

## Исследование влияния параметров обработки зерна амаранта перед помолом на свойства полученной муки

Ирина М. Жаркова	<sup>1</sup>	zharir@mail.ru
Юлия А. Сафонова	<sup>1</sup>	kulakova7@yandex.ru
Александр А. Самохвалов	<sup>1</sup>	samokhvalov 36@yandex.ru

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Подготовка к производству зернового сырья включает его предварительную обработку повышенными температурами, что обеспечивает улучшение усвояемости питательных веществ зерна. Одной из разновидностей тепловой обработки зерна служит его микронизация, сущность которого заключается в быстром интенсивном нагреве зерна инфракрасными лучами (ИК). Значительное влияние ИК-нагрев оказывает на углеводный комплекс: происходит декстринизация крахмала, денатурирует белок, вследствие чего изменяется фракционный состав белкового комплекса: снижается доля водорастворимых и солерастворимых белков и повышается содержание щелочерастворимых белков, без изменения остаются липидный и витаминный составы зерна, а также снижается доля антипитательных веществ зерна. Задачей использования ИК-обработки для зерна амаранта является получение новых функциональных продуктов питания высокого качества с заданными свойствами. Термообработку амарантовой крупки ИК-методом осуществляли на установке УТЗ-4. При прохождении через камеру с амарантовой крупкой происходят физические изменения: увеличивается в объеме, структурный каркас крупки разрушается. При повышении температуры под воздействием ИК-излучения влага превращается в пар, давление резко увеличивается, что приводит к уменьшению прочности зернового сырья и способствует снижению энергозатрат при его дальнейшем размоле. Апробирован ряд комбинаций плотности потока ИК-излучения и продолжительности нахождения различной толщины амарантовой крупки в зоне термообработки. Были получены хорошие результаты при скорости транспортерной ленты установки 0,042 м/с и мощности ламп 69,2 кВт/м<sup>2</sup>. Изучали влияние параметров микронизации амарантовой крупки на свойства полученной из нее муки. Установлено, что термообработка ИК-методом амарантовой крупки позволяет получить муку с улучшенными структурно-механическими свойствами.

**Ключевые слова:** амарантовая крупка, тепловая обработка, инфракрасные лучи, структурно-механические свойства муки, режимы обработки

## The study of the effect of processing parameters of amaranth grains before grinding on the properties of the obtained flour

Irina M. Zharkova	<sup>1</sup>	zharir@mail.ru
Julia A. Safonova	<sup>1</sup>	kulakova7@yandex.ru
Alexsander A. Samokhvalov	<sup>1</sup>	samokhvalov 36@yandex.ru

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Preparation for the production of grain raw materials includes its pre-treatment at elevated temperatures, which provides improved absorption of grain nutrients. One of the varieties of grain heat treatment is its micronization, the essence of which lies in the rapid intensive heating of the grain by infrared rays (IR). IR heating has a significant effect on the carbohydrate complex: starch dextrinization occurs, denatures the protein, resulting in changes in the fractional composition of the protein complex: the proportion of water-soluble and salt-soluble proteins decreases and the content of alkaline-soluble proteins increases, the lipid and vitamin composition of the grain remain unchanged, and the proportion anti-nutritional substances of the grain. The task of using IR processing for amaranth grain is to obtain high-quality, functional food with desired properties. Heat treatment of amaranth grains using the infrared method was carried out on a UTZ-4 installation. When passing through the chamber with amaranth grain, physical changes occur: it increases in volume, the structural frame of the grain is destroyed. With increasing temperature under the influence of infrared radiation, moisture turns into steam, the pressure increases sharply, which leads to a decrease in the strength of grain raw materials and contributes to a reduction in energy consumption during its further grinding. A number of combinations of the infrared flux density and the duration of the presence of various thickness of amaranth grains in the heat treatment zone were tested. Good results were obtained when the speed of the conveyor belt of the installation was 0.042 m/s and the power of the lamps was 69.2 kW/m<sup>2</sup>. The effect of micronization parameters of amaranth grains on the properties of flour obtained from it was studied. It was established that heat treatment by the infrared method of amaranth grains allows to obtain flour with improved structural and mechanical properties.

**Keywords:** amaranth grains, heat treatment, infrared rays, structural and mechanical properties of flour, processing modes

### Введение

Решение проблемы обеспечения потребителей качественными и безопасными продуктами питания возможно за счет тщательного подхода к выбору сырья и способов его переработки.

К одному из направлений современных технологий переработки зернового сырья относится производство новых видов продуктов, не подвергающихся длительной тепловой обработке, а также разработка рецептур комбинированных пищевых изделий с заданными свойствами не только для расширения ассортимента,

#### Для цитирования

Жаркова И.М., Сафонова Ю.А., Самохвалов А.А. Исследование влияния параметров обработки зерна амаранта перед помолом на свойства полученной муки // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 41–48. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-41-48

#### For citation

Zharkova I.M., Safonova Ju.A., Samokhvalov A.A. The study of the effect of processing parameters of amaranth grains before grinding on the properties of the obtained flour. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 41–48. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-41-48

но и уменьшения себестоимости выпускаемой продукции. При подготовке к производству зернового сырья широко применяется его предварительная обработка повышенными температурами, что обеспечивает улучшение усвояемости питательных веществ зерна.

Одна из разновидностей тепловой обработки зерна – микронизация, сущность которой заключается в быстром интенсивном нагреве зерна инфракрасными лучами. Под воздействием инфракрасных лучей, распространяющихся со скоростью света, вызывается вибрация молекул обрабатываемого вещества с частотой 80–170 млн циклов в секунду, что обеспечивает быстрый нагрев внутренней части зерна. При этом содержащаяся в нем влага не успевает испариться и как бы закипает, превращаясь в пар. Наблюдается разрушение структурного каркаса зерна и изменение физико-химических свойств вырабатываемой из такого сырья муки. В частности, заметное влияние ИК-нагрев оказывает на углеводный комплекс: происходит декстринизация крахмала и в некоторой степени его клейстеризация, что влияет на повышение атакующести крахмала глюкоамилазой в несколько раз; денатурирует белок, вследствие чего изменяется фракционный состав белкового комплекса: снижается доля водорастворимых и солерастворимых белков и повышается содержание щелочерастворимых белков, без изменения остаются липидный и витаминный составы зерна, причем отмечается сохранность тиамина, рибофлавина, никотиновой кислоты, а также снижается доля антипитательных веществ зерна [1].

В последнее время ИК-обработка находит широкое применение в пищевом производстве, в различных его отраслях, включая зерноперерабатывающую, хлебопекарную, кондитерскую, пищевую концентратную и т. д. Используют ИК-обработку в основном на тех технологических этапах, на которых предусмотрено тепловое воздействие на сырье и полуфабрикаты, т. е. в зерноперерабатывающей отрасли ИК-облучение подходит для стадий нагрева, сушки и дополнительной термообработки зернового материала, в пищевую концентратную отрасль – для обжарки и бланширования, в хлебопекарной отрасли – для выпечки. Прогнозируется положительная рентабельность включения ИК-обработки в технологический процесс. Изделия, полученные с применением ИК-облучения, характеризуются улучшенными качественными показателями по сравнению с изделиями, изготовленными по традиционным технологиям. Отмечается повышенная усвояемость пищевых продуктов с ИК-обработкой [2].

Глубина проникновения ИК-лучей обусловливается свойствами обрабатываемого материала. Если структура коллоидная, капиллярно-

пористая, то ИК-лучи могут проникать до 7 мм внутрь. Такое воздействие влияет на биохимические изменения, происходящие в подвергающихся ИК-обработке пищевых продуктах [3].

Под воздействием ИК-лучей происходит быстрый нагрев зерна до 90–170 °С, что влечет резкое повышение давления пара в зерновке, и, как следствие, приводит к ее размягчению и вспучиванию. Получаемый эффект можно объяснить тем, что частоты ИК-лучей кратны или совпадают с частотами колебания атомов молекул обрабатываемого материала, вызывая при этом интенсивное колебание некоторых групп атомов. Следует отметить, что энергия отдельных химических связей соизмерима с энергией фотонов ИК-лучей: при  $\lambda \geq 1,0$  мкм энергия фотона  $E = h\nu \leq 2 \cdot 10^{-19}$  Дж, а энергия связи группы “-С-С-» –  $2 \cdot 10^{-19}$  Дж, для “-О-Н-» –  $(0,32 \div 0,46) \cdot 10^{-19}$  Дж. Основными биохимическими изменениями при ИК-обработке являются денатурация белка, разрушение крахмальных зерен, снижение активности антипитательных веществ, повышение микробиологической чистоты [4, 5].

Л.Я. Ауэрман, А.С. Гинзбург и другие авторы, изучая вопрос о влиянии ИК-обработки на качество готовых изделий отмечали, что ИК-облучение при выпечке хлеба позволило получить продукт с более тонкостенной пористостью, чем при обычной выпечке. При переработке зерна с примесью проросшего применение ИК-облучения оказывает благоприятное влияние на качество теста и готового хлеба, приготовленного из такого зерна. Использование ИК-излучения ускоряет биохимические процессы, протекающие при теплотехнологической обработке, что положительно сказывается на качестве готовых изделий [3].

Структура зерна пшеницы, подвергнувшегося термовлажностной обработке при ИК-облучении, разупрочняется. ИК-излучение влияет на кинетику этого процесса, и изменяются его физико-химические характеристики: константы скорости разупрочнения, энергии активации и термодинамические функции зерна. А.В. Азарскова в своих исследованиях установила, что при термообработке ИК-способом молекулы располагаются направленно в зависимости от электромагнитных свойств зерна в процессе разупрочнения его структуры. Это подтверждает, что химическая природа зерна определяет его текстуру [6].

Проводились исследования по изучению влияния ИК-обработки на пшеничную свежемолотую муку, а также выработанную из зерна, поврежденного клопом-черепашкой. Было установлено, что 6–8-минутное воздействие ИК-лучей на перечисленные виды пшеничной муки значительно улучшает ее хлебопекарные

свойства: увеличивается сопротивление растяжению клейковины в 4,5–6 раз, расплываемость теста сокращается на 25–34%, увеличивается упругость мякиша на 2,5–9,6%.

Представлены исследования биохимического состава ячменя при его микронизации. Было установлено, что ИК-облучение влияет на белковый состав: общее содержание белка не изменяется, но наблюдается уменьшение на 39,4% доли водорастворимых белков, на 22,6% – солерастворимых и на 18,6% – проламинов, при этом перевариваемость ИК-обработанного белка не уменьшается. Микронизация влияет на углеводный комплекс ячменя. Возрастала доля декстринов почти в 5 раз, что вызвано декстринизацией крахмала ячменя под действием ИК-лучей. Улучшалась усвояемость углеводного комплекса ИК-обработанного ячменя, так как содержание водорастворимых веществ увеличивалось, а также повышалась атакуемость крахмала ячменя глюкоамилазой [7, 8].

Были изучены свойства различных видов зерна, подвергавшегося ИК-излучению с целью получения «взорванных» зерен. Под воздействием ИК-лучей резко увеличивается температура и давление парогазовой среды зерна, нарушается целостность крахмальных зерен и увеличивается доля высокоперевариваемых декстринов. «Взорванное» зерно отличается измененными структурой, формой и прочностью, а также практически стерильно [9].

Задачей использования ИК-обработки для зерна амаранта является получение новых функциональных продуктов питания высокого качества с заданными свойствами.

#### Материалы и методы

Термообработку амарантовой крупки ИК-методом осуществляли на установке УТЗ-4 (рисунок 1).

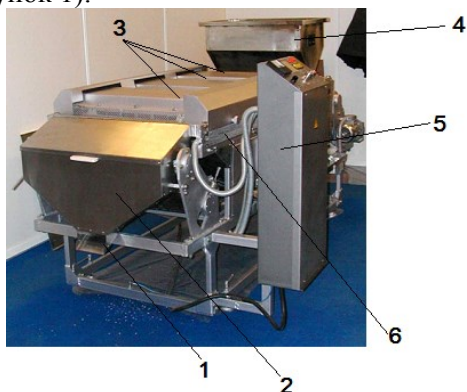


Рисунок 1. Общий вид установки УТЗ-4: 1 – разгрузочное отверстие; 2 – темперировочный бункер; 3 – нагревательная кассета; 4 – загрузочный бункер; 5 – пульт управления; 6 – ленточный транспортер

Figure 1. Main view of the installation of UTZ-4: 1 – discharge opening; 2 – tempering hopper; 3 – heating cassette; 4 – loading hopper; 5 – control panel; 6 – belt conveyor

Установка представляет собой нагревательную камеру, через которую проходит ленточный транспортер. Имеется возможность регулирования скорости движения ленты и толщины слоя материала на ленте. Нагревательная камера оборудована тремя кассетами, в каждую из которой встроены 27 кварцевых галогеновых ламп [10].

Определение крупности частиц муки проводили в соответствии с ГОСТ 27560 с использованием рассева лабораторного с частотой колебаний 180–200 об./с<sup>-1</sup> и комплекта сит из шелковой или синтетической ткани по ГОСТ 4403-91 и из проволоочной сетки № 45 и 067.

Определение угла естественного откоса муки, средней плотности, а также объемной массы муки проводят согласно ГОСТ 28254-89.

#### Результаты исследования

Температурный режим обработки – 110...150 °С. При прохождении через камеру с амарантовой крупкой происходят физические изменения: крупка вспучивается и увеличивается в объеме в 1,6–2 раза, а также растрескивается. Структурный каркас крупки разрушается. При повышении температуры под воздействием ИК-излучения влага превращается в пар, давление резко увеличивается, что приводит к уменьшению прочности зернового сырья и способствует снижению энергозатрат при его дальнейшем размоле [11].

Проводилась оценка процесса тепловой обработки амарантовой крупки при ее ИК-обработке на описанной установке. Для этого пропускали слой крупки различной толщины (образец 1 – 2...3 мм; образец 2 – 3...5 мм; образец 3 – 5...7 мм) с начальной температурой 22 °С по транспортеру аппарата с различной скоростью (0,025–0,110 м/с).

По результатам проводимых испытаний при ИК-обработке амарантовой крупки были получены:

- кинетика нагрева крупки в зависимости от плотности теплового потока при различной скорости движения ленты (рисунок 2);

- кинетика убыли массы амарантовой крупки при различном времени обработки и в зависимости от плотности теплового потока (рисунок 3).

Исследовали процесс нагрева амарантовой крупки, а также изменение ее массы в зависимости от скорости движения ленты транспортера, интенсивности потока ИК-излучения и толщины слоя амарантовой крупки в зоне термообработки.

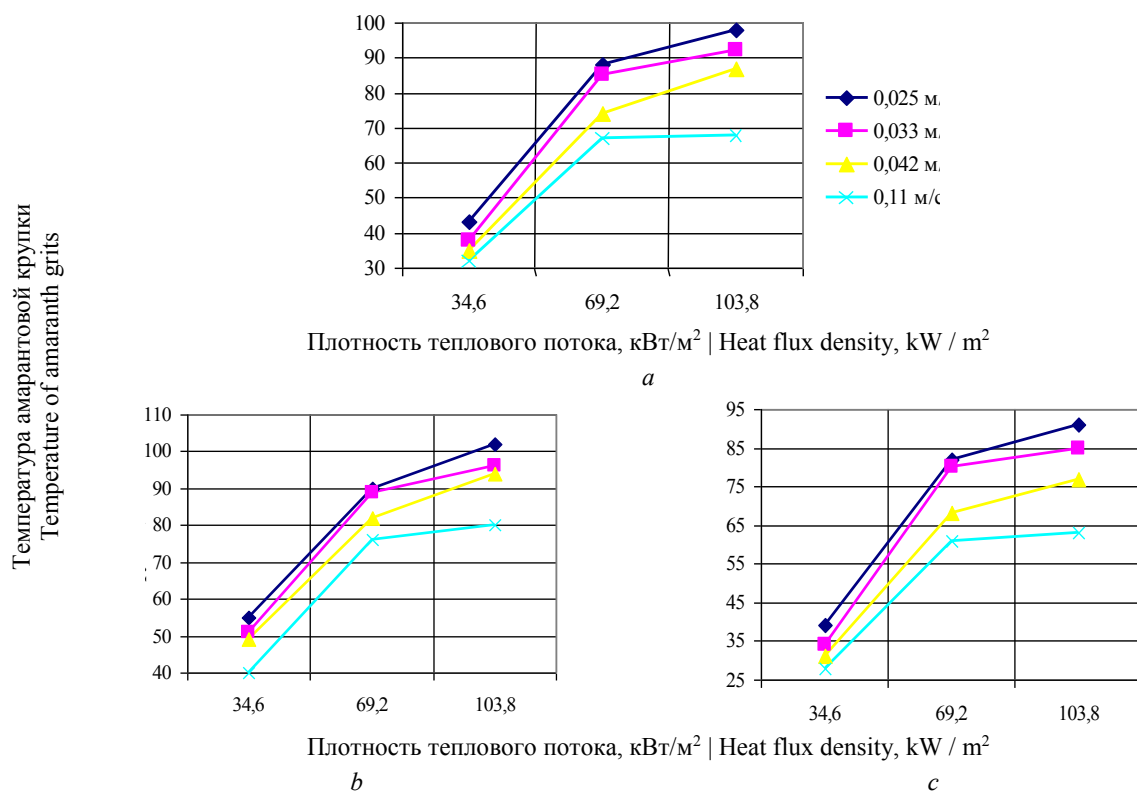


Рисунок 2. Кинетика нагрева крупки в зависимости от плотности теплового потока при различной скорости движения ленты: *a* – образец 2; *b* – образец 1; *c* – образец 3

Figure 2. Heating kinetics of grits, depending on the heat flux density at different tape speeds: *a* – sample 2; *b* – sample 1; *c* – sample 3

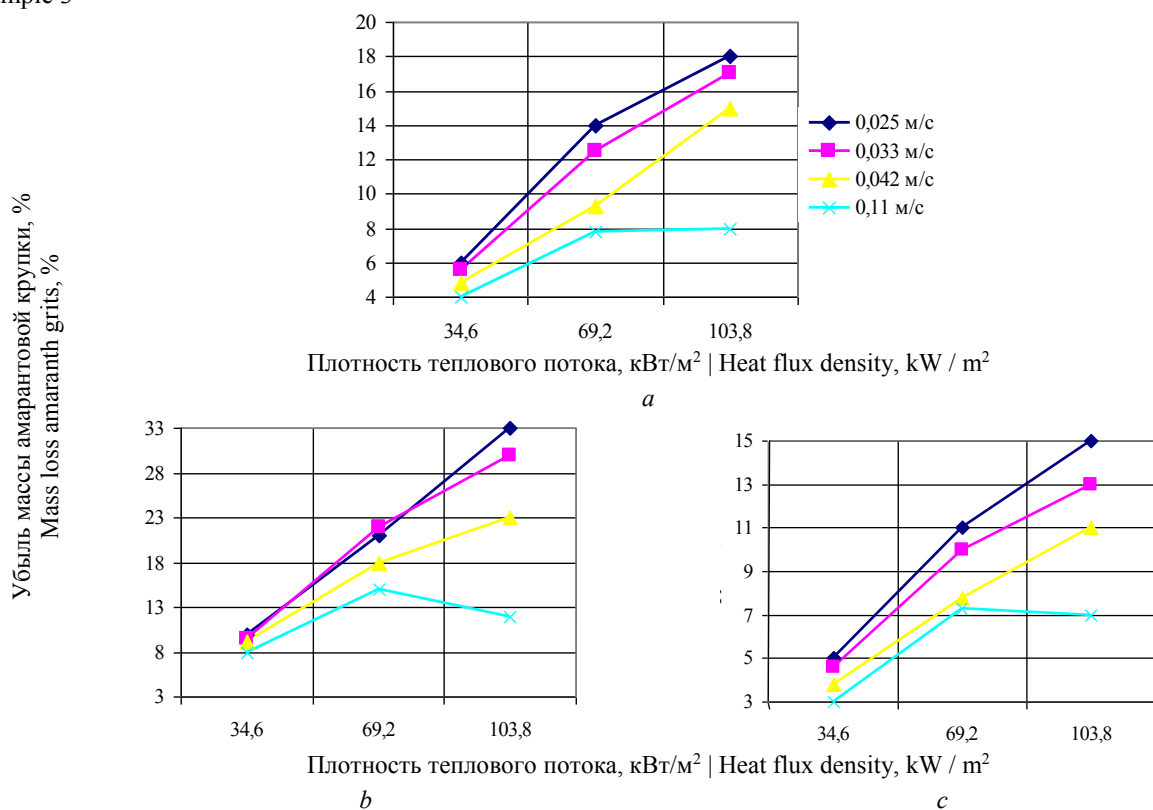


Рисунок 3. Кинетика убыли массы амарантовой крупки при различной скорости движения транспортера в зависимости от плотности теплового потока: *a* – образец 2; *b* – образец 1; *c* – образец 3

Figure 3. Kinetics of mass loss of amaranth grains at different speeds of movement of the conveyor depending on the heat flux density: *a* – sample 2; *b* – sample 1; *c* – sample 3

Были проведены опыты для различных комбинаций плотности ИК-излучения, продолжительности нахождения амарантовой крупки в зоне термообработки, причем толщина слоя крупки также изменялась. Были получены хорошие результаты при скорости транспортной ленты 0,042 м/с и мощности ламп 69,2 кВт/м<sup>2</sup>. Дальнейшие исследования были направлены на установление зависимости между параметрами микронизации амарантовой крупки и свойствами полученной из нее муки. Одной из основных характеристик любого вида муки является крупность помола, которая влияет на качество производимых из нее хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Мука крупного

помола отличается более темным цветом по сравнению с мукой тонкого помола. Изделия, полученные из такой муки, характеризуются пониженным объемом, бледноокрашенной коркой и грубой толстостенной пористостью. Результаты фракционирования с помощью лабораторного рассева продуктов, полученных после ИК-обработки амарантовой крупки, представлены в таблице 1. Анализ данных таблицы 1 показал, что в результате микронизации при указанном режиме (образцы 1–3) наблюдается увеличение среднего размера частиц крупки на 2,58–12,39% соответственно по сравнению с исходной крупкой.

Таблица 1.

Результаты фракционирования по крупности частиц амарантовой крупки, подвергнутой ИК-обработке

Table 1.

The results of the fractionation according to the size of particles of amaranth grains, subjected to infrared processing

Наименование фракции, сход с сита номер Name of the faction, exit from the screen number	Доля фракции, %  Fraction, %			
	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Контроль (исходная крупка) Control (initial grit)
067	83,6	75,5	70,8	62,6
045	12,1	20,7	26,0	34,5
27	4,3	3,8	3,2	2,9
Размер частиц, среднее значение, мкм Average particle size, um	653	633	596	581

Следует отметить, что выход муки из амарантовой крупки, обработанной ИК-излучением, выше, чем муки, полученной из нативной амарантовой крупки (таблица 2). Рассев показал, что сход с сита № 27 для муки из термообработанной амарантовой крупки

в 2,3–3,5 раза увеличивается по сравнению с мукой из нативной крупки. Причем в первом случае сход с сита № 27 состоял в основном из оболочечных частиц, тогда как для второго случая сход включал не только оболочку крупки, но и крупные частицы перисперма.

Таблица 2.

Результаты отсева амарантовой муки

Table 2.

The results of sieving amaranth flour

Наименование фракции, сход с сита номер Name of the faction, exit from the screen number	Доля фракции, %  Fraction, %			
	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Контроль (исходная крупка) Control (initial grit)
27	0,9	0,8	1,2	2,8
35	8,8	6,8	12,7	13,8
38	12,3	11,2	14,6	15,6
43	4,7	4,9	4,5	3,9
Проход через сито № 43 Pass through sieve No. 43	73,3	76,3	67,0	63,9
Размер частиц, среднее значение, мкм Average particle size, um	117	115	122	126

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что эффективность размола термообработанной амарантовой крупки выше, чем нативной, причем отмечено, что полностью отделяется перисперм от оболочечных частиц.

В таблице 2 показано, что наименьший размер частиц был характерен для муки, полученной из 2-го образца крупки при скорости транспортной ленты 0,042 м/с, мощности ИК-ламп 69,2 кВт/м<sup>2</sup>, и толщине слоя крупки 3–5 мм, а максимальный – для муки, выработанной из контрольного образца – нативной крупки. Кроме того, данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что все образцы полученной амарантовой муки соответствуют требованиям ГОСТ Р 52189-2003 для пшеничной муки первого сорта по такому показателю, как проход через сито № 38, тогда как для муки контрольного образца значение показателя – сход с сита № 27 (доля крупных частиц), не соответствует требованиям указанного стандарта.

Поскольку условия хранения, транспортирования и дозирования сыпучих материалов (муки, крупки) существенно зависят от их структурно-механических свойств, то для рациональной организации технологического процесса необходимо определить данные характеристики продуктов переработки зерна амаранта.

К структурно-механическим свойствам муки относятся такие показатели, как средняя плотность, объемная масса и угол естественного откоса.

Сыпучие материалы могут сохранять равновесие на горизонтальной плоскости, при этом образуя некоторый угол с плоскостью, который называется углом естественного откоса. Основное влияние на величину угла естественного откоса сыпучих материалов оказывает их дисперсность (размер частиц, их неоднородность), наличие внутреннего трения между частицами, которое, в свою очередь, зависит от формы и характера частиц продукта, а также его влажности. Определив значение угла естественного откоса исследуемого материала, можно сделать вывод о его сыпучести, так как данный показатель обратно пропорционален величине угла естественного откоса [10, 11].

Для подбора емкостей для хранения и транспортирования сыпучего материала необходимо знать его массу, которую можно рассчитать, определив объемную массу продукта. Существует зависимость: чем больше объемная масса, тем меньше места необходимо для размещения определенного количества сырья. Объемная масса сыпучего материала зависит от его влажности, гранулометрического состава, а также от химического состава, в частности содержания золы.

Результаты определения средней плотности, объемной массы и угла естественного откоса продуктов переработки зерна амаранта приведены на рисунке 4 и в таблице 3.

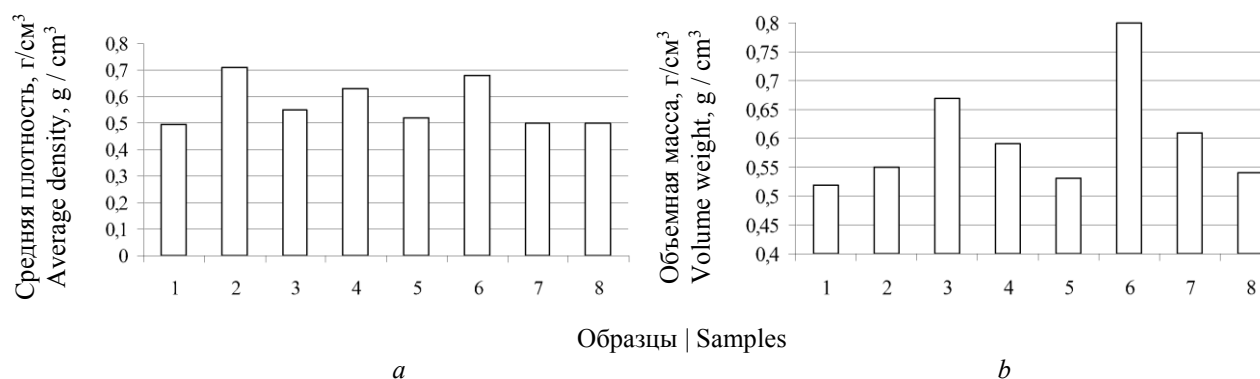


Рисунок 3. Структурно-механические свойства муки и амарантовой крупки: *a* – средняя плотность; *b* – объемная масса исследуемых образцов: 1 – термообработанная амарантовая крупка; 2 – мука из термообработанной крупки (образец 2); 3 – мука из термообработанной крупки (образец 3); 4 – мука из термообработанной крупки (образец 1); 5 – мука из необработанной крупки (контрольный образец); 6 – нативная амарантовая крупка; 7 и 8 – пшеничная мука первого и второго сорта

Figure 3. Structural and mechanical properties of flour and amaranth grains: *a* – average density; *b* – bulk density of the studied samples: 1 – heat-treated amaranth grit; 2 – flour from heat-treated grits (sample 2); 3 – flour from heat-treated grits (sample 3); 4 – flour from heat-treated grits (sample 1); 5 – flour from untreated grits (control sample); 6 – native amaranth grains; 7 and 8 – wheat flour of the first and second grade

Значение угла естественного откоса

Table 3.

## Angle of repose

Проба   Sample	Угол естественного откоса, ф Angle of repose, φ	Проба   Sample	Угол естественного откоса, ф Angle of repose, φ
Амарантовая:   Amaranth:			
Крупка термообработанная Heat-treated crumbs	35,9	Нативная крупка Native grains	34,1
Мука из термообработанной крупки (образец 2) Heat-treated flour flour (sample 2)	43,8	Мука из нативной крупки Native Flour Flour	45,6
Мука из термообработанной крупки (образец 3) Heat-treated flour flour (sample 3)	43,3	Мука из термообработанной крупки (образец 1) Heat-treated flour flour (sample 1)	40,4
Пшеничная:   Wheat:			
Первый сорт First grade	40	Ржаная обдирная Rye peeled	42
Второй сорт Second grade	45		

Все проанализированные образцы муки из амарантовой крупки имеют несколько большее значение показателя средней плотности, чем у пшеничной муки первого и второго сорта. Образец 2 отличается наибольшими значениями средней плотности, что представляет удобство для транспортирования и хранения такой муки.

Значение показателя объемной массы наибольшее у нативной амарантовой крупки ( $0,8 \text{ г/см}^3$ ), а образцы 2 и 3 по данному показателю приближены к пшеничной муке первого и второго сорта.

Наименьший угол естественного откоса, следовательно, максимальная сыпучесть, характерны для нативной и термообработанной амарантовой крупки. Остальные проанализированные образцы амарантовой муки характеризовались

тем, что для них значение показателя угла естественного откоса соответствовало значению данного показателя для традиционных видов муки: пшеничной (первого и второго сорта) и ржаной обдирной.

**Заключение**

Проведенные исследования подтверждают целесообразность термообработки ИК-методом амарантовой крупки перед размолотом ее в муку с целью улучшения ее структурно-механических свойств. Определены параметры ИК-обработки амарантовой крупки на установке УТЗ-4, при которых структурно-механические показатели амарантовой муки, полученной из обработанной крупки, приближаются значениям муки пшеничной первого и второго сортов.

**ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Пашенко Л.П., Жаркова И.М. Технология хлебопекарного производства. СПб: Лань, 2014. 672 с.
- 2 Филонова Н.Н., Белова М.В., Садыгова М.К. Разработка рецептуры и технологии хлеба пшеничного на основе смеси «Квазар» // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. 2017. С. 89–91.
- 3 Садыгова М.К., Белова М.В. Хлеб пшеничный с добавлением муки из микронизированного нута // Актуальные проблемы и пути их решения в производстве, хранении и переработке сельскохозяйственной продукции: материалы научно-практической интернет-конференции. 2015. С. 87–91.
- 4 Зверев С.В., Зубцов В.А. Высокотемпературная микроионизация семян льна // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018, № 2–3 (362–363). С. 78–81.

- 5 Завьялов М.А., Кухто В.А., Филиппович В.П., Морозов А.О. и др. Исследование процессов микронизации зерна пшеницы в установках СВЧ-энергетики // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 6. С. 9–14.
- 6 Пахомов В.И., Брагинцев С.В., Бахчевников О.Н. Формирование технологического потока зернового сырья в комплексной системе внутрихозяйственного производства комбикормов // Вестник НГИЭИ. 2016. № 6 (61). С. 89–99.
- 7 Мохнаткин В.Г., Солонщиков П.Н., Зыков Ю.В. Микронизация зерна как один из способов приготовления кормов // Наука – Технология – Ресурсосбережение: материалы X Международной научно-практической конференции. 2017. С. 177–181.
- 8 Краснощекова Т.А., Ищенко О.Ю. Использование микронизированных зерновых ингредиентов в комбикормах молодняка кур // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2015. № 4. С. 12–22.

9 Zverev S.V., Sesikashvili O. Modeling of urease thermal inactivation process in soybean at high-temperature micronization // *Potravinarstvo*. 2018. V. 12. № 1. P. 512–519.

10 Zharkova I.M., Safonova Y.A., Slepukurova Y.I. Optimization of processing parameters of amaranth grits before grinding into flour // *Journal of Physics: Conference Series "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Mathematical Simulation and Data Processing"*. 2018. P. 032156.

11 Muyonga J.H., Andabati B., Ssepuuya G. Effect of heat processing on selected grain amaranth physicochemical properties // *Food Science and Nutrition*. 2014. № 2 (1). P. 9–16. doi: 10.1002/fsn3.75.

#### REFERENCES

1 Pashchenko L.P., Zharkova I.M. *Tekhnologiya hlebopekarnogo proizvodstva* [Technology of bakery production]. St. Petersburg, Lan, 2014. 672 p. (in Russian)

2 Filonova N.N., Belova M.V., Sadigova M.K. Development of the formulation and technology of wheat bread based on a mixture of "Quasar". *Innovacionnye idei molodyh issledovatelej dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii* [Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex of Russia: materials of the All-Russian scientific-practical conference of young scientists]. 2017. pp. 89–91. (in Russian)

3 Sadigova M.K., Belova M.V. Wheat Bread with the Addition of Micronized Chickpea Flour. *Aktual'nye problemy i puti ih resheniya v proizvodstve, hranenii i pererabotke sel'skohozyajstvennoj produkcii* [Actual problems and solutions to the production, storage and processing of agricultural products: materials of the scientific and practical Internet conference]. 2015. pp. 87–91. (in Russian)

4 Zverev S.V., Zubtsov V.A. High-temperature microionization of flax seeds. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya* [Proceedings of

higher educational institutions. Food technology]. 2018. no. 2–3 (362–363). pp. 78–81. (in Russian)

5 Zavyalov M.A., Kukhto V.A., Filippovich V.P., Morozov A.O. et al. Research of micronization of wheat grain in microwave power plants. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2017. no. 6. pp. 9–14. (in Russian)

6 Pakhomov V.I., Braginets S.V., Bakhchevnikov O.N. Formation of the technological flow of grain raw materials in the integrated system of on-farm production of compound feeds. *Vestnik NGIEHI* [Vestnik NGIEI]. 2016. no. 6 (61). pp. 89–99. (in Russian)

7 Mokhnatkin V.G., Solonschikov P.N., Zykov Yu.V. *Mikronizatsiya zerna kak odin sposobov prigotovleniya kormov*. Nauka – Tekhnologiya – Resursosberezhenie. [Science – Technology – Resource Saving: materials of the international scientific-practical conference]. 2017. pp. 177–181. (in Russian)

8 Krasnoshchekova T.A., Ishchenko O.Yu. The use of micronized cereal ingredients in the feed of young chickens. *Kormlenie sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo* [Feeding farm animals and feed production]. 2015. no. 4. pp. 12–22. (in Russian)

9 Zverev S.V., Sesikashvili O. Modeling of urease thermal inactivation process in soybean at high-temperature micronization // *Potravinarstvo*. 2018. vol. 12. no. 1. pp. 512–519.

10 Zharkova I.M., Safonova Y.A., Slepukurova Y.I. Optimization of processing parameters of amaranth grits before grinding into flour // *Journal of Physics: Conference Series "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Mathematical Simulation and Data Processing"*. 2018. pp. 032156.

11 Muyonga J.H., Andabati B., Ssepuuya G. Effect of heat processing on selected grain amaranth physicochemical properties // *Food Science and Nutrition*. 2014. no. 2 (1). pp. 9–16. doi: 10.1002/fsn3.75

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Irina M. Zharkova** Dr. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zharir@mail.ru

**Julia A. Safonova** Cand. Sci. (Engin.), higher Mathematics and Information Technologies department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kulakova7@yandex.ru

**Aleksander A. Samokhvalov**, management, organization of production and sectoral economy department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, samokhvalov 36@yandex.ru

#### CONTRIBUTION

**Irina M. Zharkova** consultation during the study

**Julia A. Safonova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Aleksander A. Samokhvalov** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 21.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 06.11.2018

RECEIVED 9.21.2018

ACCEPTED 11.6.2018