

Автореферат
№ 12

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В. Ломоносова

На правах рукописи

ХАБЕБ МОХАМЕД АБДЕЛЬ ВАРС МОХАМЕД

УДК 665.3.022.047:621.565.58(088.8)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ДЛЯ
ТЕРМООБРАБОТКИ ЗЕРНА

Специальность 05.18.12 - процессы и аппараты пищевых
производств

и 05.14.05 - теоретические основы теплотехники

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1988

ОМ

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

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Чайковский В.Ф.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Смирнов Г.Ф.
кандидат технических наук,
доцент Титарь С.С.

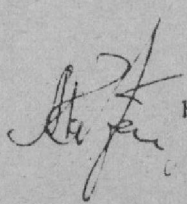
Ведущая организация: Научно-производственное объединение
"Иродмаш" (г. Одесса)

Защита состоится "2" сентября 1988 г. в 10³⁰ часов
на заседании специализированного совета К 068.85.02 в Одесском
технологическом институте пищевой промышленности имени М.В. Ло-
моносова, 270039, г. Одесса, 39, ул. Свердлова, 112.

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

Автореферат разослан "12" июля 1988 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор технических наук,
доцент

 Карнаузенко Л.И.

ОНАХТ 24.05.12
Применение тепловых



v016279

№ 016249

Одесский технологический институт
пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

11

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. На современном этапе в заготовительной системе АПК сушка приобретает все большую значимость. Постоянно растет объем зерна, который необходимо переработать в короткие сроки с минимальными потерями и издержками обращения. Производство зерна злаковых культур в СССР к 1990 году будет доведено до 1 т на человека в среднем по стране. Ежегодно сушке - активному вентилированию подвергается 70...90 % всего заготавливаемого зерна. Поэтому способ сушки и зерносушильная техника в значительной мере определяют металлоемкость производства, уровень загрязнения окружающей среды, расходы топлива и, что главное, качество зерна.

В настоящее время сушку зерна осуществляют преимущественно смесью топочных газов и воздуха, что приводит к снижению качества зерна.

В связи с этим особый научный и практический интерес представляют поиски эффективных систем теплопередачи от газа к потоку зерна, исключающие непосредственный контакт между средами.

В ряде отраслей техники подобная задача удачно решается с помощью тепловых труб (ТТ). Эти автономные и эффективные теплообменники оказались удачно конструктивной развязкой при проектировании многих типов теплообменных аппаратов. Вместе с тем, примеры практического использования ТТ для сушки зерна отсутствуют. Основной причиной этого является отсутствие исследований и методов расчета таких систем.

Изложенное и определяет актуальность настоящей диссертационной работы.

Цель работы. Разработка методики расчета теплообменника на тепловых трубах (ТОТТ) для предварительного нагрева зерна перед сушкой.

Задачи работы. Поставленная цель обуславливает решение следующих задач:

1. Провести анализ рециркуляционных схем существующих зерносушилок, определить пути их совершенствования с учетом возможностей ТТ.
2. Разработать математическую модель теплообмена при обтекании плотного слоя зерна одиночных труб, пучков и рядов труб.
3. Провести экспериментальные исследования процесса теплоотдачи плотного слоя зерна на поверхностях одиночных труб и пучков труб. Результаты экспериментальных исследований представить в виде обобщенных зависимостей.

Объект исследования. Процессы и аппараты для термообработки зерна.

Основная идея работы. Использовать конструкции ТТ, характеризующиеся высокой теплопередающей способностью, автономностью, надежностью и долговечностью в процессе термообработки зерна в целях повышения его качества.

Научную новизну составили следующие научные результаты:
 экспериментальные исследования (в том числе и визуальные) механики обтекания плотного слоя зерна рядов и пучков труб;
 экспериментальные исследования теплоотдачи плотного слоя зерна на поверхностях рядов и пучков тепловых труб;
 экспериментальные исследования (в том числе и ресурсные) теплопередающих характеристик низкотемпературных труб;
 обобщенные зависимости для расчета теплообмена плотного слоя зерна с поверхностями одиночных труб рядов и пучков труб;
 методика теплового конструкторского расчета подогревателя зерна на ТТ.

В работе защищается следующее научное положение:

Эффективная теплопередача от газа к зерну при высоком качестве продукта обеспечивается при использовании в качестве теплопередающих элементов пучков ТТ, поперечно омываемых зерном в шахте подогревателя. Рекомендуемые диаметры ТТ находятся в пределах 15... 40 мм и определяются скоростью движения слоя.

Практическая ценность. Представленные в работе исследования проводились в рамках координационного плана научно-исследовательских работ Министерства хлебопродуктов СССР.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании рекуперативных теплообменников на основе ТТ для нагрева и охлаждения зерна.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП им. М.В.Ломоносова в период 1986-1988 гг.; на Всесоюзной конференции "Разработка и совершенствование технологических процессов, машин и оборудования для производства, хранения и транспортирования продуктов питания" (г.Москва, 1987 г.); Всесоюзной конференции по тепловым трубам (г.Киев, 1987 г.).

Публикация. Основное содержание диссертационной работы изложено в одной печатной работе.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Работа изложена на 189 страни-

цах машинописного текста, содержит 42 рисунка, 24 таблицы, список использованной литературы включает 114 источников, среди которых 66 работ зарубежных авторов, приложение на 10 страницах.

ТЕПЛОПЕРЕНОС В СЛОЕВОМ ПОДОГРЕВАТЕЛЕ ЗЕРНА С ТЕПЛОВЫМИ ТРУБАМИ

Основы расчета теплопереноса и температурных полей в слоевых системах развиты в работах Антонишина Н.В., Горбиса З.Р., Календарьян В.А., Корнараки В.В. В этих работах рассматривается стационарный теплоперенос в неподвижном продуваемом слое дисперсного материала с внутренними источниками тепла. В предположении того, что градиент температур по одной координате значительно больше, чем по другой, задача сводится к одномерной. С учетом ряда допущений (порозность слоя, скорость газа, физические характеристики газа и твердого компонента, коэффициенты пристенного теплообмена компонентов постоянны, а температуры теплообменных поверхностей одинаковы) предложена однокомпонентная и двухкомпонентная модель теплопереноса.

С учетом основных положений и выводов указанных моделей рассмотрен процесс теплопереноса в слоевом подогревателе зерна с ТТ для двух случаев.

1. Представительной ячейкой является объем слоя, в центре которого находится одна ТТ.

Точное решение задачи расчета теплоотдачи между изотермической поверхностью ТТ и движущимся плотным слоем дисперсного материала невозможно из-за необходимости детального рассмотрения динамики движения и теплообмена каждой зерновки в отдельности. В связи с этим для получения практических результатов целесообразно воспользоваться феноменологическим методом, учитывающим основные особенности теплообмена слоя с поверхностью. При стабильном движении слоя в зернистой среде устанавливается некоторое поле температур, определяемое граничными условиями, теплофизическими характеристиками дисперсного материала и условиями обтекания. Можно допустить, что среднестатистическая температура зерновки будет постоянна в любой точке слоя в зависимости от её координаты.

Рассматривая плотный слой как среду с эффективными характеристиками, можно определить локальный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{сл}} = - \frac{\lambda_{\text{эф}}}{\Delta t} \frac{\partial t}{\partial r} \Big|_{r=r_{\text{ТТ}}} \quad (I)$$

Для решения уравнения (I) необходимо знать температурное поле в слое, прилегающем к поверхности ТТ. Квазистационарное температурное поле может быть описано гиперболическим уравнением теплопровод-

ности. В цилиндрической системе координат это уравнение имеет вид:

$$\alpha_{\text{эф}} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right) - \frac{\alpha^* f(t-t_3)}{(1-\varepsilon) C_3 \varrho_3} = 0. \quad (2)$$

Задача решается при граничных условиях первого рода:

$$r = r_k, \quad t = t_{\text{ст}}; \quad (3) \quad r = \infty, \quad t = t_0. \quad (4)$$

Для решения уравнения (2) текущая температура зерновки t_3 выражается через среднюю температуру слоя из уравнения теплового баланса частиц в слое:

$$C_3 \varrho_3 (1-\varepsilon) dt_3 = \alpha^* f(t-t_3) dt \quad (5)$$

Дальнейшее решение уравнений (1-2) проводится в безразмерной форме. В общем случае полученный результат может быть записан в виде:

$$Nu = f(Re, D/d). \quad (6)$$

Уравнение (6) позволяет определить вид зависимости, которую необходимо получить экспериментально, однако приведенная модель применительно к аппарату является слишком громоздкой.

2. Слой представляет собой дискретную двухкомпонентную систему воздух-зерно, которая омывает поверхности ТТ.

Для каждого компонента описание процесса теплоотдачи проводится как для сплошной среды, а уравнения записываются в упрощенной форме.

По оси шахты выделяется представительная ячейка с площадью поперечного сечения F_a , равного сечению шахты. Ячейка содержит N конструкций ТТ в объеме V_a .

В рамках представительной ячейки на основе двухкомпонентной модели можно записать:

на конденсационных участках ТТ

$$\begin{aligned} \text{для зерна} \quad G_3 C_{p3} \frac{dt_3}{dz} - \alpha_{вз} (t_в - t_3) F_a \cdot \varepsilon_v = \\ = \frac{N}{V_a} \cdot F_a \cdot F_k (t_n - t_3) \cdot (1/\alpha_3 + 1/\alpha_k)^{-1}; \end{aligned} \quad (7)$$

для воздуха

$$\begin{aligned} G_в C_{pв} \frac{dt_в}{dz} - \alpha_{вз} (t_в - t_3) F_a \cdot \varepsilon_v = \\ = \frac{N}{V_a} \cdot F_a \cdot F_k (t_n - t_3) \cdot (1/\alpha_{вк} + 1/\alpha_k)^{-1}; \end{aligned} \quad (8)$$

на испарительном участке ТТ

для газа

$$G_r C_{pr} \frac{dt_r}{dz} = \frac{N}{V_{ар}} \cdot F_a \cdot F_u (t_r - t_n) \cdot (1/R_{гн}). \quad (9)$$

$$R_{гн} = 1/\alpha_r + R_{зг} + R_{ст} + 1/\alpha_u \quad (10)$$

При записи (7)-(10) приняты следующие допущения:
градиент температуры по координате z значительно больше, чем в сечении ячейки,

в пределах ячейки температура насыщения пара теплоносителя в ТТ одинакова;

при движении слоя контактная теплопередача между зерновками пренебрежимо мала;

теплофизические свойства газа, воздуха и зерна в аппарате постоянны.

В реальном случае при отсутствии межкомпонентного теплообмена вторыми слагаемыми в левых частях уравнений (7-8) можно пренебречь.

Интенсивность теплоотдачи при движении слоя у поверхности ТТ в значительной мере определяется механизмом обтекания. Исследование этого механизма позволяет определить диапазон режимных параметров при экспериментальном исследовании теплоотдачи.

МЕХАНИКА ОБТЕКАНИЯ СЛОЕМ ЗЕРНА ОДИНОЧНЫХ ТРУБ, ПУЧКОВ И РЯДОВ ТРУБ

Исследование механики движения слоя зерна проводилось в прямоугольной вертикальной шахте сечением 150x150 мм, высотой 840 мм. Объектом исследования являлись одиночные цилиндры диаметром 10, 16, 23, 27, 40 и 55 мм, а также пучки труб диаметром 10, 16, 23 и 27 мм. Визуальные исследования, проводившиеся методом "меченого слоя", показали, что над верхней частью трубы образуется малоподвижный уплотненный слой, а в нижней части трубы - уплотненный воздушный "мешок". Характер обтекания зависит от коэффициентов внутреннего трения между зерновками и между зерном и поверхностью трубы. В результате визуальных исследований установлено, что скорость движения слоя зерна U_3 в диапазоне величин 4,0...55,5 мм/с практически не определяет конфигурацию и размер зоны влияния цилиндрической поверхности на поток, вместе с тем конфигурация зоны влияния существенно зависит от диаметра трубы.

При помощи фотосъемки определены локальные значения скоростей в сечении цилиндра. Эпюра скоростей для различных диаметров труб приведена на рис. 1. Эпюра скоростей имеет вид параболы с вершиной в лобовой точке трубы. С увеличением диаметра трубы в её лобовой части формируется застойный лой, скорость которого с увеличением диаметра снижается. На основе эпюр скоростей построена зависимость степени торможения φ от ряда режимных параметров. Анализ зависимости φ от угловой координаты β позволяет сделать вывод, что

Эпюра скоростей при обтекании одиночных труб зерном

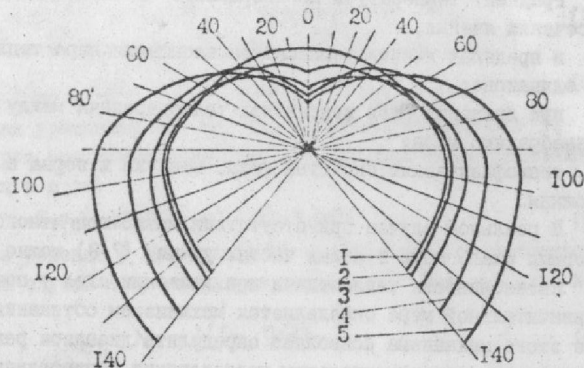


Рис. 1

	1	2	3	4	5
d, мм	10	16	27	40	55

Зависимость среднего коэффициента теплоотдачи от диаметра тепловой трубы при постоянной скорости движения слоя зерна

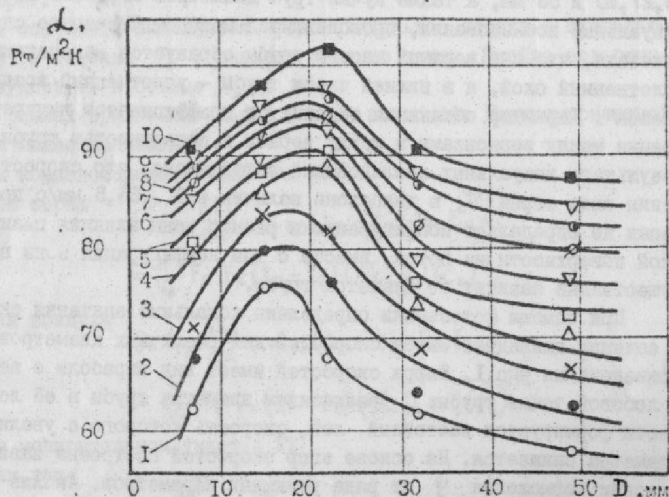


Рис. 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v, мм/с	2	4	6	8	10,5	12,5	14,3	18,5	20	24

наибольшее торможение достигается в лобовой части, а при $90^\circ < \beta < 270^\circ$ - минимальное. Приведенная плотность слоя $\bar{\rho}$ в связи с отрывом движущегося слоя от поверхности трубы в диапазоне $90^\circ < \beta < 180^\circ$ принимает наименьшие значения.

Таким образом, локальные значения v_3 , ψ , $\bar{\rho}$ не совпадают, что не позволяет определить качественный характер теплоотдачи на цилиндрической поверхности.

Визуальные исследования механики движения позволили определить рациональные диапазоны продольных S_1/D и поперечных S_2/D шагов при компоновке ТТ (табл. I).

Таблица I

Рекомендуемая компоновка рабочих участков

Диаметр труб, мм	Ряд	Пучок	
	S_1/D	S_1/D	S_2/D
10	2,0...5,0	-	-
16	1,6...4,0	1,6...4,0	1,5...4,0
23	1,5...3,5	1,5...3,5	1,4...3,5
27	1,4...3,0	1,4...3,0	1,2...3,0

ТЕПЛОТДАЧА ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ЗЕРНОМ

Теплоотдача при обтекании зерна ТТ изучалась на экспериментальном стенде, включающем рабочий участок - шахту со стенками из оргстекла. Размеры шахты и расположение ТТ исключали влияние боковых стенок, участков входа и выхода материала на распределение скорости потока в зоне теплообмена. Движение материала в виде плотного слоя с равномерной по сечению скоростью обеспечивалось шибром. Теплопередающей поверхностью являлись горизонтально расположенные конденсационные участки ТТ, характеристики которых приведены в табл. 2.

Для всех ТТ с увеличением скорости слоя происходит интенсификация теплоотдачи по всему периметру ТТ за исключением зоны отрыва. В зоне отрыва образуется воздушный мешок и теплоотдача здесь практически не изменяется. Рост скорости вызывает дополнительное вращение и перемешивание зерновок, что приводит к турбулизации воздушных прослоек между ними и, следовательно, интенсификации теплообмена.

Таблица 2

Характеристики тепловых труб

№ ТТ	Диаметр, мм	Тип КС	Теплоноситель	Корпус	Длина, мм		R, К/Вт	Изготовитель
					испарителя	конденсатора		
1	8,0	сетка	вода	С	95	155	0,77	НИТИ
2	16,0	спеч.	вода	М	190	155	0,20	БРНПО ИМ
3	22,5	сетка	вода	С	110	155	0,71	НИТИ
4	22,5	сетка	нафталин	С	110	155		НИТИ
5	27	канавки	ВНЗ	У	200	1000	0,28	ОТИПШ
6	27	канавки	ацетон	У	200	1000	0,20	ОТИПШ
7	33	сетка	ацетон	С	155	155	0,23	ОТИПШ
8	55	сетка	ацетон	С	155	155	0,3	ОТИПШ

Примечание: С - нержавеющая сталь; У - углеродистая сталь;
М - медь.

Из рис.2 видно, что с ростом диаметра ТТ интенсивность теплоотдачи растет до определенной величины, а затем монотонно убывает. При диаметре ТТ больше некоторого оптимального значения D_{opt} в лобовой части ТТ образуется застойный слой, причем с ростом скорости для его формирования требуется увеличение поверхности контакта, т.е. труба большего диаметра. При $D < D_{opt}$ нижняя половина ТТ практически не соприкасается с потоком зерна, вклад ее не превышает 25...30 %.

Экспериментальные результаты для одиночных труб обобщаются зависимостью:

$$Nu = 0,94 \cdot Pe^{0,14} \cdot (D/d)^{0,76} \quad (II)$$

при $1,2 \cdot 10^2 \leq Pe \leq 2,4 \cdot 10^4$; $2,2 \leq D/d \leq 15,3$;
для ряда труб:

$$Nu = 1,03 \cdot Pe^{0,14} \cdot (D/d)^{0,76} \cdot (S_1/D)^{-0,19} \quad (I2)$$

$$180 \leq Pe \leq 10^4; \quad 1,35 \leq S_1/D \leq 3,00$$

Сравнение термических сопротивлений различных типов тепловых труб

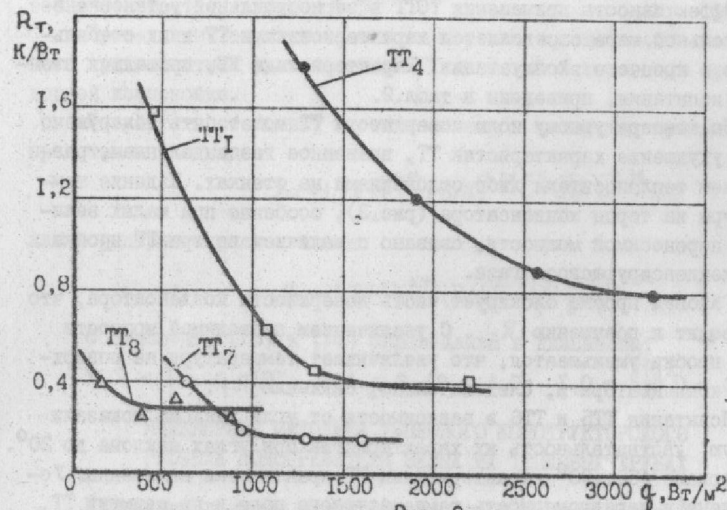


Рис. 3

Ресурсные характеристики тепловых труб

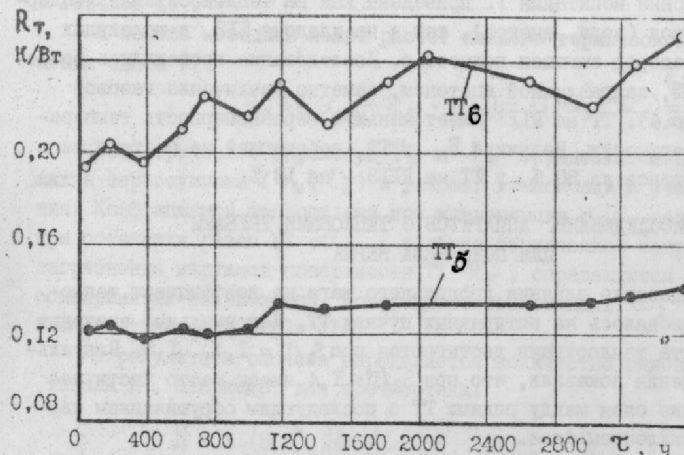


Рис. 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Эффективность применения ТОТТ в зерносушильной установке в значительной мере определяется характеристиками ТТ и их стабильностью в процессе эксплуатации. Характеристики ТТ, прошедших стендовые испытания, приведены в табл.2.

По температурному полю поверхности ТТ может быть обнаружено любое ухудшение характеристик ТТ, вызванное газовыделением, разложением теплоносителя либо отложениями на стенках. Падение температуры на торце конденсатора (рис.3), особенно при малых величинах переносимой мощности, связано с наличием внутри ТТ пробки из неконденсирующегося газа.

Газовая пробка блокирует часть поверхности конденсатора, что и приводит к повышению R_T . С увеличением подводимой мощности объем пробки уменьшается, что увеличивает температуру на поверхности конденсатора и, следовательно, снижению R_T .

Испытания ТТ5 и ТТ6 в зависимости от угла наклона показали высокую чувствительность их характеристик при углах наклона до 20° . В интервале $45 \dots 90^\circ$ характеристики ТТ практически неизменны. Установлена и неравномерность температурного поля и по азимуту ТТ, определяемая "лужей" в испарителе и "ручейком" стекающей жидкости в конденсаторе.

Ресурсные испытания ТТ приведены как на теплоносителях, содержащих водород (вода, ацетон), так и на хладоне ИИЗ, в молекулах которого водород замещен полностью. Исследования проводились более года. На ТТ, заправленной ацетоном, заметно увеличение газовой пробки (рис.4). ТТ на ИИЗ имеет меньшую неравномерность температур на поверхности. Величина R_T у ТТ, работающей на ацетоне, за год увеличилась на 30 %, у ТТ на ИИЗ - на 10 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ С ТЕПЛОВЫМИ ТРУБАМИ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ЗЕРНА

Исследование влияния продольного шага на коэффициент теплоотдачи проводилось на пятирядных пучках ТТ. Максимальные значения коэффициента теплоотдачи достигаются при $S_2/D = 1,4 \dots 1,5$. Визуальные наблюдения показали, что при $S_2/D < 1,4$ имеет место частичное заклинивание слоя между рядами ТТ с последующим обрушиванием свода и разрыхлением слоя.

При изучении влияния числа рядов ТТ на теплообмен обнаружено, что теплоотдача третьего ряда оказывается выше, чем у остальных,

что объясняется максимальным перемешиванием слоя. Визуальные наблюдения показали, что после третьего ряда поток зерна стабилизируется, однако при этом увеличивается порозность слоя, что и приводит к снижению α . Вместе с тем, средняя теплоотдача ТТ к потоку зерна отличается не более 5 %.

Проведенные опыты показали также, что интенсивность теплообмена при шахматном расположении ТТ на $6 \dots 8$ % выше, чем при коридорной компоновке.

Результаты обобщений по теплообмену в шахматных пучках ТТ представлены в виде:

$$Nu = 1,13 \cdot Pe^{0,14} \cdot (D/d)^{0,76} \cdot \left(\frac{S_1 \cdot S_2}{D^2}\right)^{-0,18} \quad (13)$$

для коридорного расположения:

$$Nu = 1,03 \cdot Pe^{0,14} \cdot (D/d)^{0,76} \cdot \left(\frac{S_1 \cdot S_2}{D^2}\right)^{-0,12} \quad (14)$$

Соотношения (13) и (14) справедливы в диапазоне:

$$180 \leq Pe \leq 10^4; \quad 1,4 \leq S_1/D \leq 4,0; \quad 1,0 \leq S_2/D \leq 3,5.$$

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ТЕПЛОВОГО КОНСТРУКТОРСКОГО РАСЧЕТА ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ЗЕРНА НА ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

Исходными данными являются: массовый расход зерна M_3 , его теплоемкость C_{p3} , температура зерна на входе t'_3 и выходе t''_3 , массовый расход греющего агента M_r и его температура на входе в газоход t'_r .

В основе методики лежит расчет полного термического сопротивления одной ТТ:

$$R_T = \left(\frac{1}{\alpha_{np}} + R_{3r} + \frac{1}{\alpha_{и}}\right) \frac{1}{F_{и}} + \left(\frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_k}\right) \frac{1}{F_k} \quad (15)$$

Геометрические параметры $F_{и}$ и F_k определяются по размерам шахты зерносушилки ($b_{ш}$, $l_{ш}$) и условию компоновки с учетом обребования. Коэффициенты теплоотдачи при конденсации α_k , испарении $\alpha_{и}$, при обтекании газом ТТ α_{np} , а также термическое сопротивление загрязнения наружной поверхности ТТ R_{3r} , определяются на основе общепринятых соотношений. Коэффициент теплоотдачи α_3 определяется из уравнений (12) + (14).

В результате расчета определяется количество рядов ТТ по вертикали N . Например, для противотока:

$$N = R_T(S_1/b_{ш}) \left[\ln \left(\frac{t'_r - t''_3}{t'_r - t'_3} \right) \right] \left(\frac{1}{M_r C_{pr}} + \frac{1}{M_3 C_{p3}} \right)^{-1} \quad (16)$$

На основе предложенной методики проведен расчет подогревателя зерносушилки ДСП-32.

ВЫВОДЫ

1. Скорость потока зерна оказывает значительно меньшее влияние на характер обтекания одиночных труб, чем диаметр ТТ. Эпюра локальных скоростей имеет вид параболы с вершиной в лобовой точке. Степень торможения слоя у поверхности ТТ увеличивается при повышении скорости потока до 15 мм/с и остается практически постоянной при дальнейшем росте скорости.

2. Предельные значения локальных характеристик скорости движения зерна, степени торможения слоя и его приведенной плотности не совпадают по угловой координате.

3. Неравномерность движения потока зерна и заклинивание зерновок в межтрубном пространстве наблюдается при $(S_1 - D)/d < 3,3$. Рациональные значения: $S_1/D \geq 1,5$; $S_2/D \geq 1,4$.

4. В теплообменнике-нагревателе зерна целесообразно использовать ТТ из углеродистой стали с канальной капиллярной структурой на испарителе, направленные хладоном ИИЗ.

5. Рациональный диаметр ТТ зависит от скорости движения слоя зерна. При скоростях 2...7 мм/с лучшие характеристики у ТТ диаметром 10...16 мм, при скорости слоя зерна 8...25 мм/с - у ТТ с диаметром 18...24 мм.

6. Темп зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости потока и симплекса (D/d) в пучках, рядах и одиночных трубах одинаков.

7. Интенсивность теплоотдачи при обтекании слоем зерна одиночных ТТ возрастает с увеличением (D/d) . При $(D/d) > 8,0$ в лобовой части ТТ образуется застойная зона и интенсивность теплообмена монотонно убывает.

8. Интенсивность теплоотдачи в первых трех рядах ТТ несколько выше, чем в последующих, но это отличие не превышает 5%.

9. Средняя теплоотдача при шахматной компоновке ТТ на 6...8% выше, чем при коридорной.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующей работе:

Бурдо О.Г., Крицкий В.И., Хабс Мохамед Абдель Варс Мохамед. Теплообменник на тепловых трубах для предварительного подогрева зерна перед сушкой. /Тезисы докл. Всесоюз. науч. конф. "Разработка и совершенствование технологических процессов, машин и оборудова-

ования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания", 26-28 мая 1987 г., Москва.- М.: МТИИП. 1987.- С.29-31.

Обозначения

α - коэффициент теплоотдачи; ε - порозность слоя; ε_v - межконтактная поверхность в I м^3 ; λ - коэффициент теплопроводности; ρ - плотность; D ; d - соответственно, диаметр трубы и зерновки; F - площадь; f - площадь поверхности частиц в единице объема; G - массовая скорость; M - массовый расход; N - число ТТ; r - радиус; S_1 и S_2 - соответственно величина поперечного и продольного шага; z - координата.

Индексы: в - воздух; вз - воздух-зерно; вк - "воздух конденсатор ТТ"; з - зерно; и - испаритель ТТ; к - конденсатор ТТ; н - насыщенный; сл - слой; ст - стенка; т - теплов. труба; ш - шахта; яг - ячейка газосохода.

Полн.
Объем 0
Гортиплог

10. 16249