

---

Научная статья/Research Article

УДК 664.73.698.27

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-228-234

**Василий Викторович Матюшев<sup>1✉</sup>, Александр Викторович Семенов<sup>2</sup>,  
Ирина Александровна Чаплыгина<sup>3</sup>, Анна Сергеевна Миржигот<sup>4</sup>,  
Роман Станиславович Погребнов<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>matyushe@yandex.ru

<sup>2</sup>semenov02101960@mail.ru

<sup>3</sup>ledum\_palustre@mail.ru

<sup>4</sup>t.tasha@list.ru

<sup>5</sup>romanpogrebnov@mail.ru

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА НА ПРОЦЕСС ЭКСТРУЗИИ И КАЧЕСТВО ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Цель исследования – повышение качества приготовления экструдатов путем оптимизации влажности поступающего на переработку зерна. Задачи: экспериментальное обоснование рациональных параметров влажности поступающего на переработку сырья, диаметра отверстия фильеры и их влияния на показатели качества экструдата. Исследование проводилось в Инжиниринговом центре Красноярского ГАУ на экструдере шнекового типа. В качестве сырья была использована пшеница Новосибирская-31, как одна из широко используемых сельхозтоваропроизводителями Красноярского края. При проведении исследования пшеницу с исходной влажностью 9,8 % увлажняли водой с температурой 18–20 °С до 12, 14, 16, 18 и 20 %. Отволаживание зерна проводили, используя пластиковые емкости, в помещении с температурой 18–20 °С. В течение 12 ч определяли стекловидность зерна. При экструдировании использовали фильеры с диаметром 5; 8 и 10 мм. Проведенный эксперимент по экструдированию зерна пшеницы с использованием фильеры диаметром 5 мм показал отрицательный результат, произошло подгорание сырья в рабочей камере экструдера по причине возрастания давления и температуры выше предельно допустимых. При экструдировании с фильерой диаметром отверстия 10 мм увеличение объема экструдата по сравнению с нативной пшеницей при исходной влажности поступающего на переработку зерна  $W_n = 14,0$  % составило  $\beta = 2,05$ . Наилучший результат получен при установке фильеры диаметром 8 мм, при  $W_n = 14,8$  % увеличение объема экструдата составило  $\beta = 3,06$ , влажность полученного продукта составила  $W_n = 6,5$  %.*

**Ключевые слова:** зерно пшеницы, увлажнение, отволаживание, экструдирование, стекловидность, влажность

**Для цитирования:** Исследование влияния влажности зерна на процесс экструзии и качество готовой продукции / В.В. Матюшев [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7. С. 228–234. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-228-234.

**Vasily Viktorovich Matyushev<sup>1✉</sup>, Alexander Viktorovich Semenov<sup>2</sup>,  
Irina Alexandrovna Chaplygina<sup>3</sup>, Anna Sergeevna Mirzhigot<sup>4</sup>, Roman Stanislavovich Pogrebnov<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>matyushe@yandex.ru

<sup>2</sup>semenov02101960@mail.ru

<sup>3</sup>ledum\_palustre@mail.ru

<sup>4</sup>t.tasha@list.ru

<sup>5</sup>romanpogrebnov@mail.ru

## STUDYING GRAIN MOISTURE INFLUENCE ON THE EXTRUSION PROCESS AND THE FINISHED PRODUCTS QUALITY

The purpose of the study is to improve the quality of the preparation of extrudates by optimizing the moisture content of the grain supplied for processing. Tasks: experimental substantiation of rational parameters of moisture content of raw materials supplied for processing, the diameter of the die hole and their influence on the quality indicators of the extrudate. The study was carried out at the Engineering Center of the Krasnoyarsk State Agrarian University on a screw-type extruder. Novosibirskaya-31 wheat was used as a raw material, as one of the widely used by agricultural producers of the Krasnoyarsk Region. When conducting research, wheat with an initial moisture content of 9.8 % was moistened with water at a temperature of 18–20 °C to 12, 14, 16, 18, and 20 %. The grain was tempered using plastic containers in a room with a temperature of 18–20 °C. Within 12 hours, the vitreousness of the grain was determined. During extrusion, dies with a diameter of 5; 8, and 10 mm were used. The experiment on extruding wheat grain using a die with a diameter of 5 mm showed a negative result, the raw material burned in the working chamber of the extruder due to an increase in pressure and temperature above the maximum allowable. When extruding with a spinneret with a hole diameter of 10 mm, the increase in the volume of the extrudate compared to native wheat at the initial moisture content of the grain entering the processing  $W_n = 14.0\%$  was  $\beta = 2.05$ . The best result was obtained when installing a die with a diameter of 8 mm, at  $W_n = 14.8\%$ , the increase in the volume of the extrudate was  $\beta = 3.06$ , the moisture content of the resulting product was  $W_n = 6.5\%$ .

**Keywords:** wheat grain, moisture, softening, extrusion, vitreousness, humidity

**For citation:** Studying grain moisture influence on the extrusion process and the finished products quality / V.V. Matyushev [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(7): 228–234. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-228-234.

**Введение.** Потребности организма человека в энергии, биологически активных веществах, минеральных соединениях в значительной мере обеспечиваются за счет потребления продуктов питания, полученных в результате переработки зерновых культур [1–3]. Одним из способов переработки зерна в пищевой промышленности является экструдирование. В результате экструзии получают сухие завтраки (кукурузные палочки, снеки, чипсы и др.), ингредиенты для производства кондитерских изделий, текстурированную муку. Обработка методом экструзии крупяных культур позволяет получить быстро-растворимые пищевые продукты [4–6].

В процессе экструдирования в результате трения продукта о рабочие органы экструдера повышается давление в рабочей камере до 35–50 атм., температура возрастает до 110–160 °C. В результате сжатия продукта и воздействия на него высокой температуры изменяются структурно-механические свойства, белки и углеводы расщепляются на более простые, клетчатка превращается во вторичный сахар. За счет мгновенного падения давления на выходе из экструдера происходит взрыв зернового продук-

та, сопровождающийся увеличением его объема и снижением влажности, что приводит к изменению его потребительских и технологических свойств.

Эффективность процесса экструдирования главным образом характеризуется коэффициентом расширения продукта на выходе из экструдера по отношению к исходному объему. На коэффициент расширения продукта, наибольшее влияние оказывает гранулометрический состав, плотность и влажность продукта подаваемого на экструдирование. Если гранулометрический состав и плотность в основном зависят от вида перерабатываемой культуры, то ее влажность является фактором, который регулируется перед экструдированием посредством гидротермической обработки продукта (ГТО) [7–10].

**Цель исследования** – повышение качества приготовления экструдатов путем оптимизации влажности поступающего на переработку зерна.

**Задач:** провести экспериментальные исследования по обоснованию рациональной влажности поступающего на экструдирование зерна при различных диаметрах отверстия фильеры экструдера.

**Объекты и методы.** Объектом исследования является технологический процесс экструдирования зерна пшеницы в экструдере шнекового типа. Исследования проводились на экструдере ЭК-100 с использованием фильер диаметром 5; 8; 10 мм. Увлажнение зерна проводили водой с температурой 18–20 °С на увлажнителе лопастного типа. Необходимое количество вносимой в зерно воды при его увлажнении рассчитывали исходя из начальной и требуемой влажности по формуле [4]:

$$W_{\phi} = G_1 \frac{W_2 - W_1}{100 - W_1}, \text{ кг}, \quad (1)$$

где  $W_{\phi}$  – фактическое количество воды, кг;  $G_1$  – масса зерна до увлажнения, кг;  $W_1$  – исходная влажность зерна, %;  $W_2$  – влажность зерна, до которой необходимо довести зерно в результате увлажнения, %.

Исследования проводились с использованием зерна пшеницы Новосибирская 31 с влажностью от 10 до 20 %, с интервалом 2 %. Отбор проб зерна проводили согласно ГОСТ 13586.3-2015 [11], а определение влажности – ГОСТ 13586.5-2015 [12].

Отволаживание зерна осуществляли до стабилизации стекловидности в пластиковых емкостях объемом 15 л при температуре окружающего воздуха 18–20 °С.

Стекловидность зерновок определяли по формуле [13]:

$$O_c = P_c \frac{C_c}{2}, \%, \quad (2)$$

где  $O_c$  – общая стекловидность, %;  $P_c$  – количество полностью стекловидных зерен, шт.;  $C_c$  – количество частично стекловидных зерен, шт.

Для определения эффективности процесса экструдирования за критерий качества предложен показатель увеличения объема продукта после экструдирования  $\beta$ , показывающий количество «взорванных» зерен, представляющий собой отношение объема экструдата после экструдирования  $V_k$  к начальному объему, поступающему на экструдирование,  $V_H$ :

$$\beta = \frac{V_k}{V_H}, \text{ см}^3. \quad (3)$$

Объем зерна и объем полученного экструдата определяли в порядке, изложенном в ГОСТ 13586.3-2015 [11].

**Результаты и их обсуждение.** Результаты исследований по изменению влажности зерна пшеницы от продолжительности его увлажнения представлены на рисунке 1. Данные графической зависимости свидетельствуют о том, что в начальный период (5–7 мин) наблюдается самая высокая интенсивность поглощения зерном воды. Дальнейшее поглощение протекает менее интенсивно и достигает верхнего предела значения заданной влажности ( $W = 20$  %) через 20 мин. Динамика изменения стекловидности зерна в зависимости от времени отволаживания представлена на рисунке 2.

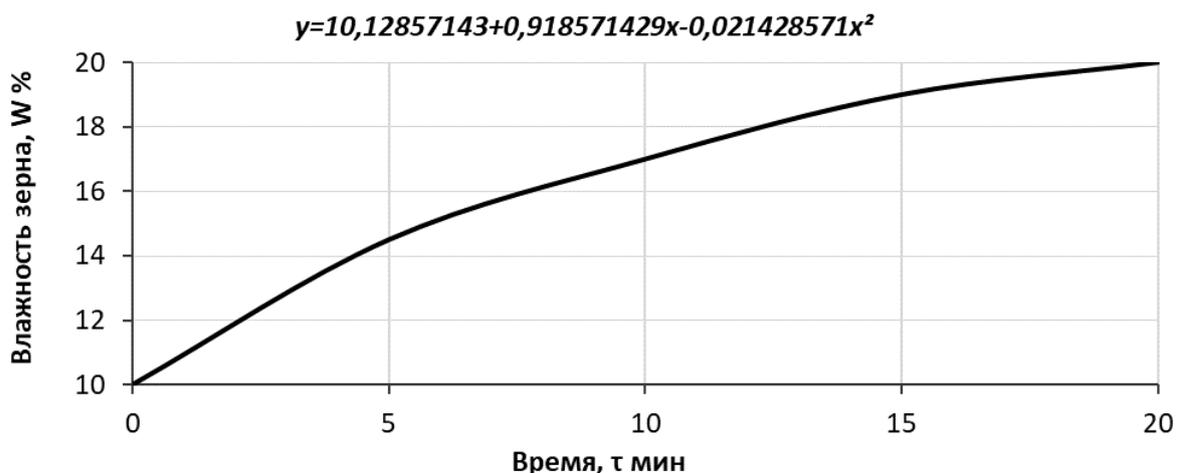


Рис. 1. Изменение влажности зерна пшеницы ( $W$ ) от продолжительности его увлажнения ( $\tau$ )

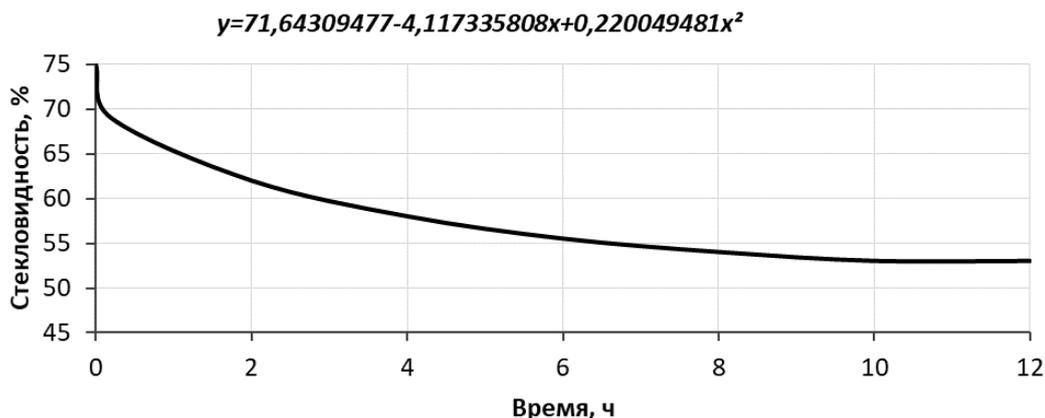


Рис. 2. Изменения стекловидности ( $O_c$ ) зерна в зависимости от времени отволаживания

Из полученной графической зависимости видно, что первые 1,5–2 ч отволаживания происходит интенсивное перераспределение влаги по объему зерновки, о чем свидетельствует снижение стекловидности с 75,2 до 63,0 %. Через 10 ч отволаживания показатель стекловидности стабилизируется, достигая своего минимального значения 53,2 %. Это говорит об окончании процесса влагопереноса в зерновке.

На основании проведенных исследований по увлажнению и отволаживанию зерна были выбраны граничные условия для предварительной подготовки зерна к процессу экструзии.

С учетом установленных параметров были проведены исследования по экструдированию

зерна с различным диаметром отверстия фильеры экструдера.

При установке фильеры с диаметром отверстия 5 мм поданный на экструдирование зерновой материал с влажностью 20 % через 180–240 с начал подгорать в зазоре между матрицей и шнеком экструдера. Температура в рабочей камере возросла до 170 °С, сила тока двигателя привода шнека экструдера составляла 38–40 А, что превышает максимально допустимое значение, в связи с этим рабочий процесс был прекращен.

Результаты проведенных исследований по определению наибольшего увеличения объема экструдата ( $\beta$ ) в зависимости от диаметра фильеры ( $d$ ) и влажности поступающего на переработку зерна ( $W_H$ ) представлены на рисунке 3.

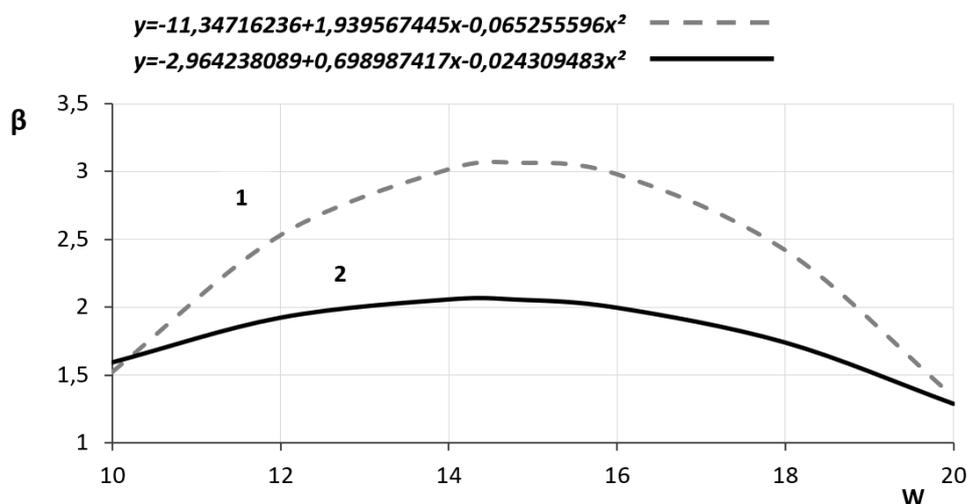


Рис. 3. Зависимость увеличения объема экструдата ( $\beta$ ) от диаметра отверстия фильеры ( $d$ ) и влажности поступающего зерна ( $W_H$ ):  
 1 –  $d = 8$  мм; 2 –  $d = 10$  мм

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что наибольшее увеличение объема экструдата, характеризующее качество получаемого продукта,  $\beta = 3,06$  получено при влажности поступающего зерна на экструдирование  $W_H = 14,8$  % с использованием фильеры диаметром отверстия  $d = 8$  мм. При использова-

нии фильеры диаметром отверстия  $d = 10$  мм большее увеличение объема экструдата  $\beta = 2,05$  получено при влажности зерна перед экструдированием  $W_H = 14,0$  %.

Зависимость влажности полученного экструдата ( $W_K$ ) представлено на рисунке 4.

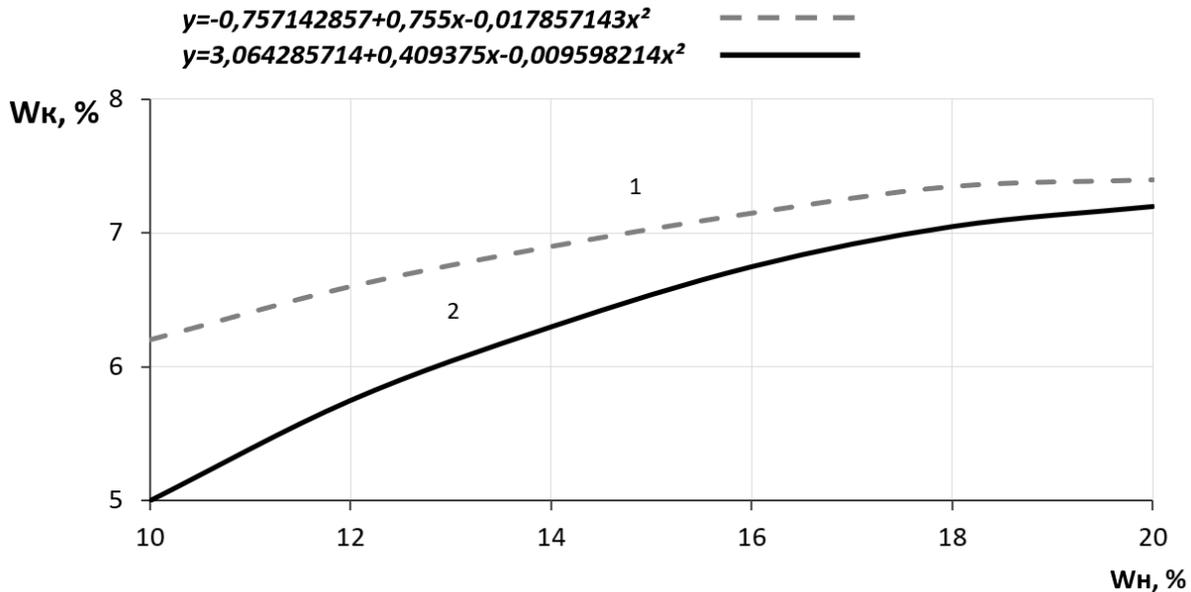


Рис. 4. Зависимость влажности полученного экструдата ( $W_K$ ) от диаметра отверстия фильеры ( $d$ ) и влажности поступающего на переработку зерна ( $W_H$ )  
1 –  $d = 8$  мм; 2 –  $d = 10$  мм

Анализ динамики изменения влажности полученного экструдата ( $W_K$ ) от диаметра ( $d$ ) установленной на матрицу экструдера фильеры и влажности поступающего на переработку зерна ( $W_H$ ) показывает, что при оптимальных влажностях зерна  $W_H = 14,0$  % для фильеры с  $d = 10$  мм и  $W_H = 14,8$  %, для фильеры с  $d = 8$  мм влажность полученного экструдата соответственно составит 6,6 и 6,5 %.

**Заключение.** Процесс влагопереноса в зерновке заканчивается через 10 ч после начала отволаживания зерна, при этом показатель стекловидности составляет 53,2 %. На экструдере ЭК-100 наилучшее качество экструдата (увеличение объема экструдата  $\beta = 3,06$ ) получено при использовании фильеры с диаметром отверстия  $d = 8$  мм и влажности поступающего на переработку зерна  $W_H = 14,8$  %. Влажность готового продукта при этом составляла  $W_K = 6,5$  %.

#### Список источников

1. Бутковский В.А., Мельников Е.М. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства: учебник. М.: Агропромиздат, 1989. 464 с.
2. Егоров Г.А. Технология муки. Технология крупы: учебник. М.: КолоС, 2019. 296 с.
3. Егоров Г.А. Управление технологическими свойствами зерна. М.: ИК МГУПП, 2005. 165 с.
4. Демский А.Б., Веденеев В.Ф. Оборудование для производства муки, крупы и комбикормов: справочник. М.: ДеЛипринт, 2005. 760 с.
5. Чаплыгина И.А., Матюшев В.В. Совершенствование технологии производства муки из экструдата // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы междунар. науч. практ. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2019. С. 166–168.

6. *Чаплыгина И.А., Матюшев В.В.* Совершенствование технологии получения хлеба с использованием муки из экструдата // Проблемы современной аграрной науки: материалы междунар. науч.-практ. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2018. С. 200–202.
7. *Анисимова Л.В.* Распределение влаги в зерне крупяных культур при увлажнении и отволаживании / Л.В. Анисимова // Известия вузов. Пищевая промышленность. 2005. № 1. С. 60–62.
8. *Бузоверов С.Ю.* Оценка качества зерна пшеницы в процессе его гидротермической обработки // Вестник Алтайского ГАУ. 2012. № 1 (87). С. 71–74.
9. *Бузоверов С.Ю.* Разработка устройства для увлажнения и отволаживания зерна пшеницы // Вестник Алтайского ГАУ. 2019. № 2 (172). С. 161–167.
10. *Чеботарев О.Н., Соловьева Ж.П.* Гидротермическая обработка как средство оптимизации технологических свойств зерна // Известия вузов. Пищевая технология. 2005. № 5-6. С. 15–17.
11. ГОСТ 13586.3-2015. Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. Введ. 2015-831. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
12. ГОСТ 13586.5-2015. Зерно. Методы определения влажности. Введ. 2015-831. М.: Стандартинформ, 2015. 9 с.
13. ГОСТ 10987-76. Зерно. Методы определения стекловидности. Интернет и право. URL: <http://internetlaw.ru/gost/34191> (дата обращения: 06.04.2022).
3. *Egorov G.A.* Upravlenie tehnologicheskimi svojstvami zerna. M.: IK MGUPP, 2005. 165 s.
4. *Demskij A.B., Veden'ev V.F.* Oborudovanie dlya proizvodstva muki, krupy i kombikormov: spravochnik. M.: DeLiprint, 2005. 760 s.
5. *Chaplygina I.A., Matyushev V.V.* Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva muki iz `ekstrudata // Nauka i obrazovanie: opyt, problemy, perspektivy razvitiya: mat-ly mezhdunar. nauch. prakt. konf. / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2019. S. 166–168.
6. *Chaplygina I.A., Matyushev V.V.* Sovershenstvovanie tehnologii polucheniya hleba s ispol'zovaniem muki iz `ekstrudata // Problemy sovremennoj agrarnoj nauki: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2018. S. 200–202.
7. *Anisimova L.V.* Raspredelenie vlagi v zerne krupyanyh kul'tur pri uvlazhnenii i otvolazhivanii / L.V. Anisimova // Izvestiya vuzov. Pischevaya promyshlennost'. 2005. № 1. S. 60–62.
8. *Buzoverov S.Yu.* Ocenka kachestva zerna pshenicy v processe ego gidrotermicheskoy obrabotki // Vestnik Altajskogo GAU. 2012. № 1 (87). S. 71–74.
9. *Buzoverov S.Yu.* Razrabotka ustrojstva dlya uvlazhneniya i otvolazhivaniya zerna pshenicy // Vestnik Altajskogo GAU. 2019. № 2 (172). S. 161–167.
10. *Chebotarev O.N., Solov'eva Zh.P.* Gidrotermicheskaya obrabotka kak sredstvo optimizacii tehnologicheskikh svojstv zerna // Izvestiya vuzov. Pischevaya tehnologiya. 2005. № 5-6. S. 15–17.
11. GOST 13586.3-2015. Zerno. Pravila priemki i metody otbora prob. Vved. 2015-831. M.: Standartinform, 2019. 12 s.
12. GOST 13586.5-2015. Zerno. Metody opredeleniya vlazhnosti. Vved. 2015-831. M.: Standartinform, 2015. 9 s.
13. GOST 10987-76. Zerno. Metody opredeleniya steklovidnosti. Internet i pravo. URL: <http://internetlaw.ru/gost/34191> (data obrasheniya: 06.04.2022).

### References

1. *Butkovskij V.A., Mel'nikov E.M.* Tehnologiya mukomol'nogo, krupyanoogo i kombikormovogo proizvodstva: uchebnik. M.: Agropromizdat, 1989. 464 s.
2. *Egorov G.A.* Tehnologiya muki. Tehnologiya krupy: uchebnik. M.: KoloS, 2019. 296 s.

Статья принята к публикации 19.05.2022 / The article accepted for publication 19.05.2022.

Информация об авторах:

**Василий Викторович Матюшев**<sup>1</sup>, заведующий кафедрой товароведения и управления качеством продукции АПК, доктор технических наук, профессор

**Александр Викторович Семенов**<sup>2</sup>, заведующий кафедрой механизации и технического сервиса в АПК, кандидат технических наук, доцент

**Ирина Александровна Чаплыгина**<sup>3</sup>, доцент кафедры товароведения и управления качеством продукции АПК, кандидат биологических наук, доцент

**Анна Сергеевна Миржигот**<sup>4</sup>, аспирант кафедры товароведения и управления качеством продукции АПК

**Роман Станиславович Погребнов**<sup>5</sup>, студент 4-го курса

Information about the authors:

**Vasily Viktorovich Matyushev**<sup>1</sup>, Head of the Department of Commodity Research and Quality Management of Agricultural Products, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Alexander Viktorovich Semenov**<sup>2</sup>, Head of the Department of Mechanization and Technical Service in the Agroindustrial Complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Irina Alexandrovna Chaplygina**<sup>3</sup>, Associate Professor at the Department of Commodity Science and Product Quality Management of the Agroindustrial Complex, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

**Anna Sergeevna Mirzhigot**<sup>4</sup>, Postgraduate Student at the Department of Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products

**Roman Stanislavovich Pogrebnov**<sup>5</sup>, 4th Year Student

