

2 автореф.  
11 32

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
им. М.В.Ломоносова

На правах рукописи

ШАШКИН Аркадий Борисович

УДК 664.723:658.513.5

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОСУШИЛОК

Специальность 05.18.03 - первичная обработка,  
хранение зерна и другой продукции растениеводства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Переучёт 1986

Одесса - 1986

2019 р.г. 11

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова и Одесском областном управлении хлебопродуктов

- Научный руководитель - доктор технических наук, профессор В.И.Жидко
- Оponentы - доктор технических наук, профессор П.Н.Платонов
- кандидат технических наук, доцент В.А.Резчиков
- Организация - Черкасский комбинат хлебопродуктов

КТ 10.05.12  
Повышение эффективно



v015476

Защита состоится "26" сентября 1986 г. в 13 час. на заседании специализированного совета К 068.35.02 в Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова, 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова

Автореферат разослан "22" августа 1986 г.

Секретарь  
совета  
 В.П.Дутко

12

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Одной из главных народнохозяйственных задач Продовольственной программы СССР, принятой майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС, является значительное увеличение сельскохозяйственной продукции. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года намечено довести валовой сбор зерна до 250...255 млн. тонн.

На XXVII съезде КПСС в качестве одного из важнейших поставлен вопрос повышения эффективности производства, снижения затрат, экономии всех видов ресурсов, улучшения использования имеющегося производственного потенциала.

В связи с этим особое значение получают работы, связанные с развитием и повышением эффективности технической базы (в том числе зерносушильного хозяйства) хлебоприемных предприятий.

В результате радикальных изменений, происшедших в последние десятилетия в теории и технике сушки зерна, современные зерносушилки способны сушить зерно с высокой начальной влажностью и большой засоренностью при увеличенной производительности. Несмотря на это, в связи с увеличением объема заготовок зерна и сокращением сроков уборки многие хлебоприемные предприятия испытывают недостаток сушильной мощности, что сдерживает темпы хлебосдачи, приводит к потерям зерна и снижению его качества.

В то же время существующие зерносушильные мощности используются недостаточно эффективно, что связано со многими недостатками организационного и технического характера: несвоевременным обеспечением сырьем и топливом, выходом из строя отдельных элементов технологических схем зерносушильных агрегатов, отсутствием надлежащей согласованности транспортных потоков зерна, сложностью и трудоемкостью методов контроля и управления режимами сушки.

Одесский институт пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова  
БИБЛИОТЕКА

v. 0. 15476 ✓

С целью повышения производительности шахтных прямоочных зерносушилок их переводят на интенсивные нисходящие режимы с предварительным нагревом и рециркуляцией зерна. При этом дополнительно устанавливаются конвективные нагреватели зерна, что с теоретических позиций должно повысить производительность зерносушилок и снизить затраты топлива на сушку.

Однако эффективность использования реконструированных зерносушилок не повысилась по следующим причинам:

введение дополнительных устройств и связей усложнило технологическую схему процесса и привело к снижению стабильности уровня зерна в бункерах;

усложнение технологических схем и колебания уровня зерна в надсушильном и тепловлагообменном бункерах приводит к снижению устойчивости режимов, усложнению контроля и управления процессом;

в нагревателях зерна имеют место значительные колебания аэродинамического сопротивления, что при существенной разности аэродинамических сопротивлений нагревателя и сушильных шахт приводит к нарушениям режимов параллельно работающих вентиляторов в сети;

недостаточная вместимость бункера над шахтами не позволяет осуществить перераспределение влаги в отдельных зернах и выравнивание температуры смеси зерна.

Основным техническим мероприятием, которое может повысить эффективность без значительных капитальных вложений, является применение режимов сушки и технологических схем зерносушилок, обеспечивающее их устойчивую и надежную работу при минимальном количестве средств контроля и управления процессом.

Однако целенаправленное применение этих мероприятий в производственных условиях невозможно без определения количественной

оценки надежности и устойчивости режимов сушки и технологических схем зерносушилок, определения статических и динамических характеристик, обоснования и разработки системы организационно-технических мероприятий, обеспечивающих снижение простоев сушилок.

Целью работы является повышение эффективности использования зерносушилок путем совершенствования технологических схем, разработки устойчивых режимов сушки, улучшения методов организации, контроля и управления сушилками, обеспечивающих сокращение простоев.

Конкретными задачами работы являются:

анализ эффективности использования зерносушилок;

установление теоретических предпосылок повышения эффективности использования зерносушилок;

определение влияния устойчивости и надежности технологических процессов сушки на эффективность использования сушилок;

разработка технологических схем и выбор конструктивных параметров зерносушилок, обеспечивающих устойчивость режимов сушки;

обоснование методов контроля и способов управления, способствующих повышению эффективности, и разработка организационно-технических мероприятий, обеспечивающих снижение простоев зерносушилок.

Научная новизна работы заключается в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении наиболее целесообразных способов повышения эффективности зерносушилок, количественной оценке устойчивости режимов сушки, определении статических характеристик и закономерностей переходных процессов в наименее устойчивых элементах, разработке режимов сушки и технологических схем с повышенной устойчивостью, установлении минимального количества точек контроля и управляющих воздействий, обеспечивающих

заданную эффективность процесса.

Практическая значимость работы состоит в разработке и внедрении в производство технологических схем зерносушилок, обеспечивающих повышение эффективности их использования, рекомендаций по проектированию технологических схем сушилок с повышенной устойчивостью и надежностью, организационно-технических мероприятий для сокращения простоев и повышения использования сушилок, обобщенного показателя эффективности зерносушилок.

Апробация работы. Основные материалы диссертации доложены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава ОТИП им. М.В.Ломоносова (г.Одесса, 1983, 1984 гг.) и Всесоюзной конференции "Математическое моделирование и оптимизация схем, режимов и оборудования химико-технологических, энерготехнологических и теплоэнергетических систем" (г. Черновцы, 1985 г.).

Публикация результатов. По теме диссертационной работы опубликовано 11 статей, получено 2 авторских свидетельства и 2 положительных решения ВНИИ ПЗ на выдачу авторского свидетельства.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка использованной литературы из 111 наименований, в том числе 11 иностранных, изложена на 196 страницах машинописного текста и содержит 36 рисунков, 13 таблиц и 12 приложений.

На задату выносятся:

результаты исследования влияния устойчивости и надежности технологических процессов сушки зерна на эффективность использования зерносушилок;

обобщенный показатель эффективности использования зерносушильной мощности;

организационно-технические мероприятия для сокращения простоев и повышения использования зерносушилок;

рекомендации по проектированию технологических схем зерносушилок с повышенными характеристиками устойчивости и надежности; технологические схемы и режимы сушки зерна.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен обзор показателей, характеризующих эффективность использования зерносушилок и их отдельных устройств. Анализ и повышению эффективности сушильных процессов уделено большое внимание в исследованиях А.С.Гинзбурга, И.Л.Любошица, В.А.Резчикова, В.И.Мидко, Н.И.Малина и др. Вопросам устойчивости и надежности сушильных процессов уделено некоторое внимание в работах Н.В.Остапчука, Л.Д.Комышника, Т.Н.Гросул, А.П.Журавлева и А.Г.Громова. Однако в этих работах критерии эффективности, устойчивости и надежности сушилок строго не обоснованы, оценка эффективности по применяемым единичным показателям не всегда однозначна, т.к. значения самих показателей противоречивы по физическому смыслу и способу определения.

Анализ статистической и оперативной отчетности хлебоприемных предприятий и технологических схем основных способов сушки зерна позволяет установить, что зерносушилки используются недостаточно эффективно из-за простоев и несовершенной системы контроля и управления процессами сушки зерна, технологические схемы и режимы сушки характеризуются низкой устойчивостью процессов.

Основными причинами недостаточной устойчивости являются неравномерность нагрева и сушки зерна, непостоянство уровней зерна в теплообменных и загрузочных бункерах, возникновение положительных обратных связей при рециркуляции зерна в нагревателе. Наиболее низкой устойчивостью отличаются температурные режимы разветвленной тепловентиляционной сети из-за значительных изменений аэродинамического сопротивления в нагревателях и взаимовлияния изменений расходов

сушильного агента в параллельных ветвях. Весьма значительны вероятность перегрева зерна в изотермическом цикле и неравномерность просушенного зерна по влажности, вызванная недостаточным перемешиванием потоков зерна во втором контуре двухконтурных сушилок.

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации сформулировали цель функционирования зерносушилки: достижение заданной степени снижения влажности зерна и постоянства или улучшения его качественных признаков при нормируемых для данного типа зерносушилки производительности и расходов топлива и электроэнергии. Систематизировали параметры и точки контроля процессов сушки зерна в шахтных прямоточных и рециркуляционных зерносушилках. Определили цели и задачи работы.

Во второй главе установлены теоретические предпосылки повышения эффективности зерносушилок на основе организационно-технических мероприятий и в результате совершенствования систем контроля и управления и структуры технологических схем. Обоснована целесообразность использования обобщенного показателя эффективности зерносушилок, представляющего собой произведение единичных показателей с соответствующими коэффициентами весомости

$$E = \prod_{i=1}^n e_i^{n_i} \quad (I)$$

где  $E$  — обобщенный показатель эффективности;

$e_i$  — единичный показатель эффективности;

$n_i$  — коэффициент весомости  $i$ -го показателя;

$i$  — номер показателя.

Эффективное использование зерносушилок тесно связано с надежностью, устойчивостью и управляемостью процесса сушки. Для установления количественных значений критериев, характеризующих надежность и устойчивость технологических процессов сушки зерна, использованы определения и критерии надежности по ГОСТ 22954-78

применительно к сушке зерна.

Надежность процесса сушки оценивали по наработке на отказ. За отказ технологического процесса сушки зерна приняли любое нерегламентированное нарушение факторов, влияющих на качество зерна в процессе сушки, производительность зерносушильного агрегата и связанных с ним в технологическую линию машин и механизмов, а также приводящих к увеличению затрат топлива и электроэнергии выше их нормативных значений.

Для связи между эффективностью и надежностью процесса использовали коэффициент сохранения эффективности

$$\zeta_E = E(\tau_n) / E_n(\tau_n), \quad (2)$$

где  $\zeta_E$  — коэффициент сохранения эффективности;

$\tau_n$  — цикл функционирования;

$E(\tau_n)$  — показатель эффективности процесса за время  $\tau_n$ ;

$E_n(\tau_n)$  — номинальное значение эффективности процесса за время  $\tau_n$ , вычисленное при условии, что отказы в течение этого периода не возникают.

Технологическую устойчивость определили как способность зерносушилки в течение всего заданного периода сушки обеспечивать заданные влажность, температуру и основные качественные признаки зерна при ограниченных по абсолютной величине значениях входных воздействий (исходных температуры и влажности зерна, параметров режима и окружающей среды и пр.) и внутренних возмущений, возникающих из-за изменений свойств зерна и сушильного агента в процессе сушки.

Снижение качества зерна в процессе сушки, как установили И.И.Ленарский, И.И.Платонов, В.И.Жидко, С.Д.Птицын, В.А.Резчиков и др. исследователи, связано со сложными биохимическими изменениями белкового комплекса зерна. Эти изменения определяются темпе-

ратурой и влажностью зерна, продолжительностью его нагрева и зависят от природы белка. В связи с этим, начало денатурации белка следует положить в основу критерия, определяющего границы устойчивости режимов сушки.

На устойчивость процессов нагрева и сушки зерна в рециркуляционных зерносушилках большое влияние оказывают способы организации потоков зерна, сушильного агента и воздуха и свойства зерносушилок как объектов управления. Как показывает анализ операторных схем зерносушилок, наименее устойчивыми звеньями рециркуляционных зерносушилок являются нагреватель зерна, бункера и разветвленная тепловентиляционная сеть, а в рециркуляционно-изотермических — зона изотермической сушки.

Анализ теоретических предпосылок позволил определить основные принципы методики исследования.

В третьей главе приведены методика, программа и план исследования. В соответствии с основной целью и задачами исследования намечена программа исследования, предусматривающая определение статических и динамических характеристик нагревателей зерна. Для этого создана полупромышленная установка, которая содержит нагреватель сечением 625 x 200 и высотой 4000 мм со съемной стенкой и тормозными элементами в виде продуваемых решетчатых пластин с переменным углом наклона, норию, бункера для зерна и систему самотечных трубопроводов с перекидными клапанами и задвижками и тепловентиляционную сеть. Расход зерна через нагреватель составил 1,63 кг/с, время пребывания зерна в нагревателе — 10 с, коэффициент рециркуляции изменяли от  $N = 1$  до  $N = 5$ , температуру сушильного агента от 140 до 230°C, исходную влажность зерна от 17 до 22 %, температуру зерна от 2 до 50°C.

Программой исследования были предусмотрены серии опытов для

определения влияния коэффициента рециркуляции и промежуточной отлежки при периодическом нагреве зерна на характер зависимости температуры зерна на выходе из нагревателя от температуры сушильного агента и зерна и расхода зерна на входе в установившемся и переходном режимах.

Кроме того, на промышленной зерносушилке определяли параметры отработавшего сушильного агента и степень взаимосвязи температур и расходов сушильного агента в ветвях тепловентиляционной сети. Обработку экспериментальных данных осуществляли общепринятыми методами математической статистики.

В четвертой главе изложены основные результаты исследования.

Обобщенный показатель эффективности, учитывающий количественные и качественные результаты функционирования зерносушилок, уровень использования ресурсов и условия деятельности, определяли в соответствии с принятой целью функционирования и известными теоретическими положениями.

Показатель, характеризующий количественные результаты функционирования, вычисляли по выражению

$$\epsilon_{\varphi} = (M K_B K_K) / (0,854 \Pi T_n), \quad (3)$$

где  $M$  — масса просушенного зерна за время цикла функционирования;

$\Pi$  — паспортная производительность сушилки в плановом исчислении, т/ч;

0,854 — коэффициент, учитывающий нормированное время работы сушилок в сутки;

$K_B K_K$  — коэффициенты перевода массы просушенного зерна в плановые единицы в зависимости от начальной и конечной влажности и культуры и назначения зерна, соответственно.

Показатель сохранения качества зерна в процессе сушки определяли по формуле

$$\epsilon_{\varphi} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_j / K_{0j}, \quad (4)$$

где  $K_{0j}, K_j$  - показатели качества зерна до и после сушки соответственно;

$j$  - номер партии зерна;

$n$  - количество партий зерна.

Уровень использования ресурсов определяли сравнением издержек на сушку одной тонны зерна в плановом исчислении  $I$  с минимальными удельными издержками в регионе  $I_{min}$

$$e_R = I_{min} / I. \quad (5)$$

Показатель уровня контроля и управления процессом сушки, учитывающий соответствие влажности просушенного зерна заданной, вычисляли из соотношения

$$e_c = 1 - \sum_{i=1}^l \frac{M_i (W_{ki} - W_{di})^2}{M (W_{oi} - W_{ki})} \quad (6)$$

где  $i$  - номер партии зерна с различной заданной и конечной влажностью;

$W_d, W_o, W_k$  - влажность зерна соответственно заданная, начальная и конечная, %;

$M_i$  - масса зерна в  $i$ -й партии в плановом исчислении, т;

$l$  - число партий зерна.

По отчетным данным хлебоприемных предприятий Одесской области получены показатели, рассчитанные по формулам (3...6). Методом регрессионных зависимостей для средневзвешенных геометрических показателей определены коэффициенты весомости и получено выражение для вычисления обобщенного показателя эффективности зерносушилки

$$E = e_R \cdot e_a^{0,58} \cdot e_q^{0,41} \cdot e_c^{0,67} \quad (7)$$

Из этого выражения видно, что показатели уровня контроля процесса  $e_c$  и сохранения качества зерна  $e_q$  оказывают значительное влияние на численное значение обобщенного показателя эффективности

Показатели эффективности использования зерносушилок хлебоприемными предприятиями Одесской области

Хлебоприемные предприятия	Объем сушки в плановом исчислении, т	Расход усл. топлива на пл. ед., кг/т	Показатели				
			$e_a$	$e_q$	$e_R$	$e_c$	
Саратское	68900	11,4	0,976	0,986	0,849	0,983	0,823
Котовское	21000	11,3	0,794	0,978	0,901	0,950	0,756
Измайльское	26100	11,2	0,938	0,984	0,745	0,953	0,692
Б-Днестровское	65600	10,9	0,893	0,974	0,675	0,963	0,609
Алигское	24800	10,6	0,437	0,962	1,000	0,912	0,575
Балтское	33500	11,7	0,533	0,945	0,737	0,974	0,492
Заплавское	27200	11,9	0,886	0,892	0,709	0,974	0,545
Льбашевское	54200	11,6	0,730	0,859	0,709	0,934	0,532
Березинское	34000	11,8	0,940	0,724	0,629	0,942	0,512
Запиданское	29600	11,7	0,385	0,326	0,493	0,961	0,175
Болградское	36600	12,1	0,421	0,618	0,593	0,960	0,287
Червоновское	20400	12,0	0,441	0,590	0,640	0,912	0,302
Ренийское	12800	12,0	0,783	0,462	0,556	0,805	0,308
Мардаровское	12200	11,7	0,547	0,418	0,689	0,372	0,176

наряду с широкоиспользуемыми показателями  $\ell_R$  и  $\ell_Q$ . В таблице приведены показатели эффективности зерносушилок хлебоприемных предприятий, вычисленные по единичным и обобщенному показателю, а также произведено ранжирование эффективности зерносушилок по экспертным оценкам ведущих специалистов Одесского областного управления хлебопродуктов, обработанных в соответствии с ГОСТ 23554.4-81. Из сопоставления приведенных данных видно, что обобщенный показатель наиболее полно отражает итоги работы отдельного предприятия по сушке зерна. Полученное выражение (7) легло в основу разработки макета стандарта предприятия в комплексной системе управления качеством продукции и эффективным использованием ресурсов, а также учитывалось при подведении итогов конкурса по итогам работы зерносушилок, объявленного Одесским областным правлением НТО мукомольно-крупяной, комбикормовой и элеваторной промышленности.

Стандарт предприятия на ведение, контроль и учет процесса сушки зерна внедрен на Балтском, Веселокутском, Измаильском, Саратовском и др. хлебоприемных предприятиях Одесской области.

Для исследования устойчивости конвективных нагревателей зерна с рециклом (охваченных положительной обратной связью по каналам " $t-\theta$ ", " $G-\theta$ " и " $\theta_0-\theta$ ") на экспериментальной установке изучали закономерности нагрева зерна с различной кратностью смешивания сырого и нагретого рециркулирующего зерна, а также с различной длительностью промежуточной отлежки.

В соответствии с принятой программой определили статические характеристики нагревателя при циклическом нагреве зерна с различной длительностью промежуточной отлежки. На рис. 1 приведены в виде графиков зависимости температуры зерна на выходе из нагревателя от температуры сушильного агента на входе при  $\tau_{отл} = 6$  мин (кривые 1, 2 и 3) и при  $\tau_{отл} = 0$  (кривые 4, 5 и 6).

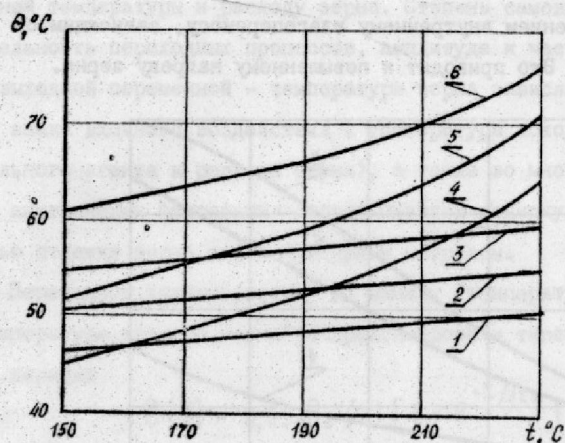


Рис. 1. Зависимость температуры зерна от температуры сушильного агента при отлежке:  $\tau_{отл} = 6$  мин - 1, 2, 3 и  $\tau_{отл} = 0$  - 4, 5, 6;  $\theta_0 = 30^\circ\text{C}$  - 1, 4;  $\theta_0 = 40^\circ\text{C}$  - 2, 5;  $\theta_0 = 50^\circ\text{C}$  - 3, 6.

Анализ графиков свидетельствует о существенном различии степени самовыравнивания (отношения приращения входной величины к приращению выходной, вызванному изменением входной величины) при нагреве зерна с различной длительностью промежуточной отлежки. Так, при температуре сушильного агента на входе  $210^\circ\text{C}$  разность между конечной и начальной температурами прошедшего промежуточную отлежку зерна составила  $9...21^\circ\text{C}$ , а для зерна, нагрев которого осуществлялся без промежуточной отлежки, -  $26...34^\circ\text{C}$ .

Таким образом, скорость нагрева и конечная температура зерна при нагреве с промежуточной отлежкой снижаются. Это можно объяснить тем, что в прошедшем отлежку предварительно нагретом зерне влага из внутренних слоев зерновки перемещается к поверхности. Поверхностная же влага удаляется более интенсивно, а теплота сушильного агента в значительной степени расходуется на ее испарение. При продувке нагретого зерна сушильным агентом без промежуточной отлежки и отволаживания интенсивная теплоотдача лимитиру-

ется сопротивлением внутреннему влагопереносу, зависящим от свойств зерна. Это приводит к повышенному нагреву зерна.

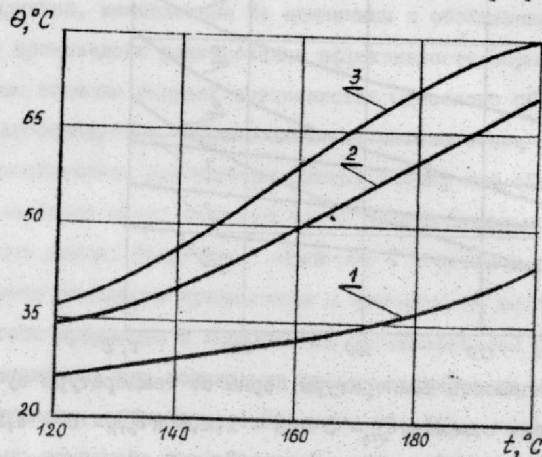


Рис. 2. Зависимость температуры зерна от температуры сушильного агента при коэффициенте рециркуляции:  $N = 1 - 1$ ;  $N = 3 - 2$ ;  $N = 5 - 3$ .

На рис. 2 приведены экспериментальные данные по нагреву зерна при различных коэффициентах рециркуляции. С увеличением коэффициента рециркуляции увеличивается доля зерна, подвергающаяся повторному нагреву, и, соответственно, возрастает средняя температура потока зерна. Из этого следует, что влияние рециркулирующего потока при нагреве зерна равносильно влиянию положительной обратной связи с коэффициентом усиления пропорциональным коэффициенту рециркуляции. При этом с увеличением коэффициента рециркуляции снижается степень самовыравнивания нагревателя и следовательно уменьшается его устойчивость.

Результаты опытов по определению переходных характеристик нагревателя позволили установить, что нагреватель зерна является чувствительным к изменениям температуры сушильного агента, на-

чальной температуры и расходу зерна. Степень самовыравнивания, длительность переходных процессов, амплитуда и частота колебаний выходной переменной - температуры зерна зависят от величины и знака входного воздействия (температуры исходного зерна и сушильного агента и расхода зерна), а также во многом определяются внутренними факторами - коэффициентом рециркуляции и длительностью отлежки зерна перед повторным нагревом.

Переходную характеристику по каналу "температура исходного - температура нагрева зерна" аппроксимировали типовым звеном первого порядка

$$\theta(\tau) = 0,55 \theta_0(\tau) [1 - e^{-\tau/325}], \quad (8)$$

С введением рецикла и повышением доли рециркулирующего зерна форма переходной характеристики приближается к  $S$ -образной.

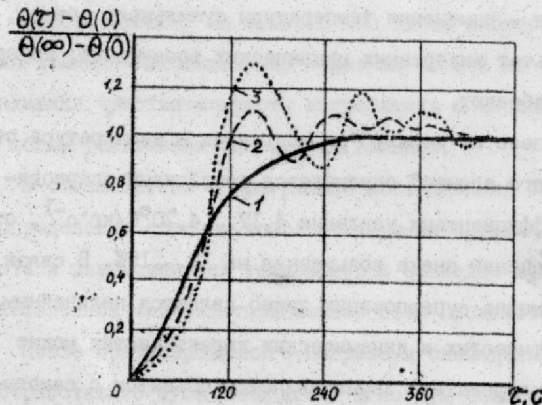


Рис. 3. Переходные характеристики нагревателя зерна по каналу "температура сушильного агента - температура зерна" при коэффициенте рециркуляции:  $N = 1 - 1$ ;  $N = 3 - 2$ ;  $N = 5 - 3$ .

По каналу "температура сушильного агента - температура зерна" (рис. 3) при прямоточном нагреве объект описывается устойчивым апериодическим звеном второго порядка, что согласуется с выведенным уравнением

$$1174 \frac{d^2 \theta(\tau)}{d\tau^2} + 136 \frac{d\theta(\tau)}{d\tau} + \theta(\tau) = 0,2 t(\tau) - 0,2 \left[ 116 \frac{dG(\tau)}{d\tau} + G(\tau) \right] + 0,8 \left[ 116 \frac{d\theta_0(t)}{dt} + \theta_0(t) \right], \quad (9)$$

где  $\theta_0$ ,  $\theta$ ,  $t$  и  $G$  - отношения приращений к базисным значениям переменных начальной, конечной температуры зерна, температуры сушильного агента и расхода зерна соответственно.

При введении рециркулирующего потока объект можно аппроксимировать колебательным затухающим звеном, коэффициент демпфирования которого с повышением числа циркуляций снижается. Время изменения знака переходной характеристики определяется длительностью рефликла и запасом зерна в аппарате, а амплитуды колебаний - соотношением потоков сырого и рециркулирующего зерна, т.е. коэффициентом рециркуляции. Первое изменение знака характеристики - результат внешнего воздействия - изменения температуры сушильного агента, а последующие - результат внутренних циклических возмущений, которые с каждым циклом ослабевают.

Переходный процесс по каналу "расход зерна - температура отработавшего сушильного агента" описывается устойчивым апериодическим звеном с коэффициентами усиления  $4,17 \dots 4,70^\circ\text{C}/\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$ , отличающимися при изменении знака возмущения на  $12 \dots 15\%$ . В связи с несоблюдением принципа суперпозиции звено является нелинейным.

Из анализа статических и динамических характеристик можно сделать вывод, что нагреватель зерна является объектом с самовыравниванием чувствительным к внешним (начальная температура зерна и сушильного агента, расход зерна) и внутренним (количество зерна в аппарате, коэффициент рециркуляции, длительность промежуточной отлежки, равномерность потоков зерна и др.) возмущениям. Чувствительность к внешним и внутренним воздействиям возрастает с увеличением коэффициента рециркуляции. При этом значения коэффициентов самовыравнивания и степени затухания колебаний уменьшаются на

40...50%. В результате устойчивость процесса нагрева к изменению температуры сушильного агента и расходу зерна через нагреватель снижается.

При наличии в рецикле пяти-шестиминутной отлежки смеси зерна перед ее последующим нагревом температура зерна становится менее чувствительна к температуре сушильного агента.

Следовательно для повышения устойчивости процесса нагрева зерна в рециркуляционных зерносушилках целесообразно:

предусмотреть отлежку смеси зерна непосредственно перед поступлением в нагреватель для выравнивания температур смешиваемых потоков;

стабилизировать расходы сушильного агента и зерна в нагреватель;

ввести отлежку не менее 6 мин после нагрева зерна для уменьшения влияния положительных обратных связей по температуре зерна и снижения чувствительности нагревателя к внешним воздействиям при общем увеличении влагосъема за цикл.

В соответствии с программой исследования были проведены опыты по определению степени использования потенциала сушки сушильного агента и взаимовлияния температур и расходов сушильного агента в разветвленной тепловентиляционной сети промышленных зерносушилок.

После кратковременного нагрева и охлаждения просушенного зерна отработавшие сушильный агент и воздух обладают параметрами: температура  $38 \dots 95^\circ\text{C}$ , относительная влажность -  $5 \dots 35\%$ , позволяющими их повторное использование. Для утилизации потенциала сушки отработавших сушильного агента и воздуха предложена схема движения зерна, воздуха и сушильного агента в рециркуляционной зерносушилке с кондуктивным предварительным подогревом зерна с помощью термосифонов (а.с. № 1139950).

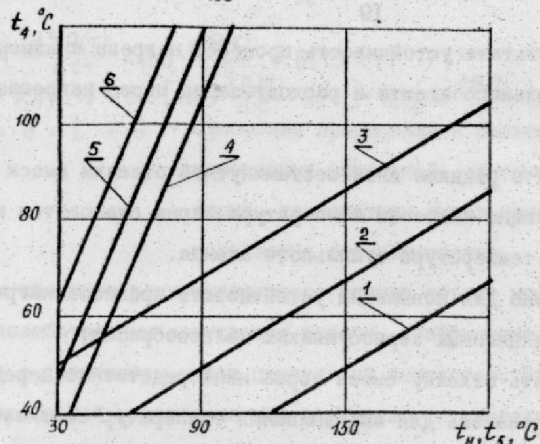


Рис. 4. Статические характеристики тепловоздушной сети по каналам: " $t - t_4$ " - 1,2,3 и " $t_s - t_4$ " - 4,5,6.

На рис. 4 представлены зависимости температуры сушильного агента в одной из ветвей тепловентиляционной сети при изменении температуры сушильного агента, регулируемой подсосом атмосферного воздуха, в другой. Эти зависимости показывают, что использование одной топки для образования сушильного агента с различными температурами путем смешивания топочных газов в каждой ветви тепловентиляционной сети с автономно подсасываемым атмосферным воздухом для получения требуемых температур в ветвях ухудшает статические и динамические характеристики сети и снижает устойчивость процесса приготовления сушильного агента.

Таким образом, для повышения устойчивости сушильных процессов целесообразно принимать дополнительные меры по совершенствованию тепловоздушной сети зерносушилок:

обеспечение постоянства аэродинамического сопротивления нагревателя зерна стабилизацией расходов зерна;

использование режимов, при которых регулирование температуры агента сушки подсосом атмосферного воздуха осуществляется в вет-

вях с меньшим расходом сушильного агента;

применение автоматических средств регулирования температуры сушильного агента в каждой ветви с учетом их динамических свойств;

отключение нагревателя от тепловентиляционной сети и использование его в качестве охладителя зерна после сушки.

По материалам исследования разработана и внедрена в производство схема технологического процесса сушки зерна (а.с. № 1128070), отличающаяся повышенной устойчивостью технологических режимов и более высокими технико-экономическими показателями.

Результаты производственных испытаний, проведенных на спаренной зерносушилке ДСП-32от поточной линии типа "С-6", реконструированной в соответствии с нашими рекомендациями на Березинском комбинате хлебопродуктов Одесской области в 1983 году, подтвердили правильность рекомендаций по повышению надежности и устойчивости сушильных процессов.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. На основе анализа работы зерносушилок хлебоприемных предприятий показано, что существующие технологические схемы и режимы сушки зерна характеризуются недостаточной устойчивостью и надежностью, несовершенными способами и системами контроля и управления, приводящими к недостаточно эффективному использованию сушильной мощности.

2. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены основные пути повышения эффективности использования действующих зерносушилок на основе применения устойчивых режимов сушки, технологических схем с повышенной надежностью и устойчивостью и более совершенной системой контроля и управления сушильными процессами. Обоснованы точки контроля и уточнена методика отбора проб зерна, разработаны и внедрены элементарные схемы управления механизмами зерносушилок с повышенной надежностью, предложены методы автоматической стабилизации уровня зерна в бункерах.

3. Разработана и внедрена система централизованного профилактического ремонта, наладки и технического обслуживания устройств автоматики и контроля процесса сушки, в результате чего уменьшились простои зерносушилок из-за отказов.

4. Установлены статические характеристики и закономерности переходных процессов для наименее устойчивых звеньев рециркуляционных зерносушилок - нагревателей зерна и тепловоздушной сети. Это позволяет более эффективно использовать средства автоматизации.

5. Разработаны рекомендации по проектированию зерносушилок с усовершенствованными схемами и повышенными характеристиками устойчивости и надежности, применение которых позволит значительно повысить использование сушилок.

6. Разработана технологическая схема и определены режимы сушки зерна с двумя сушильными и охладительными рециркуляционными контурами. Экономический эффект от внедрения составил 5,4 тыс. рублей в год на одну сушилку.

7. Обоснована целесообразность применения обобщенного показателя эффективности использования сушильной мощности. Разработан макет стандарта предприятия на ведение, контроль и учет процесса сушки зерна, в котором использованы результаты исследования. Внедрение стандарта на Балтском хлебоприемном предприятии позволило увеличить значение обобщенного показателя эффективности от 0,533 до 0,792, чему соответствует годовой экономический эффект - 6,1 тыс. рублей.

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях:

1. Контроль и управление процессами сушки зерна / В.И.Жидко, Н.В.Остапчук, А.Б.Шашкин, Т.Н.Гросул, В.Д.Каминский. - М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1984. - 38 с.

2. Шашкин А.Б., Шувалов С.Е. Ни минуты простоя, ни грамма по-

терь. // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. - 1982. - № 9. - с. 10-11.

3. Остапчук Н.В., Станкевич Г.Н., Шашкин А.Б. Устойчивость температурных режимов. // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. - 1985. - № 6. - с. 27.

4. Богомолов И.А., Шашкин А.Б. Метрологическое обслуживание хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятий. // Измерительная техника. - 1974. - № 11. - с. 17-18.

5. Шувалов С.Е., Шашкин А.Б. Из опыта сушки кукурузы в зерне. // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. - 1983. - № 7. - с. 8-9.

6. А.с. 1139950 СССР МКН<sup>3</sup> F 26 B 17/12. Рециркуляционная сушилка для семян подсолнечника. / В.И.Жидко, В.Д.Каминский, Н.В.Остапчук, А.Б.Шашкин и И.А.Богомолов. (СССР). - № 3665183/24-06; Заявлено 24.11.83; Опубл. 15.02.85. Бюл. № 6.

7. А.с. 1128070 СССР МКН<sup>3</sup> F 26 B 3/06. Способ тепловой обработки зерна в рециркуляционном режиме. / В.И.Жидко, Н.В.Остапчук, Г.Н.Станкевич, А.Б.Шашкин, И.А.Богомолов и В.Д.Каминский. (СССР). - 3636277/24-06; Заявлено 21.07.83; Опубл. 07.12.84. Бюл. № 45.

8. Жидко В.И. и др. Статические и динамические характеристики процесса смешивания зерна в рециркуляционных зерносушилках. / Жидко В.И., Остапчук Н.В., Шашкин А.Б.; Ред. журн. "Изв. вузов СССР. Пищ. технол." - Краснодар, 1984. - 6 с. Деп. в ЦНИИТЭИ заготовок 26.02.85; № 539зг-Д.

9. Остапчук Н.В. и др. Анализ процессов смешивания зерна при сушке в рециркуляционных сушилках. / Остапчук Н.В., Шашкин А.Б., Станкевич Г.Н., Гросул Т.Н.; Одесск. технол. ин-т пищ. пром-сти им. М.В.Ломоносова. - Одесса, 1984. - 6 с. Деп. в ЦНИИТЭИ заготовок 01.02.85; № 530зг-ДБ5.

10. Жидко В.И. и др. Статические характеристики подогревателей

для зерна./ Жидко В.И., Шашкин А.Б., Станкевич Г.Н.; Одесск. технол. ин-т пищ. пром-сти им. М.В.Ломоносова.- Одесса, 1982.- 5 с. Деп. в ЦНИИТЭИ заготовок 28.12.82; № 304эг-Д82.

II. Автоматизация импульсной сушки кукурузы./ В.Я.Власина, И.А.Богомоллов, А.Б.Шашкин, Д.М.Ротко.// Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность.- 1976.- № 9.- с. 23-24.

12. Шашкин А.Б. и др. Комплексная оценка эффективности использования зерносушилок./ Шашкин А.Б., Шашкина Т.Б., Станкевич Г.Н.; Одесск. технол. ин-т пищ. пром-сти им. М.В.Ломоносова.- Одесса, 1984.- 6 с. Деп. в ЦНИИТЭИ заготовок 24.12.84; № 517эг-Д84.

13. Остапчук Н.В. и др. Статические и динамические характеристики тепловентиляционной сети зерносушилок / Остапчук Н.В., Жидко В.И., Станкевич Г.Н., Шашкин А.Б.; Одесск. технол. ин-т пищ. пром-сти им. М.В.Ломоносова.- Одесса, 1985.- 8 с. Деп. в ЦНИИТЭИ заготовок 11.05.85; № 551эг-Д85.

14. Заявка № 3800266/24-06 МКИ<sup>3</sup> F 26 В/17/12. Рециркуляционная сушилка./ Н.В.Остапчук, В.И.Жидко, А.Б.Шашкин, Г.Н.Станкевич, В.Д.Каминский. (СССР). Заявлено 11.10.84; Положительное решение ВНИИПЭ о выдаче авторского свидетельства от 05.02.85.

15. Заявка № 3741066/24-06 МКИ<sup>3</sup> F 26 В/17/12. Способ обеспечения постоянства расхода сыпучего материала через аппарат в процессе обработки./ Н.В.Остапчук, В.И.Жидко, Г.Н.Станкевич, А.Б.Шашкин, В.Д.Каминский. (СССР). Заявлено 15.05.84; Положительное решение ВНИИПЭ о выдаче авторского свидетельства от 29.07.85.

*Шашкин*