

УДК 633.11:004.93:004.89:04.032.26

## Управление качеством продуктов переработки зерна и зерномучных товаров

Д-р техн. наук **П.В. Медведев**, pvmedvedev@mail.ru

канд. техн. наук **В.А. Федотов**, vital\_asm@mail.ru

**И.А. Бочкарева**, tehpp@mail.osu.ru

*Оренбургский государственный университет*

*460018, Россия, Оренбург, пр. Победы, 13*

*Представлено комплексное исследование технологических свойств зерна пшеницы, влияющих на качество производимой из него макаронной продукции. Описана разработанная система мониторинга процесса размола зерна, позволяющая в режиме реального времени определять параметры помола, прогнозировать и за счет «обратной связи» управлять качеством продуктов переработки зерна и зерномучных товаров.*

*Объектами исследований служили образцы зерна пшеницы различных сортов. В качестве метода исследования продуктов переработки пшеницы использовали так называемый фрактографический анализ размола зерна, позволяющий учитывать не только линейные размеры частиц помола, но и их форму.*

*Для проведения фрактографического анализа пользовались разработанными методиками на основе алгоритмов компьютерного зрения. Дана характеристика основных параметров такого анализа (требуемую точность обеспечивает учет не менее 5000 частиц размола и т.д.). Математические модели данных фрактографического анализа позволяют проводить экспрессную оценку характеристик зерна, муки и готовых изделий как для научных, так и практических целей.*

*Внедрение новых способов прогнозирования и контроля качества продуктов переработки зерна приводит к повышению точности оценки качества продукции, а значит и эффективности использования сырьевых ресурсов для производства зерномучных товаров. Погрешность определения показателей качества макаронных изделий составляет: потерь сухих веществ при варке – менее 5%; развариваемости – менее 3%; прочности сухих изделий на срез – менее 10%; времени варки – менее 20%.*

**Ключевые слова:** зерно; пшеница; контроль качества; размол зерна; размольная система.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-1-61-69

## Quality management for products of grain processing and grain products

D.Sc. **Pavel V. Medvedev**, pvmedvedev@mail.ru

Ph.D. **Vitali A. Fedotov**, vital\_asm@mail.ru

**Irina A. Bochkareva**, tehpp@mail.osu.ru

*Orenburg state university*

*460018, Russia, Orenburg, Victory av., 13*

*The article offers a comprehensive study of the technological properties of wheat grain affecting the quality of pasta products. The developed system of grinding process monitoring allows determining the parameters of grinding in real time mode, and predicting and controlling the quality of grain processing and grain products due to a kind of feedback.*

*Samples of wheat of different varieties were chosen as the objects of research. Fractographic analysis was used to examine wheat grinding that allowed considering not only the linear dimensions of the grinding particles, but also their shape features.*

*Well-known technique based on computer-vision algorithms was used. The characteristic of the basic analysis parameters is given. Analysis accuracy is provided by taking into account at least 5000 grinded particles. Discovered relationships and developed mathematical model for data analysis allow rapid assessment of grain characteristics of grain, flour and finished products for both research and practical purposes.*

*The introduction of new methods of forecasting and quality control for grain grinding allows increasing product quality assessment accuracy, therefore, efficiency of natural resource use for pasta production increases also. Quality assessment precision was: for dry matter loss during cooking – less than 5%; for cooking properties – less than 3%; for dry product shear strength – less than 10%; for cooking time – less than 20%.*

**Keyword:** grain; wheat; quality control; grain grinding; reducing roll.

## Введение

Важной задачей пищевой промышленности во все времена является удовлетворение постоянно растущих потребностей населения. Основные пути ее решения – улучшение технологии переработки сырья и производства пищевой продукции, использование новых методов мониторинга и повышение качества и безопасности продуктов питания [1].

Актуальными для пищевой промышленности являются исследования, направленные на разработку систем контроля и оперативного (возможно, автоматизированного) управления потребительскими свойствами продуктов переработки зерна и производимой из него продукции. В связи с этим наиважнейшей представляется задача описания характеристики размолотого материала, находящегося в размольной установке, в частности, в потоке продуктов помола [2].

Потоки размолотого зерна проходят стадию очистки: из размола удаляется битое и некачественное зерно с помощью механических, аэродинамических и других способов очистки. На этой стадии важно установить компромисс между достаточной, удовлетворяющей действующим стандартам качества, степенью очистки и выходом размолотого продукта. Эти величины находятся в обратно пропорциональном отношении. Следует учитывать, что при чрезмерном повышении качества очистки помимо загрязняющих агентов, в отходы будет уходить и вполне качественное зерно. Таким образом, проигрыш в качестве продукта дает выигрыш в его выходе и наоборот [3]. На данном этапе необходимо достаточно быстро, в режиме реального времени, давать оценку потокам размолотого продукта, а также забракованной и удаленной из него при очистке зерновой массы. Это позволит производить прогноз качества получаемой на выходе продукции и так изменять технологические параметры помола и очистки, чтобы добиваться наилучшей результативности вне зависимости от качества поступающего сырья [4].

## Характеристики анализа размола зерна

Для получения муки определенной крупности помола (тонины) размалываемое зерно пропускается между вальцами измельчителя несколько раз. Частицы, превышающие по своим размерам заданную крупность, попадают в сход ситовечной системы, после чего направляются на размольную систему еще раз.

Основные параметры размольной системы, непосредственно влияющие на степень помола: зазор между вальцами вальцовой пары, частота вращения вальцов, соотношение частот вращения вальцов, скорость потока продукта в измельчитель. Второстепенными параметрами, оказывающими влияние на размалывающее действие прохода, являются: ориентация рифлей вальцов, их геометрия, износ поверхности вальцов, физико-химические характеристики измельчаемого продукта (влажность, твердозерность и др.) и прочие. Именно поэтому необходимо иметь информацию о характеристиках каждого отдельного прохода. Это позволит при возникновении каких-либо отклонений от намечаемой технологии помола относительно просто осуществлять корректировку, варьируя параметры вальцовой системы в режиме реального времени: зазор между вальцами и частоту их вращения. Таким образом, происходит компенсация отклонения, образуется обратная связь для регулирования работы размольной системы [5].

Использование информационных технологий в реализации намеченной цели дает возможность достигнуть высокой скорости и точности в получении информации о размере и форме множества частиц, проходящих через размольную и ситовую системы потоков продуктов помола. Для этого размолотый материал необходимо освещать источником света: проходящий или отраженный свет регистрируется блоком регистрации. Анализу подвергаются промежуточные и окончательные продукты размолы зерна: информация о размерах и форме частиц поступает в блок обработки изображений, который осуществляет прогнозирование качества продуктов переработки зерна, а также управление ими в допустимом диапазоне.

Облучать продукты размолы можно не только светом в видимом диапазоне. Различные варианты электромагнитного излучения в инфракрасном (ИК) и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах позволяют получить дополнительную информацию о качестве помола. Благодаря спектральной избирательности в получении изображений продуктов размолы зерна удастся выделить частицы из различных зон зерна, поскольку они окрашены в разные цвета, а также часто имеют разный излучающий уровень при их освещении ИК или УФ светом. К примеру, известно, что частицы эндосперма и продукты его помола светлее в инфракрасном свете, чем частицы зародыша зерна, которые в свою очередь светлее, чем частицы оболочки зерна [6].

В практике мукомольной промышленности нередко встречается ситуация, когда нельзя допускать измельчения всех частей зерновки. Как известно, частицы размолы эндосперма в большей степени обладают шарообразной, округлой формой, в то время как частицы размолы оболочки отличаются большими размерами и плоской, сплюснутой формой.

Разница в размерах и форме позволяет разделять продукты размолы зерна на отдельные фракции и дифференцированно их измельчать, что приводит к повышению эффективности по сравнению с классическим способом разделения размольного материала на фракции – только по размеру частиц. Введение в систему анализа еще и информации о цвете частиц позволяет также повысить качество оценивания и разделения на фракции [7].

Цвет частиц варьирует от условно белого до желтого (цвет зародыша и эндосперма), от светло- до темно-серого (цвет отрубей). Располагая информацией о цвете частиц, можно провести цветовой анализ размолы зерна для оценки соотношения фракций (компонентов зерновки – зародыша, эндосперма, оболочки) [8]. Повышение количества частиц темного цвета, а также снижение среднего размера частиц размолы может свидетельствовать о недостаточном зазоре между вальцами или недостаточном времени отволаживания зерновой массы [9].

Для учета каждой отдельной частицы, необходимо перед регистрацией сначала отделить слипшиеся частицы. Для этого в помольной линии требуется предусмотреть модуль разрыхления размольного материала – разъединения частиц, к примеру, воздушным потоком (воздушная сепарация) или вибрацией.

Излучающее и приемное устройство располагаются либо диаметрально противоположно поверхности движения размольного материала (регистрация свойств исследуемого образца просвечиванием), либо с одной стороны под некоторым углом (регистрация исследуемого образца в отраженном свете). Для технической реализации предусматривается изготовление участка транспортера из прозрачного для данного вида излучения материала.

Современные технологии цифровой фотосъемки позволяют производить большое число отдельных кадров в секунду (более 30). Таким образом, появляется возможность получить изображение каждой частицы с разных ракурсов, под разными углами, а кроме того косвенно определять скорость потока частиц. За счет постоянного облучения и регистрации изображений в потоке размольного материала, в модули анализа информации и модуль принятия решений непрерывно поступают данные (рисунок 1). Это позволяет производить непрерывный мониторинг помола и вносить корректировки в размольный процесс либо оператором, либо автоматически, по заранее заданному алгоритму.

Для более адекватного принятия решения информация об определенных характеристиках частиц накапливается в течение заданного периода времени – производится статистическая обработка данных.

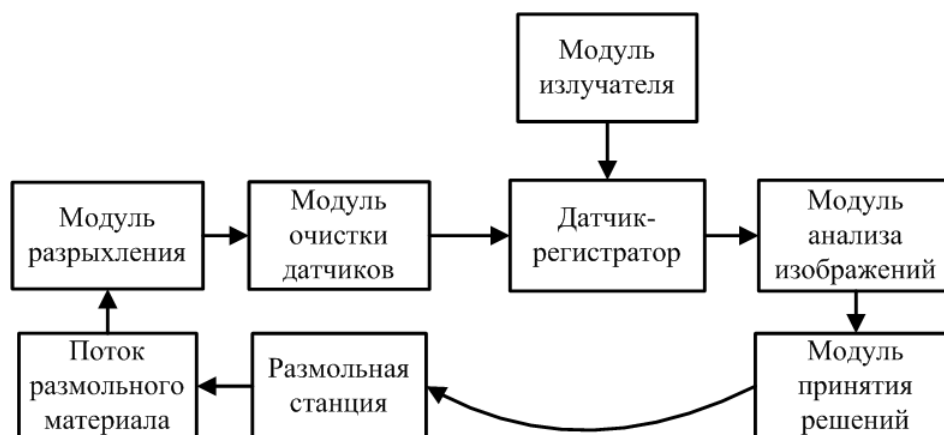


Рисунок 1 – Функциональная схема базовых элементов мониторинга процесса размола зерна

Собранные воедино модули представляют собой базовый элемент мониторинга процесса помола. Несколько таких элементов могут быть установлены в разных контрольных точках размольного процесса, обеспечивая тем самым наибольшую информативность о происходящих процессах.

Для обеспечения работы созданной функциональной схемы технических средств мониторинга помольного процесса разработаны программные алгоритмы, обеспечивающие прогнозирование технологических качеств зерна и управление ими в режиме реального времени [10]. Предлагаемый мониторинг качества зерна позволяет также прогнозировать качество производимой из анализируемого зерна продукции – хлебобулочных, мучных кондитерских и макаронных изделий [11].

Для определения технологических качеств зерна предлагается проводить фрактографический анализ частиц размола зерна. Фрактографическое исследование включают в себя изучение изломов не только невооруженным глазом, но и с использованием оптического и электронного микроскопирования. Для анализа размола зерна наиболее целесообразно использовать методы оптической микроскопии. [3].

Фрактографический анализ можно рассматривать как расширенный и модифицированный метод гранулометрического анализа. В теории гранулометрического анализа оперируют такими характеристиками частицы, как длина, ширина, площадь, периметр, размер осей эллипса и др. На их основе рассчитываются параметры частиц более сложного порядка – эквивалентный размер, соотношение осей эллипса, коэффициент вытянутости частицы (отношение длины к ширине) и пр. О форме частиц чаще всего судят по таким показателям, как коэффициент округлости частиц, представляющий собой отношение площади двумерной проекции частицы к ее периметру, эквивалентный диаметр частицы, представляющий квадратный корень и площадь проекции частицы, и подобных им. Современные информационные технологии дают возможность использовать для описания форм частиц более сложные и точные характеристики [7].

Фрактография в широком смысле включает в себя методы исследования изломов материалов, строения поверхностей разрушений, микроструктуры веществ. Частицы размола зерна представляют собой такие поверхности [6].

Получаемые специальным инструментарием изображения размола зерна можно подвергнуть компьютерной обработке с использованием алгоритмов технического зрения. Компьютерное или техническое зрение может применяться для самого разнообразного вида задач. В наших исследованиях это обнаружение объектов (частиц размола зерна), попиксельных операций – увеличения контрастности, выделения краев, устранения шумов, геометрических преобразований [12].

### Использование информационных технологий для анализа размола зерна

Для анализа получаемых изображений разработано программное обеспечение на основе OpenCV. OpenCV – динамично развивающаяся библиотека алгоритмов технического зрения и анализа/обработки изображений. Характеризуется наличием открытого кода, отсутствием жесткой привязки к конкретной платформе PC (работает с операционными системами MS Windows, Windows RT, Linux, Mac OS X, Android, iOS и т.д.). Разрабатывается для большого количества популярных языков программирования (C/C++, также разрабатывается для Ruby, Python, Matlab, Java, Lua и др.). Свободно распространяется для академических целей. Ввиду перечисленного данная библиотека является де-факто общим стандартным интерфейсом компьютерного зрения для приложений в этой области [13].

На первом этапе работы необходимо детектировать отдельные объекты – частицы размола зерна, путем обрисовки их замкнутыми контурами. В результате такого анализа получается массив двумерных проекций контуров частиц – геометрических фигур с определяемыми основными размерными характеристиками. В ходе исследований удалось выделить наиболее информативные параметры фигур. Из центров тяжести фигур алгоритмами технического зрения выделяют необходимое количество отрезков во все стороны, после чего вычисляют средние значения длин ( $X$ ) и их вариацию ( $K$ ) для каждой фигуры. При анализе достаточно большого количества фигур частиц эти средние значения  $X$  и  $K$  в наибольшей степени характеризуют как линейный размер проекции частиц, так и ее форму [11].

В ходе корреляционно-регрессионного анализа выявили взаимосвязи между основными параметрами зернового анализа, физико-химическими свойствами зернопродуктов и данными фрактографического анализа размола зерна.

Для определения количества и качества сырой клейковины на основе фрактографического анализа производят измельчение зерна с получением муки 70% выхода, затем производят микроснимки размола зерна методом оптического микроскопирования (таблица 1).

Таблица 1 – Взаимосвязь фрактографического анализа и показателей качеств зерна пшеницы

Показатели	Типы зерна пшеницы по целевому применению	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Критерий Фишера	
					табл	расч
количество клейковины $M_K, \%$	сильная	$M_K = 0,24 \cdot X - 0,30 \cdot K + 41,86$	0,94	0,89	3,2	68,5
	средняя	$M_K = 0,23 \cdot X - 0,31 \cdot K + 40,52$	0,93	0,88	3,2	67,2
	слабая	$M_K = 0,23 \cdot X - 0,33 \cdot K + 45,61$	0,91	0,83	3,2	65,2
качество клейковины $L_K$ , ед. ИДК	сильная	$L_K = 1,14 \cdot X - 1,51 \cdot K + 139,06$	0,91	0,83	3,2	72,4
	средняя	$L_K = 1,13 \cdot X - 1,50 \cdot K + 138,55$	0,91	0,83	3,2	71,5
	слабая	$L_K = 1,14 \cdot X - 1,52 \cdot K + 139,42$	0,89	0,81	3,2	68,2

Для установления минимально необходимого для анализа количества измеренных отрезков, проводимых из центра тяжести частиц, производили оценку точности определения количества и качества клейковины. Определения производили по методикам, определенным государственными

стандартами, а также с помощью фрактографического анализа, изменяя количество отрезков, проводили: 100, 300 и 1000 отрезков к контурам частиц во все стороны. Кроме того, варьировали и количество регистрируемых и анализируемых частиц размола зерна. Исходя из полученных среднестатистических значений  $X$  и  $K$ , с помощью соответствующих уравнений (таблица 1) находили значения количества  $M_K$  и качества клейковины  $L_K$  в исследуемых образцах помола зерна.

Данные о корреляции результатов оценок количества и качества клейковины зерна пшеницы, полученные по стандартизированной методике, в сравнении с данными фрактографического анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение минимально необходимого для анализа количества измеренных отрезков

Показатели качества зерна пшеницы	Тип пшеницы по целевому применению	Коэффициенты корреляций результатов, полученных по стандартизированным методикам и с помощью фрактографического анализа		
		в первом случае (100 отрезков)	во втором случае (300 отрезков)	в третьем случае (1000 отрезков)
количество клейковины	сильная	0,88	0,90	0,90
	средняя	0,90	0,92	0,90
	слабая	0,85	0,88	0,89
качество клейковины	сильная	0,83	0,85	0,85
	средняя	0,80	0,81	0,82
	слабая	0,81	0,83	0,83

В результате произведенных исследований выяснено, что минимальное количество измеренных отрезков для достижения максимальной точности (оценивалось по коэффициенту корреляции) составляет более 300 штук. Измерение большего количества отрезков не приводит к значительному увеличению точности оценивания.

Определение минимального количества регистрируемых частиц помола или на основе оценки точности определения количества и качества клейковины методикой, установленной соответствующим ГОСТ, а также предлагаемым фрактографическим анализом.

Оценивали варианты регистрации 500, 5000 и 50000 частиц помола. На основе выведенных регрессионных уравнений (таблица 1) устанавливали соответствующие показатели – количества клейковины  $M_K$  и качества клейковины  $L_K$ . Для установления точности определения показателей провели корреляционный анализ измеренных и вычисленных значений количества и качества клейковины зерна (таблица 3).

Таблица 3 – Определение минимального количества зарегистрированных частиц помола

Показатели качества зерна пшеницы	Типы зерна по целевому применению	Коэффициенты корреляций результатов, полученных по стандартизированным методикам и с помощью фрактографического анализа		
		в первом случае (500 частиц)	во втором случае (5000 частиц)	в третьем случае (50000 частиц)
количество клейковины	сильная	0,87	0,90	0,90
	средняя	0,88	0,92	0,92
	слабая	0,87	0,88	0,88
качество клейковины	сильная	0,81	0,85	0,85
	средняя	0,81	0,81	0,81
	слабая	0,82	0,83	0,83

В результате экспериментов установлено, что минимально необходимое количество регистрируемых и анализируемых частиц размола зерна (судя по коэффициенту корреляции) составляет не менее 5000 частиц. Измерение большего количества частиц не приводило к существенному повышению точности оценивания.

От показателей количества и качества клейковины в пшенице зависят важнейшие физико-химические, биохимические, питательные и энергетические свойства макаронных изделий. Большое количество клейковины приводит к более пластичным готовым изделиям. Липкая, тянущаяся клейковина снижает упругость и прочность макарон в сыром виде, а короткорвущаяся, рыхлая клейковина приводит к шероховатой, обрывающейся в процессе производства продукции. Содержание в муке клейковины 25–30% делает тесто достаточно плотным. Оптимальным является количество в тесте клейковины свыше 30%. Из такого теста макароны получаются максимально высокого качества, отлично сохраняющими форму при сушке.

### Анализ размола зерна для оценки качества макаронных изделий

Использовали фрактографический анализ размола зерна с целью установления связей формы и размеров частиц муки с показателями качества макарон (таблица 4).

Таблица 4 – Взаимосвязь фрактографического анализа и показателей качества макарон

Показатели	Типы замеса теста	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Критерий Фишера	
					табл	расч
коэффициент увеличения массы $M$	горячий	$M = -0,011 \cdot X + 0,010 \cdot K + 2,325$	0,89	0,79	3,2	45,2
	теплый	$M = -0,011 \cdot X + 0,008 \cdot K + 2,397$	0,89	0,79	3,2	48,2
	холодный	$M = -0,012 \cdot X + 0,009 \cdot K + 2,305$	0,88	0,77	3,2	58,2
сухие вещества, перешедшие в воду $CB$ , %	горячий	$CB = -0,067 \cdot X + 0,053 \cdot K + 9,301$	0,82	0,67	3,2	47,4
	теплый	$CB = -0,068 \cdot X + 0,051 \cdot K + 9,367$	0,80	0,64	3,2	54,5
	холодный	$CB = -0,067 \cdot X + 0,052 \cdot K + 9,358$	0,80	0,64	3,2	32,2
время варки до готовности $T$ , мин	горячий	$T = -0,135 \cdot X + 0,106 \cdot K + 12,003$	0,32	0,10	3,2	30,4
	теплый	$T = -0,138 \cdot X + 0,124 \cdot K + 11,478$	0,32	0,10	3,2	30,2
	холодный	$T = -0,187 \cdot X + 0,147 \cdot K + 10,148$	0,32	0,10	3,2	28,7
прочность сухих изделий на срез $P$ , $H$	горячий	$P = -0,061 \cdot X + 0,047 \cdot K + 9,128$	0,71	0,50	3,2	32,4
	теплый	$P = -0,052 \cdot X + 0,057 \cdot K + 10,247$	0,70	0,49	3,2	31,4
	холодный	$P = -0,060 \cdot X + 0,058 \cdot K + 10,487$	0,70	0,49	3,2	34,7

Макароны, содержащие небольшое количество клейковины, развариваются быстрее, но т.к. впитывают и удерживают большее количество влаги, сильнее слипаются и больше теряют сухих веществ. От количества белка в макаронах также зависит их способность поглощать воду при варке, а также сохранность формы готовых изделий.

Сырая клейковина в значительной степени содержит влагу, образуя гидратированный коллоидный гель. Влажность клейковины варьируется в значительной степени в зависимости от множества технологических параметров. Содержание влаги в клейковине в процентах от количества сухих веществ называют гидратационной способностью клейковины. Чаще всего данный показатель качества определяют косвенно по степени увеличения массы макаронных изделий при варке  $M$  (коэффициент, в процентах, в большинстве случаев от 120 до 350%). К причинам широкого диапазона значений коэффициента увеличения массы изделий относят количество и состав электролитов, содержащихся в зерне пшеницы и растворе, используемом при замесе теста и отмывании клейковины.

Другим существенным показателем качества макарон является показатель потерь сухих веществ при варке  $CB$  (диапазон варьирования – от 3 до 10%). Качественные макароны характеризуются меньшими значениями данного показателя.

### Заключение

Точность определения показателей качества макарон с помощью фрактографического анализа определялась в сравнении с референтными методами – стандартизированными ГОСТ методиками. Погрешность оценки показателей качества (уровень значимости 0,05) составляет для: потери сухих веществ при варке – менее 5%; коэффициента гидратации (развариваемость изделий) – менее 3%; прочности сухих изделий на срез – менее 10%; времени варки до готовности – менее 20%. Выявленные низкие значения относительных погрешностей свидетельствуют о возможности использования фрактографического анализа размола зерна с целью прогнозирования показателей варочных свойств макарон, возможностью корректировать и стабилизировать свойства полуфабрикатов макаронного производства в процессе переработки пшеницы.

### Литература

1. *Кругляков Г.Н., Круглякова Г.В.* Товароведение продовольственных товаров. Ростов-на-Дону: МарТ, 1999. 448 с.
2. *Матвеева И.В., Белявская И.Г.* Биотехнологические основы приготовления хлеба. М.: ДеЛи принт, 2001. 150 с.
3. *Медведев П.В., Федотов В.А.* Информационно-измерительная система определения потребительских свойств пшеницы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 3. С. 140–145.
4. *Тарасенко Ф.П.* Прикладной системный анализ (наука и искусство решения проблем): учебник. Томск: Изд-во Томского университета, 2004. 28 с.
5. *Калачев М.В.* Малые предприятия для производства хлебобулочных и макаронных изделий. М.: ДеЛи принт, 2008. 288 с.
6. *Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П.* Биохимия зерна и хлебопродуктов: учеб. пособие для вузов. СПб.: ГИОРД, 2005. 512 с.
7. *Ауэрман Л.Я.* Технология хлебопекарного производства: учеб. для вузов. 9-е изд., перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2003. 416 с.
8. *Беркутова Н.С.* Методы оценки и формирования качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.
9. *Козьмина Н.П.* Биохимия хлебопечения. М.: Пищевая промышленность, 1978. 280 с.
10. *Медведев П.В., Федотов В.А.* Использование искусственных нейронных сетей для определения твердозерности зерна // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 6. С. 17–20.
11. *Медведев П.В., Федотов В.А., Бочкарева И.А.* Комплексная оценка потребительских свойств зерна и продуктов его переработки // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 7(38). С. 77–80.
12. Bradsky G., Kaehler A. *Learning OpenCV*. USA, O'Reilly, 2008, 571 p.
13. Parker J.R. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. Wiley. 2-nd ed., 2010. 504 p.



### References

1. Kruglyakov G.N., Kruglyakova G.V. *Tovarovedenie prodovol'stvennykh tovarov* [Merchandizing of foodstuff]. Rostov-na-Donu, MarT Publ., 1999, 448 p.
2. Matveeva I.V., Belyavskaya I.G. *Biotehnologicheskie osnovy prigotovleniya khleba* [Biotechnological bases of preparation of bread]. Moscow, DeLi print Publ., 2001. 150 p.
3. Medvedev P.V., Fedotov V.A. Informatsionno-izmeritel'naya sistema opredeleniya potrebitel'skikh svoistv pshenitsy [Information and measuring system of determination of consumer properties of wheat]. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2013, no. 3, pp. 140–145.
4. Tarasenko F.P. *Prikladnoi sistemnyi analiz (nauka i iskusstvo resheniya problem) [Applied system analysis (science and art of the solution of problems)]*. Textbook. Tomsk, Izd-vo Tomskogo universiteta Publ., 2004, 28 p.
5. Kalachev M.V. *Malye predpriyatiya dlya proizvodstva khlebobulochnykh i makaronnykh izdelii* [Small enterprises for production bakery and pasta]. Moscow, DeLi print Publ., 2008, 288 p.
6. Kazakov E.D., Karpilenko G.P. *Biokhimiya zerna i khleboproduktov* [Biochemistry of grain and bakeries]. Textbook. St. Petersburg, GIORD Publ., 2005, 512 p.
7. Auerman L.Ya. *Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva* [Technology of baking production]. Textbook. 9<sup>th</sup> ed. St. Petersburg, Professiya Publ., 2003, 416 p.
8. Berkutova N.S. *Metody otsenki i formirovaniya kachestva zerna* [Methods of an assessment and formation of quality of grain]. Moscow, Rosagropromizdat Publ., 1991, 206 p.
9. Koz'mina N.P. *Biokhimiya khlebopecheniya* [Biochemistry of the bread baking]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1978, 280 p.
10. Medvedev P.V., Fedotov V.A. Ispol'zovanie iskusstvennykh neuronnykh setei dlya opredeleniya tverdozernosti zerna [Use of artificial neural networks for definition of a tverdozernost of grain]. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2013, no. 6, pp. 17–20.
11. Medvedev P.V., Fedotov V.A., Bochkareva I.A. Kompleksnaya otsenka potrebitel'skikh svoistv zerna i produktov ego pererabotki [Complex assessment of consumer properties of grain and products of his processing]. *International research magazine*. 2015, no. 7(38), pp. 77–80.
12. Bradsky G., Kaehler A. *Learning OpenCV*. USA, O'Reilly, 2008, 571 p.
13. Parker J.R. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. Wiley. 2-nd ed., 2010. 504 p.

Статья поступила в редакцию 30.11.2015