

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНА И ЕГО АНАТОМИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭКСПРЕССНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МУКИ И ЗЕРНА

Штейнберг Т.С., канд. техн. наук

Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки Россельхозакадемии, г. Москва

Представлены результаты фундаментальных исследований спектрофотометрических и цветовых характеристик зерна пшеницы и продуктов его размола, на базе которых разработаны: широко внедряемые методы и средства измерений для оценки качества муки по показателю «белизна»; инструментальный метод «цифрового изображения зерна».

Presents the results of basic research of spectrophotometric, color characteristics of the grain, products of its grinding, on the basis of which developed: widely introduced methods and measurement tools for assessing the quality of flour for white, the instrumental method of the «digital image the grain».

Ключевые слова: зерно, мука, спектрофотометрические характеристики, цвет, цифровое изображение, сканирующий анализатор.

Разработка и внедрение современных методов и средств измерений для экспрессной оценки качества зерна и готовой продукции, для оперативного контроля технологических процессов переработки и хранения зерна являются одной из задач повышения эффективности производства, выработки качественной продукции, безопасной для человека. Надежная и объективная оценка качества муки и зерна в настоящее время приобрела особое значение в связи с развитием рыночных отношений в зерновом комплексе России и выходом России на международный рынок зерна.

В первой части статьи представлены результаты исследования продуктов размола зерна пшеницы (измельченное зерно, эндосперм, отруби, мука). Во второй – результаты исследования зерна пшеницы в нативном состоянии (без разрушения его структуры) – соисполнители НИЦ «Интеллектуальные сканирующие системы» и Государственный центр эталонов, метрологии Республики Беларусь.

На основании многолетних исследований фотометрических и цветовых характеристик анатомических частей зерна и продуктов его переработки в институте коллективом авторов (С.Е. Мамбиш, Т.С. Штейнберг) [1] разработаны теоретические основы фотометрического анализа зернопродуктов:

— цветовые характеристики – координаты цветности (x, y) эндосперма, цельносмолового зерна и отрубянистых частиц белозерной и краснозерной пшеницы на стандартной диаграмме цветности МКО находятся вблизи «белой» точки в узкой области, относимой к одному цвету – белому (рис.1 а,б). Специфическая вытянутость области цветности объекта характеризует его хроматичность;

— характерным для зерна и зернопродуктов (эндосперма и отрубянистых частиц) является близкая к функциональной линейная связь между координатами цветности (коэффициент корреляции = 0,96 – 0,99 + 0,004); координаты цветности линейно связаны с коэффициентом отражения при $\lambda = 522$ нм. Связь тесная, надежная ($r = 0,94 - 0,99 + 0,01$);

— отрубянистые частицы зерна пшеницы II и III типов по цветовому тону отличаются от отрубянистых частиц краснозерной пшеницы (соответственно 579, 4 нм и 581,1-581,6 нм);

— спектральные коэффициенты отражения эндосперма по всему видимому спектру (380-700 нм) значительно выше коэффициента отражения отрубянистых частиц зерна пшеницы (рис. 2);

— наибольшие различия в отражательной способности эндосперма и отрубянистых частиц зерна наблюдаются в сине-зеленом участке спектра, из чего следует, наибольшая чувствительность к содержанию отрубянистых частиц может быть достигнута измерением отражательной способности муки в сине-зеленом участке спектра (рис. 2);

— на основе сопоставления инструментальных оценок (по коэффициентам отражения в разных участках спектра, показателю разнооттеночности, цветовым характеристикам – светлоте, белизне по Выщецкому) (табл.1) с визуальной оценкой, обоснован метод одномерной оценки цветовых различий (вместо трехмерной) по коэффициенту отражения, что значительно упрощает и ускоряет процесс измерения муки.

На основании установленных закономерностей разработан инструментальный фотометрический метод оценки сортности муки по показателю белизна, средства измерения и комплекс организационно-

методических мероприятий, включая нормы белизны, разработанные совместно с Институтом хлебопекарной промышленности и систему метрологического обеспечения средств измерения (рис. 3).

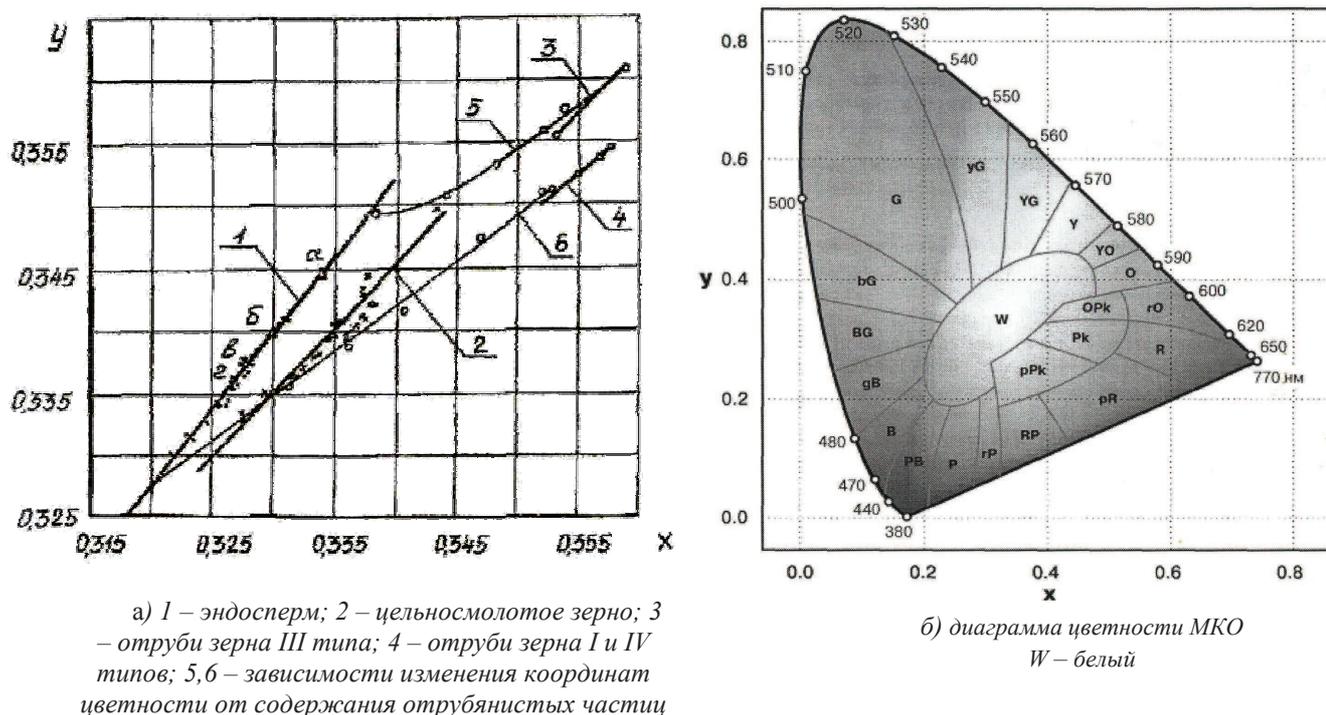


Рис. 1 – Координаты цветности измельченных продуктов

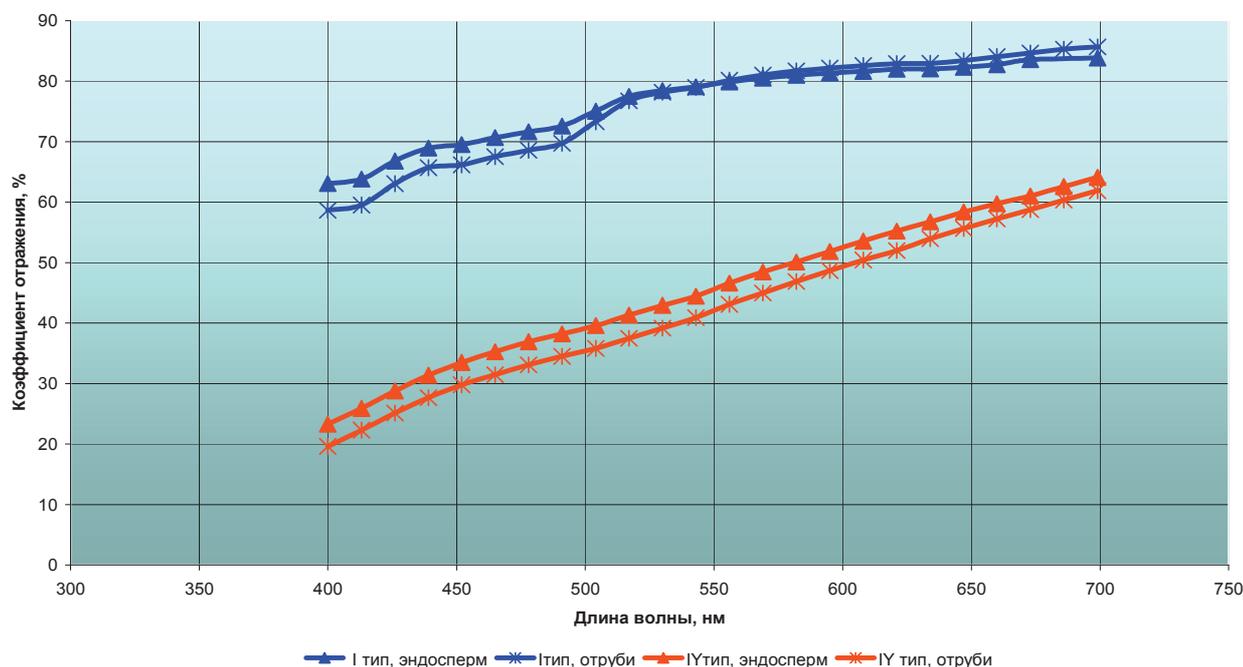


Рис. 2 – Спектральные кривые отражения эндосперма и отрубянистых частиц

Разработанный метод повсеместно внедряется на мукомольных, хлебопекарных предприятиях, на предприятиях торговли, организациях по контролю качества муки. Около пяти тысяч приборов – белизномеров разных марок – используются для оценки сорта муки, оперативного контроля и управления технологическим процессом производства.

За последние годы нами совместно с ООО «НИЦ Интеллектуальные сканирующие системы» созданы две модели белизномеров: СКИБ-М, малогабаритный, переносной, серийно выпускаемый, хорошо известный специалистам отрасли, и СКИБ-Л (лабораторный) – новейший прибор, организован выпуск малыми сериями [7].

Таблица 1 – Сопоставление результатов инструментальных оценок, выполненных на различных приборах, с визуальной

Наименование показателя	Средний ранг визуальной оценки 10 наблюдателей	Фильтрофотометр				Лейкометр	Компаратор цвета	Белизномер РЗ-БПЛ, усл.ед.
		Разнооттеночность, ΔE	Координата цвета (светлота), Y	Координата цвета, Z	Белизна по Выщектому, (W)	Коэффициент отражения при $\lambda 522$	Светлота, Y	
Коэффициент конкордации	0,839	0,916	0,923	0,862	0,835	0,900	0,903	0,899
Опытное значение критерия Пирсона	117,5	51,3	51,7	48,3	46,8	50,4	50,5	51,6

Примечание: Опытное значение критерия Пирсона превышает теоретическое, равное 29,1



Рис. 3

Экспрессность определения показателя белизны, малая трудоемкость, возможность использования переносных белизномеров непосредственно в цехе, позволяют оперативно контролировать и управлять технологическим процессом производства муки. При этом обеспечивается выпуск продукции более ста-

бильной по качеству, исключается выпуск нестандартной по белизне муки. Также наблюдается увеличение выхода муки (общего на 0,5 % и высоких сортов на 1,5-2,0 %) за счет лучшего использования различных анатомических частей зерна. Предприятия же, располагающие возможностью осуществлять подбор зерна для переработки с учетом его фотометрических характеристик и формировать помольную смесь с учетом этих показателей, имеют дополнительное повышение выхода муки [3]. В Институте разработаны физическая и математическая модель формирования помольных смесей с учетом белизны компонентов.

Получаемый экономический эффект подтвержден справками с предприятий об увеличении выхода и повышении качества готовой продукции.

В первой части статьи коротко представлены исследования, по результатам которых идет широкое внедрение.

Результаты фундаментальных исследований цветových и геометрических характеристик зерна пшеницы (без разрушения его структуры), проведенных в Институте в рамках НИР, изложены ниже.

В настоящее время, время активного внедрения в нашу жизнь новейших высоких технологий (цифровые фотокамеры, видеокамеры, сканеры, томографы и многое др.), все более остро встает вопрос о создании простых универсальных и экспрессных методов и средств измерения для объективной оценки качества зерна, взамен визуальных оценок.

Цвет пшеницы – сортовой признак. Его учитывают в стандартах при классификации зерна на типы, подтипы. Цвет зерна пшеницы – это признак свежести зерна, его доброкачественности, соблюдения режимов послеуборочной обработки и хранения. Неблагоприятные условия созревания зерна, его уборки, хранения вызывают потемнение оболочек, их обесцвеченность, различные заболевания.

Для характеристики цвета зерна пшеницы принята описательная форма, например, «темно-красная». Отсутствие количественной характеристики цвета зерна пшеницы приводит к субъективности его определения. Объективные инструментальные методы и средства оценки ряда важных показателей качества зерна, например, типового состава, степени поражения зерна распространенными заболеваниями (фузариозом – около 4-5 млн. тонн больного зерна в отдельные годы), степени обесцвеченности зерна, наличия потемневших, проросших зерен с явно измененным цветом оболочек, зеленых и т.п. – отсутствуют.

И объясняется это довольно просто. Зерно пшеницы в нативном состоянии – чрезвычайно сложный объект для измерения цветových (колориметрических) и спектрофотометрических характеристик. Форма зерновки, ее строение, малые размеры, отсутствие насыщенных тонов – вот неполный перечень мешающих факторов.

Целью работы являлось исследование фотометрических и колориметрических характеристик зерна пшеницы в нативном состоянии без разрушения его структуры для разработки перспективных методов и средств экспрессной оценки качества зерна, базирующихся на оптических свойствах зерна.

Исследования проведены на пробах зерна озимой и яровой пшеницы I, II, III и IV типов основных почвенно-климатических зон произрастания, пяти лет урожая и на пробах сортовой пшеницы (Мироновская 880, Саратовская-29, Безостая 1 и др.), также полученных с опытных полей Научно-исследовательского института сельского хозяйства Центральных районов Нечерноземной зоны (НИИСХ ЦРНЗ) – Немчиновки и Центрального Ботанического Сада России – например, таких сортов, как Памяти Федина, Инна, Галина, Московская 39, Московская низкостебельная, Немчиновская 24 и др.

Исследования проведены на здоровом зерне, а также на зерне различной степени обесцвеченности, на зерне с желтыми бочками, зерне 3 стадий по стекловидности, фузариозном. Фузариозное зерно выделено на основе визуальной оценки специалистами высочайшей квалификации из зерна IV типа Краснодарского края.

Изучение фотометрических и цветových характеристик зерна пшеницы проводили методами спектрофотометрирования и фотоэлектрического компарирования с использованием общепромышленных и специализированных приборов и специально разработанных в составе работы методик экспонирования зерна, а также на спектрофотометре «SPECORD-M40», входящем в состав национального эталона Республики Беларусь [4,5]. Для повышения достоверности и точности измерений на «SPECORD-M40» численные значения координат цвета и цветности определены как среднее арифметическое из 6 циклов измерения. Один цикл измерения включал 10 независимых измерений для каждой пробы зерна. Визуальная оценка малых цветových различий исследуемых проб зерна проводилась 10 наблюдателями экспертами по зерну при стандартных условиях наблюдения и освещения. При выборе экспертов учитывались их компетентность, деловитость, объективность и психофизиологические возможности.

Анализ полученных результатов показал, что различия в фотометрических характеристиках зерна пшеницы I, II, III и IV типов при измерении его без разрушения структуры не превышают 13-15 % при среднем значении величины повторяемости (сходимости) в 2 % коэффициента отражения. Для надежного разделения зерна пшеницы на типы по фотометрическим характеристикам (без разрушения его структуры) необходимо хотя бы 3G, то есть надежное разделение зерна пшеницы на типы не может быть обеспечено.

Наибольшее различия по характеристикам цвета наблюдаются по координате цвета X – (красный участок спектра) между пробами зерна I и III типа (Австралия), достигающие 17, по пшенице отечественного происхо-

ждения различия по этой же координате составляют 6,6. По другим координатам цвета различия незначительные. Между колориметрическими характеристиками зерна пшеницы I и IV типов различий практически нет.

На основе проведенных исследований цветовых и фотометрических характеристик, полученных на уникальных приборах и общепромышленных отечественных и зарубежных фотометрах при измерении зерна пшеницы в нативном состоянии доказано: классические традиционные методы, средства измерения и опробованные методики экспонирования зерна не дали надежного разделения всего зерна на типы и подтипы и обусловили необходимость использования принципиального иного подхода.

Были опробованы более чувствительные к изменению цвета инструментальные методы.

С целью исследования зерна выбранным методом цифрового изображения нашими соисполнителями изготовлен макет установки, одним из узлов которой был специально разработанный сканер.

Для изучения зерна, его отдельных показателей цвета на макете установки компьютеризированного цифрового анализа зерна проведено уточнение методики экспонирования для получения сформированного цифрового изображения зерна без искажения цветопередачи и размеров зерна. Эксперименты проведены в нескольких направлениях: определение ориентации зерен относительно источников света; выбор цвета фона, исключения теневых эффектов, бликов; определение разрешающей способности установки; определение, какая часть зерновки в большей степени формирует цвет; определение количества зерен, необходимо для измерения, чтобы проба была репрезентативна и измерение обеспечивало достоверность измерения.

Исследование зерна пшеницы различных типов, подтипов, различной степени по стекловидности, различной степени обесцвеченности, зерна здорового и поврежденного, разработанным методом «цифрового изображения зерна» показало, что по цветовым характеристикам и размерам обнаружены значимые различия, но доказано, что найденные различия были более яркими и значимыми при использовании совокупности 16 характеристик цвета, 5 геометрических характеристик и 5 зон цветности. Нашими соисполнителями разработано специальное программное обеспечение, позволяющее оценивать каждое зерно по этим 28 характеристикам, с выдачей отчета по исследуемому образцу [4,5].

Для наглядности и возможности проведения анализа результаты исследования представлены по трем характеристикам – координатам цвета R, G, B – красный, зеленый, синий. В таблице 2 представлены полученные на макете установки цифрового изображения зерна отдельные цветовые характеристики фузариозного зерна и зерна, поврежденного оливковой плесенью, а также геометрические характеристики зерна различной стадии прорастания в сравнении с исходным (табл. 3).

Таблица 2 – К оценке применимости макета установки для анализа зерна, пораженного заболеваниями

Исследуемые пробы	Яркость в цветовом пространстве RGB в диапазоне значений от 0 до 256				Соотношение размеров зерновок
	R красный	G зеленый	B синий	медиана	
Контроль	163	118	78	127	2,04
Фузариозное	189	154	112	160	2,08
Чернь, оливковая плесень	133	100	70	107	2,01

Таблица 3 – Сравнительные данные по геометрическим характеристикам зерен пшеницы различной стадии прорастания. Дата и время формирования: 21.06.2006 23:28

N зерна	Большая ось, мм		Малая ось, мм		Отношение осей		Смещение малой оси, мм		Площадь, кв.мм	
	Средн	Дисп	Средн	Дисп	Средн	Дисп	Средн	Дисп	Средн	Дисп
I тип, Татарстан										
100(И)	7.222	0.313	3.357	0.250	2.160	0.140	0.301	0.125	18.879	2.246
100-(1ст)	7.108	0.321	3.078	0.264	2.322	0.172	0.203	0.187	17.131	2.240
100-(2ст)	6.254	0.480	3.208	0.304	1.958	0.148	0.243	0.206	15.564	2.341

Для фузариозного зерна наибольшие различия (до 42 %) наблюдаются для координаты цвета B в синей области спектра. Для зерна 2-ой стадии прорастания для всех проб наблюдаются явное уменьшение поверхности и других размеров.

Известно, что вследствие многообразия внешних признаков фузариозного зерна, такие зерна достаточно трудно визуальнo отличить от зерен, аномальных по цвету, т.к. по внешним признакам они совпадают с фуза-

риозными. К подобному зерну относится незрелое, обесцвеченное, заплесневелое, розовоокрашенное нефузариозное и др. Многообразие внешних признаков, характеризующих то или иное заболевание, требуют значительного статистического материала для подтверждения найденных стабильных различий зерна, поврежденного типичными заболеваниями, и формирования «компьютерных эталонов» такого зерна.

На основе изучения товарных партий зерна пшеницы трех лет урожая в 2005 г. (по определению степени обесцвеченности, типа, подтипа, стекловидности, «желтобочков», различных сортов, зерновой и сорной примесей, зерна, поврежденного погодными условиями и типичными заболеваниями) методом «цифрового изображения», а также проведенного анкетирования специалистов предприятий зернового комплекса России уточнен перечень показателей качества зерна, который может быть определен разработанным инструментальным методом.

На рисунке 4 представлена схема контроля качества зерна с использованием разработанного метода и сканирующего анализатора зерна при хранении зерна для периодического контроля состояния зерна.

Разработаны исходные требования на аппаратно-программный комплекс – сканирующий анализатор зерна. Проведена технико-экономическая оценка использования и внедрения инструментального метода цифрового компьютеризованного анализа зерна на всех этапах производства, приема и хранения зерна. Экономический эффект составил 24,6 руб. на тонну зерна, направляемого на продовольственные нужды. Расчетный эффект получен за счет снижения субъективности органолептической оценки, трудоемкости анализа, а также предполагаемого исключения рисков смешивания зерна различного качества, обеспечения сохранности зерна при хранении, предотвращение использования зерна, поврежденного различными заболеваниями, обеспечит выработку качественной продукции, безопасной для человека.



Рис. 4 – Схема контроля качества и состояния зерна при формировании и хранении партий с применением сканирующего анализатора зерна

Выводы

1. Система контроля качества муки по показателю «белизна», взамен показателя «зольность», представляющая собой совокупность стандартизованных нормативов, средств измерения, системы обеспечения единства измерения белизны повсеместно внедряется на предприятиях.
2. Разработан метод «цифрового изображения зерна», в основе которого лежит сопоставление исследуемого зерна с «компьютерным эталоном» зерна.
3. Разработаны (сформированы) компьютерные «эталон зерна» пшеницы I, IV типов, различных сортов, разной степени обесцвеченности, сорной и зерновой примесей.
4. В результате исследования цветовых и геометрических характеристик более 200 проб зерна пшеницы I, IV типов различных районов произрастания, а также ряда сортов, полученных от сортоиспытания

тельных станций и НИИ сельского хозяйства, разработанным методом «цифрового изображения зерна», подтверждена возможность разделения на типы с вероятностью 80-85 %.

Разработка и продвижение в экономику новых технологий контроля качества зерна с применением аппаратно-программных средств, чрезвычайно актуально, перспективно и, как показали, проведенные экспериментальные исследования, технически возможно.

Литература

1. Штейнберг Т.С., Мамбиш И.С., Семикина Л.И. Научный и практический вклад лаборатории приборов и метрологии в создание экспрессных методов и средств оценки качества зерна и продуктов его переработки [Текст] // 75 лет развития науки, технологии и техники хранения и переработки зерна. Юбилейный сборник. – М.: Типография Россельхозакадемии, 2005. – С.87-100.
2. Штейнберг Т.С. Фотометрические свойства зерна пшеницы и формирования помольных смесей с учетом белизны [Текст] // Сборник материалов 2-го Всероссийского конгресса зернопереработчиков «Нивы России». – Барнаул, 2003. – С.181-186.
3. Штейнберг Т.С., Амагуни А.Л., Болотов В.И. О перспективах создания аппаратно-программных средств для контроля качества зерна. Экспериментальные исследования [Текст] // Зерно и зернопродукты (КазНИИ). – 2004. – №3(4). С.46-51.
4. Штейнберг Т.С. Исследование оптических характеристик зерна и его анатомических частей с целью разработки экспрессных методов оценки качества муки и зерна [Текст] // Сборник материалов научно-практической конференции «Интеграция фундаментальных прикладных исследований – основа развития современных аграрно-пищевых технологий». – Углич, ВНИИМС Россельхозакадемии, 2007. – С.374.
5. Метрология. III Специализированная выставка-конкурс средств измерений и испытательного оборудования. Официальный каталог [Текст]. – М., 2007. – С.50-51.

УДК 664.723.047

ВПЛИВ ВОЛОГОВМІСТУ ТЕПЛОНОСІЯ НА ПРОЦЕС СУШІННЯ ЗЕРНА

**Снєжкін Ю.Ф., д-р техн. наук, професор, Пазюк В.М., мол. наук співробітник,
Петрова Ж.О., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, Михайлик Т.О., наук. співробітник
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ**

У роботі наведено результати досліджень впливу вологовмісту теплоносія на кінетику сушіння насіння зерна, як визначний фактор інтенсифікації процесу.

In this article presents the researching of the impact of heat moisture on the drying kinetics of seed corn, like the determinant of intensification process.

Ключові слова: сушіння зерна, вологовміст теплоносія, кінетика сушіння, інтенсифікація процесу.

Дослідження впливу вологовмісту теплоносія на кінетику процесу сушіння насіння зерна має за мету вивчити можливість інтенсифікації процесу сушіння, що в кінцевому випадку визначає значення питомих витрат теплоносія і теплоти (на 1 кг випареної вологи), а також впливає на продуктивність зерносушарки.

При рециркуляції відпрацьованого теплоносія в зерносушарці знижуються енерговитрати на процес сушіння зерна, що є одним із способів економії палива. Але повторне використання відпрацьованого теплоносія приводить до підвищення його вологовмісту, що приводить до сповільнення видалення вологи з зерна і зниження енергофактивності зерносушарки [1,2].

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження [3] показують, що вологовміст теплоносія є одним з впливових факторів процесу тепломасообміну при сушінні зерна.

Результати наших досліджень показали, що при сушінні зерна, коли інтенсифікація процесу обмежена величиною гранично допустимої температури, чинником, здатним впливати на інтенсивність сушіння, є вологовміст теплоносія. Це особливо важливо за низькотемпературного сушіння збіжжя насінневого призначення.