

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

КУРЗИН Иван Григорьевич

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРЕБЕННЫХ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЕЙ
ПУТЕМ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ИХ ПОВЕРХНОСТИ

Специальность 05.04.03 – Машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем
кондиционирования

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата
технических наук в форме научного доклада

Одесса – 1994



AB 30.666

Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
профессор Никульшина Д.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Войтко А.М.

кандидат технических наук
Чернозубов А.М.

Ведущая организация - АНТО "Одесколор".

Защита состоится "26" 09. 1994 г в 11 часов на
заседании специализированного Совета К.068.27.01 при Одесском ин-
ституте низкотемпературной техники и энергетики по адресу:

270100, г.Одесса, ул. Петра Великого, 1/3 - Совет ОИНТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ОИНТЭ.

Диссертация разослана "12" 01 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

Р.К.Никульшина

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АВ - 30, Саш

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Известно, что применяемые сегодня в практике промышленные методы борьбы с обледением воздухоохлаждателей (образованием и ростом "снеговой шубки") мало эффективны, требуют дополнительных затрат энергии, создания специальных конструкций, увеличивающих металлоёмкость и габариты аппаратов. Вот почему поиск и разработка новых более эффективных методов снижения инеобразования на охлаждающих поверхностях воздухоохлаждателей является важной научно-технической задачей. Один из возможных путей решения этой задачи, основанный на применении антиобледенительных покрытий, предлагается в настоящей диссертации. В этом заключается актуальность темы данного исследования.

Цель работы состоит в совершенствовании систем воздушного охлаждения путём использования теплообменных аппаратов, модифицированных антиобледенительным комбинированным покрытием, снижающим интенсивность процесса охлаждения инея.

Задачи работы: Определить влияние гидрофобности на интенсивность процесса обледенения инея, оценить теплоэнергетическую эффективность, аэродинамические и эксплуатационные характеристики воздухоохлаждателей с антиобледенительным покрытием, отработать технологический процесс производства и нанесения на теплообменное оборудование комбинированного антиобледенительного покрытия, разработать проектную технологическую документацию на проведение опытно-промышленных работ с покрытиями и проверить их на практике в процессе промышленной эксплуатации.

Научная новизна - впервые исследованы обретенные аппараты, на теплопередающей поверхности которых синтезирована гидрофобная плёнка, снижающая до ~ 7 раз силы адгезионного взаимодействия с полярными средами (вода, лёд, иней и т.д.).

Научное положение: Модификация теплопередающих поверхностей приборов охлаждения камерного оборудования кремнийорганическими соединениями на основе полиалкилгидросилоксанов приводит к снижению инеобразования, повышению теплоэнергетической эффективности, улучшению эксплуатационных характеристик, увеличению антикоррозионной стойкости аппаратов.

Основные научные результаты.

I. Разработана технология приготовления гидрофобного покрытия и его нанесения на приборы охлаждения в промышленных условиях. Технология проверена на практике и может быть рекомендована к широкому внедрению.

2. Получены экспериментальные данные лабораторных и промышленных исследований по тепло- и массообмену, аэродинамике серийных и модифицированных гидрофобным покрытием воздухоохладителей и доказана высокая эффективность предлагаемого покрытия и возможность его широкого внедрения в практику.

Практическая ценность работы.

1. Разработаны практические рекомендации по интенсификации действующего теплообменного оборудования, работающего в условиях инеобразования, методом гидрофобизации их теплопередающей поверхности.

2. Разработана технологическая документация на типовой технологический процесс приготовления и нанесения антиобледенительного комбинированного покрытия на металлические поверхности сложной геометрической формы.

Апробация работы. Отдельные разделы работы и работа в целом докладывались на научных конференциях ОИИГЭ в 1987-1988 годах, на Всесоюзной научно-практической конференции по интенсификации производства с применением искусственного холода (г.Одесса, октябрь, 1989 г.); Всесоюзной научно-технической конференции по холоду (г.Санкт-Петербург, октябрь, 1991 г.); на научных семинарах, проводимых рядом зарубежных фирм, специализирующихся в области пищевой технологии: АО "Конагро" г.Вильямсбург, США, май 1991 г.; АО "Фризонелла", г.Милан, Италия, июнь 1992 г.; фирма "Даллич ЛТД", г.Стамбул, Турция, апрель 1993 г.; Компания по переработке продуктов животноводства, г.Харбин, ноябрь 1993 г. (Китай).

Публикации: по материалам диссертации имеется 5 публикаций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса. Исследования тепловых и аэродинамических характеристик оребренных воздухоохладителей в условиях инеобразования посвящены работы многих авторов: Адати М., Алгрена А., Локи М., Бабакина Б.С., Гачилова Т.С., Герасимова Н.А., Ивановой В.С., Кершбауера Х., Ломакина В.Н., Лотца Х., Таяма О., Уайта Д., Хмаладзе О.Ш., Хосода Т., Чанга П., Чепуренко В.П., Чепурного М.Н., Чумака И.Г., Штоккера В.Ф., Явнели Т.К. и др. Анализ этих работ показывает, что подавляющее большинство способов борьбы со "снеговой шубой" связано с дополнительным расходом энергии, усложнением конструкции, созданием специальных систем регенерации или очистки, увеличением металлоёмкости приборов охлаждения. В настоящее время предпочтение отдаётся физико-химическому методу,

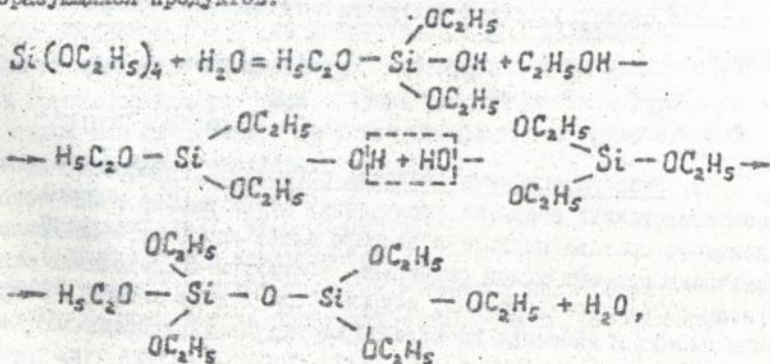
основанному на снижении адгезии льда и инея к защищаемой поверхности путём модификации её специальными антиадгезионными плёнкообразующими веществами. В качестве антиадгезионных материалов применялись эпоксидные смолы, пластмассы, смолы, резины, каучуки, битумные эмульсии, ряд полимерных материалов и др. Обладая хорошими гидрофобными характеристиками, эти материалы оказались непригодными для гидрофобизации теплообменных поверхностей, в первую очередь, из-за значительной толщины получаемых покрытий ($\sim 100 \dots 200$ мкм), недолговечности либо необходимости полимеризации при высоких температурах. Разработанное Украинским техническим университетом (г. Киев) и ОИНТЭ антиобледенительное комбинированное покрытие (А.с. 1457393) имеет толщину плёнки порядка 1-2 мкм и, как следствие, низкое термическое сопротивление, высокий краевой угол смачивания, хорошие прочностные и антикоррозионные характеристики. Процесс формирования плёнки не требует специальной термической обработки.

2. Физико-химические основы получения гидрофобных покрытий на металлических поверхностях теплообменных аппаратов.

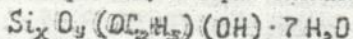
Плёнка УТУ - ОИНТЭ состоит из двух слоёв. Плёнкообразующие растворы первого слоя покрытия (подложки) должны обеспечивать высокую адгезию к металлу, растворяться в широких пределах, позволяющих получать растворы различной концентрации, иметь вязкое поверхностное натяжение, обеспечивающее хорошую смачиваемость, а, следовательно, и покрываемость поверхности, иметь активные группы, способные вступать в химические реакции с гидрофобизатором.

Такими свойствами, как оказалось, в наибольшей степени обладает один из эфиров ортокремниевой кислоты - тетраэтоксисилан (ТЭОС).

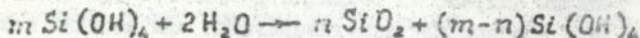
ТЭОС $-\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ в присутствии водно-ацетоновых и водно-спиртовых растворов гидролизуется с одновременной поликонденсацией образующихся продуктов:



т.е. образуется ксерогель, который схематично можно представить как



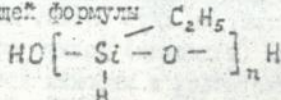
При неполном гидролизе ТЭОС негидролизованная часть эфира превращается в конденсированный смолистый материал, который способствует адгезии к металлу и сохраняет эластичность в плёнке кремнезёма после испарения растворителя.



Образовавшийся спирт улетучивается, а на поверхности отлагается твёрдый равномерный, прозрачный слой кремнезёма.

Процессы поликонденсации и комплексообразования, сопутствующие гидролизу, приводят к повышенному содержанию гидроксильных групп в поверхностном слое ксерогеля, на которых адсорбируются молекулы гидрофобизатора.

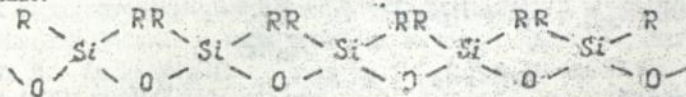
Соответственно гидрофобизатор - это полиалкилгидросилоксан (жидкость 136-41) общей формулы



Связь гидрофобизатора с продуктами гидролиза ТЭОС обеспечивается лимической реакцией свободных $SiOH$ групп ксерогеля (подложки) с $Si-H$ группами гидрофобизатора в процессе конденсации:



Причем, степень гидрофобизации поверхностей пропорциональна степени гидролиза ТЭОС, характеризуемой количеством групп $SiOH$. Таким образом, на поверхности металла образуется плёнка, которую можно уподобить "щетке" из гидрофобных радикалов, придающей ей водоотталкивающие свойства, характеризуемые высокими краевыми углами смачивания:



3. Эксплуатационные свойства покрытий. Гидрофобные свойства комбинированных покрытий, полученных путём варьирования покомпонентного состава первого и второго слоёв покрытия, оценивались по значению краевых углов смачивания. Объектом исследований были образцы из стальных пластин, покрытые слоем гидролизата и гидрофобным слоем. В качестве катализаторов гидролиза использовались: $2MnCl$, HVO_3 , в $2MnCl$, $SnCl_4$, $AlCl_3$, $TiCl_4$, $Cr_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$.

В качестве гидрофобного слоя служили растворы полиэтилгидросилоксана с катализаторами, смесь кремнийорганических лаков и полиэтилгидросилоксана. Результаты исследований приведены в табл. I и на Рис. I.

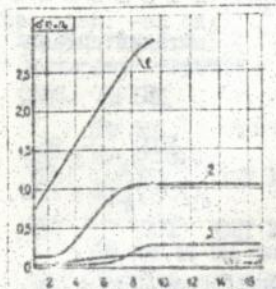


Рис. I. Адгезия льда к различным покрытиям: 1 - штатное, 2 - однослойное кремнийорганическое, 3 - двухслойное кремнийорганическое с 2МНС, 4 - то же с СНО, 2МНС

Видно, что адсорбционные характеристики ксерогелей, полученных с кислотными катализаторами выше, чем ксерогелей, полученных с соевыми катализаторами. Однако, по коррозионной стойкости покрытия, выполненные с соевыми катализаторами, более предпочтительны. Степень коррозии

стальных образцов, модифицированных различными вариантами покрытий, наблюдалась визуально после выдержки их в специальных средах: 5 % растворе морской соли, 3 % растворе NaCl, в дистиллированной и в проточной промышленной воде. Результаты исследований, приведенных в табл. 2, показали, что обработка поверхностей образцов предлагаемыми кремнийорганическими покрытиями значительно снижает коррозию металла независимо от среды. Антикоррозионные свойства комбинированного покрытия с различными катализаторами оценивались также по изменению краевых углов смачивания покрытых и непокрытых стальных образцов после 30-ти минутной выдержки их в 3 % растворе NaCl. Все исследуемые образцы с покрытием сохраняли свою гидрофобность после испытаний, хотя и в разной степени, в зависимости от применяемого катализатора.

4. Технология приготовления комбинированного покрытия, нанесения и закрепления его на поверхности приборов охлаждения.

Для синтезирования гидрофобной пленки на металлических поверхностях готовится два раствора. Первый рабочий раствор готовится в стеклянной или специальной металлической емкости с герметичной крышкой. Составляющие раствора:

Ацетон, ГОСТ 2768-84;

Этилселикат-32, ТУ 6-02-895-86;

Водный раствор катализатора.

Второй рабочий раствор покрытия готовится непосредственно перед нанесением покрытия на обрабатываемые объекты. Составляющие раствора:

Лактоль I36-4I, ГОСТ I0834-76; Толуол, ГОСТ I47I0-78.

Краевые углы смачивания

№ об- раба:	Первый слой покрытия	Второй слой покр- тия	Краевой угол смачивания	
			: до ис- питаний:	: после ис- пытаний:
1.	Без покрытия	без покрытия	78	81
2.	То же	10 % х. I36-4I в толу- оле	101	95
3.	То же	10 % х. I36-4I+2 % ТБТ	99	95
4.	Гидрол. ТЭОС с 2МНСI в ацетоне	10 % х. I36-4I+2 % ТБТ	102	91
5.	Гидрол. ТЭОС с 2МНСI в спирте	10 % х. I36-4I+2 % ТБТ	102	92
6.	Гидрол. ТЭОС с $AlCl_3$ в спирте	то же	99	93
7.	Гидрол. ТЭОС с $TiCl_4$ в спирте	то же	93	86
8.	Гидрол. ТЭОС с HVO_3 в спирте	то же	93	93
9.	Гидрол. ТЭОС с $SnCl_4$ в спирте	то же	99	92
10.	Гидрол. ТЭОС с $AlCl_3$ в ацетоне	ПЭС № 5	81	86
11.	Гидрол. ТЭОС с $Cr_2(SO_4)_3$ в ацетоне	10 % х. I36-4I+2 % ТБТ	99	93
12.	Гидрол. ТЭОС с HVO_3 в 2МНСI в ацетоне	то же	104	95
13.	То же	10 % х. I36-4I в толу- оле	102	85

При отверждении методом "холодной сушки" ($T \sim 293 K$) в раствор добавляет тетрабутоксититан (ТБТ). Раствор перемешивают до готовности после чего подают на нанесение.

Нанесение покрытия. Работы по нанесению комбинированного покрытия на приборы охлаждения проводятся при $T \leq 293 K$ и $\varphi \geq 70 \%$. Перед нанесением покрытия приборы охлаждения обезжириваются. Время между обезжириванием и нанесением покрытия должно быть достаточным для удаления с поверхности следов обезжиривающего средства.

Комбинированное антиобледенительное покрытие формируется из двух слоев. Первый слой формируется при обработке объекта первым рабочим раствором; второй - при обработке вторым рабочим раствором. Первый слой наносится методом окунания.

Табл. 2

Вид покрытия	Время выдер- жки в среде, ч	Поражение коррозионной поверхности образца в %			
		3 % р-р NaCl	5 % р-р морской соли	Вода ди- стиллир.	Вода промышл.
Сталь без покрытия	24	80	90	50	80
КАП с $FeSO_4$	24	85	60	30	30
То же	48	90	70	40	40
КАП с $Cr_2(SO_4)_3$	24	50	65	25	45
КАП с $Cr_2(NO_3)_3$	24	30	55	3	10

Через 40–60 мин. после нанесения первого слоя наносится второй слой – собственно гидрофобизатор. Нанесение этого слоя может производиться окунанием, пульверизацией, тампонированием. Качество второго слоя менее чувствительно к методу нанесения. Однако для конструкций типа оребренных воздухоохладителей рекомендуется наносить второй слой либо окунанием в ванну со вторым рабочим раствором, либо пульверизацией. Отверждается плёнка при температуре 293 ± 5 К и относительной влажности окружающего воздуха менее 70 % в течение полутора-двух суток или при температуре 420–440 К в течение одного часа. После отверждения производится осмотр поверхностей. Плёнка должна быть сплошной, блестящей без наплывов и вздутий. Адгезия к металлу по ГОСТ 15140-78 должна быть не менее 1–2 баллов.

5. Сравнительные лабораторные и промышленные исследования серийных и модифицированных антиобледенительным комбинированным покрытием воздухоохладителей в условиях инеобразования.

5.1. Экспериментальная установка. Влияние комбинированного покрытия на энергетические характеристики воздухоохладителей изучалось на экспериментальном стенде "Аэродинамическое кольцо", Рис. 2. В качестве опытной модели использовался ребристый трубный воздухоохладитель с пластинчатыми рёбрами В0-10.

Технические характеристики опытного воздухоохладителя

Несущая труба, d_n , мм	12x1 (медь)
Длина труб, l , м	0,62
Число рядов труб по высоте, n_1	8
Число рядов труб по ходу воздуха, n_2	6
Шаг труб по высоте, S_1 , м	0,03
Шаг труб по ходу воздуха, S_2 , м	0,03

Размеры рёбер $L_p \times B_p \times S_p$, м 0,095x0,075x0,0003
 Шаг рёбер, S_p , м 0,01 - 2 ряда;
 0,0075 - 4 ряда

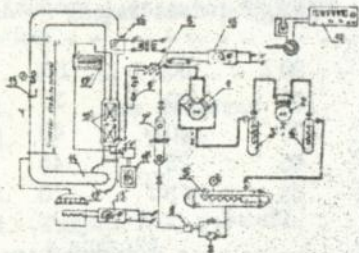


Рис.2. Экспериментальная установка.
 1,2 - компрессор, 3,4 - маслоотделители, 5 - конденсатор, 6 - фильтр, 7 - расходомер, 8 - регенеративный теплообменник, 9 - регулирующий вентиль, 10 - воздухоохладитель, 11 - узел измерения относительной влажности воздуха, 12 - вентилятор, 13 - блок парогенератора, 14 - аэродинамическое кольцо, 15 - микроманометр, 16 - электронагревательные элементы, 17 - дифманометр, 18 - паропрегреватель, 19 - блок измерения температуры.

Воздухоохладитель ВО-10 использовался также для отработки технологии модификации аппаратов КАП, изучения технических характеристик плёнки покрытия, анализа пригодности сердечных промышленных материалов и стандартизированных покрытий к модификации элементоорганическими соединениями.

Техническая характеристика КАП опытного воздухоохладителя

Адгезия к металлу, ГОСТ 15140-78	I балл
Твёрдость по прибору М-3, ГОСТ 5233-89	0,88
Краевой угол смачивания	100-101°
Прочность при изгибе, ГОСТ 6806-73, мм	I
Толщина покрытия по прибору ТИМ, мкм	I

Для визуального наблюдения нарастания инея на поверхности воздухоохладителя одна из стенок кожуха была выполнена из оргстекла. Конструкция поддона воздухоохладителя позволяла определить количество отделившегося от поверхности нарастающего инея и количество талой воды в процессе оттайки. Толщина инея на поверхности рёбер воздухоохладителей контролировалась термометрами медь-константановыми гребёнками с помощью цифрового вольтметра В 7-21. Для измерения давления кипения и конденсации R-22 использовались образцовые мановакуумметры и манометры. Расход фреона определялся с помощью объёмного расходомера. Величина скоростного напора и статического давления в участке стабилизации аэродинамического кольца измерялась микроманометром ММН, подключенным к трубке скоростного напора. Тепловая нагрузка в кольце обеспечивалась ТЭН-ами, мощность которых регулировалась лабораторным трансформатором и измерялась комплектом К 505. Аэродинамическое сопротивление воздухоохладителя определялось по разности статических давлений до и после воздухохла-

дителя с помощью спиртового дифманометра. Влажность воздушного потока поддерживалась с помощью специального парогенератора и контролировалась прибором ПП-225.

Экспериментальные данные по динамике нарастания слоя инея на поверхности исследуемого воздухоохладителя представлены на Рис.3.

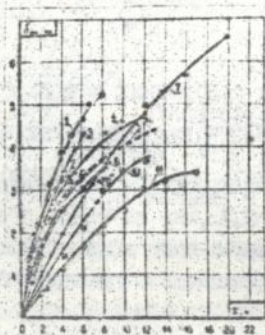


Рис.3. Экспериментальные данные по динамике инеобразования в оребренных воздухоохладителях:

1,6 — Бабакин Б.С., Еркин М.А., 3,8 — настоящее исследование (без покрытия), 2,9 — Иванова В.С., 10, II — настоящее исследование (с покрытием), 4 — Чепурной М.Н., Ломакин В.Н., 5 — Уайт Д., Кремерс К., 7 — Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш.

Видно, что толщина слоя инея на покрытых поверхностях была в 1,5-2 раза меньше, чем на серийных.

Особенности осаждения инея на модифицированных поверхностях, запаздывание начального момента образования видимых структур инея и увеличение продолжительности "начального" периода, объясняется, в основном, двумя факторами: сокращением числа возможных центров кристаллизации и уносом частиц инея с обработанных поверхностей потоком воздуха вследствие снижения адгезии инея к поверхности в 6-7 раз.

Уменьшение числа центров кристаллизации обусловлено физико-химической природой комбинированного покрытия. Увеличивается краевой угол смачивания, что ведёт к значительному росту противонапряжения:

$$P = \frac{\rho_{H_2O} \cdot \cos \theta}{d}$$

т.е. площадь контакта с поверхностью сокращается за счет образования воздушных полостей в бороздках с $d < d_{кр}$. Уменьшение числа центров кристаллизации, снижение адгезии инея к поверхности и облаченный срыв кристаллов инея потоком воздуха, объясняют свойство модифицированных поверхностей снижать интенсивность осаждения инея.

Экспериментальные данные по динамике инеобразования, теплообмену и аэродинамическому сопротивлению для гидрофобизированных и стандартных поверхностей, представленные на Рис.3,4,5, обобщены в виде эмпирических зависимостей:

- толщина инея:
$$\delta_{ин} = c \cdot \varphi^n \cdot \tau^{n_2} \quad (1)$$

- масса инея (при $\varphi \leq 1$)
$$m = c \cdot \tau \quad (2)$$

- коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = A + B \cdot e^{-C_1 \tau} \cdot \varphi^{-C_2 \tau} \quad (3)$$

- аэродинамическое сопротивление,

$$\Delta P^* = f + A \varphi^{n_1} \cdot \tau^{n_2}, \quad (4)$$

$$\Delta P^* = \Delta P / \Delta P_0$$

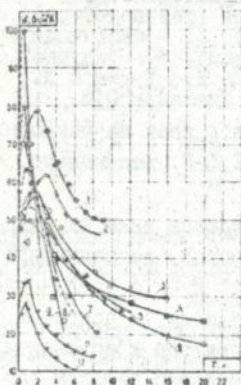


Рис. 4. Теплоотдача в оребренных воздухоохладителях при инееобразовании:

1, 3 - А. Шакур Хан, 3, 5 - настоящие исследования (с покрытием), 7, 9 - настоящие исследования (без покрытия), 4, 6 - Ченуренко В.П., Хмаладзе О.Ш., 8, 10 - Иванова В.С., 11, 12 - Бабанин Б.С., Бркин М.А.

В таблицах 3-6 приведены значения коэффициентов и показателей степени в уравнениях (1) - (4).

Сопоставление основных эксплуатационных и энергетических характеристик серийного и модифицированного воздухоохладителей показывает, что модифицирование поверхности КАП приводит к улучшению всех рассматриваемых характеристик. Общее количество инея, осаждающееся на поверхности уменьшается в 1,7-2 раза; значения коэффициентов теплоотдачи повышаются в среднем на 30%; аэродинамическое сопротивление аппарата снижается в 1,4-1,7 раза, причем, для режимов с высокой относительной влажностью эффект гидрофобизации поверхностей сказывается в большей степени. Так, при $\varphi = 1$ среднее значение $\delta_{ин}$ для воздухоохладителей с КАП в 2 раза ниже аналогичной величины для серийного аппарата, а при $\varphi = 0,8$ - в 1,7 раза. Из этого следует, что модифицирование поверхностей КАП наиболее перспективно для камер термической обработки, режим работы которых характеризуется повышенной влажностью. Очевидно также, что и увеличение начальной скорости потока воздуха способствует более эффективной работе покрытых поверхностей (более интенсивный срыв и унос кристаллов инея). Необходимо отметить, что время работы модифицированных покрытием воздухоохладителей увеличивается примерно в 1,7-2 раза, а время проведения процесса оттайки сокращается в 2 раза за счет более лёгкого отслоения с поверхности еще нарастающего инея. Масса отделившегося инея для воздухоохладителей с КАП составила 54-58%, а для серийного аппарата всего 14% от его общего количества, т.е. гидрофобизация поверхностей КАП приводит к уменьшению затрат энергии, необходимой для удаления инея с теплопередающей поверхности.

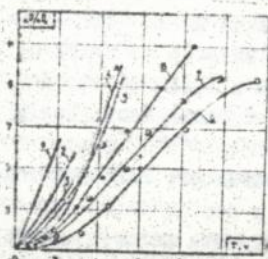


Рис. 5. Аэродинамическое сопротивление воздухоохлаждающих при инееобразовании: 1, 2, 3 - Иванова В.С., 4 - Чепурной М.Н., Ломанин В.Н., 5, 6 - настоящие исследования (без покрытия), 7, 8 - настоящие исследования (с покрытием).

Промышленная проверка результатов экспериментального исследования проводилась на Симферопольском мясокомбинате в камерах термической обработки № 107 и 108. Для охлаждения воздуха камер в специальной пристройке были установлены два идентичных воздухоохлаждателя типа ВП-600. Один из них, работающий на камеру № 108, был модифицирован КАП. В связи с обилием задач по определению влияния КАП на энергетические и эксплуатационные характеристики воздухоохлаждающих на экспериментальном стенде и в промышленных условиях, методика проведения промышленных испытаний принципиально не отличалась от методики экспериментального исследования в лаборатории.

Табл. 3

Значения параметров в уравнении (1)

Тип воздухоохлаждателя	c	n_1	n_2
ВО-10	1,4	1,5	0,6
ВОМ-10	0,5	1,2	0,8

в уравнении (3)

Табл. 5

Тип воздухоохлаждателя	A	B	C_1	C_2
ВО-10	10	74	-0,30	-0,7
ВОМ-10	22	40	-0,15	-0,6

Табл. 4

Значения параметров в уравнении (2)

Тип воздухоохлаждателя	c
ВО-10	0,10
ВОМ-10	0,06

в уравнении (4)

Табл. 6

Тип воздухоохлаждателя	A	n_1	n_2
ВО-10	0,50	2,3	1,7
ВОМ-10	0,32	1,6	1,5

Результаты сравнительных промышленных испытаний, проведенных в реальных условиях однофазного замораживания говяжьих полутуш в камерах № 107 и 108 приведены на Рис. 6 и 7.

В отличие от лабораторных исследований, в камерах термической обработки темп влагоподвода был переменным. Основная масса влаги выпала в первые 5-6 часов режима замораживания и воздухоохлаждатель камеры № 107 после 6 часов работы необходимо было отключить на отогрев (Рис. 6, кривая 3). Общая картина сравнения интенсивности процесса теплопередачи (кр. 1, 3) свидетельствует, что в течение первых

5-6 часов работы "К" для непокритого воздухоохладителя резко падает по прямолинейной зависимости. После проведения цикла оттайки наблюдается второй всплеск значений "К" и опять падение по прямолинейному закону, но с несколько меньшим угловым коэффициентом. Лишь на 16-м часу работы воздухоохладителя, когда основная часть влаги из мяса испаряется, наблюдается плавное уменьшение "К" и его стабилизация к концу цикла. Для ВП-600, модифицированного КАП, характерно плавное снижение значений "К" и тенденция к стабилизации уже после 6-7 часов работы. Средняя величина коэффициента теплопередачи за цикл заморозки на 25-30 % выше, чем у серийного ВП-600.

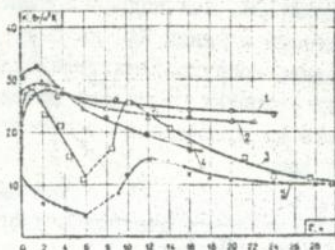


Рис. 6. Коэффициенты теплопередачи воздухоохладителей в течение цикла однофазного замораживания говяжьих полутуш:

1 - ВПМ-600 - настоящие исследования (с покрытием), 2 - ВОБЛП-450 - Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш., 3 - ВП-600 - настоящие исследования (без покрытия), 4 - ВОБЛП-250 - Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш., 5 - ВОГ-230 - Бразнова В.С., Мелеванский Б.Н.



Рис. 7. Аэродинамическое сопротивление воздухоохладителей в течение цикла однофазного замораживания говяжьих полутуш: 1 - ВП-600 - настоящие исследования (без покрытия), 2 - ВОГ-230 - Бразнова В.С., Мелеванский Б.Н., 3 - ВОБЛП-450 - Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш., 4 - ВПМ-600 - настоящие исследования (с покрытием).

Преимущество модифицированных КАП воздухоохладителей очевидно и при рассмотрении изменения аэродинамических характеристик сравниваемых аппаратов (Рис. 7). За первые шесть часов работы аэродинамическое сопротивление воздухоохладителя ВП-600 увеличилось в 8 раз, поэтому необходимо было провести оттайку аппарата. После оттайки интенсивное осаждение инея наблюдалось в последующие 8-10 часов и потеря напора трубного пучка возрастает. Характер зависимости $\Delta P = f(\tau)$ становится близким к полученному в лабораторных условиях. Для аппарата с покрытием аэродинамическое сопротивление также возрастает в первые 8-10 часов, но затем просматривается явная тенденция к стабилизации. Абсолютные значения ΔP для ВП-600 с КАП на 50-70 % ниже, чем без него.

Значительное снижение аэродинамического сопротивления позво-

ляет сократить продолжительность однофазного замораживания мяса с 30 до 23-24 часов и проводить его без промежуточной оттайки.

Эффективность теплопередающих поверхностей с КАП оценивалась по сравнению количества влаги, выделившейся из воздуха и количеству талой воды, собранной в процессе оттайки. Результаты замеров приведены в табл.7. Данные таблицы позволяют утверждать, что унос инея с модифицированной поверхности составил в среднем ~ 28 %.

Табл.7

Данные по уносу инея в процессе однофазного замораживания говядины в полутушах

Тип воздуха-ладинтеля	Начальная температура дукта,	Конечная температура про-дукта,	Вес пар-тии про-дукта до заморажи-вания,	Вес пар-тии про-дукта по-сле замо-рива-ния,	К-во влаги вымор.-из про-дукта.	К-во инея после оттай-ки,	$\Delta G = G_1 - G_2$
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	кг	кг	G_1 , кг	G_2 , кг	
ВПМ-600	36,0	-18,0	15501,0	15607,2	193,8	138,6	55,2
	35,8	-18,0	14712,0	14534,0	178,0	128,0	50,0
ВП-600	35,0	-18,0	15186,0	14897,2	288,8	273,5	15,2
	36,0	-17,9	14832,0	14551,3	280,7	271,5	9,2

Снижение значений аэродинамического сопротивления и, одновременно, более высокие величины коэффициентов теплопередачи для модифицированного варианта, позволяют сократить цикл термообработки, исключить промежуточную оттайку и способствуя уменьшению усушки мяса при однофазном замораживании, т.к. создаются условия для более быстрого образования поверхностной корочки, препятствующей испарению влаги из продукта.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Применение КАП для вновь проектируемых аппаратов позволяет снизить требуемую теплопередающую поверхность на 30-40 %, а аэродинамическое сопротивление - в 1,5-2 раза.

2. Образующаяся в процессе модификации гидрофобная плёнка обладает большой эластичностью и прочностью, плотно покрывает поверхности различной геометрической формы, обладает низкой адгезией ко льду и инею и высокой - к металлу, имеет практически незначительное термическое сопротивление, повышает антикоррозионную стойкость и приводит к увеличению срока службы приборов охлаждения.

3. Технология приготовления и нанесения КАП на приборы охлаждения проста, не требует больших капитальных затрат и позволяет проводить модификацию теплообменных аппаратов непосредственно в

458468

производственных условиях.

4. Изменение физико-химических свойств поверхности стальных КАП, приводит к снижению интенсивности процесса конденсации на них инея. Модификация КАП действующего теплообменного оборудования позволяет повысить средние значения коэффициентов теплопередачи на 30 %, сократить продолжительность цикла термической обработки на 25 %, исключить промежуточную оттайку воздухоохладителей, вдвое уменьшить время оттайки аппаратов в результате отслоения с поверхности нарастающего инея.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Никульшина Д.Г., Курзин И.Г., Дольская В.И., Шевченко Л.А., Осьмаков О.Г. Исследование антиадгезионных и антикоррозионных свойств антиобледенительного комбинированного покрытия /Рук. деп. в УкрИНТЭИ № 710. - Ук.91.

2. Никульшина Д.Г., Дольская В.И., Шевченко Л.А., Осьмаков О.Г., Курзин И.Г. Комбинированное покрытие для воздухоохладителей //Тез. докл. все. науч.-техн. конф.: Холод - народному хозяйству. Ленинград, 1991.

3. Никульшина Д.Г., Курзин И.Г. Влияние начальной стадии инеобразования и структуры инея на его плотность // Холод. техн. и технология /Респ. межвед. науч.-техн. об. - Киев. - 1991. - Вып.53.

4. Никульшина Д.Г., Курзин И.Г., Дольская В.И. Эффективность работы воздухоохладителей с комбинированным покрытием, предназначенных для камер однофазного замораживания мяса /Рук. деп. в УкрИНТЭИ № 978. - Ук.92.

5. Никульшина Д.Г., Небеленчук В.Ф., Курзин И.Г., Дольская В.И. Аналитическая модель динамики инеобразования для "штатных" и модифицированных антиобледенительным комбинированным покрытием приборов охлаждения /Рук. деп. в УкрИНТЭИ № 1777. - Ук.92.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

КАП - комбинированное антиобледенительное покрытие; ТЭОС - тетраэтоксисилан; ТБТ - тетрабутоксититан; α - коэффициент теплоотдачи; δ - толщина; θ - краевой угол смачивания; K - коэффициент теплопередачи; τ - время; φ - относительная влажность; ω - массовая скорость; d - диаметр; M - масса; ΔP - потеря напора.