

Медведев П.В., Федотов В.А., Лукьянова Е.С.  
**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

Медведев Павел Викторович, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии пищевых производств

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, Россия

Тел.: 8(903) 365 67 00

Федотов Виталий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии пищевых производств

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, Россия

Тел.: 8(922) 830 62 07

Лукьянова Елена Сергеевна, аспирант кафедры технологии пищевых производств факультета прикладной биотехнологии и инженерии

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, Россия

Тел.: 8(922) 803 51 62

*Технологические качества зерна пшеницы тесно связаны со структурно-механическими свойствами зерна, описываемыми показателями прочности или твердости. Сведения о них необходимо учитывать при подготовке зерна к переработке.*

*Целью проведенного исследования стала сравнительная оценка влияния показателей стекловидности и твердозерности зерна на качество получаемой муки и производимых из нее хлебобулочных и макаронных изделий. Изучали пшеницы твердых (сорта Оренбургская 10, Безенчукская 200, Оренбургская 21, Безенчукская янтарь, Харьковская 3, Степь 3) и мягких (сорта Саратовская 42, Учитель, Оренбургская 13, Юго-восточная 3, Варяг, Прохоровка, Л-503) сортов различных районов Оренбургской области урожая 5-ти последних лет.*

*Стекловидность зерна определялась традиционным способом, твердозерность зерна – с помощью разработанного фрактографического анализа, использующего алгоритмы компьютерного (технического) зрения для описания геометрических характеристик размеров и формы частиц размолотого зерна.*

*В статье приведены результаты сравнительной оценки стекловидности и твердозерности зерна твердых и мягких сортов пшеницы. Показано, что при переработке пшеницы с низким значением стекловидности уменьшается выход муки высшего сорта, повышается зольность, ухудшается крупчатость и другие нормы качества. Обнаружены высокие значения коэффициентов множественной корреляции между стекловидностью и технологическими свойствами пшеницы. Проведенный корреляционный анализ установил наличие тесных связей показателей структурно-механических свойств пшеницы с ее технологическими показателями качества. Стекловидность пшеницы позволяет прогнозировать хлебобулочные и макаронные достоинства муки из этого зерна. Показатель твердозерности также выявил большую степень влияния на показатели качества пшеницы.*

**Ключевые слова:** *стекловидность зерна, твердозерность зерна, пшеница, структурно-механические характеристики, технологические качества зерна, твердость*

зерна, техническое зрение, компьютерное зрение.



**Для цитирования:** Медведев П.В., Федотов В.А., Лукьянова Е.С. Сравнительная оценка показателей структурно-механических свойств зерна пшеницы // Новые технологии. 2020. Вып. 3(53). С. 63-70. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10307.

**Medvedev P.V., Fedotov V.A., Lukyanova E.S.**  
**COMPARATIVE EVALUATION OF INDICATORS OF STRUCTURAL  
AND MECHANICAL PROPERTIES OF WHEAT GRAIN**

Medvedev Pavel Victorovich, Doctor of Technical Sciences, head of the Department of Food Production Technology

FSBEI HE «Orenburg State University», Orenburg, Russia

Tel.: 8(903) 365 67 00

Fedotov Vitaliy Anatolievich, Candidate of Technical Sciences, an associate professor of the Department of Food Production Technology

FSBEI HE «Orenburg State University», Orenburg, Russia

Tel.: 8(922) 830 62 07

Lukyanova Elena Sergeevna, a post graduate student of the Department of Food Production Technology of the Faculty of Applied Biotechnology and Engineering

FSBEI HE «Orenburg State University», Orenburg, Russia

Tel.: 8(922) 803 51 62

*Technological qualities of wheat dough are associated with the structural and mechanical properties of grain described by indicators of strength or hardness. Information about them must be taken into account when preparing grain for processing.*

*The aim of the research was a comparative assessment of the effect of virtuosity and hardness of grain on the quality of the obtained flour and bakery and pasta made from it. The following hard and soft wheat varieties of different districts of the Orenburg region harvest of the last 5 years were studied: 10 Orenburgskaya, 200 Bezenchukskaya, 21 Orenburgskaya, Bezenchuksky amber, 3 Kharkovskaya, 3 Step, 42 Saratovskaya, Uchitel, 13 Orenburgskaya, 3 Yugo-vostochnaya, Varyag, Prokhorovka, L-503.*

*The virtuosity of grain was determined in the traditional way, the hardness of the grain – using the developed fractographic analysis, using computer (technical) vision algorithms to describe the geometric characteristics of the size and shape of the particles of ground grain.*

*The article presents the results of a comparative assessment of the virtuosity and hardness of grain of hard and soft wheat varieties. It is shown that the yield of premium flour decreases, the ash content increases, grain size and other quality standards deteriorate when processing wheat with a low virtuosity. High values of the coefficients of multiple correlation between and technological properties of wheat have been found. The conducted correlation analysis establishes the presence of close relationships between the structural and mechanical properties of wheat and its technological quality indicators. The vitreous nature of wheat allows us to predict the bakery and pasta advantages of flour from this grain. Hardness index also reveals a large degree of influence on wheat quality indicators.*

**Key words:** *vitreous grain, grain hardness, wheat, structural and mechanical characteristics, technological quality of grain, grain hardness, technical vision, computer vision.*

**For citation:** Medvedev P.V., Fedotov V.A., Lukyanova E.S. Comparative evaluation of indicators of structural and mechanical properties of wheat grain // *Novye Tehno-logii (Majkop)*. 2020. Issue 3(53). P. 63-70. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10307.

Проблема формирования качества хлебобулочных изделий тесно связана с низким качеством используемого зернового сырья. Многолетний опыт мукомольного, хлебопекарного, макаронного производства показывает, что технологические качества зерна и производимых из него зерномучных товаров связаны со структурно-механическими свойствами зерна, описываемыми показателями прочности или твердости. [1] Неоднородность микроскопического строения и химического состава отдельных анатомических частей зерновки (прежде всего оболочек и эндосперма) обуславливает различия их структурно-механических свойств, что необходимо учитывать, как минимум, при подготовке пшеницы к переработке. Наиболее широко используемыми для оценки структурно-механических свойств зерна являются показатели стекловидности и твердости зерна (применительно к зерну пшеницы – твердозерности зерна). [2]

Целью проведенного исследования стала сравнительная оценка влияния показателей стекловидности и твердозерности зерна на качество получаемой муки и производимых из нее хлебобулочных и макаронных изделий.

Объектами исследований служили образцы зерна Оренбургской области твердой пшеницы шести сортов: Оренбургская 10, Безенчукская 200, Оренбургская 21, Безенчукская янтарь, Харьковская 3, Степь 3 и мягкой пшеницы семи сортов: Саратовская 42, Учитель, Оренбургская 13, Юго-восточная 3, Варяг, Прохоровка, Л-503.

Твердость (твердозерность) зерна может быть оценена величиной разрушающего усилия или напряжения при определенном виде деформации, а также расходом энергии на единицу вновь образовавшейся поверхности [3]. Твердозерность является особым показателем структурно-механических свойств зерна. Официально утвержденным методом для определения показателя твердозерности в США и других крупных странах является метод, реализуемый с помощью прибора Perten SKCS 4100 [4]. Прибор отбирает по одному зерну и давит на него. Измеряется сила разрушения зерна, эта информация обрабатывается и используется для оценки твердозерности [5]. Однако данный метод весьма трудоемкий и требуется наличие специального оборудования.

В проведенных исследованиях твердозерность зерна оценивали альтернативно – основываясь на выведенных зависимостях твердозерности зерна и геометрических характеристиках получаемой при помоле из него муки. Анализируемые образцы зерна пшеницы подвергались лабораторному помолу. Полученные образцы муки анализировали алгоритмами компьютерного (технического) зрения с помощью цифровой камеры. Полученные изображения обрабатывали программно техническим зрением с помощью среды OpenSourceComputerVision на ПК под управлением Microsoft Windows. [6] [7] Производимый таким образом анализ можно назвать фрактографическим. Современные интеллектуальные системы дают возможность описывать форму частиц размолотого зерна (муки) более совершенными способами в сравнении с традиционным ситовым анализом муки. [8]

Техническое зрение использовали для обнаружения фигур частиц муки и определения их геометрических характеристик. Из центров масс фигур выделяли необходимое число отрезков к периметру фигуры, вычисляли средние значения отрезков

(X, в микрометрах) и значение коэффициента вариации этих отрезков (K). Установлены связи показателей фрактографического анализа с физико-химическими качествами зерна. Так, для оценки твердозерности (в кг/мм<sup>2</sup>) выведена зависимость ( $R^2 = 0,89$ )

$$HD = 0,15 \cdot K + 0,28 \cdot X + 0,90.$$

Стекловидность зерна определяли по ГОСТ 10987-76. Известно, что стекловидность отражает консистенцию пшеницы. Она формируется на последних стадиях созревания зерна в фазе восковой спелости. Стекловидное зерно по анатомо-морфологическим свойствам отличается от мучнистого более высокой твердостью и хрупкостью.

Стекловидность имеет большое значение при переработке мягкой и твердой пшеницы. В зависимости от него формируют помольные партии и определяют параметры технологического процесса подготовки и размола зерна. Чем выше его стекловидность, тем лучше технологические свойства. Стекловидность помольных партий учитывают при расчете выходов муки и определении ее ассортимента. В связи с этим действующим стандартом на заготавливаемое зерно мягкой пшеницы 1 и 2 классов (сильной) установлена ограничительная норма по показателю общей стекловидности – не менее 60 %. Такая стекловидность гарантирует хорошие мукомольные свойства помольной партии при добавлении пшеницы-улучшителя и обеспечивает при размоле получение заданных выходов сортовой муки стандартного качества. Из такой муки вырабатывают хлеб и макаронные изделия, отвечающие по качеству требованиям стандарта на соответствующие виды продукции.

В стандартах, действующих в странах, где производится товарная пшеница, требования к показателю стекловидности значительно выше, чем в нашей стране, как по общему показателю, так и особенно – по числу полностью стекловидных зерен. Например, в Канаде стандартом для 1 и 2 классов предусмотрено содержание полностью стекловидных зерен 65 %, что значительно выше требований, предъявляемых стандартом к пшенице-улучшителю. [9]

Однако практика работы мукомольных предприятий показывает, что снижение стекловидности приводит к уменьшению выхода муки высшего сорта. Так, снижение стекловидности на 1 % приводит к уменьшению выхода муки высшего сорта в среднем на 0,5 %. При отдельной подготовке и переработке фракций зерна стекловидностью 60 % общий выход муки увеличился на 1,4 %, а муки высшего сорта на 2,7 % по сравнению с конечными продуктами, полученными из зерна с меньшей стекловидностью.

Снижение требований к показателю стекловидности влечет за собой, как показали исследования, ухудшение хлебопекарных свойств пшеницы-улучшителя, в первую очередь, снижение физических свойств теста, объемного выхода хлеба и его органолептической оценки.

Изменение качества сильной пшеницы в зависимости от ее стекловидности при клейковине – 28 % и выше (средние данные по 70 проанализированным партиям зерна) показано в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества пшеницы при различной стекловидности зерна

Технологические показатели	Качество пшеницы			
	I типа		IV типа	
	При условиях стекловидности, %			
	от 45 до 55	от 60 до 70	от 45 до 55	от 60 до 70
Общая стекловидность, %	54	66	51	65
Количество сырой клейковины, %	30,3	31,2	28,6	29,6
Качество клейковины, ед. прибора ИДК	62,0	65,0	90,0	78

Из таблицы видно, что при уровне стекловидности от 45 до 55 % у пшеницы I и IV типов содержание клейковины снижается в среднем на 1,2 %, она расслабляется. Это приводит к ухудшению физических свойств теста и качества хлеба. Так, удельная работа деформации теста снизилась в среднем для пшеницы IV типа на 58 ед. прибора, и мука по этому показателю не отвечала требованиям, предъявляемым к сильной пшенице (вместо 285 ед. прибора). Ухудшился показатель отношения упругости к растяжимости теста, особенно у пшеницы I типа, которая не отвечала требованиям на сильную пшеницу (2,3 вместо от 1,0 до 2,0). Все эти изменения снизили объемный выход хлеба и его качество: формоустойчивость, внешний вид и состояние мякиша.

Исследованиями доказано, что снижение требований действующего стандарта к показателю стекловидности мягкой пшениц приводит к ухудшению технологических свойств пшеницы-улучшителя, а также вырабатываемых из нее муки и хлеба. Это свидетельствует о неправомерности уменьшения норм по этому показателю для сильной пшеницы. Для твердой пшеницы стекловидность – еще более важный признак, чем для мягкой, поскольку от нее зависит выход и технологические свойства муки высшего сорта – крупки и качество макаронных изделий.

Из практики известно, что на хлебоприемные предприятия в различных зонах страны, например, Оренбургской области поступает твердая пшеница с пониженной стекловидностью. Это объясняется наличием в ней большого количества мучнистых и желтобоких зерен. Данные ежегодного обследования качества заготавливаемого зерна твердой пшеницы подтверждают это. На многие хлебоприемные предприятия поступает значительное ее количество стекловидностью ниже 60 %, а в отдельные годы даже менее 40 %.

Между тем, к биологической особенности твердой пшеницы относятся общая высокая стекловидность и число полностью стекловидных зерен. Это свидетельствует о неблагоприятных условиях выращивания уборки и пониженных технологических свойствах зерна таких партий.

Исследованиями доказано, что при переработке твердой пшеницы с пониженным содержанием стекловидных зерен уменьшается выход муки высшего сорта – основного сырья для макаронной промышленности. Одновременно повышается зольность, ухудшается крупчатость и другие нормы качества.

Подтверждают это и высокие коэффициенты множественной корреляции между стекловидностью и технологическими свойствами твердой пшеницы (таблица 2).

Таблица 2 – Сопряжение показателей качества со стекловидностью зерна

Вариант	Сопряжение со стекловидностью показателей качества	Коэффициент множественной корреляции
1	Клейковина зерна, выход крупки, прочность макаронных изделий	0,586
2	Белок в зерне, выход крупки, прочность макаронных изделий	0,637
3	Клейковина зерна, ИДК клейковины зерна, растяжимость клейковины зерна	0,516
4	Клейковина крупки, ИДК клейковины крупки, растяжимость клейковины крупки	0,688
5	Со всеми основными показателями качества	0,713

Похожие корреляции проявляет показатель твердозерности зерна с этими показателями качества пшеницы (таблица 3).

Таблица 3 – Сопряжение показателей качества с твердозерностью зерна

Вариант	Сопряжение с твердозерностью показателей качества	Коэффициент множественной корреляции
1	Клейковина зерна, выход крупки, прочность макаронных изделий	0,524
2	Белок в зерне, выход крупки, прочность макаронных изделий	0,682
3	Клейковина зерна, ИДК клейковины зерна, растяжимость клейковины зерна	0,551
4	Клейковина крупки, ИДК клейковины крупки, растяжимость клейковины крупки	0,672
5	Со всеми основными показателями качества	0,721

#### Выводы:

1. Установлено наличие тесных связей показателей структурно-механических свойств пшеницы с ее технологическими показателями качества.
2. Стекловидность пшеницы позволяет прогнозировать технологические свойства зерна, непосредственно влияющие на качество производимых из него хлебобулочных и макаронных изделий.
3. Предложена методика фрактографического анализа размолотого зерна, базирующаяся на алгоритмах компьютерного зрения для описания геометрических характеристик размеров и формы частиц.
4. Показатель твердозерности, определяемый на основе фрактографического анализа муки выявил большую степень сопряжения с показателями качества пшеницы.

### *Литература:*

1. Федотов В.А., Медведев П.В. Информационно-измерительная система определения потребительских свойств пшеницы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. №3. С. 140-145.
2. Беркутова Н.С., Швецова И.А. Микроструктура пшеницы. М.: Колос, 1977. 122 с.
3. Медведев П.В., Федотов В.А., Бочкарева И.А. Комплексная оценка потребительских свойств зерна и продуктов его переработки // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №7-1(38). С. 77-80.
4. Медведев П.В., Федотов В.А., Бочкарева И.А. Управление качеством продуктов переработки зерна и зерномучных товаров // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. №1. С. 61-69.
5. Калачев М.В. Малые предприятия для производства хлебобулочных и макаронных изделий. М.: ДеЛи принт, 2008. 288 с.
6. Медведев П.В., Федотов В.А. Информационно-измерительные системы управления потребительскими свойствами зерномучных товаров // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд: монография. Оренбург: Пресса, 2013. С. 35-51.
7. Федотов В.А. Факторы формирования потребительских свойств зерномучных товаров // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. №4. С. 186-190.
8. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ (наука и искусство решения проблем): учебник. Томск: ТГУ, 2004. 128 с.
9. Smith A.E. Handbook of Weed Management Systems. Marcel Dekker, 1995. 741 p.

### *Literature:*

1. Fedotov V.A., Medvedev P.V. Information and measuring system for determining the consumer properties of wheat // Bulletin of the Orenburg State University. 2013. No. 3. P. 140-145.
2. Berkutova N.S., Shvetsova I.A. Microstructure of wheat. M.: Kolos, 1977. 122 p.
3. Medvedev P.V., Fedotov V.A., Bochkareva I.A. A comprehensive assessment of consumer properties of grain and its derivatives// International Scientific Journal. 2015. No. 7-1(38). P. 77-80.
4. Medvedev P.V., Fedotov V.A., Bochkareva I.A. Quality management of grain derivatives and grain products // Scientific journal SRI ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment. 2016. No. 1. P. 61-69.
5. Kalachev M.V. Small enterprises for the production of bakery and pasta. M.: DeLi print, 2008. 288 p.
6. Medvedev P.V., Fedotov V.A. Information and measuring systems for managing consumer properties of grain products // Modern trends in economics and management: a new look: a monograph. Orenburg: Press, 2013. P. 35-51.
7. Fedotov V.A. Factors of the formation of consumer properties of grain products // Bulletin of the Orenburg State University. 2011. No. 4. P. 186-190.
8. Tarasenko F.P. Applied Systems Analysis (the science and the art of problem solving): a textbook. Tomsk: TSU, 2004. 128 p.
9. Smith A.E. Handbook of Weed Management Systems. Marcel Dekker, 1995. 741 p.