

Автореферат
К 93 Н

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

КУРЗИН Иван Григорьевич

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРЕБРЕННЫХ 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

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 - АНПО "Одесколд".

Защита состоится 30 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 ОИНТЕ.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ОИНТЕ.

Диссертация разослана "12" "08" 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

Р.К.Никульшина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Известно, что применяемые сегодня в прак-
тике промышленные методы борьбы с обледенением воздухоохлаждаителей
(образованием и ростом "снеговой шубы") мало эффективны, требуют
дополнительных затрат энергии, создания специальных конструкций,
увеличивающих металлоёмкость и габариты аппаратов. Вот почему по-
иск и разработка новых более эффективных методов снижения инееобра-
зования на охлаждающих поверхностях воздухоохлаждаителей является важ-
ной научно-технической задачей. Один из возможных путей решения
этой задачи, основанный на применении антиобледенительных покрытий,
предлагается в настоящей диссертации. В этом заключается актуаль-
ность темы данного исследования.

Цель работы состоит в совершенствовании систем воздушного ох-
лаждения путём использования теплообменных аппаратов, модифицирован-
ных антиобледенительными комбинированным покрытием, снижающим ин-
тенсивность процесса охлаждения инея.

Задачи работы: Определить влияние гидрофобизации на интензив-
ность процесса обледенения инея, оценить теплоэнергетическую эффек-
тивность, аэродинамические и эксплуатационные характеристики возду-
хоохлаждаителей с антиобледенительным покрытием, обработать техноло-
гический процесс производства и нанесения на теплообменное оборудо-
вание комбинированного антиобледенительного покрытия, разработать
проектную технологическую документацию на проведение опытно-промыш-
ленных работ с покрытиями и проверить их на практике в процессе
промышленной эксплуатации.

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

Научное положение: Модификация теплопередающих поверхностей
приборов охлаждения камерного оборудования кремнийорганическими
соединениями на основе полиалкилгидросилоксанов приводит к сниже-
нию инееобразования, повышению теплоэнергетической эффективности,
улучшению эксплуатационных характеристик, увеличению антикоррози-
онной стойкости аппаратов.

Основные научные результаты.

1. Разработана технология приготовления гидрофобного покрытия
и его нанесения на приборы охлаждения в промышленных условиях. Тех-
нология проверена на практике и может быть рекомендована к широко-
му внедрению.

XV 1180
ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
Библиотека

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 инееобразования, 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 ОИИТЭ 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 "Фриксонелли", г. Милан, Италия, июнь 1992 г.; фирма "Далгич ЛТД", г. Стамбул, Турция, апрель 1993 г.; Компания по переработке продуктов животноводства, г. Харбин, ноябрь 1993 г. (Китай).

Публикации: по материалам диссертации имеются 5 публикаций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса. Исследования тепловых и аэродинамических характеристик оребренных воздухоохладителей в условиях инееобразования посвящены работы многих авторов: Апати 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., Гайта Д., Хмаладзе О.Ш., Хосода Т., Чанга П., Чепурненко В.П., Чепурного М.Н., Чумака И.Г., Штоккера В.Ф., Явнеля 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,

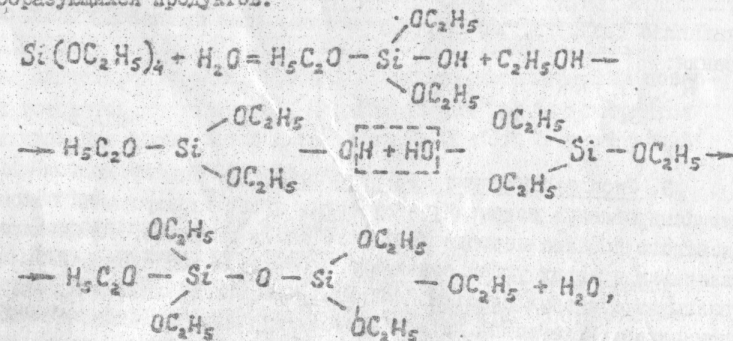
основанному на снижении адгезии льда и инея к защищаемой поверхности путём модификации её специальными антиадгезионными плёнообразующими веществами. В качестве антиадгезионных материалов применялись эпоксидные смолы, пластмассы, резины, каучуки, битумные эмульсии, ряд полимерных материалов и др. Обладая хорошими гидрофобными характеристиками, эти материалы оказались непригодными для гидрофобизации теплообменных поверхностей, в первую очередь, из-за значительной толщины получаемых покрытий (~100 ... 200 мкм), недолговечности либо необходимости полимеризации при высоких температурах. Разработанное Украинским техническим университетом (г. Киев) и ОИИТЭ 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.

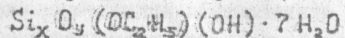
Плёнка УТУ - ОИИТЭ состоит из двух слоёв. Плёнообразующие растворы первого слоя покрытия (подложки) должны обеспечивать высокую адгезию к металлу, растворяться в широких пределах, позволяющих получать растворы различной концентрации, иметь низкое поверхностное натяжение, обеспечивающее хорошую смачиваемость, 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).

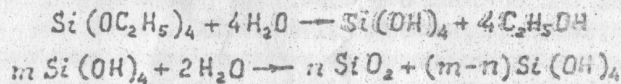
ТЭОС $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ в присутствии водно-ацетоновых и водно-спиртовых растворов гидратируется с одновременной поликонденсацией образующихся продуктов:



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



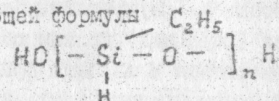
При неполном гидролизе ТЭОС негидролизованная часть эфира превращается в конденсированный смолистый материал, который способствует адгезии к металлу и сохраняет эластичность в плёнке кремнезёма после испарения растворителя.



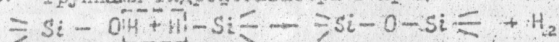
Образовавшийся спирт улетучивается, а на поверхности отлагается твёрдый равномерный, прозрачный слой кремнезёма.

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

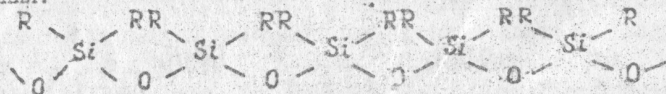
Собственно гидрофобизатор — это полиэтилгидросилоксан (лидкость I36-4I) общей формулы



Связь гидрофобизатора с продуктами гидролиза ТЭОС обеспечивается химической 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 "сетке" из гидрофобных радикалов, придающей ей водоотталкивающие свойства, характеризуемые высокими краевыми углами смачивания:



3. Эксплуатационные свойства покрытий. Гидрофобные свойства комбинированных покрытий, полученных путём варьирования компонентов 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 , 2MnCl , SnCl_4 , AlCl_3 , TiCl_4 , $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4

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

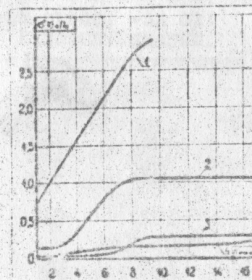


Рис. I. Адгезия льда к различным покрытиям: 1 — штатное, 2 — однослойное кремнийорганическое, 3 — двухслойное кремнийорганическое с 2MnCl , 4 — та же с HVO_3 в 2MnCl

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 покрытиями сохраняли свои 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 изготовления гидрофобной плёнки на металлических поверхностях готовится два раствора. Первый рабочий раствор готовится в стеклянной или специальной металлической ёмкости с герметичной крышкой. Составляющие раствора:

Адетон, ГОСТ 2768-84;

Этилсмакат-32, ТУ 6-02-895-86;

Водный раствор катализатора.

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

Лидкость I36-4I, ГОСТ 10834-76; Толуол, ГОСТ 14710-78.

Табл. I

Краевые углы смачивания

№ образца	Первый слой покрытия	Второй слой покрытия	Краевой угол смачивания	
			до испытаний	после испытаний
1.	Без покрытия	без покрытия	78	81
2.	То же	10 % к. I36-4I в толуоле	101	95
3.	То же	10 % к. I36-4I+2 % ТБТ	99	95
4.	Гидрол. ТЭОС с 2MHC ₂ в ацетоне	10 % к. I36-4I+2 % ТБТ	102	91
5.	Гидрол. ТЭОС с 2MHC ₂ в спирте	10 % к. 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 % к. I36-4I+2 % ТБТ	99	93
12.	Гидрол. ТЭОС с HVO ₃ в 2MHC ₂ в ацетоне	то же	104	95
13.	То же	10 % к. I36-4I в толуоле	102	85

При отверждении методом "холодной сушки" ($T \sim 293$ К) 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 $T \geq 293$ К и $\varphi \leq 70$ %. 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 слоёв. 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 выдержки в среде, ч	Поражение коррозией поверхности образца в %			
		3 % р-р NaCl	5 % р-р морской соли	Вода дистиллир.	Вода промышл.
Сталь без покрытия	24	80	90	50	80
КАП с Fe SO 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 нанести 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 антиобледенительных комбинированных 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

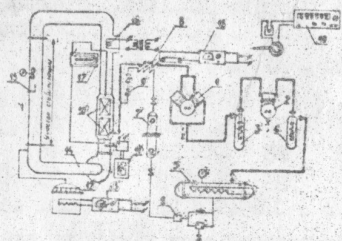


Рис.2. Экспериментальный стенд.
 1,2 - компрессор, 3,4 - маслоотделители, 5 - конденсатор, 6 - фильтр, 7 - расходомер, 8 - регенеративный теплообменник, 9 - регулирующий клапан, 10 - воздухоохладитель, 11 - узел измерения относительной влажности воздуха, 12 - вентилятор, 13 - блок парогенератора, 14 - аэродинамическое кольцо, 15 - микроманометр, 16 - электронатравительные элементы, 17 - дифманометр, 18 - пароперегреватель, 19 - блок измерения температур.

Воздухоохладитель ВО-10 использовался также для отработки технологии модификации аппаратов КАП, изучения технических характеристик плёнки покрытия, анализа пригодности серийных промышленных материалов и стандартизированных покрытий и 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 ТММ, мкм I

Для визуального наблюдения нарастания инея на поверхности воздухоохладителей 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 термометрическими 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 воздухоохла-

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.

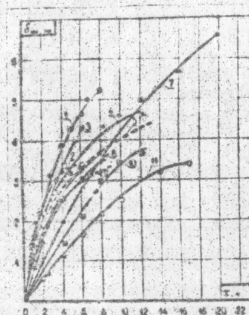


Рис.3. Экспериментальные данные по динамике инеобразования в оребренных воздухоохладителях:

1,6 - Бабакин Б.С., Еркин М.А., 3,8 - настоящее исследование (без покрытия), 2,9 - Иванова В.С., 10,11 - 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 противодавления:

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

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 облегченный 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:
$$\delta_{ин} = C \cdot \varphi^n \cdot \tau^m \quad (1)$$

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

- коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = A + B \cdot e^{-c_1 \tau} \cdot \varphi - c_2 \sqrt{\tau} \quad (3)$$

- аэродинамическое сопротивление,

$$\Delta P^* = 1 + A \varphi^{n_1} \cdot \tau^{n_2} \quad (4)$$

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

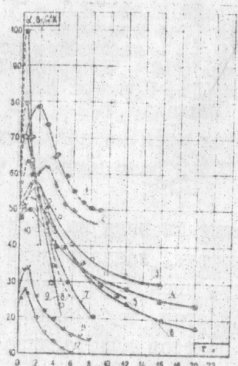


Рис.4. Теплотдача в оребренных воздухоохладителях при инеобразовании: 1,2 - А.Шакур Хан, 3,5 - настоящие исследования (с покрытием), 7,9 - настоящие исследования (без покрытия), 4,6 - Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш., 8,10 - Иванова В.С., 11,12 - Бабакли В.С., Еркин М.А.

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 теплотдачи 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 легкого отслоения с поверхности еще нарастающего инея. Масса отделенного 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.

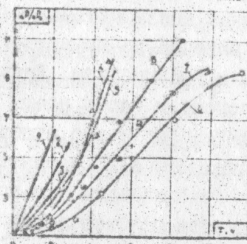


Рис.5. Аэродинамическое сопротивление воздухоохладителей при инеобразовании: 1,2,3 - Иванова В.С., 4 - Чепурной М.Н., Ломакли В.Н., 5,6 - настоящие исследования (без покрытия), 7,8 - настоящие исследования (с покрытием).

Промышленная проверка результатов экспериментального исследования проводилась на Смирнопольском мясокомбинате в камерах термической обработки № 107 и 108. Для охлаждения воздуха камер в специальной пристройке были установлены два идентичных воздухоохладителя типа ВП-600. Один из них, расположенный на камеру № 108, был модифицирован КАП. В связи с обилием задач по определению влияния КАП на энергетические и эксплуатационные характеристики воздухоохладителей 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 воздухоохладителя	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 воздухоохладителя	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 воздухоохладителя	c
ВО-10	0,10
ВОМ-10	0,06

в уравнении (4)

Табл.6

Тип воздухоохладителя	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 полутов 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 воздухоохладитель 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 непокрытого воздухоохладителя резко падает по прямой зависимости. После проведения цикла оттайки наблюдается второй всплеск значений "К" и опять падение по прямому 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.

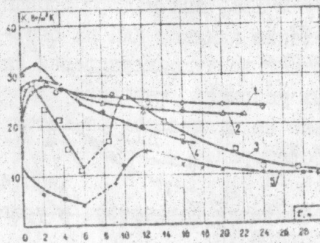


Рис. 6. Коэффициенты теплопередачи воздухоохладителей в течение цикла однофазного замораживания говяжьих полутуш:
1 - ВП-600 - настоящие исследования (с покрытием), 2 - ВОБЛН-450 - Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш., 3 - ВП-600 - настоящие исследования (без покрытия), 4 - ВОБЛН-250 - Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш., 5 - ВОГ-230 - Евреинова В.С., Малеванный Б.Н.

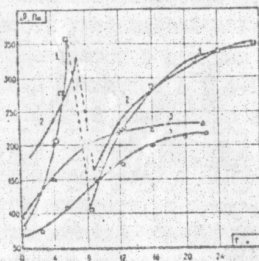


Рис. 7. Аэродинамическое сопротивление воздухоохладителей в течение цикла однофазного замораживания говяжьих полутуш:
1 - ВП-600 - настоящие исследования (с покрытием), 2 - ВОГ-230 - Евреинова В.С., Малеванный Б.Н., 3 - ВОБЛН-450 - Чепурненко В.П., Хмаладзе О.Ш., 4 - ВП-600 - настоящие исследования (с 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 следующие 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 воздухоохладителя	Начальная температура воздуха, °C	Конечная температура воздуха, °C	Вес пара до заморозки, кг	Вес пара до заморозки, кг	К-во влаги после заморозки, кг	К-во инея после оттайки, кг	$\Delta G = G_1 - G_2$, кг
	°C	°C	кг	кг	G_1 , кг	G_2 , кг	кг
ВП-600	36,0	-18,0	15301,0	15607,2	193,8	133,6	55,2
	35,8	-18,0	14712,0	14534,0	178,0	128,0	50,0
ВП-600	35,0	-18,0	15186,0	14997,2	288,8	273,5	15,2
	36,0	-17,9	14832,0	14551,3	220,7	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 способствовать 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 пленка 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

производственных условиях.

4. Изменение физико-химических свойств поверхностей, обработанных КАП, приводит к снижению интенсивности процесса осаждения 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 нараставшего инея.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

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

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

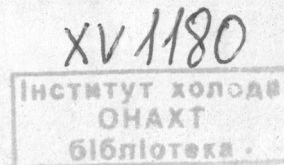
3. Никульшина Д.Г., Курзин И.Г. Влияние начальной стадии инеобразования и структуры инея на его плотность // Холод.техн. и технология /Респ.межвед.науч.-техн.об. - Киев. - 1991. - Вып.53.

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; К - коэффициент теплопередачи; τ - время; φ - относительная влажность; ω - массовая скорость; d - диаметр; М - масса; ΔP - потеря напора.



Handwritten signature