

2. При змішуванні партій зерна 2 та 3 класу спостерігається поліпшення якості та кількості клейковини, що приводить до підвищення класу суміші практично у всіх співвідношеннях зразків.
3. При змішуванні партій зерна 2 та 3 класів можна отримати прибуток від 20 до 100 грн. за 1 тону зерна.

#### Література

1. Мартянова А.И., Кравцова Б.Б., Васюнина Т.В., Гришина Г.Е. Оцінка технологічних властивостей товарних партій пшениці. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 264 с.
2. Мясникова А.В., Ралль Ю.С., Трисвятский Л.А., Шатилова И.С. Товароведение зерна и продуктов его переработки. Издательство «Колос». – 1971. – 400 с.
3. Яковенко А.І., Борта А.В. Вплив підсортування пророслого зерна пшениці на якість суміші. Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: 2011. – Вип. 37.-Т.1.– С. 86-88.
4. Яковенко А.І., Євдокимова Г.Й., Погонцева Е.І. Змішувальна здібність сорту дарунок як поліпшувача деяких м'яких пшениць. Наукові праці ОДАХТ. – Одеса: 1997. – Вип. 17.– С. 21-24.
5. Яковенко А.І., Євдокимова Г.Й., Погонцева Е.І., Науменко В.І. Вивчення змішувальної здатності деяких сортів пшениці. Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: 2003. – Вип. 25.– С. 3 – 6.

УДК 664.723.047

## ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СУШКИ И ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА

Сорочинский В.Ф., д-р техн. наук

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

*Показано, что процесс сушки зерна можно рассматривать как технологическую систему, состоящую из ряда подсистем, определяемых технологией сушки, каждая из которых характеризуется показателем стабильности. Эти показатели рассчитываются на основании проведенных испытаний, а их суммарное значение определяет уровень целостности всей системы. На основании диагностики протоколов испытаний зерносушилок установлено, что применение технологии двухстадийной сушки позволило увеличить стабильность основной подсистемы - сушки зерна и уровень целостности технологической системы.*

*It is shown that the process of grain drying can be regarded as a technological system consisting of a number of subsystems defined by the technology of drying, each of which is characterized by the index of stability. These indices are calculated on the basis of the conducted tests, and their total value determines the level of integrity throughout the system. On the basis of diagnostics of the test reports of the dryers it was determined that the use of two-stage drying technology allowed to increase the stability of the basic subsystem - drying of grain and the integrity level of the technological system.*

Ключевые слова: показатель стабильности, сушка, уровень целостности, технологическая система.

Ефективність технологічних процесів в харчовій промисловості, основні напрями їх удосконалення та розвитку, створення нових технологій та обладнання визначаються на основі комплексу показників, в який наряду з традиційними удільними витратами палива, електроенергії, матеріалоємкості входить і рівень цілісності технологічних систем, визначений показателями стабільності окремих підсистем процесу [1,2].

Сушці піддається зерно різних злакових, зернобобових та масличних культур, відрізняючись сукупністю фізических, фізико-хімічних та біохімічних характеристик. Труднощі технологічного характеру при сушці виникають також із-за поступлення зерна різного якості з широким діапазоном змін по вологості, засореності та іншим показателям. Зміна цих властивостей впливає на вибір параметрів технологічних процесів, режими сушки, вибір зерносушилки та якість просушеного зерна.

Важливішою характеристикою зерна є термоустійчивість, визначена його вологістю, температурою нагріву, тривалістю нагріву та температурою сушильного агента. Зерно в процесі сушки, термостативування та охолодження претерпує ряд глибоких змін, пов'язаних з біохімічними та фізико-хімічними перетвореннями, відбуваються зміни в його колоїдній та капілярно-пористій структурі.

Сохранение и улучшение качества зерна при сушке обеспечивается применением различных технологических схем и режимов сушки. При этом общим для всех технологических систем высокотемпературной сушки зерна является:

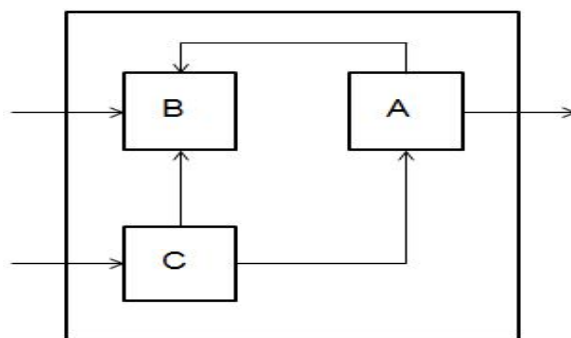
- приём и хранение зерна до сушки в объёмах, обеспечивающих стабильную работу зерносушильного оборудования;
- предварительная очистка зерна и формирование партий зерна, однородных по своим показателям и назначению;
- формирование транспортных потоков зерна, обеспечивающих технологическую схему сушки (прямоточную, рециркуляционную, с предварительным нагревом или без предварительного нагрева зерна);
- подготовка сушильного агента заданных параметров и распределение его по зонам сушки;
- подготовка охлаждающего воздуха, в том числе с использованием искусственного холода;
- проведение тепломассообменных процессов (предварительный нагрев, отлёжка, сушка и охлаждение зерна);
- выгрузка зерна с формированием партий зерна с заданными параметрами;
- активное вентилирование зерна, в том числе с дополнительным охлаждением и его досушкой в процессе охлаждения;
- хранение зерна.

Таким образом, сушка зерна рассматривается как непрерывный технологический поток, представляющий собой совокупность технологических операций и процессов. Вместе с тем, сравнительный анализ различных технологий сушки зерна по уровню целостности технологического процесса до настоящего времени не осуществлялся, не разработаны операторные модели процесса, не определены показатели стабильности отдельных подсистем процесса сушки и уровень его целостности. При этом «стабильный процесс – это процесс, утвердившийся на определенном уровне устойчивости. И если устойчивость характеризует качество функционирования системы, то стабильность – уровень организованности, целостности системы, уровень ее развития» [1].

Применение метода системного анализа позволяет определить основные критерии технологических потоков при сушке зерна и их взаимодействие с внешней средой. При этом только совокупность вышеперечисленных операций может обеспечить сушку зерна и сохранение его качества, т.е. технологический поток представляет собой целостную систему процессов, а характеристикой технологического потока, отражающей меру его организованности и системности технологии, определяемой в результате диагностики, является уровень целостности.

Для количественной оценки различных уровней организации технологических процессов и расчёта уровня целостности технологической системы по показателям стабильности её составляющих появилась возможность объективно оценить надёжность функционирования технологических систем сушки зерна.

Основные структурные схемы технологических систем высокотемпературной прямоточной сушки зерна с предварительным нагревом, либо без него, а также высокотемпературной рециркуляционной сушки зерна с нагревом сырого зерна от рециркулирующего, либо в специальных аппаратах для нагрева зерна (рис.1) состоят из статистически зависимых подсистем сушки зерна А, предварительного нагрева зерна В и подготовки сушильного агента и теплоносителя С. Технологическая система двухстадийной сушки зерна включает дополнительно подсистему досушивания зерна при активном вентилировании А1.



*С – подсистема подготовки сушильного агента и теплоносителя;  
В – подсистема предварительного нагрева зерна; А – подсистема сушки зерна*

**Рис.1 – Структурная схема высокотемпературной рециркуляционной сушки с предварительным нагревом сырого зерна**

Расчёт уровня целостности технологических систем проводился по методике [1], как сумма слагаемых стабильности отдельных подсистем:

$$Q_{CBA} = \eta_C + \eta_{B/C} + \eta_{A/CB} - 2, \quad (1)$$

где  $\eta_{B/C}$  – условная стабильность подсистемы В относительно подсистемы С;  $\eta_{A/CB}$  – условная стабильность подсистемы А относительно подсистем С и В.

При этом стабильность каждой подсистемы определялась из соотношения:

$$\eta_i = H_i / H_{i\max}, \quad (2)$$

где  $H_{i\max}$  – максимально возможная информационная энтропия i-ой подсистемы, соответствующая закону равномерного распределения значений величин;

$H_i$  – информационная энтропия i-ой подсистемы, соответствующая распределению значений величин, характеризующих качество выходного параметра подсистемы, определяемая по формуле:

$$H_i = -P_{1i} \log_2 P_{1i} - P_{2i} \log_2 P_{2i}, \quad (3)$$

Вероятность попадания фактического значения параметра процесса в соответствующий интервал годных ( $n_{1i}$ ) и негодных ( $n_{2i}$ ) значений параметра равна:

$$P_{1i} = n_{1i} / n, \quad (4)$$

$$P_{2i} = n_{2i} / n = (1 - P_{1i}), \quad (5)$$

В соответствии с этим для каждой подсистемы:

$$H = -P \log_2 P - (1 - P) \log_2 (1 - P), \quad (6)$$

При этом максимально возможная энтропия, соответствующая закону равномерного распределения величин, для случая с двумя возможными исходами при равной вероятности отдельных наблюдений будет равна:

$$H_{\max} = 0,5 \log_2 0,5 - 0,5 \log_2 0,5 = 1 \text{ бит}, \quad (7)$$

При расчёте стабильности отдельных подсистем показатель качества подсистемы считался негодным в случае отклонения температуры теплоносителя от режимного параметра свыше 5 °С, температуры нагрева зерна 3 °С, влажности зерна после сушки 0,5 %, температуры зерна после охлаждения – на 10 °С превышающей температуру атмосферного воздуха. Диагностика осуществлялась по протоколам приёмочных испытаний зерносушилок [3].

На основании анализа технологических схем и операторных моделей различных высокотемпературных зерносушилок, эксплуатируемых на элеваторах, хлебоприёмных и зерноперерабатывающих предприятиях определены по вышеприведенной методике (табл.1) показатели стабильности отдельных подсистем и уровни целостности технологических систем сушки зерна.

**Таблица 1 – Показатели стабильности подсистем и уровня целостности основных типов шахтных прямоточных и рециркуляционных зерносушилок**

Тип сушилки	Показатели стабильности подсистем			Уровень целостности системы
	Подготовка сушильного агента	Предварительный нагрев зерна	Сушка зерна	
ДСП – 32 от	0,60	-	0,29	- 0,11
РД2 x 25	0,66	0,69	0,42	- 0,23
А1 – УЗМ	0,46	0,28	0,28	- 0,98

Установлено, что максимальный уровень целостности, равный минус 0,11, имеет простая в технологическом отношении прямоточная зерносушилка ДСП-32от, имеющая две подсистемы, при этом показатели стабильности подсистем сушки зерна и подготовки сушильного агента составляют соответственно 0,29 и 0,60. У рециркуляционной зерносушилки с предварительным нагревом зерна РД2x25, имеющей три подсистемы: предварительного нагрева зерна, сушки зерна и подготовки сушильного агента, уровень целостности составляет минус 0,23, а показатели стабильности подсистем соответственно 0,69; 0,42 и 0,66.

Указанные сушилки имеют довольно низкий коэффициент полезного действия – 49 – 51 %, т.к. в их конструкции не предусмотрены дополнительные устройства для экономии топлива: утилизации отработавшего теплоносителя, сушильного агента, охлаждающего воздуха и т.д. При этом низкие показатели стабильности подсистем сушки зерна объясняются в основном недостаточным уровнем автоматизации и регулирования процесса сушки и предварительного нагрева зерна. Показатель стабильности подсистемы сушки у зерносушилки РД2х25 выше, чем у зерносушилки ДСП-32от. Это связано с тем, что в зерносушилке ДСП-32от основной процесс сушки протекает в стадии нагрева зерна, что вследствие неравномерности движения зерна по шахте может вызвать его перегрев, а у зерносушилки РД2х25 – в стадии охлаждения зерна.

У рециркуляционной зерносушилки А1-УЗМ самые низкие показатели стабильности подсистем предварительного нагрева зерна, сушки зерна и подготовки сушильного агента – 0,28; 0,28 и 0,46, а уровень целостности составляет минус 0,98. Это объясняется сложной технологической схемой сушилки и нестабильной работой подогревателя зерна, вынужденного обеспечивать максимально возможную температуру нагрева рециркулирующего зерна для повышения температуры смеси сырого и рециркулирующего зерна в теплообменнике зерносушилки. При этом нестабильной является и температура сушильного агента, поступающего в газонапорную камеру сушилки после нагревателя зерна и зависящая от режимов его работы. Данная зерносушилка имеет также и повышенный удельный расход электроэнергии на сушку зерна для обеспечения транспортных потоков зерна по принятой технологической схеме сушки.

Повысить уровень целостности технологических систем указанных зерносушилок за счёт повышения стабильности подсистем сушки зерна можно с применением технологии двухстадийной сушки, когда активное вентилирование используется не только для охлаждения, но и для досушки зерна. В этом случае появляется возможность использовать мягкие режимы сушки, отлёжку зерна на различных стадиях сушки, осуществить охлаждение зерна после сушки до температур, близких к температуре атмосферного воздуха, и избежать пересушки зерна, что позволит сохранить его качество и снизить энергозатраты на сушку. При этом расширение функциональных возможностей элементов технологической системы, связанное с введением дополнительной подсистемы, опережает рост их сложности.

С использованием результатов исследовательских и приёмочных испытаний проведена диагностика двухстадийной сушки зерна риса на Славянском комбинате хлебопродуктов Краснодарского края [3]. Применительно к зерносушилкам РД2х25-70, ДСП-32от и системам активного вентилирования в силосах элеватора У1-УВС и зерноскладах СВУ-2 в соответствии со структурными схемами технологических систем сушки разработаны их операторные модели. Результаты диагностики показали, что применение двухстадийной сушки приводит к повышению уровня целостности системы за счёт повышения стабильности основной подсистемы сушки зерна (табл.2).

**Таблица 2 – Показатели стабильности подсистем и уровня целостности двухстадийной технологии сушки зерна**

Тип сушилки	Тип системы активного вентилирования	Показатели стабильности подсистем				Уровень целостности системы
		Подготовка сушильного агента	Предварительный нагрев зерна	Сушка зерна	Активное вентилирование зерна	
РД2 х 25	У1 – УВС	0,66	0,69	0,81	0,96	+ 0,12
ДСП – 32от	СВУ – 2	0,60	–	0,71	0,87	+ 0,18

Измерение параметров процесса сушки зерна определяли в течение 10 – 12 ч при установившемся режиме работы сушилки. Отбор образцов зерна на измерение его влажности осуществлялся через каждые 30 мин с формированием одной пробы за 2 ч. Температура сушильного агента, теплоносителя, охлаждающего воздуха, а также зерна на входе в сушилку, максимальная при сушке и после охлаждения измерялись через каждые 30 мин.

Для технологической системы двухстадийной сушки зерна уровень целостности зерносушилок ДСП-32от и РД2х25 возрос за счёт повышения стабильности основной подсистемы сушки зерна. Это достигнуто за счёт снижения неравномерности сушки при повышении производительности сушилки по новой технологии и предотвращения пересушивания зерна. Одновременно снижаются колебания влажности и температуры просушенного зерна за счёт обеспечения его досушивания и охлаждения до безопасных температур в подсистеме активного вентилирования. Наиболее перспективно применение технологии двухстадийной сушки зерна при досушке и активном вентилировании зерна в силосах элеваторов с контролируемой подачей атмосферного воздуха.

Одновременно с повышением уровня целостности системы и стабильности отдельных подсистем снижаются энергозатраты на сушку. По результатам приемочных испытаний применение двухстадийной сушки зерна риса позволило снизить затраты топлива на сушку на 15 – 30 %, электроэнергии на 20 % с одновременным увеличением общего выхода крупы на 0,4 – 0,5 % и выхода целой крупы на 2,1 – 2,7 %. С физической точки зрения это объясняется снижением тепловых потерь на сушку за счёт рационального использования тепла, пошедшего на нагрев зерна для испарения влаги в процессе охлаждения в системах активного вентилирования и сокращением потерь тепла с отработавшим сушильным агентом в высоко-температурных зерносушилках.

### Выводы

Показано, что процесс сушки зерна можно рассматривать как технологическую систему, состоящую из ряда подсистем, определяемых технологией сушки, каждая из которых характеризуется показателем стабильности, а их суммарное значение определяет уровень целостности всей системы. По результатам расчета этих показателей по данным испытаний в производственных условиях шахтных прямоточных и рециркуляционных зерносушилок установлено, что технология двухстадийной сушки имеет уровень целостности выше, чем в зерносушилках, в которых сушка и охлаждение осуществляется в одном блоке за счет увеличения стабильности основной подсистемы сушки зерна. Полученные результаты корреспондируются с удельными энергозатратами на сушку зерна. Приведенный механизм анализа может быть использован для дополнительной оценки эффективности процессов сушки, в том числе его точности, устойчивости, управляемости и надежности.

### Литература

1. Панфилов В.А., Ураков О.А. Технологические линии пищевых производств. – М.: Пищевая промышленность, 1996. – 472 с.
2. Аксенова Л.М. Научное обеспечение прогрессивных технологических потоков мучных кондитерских изделий: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – М.: 1996. – 43 с.
3. Сорочинский В.Ф. Повышение эффективности конвективной сушки и охлаждения зерна на основе интенсификации тепломассообменных процессов: Автореф. дис... д-ра. техн. наук. – М.: 2003. – 59 с.

УДК 664.726.011:664.71-11

## РЕЖИМЫ ВЛАГОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Жигунов Д.А., канд. техн. наук, доцент  
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*В статье показана технологическая целесообразность проведения влаготепловой обработки при подготовке мягкозерной и безамилосной пшеницы к переработке. Определены оптимальные режимы ВТО для зерна пшеницы новых типов. Для мягкозерной пшеницы рекомендована влажность зерна перед помолом 15,0-15,5 %, продолжительность отволаживания – 10-12 ч. Для безамилосной пшеницы рекомендована влажность зерна перед помолом 16,0-16,5 %, продолжительность отволаживания – 16-18 ч.*

*The technological usefulness of the conditioning of the soft and waxy wheat prior to milling is shown in this paper. The optimal modes of the conditioning of the new wheat types are determined. For the soft wheat is recommended the optimum milling moisture content 15,0-15,5%, rest period before milling – 10-12 hours. For the waxy wheat is recommended the optimum milling moisture content 16,0-16,5%, rest period before milling – 16-18 hours.*

Ключевые слова: пшеница, влаготепловая обработка, режимы, выход муки, белизна, эффективность помола.

Влаготепловая обработка является неотъемлемой составляющей при сортовых помоях. Ее применение вызвано тем, что комплексное воздействие на зерно водой с последующим отволаживанием (отлежкой) зерна приводит к изменению его физико-химических свойств. В результате ВТО происходит снижение плотности зерна, т.е. наблюдается разрыхление первоначальной плотной структуры эндосперма. Это происходит в результате разрушения эндосперма микротрещинами, образующимися при проникновении