

Авторек
Р34
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

РЕЗНИК КОНСТАНТИН ВИКТОРОВИЧ

УДК 664.726.5(088.8)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА
ПОСЛЕ ПРОПАРИВАНИЯ ЗЕРНА

Специальность 05.18.12 - процессы и аппараты
пищевых производств

АВТОРЕЗЮМЕ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1988

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова

научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Н.В.Осталчук

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Е.И.Таубман
кандидат технических наук,
доцент И.Р.Дударев


Ведущая организация - Брянское областное управление
хлебопродуктов

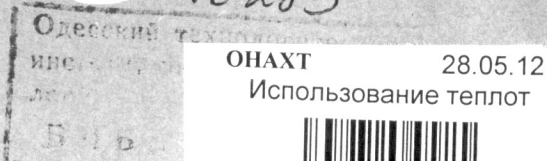
Защита состоится " 8 " апреля 1988 г. в 13⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при
Одесском технологическом институте пищевой промышленности
им. М.В.Ломоносова, 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

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

Автореферат разослан " 4 " марта 1988 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент


Е.Г.Кротов



v016283

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В Политическом докладе ЦК КПСС XXVII съезду
КПСС указано на необходимость снижения энергоемкости национального
дохода к концу столетия в 1.4 раза.

продовольственной программой СССР наряду с увеличением объема
и повышением качества продуктов переработки зерна, предусмотре-
на и разработка ресурсо- и энергосберегающих технологических про-
цессов. Большую роль в энергосбережении играет использование вто-
ричных энергетических ресурсов (ВЭР), которые в топливно-энерге-
тическом балансе страны составляют до 10%.

Пропаривание зерна крупных культур является одним из важней-
ших технологических приемов повышения качества и увеличения выхо-
да готовой продукции. Однако традиционными способами пропаривания
в аппаратах периодического действия в большинстве случаев исполь-
зование вторичной теплоты, как правило, не предусмотрено, а при
его использовании оптимальные характеристика технологической схе-
мы и режимы утилизации не установлены. Конструктивные параметры
отдельных элементов, обеспечивающие оптимальные характеристики схе-
мы, не разработаны. Потери теплоты и параметры вторичного пара не
определены и методика их определения не разработана.

Следовательно разработка методов и технологических схем ути-
лизации теплоты отработавшего пара после пропаривания зерна кру-
пных культур является актуальной проблемой.

Цель работы. Целью работы является научное обоснование спосо-
ба и режимов утилизации отработавшего пара после пропаривания кру-
пных культур, синтез технологических схем утилизации, обеспечиваю-
щих максимально возможное использование пара на технологические це-
ли при минимальных затратах на реализацию системы и разработка ре-
комендаций по внедрению системы в производственных условиях.

для достижения этой цели необходимо решить задачи:

- обосновать способ утилизации вторичного пара после пропари-
вания зерна;
- определить характеристики отработавшего пара после пропари-
вателей периодического действия и закономерности их изменения при
выпуске;
- синтезировать математическую модель системы утилизации ВЭР
крупного производства, позволяющую определить режимы утилизации
и конструктивные параметры элементов системы;
- разработать алгоритмы и программы расчета на ЭВМ оптималь-

ных характеристик и режимов функционирования системы утилизации ВЭР и конструктивных параметров ее элементов;

- определить применимые в производственных условиях способы утилизации вторичного тепла, произвести технико-экономический анализ существующих и возможных систем утилизации ВЭР;

- определить режимы процесса утилизации ВЭР при функционировании синтезированной системы утилизации;

- разработать рекомендации по режимам пропаривания и использованию теплоты отработавшего пара в производственных условиях, обеспечивающие наименьшие расходы энергии при соблюдении требований, предъявляемых к технологическому процессу.

Научная новизна работы состоит в:

- обосновании возможности, целесообразности и способа утилизации теплоты отработавшего пара после пропаривания зерна;

- установлении характеристик вторичного пара и закономерностей их изменения в процессе пропаривания;

- установлении режимов и циклов функционирования системы утилизации вторичной теплоты крупяного производства;

- обосновании и разработке технологической системы утилизации ВЭР с наилучшими технико-экономическими показателями.

Практическая значимость работы состоит в:

- разработке рекомендаций по выбору режимов работы оборудования цеха ГТО крупяных культур, конструктивных параметров системы утилизации ВЭР и отдельных ее элементов, позволяющих повысить производительность оборудования, снизить энергетические затраты на процесс пропаривания при минимальных затратах на реализацию системы утилизации и повысить качество вырабатываемой продукции.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава ОТИШ им. М.В.Ломоносова (г. Одесса, 1965...1967 гг.).

Публикации результатов. По материалам диссертационной работы опубликовано пять работ, получено два авторских свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, включающего 183 наименования, в том числе 33 иностранных, и приложений. Работа изложена на 117 страницах машинописного текста и содержит 42 рисунка, 11 таблиц.

На защиту выносятся: научное обоснование технологической схемы и режимов функционирования системы утилизации ВЭР крупяного про-

изводства с оптимальными технико-экономическими характеристиками.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено использование вторичных энергетических ресурсов в пищевой промышленности, приведены источники, классификация и пути использования ВЭР. Установлено, что в настоящее время единая методика выявления, учета и классификации ВЭР отсутствует, что приводит к различной оценке специалистами возможностей их утилизации и наилучшего использования. Показано, что сравнительный анализ систем утилизации ВЭР крупяного производства в литературных источниках отсутствует.

Анализ существующих и возможных систем утилизации ВЭР крупяного производства показал, что эти системы позволяют утилизировать от 25 до 95% теплоты отработавшего пара в пропаривателях периодического действия. Анализ использования различных типов теплообменных аппаратов (ТА) как основных элементов систем утилизации показал, что наибольшее применение в качестве теплообменников-утилизаторов получили пластинчатые и трубчатые рекуперативные ТА, эффективность которых составляет 60...70%. На основе анализа выявлено, что наиболее перспективным для утилизации являются трубчатые рекуперативные ТА как обладающие достаточной эффективностью и приемлемые в условиях эксплуатации.

Во второй главе приведено теоретическое обоснование возможности утилизации ВЭР после гидротермической обработки зерна крупяных культур, анализ режимов ГТО зерна крупяных культур, типовых схем технологии ГТО и оборудования, применяемого для пропаривания зерна, приведены результаты сравнительных испытаний аппаратов периодического действия для пропаривания зерна Г.С.Неруша и А9-БПБ, а также пропаривателя непрерывного действия для зерна овса.

На основе анализа теплового и материального балансов процесса пропаривания установлено, что количество теплоты, уходящей со вторичным паром $Q_{отп}$, составляет до 46% от начальной теплоты пара, подаваемого в пропариватель.

Произведен выбор показателя эффективности теплотехнических систем утилизации ВЭР, в качестве которого приняты приведенные затраты. Предложен поиск оптимального значения показателя эффективности осуществить методом полного перебора вариантов.

Приведенные затраты определяются по известной формуле $Z = Z_0 + E_n K$ (где Z - эксплуатационные затраты; E_n - нормативный коэффициент эффективности; K - капитальные затраты), которая в развернутом виде

для определения приведенных затрат для систем утилизации ВЭР имеет вид

$$z = \frac{(1+\alpha)(1+\beta)(1+\gamma) \cdot T_c \cdot \tau}{A} + \frac{(1+\epsilon)(K_a^0 + K_o) C_o}{A} + \frac{G_n C_n + G_3 C_3}{A} + E_n \frac{(1+\delta) C_o}{A}$$

где T_c - часовая тарифная ставка оператора; τ - рабочий период; α, β, γ - нормативы отчислений соответственно на премии и доплаты, дополнительную заработную плату и отчисления на соцстрах; ϵ - норматив отчислений на монтаж оборудования; K_a^0, K_o - нормативы амортизационных отчислений по оборудованию и на его текущий ремонт; C_o - сметная стоимость оборудования; G_n и G_3 - расходы соответственно пара и электроэнергии; C_n и C_3 - себестоимость пара и электроэнергии; A - объем производства продукции за год в натуральном измерении.

В приведенной формуле на изменение величины приведенных затрат при расчете схем утилизации оказывают влияние следующие величины: сметная стоимость оборудования C_o , расходы пара и электроэнергии G_n и G_3 , а также потребность в обслуживающем персонале, учитываемая первым слагаемым в формуле.

Расчеты приведенных затрат и основные технико-экономические показатели анализируемых вариантов схем утилизации пара приведены в диссертации. В результате расчетов наиболее эффективной оказалась система утилизации ВЭР крупяного производства, параметрическая схема которой приведена на рис. 1. Эта схема состоит из одного буферного пароаккумулирующего сосуда, одноконтурного рекуперативного ТА, бункера предварительного подогрева и подсушивания зерна и вентилятора-нагнетателя. Схема была нами предложена на основании анализа эксплуатации утилизационных установок.

В третьей главе описаны объекты, программа, план и методики экспериментальных исследований. Опыты направлены на получение постоянных, входящих в уравнения материального и теплового балансов, а также для определения величины, используемых в уравнениях математического описания отдельных элементов систем утилизации ВЭР.

Лабораторные и производственно-экспериментальные исследования проведены на крупозаводе и в котельном цехе Бугульминского комбината хлебопродуктов. Отбор образцов зерна для экспериментов производили с учетом исходных значений температуры и влажности по ГОСТ 10633-64.

Методика определения расхода пара, давления пара в аппарате, времени пропаривания, температуры зерна гречихи в процессе пропаривания, доувлажнения зерна после пропаривания, а также расхода

Таблица

Основные технико-экономические показатели анализируемых вариантов схем утилизации вторичного тепла

Показатели	: Схема 1 : Схема 2 : Схема 3 : Схема 4 : Схема 5		
	Постоянно-импульсный	Постоянный	Постоянно-импульсный
1. Нагрев воздуха			
1.1. Характер			
1.2. Температура, С	50...85	75...85	70...85
2. Степень утилизации тепла, %	20	90...95	80...90
3. Сопоставимые капитальные затраты, руб.	2628	3228	4018
4. Режим работы установки	автоматич.	автоматич.	ручной
5. Потребность в обслуживающем персонале	-	-	I чел./смену
6. Экономия расхода энергии, пара, %	3...5	10...13	8...11
7. Количество сэкономленного пара, т/год	349,0	1047,0	872,5
8. Приведенные затраты, руб./т	0,503	0,470	0,663
			0,585
			0,662

где V_n - объем пропаривателя, м³; $P_{вп1}$ и $P_{вп2}$ - соответственно давления вторичного пара на выходе из пропаривателя (входе в буферный сосуд) и на выходе из буферного сосуда.

ИТУ. В системе утилизации тепла отработавшего пара после пропаривания зерна гречихи теплообменник играет ключевую роль. Вторичный пар из буферного пароаккумулирующего сосуда подается в теплообменник в качестве греющего агента. В качестве холодного агента в теплообменник нагнетается воздух из паровых сушилок. В результате теплообмена пар конденсируется, а воздух нагревается и подается в бункер предварительного подогрева и подсушивания зерна непосредственно перед операцией пропаривания.

Таким образом, тепло подается в пропариватель нагретым и требуется меньше тепловой энергии (пара) на процесс пропаривания. Основными величинами, подлежащими определению, являются коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 , необходимые для расчета поверхности теплообмена.

РЭА1. Для определения коэффициента теплоотдачи α_1 от паровоздушной смеси к поверхности теплообмена использованы зависимости

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_n} = 1,122 P_n^{0,05} (P_{см} \cdot \omega_{см}^2)^{0,04} \cdot (y')^{-0,15} P_{см} / P_n$$

при $10 < P_{см} \cdot \omega_{см}^2 < 300$

$$\text{и } \frac{\alpha_1}{\alpha_n} = 0,357 P_n^{0,05} (P_{см} \cdot \omega_{см}^2)^{0,04} \cdot (y')^{-0,15} P_{см} / P_n$$

при $300 < P_{см} \cdot \omega_{см}^2 < 5000$

где α_n - коэффициент теплоотдачи при конденсации неподвижного (медленно движущегося) пара, определяемый по формуле Нуссельта, Вт/(м²К); P_n - парциальное давление пара в смеси, МПа; $P_{см}$ - давление смеси, МПа; $P_{см}$ - плотность смеси, кг/м³; $\omega_{см}$ - скорость смеси, м/с; y' - отношение парциальных давлений воздуха и пара в смеси.

РЭА2. Для определения коэффициента теплоотдачи α_2 от поверхности теплообмена к воздушному потоку использовали зависимость, применяемую для вычисления коэффициента теплоотдачи от оребренных труб к воздуху.

$$\alpha_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} (R_M + R_K + R_T) \varphi}$$

где α_0 - средний коэффициент теплоотдачи от пучка оребренных труб к воздуху, Вт/(м²К); R_M, R_K, R_T - соответственно тепловые сопротивления межтрубных загрязнений, контакта ребер и несущей поверхности металла трубы; φ - коэффициент оребрения.

РЭАТ. Определение поверхности теплообмена производили с по-

мощью модели Кольборна и Хоугена для конденсации компоненты из бинарной смеси. Периодический процесс пропаривания зерна крупяных культур осуществляется без предварительной продувки паром, поэтому из аппарата выводится паровоздушная смесь, т.е. смесь пара с неконденсирующимся газом. Существенное изменение состава потока по мере конденсации его паровой части приводит к значительному изменению условий теплопередачи.

Расчет производили в следующем порядке.

1. Диапазон изменения температуры парогазовой смеси в теплообменнике разбивали на небольшие участки, в пределах которых свойства потока и коэффициент теплопередачи принимаются постоянными.

2. В полученных точках, соответствующих условным сечениям аппарата, вычисляли значения локальной плотности теплового потока q . Параллельно вычисляли общее количество тепла Q , отданное парогазовой смесью на каждом участке.

3. Площадь поверхности теплообмена участка вычисляли по формуле

$$\Delta F_j = \Delta Q_j \left(\frac{1}{q_j} \right),$$

а сумму теплопередающей поверхности аппарата по уравнению

$$F = \sum_{j=1}^n \Delta F_j$$

где j - номер участка, n - число участков.

ИВН. Производительность вентилятора по воздуху определяется затратами подогретого воздуха на процесс нагрева и подсушивания зерна в бункере над пропаривателем. Для определения расхода использовали методику аналитического расчета необходимого количества воздуха и теплоты. При этом вычисление расхода воздуха производили по соотношению

$$L = \frac{1000 W}{d_2 - d_1}$$

где W - количество испаренной влаги, кг/г; d_2 и d_1 - соответственно влагосодержание уходящего и поступающего из бункера воздуха, г/кг.

В параметрической схеме математической модели системы утилизации ВЭР крупяного производства, приведенной на рис. 1, обозначены прямые, байпасные и обратные связи между структурными элементами модели. Для оптимального расхода пара на процесс пропаривания выведено уравнение

$$D_{opt} = D \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \varphi^n$$

где D - расход пара в первом цикле обработки (неподогретое зерно), кг/с; n - номер цикла; φ - коэффициент утилизации,

$$\varphi = \int K_n,$$

где \int - коэффициент удержания тепла в утилизаторе, K_n - коэффициент,

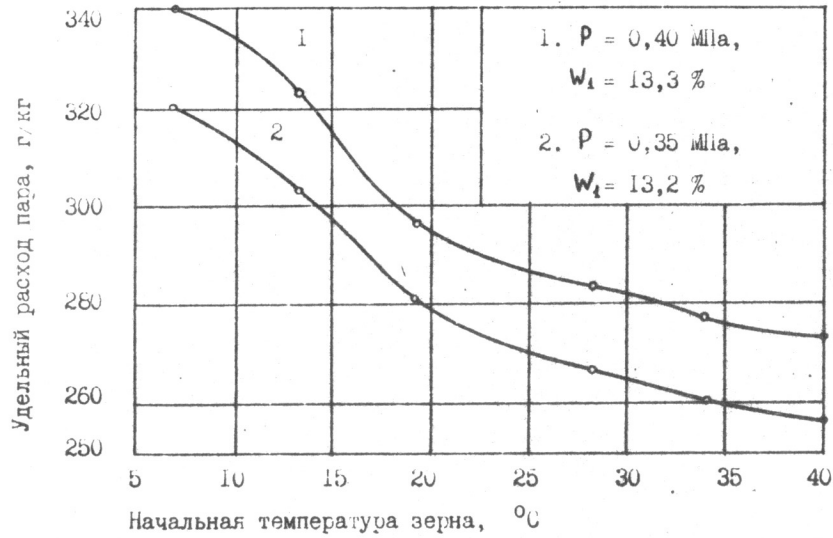


Рис. 2. Зависимость удельного расхода пара от начальной температуры зерна

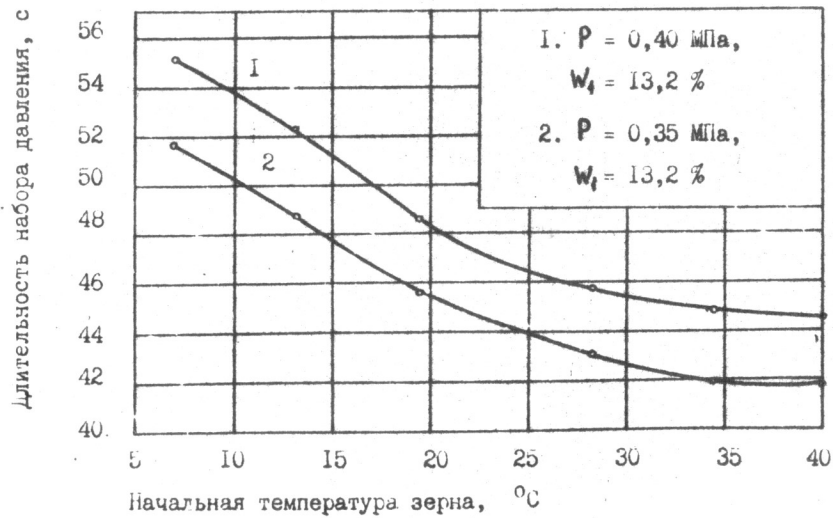


Рис. 3. Зависимость времени набора давления от начальной температуры зерна

Давление в пропаривателе, МПа

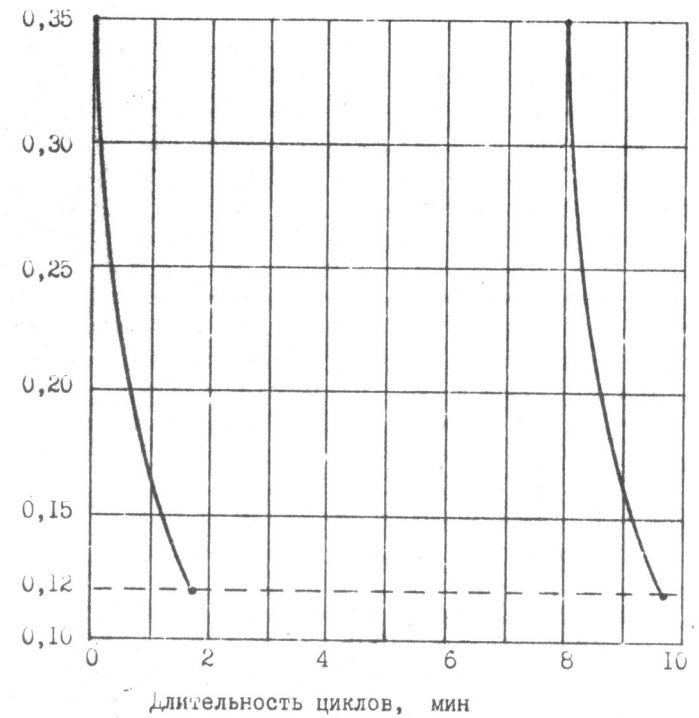


Рис. 4. Динамика выброса отработавшего пара из пропаривателя

Давление в системе, МПа



Рис. 5. Динамика выброса отработавшего пара из системы пропариватель - буферный сосуд

учитывающий потери.

В пятой главе приведены результаты опытов по определению величин, входящих в уравнения математического описания объекта. В результате реализации математической модели на ЭВМ получены следующие характеристики системы утилизации ВЭР: объем буферного пароаккумулирующего сосуда $V_6 = 2,95 \text{ м}^3$; расход воздуха через бункер предварительного подогрева и подсушивания $L_v = 22000 \text{ м}^3/\text{ч}$ (вентилятор типа Ц9-57 № 6 либо ВЦП-8) и величина площади поверхности теплообмена $F = 29,5 \text{ м}^2$. Расчет производили для конкретных условий крупозавода БКХЛ.

Приведены результаты лабораторных и производственных испытаний системы утилизации ВЭР. На рис. 2 показано изменение расхода пара d , г/кг, в зависимости от исходной температуры зерна θ_1 , °C, при пропаривании зерна гречихи при $P = 0,25 \text{ МПа}$ и $\tau = 4 \text{ мин}$, исходной влажности зерна $W_1 = 13,2\%$, диапазоне изменения исходной температуры зерна $\theta_1 = 7,0 \dots 40,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

На рис. 3 показана зависимость изменения времени набора давления Δt , с, от исходной температуры зерна θ_1 , °C.

На рис. 4 показано изменение давления на выходе из пропаривателя при свободном выбросе. На рис. 5 приведены динамика изменения давления пара при выбросе через систему утилизации. Кривая выброса имеет плавный характер, средняя величина давления на выходе из буферного сосуда примерно равна $0,12 \text{ МПа}$.

Предварительный подогрев зерна в бункере сокращает время, необходимое на "динамический разгон", т.е. набор установленного давления в пропаривателе, и снижает расход пара на процессе пропаривания на 11...13%. Экономический эффект за счет снижения расхода пара составляет 2652 руб в год на один аппарат.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что сравнительные данные об эффективности работы различных систем использования ВЭР имеют противоречивый характер. Сравнительные характеристики систем утилизации ВЭР крупяного производства отсутствуют.

2. В качестве критерия оптимальности при анализе систем утилизации ВЭР крупяного производства выбраны приведенные затраты как интегральный показатель, достаточно объективно и полно отражающий технико-экономические свойства анализируемых систем.

3. Предложен способ и система утилизации теплоты вторичного

пара, обеспечивающие наименьшие приведенные затраты.

4. Совместным решением уравнений материального и теплового балансов процессов пропаривания с использованием экспериментальных данных определено количество теплоты, вносимой в аппараты с греющим паром Q_p , с зерном $Q_{зп}$, и уносимой из аппарата с пропаренным зерном $Q_{зк}$; масса поданного в аппарат пара M_p , масса влаги в зерне, поступающем в переработку $M_{зп}$, масса влаги в пропаренном зерне $M_{зк}$.

5. Синтезирована общая модель системы утилизации ВЭР крупяного производства, состоящая из отдельных подсистем, и позволяющая определить основные характеристики элементов системы; буферного пароаккумуляторного сосуда, вентилятора-нагнетателя и теплообменника-утилизатора.

6. В результате лабораторных исследований получены зависимости изменения расхода пара и конечной величины влажности зерна после пропаривания от начальной температуры зерна, кинетические закономерности изменения температуры зерна в процессе пропаривания, закономерности изменения давления вторичного пара на выходе из пропаривателя и буферного пароаккумулирующего сосуда, необходимые для определения характеристик систем утилизации с помощью математической модели.

7. В результате реализации на ЭВМ математической модели системы утилизации ВЭР при производстве гречневой крупы применительно к Бугульминскому КХЛ получены следующие характеристики элементов систем: объем буферного пароаккумулирующего сосуда $2,95 \text{ м}^3$; площадь поверхности нагрева кожухотрубного теплообменника-утилизатора $29,5 \text{ м}^2$, тип вентилятора-нагнетателя Ц9-57 № 6 либо ВЦП-8 при температуре подогретого воздуха $75 \text{ }^\circ\text{C}$.

8. В процессе выработки опытной партии гречневой крупы на производственно-экспериментальной установке получены данные, подтверждающие результаты лабораторных исследований, и разработаны рекомендации по промышленному использованию системы утилизации ВЭР в технологии выработки гречневой крупы с использованием процесса гидросепарирования. Экономия пара при использовании системы утилизации составляет 11...13%.

9. Экономический эффект от внедрения системы утилизации составляет 2652 руб в год на один пропариватель периодического действия.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих

работах:

1. Каминский В.Д., Остапчук Н.В., Резник К.В. Обоснование режимов и основных характеристик нагревателя воздуха для предварительного подогрева зерна гречихи перед пропариванием. - Одесса, 1984. - 8 с., ил. - Библиогр.: 6 назв. - Деп. в ЦНИИТЭИ заготовок 04.10.84. № 5013Г - 84 Деп.

2. Каминский В.Д., Остапчук Н.В., Резник К.В. Совершенствование схемы утилизации пара в установке для предварительного подогрева зерна гречихи. - Одесса, 1984. - 10 с., ил. - Библиогр.: 6 назв. - Деп. в ЦНИИТЭИ заготовок 04.10.84 № 5023Г - 84 деп.

3. А.с. № 1311775 СССР, МКИ В02В1/08, 26В21/02. Установка для мокрой обработки и пропаривания зерна крупяных культур / В.Д.Каминский, Н.В.Остапчук, В.В.Шатохин, К.В.Резник (СССР) - № 4005974/31-13. Заявл. 13.01.1986. Опубл. 23.03.1987. Бюл. № 19.

4. А.с. № 1331555 СССР, МКИ В02В 1/04. Установка для тепловой обработки зерна. / В.Д.Каминский, Н.В.Остапчук, К.В.Резник (СССР) - № 3938136/31-13. Заявл. 26.07.1985. Опубл. 23.08.1987. Бюл. № 31.

Ри

№ 6. 16283

