

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ПШЕНИЦЫ

Исследованы возможности определения потребительских свойств пшеницы с помощью информационно-измерительной системы. Применение разработанных способов компьютерного зрения позволяет определять показатели твердозерности пшеницы и влагопоглощательной способности размола зерна с погрешностью не превышающей 3 %. Использование спроектированной искусственной нейронной сети позволяет снизить погрешность определения класса твердозерности до 0,2–1,0 %.

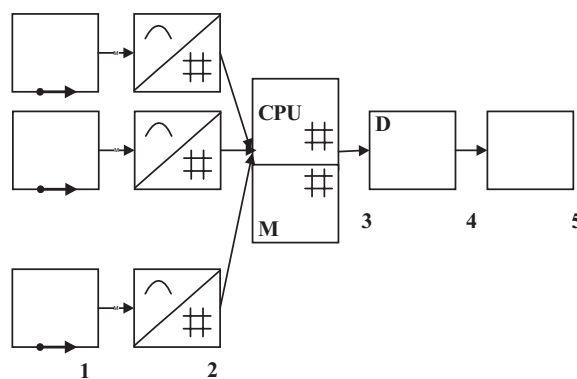
Ключевые слова: информационно-измерительная система, потребительские свойства, зерно пшеницы, компьютерное зрение, искусственная нейронная сеть.

На сегодняшний день для контроля потребительских свойств пшеницы руководствуются в основном ГОСТ на показатели качества, однако даже их комплексный учет не может однозначно охарактеризовать потребительские достоинства зерна и продуктов его переработки. Методики их определения в промышленности характеризуются большой трудоемкостью, высокими инструментальными и субъективными погрешностями, а сами показатели – высокой лабильностью: при одинаковых показателях качества разные сорта характеризуются существенными различиями технологических свойств.

В отличие от российского, в американском стандарте пшеницы классифицируют по признаку твердозерности, что позволяет точнее определять различия в их технологических свойствах и рациональнее использовать по целевому назначению. Однако, используемые для оценки твердозерности методы имеют высокую погрешность измерения, что делает их мало пригодными для использования. В одних методах пользуются различными физическими параметрами процесса размола зерна. Я. Н. Куприцом предложена оценка прочностных свойств зерновой массы по величине крутящего момента, фиксируемого при разрушении зерна на электродинамометре, характеризующаяся невысокой точностью при большой трудоемкости [1]. Использование микротвердомеров характеризуется необходимостью произведения большого количества измерений различных участков зерновки, делая невозможным применение метода в промышленных условиях [2]. Наиболее популярны методы, основанные на

анализе гранулометрического состава муки, с помощью которого рассчитывают условный средний диаметр частиц муки, или же находят содержание частиц определенной фракции крупности - индекс размера частиц. Однако данный метод оценивает размер частиц только одним параметром – проходимостью через сито с фиксированным размером отверстий, отсюда низкая точность определения [3].

Для оценки потребительских свойств зерна может быть использована информационно-измерительная система (ИИС) со следующей структурной схемой (рисунок 1). Узлы измерительных устройств и аналого-цифрового преобразования формируют информацию о предмете измерения для последующей ее обработки.



- 1 – измерительные устройства;
- 2 – аналого-цифровой преобразователь;
- 3 – подсистема обработки информации;
- 4 – подсистема отображения информации о потребительских свойствах;
- 5 – потребитель информации

Рисунок 1. Обобщенная структурная схема информационно-измерительной системы потребительских свойств зерна

Узел подсистемы обработки информации включает в себя модели и алгоритмы, на основе которых происходит анализ полученной в результате измерений информации, следовательно, от выбранного алгоритма и качества используемой информации в итоге зависит объективность данных о потребительских свойствах зерна. На основании этого, актуальной является задача поиска путей организации данного узла ИИС для повышения точности определения потребительских свойств зерна и продуктов его переработки.

Предлагаемое изменение алгоритма работы подсистемы обработки информации ИИС определения потребительских свойств зерна заключается в определении показателя твердозерности вместо широко используемых в зерноперерабатывающей промышленности: стекловидности, натуры, зольности, характеристик клейковины (рисунок 2).

Общеизвестно, что эти показатели характеризуются большой погрешностью при оценки с их помощью потребительских свойств зерна. Определение одного показателя качества

вместо нескольких позволяет упростить алгоритм обработки потока информации, приводя тем самым к уменьшению количества информации об объекте и снижению погрешности при измерении. Твердозерность тесно связана с физико-химическими свойствами зерна, является более объективным показателем качества зерна, что доказано многочисленными научными исследованиями, тем самым определение этого показателя снижает производительность измерений, повышает коррелируемость получаемых данных с качеством зерна [4]. Реализация такого алгоритма представляет собой разработку методики и программных средств обработки данных гранулометрического анализа, полученных с помощью оптического микроскопирования для экспрессного определения потребительских свойств пшеницы.

Разработанная методика определения потребительских свойств пшеницы отражена в способе определения хлебопекарных качеств зерна пшеницы [5], способе определения твердозерности пшеницы [6]. Для их реализации использована обработка данных гранулометри-

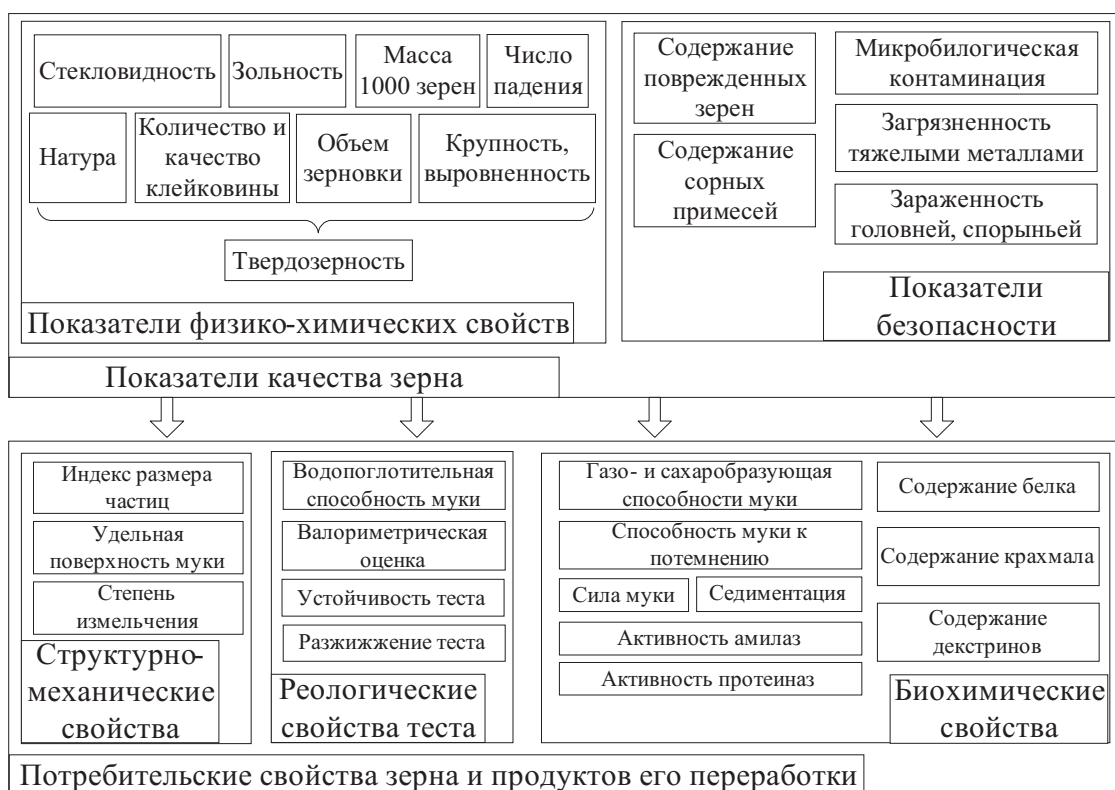


Рисунок 2. Показатели качества зерна, влияющие на потребительские свойства зерна и продуктов его переработки

ческого анализа, полученных с помощью оптического микроскопирования по следующему алгоритму (рисунок 3).

Гранулометрическому анализу подвергнуты образцы муки 70 % выхода лабораторного размола зерна пшеницы на мельнице МЛУ-202. Предложены два варианта получения микроснимков размола зерна пшеницы для проведения гранулометрического анализа – с помощью оптического микроскопирования с использованием цифровой CCD (Charge-Coupled Device) камеры и с помощью сканера с CIS (Contact Image Sensor) матрицей. Получаемые микроснимки проанализированы с помощью разработанного программного обеспечения. В качестве программной среды для разработки компьютерного приложения, реализующего интерфейс с пользователем, выбран Borland C++Builder. В ходе анализа полученных изображений в качестве программного средства для проведения гранулометрических измерений образцов задействована библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом Open Source Computer Vision Library (OpenCV) [7]. Для программирования использовались алгоритмические языки C/C++ и PHP.

Для обеспечения работы всей информационно-измерительной системы разработаны: модуль управления экспериментом, модули об-

работки экспериментальных данных и модуль визуализации результатов измерения. На разработанное программное средство получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [8].

Для нахождения контуров (выявления линейных структур из растровых данных) использован цепной код Фримена. Цель алгоритма – получить кривые, состоящие из сегментов прямых линий, описывающих пятна на изображении наиболее точно. Сглаживание кусочных линий кривых произведено по алгоритму Дугласа-Пекера [9]. Фактически, площадь частиц – это количество пикселей области, а периметр – количество пикселей на границе области. В качестве эквивалентного размера частицы использован квадратный корень из площади частицы.

Получены регрессионные уравнения (рисунок 4), позволяющие прогнозировать технологические качества зерна: водопоглотительную способность муки ВПС, %; твердозерность, кг/мм². Основным показателем качества ИИС как системы измерения является показатель достоверности выдаваемой информации. Достоверность информации в разработанной математической модели определялась доверительной ошибкой 1 % и степенью вероятности попадания в доверительный интервал 95 %. Установлена статистическая значимость уравнений регрессии на основе критерия Фишера, их адек-

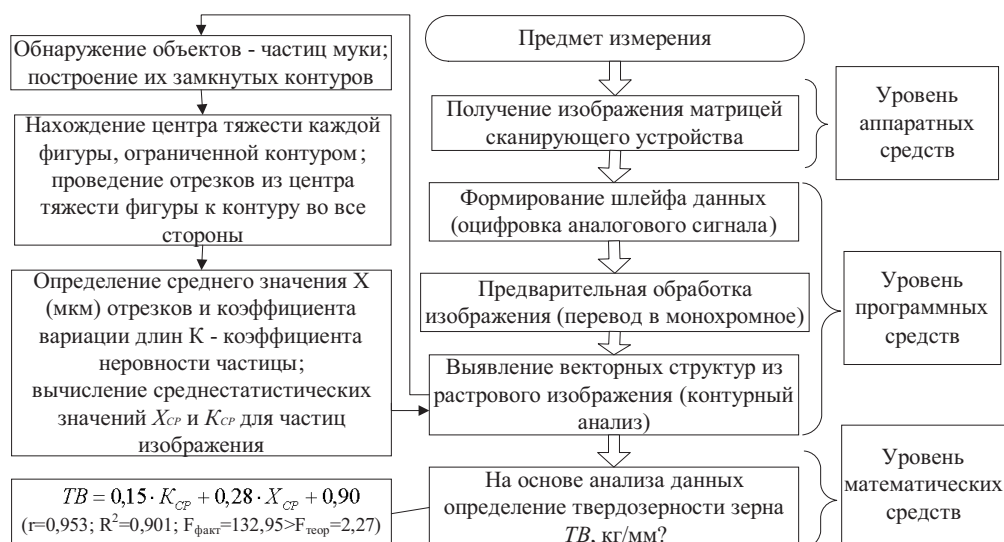


Рисунок 3. Схема алгоритма обработки данных гранулометрического анализа

ватность - согласно коэффициентам детерминации.

Определение твердозерности с помощью гранулометрического анализа путем оптической микроскопии выявило большую точность по сравнению с широко используемыми способами, основанными на оценке дисперсности частиц размола зерна: по индексу размера частиц, удельной поверхности размола зерна, характеризующуюся меньшими значениями предельной относительной погрешности измерений: 2,6 - 2,9 % по сравнению с 5,9 - 6,8 % и 10,6 - 15,6 % соответственно. Максимальная погрешность определения ВПС также не превышает 3 %.

Микроснимки, прошедшие обработку алгоритмами компьютерного зрения также проанализированы с помощью организованной искусственной нейронной сети, спроектированной для решения задачи классификации частиц по форме.

Фигура каждой отдельной частицы, обведенная контуром и отмасштабированная, в виде матрицы пикселей растрового изображения поступает на вход нулевого слоя сети. На основе эмпирических данных установлено, что необходимым и достаточным размером изображения одной частицы является квадратная площадь 300 на 300 пикселей. Поскольку на начальном этапе обработки микрофотографии проис-

ходит ее перевод в монохромное изображение, информация, поступающая на вход каждого отдельного нейрона, имеет размер 1 бит.

На выходе каждой частице присваивается определенный класс на основе ее сродства с геометрическими фигурами (круг, овал, прямоугольник и др.) - имеется 5 нейронов выходного слоя по числу определяемых классов частиц (рисунки 5).

В качестве метода обучения сети использовали обучение с учителем. С помощью алгоритма обратного распространения ошибки происходит обучение сети и запись приобретенной информации в базу данных. Топология нейронной сети разработана на основе многослойного перцептрона Розенблатта без обратных связей и связей «через слои». На заключительном этапе определяется к какому классу твердозерности (сверх-, высоко-, средне- или низкотвердозерное) принадлежит анализируемый образец пшеницы на основе установленных диапазонов распределения частиц по классам. Для реализации работы нейронной сети разработано программное обеспечение на основе библиотеки Artificial Neural Network for PHP (FANN) [10].

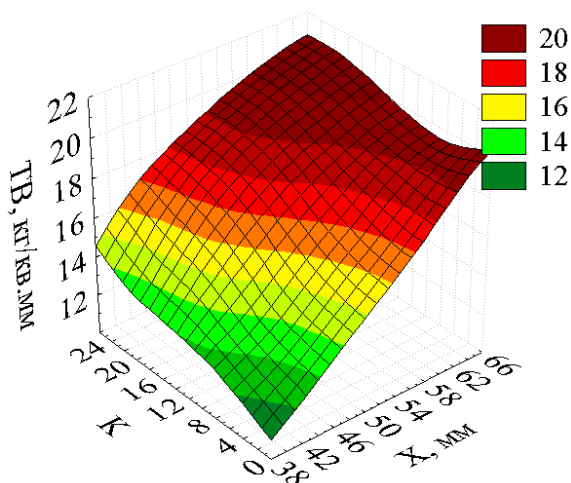
Погрешность определения твердозерности зерна пшеницы оценена по числу ошибок определения класса частиц по результатам проведения 2000 опытов. Среднее количество ошибок

$$TV = 0,15 \cdot K_{CP} + 0,28 \cdot X_{CP} + 0,90$$

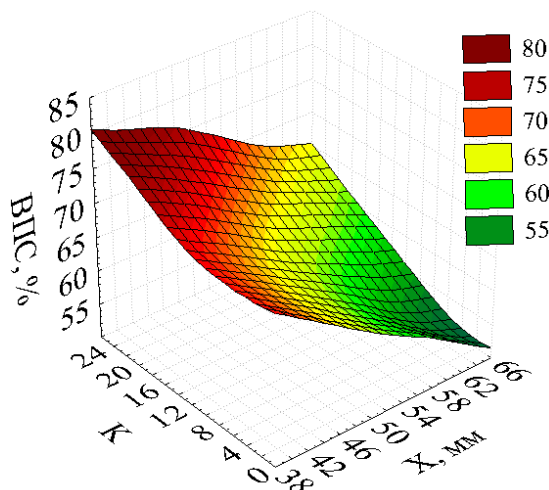
$$r = 0,953; R^2 = 0,908; F_{расч} = 132,95 > F_{табл} = 2,27$$

$$ВПС = 0,53 \cdot K_{CP} - 0,67 \cdot X_{CP} + 93,02$$

$$r = 0,963; R^2 = 0,925; F_{расч} = 172,60 > F_{табл} = 2,27$$



а - для показателя твердозерности



б - для показателя ВПС

Рисунок 4. Связь показателей гранулометрического анализа пшеницы с технологическими свойствами пшеницы

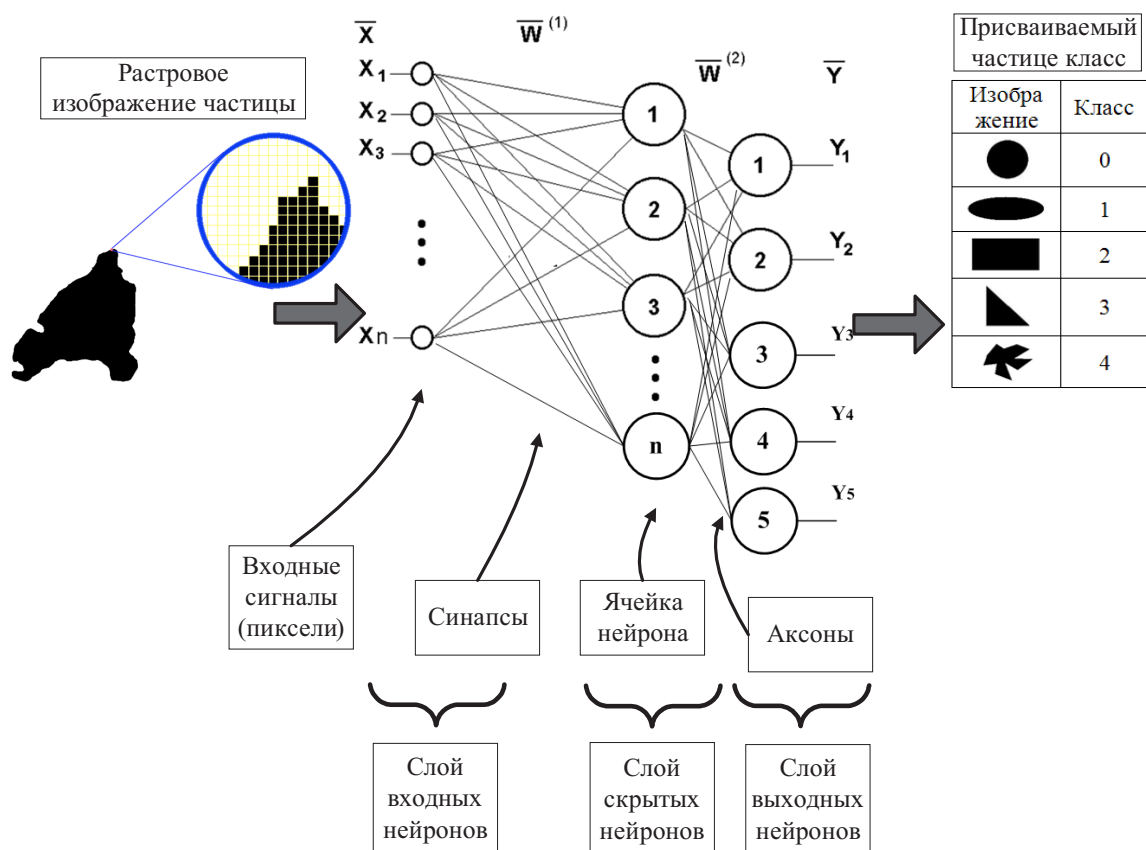


Рисунок 5. Схема реализации искусственной нейронной сети на основе перцептрона Розенблатта

определения частиц каждого отдельного класса составляет $0,6 \pm 0,4 \%$, что характеризует приемлемую точность оценки показателя твердозерности зерна пшеницы. Наибольшая точность достигается после «обучения» нейронной сети выборкой, с числом образцов более 700 (рисунок 6).

Выводы:

Использование созданных способов гранулометрического анализа позволяет определять показатели твердозерности пшеницы и влагопоглатительной способности размола зерна с погрешностью не превышающей 3%. В результате применения нейронной сети определение класса твердозерности зерна осуществляется с погрешностью 0,2 - 1,0%.

Разработанные способы могут быть использованы для прогнозирования потребитель-

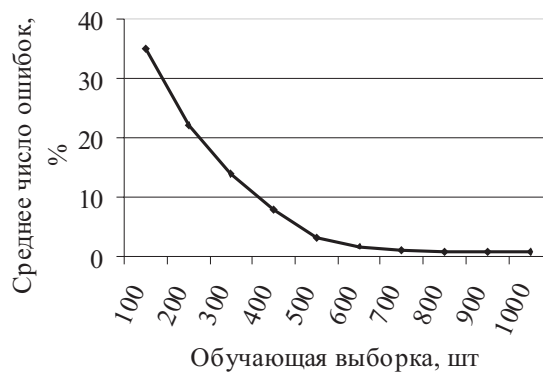


Рисунок 6. Снижение числа ошибок в процессе обучения искусственной нейронной сети

ских характеристик зерна пшеницы и продуктов его переработки на предприятиях зерноперерабатывающей промышленности на самых ранних стадиях переработки сырья.

19.01.2013

Список литературы:

1. Куприц, Я. Н. Физико-химические основы размола зерна / Я. Н. Куприц. - М.: Колос, 1946. - 258 с.
2. Беркутова, Н. С. Методы оценки и формирования качества зерна / Н. С. Беркутова. - М.: Росагропромиздат, 1991. - 206 с.
3. Беркутова, Н. С. Микроструктура пшеницы / Н. С. Беркутова, И. А. Швецова. - М.: Колос, 1977. - 122 с.
4. Казаков, Е. Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов: Учеб. пособие для вузов / Е. Д. Казаков, Г. П. Карпиленко. - СПб.: ГИОРД, 2005. - 512 с.

5. Пат. 2433398 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/10. Способ определения хлебопекарных качеств зерна пшеницы / Федотов В. А., Медведев П. В.; заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т - № 2010143397/15; заявл. 22.10.2010; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 31. - 8 с.
6. Пат. 2442132 Российская Федерация, МПК G 01 N 15/02, G 01 N 33/10. Способ определения твердозерности пшеницы / Федотов В. А., Медведев П. В.; заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т - № 2010145551/28; заявл. 09.11.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4. - 8 с.
7. Laganire, R. OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook / R. Laganire. - Packt Publishing, 2011. - 304 p.
8. Федотов, В. А. Программное обеспечение для прогнозирования технологических качеств пшеницы на основе данных гранулометрического анализа / В. А. Федотов, П. В. Медведев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. - №2011610605; дата поступления 09.11.2010; дата регистр. 11.01.2012 г. - Опубл. 2012 г.
9. Parker, J. R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision / J. R. Parker. - Wiley. - 2 edition, 2010. - 504 p.
10. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. - М.: «Вильямс», 2006. - 1104 с.

Сведения об авторах:

Медведев П.В., профессор кафедры технологии пищевых производств
Оренбургского государственного университета, доктор технических наук
Федотов В.А., старший преподаватель кафедры технологии пищевых производств
Оренбургского государственного университета
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, e-mail: pvmedvedev@mail.ru; vital_asm@mail.ru

UDC 633.11:004.93:004.89:004.032.26

Medvedev P.V., Fedotov V.A.

Orenburg state university, e-mail: vital_asm@mail.ru

INFORMATION MEASURING SYSTEM OF DETERMINATION CONSUMER PROPERTIES OF WHEAT

Possibilities for determination of wheat consumer properties in information measuring system are explored. Use of the developed methods of computer vision allows defining indicators for grain hardness and water absorb capacity with maximum error not exceeding 3 %. The use of engineered artificial neural network allows to reduce the error of definition of a class of grain hardness up to 0.2-1.0 %.

Key words: information measuring system, useful quality, wheat, computer vision, artificial neural network.

Bibliography:

- 1 Kupric, Y. N. Physical-chemical bases of the grain milling / Y. N. Kupric. - М.: Kolos, 1946. - 258 p.
- 2 Berkutova, N. S. Methods of the estimation and the shaping grain quality / N. S. Berkutova. - М.: Rusagroprompublic, 1991. - 206 p.
- 3 Berkutova, N. S. Microstructure of the wheat / N. S. Berkutova, I. A. Shvecova. - М.: Kolos, 1977. - 122 p.
- 4 Kazakov, E. D. Biochemistry of the grain and the bread goods: Teaching guide for high school / E. D. Kozakov, P. Karpilenko. - SPB.: GIOR, 2005. - 512 p.
- 5 The patent 2433398 Russian Federation, МПК G 01 N 33/10. The method of the estimation bread quality of the wheat grain / Fedotov V. A., Medvedev P. V.; the declarant and patent holder Orenburg state university - 2010143397/15; declared 22.10.2010; public. 10.11.2011, Bull. № 31. - 8 p.
- 6 The patent 2442132 Russian Federation, МПК G 01 N 15/02, G 01 N 33/10. The method of the estimation of the wheat hardness / Fedotov V. A., Medvedev P. V.; the declarant and patent holder Orenburg state university - 2010145551/28; declared 09.11.2010; public. 10.02.2012, Bull. № 4. - 8 p.
- 7 Laganire, R. OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook / R. Laganire - Packt Publishing, 2011. - 304 p.
- 8 Fedotov, V. A. Software for forecasting technological wheat quality based on granulometric analysis / V. A. Fedotov, P. V. Medvedev // Certificate government state registration of the program for PC. - 2011610605; the delivery date 09.11.2010; the register date. 11.01.2012 - public. 2012.
- 9 Parker, J. R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision / J. R. Parker - Wiley - 2 edition, 2010. - 504 p.
- 10 Haykin, S. Artificial neural network: full course / S. Haykin. - М.: «Williams», 2006. - 1104 p.