, Saratov, March 24–25, 2021* / ed. by O. M. Popova, N. V. Nepovinnikh, V. A. Bukhovets. Saratov, 2021:686–688. (In Russ.). EDN: MHUWOP.
13. Tiloiev S., Ivzhenko S. A., Zhizdyuk A. A. Equations of motion of grain pile particles on a sieve. *Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov*. 2009;(6):58–60. (In Russ.). EDN: KJVWYD.
14. Device for processing grain, beer malt, oilseeds: utility model patent No. RU208531U1 / D. V. Makarov, E. A. Sundukov, F. Ya. Rudik, N. L. Morgunova; appl. 04/05/2021; publ. 12/23/2021. (In Russ.). EDN: KIIHAC.
15. Improvement of grain processing via ultrasonic treatment / F. Ya. Rudik, N. L. Morgunova, N. A. Semilet, M. S. Tulyeva. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019;(341):012117. EDN: SMAEEA.
16. Influence of the design parameters of the peeling machine on the criteria of the peeling process effectiveness / A. V. Anisimov, F. Ya. Rudik, N. L. Morgunova, E. N. Didusenko. *Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture, Moscow, October 19–24, 2021*. 2021;(979):012033. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012033. EDN: AYERWO.

Статья поступила в редакцию 20.08.2024; одобрена после рецензирования 18.09.2024; принята к публикации 25.09.2024.
The article was submitted 20.08.2024; approved after reviewing 18.09.2024; accepted for publication 25.09.2024.

