

УДК 664.733.1

Поступила в редакцию 09.04.2026

Received 09.04.2026

Л. В. Шустова, Е. Н. Урбанчик*Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,
г. Могилев, Республика Беларусь***АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ПЕРЕРАБОТКИ
ПРОРОЩЕННОЙ ЗЕЛЕННОЙ ГРЕЧКИ В СОРТОВУЮ МУКУ**

Аннотация. В статье представлено аналитическое обоснование перспектив переработки пророщенной зеленой гречки в сортовую муку. Проведен анализ мирового и отечественного производства гречихи, показавший расширение сырьевой базы в Республике Беларусь. Систематизированы биохимические и структурно-механические изменения, происходящие в зерне при проращивании. Рассмотрены существующие методы гидротермической обработки гречихи и обоснована нецелесообразность их прямого применения к пророщенной зеленой гречке из-за риска инактивации ферментов и снижения пищевой ценности. На основе анализа технологических схем сортового помола пророщенной пшеницы и гречневой крупы предложен подход к адаптации процесса измельчения для пророщенной зеленой гречки. Установлено, что систематические исследования в области сортового помола пророщенной зеленой гречки отсутствуют, что подтверждает актуальность и научную новизну представленной работы.

Ключевые слова: зерно; зеленая гречка; проращивание; сортовой помол; выход муки; структурно-механические свойства; гидротермическая обработка; холодное кондиционирование; гречневая мука.

L. V. Shustova, E. N. Urbanchik*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies,
Mogilev, Republic of Belarus***ANALYTICAL SUBSTANTIATION OF THE PROSPECTS OF PROCESSING
SPROUTED GREEN BUCKWHEAT INTO GRADE FLOUR**

Abstract. This article presents an analytical substantiation of the prospects for processing sprouted green buckwheat into high-quality flour. An analysis of global and domestic buckwheat production revealed an expansion of the raw material base in the Republic of Belarus. The biochemical and structural-mechanical changes occurring in the grain during germination are systematized. Existing methods of hydrothermal processing of buckwheat are examined, and the inadvisability of their direct application to sprouted green buckwheat due to the risk of enzyme inactivation and a decrease in nutritional value is substantiated. Based on an analysis of process flow charts for the varietal milling of sprouted wheat and buckwheat, an approach to adapting the milling process for sprouted green buckwheat is proposed. It is established that systematic research in the field of varietal milling of sprouted green buckwheat is lacking, confirming the relevance and scientific novelty of this work.

Keywords: grain; green buckwheat; germination; varietal milling; flour yield; structural and mechanical properties; hydrothermal treatment; cold conditioning; buckwheat flour.

Введение. Гречиха обыкновенная (*Fagopyrum esculentum*) занимает особое место среди зерновых культур благодаря уникальному комплексу биологически активных веществ и отсутствию глютена, что делает ее ценным сырьем для производства продуктов здорового питания [1, 2]. Высокая пищевая ценность гречихи обусловлена сбалансированным аминокислотным составом белков, значительным содержанием пищевых волокон, макро- и микроэлементов, а также флавоноидов, среди которых доминирует рутин, обладающий антиоксидантными и капилляроукрепляющими свойствами [3, 4].

Степень реализации биологического потенциала гречихи напрямую зависит от способа ее технологической переработки. Традиционное производство гречневой крупы (ядрицы)

включает обязательный этап гидротермической обработки (ГТО) – пропаривание зерна под давлением, которое облегчает шелушение и сокращает время варки, но приводит к денатурации белков, инактивации ферментов и существенным потерям термолабильных витаминов и флавоноидов [5, 6]. Полученная таким образом крупа теряет способность к проращиванию.

Альтернативой выступает крупа гречневая ядрица непропаренная (зеленая гречка), получаемая путем механического шелушения без предварительной термообработки. Такое щадящее воздействие позволяет сохранить жизнеспособность зародыша, нативный цвет эндосперма и весь комплекс нативных биологически активных соединений [3, 7]. Зеленая гречка служит идеальным сырьем для проращивания – биотехнологического приема, инициирующего активацию собственных ферментных систем зерна.

Проращивание, как показано в многочисленных исследованиях ученых [8, 9, 10], сопровождается глубокими биохимическими и структурными изменениями [11, 12].

Наиболее перспективным направлением использования пророщенного зерна представляется его переработка в муку. При этом различают два основных подхода: получение цельносмолотой муки (из всего зерна без разделения на фракции) и сортовой муки (с разделением продуктов помола на фракции, различающиеся по гранулометрическому составу и химическому составу). Сортовой помол позволяет получить муку с заданными технологическими свойствами, однако в доступной научно-технической литературе систематические исследования, объединяющие проращивание зеленой гречки с последующим сортовом помолом, практически отсутствуют.

Цель представленной работы – систематизация современных научных и технологических подходов к получению сортовой муки из пророщенной зеленой гречки.

Задачи исследования:

- 1) провести анализ состояния и перспектив производства гречихи, как сырьевой базы для получения муки из пророщенного зерна;
- 2) изучить модификацию технологических, биохимических и структурно-механических свойств зеленой гречки в процессе проращивания;
- 3) обосновать параметры гидротермической обработки пророщенного зерна как этапа подготовки к измельчению, обеспечивающего сохранение пищевой ценности;
- 4) провести анализ существующих технологических схем сортового помола и определить возможности их адаптации с учетом специфических свойств пророщенной зеленой гречки.

Материалы и методы исследований. Методологическая основа работы базируется на системном подходе к анализу научно-технической литературы, патентных источников и нормативно-технической документации, регламентирующей процессы гидротермической обработки и помола зерновых культур. Информационной базой послужили рецензируемые научные статьи в отечественных и зарубежных изданиях за период 2001–2026 гг., данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) за 2014–2024 гг., материалы патентных исследований, технические кодексы установившейся практики, монографические труды и диссертационные исследования. На основе проведенного анализа разработана структурная схема переработки пророщенной зеленой гречки в сортовую муку, интегрирующая этапы подготовки сырья, щадящей гидротермической обработки, драного и размольного процессов с формированием сортов муки.

Результаты исследований и их об- суждение. Выращивание гречихи является актуальной и стратегически значимой направленностью агропромышленного комплекса многих стран, что обусловлено высокой пищевой ценностью этой культуры, ее диетическими свойствами и ролью в севообороте. Анализ географической структуры мирового производства показывает, что культура имеет четко выраженную зональную специализацию. В период с 2014 по 2024 гг. около 61,4 % мирового объема гречихи выращивается в Европе, 30,1 % – в Азии, 7,5 % – в Америке, и лишь 1 %

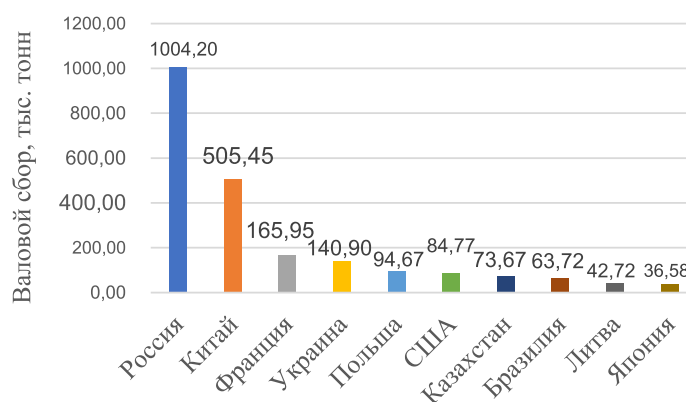


Рис. 1. Крупнейшие страны-производители гречихи за период с 2014 по 2024 гг.

Fig. 1. Largest buckwheat producing countries for the period 2014–2024

приходится на Африку [13]. Такая концентрация обусловлена исторически сложившимися традициями потребления, а также климатическими особенностями. Гречиха является культурой умеренного пояса, чувствительной к засухам и высоким температурам, что делает ее наиболее продуктивной в регионах с наиболее высокой влажностью и относительно прохладным вегетационным периодом [14].

Лидером по производству гречихи является Россия. За период с 2014 по 2024 гг. средний годовой объем производства в стране составил 1004,20 тыс. тонн, что значительно превышает показатели других стран-производителей. Для сравнения, в Китае этот показатель составил 505,45 тыс. тонн, во Франции — 165,95 тыс. тонн, а в Украине — 140,9 тыс. тонн. Высокие объемы валового сбора в России обеспечиваются как значительными посевными площадями, так и работой по адаптации сортов к различным почвенно-климатическим условиям страны.

Производство гречихи в Республике Беларусь в период с 2014 по 2024 гг. характеризовалось разнонаправленными тенденциями, связанными с изменением структуры посевных площадей, климатическими условиями и экономическими факторами.

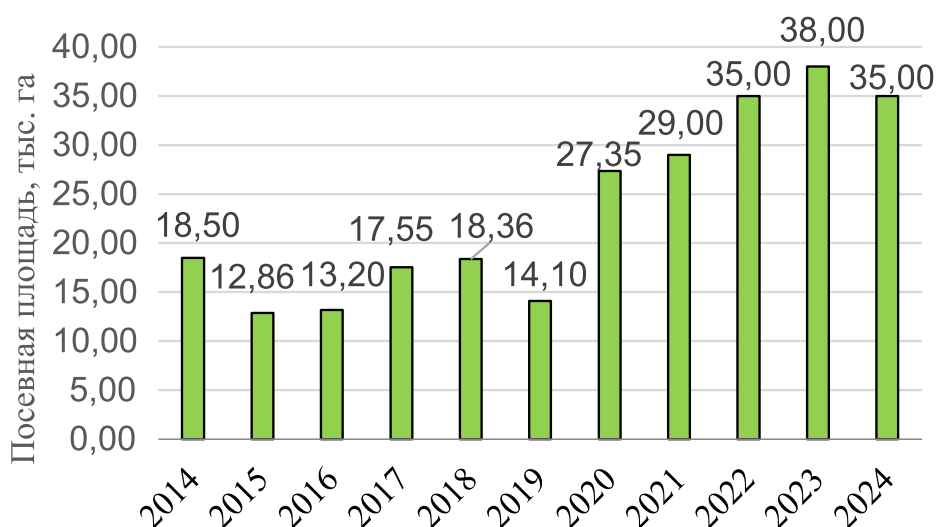


Рис. 2. Посевная площадь гречихи в Республике Беларусь в период с 2014 по 2024 гг., тыс. га
Fig. 2. Buckwheat sown area in the Republic of Belarus from 2014 to 2024, thousand hectares

В 2014 году посевная площадь составляла 18,5 тыс. га, а к 2024 году она увеличилась до 35,0 тыс. га. При этом максимальное значение было достигнуто в 2023 году — 38,0 тыс. га. Темп роста посевных площадей за период составил 189,2 %. Этот рост носил нелинейный характер: после спада в 2015–2016 гг. (до 12,86–13,2 тыс. га) с 2017 года началось устойчивое расширение, особенно резко проявившееся в 2020–2023 гг.

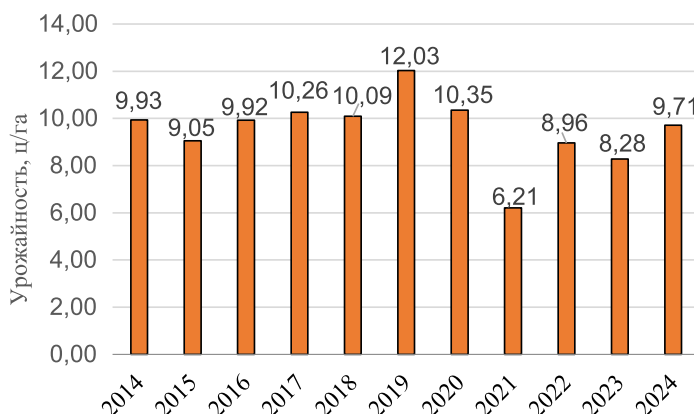


Рис. 3. Урожайность гречихи в Республике Беларусь в период с 2014 по 2024 гг., ц/га
Fig. 3. Buckwheat yield in the Republic of Belarus from 2014 to 2024, c/ha

Урожайность гречихи в Беларуси демонстрирует значительные колебания, что указывает на сильную зависимость культуры от погодных условий вегетационного периода. Наивысший показатель урожайности зафиксирован в 2019 году – 12,03 ц/га. Однако в последующие годы произошло резкое снижение: в 2021 году урожайность упала до минимальных 6,21 ц/га, что более чем в полтора раза ниже среднего многолетнего уровня. К 2024 году показатель восстановился до 9,71 ц/га, однако темп роста урожайности к уровню 2014 года составил 97,8 %, что свидетельствует о ее фактической стагнации. Средняя урожайность составила 9,53 ц/га, что можно рассматривать как среднереспубликанский норматив, требующий повышения за счет внедрения более адаптированных сортов и совершенствования агротехники.

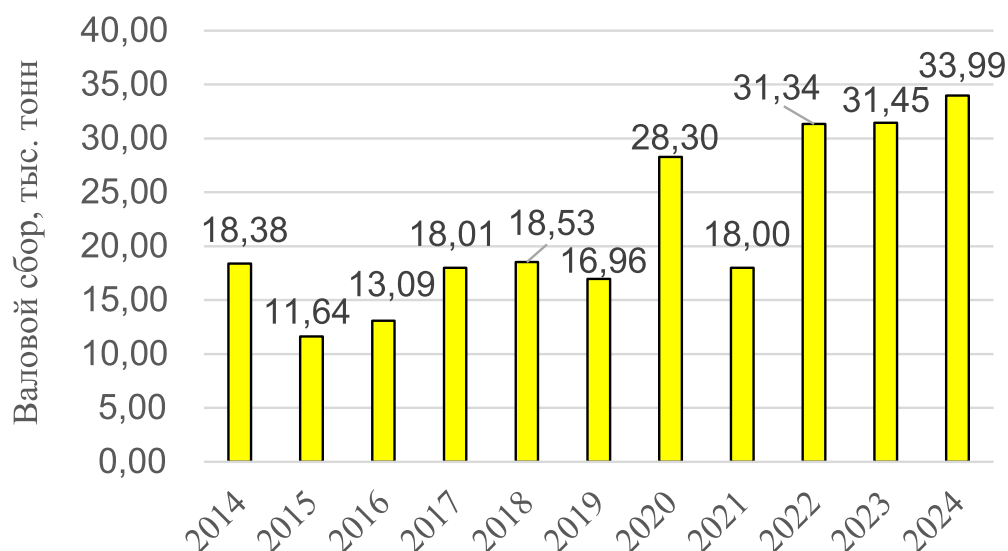


Рис. 4. Валовой сбор гречихи в Республике Беларусь в период с 2014 по 2024 гг., тыс. тонн
Fig. 4. Gross buckwheat harvest in the Republic of Belarus from 2014 to 2024, thousand tons

Валовой сбор гречихи в Беларуси, несмотря на колебания урожайности, продемонстрировал устойчивый рост. В 2014 году было собрано 18,38 тыс. тонн, а в 2024 году – 33,99 тыс. тонн. Темп роста валового сбора составил 185 %, что практически соответствует темпам роста посевных площадей. Особенно заметен скачок объемов производства в 2020–2024 гг., когда сбор превысил 28 тыс. тонн, а в 2022–2024 гг. стабильно держался выше 31 тыс. тонн. Примечательно, что рост валового сбора происходил даже в годы с низкой урожайностью (например, 2021 год – 18,0 тыс. тонн при урожайности 6,21 ц/га), что достигалось исключительно за счет расширения посевов.

Таким образом, анализ производства гречихи, особенно в Республике Беларусь, свидетельствует о расширении сырьевой базы, что создает предпосылки для углубленной переработки, включая получение муки из пророщенного зерна. Однако для реализации этого направления необходимо понимание того, как проращивание изменяет технологические свойства зерна по сравнению с нативным состоянием.

Технологические свойства зерна играют ключевую роль в мукомольной промышленности и базируются на особенностях анатомического строения, микроструктуры, физико-химических, структурно-механических и гидротермических характеристик, а также химического состава зерновки. К числу важнейших показателей, определяющих мукомольные свойства, относятся зольность, натура, плотность, выравненность, масса 1000 зерен, прочность и твердость [15]. Установление закономерностей влияния этих факторов на технологические свойства зерна является первостепенной задачей при разработке новых видов сырья и технологий переработки.

Проращивание зерна, в частности зеленой гречки инициирует активизацию ферментативных систем зерна. Под действием ферментов происходит гидролиз запасных веществ: крахмал частично расщепляется до декстринов и сахаров, белки – до пептидов и аминокислот, липиды – до свободных жирных кислот [11]. На основе обзорной статьи М. Л. Зеньковой и А. В. Акулича [33] ниже представлена таблица, систематизирующая все основные изменения, происходящие в зерне злаковых культур при проращивании.

Т а б л и ц а 1. Изменения в зерне злаковых культур при проращивании
 Table 1. Changes in cereal grains during germination

Компонент / Показатель	Механизм	Условия проращивания	Количественные изменения
Ферменты			
Пептидазы (протеазы)	Синтез	24 ч – 7 дней; 15–28 °С	Увеличение
Амилазы	Синтез в алейроновом слое	2–5 дней; 20–35 °С	Увеличение
Липазы и липоксигеназы	Синтез в зародыше	2–6 дней; 16–32 °С	Повышение в 1,2–2,3 раза
Фитаза	Синтез в алейроновом слое	2–7 дней; 15–35 °С	Повышение в 3–10 раз
Эндо-β-D-глюканаза	Синтез	4 дня; 15–18 °С	Повышение в 5–8 раз
Белки			
Общее содержание белка	Увеличение	3–7 дней; 15–28 °С	Изменение в пределах ± 10 %
Свободные аминокислоты	Протеолиз запасных белков	3–5 дней; 13–28 °С	Увеличение в 5–10 раз
Незаменимые аминокислоты	Протеолиз	3–5 дней; 13–28 °С	увеличение
Растворимость белка	Частичный гидролиз	3–5 дней; 17–30 °С	Повышение в 1,2–2,0 раза
Усвояемость белка	Денатурация и гидролиз	4 дня; 30 °С	С 34 % до 55 %
Углеводы			
Крахмал	Гидролиз амилазами	3–5 дней; 25–35 °С	Снижение на 3–8 %
Усвояемость крахмала	Повреждение гранул крахмала	3 дня; 25–35 °С	Увеличение от 17 % до 36 %
Простые сахара	Продукты гидролиза крахмала	2–5 дней; 20–35 °С	Значительное увеличение
Липиды			
Общее содержание липидов	Гидролиз липазой	2–6 дней; 16–32 °С	Снижение на 8–55 %
Свободные жирные кислоты	Продукт гидролиза триглицеридов	2–6 дней; 16–32 °С	Увеличение
Пищевые волокна			
Растворимые пищевые волокна	Гидролиз нерастворимых фракций	5–7 дней; 15–30 °С	Увеличение в 3–4 раза
Нерастворимые пищевые волокна	Ферментативный гидролиз	5–7 дней; 15–30 °С	Снижение
β-глюканы	Расщепление эндо-β-D-глюканазой	4 дня; 15–48 °С	Снижение на 10–40%
Арабиноксиланы	Низкая активность эндоксиланаз	до 5–6 дней	Практически не меняется
Антинутриенты и минеральные вещества			
Фитаты (фитиновая кислота)	Активация фитазы	2–7 дней; 15–35 °С	Гидролиз на 12–68 %
Биодоступность Fe и Zn	Высвобождение из фитатных комплексов	2–7 дней; 15–35 °С	Повышение до 20–30 %
Потери минералов при замачивании	Диффузия в воду	при 30 °С	Потери до 30 %
Витамины			
Витамин С	Биосинтез	2–4 дня; 18–28 °С	до 26,13 мг/100 г
Тиамин (В ₁)	Биосинтез	4 дня; 28 °С	Увеличение в 2,6 раза

Окончание табл. 1

Компонент / Показатель	Механизм	Условия проращивания	Количественные изменения
Рибофлавин (В ₂)	Биосинтез	4–6 дней; 15–28 °С	До 0,73 мг/100 г
Фолаты (В ₉)	Биосинтез	4–6 дней; 15–25 °С	Увеличение в 4–6 раз
Пиридоксин (В ₆) Витамин Е	Биосинтез Синтез в зародыше	4 дня; 28 °С 4 дня; 15–28 °С	До 0,67 мг/100 г 4,1–4,4 мг/100 г
Биологически активные соединения			
Фенольные соединения	Синтез вторичных метаболитов	2–6 дней; 15–28 °С	Увеличение в 1,2–3,6 раза
Антиоксидантная активность	Накопление полифенолов и витамина Е	2–5 дней; 15–28 °С	Повышение в 1,2–2,9 раза
γ-аминомасляная кислота (GABA)	Декарбоксилирование глутаминовой кислоты	2–5 дней; 20–30 °С	С <2 до 7–25 мг/100 г
Структурно-механические свойства			
Структура эндосперма	Гидролиз крахмала и белков	2–7 дней; 15–35 °С	Ослабление связей между частями зерна
Водопоглощательная способность	Накопление гидрофильных соединений	2–7 дней; 15–35 °С	Повышение

Установлено, что при проращивании зеленой гречки содержание общего белка снижается, однако аминокислотный состав возрастает на 3,85 %, особенно лизин увеличивается на 30,5 %, который в исходном зерне гречихи содержится в количествах, превышающих таковые в злаках, но становится еще более доступным после протеолиза [16]. В углеводном комплексе содержание крахмала закономерно снижается на 3–8 % проращивания за счет гидролиза до сахаров. Содержание сахарозы возрастает в 3,3 раза, мальтозы – в 32,4 раза, глюкозы – в 25 раз. Главным фактором является увеличение доли легкоусвояемых углеводов и, как следствие, изменение гликемического индекса готового продукта [17, 18]. Эти изменения приводят к снижению прочности эндосперма и изменению его микроструктуры, что напрямую влияет на размолоспособность зерна.

Одним из заметных эффектов проращивания является изменение структурно-механических свойств зерна. Авторами А. Mis и S. Grundas было проведено исследование влияния процесса проращивания на твердость зерна пшеницы с использованием лабораторного теста и прибора SKCS 4100 для измерения индекса твердости (НІ) отдельных зерен. В ходе работы авторы установили, что в процессе проращивания происходит постепенное снижение твердости зерна, причем степень этого снижения напрямую зависит от уровня увлажнения. Чем выше влажность зерна (в диапазоне от 18,6 до 40,2 %), тем более выраженным становится падение показателя твердости. В среднем при проращивании твердость пшеницы снижается в 1,5 раза [19]. Таким образом, процесс дробления и измельчения становится проще, однако необходима коррекция межзавальцовых зазоров. Одновременно увеличивается водопоглощательная способность зерна вследствие разрыхления тканей и роста содержания гидрофильных соединений. Это оказывает влияние на гидротермическую обработку и режимы кондиционирования перед помолом.

Зольность пророщенной зеленой гречки может незначительно возрасти за счет перераспределения минеральных веществ и относительного уменьшения сухой массы органических компонентов. В ходе исследований Е. Н. Урбанчик, Л. В. Шустовой и А. И. Касьяновой установлено, что в процессе проращивания зеленой гречки происходит снижение ее натуры с 768 г/л до 484,6 г/л, а массы 1000 зерен – с 23,7 г до 20,7 г [20]. Масса 1000 зерен, как правило, уменьшается вследствие расходования резервных веществ на рост зародыша, а натура зерна снижается из-за увеличения объема и рыхлости структуры.

Существенные изменения происходят и в химическом составе. Повышается содержание биологически активных веществ, включая витамины группы В, антиоксиданты и фенольные соединения. Увеличивается доступность белков и минералов, снижается уровень антипитательных факторов. Для гречихи наиболее значим процесс изменения полифенольных соединений: содержание рутина – основного флавоноида гречихи – может увеличиваться в зависимости от сорта и условий проращивания, достигая максимума к 3–5 суткам [9].

Параллельно изменяется и качественный профиль флавоноидов, помимо увеличения рутина, витексина и хлорогеновой кислоты, такие соединения, как кверцетин, галангин и эллаговая кислота, синтезируются после 72 часов проращивания [21].

Содержание фитиновой кислоты в гречихе при проращивании в течение 48 часов снижается на 17–40 %. Это снижение обусловлено активацией эндогенного фермента фитазы, гидролизующего фитиновую кислоту. Уменьшение уровня фитиновой кислоты способствует повышению биодоступности железа, цинка и магния, которыми богата гречиха, превращая пророщенную зеленую гречку в ценный компонент функционального и здорового питания [22].

С точки зрения мукомольной промышленности, проращивание зеленой гречки представляет собой двойственный фактор. С одной стороны, улучшается измельчаемость зерна и функциональные свойства конечного продукта, с другой – ухудшаются некоторые показатели, такие как натура, выравненность и стабильность хранения. В связи с этим в следующем этапе проанализированы существующие методы гидротермической обработки гречихи с точки зрения их применимости к пророщенному сырью.

Переработка зерна в муку представляет собой сложный технологический процесс, включающий операции подготовки сырья, гидротермической обработки (ГТО) и собственно измельчения. В отличие от пшеницы, для гречихи не существует единого стандартизированного процесса производства муки, а выбор технологических решений существенно варьируется в зависимости от требований к качеству конечного продукта. В данном разделе систематизированы существующие подходы к ГТО и помолу гречихи с целью последующего анализа возможности их адаптации для переработки пророщенной зеленой гречки.

Эффективность измельчения гречневой крупы и качество готовой муки в значительной степени определяются режимами гидротермической обработки, направленной на разрыхление структуры эндосперма и ослабление связей между анатомическими частями зерна. Анализ литературы позволяет выделить несколько принципиально различных подходов к ГТО. Ниже представлены режимы гидротермической обработки гречихи для каждого из рассмотренных методов, систематизированные в виде таблицы.

Т а б л и ц а 2. Методы гидротермической обработки гречихи
T a b l e 2. Methods of hydrothermal treatment of buckwheat

Метод	Режим	Результат	Применимость к пророщенному зерну
Классическое пропаривание гречихи [6]	Пропаривание 0,25–0,30 МПа в течение 5 мин, конечная влажность 13,5 %	Легкое отделение плодовой оболочки от ядра	Неприменим (инактивация ферментов)
ГТО гречневой крупы [24]	Вакуумное увлажнение 0,07–0,08 МПа до влажности 22–24 %, отволаживание 3–4 часа, сушка до конечной влажности 11–12 %	Разрыхление эндосперма, низкая зольность, высокий выход, снижение энергозатрат	Требует щадящей сушки
Двухэтапное увлажнение гречихи [25]	Первое увлажнение до $22 \pm 0,2$ %, отволаживание 4 часа, второе увлажнение до $30 \pm 0,5$ %, повторное отволаживание, сушка при температуре 165–170 °С до влажности 13,5–14,0 %	Глубокое разрыхление эндосперма	Неприменим (инактивация ферментов)
Увлажнение с последующим обжариванием гречихи [26]	увлажнение до 24–30 %, отволаживание 4–8 часов, обжаривание при 160–190 °С в течение 2–3 мин	разрыхление эндосперма, ослабление связи с оболочками, высокая размолосопособность	Неприменим (инактивация ферментов)
Инфракрасное излучение гречневой крупы [27]	увлажнение до 15–16 % ИК-излучением 30–32 кВт/м ² в течение 35–40 сек.	Выход тонкоизмельченной муки до 90 %	Снижение плотности лучистого потока

Классическая технология получения гречневой крупы включает пропаривание целого зерна паром под давлением (0,25–0,30 МПа) в течение 5 минут с последующей сушкой [6]. Этот метод обеспечивает высокий выход муки (до 60–65 %), однако сопровождается существенными недостатками. Термическое воздействие приводит к денатурации белков, частичному разрушению термолабильных витаминов и флавоноидов, а также вызывает нежелательное потемнение ядра от светло-зеленого до розовато-коричневого цвета [23]. Ввиду того, что пропаривание приводит к полной инактивации ферментных систем, использование такого зерна для проращивания становится невозможным.

Альтернативный подход, предложенный Анисимовой Л. В. и соавторами [24], заключается в проведении ГТО непосредственно ядрицы (гречихи после шелушения), а не целого зерна. Процесс включает вакуумное увлажнение ядрицы при остаточном давлении 0,07–0,08 МПа до влажности 22–24 %, последующее отволаживание в течение 3–4 часов и сушку до кондиционной влажности 11–12 %. Технологический эффект заключается в разрыхлении эндосперма, что облегчает его отделение от оболочек при измельчении, снижает зольность муки и повышает ее выход. Дополнительным преимуществом является снижение энергозатрат, поскольку обработке подвергается лишь 65–70 % от исходной массы зерна.

Этими же авторами экспериментально обоснован метод [25] двухэтапного увлажнения целого зерна гречихи в шнековой вакуумной установке: первое увлажнение до 22 ($\pm 0,2$) % с 4-часовым отволаживанием, затем второе увлажнение до 30 ($\pm 0,5$) % с повторным отволаживанием и финальная сушка при температуре агента сушки 165–170 °С до влажности 13,5–14,0 %. Такой подход позволяет стабильно достигать высокой степени увлажнения, необходимого для глубокого разрыхления эндосперма.

Известен также способ, разработанный Цыбиковой Г. Ц. и соавторами [26], включающий увлажнение зерна гречихи до 24–30 %, длительное отволаживание (4–8 часов) и последующую интенсивную термообработку (обжаривание) при 160–190 °С в течение 2–3 минут. За счет внутреннего парообразования происходит разрыхление эндосперма и ослабление его связи с оболочками, что облегчает измельчение и улучшает отделение оболочечных частиц.

Принципиально иной подход предложен Кирдяшкиным В. В., Кандроковым Р. Х. и соавторами [27], которые рекомендуют обрабатывать готовую гречневую крупу (ядрицу) инфракрасным излучением. Процесс включает увлажнение крупы до влажности 15–16 % с последующей обработкой ИК-излучением плотностью лучистого потока 30–32 кВт/м² в течение 35–40 секунд. В результате крупа нагревается до 125–130 °С, а ее насыпная плотность (натура) снижается в 3,5 раза (с 1,93 до 0,55 кг/м³), что свидетельствует об интенсивном разрыхлении структуры эндосперма за счет внутреннего парообразования. Технологический эффект данного метода заключается в резком снижении энергозатрат на последующее измельчение и возможности получения до 90 % тонкоизмельченной муки (проход через сито 118 мкм) за три пропуска через штифтовой дезинтегратор. Благодаря минимальному времени термического воздействия в готовой муке максимально сохраняются витамины и другие ценные вещества.

Представленные методы ГТО разработаны для нативного (непророщенного) зерна и крупы. Их основная цель – разрыхление эндосперма и ослабление связей между анатомическими частями зерна для облегчения измельчения и повышения выхода муки. В случае пророщенной зеленой гречки ключевые структурные изменения эндосперма уже произошли в ходе ферментативной активации. Как было показано в предыдущем разделе, под действием гидролитических ферментов происходит частичная деструкция крахмала и белков, снижение прочности зерна и увеличение его рыхлости. Необходимость в интенсивной гидротермической обработке, направленной на разрыхление эндосперма нецелесообразно. Также применение высокотемпературных режимов (пропаривание, обжаривание, длительная сушка) для пророщенного зерна может привести к дополнительной денатурации нативных белков, инактивации ферментов, разрушению термолабильных витаминов и флавоноидов (включая рутин), накопление которых является одним из главных преимуществ проращивания.

Систематические исследования, объединяющие проращивание и последующий сортовой помол зеленой гречки, в доступной научно-технической литературе отсутствуют. На данном этапе проанализирован опыт переработки пророщенного зерна других культур (преимущественно пшеницы) и крупы гречневой, как наиболее близкий аналог.

Опыт переработки пророщенной пшеницы, описанный Е. Н. Урбанчик, А. К. Жумаевой и А. О. Бекбусиновой [28], имеет принципиальное значение для данного исследования. Помол осуществлялся на лабораторной мельнице LabMill (Chopin Technologies, Франция) с использованием технологической схемы, включающей две драные системы, одну шлифовальную и две размольные системы при длине валцов 100 мм и диаметре 80 мм. Поверхность валцов рифленая для драных систем и микрошероховатая для размольных систем. Скорость быстровращающегося вальца варьировалась в диапазоне 400–600 об/мин, медленновращающегося – 200–300 об/мин. Межвальцовый зазор для 1-й драной системы составил 0,7 мм, для 2-й драной системы – 0,1 мм, для шлифовочной и обеих размольных систем – 0,03 мм.

Авторами установлено, что общий выход муки из пророщенного зерна пшеницы при сортовом помоле составил 68,7 %, что на 2,1 % выше, чем из нативного зерна. Важнейшим результатом является доказанная возможность разделения продуктов помола на три сорта муки (высший, первый, второй) с соответствующими показателями белизны и зольности. Это подтверждает технологическую осуществимость и экономическую целесообразность сортового помола для пророщенного зерна.

Однако прямое перенесение этих результатов на пророщенную зеленую гречку невозможно ввиду различной морфологии зерна, разного характера распределения питательных веществ по анатомическим частям, специфики ферментных систем.

Техническим кодексом установившейся практики 293–2010 (02150) «Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах» [29] предусмотрены два основных типа помолов гречневой крупы: односортный помол (в муку «Старожитную») и многосортный помол (с выделением муки высшего, первого и второго сортов). Анализ этих схем представляет интерес как базовый уровень для сравнения при разработке технологии переработки пророщенного зерна.

При односортном 90 % помоле технологическая схема включает 4–5 драных систем, на которых осуществляется последовательное измельчение крупы с отбором муки. Режимы измельчения на I драной системе должны обеспечивать извлечение (технологический показатель, определяемый как процентное (или массовое) соотношение количества муки, полученной в результате помола и просеянной через установленные сита, к количеству зерна, израсходованного на этот помол) 35–40 % муки, на II драной системе – 55–60 % от массы продукта, поступившего на систему. допускается отбор муки гречневой высшего сорта при снижении общего выхода муки «Старожитной» на 0,18 % за каждый процент отбора муки высшего сорта и соответствующем повышении выхода кормовой мучки.

Для получения сортовой муки технологическая схема усложняется и включает три этапа. Драной процесс (3–4 системы), размольный процесс (2 системы), формирование и контроль готовой продукции. Распределение вальцово-линейной системы составляет 78–80 % на драные системы и 20–25 % на размольные системы. Величина прохода через сито № 08 из металлической сетки или № 9,3ПЧ-270 из синтетических нитей характеризует режимы измельчения. Общее извлечение на I драной системе составляет 35–40 %, на II – 50–60 %. На остальных драных системах режимы устанавливают на максимальное извлечение муки. Ориентировочный выход муки составляет: высший сорт – 40 %, первый сорт – 35 %, второй сорт – 10 %, общий выход муки – 85 %.

В сравнении с помолами пшеницы и ржи, размольный процесс гречихи имеет ряд принципиальных отличий. В пшеничных сортовых помолах обязательным элементом являются вымольные системы (для отделения эндосперма от оболочек) и шлифовочные системы (для обработки крупки), которые в гречневых помолах отсутствуют, поскольку крупа уже освобождена от оболочек.

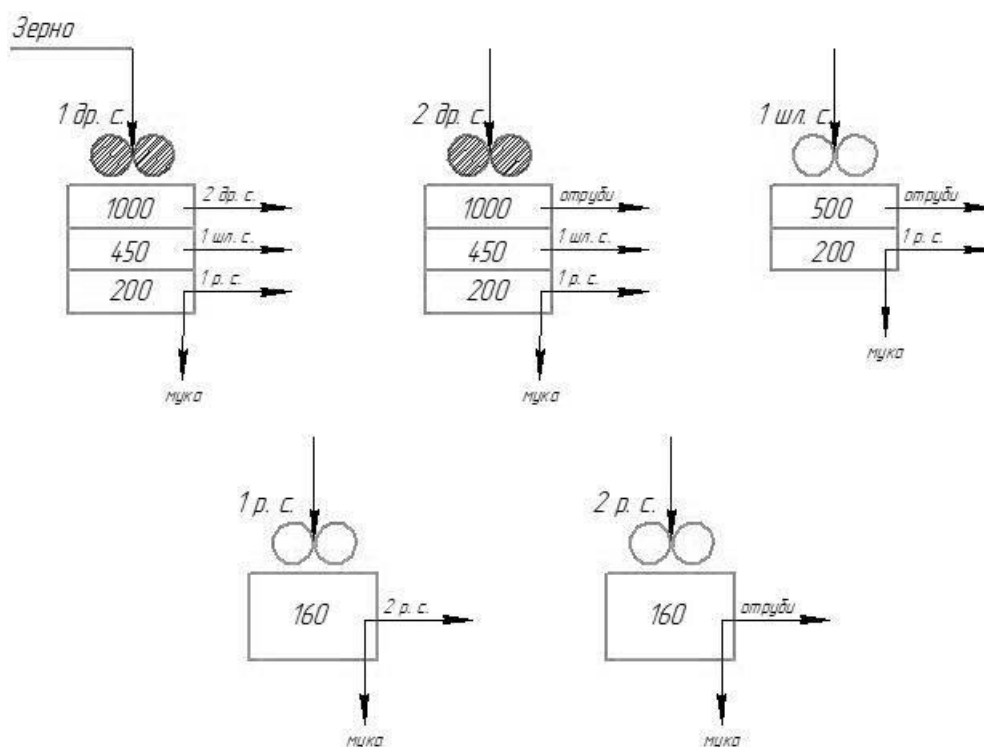


Рис. 5. Технологическая схема помола лабораторной мельницы LabMill Chopin

Fig. 5. The grinding process flow chart of the LabMill Chopin laboratory mill

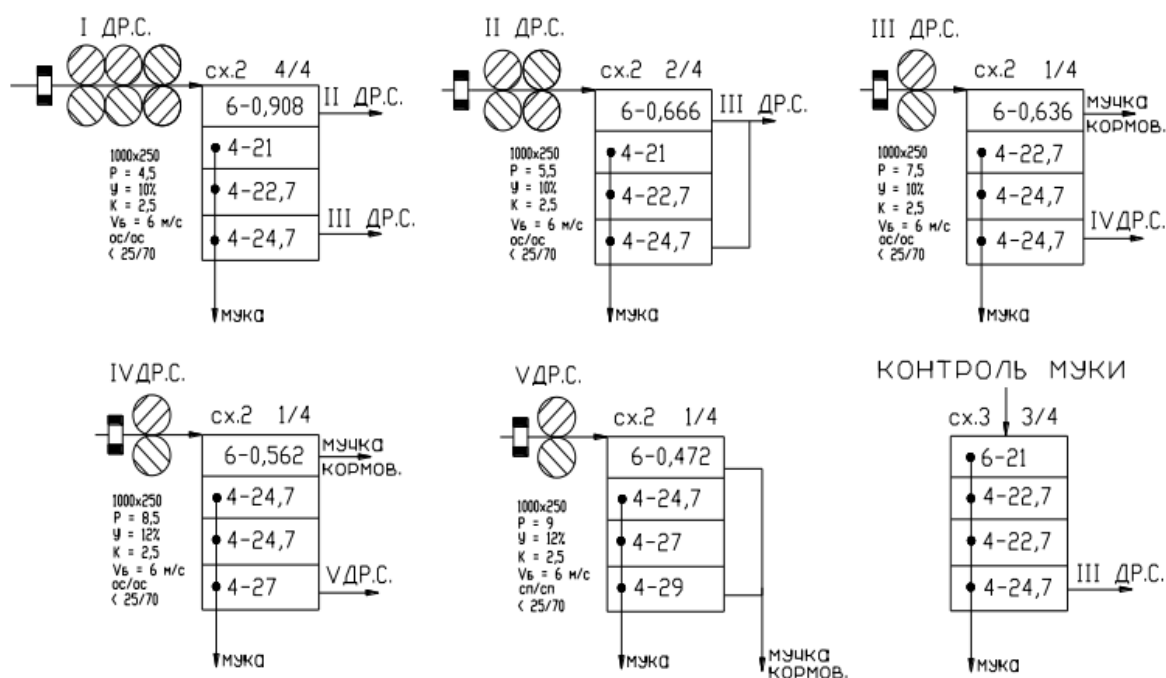


Рис. 6. Рекомендуемая схема помола гречневой крупы в муку гречневую «Старожитную»
 Fig. 6. Recommended method for grinding buckwheat groats into “Starozhitnaya” buckwheat flour

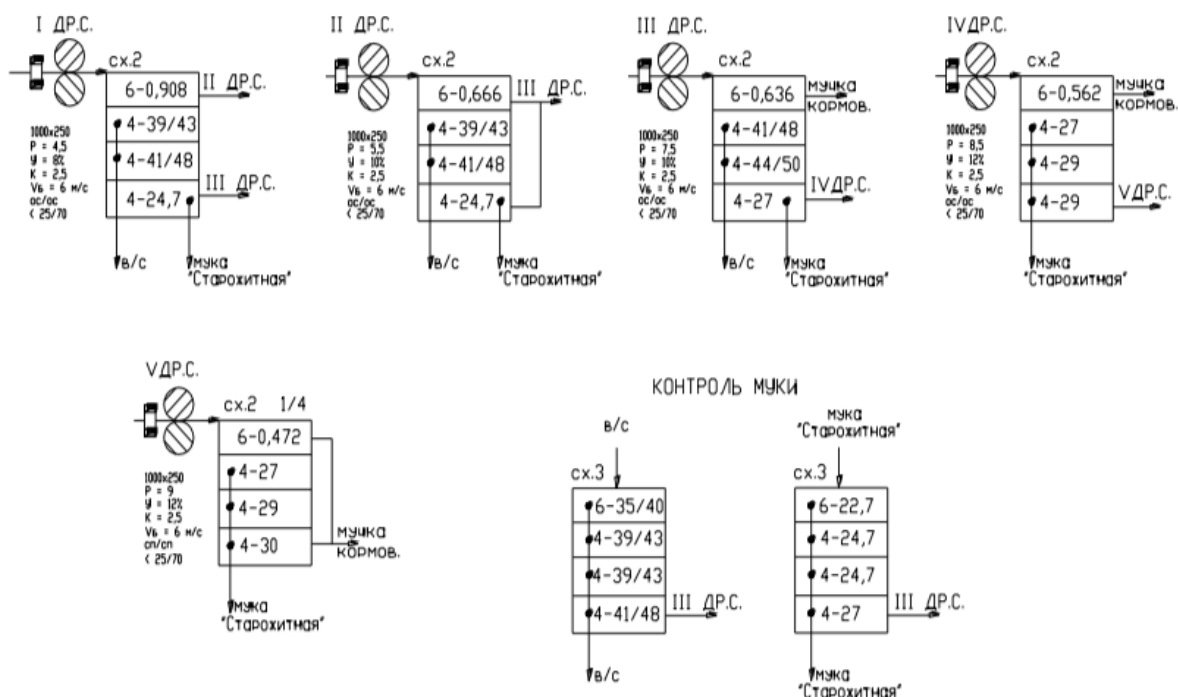


Рис. 7. Рекомендуемая схема помола гречневой крупы в муку гречневую «Старожитную» с отбором муки высшего сорта
 Fig. 7. Recommended milling scheme for buckwheat groats into “Starozhitnaya” buckwheat flour with the selection of premium flour

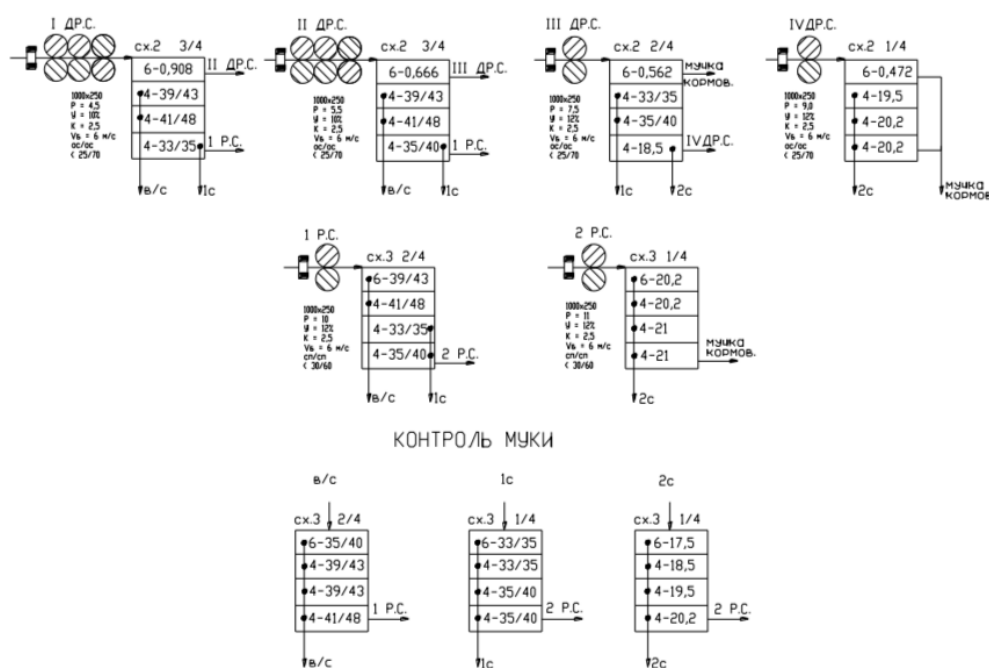


Рис. 8. Рекомендуемая схема помола гречневой крупы в гречневую сортовую муку

Fig. 8. Recommended method for grinding buckwheat groats into buckwheat flour

В работе Р. Х. Кандрокова и соавторов [30] разработана технология получения гречневой муки, основанная на механико-кинематическом разделении зерна на анатомические части. В ходе помола осуществлялся отбор муки с различных технологических систем: с I по IV драные системы, а также с первой по четвертую размольные системы. Общий выход готовой муки из исходного ядра гречихи составил 72,9 %, а средняя зольность — 0,69 %. Анализ зольности по системам показал, что наиболее чистая мука 0,13–0,16 % получается на I и III драных системах, тогда как на размольных системах зольность возрастает до 3,09–6,68 % из-за попадания оболочечных частиц. На основе этих данных авторы предлагают формировать сорта муки путем объединения потоков с различных систем по их химическому составу.

А. А. Чевокиным [31] предложена комплексная технология переработки гречихи, позволяющая вырабатывать муку непосредственно из целых семян, минуя этапы предварительного калибрования и шелушения. Установлено, что предварительная обработка гречихи паром при давлении 0,05 МПа в течение 5 минут способствует увеличению выхода муки на 1,1–1,5 %. Общий выход готовой муки из исходного зерна составляет не менее 70 % при содержании крахмала в лузге (отходе) на уровне 5,8–6,5 %, что свидетельствует об эффективности измельчения.

Особого внимания заслуживает технология получения высокодисперсной гречневой муки для детского питания, предложенная Кирдяшкиным В. В., Кандроковым Р. Х. и соавторами [32]. Ключевыми этапами являются ИК-обработка крупы и последующее измельчение в дезинтеграторе. Исследования показали, что совместное применение ИК-обработки и дезинтегратора дает синергетический эффект. Выход тонкодисперсной фракции (частицы менее 156 мкм) при помоле на дезинтеграторе на 23,4 % выше, чем на вальцовом станке, а дополнительное применение ИК-обработки увеличивает выход этой фракции еще на 4 %.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует, что вопросы сортового помола пророщенной зеленой гречки в доступной научно-технической литературе не освещены. В качестве наиболее близких аналогов рассмотрены: опыт сортового помола пророщенной пшеницы и гречневой крупы. Разработка научно-обоснованных параметров сортового помола пророщенной зеленой гречки представляет собой перспективное направление, позволяющее расширить ассортимент специализированных продуктов питания с высокими функциональными и пищевыми характеристиками.

Разработанная структурная схема переработки пророщенной зеленой гречки в сортовую муку (рис. 9) интегрирует ключевые технологические этапы с учетом специфических свойств пророщенного зерна. Подробный процесс подготовки и проращивания зеленой гречки,

включая обоснование оптимальных параметров замачивания, продолжительности и температурных режимов прорастания, обеспечивающих максимальное накопление биологически активных веществ и формирование необходимых структурно-механических свойств зерна, детально описан в монографии Е. Н. Урбанчик и Л. В. Шустовой [9]. Так же схема предусматривает щадящие режимы гидротермической обработки, направленные не на разрыхление эндосперма (что уже достигнуто в процессе проращивания), а на стабилизацию свойств зерна и подготовку его к эффективному измельчению. Последовательное включение операций драного, размольного процессов и системы формирования сортов муки позволяет обеспечить разделение продуктов помола по гранулометрическому и химическому составу.

Закключение. В результате выполнения аналитического обоснования установлено, что зеленая гречка является перспективным сырьем для получения муки повышенной пищевой ценности благодаря сохранению нативного комплекса биологически активных веществ. Проращивание зерна инициирует активацию ферментных систем, что приводит к гидролизу крахмала и белков, снижению прочности эндосперма, увеличению содержания свободных аминокислот, витаминов группы В, рутина и γ -аминомасляной кислоты, а также повышению биодоступности минеральных веществ.

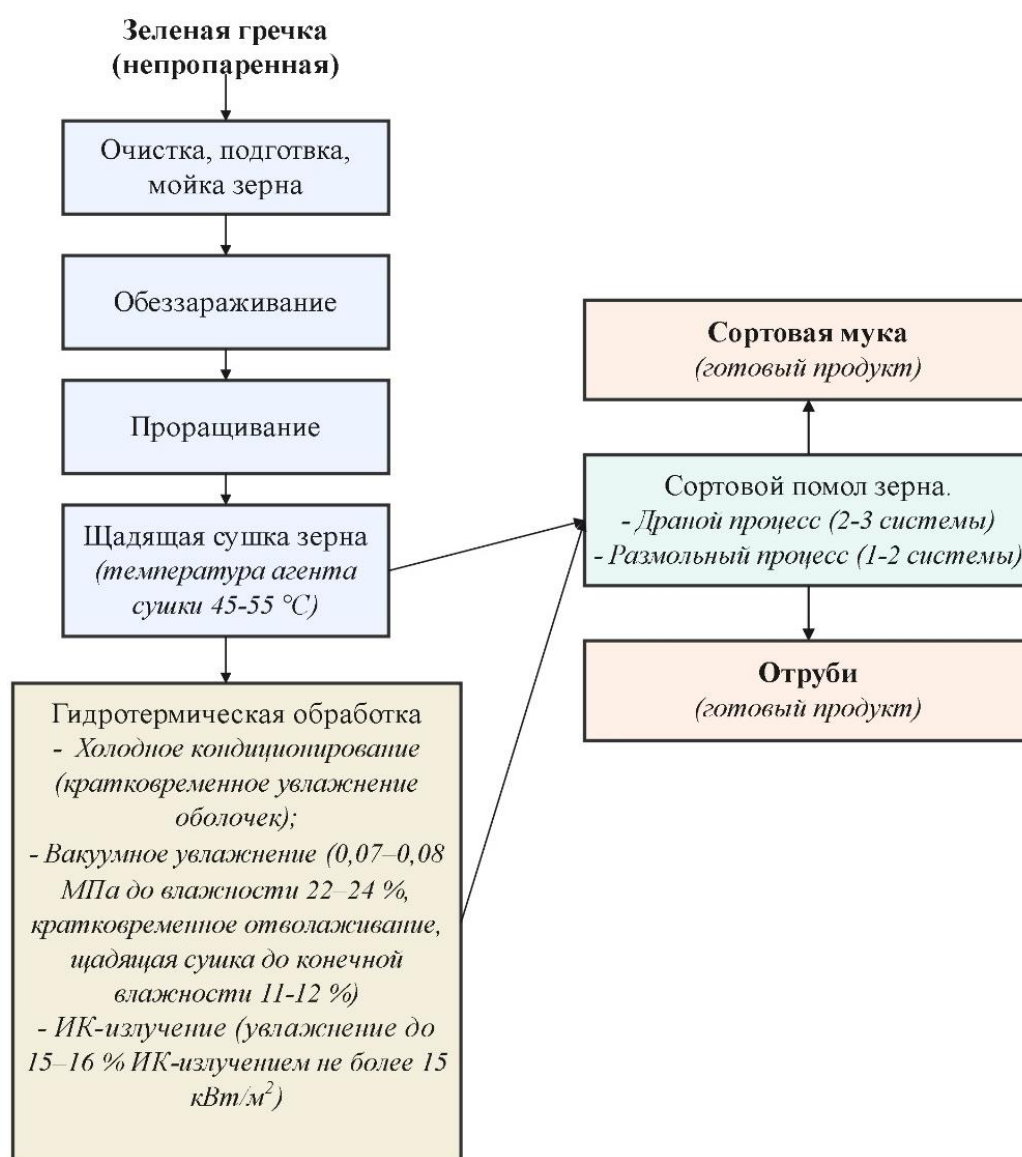


Рис. 9. Структурная схема переработки пророщенной зеленой гречки в сортовую муку

Fig. 9. Structural diagram of the processing of sprouted green buckwheat into graded flour

Показано, что традиционные методы гидротермической обработки гречихи не могут быть напрямую применены к пророщенному зерну, так как приводят к денатурации белков, инактивации ферментов и разрушению термолабильных соединений. Обоснована необходимость разработки щадящих режимов ГТО, адаптированных к структурно-механическим свойствам пророщенной гречки.

Анализ существующих технологических схем помола пшеницы и гречневой крупы показал, что сортовой помол пророщенной зеленой гречки в доступной литературе не освещен. Опыт переработки пророщенной пшеницы подтверждает технологическую осуществимость сортового помола для пророщенной зеленой гречки, однако требует адаптации с учетом ее анатомического строения и ферментативной активности.

Разработанная структурная схема переработки пророщенной зеленой гречки в сортовую муку объединяет этапы подготовки сырья, щадящей гидротермической обработки, драного и размольного процессов с формированием сортов муки. Предложенный подход создает научно-техническую основу для расширения ассортимента продуктов питания повышенной пищевой ценности.

Благодарности. Исследования, описанные в данной статье, проводились в рамках реализации научного исследования при поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований на 2025–2027 гг. по теме «Исследование процессов гидротермической обработки пророщенной зеленой гречки и их влияния на эффективность измельчения зерна при сортовом помоле». Договор № T25M-054 от 02.05.2025 г.

Список использованных источников

1. Zhang, Q. Advances in the development of functional foods from buckwheat / Q. Zhang [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2001. – Vol. 41, No. 6. – P. 451–464.
2. Koç, S. T. Buckwheat: Nutritional Value, Health Effects and Applications in Foods / S. T. Koç, F. Coşkun // *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. – 2025. – Vol. 13, No. 6. – P. 1663–1674.
3. Все о гречневой муке. – URL: <https://www.hlebio.ru/articles/vsye-o-grechnevoy-muke/> (дата обращения: 05.12.2025).
4. Лобашова, А. А. Зеленая гречка как обогащающая добавка при производстве продуктов питания / А. А. Лобашова, А. С. Захарова // *Наука и молодежь : материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (19–23 апреля 2021 года, г. Барнаул)*. – Барнаул : АлтГТУ им. И. И. Ползунова, 2021. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 206–209.
5. Правила организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях : утв. Министерством хлебопродуктов СССР 25.09.1989 № 8-14/674 : введ. в действие с 01.09.1990. – М., 1989. – Ч. 1. – 83 с.
6. Чеботарев, О. Н. Технология муки, крупы и комбикормов : учеб. пособие / О. Н. Чеботарев, А. Ю. Шаззо, Я. Ф. Мартыненко. – Москва ; Ростов-на-Дону : МарТ, 2004. – 688 с.
7. Гужевская, Е. М. Изучение возможности использования зеленой гречки в персонализированном питании современного человека / Е. М. Гужевская, Т. А. Ершова // *Первая научно-практическая школа-конференция Института наук о жизни и биомедицины ДВФУ (8–10 июня 2022 г., Владивосток) : материалы конференции / Дальневосточный федеральный университет*. – Владивосток : Дальневост. федерал. ун-та, 2022. – С. 36.
8. Zhang, G. Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat / G. Zhang [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2015. – Vol. 80, No. 5. – P. 1111–1119.
9. Урбанчик, Е. Н. Повышение эффективности проращивания зеленой гречки : монография / Е. Н. Урбанчик, Л. В. Шустова. – Могилев : БГУТ, 2023. – 104 с.
10. Hidalgo, A. Bread from wheat flour / A. Hidalgo, A. Brandolini // *Reference Module in Food Science*. – 2014. – P. 303–308.
11. Gupta, R. K. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains / R. K. Gupta, S. S. Gangoliya, N. K. Singh // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52, No. 2. – P. 676–684.
12. Žilić, S. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? / S. Žilić, V. Hadži-Tašković Šukalović, M. Milasinović Šeremešić [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2014. – Vol. 49, No. 4. – P. 1040–1047.
13. FAO. Данные по гречихе в мире и Республике Беларусь за 2014–2024 гг. URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/visualize> (дата обращения: 24.03.2026).

14. Стебаков, В. А. Результаты оценки урожайности и адаптивных свойств разных морфобиотипов сортов гречихи / В. А. Стебаков, В. И. Мазалов, В. Г. Небытов, В. С. Шманёв // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2026. – № 1 (57). – С. 79–87. doi: 10.24412/2309-348X-2026-1-79-87.
15. Соколова, Т. Н. Техническая биохимия : учебное пособие / Т. Н. Соколова, В. Р. Карташов ; Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. – Нижний Новгород : НГТУ, 2012. – 303 с.
16. Zhou, Y. Nutrient Changes and Nutritional Evaluation of Tartary Buckwheat during Germination / Y. Zhou, L. Cui, H. Wang [et al.] // Food Science. – 2014. – Vol. 35, No. 13. – P. 208–212.
17. Косминский, Г. И. Влияние температурных режимов солодоращения на изменение углеводного состава гречихи при проращивании / Г. И. Косминский, Р. М. Кабиров, Н. Г. Царева, Т. А. Исакова // Вестник МГУП. – 2012. – № 1. – С. 66–69.
18. Зенькова, М. Л. Перспективы использования пророщенного зерна гречихи в производстве безалкогольных напитков / М. Л. Зенькова // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 25–33.
19. Mis, A. Wheat grain hardness modified by the laboratory sprouting test / A. Mis, S. Grundas // International Agrophysics. – 2002. – Vol. 16. – P. 283–288.
20. Урбанчик, Е. Н. Влияние процесса герминации на физико-химические показатели и химический состав зеленой гречки / Е. Н. Урбанчик, Л. В. Шустова, А. И. Касьянова // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение : материалы XII Международной научно-практической конференции. – Воронеж : ВГУИТ, [год издания]. – С. 208–212.
21. Altikardeş, E. Enhancement of bioactive compound content and antioxidant activity in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) by germination / E. Altikardeş, M. Güzel // Food Chemistry. – 2024. – Vol. 435. – P. 137–145.
22. Thakur, P. Effect of soaking and germination on nutritional and anti-nutritional factors of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) / P. Thakur, K. Kumar, N. Ahmed // Journal of Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 58, No. 6. – P. 2345–2353.
23. Skrivan, P. Buckwheat Flour (*Fagopyrum esculentum* Moench)—A Contemporary View on the Problems of Its Production for Human Nutrition / P. Skrivan, D. Chrpvá, B. Klitschová [et al.] // Foods. – 2023. – Vol. 12, No. 16. – P. 3055.
24. Анисимова, Л. В. Способ выработки гречневой муки : пат. 2289273 Рос. Федерация / Л. В. Анисимова, О. И. Хомутов, С. В. Якушев, М. А. Корнеев. – Оpubл. 20.12.2006.
25. Анисимова, Л. В. Гидротермическая обработка гречихи с двухэтапным увлажнением зерна в шнековой вакуумной установке / Л. В. Анисимова, С. В. Якушев, А. Е. Земеров // Ползуновский вестник. – 2022. – Т. 1, № 4. – С. 33–38.
26. Цыбикова, Г. Ц. Способ получения гречневой муки : пат. 2268615 Рос. Федерация / Г. Ц. Цыбикова, О. Г. Аюшеева, Л. В. Матуева. – Оpubл. 27.01.2006.
27. Кирдяшкин, В. В. Способ получения гречневой муки с применением инфракрасной обработки : пат. 2766232 Рос. Федерация / В. В. Кирдяшкин, Р. Х. Кандроков, Д. С. Бахтина, А. А. Андреева. – Оpubл. 10.02.2022.
28. Урбанчик, Е. Н. Изучение сортового помола пророщенной пшеницы на лабораторной мельнице LabMill / Е. Н. Урбанчик, А. К. Жумаева, А. О. Бекбусинова // Вестник Алматинского технологического университета. – 2024. – № 4. – С. 61–69.
29. Технический кодекс установившейся практики 293-2010 (02150). Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах. – Введ. 01.04.2011. – Минск : Минсельхозпрод РБ, 2010. – 206 с.
30. Кандроков, Р. Х. Разработка технологии механико-кинематического разделения на анатомические части зерна гречихи и кукурузы с целью извлечения белковых, углеводных и липидных фракций / Р. Х. Кандроков, А. Р. Кокшарова, А. О. Седавкина // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 2 (179). – С. 98–106.
31. Чевокин, А. А. Комплексная технология переработки гречихи с утилизацией лузги : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Чевокин Алексей Александрович. – Москва, 2008. – 27 с.
32. Кирдяшкин, В. В. Особенности производства муки для детского и диетического питания / В. В. Кирдяшкин, А. А. Андреева, И. Н. Елькин // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2014. – № 11–12. – С. 36.
33. Зенькова, М. Л. Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность / М. Л. Зенькова, А. В. Акулич // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 25–33.

Информация об авторах

Шустова Лиана Вячеславовна, аспирант, специалист отдела цифрового образования института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: shustovaliana@yandex.by

Урбанчик Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент, директор института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (пр. Шмидта, 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь).

E-mail: e.urbanchik@yandex.by

Information about authors

Shustova Liana Vyacheslavovna, graduate student, Specialist of the Digital Education Department, Institute for Advanced Training and Retraining, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt str., 212027, Mogilev, Republic of Belarus).

E-mail: shustovaliana@yandex.by

Urbanchik Elena Nikolaevna, Ph.D. (Technical), Associate Professor, Director of the Institute for Advanced Training and Retraining, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Schmidt str., 212027, Mogilev, Republic of Belarus).

E-mail: e.urbanchik@yandex.by