

УДК 664.6:663.51(476)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧМЕННОЙ МУКИ

Л. В. Рукшан¹, Л. Н. Евдохова², В. А. Шаршунов³

¹ЗАО «ЭкомолАгро», Республика Беларусь

²Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь, Республика Беларусь

³Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлены результаты обзора литературы о способах переработки ячменя в муку. Ряд авторов предлагали использовать такие этапы подготовки ячменя, как многократный пропуск через обоечные машины, увлажнение и отволаживание зерна с использованием пропаривания, вакуума, пульсирующего вакуума, сушки. Из подготовленного тем или иным способом зерна получали односортную муку путем пропуска его через шесть драных и шесть размольных систем. Другие авторы предлагали вначале производить по традиционным технологиям крупу из зерна или хлопья, а только затем получать муку из этих продуктов. Недостатками предлагаемых способов получения ячменной муки является длительность и энергоемкость процессов подготовки зерна и его размола.

Материалы и методы. Объекты исследования – зерно ячменя, продукты переработки зерна, мука. Качество зерна, продуктов его переработки, муки определяли по стандартным методам и методикам.

Результаты. Исследовано изменение показателей качества разных сортов ячменя при гидротермической обработке зерна. Выявлены показатели зерна, определяющие его мукомольные свойства. Исследовано влияние влажности и времени отволаживания ячменя при гидротермической обработке на извлечение продуктов его переработки и выход муки. Выявлены оптимальные режимы гидротермической обработки зерна ячменя. Проведено измельчение зерна и определены извлечение и зольность круподунстовых продуктов на трех драных системах. Определено качество сортовой ячменной муки.

Заключение. Установлено, что для получения сортовой ячменной муки возможно использование гидротермической обработки зерна ячменя. Определены оптимальные режимы гидротермической обработки и измельчения зерна ячменя.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ячмень; гидротермическая обработка; измельчение; мука; качество.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рукшан, Л. В. Ресурсосберегающая технология производства ячменной муки / Л. В. Рукшан, Л. Н. Евдохова, В. А. Шаршунов / Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2025. – № 1 (38). – С. 48–60.

TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF BARLEY FLOUR

L. V. Rukshan¹, L. N. Evdokhova², V. A. Sharshunov³

¹JSC «EcomolAgro», Republic of Belarus

²Mogilev Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Belarus, Republic of Belarus

³Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. The results of a literature review on the methods of processing barley into flour are presented. A number of authors have proposed the use of such stages of barley preparation as repeated passage through the hulling machines, moistening and resting of the grain using steaming, vacuum, pulsating vacuum, drying. From the grain prepared in one way or another, single-grade flour was obtained by passing it through six scouring and six grinding systems. Other authors suggested that grain or flakes should be produced using traditional technologies before flour is obtained from these products. The disadvantages of the proposed methods for obtaining barley flour include the duration and energy consumption of the grain preparation and grinding processes.

Materials and methods. The objects of the study were barley grain, grain processing products, and flour. The quality of grain, grain processing products, and flour was determined using standard methods and techniques.

Results. The change in the quality indicators of different varieties of barley during hydrothermal grain processing was studied. The grain indicators that determine its milling properties were identified. The influence of the moisture content and the time of barley ripening during hydrothermal processing on the extraction of its processing products and the yield of flour was studied. The optimal modes of hydrothermal processing of barley grain were identified. The grain was ground, and the extraction and ash content of coarse-grained products were determined on three mills. The quality of varietal barley flour was determined.

Conclusions. It has been established that hydrothermal treatment of barley grain can be used to produce high-quality barley flour. The optimal modes of hydrothermal treatment and grinding of barley grain have been determined.

KEY WORDS: *barley; hydrothermal treatment; grinding; flour; quality.*

FOR CITATION: Rukshan, L. V. Resource-saving technology for the production of barley flour / L. V. Rukshan, L. N. Evdokhova, V. A. Sharsunov / Bulletin of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2025. – №. 1 (38). – P. 48–60.

ВВЕДЕНИЕ

Для многих слоев населения сейчас создаются различные, так называемые специализированные, продукты питания диетического, профилактического и оздоровительного назначения, в состав которых входит мука. Поэтому в мукомольное производство все шире вовлекается ячмень, в муке из которого содержится 10–11 % протеина, 1,0–1,5 жира, 1,2–2,0 % золы. Мука содержит также большое количество полисахарида β -глюкана, кальция, йода и незаменимых аминокислот (лизина и треонина). В муке имеются также слизи, улучшающие работу желудочно-кишечного тракта.

Существует много способов получения муки. Так, в 1950–1970 гг. предложены схемы получения ячменной муки с выходами 65, 68, 70 и 75 %, включающие такие этапы подготовки зерна ячменя к помолу, как три пропуска через обоечную машину с металлическим цилиндром и два пропуска через машину с наждачным цилиндром. При этом получали муку с зольностью до 1,70 % и крупностью 280–315 мкм путем пропуска зерна через шесть драных и шесть размольных систем. При 87 % помоле получали муку типа обойной (зольность 2,0 %, крупность – 1000–800 мкм) [1–6].

Исследовали также возможность использования 2–12 % зерна ячменя в составе помольной партии пшеницы [7]. Для получения такой смеси применяли предварительное разделение зерна ячменя на фракции по крупности, добавление той или иной фракции к зерну пшеницы. Такую смесь зерна измельчали по схеме помола пшеницы и получали односортовую муку.

Производство ячменной муки, хотя и были предложены разные технологические схемы ее изготовления, в свое время не получило широкого распространения в мукомольной промышленности. Это связано с отсутствием гидротермической обработки (ГТО) ячменя и необходимостью проведения шелушения зерна путем многократного пропуска его через обоечные машины. На I драную систему направлялось уже не исходное зерно ячменя, а пенсак или крупа, что повышало энергоемкость процесса и стоимость муки. Мука имела специфический привкус, а ее зольность отличалась от зольности зерна только на 0,5 % [8–10].

Лишь в середине 90-х годов прошлого столетия российские ученые снова вернулись к проблеме получения ячменной муки, но уже из перловой крупы или хлопьев. Так, авторы [9] предлагали при производстве перловой крупы после предварительного увлажнения ячменя до влажности 20–25 %, последующего пропаривания подсушивать зерно, что позволит обеспечить дифференцированное распределение влаги между ядром (21–22 %) и оболочками (13–14 %), значительно повышая эффективность шелушения ядра с одновременным увеличением выхода крупы на 5–6 % и снижением недодира на 0,2–0,3 %.

Мельников Е. М. и др. [9–11] предложили получать вначале перловую крупу из ячменя, затем хлопья и из них вырабатывать муку. Схема включала такие этапы, как получение и шлифование целой крупы; пропаривание; охлаждение; плющение; сушка и охлаждение хлопьев; размол хлопьев в муку. Выход односортной муки составлял около 95 % от массы размалываемых хлопьев. Частицы муки имели размер не более 250 мкм [2–6; 11–13].

Цыбикова Г. Ц. и др. [12–14] для изменения технологических свойств ячменя использовали влаготепловую обработку (ВТО) зерна (увлажнение, отволаживание и выдерживание в установке для тепловой обработки сыпучих продуктов). Далее зерно измельчали до крупки, из которой путем пропуска через три системы измельчения получали односортную ячменную муку повышенной крупности с выходом 80,4 % по отношению к зерну, поступающему на переработку.

Анисимова Л. В. и др. [15, 16] для получения крупы и муки использовали ГТО ячменя, включающую такие операции, как увлажнение зерна под вакуумом, отволаживание и сушку. Они считали, что это значительно повысит эффективность шелушения зерна и выход конечной продукции. Однако подобные выводы сделаны при исследовании только одного сорта ячменя, выращенного в Алтайском крае, и не найдено других подтверждений использования такого способа получения крупы и муки.

Бузоверов С. Ю. и др. [17] для сокращения технологического цикла производства муки без снижения выходов и ухудшения качества исследовали возможность увеличения степени увлажнения и уменьшения времени отволаживания зерна за счет использования его интенсивного увлажнения. Для этого авторы предложили создавать пульсирующий вакуум и последующее пульсирующее давление в полости увлажняющего шнека.

Однако внедрение таких операций, как увлажнение зерна под вакуумом и пульсирующий вакуум с последующим пульсирующим давлением [17, 19, 20], на существующих мукомольных заводах практически невозможно из-за небольшой производительности и сложности обслуживания предлагаемых конструкций, дороговизны процесса и готовой продукции.

Предложены технологии получения муки из ячменных экструдатов, получаемых из крупы. Для получения крупы зерно ячменя сепарировали, шелушили, шлифовали и дробили [19]. При этом Магомедов Г. О. и др. [20] считали, что использование для экструзии нешелушенного зерна позволит повысить пищевую ценность, а также значительно снизить себестоимость продукта экструдирования.

Однако вышеприведенные способы экструзии ячменя повышают энергозатраты, расходуемые на пропаривание, дробление и измельчение зерна.

Таким образом, вопрос технологии переработки зерна ячменя в муку различного назначения остается открытым. Конкретных научно обоснованных технологических схем подготовки зерна с применением ГТО, ВТО и режимов последующего измельчения ячменя до настоящего времени нет. Отсутствуют также сведения о возможности вовлечения в мукомольное производство зерна пленчатого ячменя белорусской селекции. В то же время в литературе имеются неполные данные о влиянии ГТО ячменя на его мукомольные свойства, о технологии производства ячменной муки различного назначения, а предложенные способы производства ячменной муки отличаются высокой энергоемкостью, приводящей к увеличению стоимости готовой продукции. Поэтому актуальным является сокращение производственного цикла получения муки из зерна ячменя. Выдвинута гипотеза о возможности использования для этой цели технологии гидротермической обработки зерна, которая является традиционной только для зерна пшеницы.

Цель исследований – ресурсосберегающая технология производства ячменной муки.

Научная задача – обоснование технологии гидротермической обработки зерна для ячменя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись зерно ячменя сортов Дзивосны и Гасцинец, промежуточные продукты измельчения зерна, мука. Влажность зерна определяли по ГОСТ 13586.5, стекловидность – по ГОСТ 10987, пленчатость – по ГОСТ 10843, плотность зерновки – по ГОСТ 22163. Содержание белка в зерне определяли по ГОСТ 10846, содержание жира – по ГОСТ 29033, содержание крахмала – по ГОСТ 10845, зольность – по ГОСТ 10847, содержание сахара – по методу Бертрана. Качество ячменной муки определялось по методикам, применяемым для оценки качества пшеничной и ржаной муки. Определение влажности муки определяли по ГОСТ 9404, крупности – по ГОСТ 27560.

Исследования по оптимизации режимов измельчения ячменя проводились на лабораторном вальцевом станке QC-104. Мукомольные свойства ячменя оценивались по лабораторным помолам на мельничной установке МЛУ-202. Изучения изменений технологических свойств ячменя в процессе ГТО проводились по плану полного факторного эксперимента ПФЭ 2². Микроструктуру зерна ячменя определяли с помощью электронного микроскопа марки Jeol JSM-35C (Япония). С помощью программных приложений Statgraphics Plus for Windows и Excel проводилась математическая обработка полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный нами комплексный анализ физических показателей качества ячменя различных сортов белорусской селекции, как сырья для мукомольной промышленности, показал, что зерно исследуемых образцов ячменя достаточно крупное, с высокой натурой и массой 1000 зерен, значения пленчатости находится на среднем уровне [21].

Выявлено, что ячмень можно оценивать подобно зерну пшеницы по стекловидности и имеются сорта ячменя с высокими и низкими значениями стекловидности. Поэтому с учетом данного показателя для исследований выбраны сорта ячменя Дзивосны (19 ± 5 %) и Гасцинец (29 ± 6 %).

Микроструктурный анализ стекловидного и мучнистого зерна ячменя (рисунок 1) позволил обнаружить некоторые различия в микроструктуре.

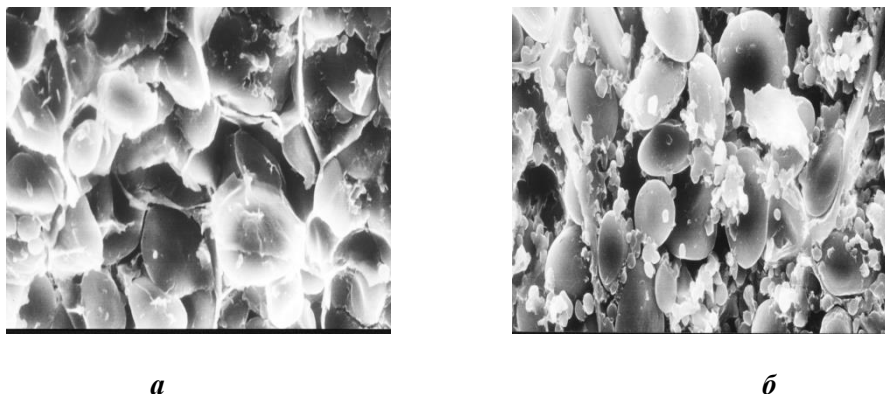


Рис. 1. Микроструктура стекловидного (а) и мучнистого (б) эндосперма (увеличение 300)

Fig. 1. Microstructure of glassy (a) and mealy (b) endosperm (magnification 300)

Эндосперм стекловидного ячменя имеет крахмальные зерна крупнее, а белковая матрица развита лучше, чем у эндосперма мучнистого ячменя, который более рыхлый и содержит больше воздушных полостей. Итак, микроструктура стекловидного и мучнистого ячменя

имеет различные характеристики, и, следовательно, в процессе переработки это зерно будет вести себя различно.

Исследовано влияние гидротермической обработки (влажность – 12,5–15 %, время отволаживания – 1–6 ч) на технологические свойства зерна ячменя. На первом этапе исследований подготовленное соответствующим образом и увлажненное зерно измельчали в лабораторной мельничной установке МЛУ-202. Оценка эффективности процесса определялась следующими показателями: объем зерновки, плотность, влажность зерна, контракция.

Для оценки изменения крупности зерна в процессе ГТО использовался предложенный авторами [22] интегральный показатель крупности (L). Он, по нашему мнению, объективнее отражает изменение линейных размеров при ГТО и упрощает анализ полученных данных.

Геометрическая характеристика зерна при повышении влажности изменяется так, что увеличиваются все его линейные размеры. При этом сначала происходит резкое увеличение значения этих показателей, а затем наблюдается стабилизация значений показателей. Так, замечено, что уже через незначительное время после увлажнения начинает увеличиваться длина зерновки, а прирост ширины и толщины происходит с некоторым запаздыванием.

После 2 ч длина достигает максимальной величины, а затем на протяжении последующих 2-х часов остается постоянной. Для ширины и толщины это также наблюдается, но несколько позже. Суммарный прирост длины составляет 2–3 % от первоначального размера, в то время как ширина возрастает в среднем на 0,24 %, а толщина – на 0,35 %.

На рисунке 2 наглядно видно увеличение интегрального показателя крупности зерна и оптимум при увеличении времени отволаживания в процессе ГТО.

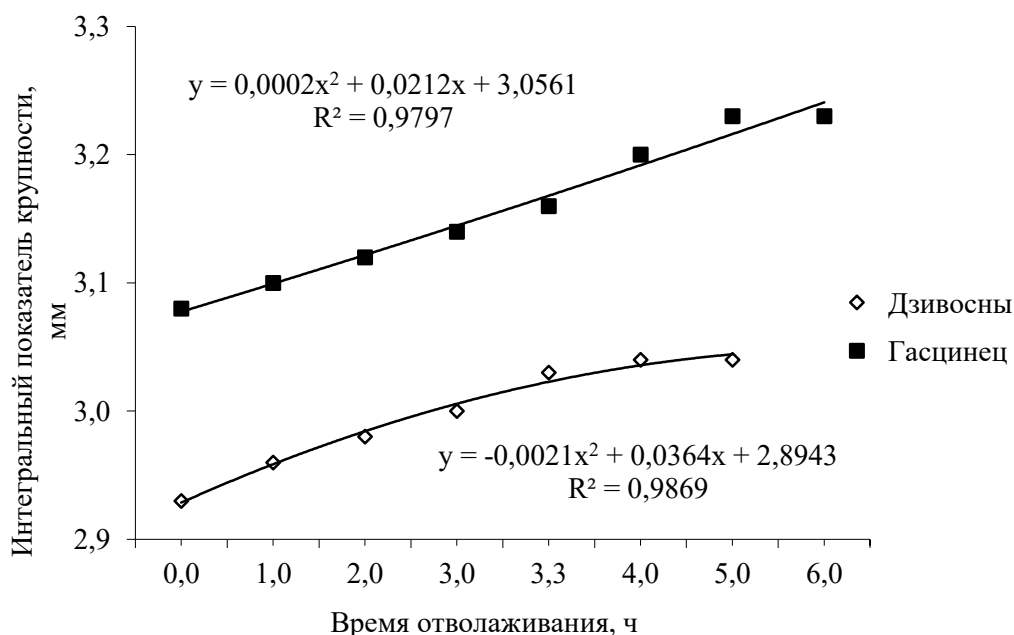


Рис. 2. Изменение интегрального показателя крупности зерна ячменя в процессе ГТО

Fig. 2. Change in the integral indicator of barley grain size during the GTO process

Результаты исследования показывают, что объем зерна увеличивается в большей степени, чем его влажность.

Изменение объема и внешней поверхности у мучнистого зерна выражены меньше, чем у стекловидного (рисунок 3). Для мучнистого зерна оптимум увеличения объема находится в интервале 3–4 ч, а для стекловидного – 4–5 ч.

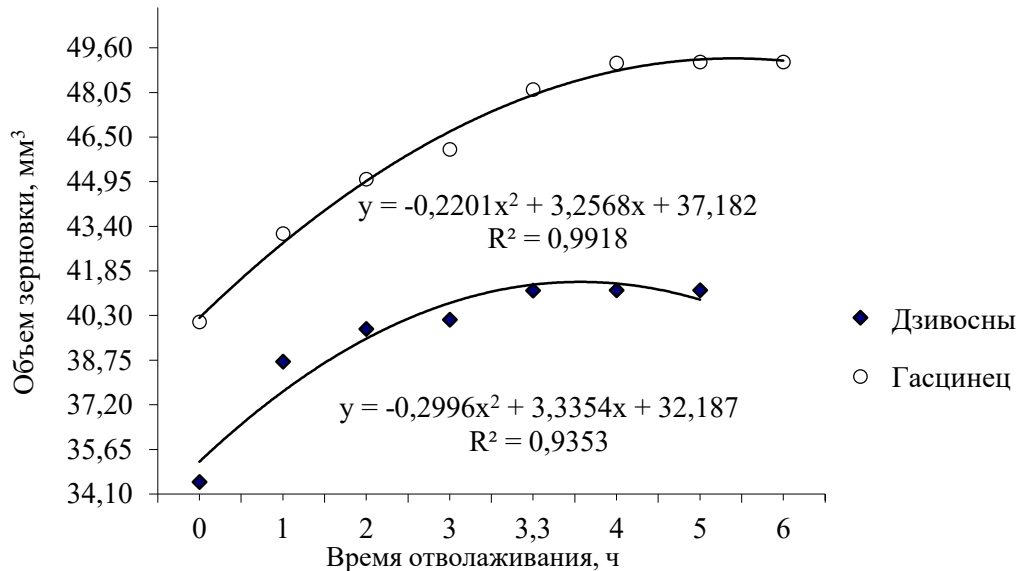


Рис. 3. Изменение объема зерновки ячменя в процессе ГТО

Fig. 3. Change in the volume of barley grains during the GTO process

Установлено, что явление контракции (сжатие системы зерно – вода) характерно для зерна ячменя. Так, менее чем через час контракция становится положительной и остается такой на всем изучаемом промежутке времени (рисунок 4).

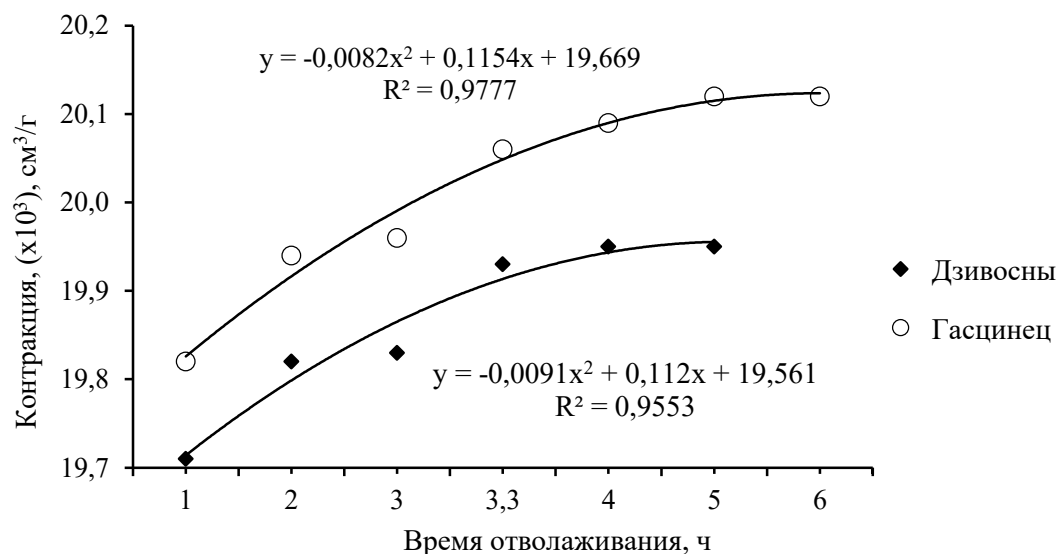


Рис. 4. Изменение контракции зерна ячменя в процессе ГТО

Fig. 4. Changes in barley grain contraction during the GTO process

Характер развития кривых контракции для всех исследуемых образцов ячменя одинаков. Сортные особенности каждого образца оказали влияние только на величину контракции.

Известно, что улучшение мукомольных свойств зерна при ГТО связано с изменением исходных свойств оболочек и эндосперма. Особое значение имеет преобразование структуры эндосперма, его разрыхление – уменьшение плотности (рисунок 5).

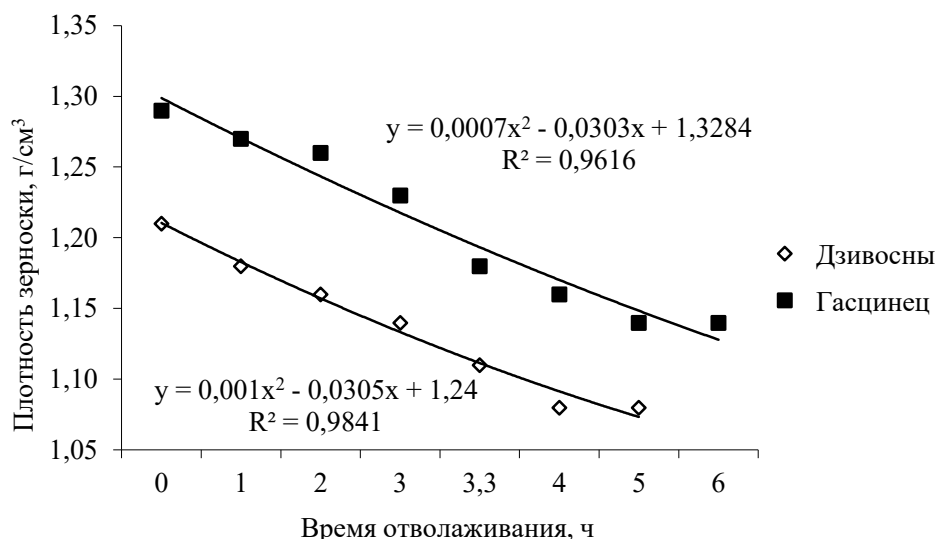


Рис. 5. Изменение плотности зерновки ячменя в процессе ГТО

Fig. 5. Change in the density of barley grains during the GTO process

Резкое изменение плотности ячменя замечено в интервале времени отволаживания 3–3,5 ч для низкостекловидного ячменя и 4–4,5 ч для высокостекловидного ячменя, при приближении влажности зерна к 14,5 %.

Анализ экспериментальных данных показал, что плотность зерна уравнивается примерно при влажности ячменя 14,5–15 %.

Влажность зерна при холодном кондиционировании является одним из определяющих параметров оптимизации технологических свойств зерна.

При лабораторных помолах зерна ячменя лучшие результаты получены при доведении влажности зерна на I драной системе до 14,5 %.

Зависимость общего выхода ячменной муки от влажности зерна на I драной системе представлена на рисунке 6.

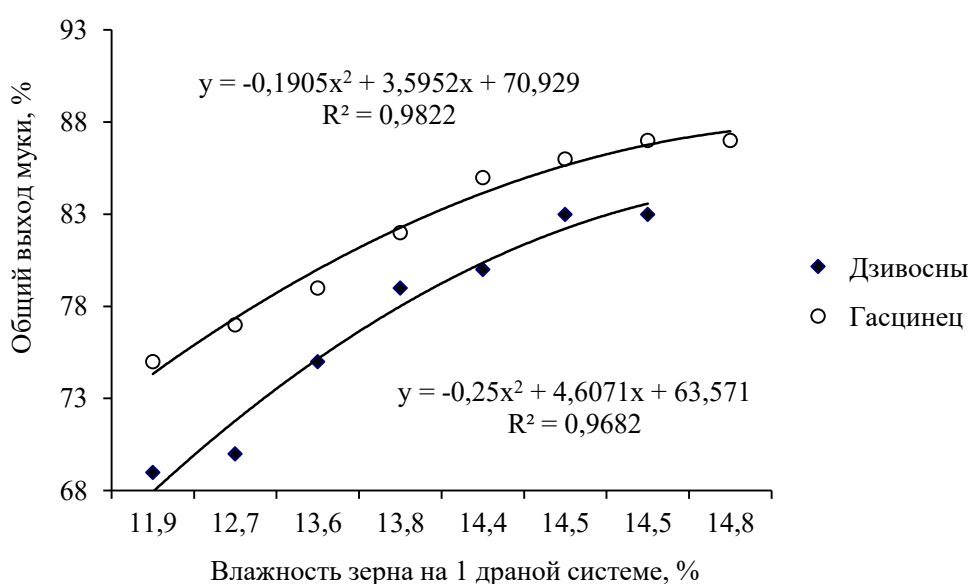


Рис. 6. Зависимость общего выхода ячменной муки от влажности зерна на I драной системе

Fig. 6. Dependence of the total yield of barley flour on grain moisture in the I-threshing system

Полученные в ходе эксперимента данные свидетельствуют о том, что дальнейшее увлажнение зерна нецелесообразно, потому что изменение значений показателей качества, характеризующих эффективность гидротермической обработки, незначительны и практически не оказывают влияния на выход и качество готовой продукции.

Для выбора оптимальных режимов ГТО зерна ячменя использовали полный факторный эксперимент ПФЭ 2ⁿ с применением центрально-композиционного рототабельного планирования.

Составлена матрица ПФЭ 2², в которой в качестве независимых параметров выбраны время отволаживания (τ) и влажность зерна на первой драной системе (w_3), а параметры оптимизации – извлечение (И) и коэффициент К (извлечение/зольность) [23].

Уровни варьирования и центр эксперимента выбраны согласно рекомендациям [24, 25].

Интервал варьирования факторов принят из условия возможной области колебания изучаемых факторов (w_3 – 12–15 %, τ – 3–6 ч). Матрица ПФЭ 2² и извлечения круподуновых продуктов на первой ($I_{I \text{ др.с.}}$) и второй ($I_{II \text{ др.с.}}$) драных системах приведены в таблице 1.

Проведенный математический анализ позволил получить уравнения зависимости функции отклика от переменных факторов. Все члены уравнения дали значимые эффекты. Уравнения зависимости функции отклика от переменных факторов имели следующий вид:

– при стекловидности ячменя менее 25 % и $r = 0,98$:

$$I = -828,758 + 118,854 w_3 + 37,496 \tau - 3,973 w_3^2 - 2,198 w_3 \tau - 0,985 \tau^2; \quad (1)$$

– при стекловидности ячменя более 25 % и $r = 0,98$:

$$I = -58,481 + 12,591 w_3 + 8,575 \tau - 0,436 w_3^2 - 0,869 \tau^2. \quad (2)$$

Табл. 1. Матрица планирования ГТО ячменя и извлечения круподуновых продуктов на первой и второй драных системах

Table 1. Planning matrix for GTO barley and extraction of coarse-grained products on the first and second threshing systems

№ опы-та	Факторы				Параметр оптимизации	
	w_3 (влажность, %)		τ (время, ч)		И (извлечение, %)	
	кодированные значения	натуральные значения	кодированные значения	натуральные значения	$I_{I \text{ др.с.}}$	$I_{II \text{ др.с.}}$
1	-1	12,0	-1	3,0	45,6	47,6
2	+1	15,0	-1	3,0	52,4	51,4
3	-1	12,0	+1	6,0	47,8	49,8
4	+1	15,0	+1	6,0	46,0	52,4
5	$-\alpha$	11,4	0	4,5	42,0	49,6
6	$+\alpha$	15,6	0	4,5	47,2	52,0
7	0	13,5	$-\alpha$	2,4	52,1	46,8
8	0	13,5	$+\alpha$	6,6	51,6	50,9
9	0	13,5	0	4,5	53,6	53,0
10	0	13,5	0	4,5	53,6	53,0

На рисунке 7 представлены графики оптимизации результатов опытов, обработанные с использованием программы Statgraf.

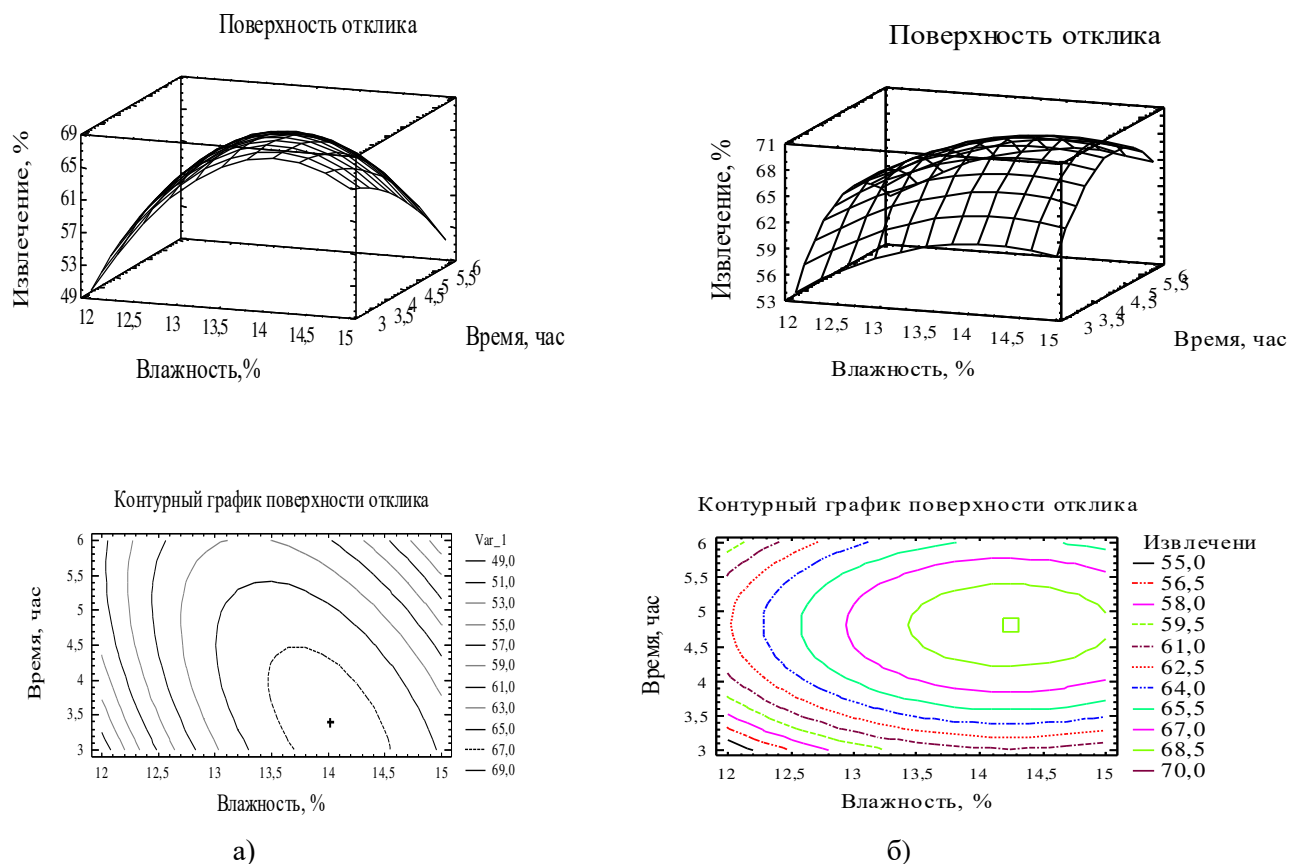


Рис. 7. Оптимизация гидротермической обработки ячменя со стекловидностью менее 25 % (а) и более 25 % (б)

Fig. 7. Optimization of hydrothermal processing of barley with a glassiness of less than 25 % (a) and more than 25 % (b)

Видно, что на трехмерных графиках поверхностей отклика вершины холмов соответствуют влажности зерна 14,0 и 14,5 % и времени отволаживания 3,5 и 4,5 ч соответственно.

Для более детального анализа области глобального максимума на рисунке 7 представлены также контурные графики, где видно, что наибольшее значение коэффициента К (извлечение/зольность) наблюдается при влажности зерна в пределах $(14,25 \pm 0,25)$ % и длительности отволаживания – (4 ± 1) ч.

Таким образом, в первые минуты зерно поглощает (4 ± 1) % вводимой влаги. Затем каждый час, в течение 3-х часов, идет поглощение около 30 % вводимой влаги. После отволаживания, равного 3 ч 20 мин, в течение некоторого периода (в данном эксперименте – 1 ч) влажность ячменя, достигая оптимального значения (14,5 %), остается постоянной либо изменяется незначительно. Подобная тенденция объясняется различным характером структуры эндосперма исследуемых образцов ячменя.

Отмечено, что влажность зерна перед I драной системой зависит от условий и времени отволаживания. Интенсивность проникновения влаги внутрь зерна (гидратации биополимеров) при увеличении длительности процесса ГТО увеличивается до определенного момента.

Анализ экспериментальных данных позволил предложить следующие режимы холодного кондиционирования ячменя: при стекловидности зерна менее 25 % влажность на I драной

системе должна составлять 14,0–14,5 %, длительность отволаживания – 3–4 часа; при стекловидности зерна более 25 % влажность на I драной системе должна составлять 14,5–15,0 %, длительность отволаживания – 4–5 часа.

В связи с отсутствием данных по извлечению и зольности ячменной муки проводили опыты по определению оптимальных режимов измельчения зерна ячменя. Для этого зерно ячменя подвергали гидротермической обработке по режимам, рекомендуемым нами выше. Замечено, что в процессе отволаживания зерна в увлажненном зерне на первом этапе происходит перераспределение влаги. При этом оболочки, несколько подсушиваясь, теряют свою эластичность и, следовательно, в процессе измельчения зерна на вальцовых станках будут дробиться. Для устранения этого процесса авторы [25] рекомендуют зерно перед I драной системой увлажнять на $(0,4 \pm 0,1) \%$ в течение (25 ± 5) мин. Из-за высокой пленчатости зерна ячменя увеличение эластичности пленок играет большую роль при размоле ячменя, поэтому при определении оптимальных режимов ГТО зерна ячменя включено дополнительное отволаживание зерна перед I драной системой. В результате этого вновь добавленная вода увлажняет только оболочки зерна, повышая их эластичность.

Размол зерна ячменя проводился при разных извлечениях круподуновых продуктов на драных системах: на I-й – 25–30 %, II-й – 50–55 % и III-й – 35–40 %. Определялось извлечение круподуновых продуктов и ячменной муки и их зольность на каждой системе помола. Далее оценивалось извлечение и зольность ячменной муки. Составленный количественно-качественный баланс круподуновых продуктов, извлекаемых на I–III драных системах (таблица 2), позволил установить, что общее количество извлеченных на этих системах продуктов составило 80,3 % при средней зольности 1,13 %.

Табл. 2. Количественно-качественный баланс круподуновых продуктов, извлекаемых на I–III драных системах

Table 2. Quantitative and qualitative balance of coarse-grained products extracted from I–III systems

Продукты	Системы процесса помола					
	I драная		II драная		III драная	
	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
Крупная крупка	3,7	1,39	-	-	-	-
Средняя крупка	5,6	1,21	2,3	1,34	-	-
Мелкая крупка	5,4	0,98	1,4	1,25	0,8	1,38
Дунст	3,3	0,85	1,8	1,19	0,6	1,26
Мука	10,1	0,75	32,2	1,13	13,1	1,20
Итого	28,1	1,02	37,7	1,15	14,5	1,21

В таблице 3 представлены уравнения аппроксимации и коэффициенты корреляционной связи между зольностью (x) и извлечением (Y) ячменной муки на драных системах.

Табл. 3. Влияние величины извлечения на зольность ячменной муки**Table 3.** Effect of extraction on the ash content of barley flour

Сорт	Система процесса	Уравнение аппроксимации	Коэффициент корреляции, r
Гасцинец	I др.	$Y = 0,0015x^2 - 0,0764x + 1,8753$	-0,72
	II др.	$Y = 0,0004x^2 - 0,0208x + 1,3628$	-0,79
	III др.	$Y = 0,0009x^2 - 0,0275x + 1,3715$	-0,69
Дзивосны	I др.	$Y = 0,0004x^2 - 0,0342x + 1,6339$	-0,91
	II др.	$Y = 0,0003x^2 - 0,0166x + 1,3459$	-0,92
	III др.	$Y = 0,0005x^2 - 0,0202x + 1,4217$	-0,89

Замечено, что определяющее влияние на извлечение и зольность ячменной муки оказывают сортовые особенности зерна и его стекловидность, а характер изменения всех исследуемых характеристик на I, II и III драных системах одинаков.

Проведен промышленный помол ячменя, в результате которого получено два потока муки с общим выходом 87 %. Выход муки 1-го потока составил 55 %, а 2-го потока – 32 %. Первый поток классифицировали как муку особую, а второй поток, как муку обдирную. Результаты лабораторных и промышленных помолов показали также, что возможно получение мелкодисперсной муки при изменении технологической схемы на этапе сортирования круподуновых продуктов на I и II драных системах. В результате помола зерна ячменя, наряду с особой и обдирной мукой, на I и II драных системах проходом сита получена низкозольная мука, классифицируемая в дальнейшем как кондитерская ячменная мука. Химический состав муки из зерна ячменя представлен в таблице 4.

Табл. 4. Химический состав муки из зерна ячменя**Table 4.** Chemical composition of barley flour

Сорт муки	Содержание, %				
	белок	жир	сахара	крахмал	клетчатка
Кондитерская	8,5	1,0	0,7	80,0	0,8
Особая	12,0	1,1	0,9	75,6	1,1
Обдирная	12,8	1,5	1,1	72,7	1,3

На способ получения ячменной муки разных сортов получен патент №16079 Республики Беларусь, предложены технологические схемы и утверждены технологические регламенты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучено влияние гидротермической обработки на зерно ячменя.

Установлено, что зерно ячменя при гидротермической обработке ведет себя аналогично зерну пшеницы и ржи. Выявлено, что кинетика влагопоглощения ячменя при ГТО, как метода увеличения пищевой ценности и выхода муки, зависит от стекловидности зерна.

Установлены оптимальные режимы измельчения зерна ячменя: для I драной системы извлечение – в пределах 10–14 %, для II драной системы – 32–40 %, а для III драной системы – 13–15 %.

На основании анализа результатов исследований рекомендованы оптимальные режимы ГТО и измельчения при помоле зерна ячменя, применение которых позволяет сократить драной процесс и улучшить качество получаемой муки.

Разработаны и утверждены следующие ТНПА: мука хлебопекарная из зерна ячменя, мука кондитерская из зерна ячменя. Получен патент Республики Беларусь на способ получения ячменной муки.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Егоров, Г. А. Технологические свойства зерна. – М.: Агропромиздат, 1985. – 333 с.
- 2 Пищевая ценность крупяных продуктов из ячменя / М. К. Хотетовская, И. М. Скурихин, Е. М. Мельников [и др.] // Изв. вузов. пищ. технол., 1987. – №3. – С. 54.
- 3 Казарьян, Ш. А. Ячмень в мукомольном и хлебопекарном отношении. – М.: Колос, 1965. – 159 с.
- 4 Швецова, И. А. Хранение и переработка зерна крупяных культур: Обзор. информ. / И. А. Швецова, Е. Н. Гаврилова // ЦНИИТЭИ Минзага СССР. – М.: 1972. – № 5. – 25 с.
- 5 Швецова, И. А. Производство муки из зерна и семян крупяных и нетрадиционных культур / И. А. Швецова, Е. Н. Гаврилов, И. В. Кузьменкова // Обзорн. информ. Серия: библиотечка для специалиста мукомольно-крупяной пром-сти. – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1994. – 55 с.
- 6 Егоров, Г. А. Технология муки и крупы: учебник / Г. А. Егоров, Т. П. Петренко. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 1999. – 366 с.
- 7 Богомолов, А. В. Использование муки из зерновых смесей в производстве мучных кондитерских изделий / А. В. Богомолов, Ю. В. Чудик, О. Н. Сафонова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – №2. – С. 34–37.
- 8 Правила организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях. Части 1, 2. – М.: ВНПО «Зернопродукт», 1990, ч. 1 – 81 с., ч. 2 – 97 с.
- 9 Чурусов, К. А. Зависимость эффективности шелушения зерна ячменя от дифференцированного распределения в нем влаги: Обзорн. информ. / К. А. Чурусов, Е. М. Мельников, Н. А. Бушкова // ЦНИИТЭИ Минзага СССР. – М.: 1977. – 83 с.
- 10 Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах. – Минск: ВНПО «Промзернопроект», 2010. – 201 с.
- 11 Мельников, Е. М. Ячменная мука для детского питания / Е. М. Мельников, М. М. Михайлов // Производство муки из зерна и семян крупяных и нетрадиционных культур: тез. докл. юбил. науч. конф., Барнаул, 1995 г./ Барнаульский политех. ин-т. – Барнаул, 1995. – С. 42.
- 12 Цыбикова, Г. Ц. Разработка ресурсосберегающей технологии переработки ячменя для продовольственных целей / Г. Ц. Цыбикова, Т. С. Козлова, Л. В. Сновицкая // Хранение и переработка сельхозсырья, 2003. – № 8. – С. 135–137.
- 13 Сновицкая, Д. В. Технология получения термообработанной ячменной муки / Л. В. Сновицкая, Г. Ц. Цыбикова, Т. С. Козлова // Юбилейная научн. конф., посвященная 80-летию спец-ти «Технология хранения и переработки зерна», 22–23 октября 2002: Сб. ст. – М., МТИПП, 2002. – С. 135–136.
- 14 Федорченко, С. Ф. Изменение свободных липидов перловой крупы при гидротермической обработке ячменя: Обзор. информ. / С. Ф. Федорченко, В. Г. Байков, Н. И. Соседов // ЦНИИТЭИ Минзага СССР. – М., 1973. – 22 с.
- 15 Анисимова, Л. В. Технологические свойства зерна ячменя при переработке в крупу и муку / Л. В. Анисимова, А. А. Выборнов // Ползуновский Вестник, 2013. – №4. – С. 113–155.
- 16 Тырсин, Ю. А. Технология продуктов функционального питания в форме крупяных каш быстрого приготовления с растительными добавками / Ю. А. Тырсин, А. Д. Поверин // Хранение и переработка с.-х. сырья, 2003. – № 4. – С. 69.
- 17 Бузоверов, С. Ю. Влияние степени увлажнения зерна в процессе гидротермической обработки на качество и выход муки / С. Ю. Бузоверов, В. И. Лобанов, Н. С. Протасов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2018. – № 1 (159). – С. 172–176.
- 18 Афанасьев, В. А. Влияние инфракрасного нагрева на микроструктуру зерна ячменя / В. А. Афанасьев, Г. А. Егоров // Тр. ВНИИ КП. 1983, вып. 32. – С. 1–6.
- 19 Тырсин, Ю. А. Технология продуктов функционального питания в форме крупяных каш быстрого приготовления с растительными добавками / Ю. А. Тырсин, А. Д. Поверин // Хранение и переработка с.-х. сырья, 2003. – № 4. – С. 69.
- 20 Магомедов, Г. О. Производство и исследование полуфабрикатов экструдирования из нешелушенных зерновых культур / Г. О. Магомедов, А. Ф. Брехов, А. Я. Олейникова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья, 2003. – № 2. – С. 54–57.
- 21 Бейня, В. А. Государственный реестр сортов. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. – 279 с.
- 22 Мухин, С. П. Оценка крупности семян для создания машин сельскохозяйственного комплекса // Зерновые культуры, 1999. – № 4. – С.8–9.
- 23 Егоров, Г. А. Управление технологическими свойствами зерна. – Воронеж: Воронеж. госуд. ун-тет, 2000. – 348 с.
- 24 Рукшан, Л. В. Взаимодействие воды с зерном / Л. В. Рукшан, О. Д. Рябая, Л. Н. Данилова // Scientific Practical Conference «21th Century Together with Science and Practice» / Scientific Practical Conference Reports. Latvia University of Agriculture, Jelgava, LVA, 2000, С. 9–13.
- 25 Рукшан, Л. В. Эффект гидротермической обработки ячменя / Л. В. Рукшан, Л. Н. Данилова // Современные технологии переработки животноводческого сырья в обеспечении здорового питания: наука, образование и

производство: Материалы науч.-техн. конф., Воронеж, 1–4 октября 2003 г. / Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2003. – С. 509–516.

Поступила в редакцию 25.06.2025 г.

ОБ АВТОРАХ:

Людмила Викторовна Рукшан, кандидат технических наук, доцент, научный консультант, ЗАО «ЭкомолАгро», e-mail: rukshanludmila@yandex.by.

Людмила Николаевна Евдохова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры уголовного процесса и криминалистики, Могилевский институт Министерства внутренних дел Республики Беларусь, e-mail: evdokhova@yandex.ru.

Вячеслав Алексеевич Шаршунов, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры техносферной безопасности и общей физики, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий.

ABOUT AUTHORS:

Lyudmila V. Rukshan, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Consultant, JSC EcomolAgro, e-mail: rukshanludmila@yandex.by.

Lyudmila N. Evdokhova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Criminal Procedure and Criminalistics, Mogilev Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Belarus, e-mail: evdokhova@yandex.ru.

Vyacheslav A. Sharshunov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, Professor of the Department of Technosphere Safety and General Physics, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies.