

Автореферат  
Б 15

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

имени М. В. ЛОМОНОСОВА

492

На правах рукописи

БАДАЙ Виталий Тимофеевич

УДК 664.723:311.17:681.3

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗЕРНОСУШИЛОК

Специальность 05.18.12 - процесси, машины и агрегаты  
пищевой промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1990

Работа выполнена на кафедре процессов и аппаратов  
Одесского технологического института пищевой промышленности  
им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Остапчук Н.В.  
Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Федоров В.Г.  
доктор технических наук,  
профессор Платонов П.Н.

Ведущее предприятие - Одесское производственное объединение  
элеваторной и зерноперерабатывающей  
промышленности

Защита диссертации состоится " 8 " июня 1990 г.  
в 13<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета  
К.068.35.02 в Одесском технологическом институте пищевой про-  
мышленности им. М.В. Ломоносова, 270039, г. Одесса,  
ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского  
технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ло-  
моносова.

Автореферат разослан " 7 " мая 1990 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
Д.т.н., профессор

Л.И. Карнаушенко

ОНАХТ

25.10.1

Научное обоснование



v016722

v016722

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Основным условием технического прогресса является интенсификация производства, снижение затрат энергии и экономии всех видов ресурсов на единицу продукции. Это в равной степени относится и к зерносушильному оборудованию, так как сушка — наиболее энергоемкий технологический процесс послеуборочной обработки зерна. Развитие техники сушки интуитивными методами привело к появлению большого количества технологических схем и режимов сушки, не всегда обеспечивающих минимум затрат при сохранении качества пророщенного зерна и максимальной интенсификации процесса.

Попытки применения формальных методов синтеза технологических схем зерносушилок предпринимались рядом исследователей. При этом решались задачи составления алгоритмов выбора режимов на различных стадиях сушки с использованием экспериментальных закономерностей кинетики сушки. Исследования проводили методами физического моделирования. При этом экспериментально определяли кинетические закономерности, сройства зерна и характеристики кривого сгента, а также конструктивные параметры сушки. Однако принципиальная невозможность создания универсальных физических моделей не позволяет решать задачи выбора оптимальных характеристик процесса сушки и конструктивных параметров сушителей. В связи с этим разработка систем математических моделей процесса сушки, позволяющих с меньшими затратами и большей достоверностью решить задачи оптимального выбора технологических схем и режимов сушки по интегральному экономическому критерию, является актуальной задачей.

Цель работы. Обоснование методики выбора режимов и технологических схем зерносушилок для сушки зерна продовольственного и семенного назначения, обеспечивающих минимальные затраты на сушку.

### Задачи работы:

1. Обоснование метода физического моделирования процесса сушки зерна в плотном и разрыхленном слое, позволяющего получить зависимости для расчета кинетики влаго- и теплообмена.
2. Синтез ступенчатых температурных режимов для двух сушильных зон.
3. Разработка комплексного алгоритмического описания процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках и программного обеспечения

этого описания для ЕС ЭВМ, позволяющего вести расчет режимных, энергетических и экономических показателей<sup>4</sup> как функций характеристик зерна и наружного воздуха с частичной рециркуляцией зерна и сушильного агента при технологических ограничениях по качеству зерна и производительности сушилок.

4. Обоснование технологической схемы и отдельных элементов зерносушилки в условиях замкнутых технологических потоков, обеспечивающей минимум затрат энергии на сушку.

5. Установить дифференцированные режимы сушки зерна, обеспечивающие эффективное функционирование зерносушилки по минимуму приведенных затрат.

6. Получение системы рекуррентных выражений для оперативно-го расчета режима сушки зерна пшеницы.

Методы исследования. Для синтеза общего алгоритма расчета параметров процесса сушки применялся принцип структурно-модульного программирования. Сплайн кривых нагрева и сушки на границах зон проводили методом последовательных приближений. Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований выполняли методами математической статистики.

Научная новизна. Разработан метод статической оптимизации на ЭВМ технологических схем и режимов сушки зерна продовольственного и семенного назначения для зерносушилок шахтного типа с частичной рециркуляцией зерна и сушильного агента. На примере шахтной зерносушилки ДСП-32 от показана его практическая эффективность.

Доказана корректность применения описания кинетики сушки, нагрева и охлаждения в плотном и разрыхленном слое зерна с учетом рециркуляции сушильного агента математическими моделями регрессионного вида, обеспечивающая значительное снижение размерности задачи параметрической идентификации математической модели. Доказана адекватность математических моделей при анализе технологических схем с учетом изменения режимных параметров в области, ограниченной матрицей плана экспериментальных исследований.

Разработан метод сплайна кривых сушки и нагрева на границах зон, позволяющий учитывать степень углубления зоны испарения в процессе сушки при различных температурах сушильного агента в зонах сушилки.

Практическая значимость работы заключается в разработке оптимальной технологической схемы и дифференцированных режимов сушки зерна продовольственного и семенного назначения с частичной рециркуляцией сушильного агента в топку и рециркуляцией зерна через по-

догреватель, обеспечивающих поточную сушку при сохранении качества зерна и уменьшении запыленности территории вокруг зерносушилки.  
На защиту выносятся:

алгоритм и программа расчета режимов сушки зерна в рециркуляционных сушилках шахтного типа, основанные на регрессионных моделях кинетики сушки и нагрева зерна, дополненных системой балансовых уравнений, решаемых итерационным методом;  
 методика синтеза ступенчатых температурных режимов на различных стадиях сушки;

рекуррентные выражения, позволяющие оперативно рассчитать режимные параметры процесса сушки зерна в рециркуляционных зерносушилках типа ДСП-32-от с подогревателем производительностью 150 т/ч при частичной рециркуляции сушильного агента из второй и oxidительной зон.

Анобация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзном научном семинаре секции "Оптимизация процессов сушки" (г. Харьков, 1983 г.), на УЦ Республикиканской конференции "Повышение эффективности, совершенствования процессов и аппаратов химических производств" (г. Львов, 1988 г.), на научно-технических конференциях ОТИП им. М. В. Ломоносова по итогам НИР в 1985, 1986, 1987, 1989 гг., действующий макет зерносушилки с частичной рециркуляцией зерна и сушильного агента экспериментально на ВДХ УССР (г. Киев, 1984 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 работ, в том числе одно авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, основных выводов, библиографии из 121 наименования и приложений. Изложена на 147 страницах машинописного текста, включает 26 рисунков и 6 таблиц. Приложения содержат таблицы результатов обработки экспериментальных данных на ЭВМ, акт внедрения, расчет экономической эффективности.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формируется ее цель, основная задача и положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе проведен анализ процессов сушки как объектов моделирования. В технике сушки выбор технологической схемы является первоочередной задачей, так как от этого выбора зависит эф-

6

эффективность функционирования сушильного оборудования. При моделировании процесса сушки технологическая схема определяет методику исследования, вид математической модели, структуру алгоритма и его программного обеспечения. В этой связи рассмотрены основные принципы организации процессов сушки и проведен анализ технологических схем с позиции движущей силы процесса. Проведен обзор работ, посвященных методам моделирования процессов сушки.

Во второй главе обснованы выбор объекта исследования, программа и план экспериментальных исследований. Разработаны требования к экспериментальной установке с точки зрения активного эксперимента по методике ногофакторного планирования. Предложена конструкция кассеты, обеспечивающая геометрическое, аэродинамическое и теплообменное пособие между сушкой зерна в плотном и разрыхленном слое сушки и на экспериментальной установке, а также обеспечивающая статистическую достоверность массы пробы зерна в кассете по ГОСТу 10839-64.

В связи с невозможностью формирования партий свежесушенного зерна в широком диапазоне начальной влажности опыты по сушке проводились на искусственно увлажненном зерне. Значения влажности зерна определяли по общепринятой методике согласно ГОСТу 3040-55.

В соответствии с программой исследований сушка зерна в кассете проводилась наружным воздухом, нагнетаемым вентилятором в электрический калорифер, где происходил его нагрев и стабилизация температуры на заданном в плане эксперимента уровне. Исходную скорость сушльного агента на входе в слой зерна стабилизировали тарельчатым клапаном по показаниям газового счетчика ГГ-40м. Владельческом содержании сушльного агента на заданном уровне стабилизировали путем подачи пара из парогенератора через тарированную форсунку в наиболее нагретую область калорифера. Экспозицию цикла процесса сушки задавали величиной вставки на электронном реле времени. Температуру зерна по высоте слоя измеряли десяти хромель-копелевыми термопарами при отсутствии продувки слоя сушльным агентом.

Для регистрации изменяющейся в процессе опыта массы слоя зерна использовались весы технические, что обеспечивало точность взвешивания 5 %.

По данным априорной информации о процессе сушки и данным промышленной эксплуатации зерносушилок отобраны существенно влияющие на кинетику сушки и нагрева зерна параметры. Уровень факто-

ров варьирования и качественную оценку степени их влияния уточнили в серии поисковых опытов с учетом технологических и конструктивных ограничений, накладываемых на процесс сушки в сушилке ДСП-32-от.

Закономерности влияния исходной влажности, температуры зерна и температуры сушильного агента на кинетику процесса известны. Особый интерес представляет оценка влияния влагосодержания сушильного агента на кинетику сушки и нагрева зерна, поскольку частичная циркуляция сушильного агента приводит к значительному увеличению его влагосодержания (до 0,05 кг/кг с.в.). По данным поисковых опытов потеря производительности сушилки составляет от 5 до 25 % в зависимости от режима сушки.

Анализ структуры моделей кинетики сушки и нагрева позволил обосновать в качестве кинетического параметра конечную влажность зерна  $U_k$  и определить зависимость средней скорости сушки как функцию параметров зерна и сушильного агента. Такой подход позволил исследовать кинетику сушки методом многофакторного планирования эксперимента, оптимизирующим количество опытов при данном уровне достоверности информации о поведении объекта в области, ограниченной матрицей плана экспериментальных данных.

Матрица эксперимента составлялась по  $D$ -оптимальному плану, обеспечивающему минимальный объем эллипсоида рассеивания оценок коэффициентов, то есть позволяющая получить оценки, имеющие минимальное возможное рассеяние относительно центра распределения.

Для обработки результатов экспериментов разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм вычислений пошаговой множественной линейной регрессии с исключением отклонений на базе стандартного математического обеспечения ЕС ЭВМ. Результаты обработок выводятся на печатающее устройство в виде таблиц, включающих следующие статистические оценки: коэффициент множественной детерминации, множественный коэффициент корреляции, стандартная ошибка оценки зависимой переменной, критерий Фишера, коэффициент автокорреляции отклонений, коэффициент, учитывающий степень нормальности распределения случайной величины, значения коэффициентов регрессии, ошибку их вычислений, расчетное и табличное значения критерия Стьюдента, экспериментальные и расчетные значения зависимой переменной, ошибку аппроксимации, а также доверительные интервалы для каждой строки матрицы  $D$ -оптимального плана эксперимента. Перечисленные статистические оценки позволяют определить

адекватность полученных моделей процессу, оценить их достоверность и степень оптимизации интерполяционной формулы.

В третьей главе приводятся математические модели кинетики сушки, нагрева и охлаждения зерна в плотном и разрыхленном слое сушительной камеры, а также рассматриваются обобщенная математическая модель рециркуляционной зерносушилки шахтного типа. Задача математического описания процесса сушки и нагрева зерна сводится к определению количественной оценки степени влияния переменных факторов варьирования: исходной влажности зерна  $U_u$ , исходной температуры зерна  $\theta_u$ , исходной температуры сушительного агента  $t_u$  и его влагосодержания  $d_u$ , заданной конечной влажности зерна на  $U_k$  на выходные параметры зерна - среднюю скорость сушки  $N_{ср} = U_u - U_k / \tau$  и конечную температуру зерна  $\theta_k$ . Экспозиция сушки  $\tau$  определяется в процессе эксперимента по достижении заданного значения  $U_k$ .

Таблица I

Уровни и факторы варьирования для процесса сушки

Режим сушки	Плотный слой				Разрыхленный слой			
	$U_u$ %	$\theta_u$ °C	$t_u$ °C	$U_k$ %	$U_u$ кг/кг	$\theta_u$ °C	$t_u$ °C	$d_u$ кг/кг
Основной уровень	31	45	120	18	0,03	28	40	165
Верхний уровень	40	60	170	20	0,05	34	45	230
Нижний уровень	22	30	70	16	0,01	22	35	100

Из серии поисковых опытов уточнены уровни и интервалы варьирования перечисленных факторов, которые сведены в табл. I. Матрицы  $D$  - оптимального плана составлены по данным табл. I.

После реализации планов эксперимента и обработки результатов на ЭВМ получены математические модели, адекватно описывающие процесс для плотного слоя

$$N_{ср} = -0,1058 + 0,0000133t_u + 0,0000106\theta_u + 0,000139U_u - 0,054211d_u - (I)$$

$$-0,00000325t_u^2 + 0,0054511t_u + 0,000221\theta_u + 0,000291U_u^2 + 0,00461d_u$$

$$\begin{aligned} \theta_k = & -13,83 + 0,00504t_a t_u + 0,000192\theta_u t_u - 0,0246t_u^2 - 0,0218t_{u,k} + 1,7t_u + \\ & + 0,7t_u + 0,0014t_u^2 + 39,71d_u + 0,0352\theta_u t_u - 0,0109t_{u,k} \theta_u - 0,271\theta_u \end{aligned} \quad (2)$$

Для разрыхленного слоя

$$\begin{aligned} t_{u,k} = & 7,42 + 0,6283t_{u,k} + 0,000125t_{u,k} \theta_u + 0,00727t_{u,k}^2 - 0,0125t_{u,k} \theta_u - \\ & - 0,00026t_{u,k} t_u - 0,00754t_u - 0,0441\theta_u d_u \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \theta_k = & 81,77 + 0,00136\theta_u t_u - 4,405t_{u,k} + 0,0183t_{u,k} + 0,00595\theta_u - 0,1362t_u - \\ & - 0,0011t_{u,k} t_u - 0,000188t_u^2 - 0,00541t_{u,k} \theta_u + 103,8d_u \end{aligned} \quad (4)$$

Для исследования процесса охлаждения зерна в охлаждающей зоне шахтной зерносушилки разработан D - оптимальный план по данным табл. 2.

Таблица 2  
Уровни и факторы варьирования для процесса охлаждения

Наименование переменных	Натуральные значения факторов					
Обозначения факторов	$t_{u,k}$ %	$\theta_u$ °C	$t_u$ °C	$t_{u,k}$ мин	$\varphi$ ст.ед.	$\nu$ м/с
Основной уровень	16,5	45	17	42,5	0,4	0,35
Верхний уровень	18	55	30	75	0,7	0,5
Нижний уровень	15	35	5	10	0,1	0,2

Обработка результатов эксперимента на ЭВМ позволила получить математические модели процесса охлаждения

$$\begin{aligned} t_{u,k} = & 0,0531 + 0,983t_{u,k} + 0,0002t_u^2 - 0,0009t_{u,k} \theta_u - 0,0002\theta_u \varphi + 0,0002t_u - 0,173\theta_u \nu - \\ & - 0,00036\theta_u t_u + 0,0212t_u \nu + 0,0038\theta_u \varphi - 0,0069t_u \varphi + 0,0066t_u \nu - 0,0003t_{u,k} t_u + \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & + 0,00012t_u^2 + 0,0015t_{u,k} t_u - 0,0008\theta_u \nu - 2,0952\nu + 2,47\nu^2 + 0,0011t_u \nu \\ \theta_k = & 6,872 - 0,0025\theta_u t_u - 0,0046\theta_u t_u - 28,763\nu + 0,00543t_u t_u + 0,00543t_u \nu + \end{aligned}$$

$$+0,647\theta_u + 0,496t_u V + 32,105V^2 + 0,3735t_u - 0,4293\theta_u V + 0,1297V -$$

$$- 0,2593T + 0,0024T^2$$

(6)

Полученные уравнения регрессии позволяют определить значения входных факторов  $U_u$ ,  $\theta_u$ ,  $t_u$ ,  $T$ ,  $V$  (влажность наружного воздуха),  $V$  (скорость фильтрации сушильного агента через слой зерна), обеспечивающих заданные значения выходных показателей качества  $\theta_k$ ,  $U_k$  для сушильной камеры, охлаждающей зоны и подогревателя.

В промышленной практике сушки весь процесс разбивается на несколько зон и в каждую зону сушилки подается сушильный агент с определенными параметрами во избежание перегрева зерна, причем с понижением влажности зерна температура сушильного агента тоже понижается. Базовые математические модели (1), (2) не позволяют считать параметры позонной сушки, так как описывают процесс при постоянной температуре сушильного агента для интервала влажности зерна от  $U_u$  до  $U_k$ , поэтому задача решается путем слайда кривых сушки и нагрева на границах зон для различных значений температуры сушильного агента в зонах при следующих ограничениях: температура зерна на выходе из зон соответствует предельно допустимой  $\theta_{k1}$ ,  $\theta_{k2}$ ,  $\theta_{k3}$ ,  $\theta_{k4}$ ; влажность на выходе второй зоны соответствует исходной влажности зоны охлаждения, рассчитанной по уравнению (5) относительно  $U_{k2}$  при расчетном значении расхода зерна на выходе из второй зоны. Графическое решение задачи проиллюстрировано на рис. 1.

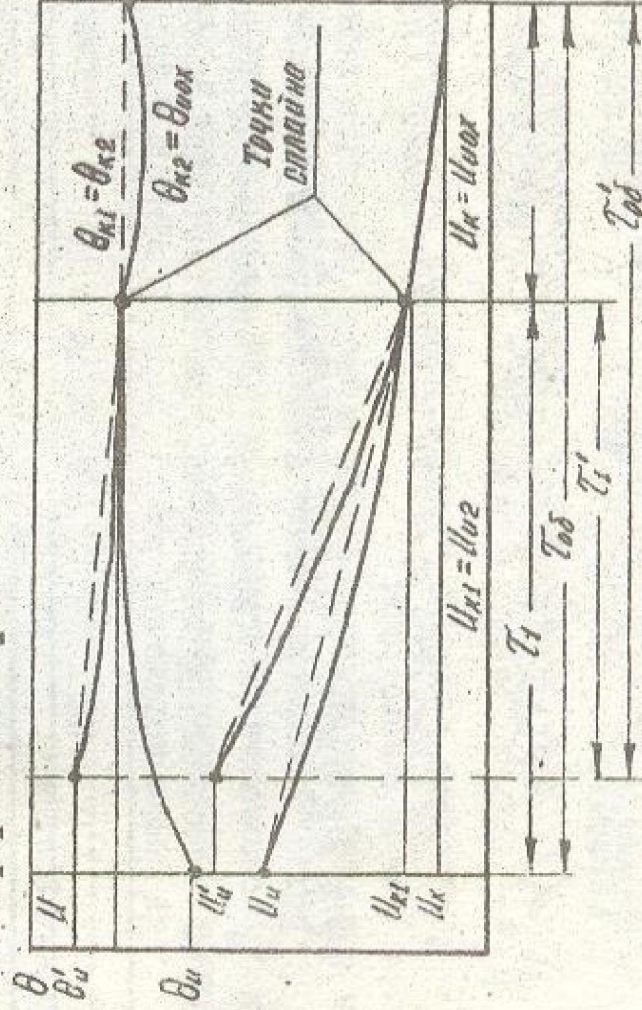


Рис. 1. Графическая интерпретация решения задачи

Аналитически задача описывается системой 16 уравнений, решаемой итерационным методом путем отыскания величин  $U_{k1} = U_{k2}$ ,  $U_{k1}$ ,  $t_2$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $T_1$ ,  $T_{об}$  при заданных значениях  $\theta_{k1} = \theta_{k2}$ ,  $\theta_{k1}$ ,  $U_{k2} = U_{k1}$  из условия равенства хорней системы уравнений  $\theta_{k1} = \theta_{k2}$ ,  $U_{k1} = U_{k2}$ , при различных температурах сушильного агента  $t_1, t_2$ .

Такой подход позволяет повысить точность расчета второй зоны, так как учитывает влияние степени углубления зоны испарения на параметры процесса сушки  $M_{пр}$ ,  $U_{k1}$ ,  $t_2$ , то есть учитывает предисторию сушки, поскольку процесс ведется от  $U_{k1}$ ,  $\theta_{k1}$  до  $U_{k2}$ ,  $\theta_{k2}$  с переходом в точках сплайна на кривые сушки и нагрева при расчетном значении температуры сушильного агента во второй зоне.

Для комплексного анализа процесса сушки разработан алгоритм и программное обеспечение позонного расчета параметров сушки зерна на основе балансовых уравнений и регрессионных моделей кинетики сушки. Блок-схема алгоритма (*DSP32*) представлена на рис. 2.

Алгоритм реализован по структурно-модульному принципу и состоит из ряда функционально законченных модулей подпрограмм. *MDSP*, *OXLZ* - подпрограммы осуществляют расчет режимных и энергетических параметров сушки без рециркуляции сушильного агента, модуль *MBYDSP* позволяет вести расчет с рециркуляцией сушильного агента.

Подпрограммой *DUTOP* определяется влагосодержание сушильного агента, поступающего в зоны сушки с учетом водяного пара, образующегося при сжигании топлива в топке. По значению ключа  $N4=1$  расчет ведется без рециркуляции сушильного агента, при  $N4$  больше 1 расчет ведется с учетом рециркуляции сушильного агента по подпрограммам *DUTOPR* и *RECTN* с учетом влаги в контуре рециркуляции.

По ключу  $N7$  производится расчет для зерна продовольственного назначения либо для зерна семенного назначения по подпрограмме *SREG*. Подпрограммой *ENOMZM* определяется значение функционала (приведенные затраты), по минимуму которого оценивается степень рециркуляции сушильного агента из подогревателя подпрограммой *MINEK*. Результаты расчета выводятся на печать в виде таблиц для 76 параметров процесса сушки.

В четвертой главе приведено обоснование выбора технологической схемы и режимных параметров процесса сушки для этой схемы. Исследование процесса сушки зерна пшеницы в шахтных зерносушилках проводили с целью снижения удельных затрат топлива на сушку путем выбора оптимальной технологической схемы сушки при максимальной интенсификации процесса сушки.

В связи с этим был проведен анализ эффективности различных

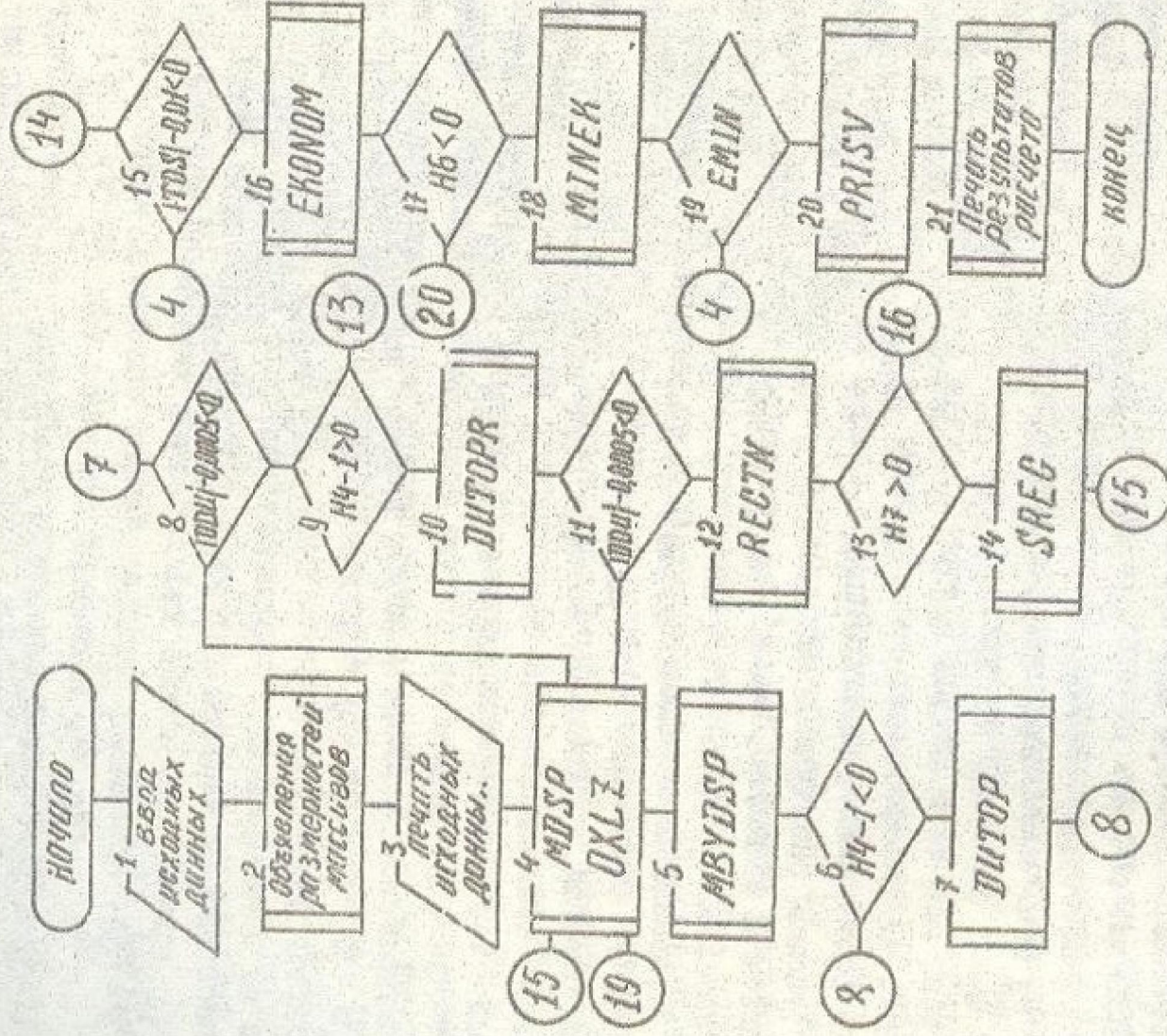


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета зерносушилки ДСП-32-от

тепловых функций оптимизации применительно к процессам сушки и в качестве целевой функции приняты приведенные затраты, которые представляют сумму себестоимости и нормативной прибыли. Приведенные затраты на сушку являются чисто экономической категорией, но при этом их величина определяется технологическими характеристиками процесса и технологической схемой сушки.

Качество зерна при тепловой сушке коррелирует с температурой его нагрева, поэтому предел нагрева зерна, предназначенного для продовольственных, фуражных и технических целей, при его сушке в сушилках ДСП-32-от с предварительным подогревом составляет для подогревателя 50 °С, для зон сушилки 55 °С. Для семенного зерна применяется зависимость предельно допустимой температуры  $t_{доп}$  наг-

рева зерна от экспозиции сушки  $T_c$  с и влажности зерна  $W_c$

$$W_a = (2350 / (0,37(100 - W_{cp}) + 20 - 10 T_c T_c) \quad (7)$$

Определение оптимальных режимов процесса нагрева зерна в конвективном подогревателе проводилось путем расчета по алгоритму ДСР32 в зависимости от исходной влажности и температуры зерна при различном расходе зерна через подогреватель. Эффективность подогревателя в составе технологической схемы (рис.3) оценивали по ряду технологических критериев: коэффициенту полезного действия, испаренной влаге, затратам теплоты на килограмм испаренной влаги, удельным затратам теплоты на сушку плановой тонны. Эти критерии не дали однозначной оценки во всем диапазоне изменения влажности, в связи с чем был применен интегральный экономический критерий приведенные затраты на сушку физической тонны зерна.

$$C_{ij} = Z_{атij} / C_{ij} T_{атij} \rightarrow \min \quad (8)$$

где  $C_{ij}$  - удельные затраты на сушку физической тонны зерна при  $i$ -исходной влажности и  $j$ -исходной температуре зерна;  $Z_{атij}$  - затраты на сушку за рабочий период;  $C_{ij}$  - производительность сушилки. Минимум удельных затрат на сушку зерна во всем диапазоне изменения исходной влажности и температуры зерна обеспечивается при производительности подогревателя по сырому зерну 150 т/ч.

Путем сравнительного анализа по критерию (8) расчетных значений, полученных по алгоритму ДСР32, обоснована целесообразность ведения процесса сушки при предельно допустимой температуре зерна в зонах зерносушилки с частичной рециркуляцией сушильного агента из II зоны и зоны охлаждения в топку, доказана нецелесообразность возврата сушильного агента и, подогревателя, так как при этом происходит снижение производительности зерносушилки на 13%, что приводит к возрастанию удельных затрат на сушку за счет резкого возрастания влагосодержания в контуре рециркуляции сушильного агента. Таким образом, количество основана оптимальная технологическая схема зерносушилки (рис.3) и дифференцированные режимы для сушки зерна продовольственного и семенного назначения.

С целью оперативного управления зерносушилкой ДСП-32-от (рис.3) разработан алгоритм управления, для которого вставки режимных параметров берутся из таблиц расчета по алгоритму ДСР32 или рассчитываются по рекуррентным выражениям.

Температура сушильного агента в подогревателе

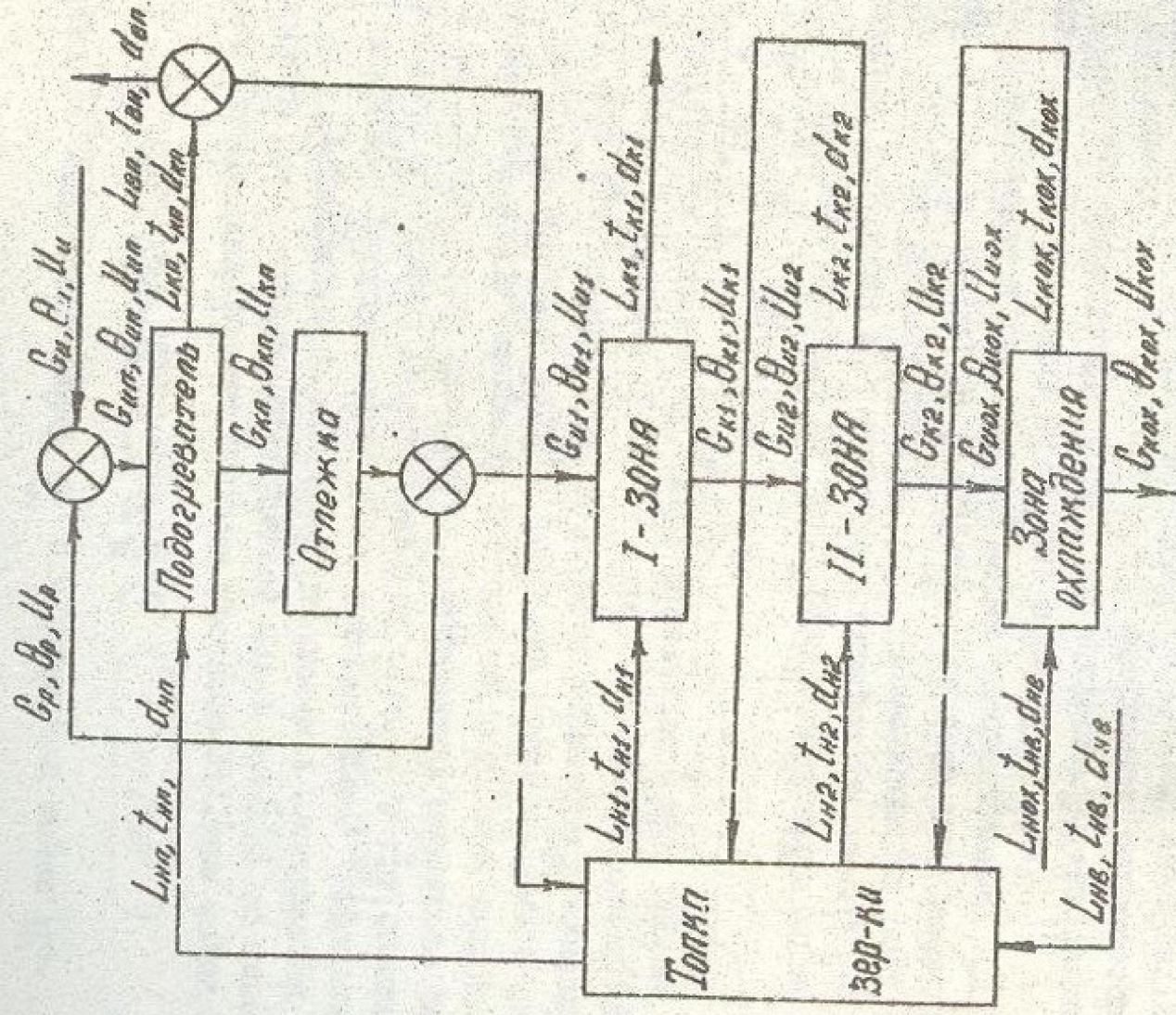


Рис. 3. Технологическая блок-схема зерносушилки с рециркуляцией зерна и частичной рециркуляцией сушильного агента

$$t_{\text{п}} = 711,26 - 3128 W_{\text{н}} - 699\theta_{\text{н}} + 0,425 W_{\text{н}} + 0,226 W_{\text{в}} \theta_{\text{в}} \quad (9)$$

Температура сушильного агента первой зоны

$$t_1 = 333,5 - 15,54 W_{\text{н}} + 0,222 W_{\text{в}} \quad (10)$$

Температура сушильного агента второй зоны

$$t_2 = 226,973 - 8,38 W_{\text{н}} + 0,103 W_{\text{в}} + 0,0004 W_{\text{в}} \theta_{\text{в}} \quad (11)$$

Расход зерна, поступающего на сушку, т/ч

$$G_{\text{н}} = 383,98 - 24,5 W_{\text{н}} + 0,408 W_{\text{в}} \quad (12)$$

Расход зерна, рециркулируемого в подогревателе, т/ч

$$Q_p = -234,13 + 24,5 W_u - 0,408 W_u \quad (13)$$

Расход зерна на выходе из сушилки, т/ч

$$G_k = 315,34 - 24,22 W_u + 0,405 W_u \quad (14)$$

Расход топлива на сушку, кг/ч

$$Q_{\text{топ}} = 1426,42 - 65,18 W_u - 10,69 Q_u + 0,918 W_u + 0,221 W_u \theta_u \quad (15)$$

Значение предельно допустимой температуры зерна

$$\theta_{\text{доп}} = 83,65 - 1,938 W_u + 0,02 W_u^2 \quad (16)$$

Экспозиция сушки, мин

$$T_{\text{об}} = 89,2 - 11,61 W_u + 0,274 Q_u + 0,431 W_u - 0,0131 W_u \theta_u \quad (17)$$

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Определены кинетические закономерности нагрева, сушки и охлаждения зерна в разрыхленном и плотном подвижных слоях при изменении исходных характеристик зерна и сушильного агента.
2. Разработаны алгоритм и программа расчета режимов сушки в рециркуляционных зерносушилках шахтного типа, основанные на регрессионных моделях кинетики сушки и нагрева зерна, дополненных системой балансовых уравнений, решаемых итерационным методом.
3. Определены оптимальные режимы нагрева зерна в конвективных подогревателях. Установлено, что при производительности подогревателя 150 т/ч достигаются минимальные удельные (приведенные) затраты на сушку во всем диапазоне изменения начальной влажности и температур зерна.
4. Установлены закономерности изменения затрат топлива, производительности сушилки, а также удельных (приведенных) затрат при сушке в зависимости от исходных параметров зерна и наружного воздуха. Показана целесообразность ведения процесса сушки при предельно допустимых температурах нагрева зерна в зонах.
5. Установлены закономерности сушки зерна для технологической схемы с частичной рециркуляцией отработавшего сушильного агента при различных параметрах сырого зерна и наружного воздуха. Установлено, что использование отработавшего во второй сушильной и охлаждающих зонах агента сушки позволяет снизить удельные за-

траты на сушку и экономить при этом до 20 % топлива. Определены дифференцированные режимы сушки семенного и продовольственного зерна для данной технологической схемы.

6. Предложены рекуррентные выражения, позволяющие оперативно рассчитать режимные параметры процесса сушки семенного зерна в рециркуляционных зерносушилках типа ДСП-32-от с подогревателем производительностью 150 т/ч, вентилятором производительностью 50 тыс. куб.м/ч при частичной рециркуляции сушильной зоной и охладительной зон.

7. Результаты работы внедрены на Бучачском хлебоприемном комбинате с экономическим эффектом 23616 руб. и частично внедрены на Выгодянском хлебоприемном комбинате с экономическим эффектом 1965,4 руб. на одну зерносушилку.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Математическое описание процесса охлаждения зерна в зерносушилках шахтного типа / Н.В. Остапчук, В.Т. Бадай, Г.Н. Станкевич. Минхлебопродуктов 27.01.88. -32 с. -Библиогр.: 6 назв. -Деп. в ЦНИИТЭИ
2. Станкевич Г.Н., Бадай В.Т. Система математических моделей для расчета процесса сушки зерна // Тезисы докл. на УП Респ. конф. "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств", г. Львов. -Львов, 1988. -С.57.
3. А.С. № 1170240 СССР. МКЛЗ В25. Рециркуляционная зерносушилка / В.И. Алейников, М.В. Мокрый, В.Т. Бадай. (СССР) № 3582278. Заяв. 01.04.85; Опубл. 30.03.87. В Б.И., 1985, № 28.
4. Алейников В.И., Гадай В.Т. Методика расчета шахтных зерносушилок // Масло-жировая промышленность. -1983. -№ 8. -С.31-34.
5. Алейников В.И., Бадай В.Т. Расчетное обоснование и исследование процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках с частичной циркуляцией теплоносителя. -Одесса, 1985. -149 с. -Библиогр.: 6 назв. -Деп. в ЦНИИТЭИ Минзага 29.01.85; № 51931-Д85.
6. Алейников В.И., Бадай В.Т. Расчет оптимальных режимов в шахтных зерносушилках с предварительным подогревом и рециркуляцией зерна / Тезисы докл. Всесоюз. науч. сем. "Оптимизация процессов сушки". г. Харьков, 1983. -С.43-44.
7. Алейников В.И., Бадай В.Т. Расчет режимных параметров и энергетических показателей процесса сушки в шахтных зерносушилках. -Одесса, 1982. -50 с. -Библиогр.: 7 назв. -Деп. в ВИНТИ 26.07.82, № 25232-Д82.
8. Бадай В.Т., Станкевич Г.Н., Чучуй В.П. Математическое моделирование процесса охлаждения зерна. -Одесса, 1988. -32 с. -Библиогр.: 3 назв. -Деп. в ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов 27.01.88, № 884-х6.
9. Бадай В.Т., Станкевич Г.Н., Пашкин А.Б. Оценка качества рециркуляционной обработки сыпучих материалов // Тезисы докл. на Всесоюз. конф. "Технология сыпучих материалов". г. Ярославль, Ярославль, 1988. -С.107.

*Handwritten signature and number:* 16.016.722