

Авторефер
А68

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

АННИШКИНА Людмила Петровна

УДК 621.565.945

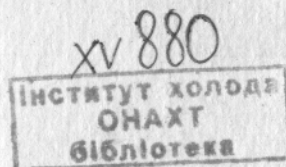
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО - МАССООБМЕНА
В ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Одесса - 1990



Работа выполнена в Центральном институте авиационного
моторостроения имени П.И. Баранова

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Чепурненко В.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
доцент Красномовец П.Г.
кандидат технических наук,
Олейниченко В.Т.

Ведущая организация: ГИПРОНИИАВ, АИРОМ, г. Москва

Защита состоится "24" 12 199 года в 11 час
на заседании специализированного совета К.063.27.01 при Одесском
институте низкотемпературной техники и энергетики по адресу:
270057, г. Одесса, ул. Петра Великого, дом 1/3, ОИИТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.
Автореферат разослан "26" 11 1990 года.

Учёный секретарь
специализированного совета
к.т.н., доцент

Р.К. Никульшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для достижения высокого уровня технических ха-
рактеристик современных авиационных двигателей необходимо проводить
их испытания и доводку на специальных экспериментальных установках.

Создание экспериментальных установок для авиационной промышленно-
сти является сложной научно-технической задачей, что нашло отражение
в Постановлении Совета Министров СССР № 521 от 22 марта 1982 года.

Составной частью экспериментальных установок является холодильно-
осушительная станция (ХОС), которая позволяет на Земле имитировать
высотные условия полёта. Процесс охлаждения и осушения больших коли-
честв воздуха, необходимых для проведения испытаний современных и пе-
ропективных двигателей, рассматривается как один из самых сложных в
СССР и за рубежом.

В настоящее время данная проблема значительно возросла в связи с
резким увеличением энерговооружённости и конструктивной сложности
двигателей летательных аппаратов, вследствие чего повысились требова-
ния к количественным и качественным параметрам кондиционируемого воз-
духа.

Важнейшими элементами ХОС являются воздухоохладители, так как ка-
чество охлаждаемого и осушаемого воздуха определяется эффективностью
работы именно этих аппаратов. Однако, несмотря на многолетний опыт ра-
боты ряда ХОС с различными системами охлаждения и осушения воздуха,
разработка и создание достаточно эффективных и надёжных в эксплуатации
воздухоохладителей, входящих в комплекс оборудования для испытания
авиационных двигателей, остаётся сложной и актуальной задачей, успеш-
ное решение которой позволит значительно расширить возможности и по-
высить энергетическую эффективность стендовых испытаний авиационных
двигателей с применением холодного и осушенного воздуха.

Цель работы. Разработка эффективных, долговечных и надёжных в экс-
плуатации высокопроизводительных воздухоохладителей для ХОС нового по-
коления.

Для достижения поставленной цели на основе расчётно-теоретических
исследований осуществлён выбор типа ВО, материала и оптимальных гео-
метрических характеристик теплопередающей поверхности в условиях инее-
образования. Проведены экспериментальные исследования влияния избыточ-
ного давления воздуха на процесс инееобразования. Разработана и экс-
периментально проверена методика теплового и аэродинамического расчёта
ВО с инееобразованием при избыточном давлении воздуха. Разработаны спо-
собы коррозионной защиты ВО применительно к условиям их эксплуатации.

І таку різноманітніс-
які зможуть точно

визначити кількість,
цінами, але й якість

ВІСНОВКИ К

ОМІХ

ІІ С

Научная новизна работы заключается в разработке и создании воздухоохлаждателей, работающих в условиях инееобразования при избыточном давлении воздуха ($P_g = 180 - 270$ КПа), в постановке и решении задачи оптимизации геометрических характеристик теплопередающей поверхности, в экспериментальном исследовании процессов тепло-массообмена, а также тепловых, адгезионных и коррозионных свойств теплопередающей поверхности воздухоохлаждателей.

Научные положения, защищаемые в работе

1. Избыточное давление воздуха способствует интенсификации процесса инееобразования, уплотнению инея и снижению его шероховатости.

Структурные изменения инея, происходящие под воздействием избыточного давления воздуха, способствуют повышению тепловых и аэродинамических характеристик, а также повышению осушающей способности ВО.

2. С увеличением термического сопротивления инея значительно возрастает влияние геометрических параметров оребрения (h_p и b_p) на характеристики трубного пучка ($F_{осн}$, G , V).

Основные научные результаты, полученные в работе

1. Разработана и экспериментально проверена методика расчёта процессов тепло-массообмена в ВО НТС, работающих в условиях инееобразования при избыточном давлении воздуха.

Показано, что тепловой и аэродинамический расчёт ВО НТС может быть выполнен с использованием известных критериальных зависимостей В.Ф. Юдина и А.А. Гоголина с привлечением экспериментальных данных по $\delta_{ин}$ и $\delta_{ин}'$, полученных для конкретных условий работы начальных рядов теплопередающих трубок, характеризующихся интенсивным инееобразованием ($\delta_{ин} > 1,0$ мм). Последующие ряды могут быть рассчитаны с привлечением данных по $\delta_{ин}$ и $\lambda_{ин}$, полученных Шмидтом и Лотцем при исследовании работы ВО в условиях инееобразования.

2. Экспериментально установлено, что избыточное давление воздуха, подобно скорости воздуха при атмосферном давлении, способствует уплотнению и уменьшению шероховатости инея.

3. Экспериментально установлено, что при избыточном давлении воздуха в начальный период (20 - 30 мин) не происходит увеличения теплоотдачи со стороны воздуха, характерного для работы ВО при атмосферном давлении, что объясняется отсутствием турбулизации воздушного потока на поверхности слоя инея вследствие его незначительной шероховатости ($\Delta = 0,2$ мм).

4. Расчётным путём установлено и подтверждено экспериментально, что

при постоянных условиях работы ВО НТС ($t'_g = const$, $d'_g = const$, $t'_s = const$) интенсивность инееобразования зависит от давления воздуха, геометрических характеристик теплопередающей поверхности и продолжительности работы ВО.

Так, при $P_g = 180$ КПа толщина слоя инея в 1,5 раза больше, чем при $P_g = 270$ КПа. При шаге рёбер 11 мм и $\tau = 1,0$ ч толщина слоя инея в 1,8 раза больше, чем при $\tau = 0,5$ ч. Переход к шагу рёбер 6 мм в 1,5 - 2,0 раза снижает толщину слоя как при $\tau = 0,5$ ч, так и при $\tau = 1,0$ ч.

5. Исследованы тепловые и адгезионные свойства биметаллических (сталь - АЛ) накатных трубок с высокими рёбрами ($h_p = 18$ мм). Экспериментально установлено, что инееобразование на биметаллических накатных трубках происходит с почти одинаковой интенсивностью как у основания, так и на вершине ребра ($\eta_p = 0,85$), что свидетельствует о надёжном контакте накатных рёбер с несущей поверхностью.

6. Экспериментально установлено, что действующие ВО ВТС гладкотрубного типа, работающие при $(\rho w)_g = 40 - 50$ кг / (м² с), не обеспечивают эффективного осушения воздуха вследствие значительного уноса влаги (до 7 - 9 %) потоком кондиционируемого воздуха. Расчёты показали, что применение в ВО ВТС биметаллических трубок, оребренных методом накатки, приводит, во-первых, к уменьшению количества теплопередающих трубок и, во-вторых, обеспечивает эффективную работу этих аппаратов при относительно малых значениях массовой скорости воздуха $(\rho w)_g < 10$ кг / (м² с).

7. Обобщён опыт промышленного применения водного раствора этиленгликоля в качестве хладоносителя ВТС высокопроизводительной ХОС ВКК, а также результаты исследований коррозионной стойкости алюминиевых рёбер в условиях промышленной эксплуатации ВО для ХОС ВКК.

Отмечена целесообразность применения водного раствора ЭГ в качестве хладоносителя ВТС с целью защиты от коррозии ВО с несущими трубками из нержавеющей стали и испарителей с медными накатными трубками. Так, по данным анализов проб, раствор ЭГ содержит лишь отдельные атомы меди, что свидетельствует об отсутствии активной коррозии трубок испарителя. Отмечено также, что положительные результаты достигнуты благодаря поддержанию pH раствора в пределах 7,2 - 8,5, устранению аэрации, светового воздействия и отсутствию хлоридов в контуре установки.

Показано, что ресурс алюминиевых рёбер зависит от чистоты алюминиевого сплава. Так, для сплава АД1 (АЛ = 99,25 %) ресурс рёбер в два раза больше, чем для сплава АД (АЛ = 98,8 %), и составляет 5 - 10 лет. Отмечено, что обработка поверхности рёбер путём химического полирования позволяет снизить скорость коррозии в 1,5 - 2 раза, а анодирование поверхности рёбер позволяет практически полностью исключить их коррозию.

Практическая ценность и внедрение. Проведенные расчётно-теоретические и экспериментальные исследования позволяют разработать оптимальную конструкцию воздухоохладителей, работающих в условиях интенсивного влаговыведения при избыточном давлении воздуха, надёжных в эксплуатации и обеспечивающих высокую эффективность охлаждения и осушения воздуха.

Результаты исследований использованы при разработке и создании воздухоохладителей для ХОС ВКК (ЦИАМ им. П.И. Баранова).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Межотраслевой научно-технической конференции "Совершенствование методов и средств стендовых испытаний ВРД и их узлов" (Москва, 1988), на научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава ОТИИП (Одесса, 1988), на Госсоюзной научно-практической конференции "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте" (Одесса, 1989).

Публикации. Материалы работ по теме диссертации опубликованы в 9 статьях и в тезисах докладов на научных конференциях.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов и списка использованной литературы (98 источников). В ней содержится 119 страниц основного текста и 57 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены условия работы и особенности эксплуатации воздухоохладителей в комплексе ХОС ВКК (рис. 1), а также причины, обусловившие необходимость замены скрубберных ВО аппаратами поверхностного типа.

Проведен анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы по исследованию процессов тепло-массообмена в ВО, работающих в условиях инеобразования. Показано, что отсутствие необходимого объема теоретических и экспериментальных данных для разработки ВО НТС поверхностного типа свидетельствует о целесообразности создания экспериментального ВО НТС, работающего в натуральных условиях в контуре действующей ХОС при избыточном давлении воздуха.

Отмечено, что исследуемые ВО предназначены не только для охлаждения, но и для одновременного осушения воздуха путём вымораживания влаги на теплопередающей поверхности, поэтому необходимо провести экспериментальные исследования адгезионных свойств выбранной теплопередающей поверхности, а также исследования шероховатости инея, в значительной степени определяющей интенсивность уноса инея потоком воздуха.

Представлены результаты расчётно-теоретического исследования влияния геометрических характеристик оребрения (h_p и δ_p) на основные параметры трубного пучка ($F_{осн}$, G и V) в условиях инеобразования различной интенсивности (рис. 2).

Во второй главе рассмотрено конструктивное выполнение экспериментального ВО НТС с развитой теплопередающей поверхностью. Приводится методика теплового и аэродинамического расчёта ВО НТС, основанная на известных критериальных зависимостях В.Ф. Юдина и А.А. Гоголина с привлечением экспериментальных данных по $\beta_{ин}$ и $\lambda_{ин}$, полученных для конкретных условий работы аппарата.

Проведен анализ полученных расчётных данных. Согласно расчётам, наиболее сильное влияние на $\alpha_{пр}$ оказывает расход воздуха. При увеличении G_g от 3 до 7 кг/с интенсивность теплоотдачи увеличивается в среднем на 40% (рис. 3, кривые 1 и 3). На интенсивность теплоотдачи оказывает влияние шаг рёбер. При расходе воздуха 7 кг/с при $\delta_p = 11$ мм $\alpha_{пр}$ ниже, чем при $\delta_p = 6$ мм, на первых восьми участках (кривые 1 и 2). На последующих участках $\alpha_{пр}$ при шаге 11 мм оказывается выше. Подобное явление сохраняется и при расходе 3 кг/с, но уже на третьем участке интенсивность теплоотдачи при большем шаге оказывается выше (кривые 3 и 5). Это связано с тем, что на величину $\alpha_{пр}$ влияют два противоположно действующих фактора: с одной стороны, нарастание слоя инея ведёт к снижению живого сечения и увеличению скорости воздуха, при этом α_g и $\alpha_{пр}$ увеличиваются. С другой стороны, увеличение толщины слоя создаёт значительное термическое сопротивление $\delta_{ин}/\lambda_{ин}$ и это снижает величину $\alpha_{пр}$. На первых секциях ВО для меньшего шага рёбер влияние первого фактора сильнее. При $Pe > 8$, когда выпадение инея значительно ослабевает и величина $\delta_{ин}/\lambda_{ин}$ существенно снижается, решающую роль при определении $\alpha_{пр}$ играет величина α_g , которая для больших значений δ_p значительно выше. То есть следует уже анализировать формулу для расчёта "сухого" теплообмена. Эффект влияния осаждения инея на $\alpha_{пр}$ ослабевает для меньших расходов воздуха, так как при этом в единицу времени вносится меньшее количество влаги.

Выявлено влияние толщины слоя инея на интенсивность теплоотдачи. Так, при $\delta_p = 11$ мм и $\tau = 1,0$ ч на первых восьми участках $\delta_{ин}$ в 1,5 - 2 раза больше, чем при $\tau = 0,5$ ч. Значения $\alpha_{пр}$ для этих случаев также отличаются (кривые 3 и 6). Переход к шагу $\delta_p = 6$ мм приводит к значительному снижению $\delta_{ин}$ как при $\tau = 0,5$ ч, так и при $\tau = 1,0$ ч. Для этих случаев различие в значениях $\alpha_{пр}$ практически отсутствует (кривые 4 и 5). Существенное влияние на $\delta_{ин}$ оказывает давление воздуха. На первых десяти участках слой инея при $P_g = 180$ КПа в среднем в 1,5 ра-

за больше, чем при $P_3 = 270$ КПа, что объясняется возрастанием влагосодержания на входе в ВО с понижением давления воздуха.

Исследована динамика охлаждения воздуха в условиях инееобразования. Показано, что повышение расхода воздуха от 3 до 7 кг/с приводит к значительному повышению температур по всей длине ВО. Так, при $G_3 = 7$ кг/с температура воздуха на выходе на 7°C выше, чем при $G_3 = 3$ кг/с. Это свидетельствует о том, что интенсификация теплоотдачи, вызванная увеличением скорости, не обеспечивает тепловода дополнительной массы воздуха.

Из анализа результатов аэродинамического расчёта ВО следует, что наиболее сильное влияние на общий перепад давления оказывает массовый расход воздуха. Так, при сопоставлении результатов расчёта, полученных при $G_3 = 7$ кг/с и 3 кг/с при прочих равных условиях ($t_{\text{вл}} = -33,5^\circ\text{C}$, $P_3 = 270$ КПа, $\delta_p = 11$ мм, $\tau = 0,5$ ч) следует, что при большем расходе потери давления составляют $\Delta P_3 = 50$ КПа, а при меньшем 7,5 КПа.

Выявлено также влияние величины начального давления воздуха. Так, если при $P_3 = 270$ КПа потери давления $\Delta P_3 = 7,5$ КПа, то при $P_3 = 180$ КПа потери давления возрастают до $\Delta P_3 = 16,9$ КПа. Это обусловлено тем, что с повышением давления снижается влагосодержание воздуха и, следовательно, толщина слоя инея.

Получены экспериментальные характеристики процесса тепло-массообмена в ВО НТС и проведен их анализ. На рис. 4 представлены результаты экспериментального исследования динамики охлаждения воздуха. Эксперимент подтвердил, что изменение расхода воздуха оказывает большое влияние на интенсивность процесса охлаждения воздуха. Так, повышение G_3 от 3 до 6 кг/с приводит к увеличению температуры воздуха на выходе из ВО на $5,5^\circ\text{C}$. Увеличение времени работы от начального периода до $\tau = 1,0$ ч и связанный с этим рост слоя инея практически не оказали влияния на температуру воздуха на выходе как для $G_3 = 3$ кг/с (кривые 1 и 2), так и для $G_3 = 6$ кг/с (кривые 4 и 5). При дальнейшем увеличении продолжительности работы от одного до двух часов влияние инееобразования выражается в повышении температуры воздуха на выходе из ВО примерно на $1,0 - 1,5^\circ\text{C}$ (кривые 2,3 - для $G_3 = 3$ кг/с и 5,6 - для $G_3 = 6$ кг/с).

Приведены результаты экспериментального исследования интенсивности инееобразования. Отмечено, что при непродолжительной работе (1 - 2 ч) ВО НТС с развитой поверхностью теплообмена определения массы инея путём сбора конденсата будет неточным вследствие относительно большого количества конденсата, осаждающегося на теплопередающей поверхности. Поэтому определение интенсивности инееобразования по длине ВО предложено проводить расчётным путём с привлечением экспериментальных данных по $\delta_{\text{ин}}$, полученных фотографированием начального ряда трубного пучка, а также

экспериментальных данных по $\rho_{\text{ин}}$, полученных Шмидтом, Шропфом и другими исследователями.

Отмечено, что в литературе не обнаружено работ по исследованию влияния избыточного давления воздуха на процесс инееобразования и на теплофизические свойства инея при $P_3 = 200 - 300$ КПа. Отмечено также, что в холодильной технике широко распространены температуры от 0 до -20°C и криогенные температуры (ниже -100°C), процесс же инееобразования при температурах ($-30 \div -35$) $^\circ\text{C}$, характерных для работы ВО НТС, мало исследован, а полученные результаты весьма противоречивы. Это объясняется сложностью определения $\delta_{\text{ин}}$ вследствие шероховатости поверхности слоя инея, неравномерности $\rho_{\text{ин}}$ по образующей и пр.

Учитывая вышесказанное, для определения $\rho_{\text{ин}}$ и $\lambda_{\text{ин}}$ в условиях, характерных для работы ВО НТС, а также для исследования влияния избыточного давления воздуха на $\rho_{\text{ин}}$ и $\lambda_{\text{ин}}$, была создана и включена в контур действующей ХОС ВКК экспериментальная установка, в которой процесс инееобразования происходит на одиночной трубе. Приводится описание установки, методика и результаты экспериментального определения теплофизических свойств инея.

В третьей главе рассмотрена эффективность работы воздухоохладителей первой ступени охлаждения воздуха - ВО НТС. Экспериментально установлено, что применяемые гладкотрубные ВО НТС не обеспечивают заданной эффективности осушения воздуха: массовая влажность потока воздуха в этих аппаратах составляет 7 - 9%, что связано с высокими значениями массовой скорости воздуха, равной 40 - 50 кг/(м²с). Расчётно-теоретическим путём доказано, что применение развитой теплопередающей поверхности позволит работать в области малых значений $(y/w)_3$, не превышающих 8 - 10 кг/(м²с), исключая при этом унос капельной влаги при условии значительного сокращения количества трубок в аппарате (рис. 5).

Рассмотрен опыт промышленной эксплуатации водного раствора этиленгликоля в качестве хладоносителя НТС и отмечена перспективность его применения в крупных холодильных установках с целью защиты от точечной и поверхностной коррозии дорогостоящего оборудования - ВО и испарителей.

В четвёртой главе представлены результаты коррозионных испытаний обиметрических накатных труб в условиях промышленной эксплуатации ВО НТС. Известно, что в индустриальной атмосфере коррозионная стойкость окисной плёнки, защищающей алюминий от коррозии, нарушается и на поверхности алюминиевых сплавов развивается преимущественно местная или точечная коррозия. В отличие от многих других металлов, алюминий в условиях экранирования поверхности от прямого попадания осадков и при

свободном доступе атмосферного воздуха корродирует сильнее, чем в полости открытой атмосфере.

В результате оттаивания вымораживаемой влаги на поверхности алюминия образуется слой конденсата, который, испаряясь и стекая, создаёт на металле тонкие плёнки электролита. Известно, что в тонких плёнках (150 мкм) коррозия протекает более интенсивно, чем в условиях полного погружения в электролит. Учитывая, что при работе ВО НТС особую опасность представляет загрязнение технологического контура продуктами коррозии, были проведены испытания алюминия на стойкость к расслаивающей коррозии, для которой характерно образование частиц, отслаивающихся от металла: отслоения, чешуйки и др.

Анализ результатов коррозионных испытаний материала рёбер биметаллических накатных труб в условиях работы ВО НТС из алюминия с различной подготовкой поверхности показал, что коррозионная стойкость алюминиевых рёбер зависит от чистоты алюминия. Так, для марки АД глубина коррозии составляет 0,05 - 0,1 мм/год, а для марки АД1 - 0,01 - 0,05 мм/год. При $\delta_p = 1,0$ мм для алюминия АД ресурс рёбер составляет 3 - 5 лет, а для алюминия АД1 - 5 ÷ 10 лет. Коррозия рёбер носит локальный характер, отмечена склонность к питтинговой и расслаивающей коррозии. Отмечено, что обработка поверхности рёбер путём химического полирования позволяет снизить скорость коррозии в 1,5 - 2 раза, а анодирование позволяет полностью исключить коррозию на длительный срок. Для изготовления несущих трубок может быть рекомендовано применение трубок из коррозионностойких сталей марки Х17Н13М3Т и Х17Н13М2Т, имеющих аустенитную структуру с повышенным содержанием хрома, никеля, с присадками молибдена и меди. Эти стали устойчивы в растворе хлорида кальция к питтинговой и поверхностной коррозии как при низких, так и при повышенных температурах. Скорость коррозии этих сталей не превышает 0,002 - 0,004 мм/год.

ВЫВОДЫ

1. С целью обеспечения эффективной работы воздухоохлаждатели осушительных систем следует выполнять в виде аппаратов поверхностного типа с развитой теплопередающей поверхностью.
2. Проведенные экспериментально-теоретические исследования показали, что применение биметаллических (сталь - АЛ) трубок, оребренных методом накатки, позволяет обеспечить высокую эффективность работы этих аппаратов вследствие хороших тепловых и адгезионных свойств образованной ими теплопередающей поверхности.
3. На характеристики трубного пучка ВО, работающего в условиях инееобразования ($F_{осн}, G, V$), значительное влияние ока-

зывают геометрические параметры оребрения (f_p и δ_p), а также интенсивность инееобразования ($R_{ин}$).

4. С ростом интенсивности (термического сопротивления) инееобразования ($R_{ин}$) возрастает целесообразность применения оребрения. Отмечено, что по мере увеличения $R_{ин}$ оптимальные значения f_p также увеличиваются. Следовательно, в высокопроизводительных охладителях - осушителях трубный пучок целесообразно выполнять с различной высотой рёбер по длине.

Согласно расчётам, увеличение шага рёбер на 1,0 мм приводит к возрастанию теплопередающей поверхности на 10%. Следовательно, в рассматриваемых воздухоохлаждителях шаг рёбер следует выбирать минимальным, учитывая интенсивность процесса инееобразования ($\delta_{ин}$).

5. Экспериментальные исследования показали, что тепловой и аэродинамический расчёт ВО, работающих в условиях инееобразования при избыточном давлении воздуха, может быть выполнен с использованием известных критериальных зависимостей В.Ф. Юдина и А.А. Гоголина с привлечением экспериментальных данных по $\delta_{ин}$ и $\delta_{ин}$, полученных для конкретных условий работы начальных рядов трубок с интенсивным инееобразованием.

6. Расчётно-экспериментальные исследования показали, что при постоянных условиях работы ВО ($t'_2 = const, d'_2 = const, t_3 = const$) интенсивность инееобразования ($\delta_{ин}$) зависит от давления воздуха, геометрических параметров оребрения и продолжительности работы ВО.

7. Эксперименты показали, что избыточное давление воздуха, подобно скорости воздуха при атмосферном давлении, способствует образованию более плотно и менее шероховатого инея. Так, при $t_3 = -32^\circ\text{C}$, $t'_2 = 1^\circ\text{C}$, $\tau = 2,0$ ч, $(\rho_{ж})_2 = 3,0$ кг/м³: для атмосферного давления воздуха плотность инея $\rho_{ин} = 80 - 100$ кг/м³ и шероховатость инея $\Delta = 0,5$ мм и для $P_2 = 180$ КПа $\rho_{ин} = 120 - 140$ кг/м³ и $\Delta = 0,2$ мм.

Для атмосферного давления и естественной конвекции $\rho_{ин} = 50 - 60$ кг/м³ и $\Delta = 1,2$ мм.

8. Избыточное давление воздуха способствует повышению осушающей способности ВО, так как образование уплотнённого инея с незначительной шероховатостью препятствует уносу инея в микрофазе.

9. В условиях промышленной атмосферы коррозионная стойкость алюминиевых сплавов АД и АД1, применяемых для изготовления накатного оребрения, снижается, что связано с накоплением на поверхности металла коррозионно-агрессивных веществ, разрушающих защитную окисную плёнку.

Экспериментально показано, что для алюминия АД ($AL = 98\%$) ресурс рёбер при $\delta_p = 1,0$ мм составляет 3 - 5 лет, а для более чистого сплава АД1 ($AL = 99,8\%$) - 5 ÷ 10 лет.

Отмечена также склонность алюминия к питтинговой и расслаивающей коррозии (диаметр чешуек до 0,5 мм).

Обработка поверхности алюминиевых рёбер путём химического полирования позволяет снизить скорость коррозии в 1,5 раза, а анодирование поверхности позволяет полностью исключить коррозию алюминиевых рёбер на длительный срок.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Аннушкина Л.П., Замковец В.Н., Плотников А.Е. Опыт практического применения водного раствора этиленгликоля в качестве хладоносителя высокопроизводительной холодильной установки // Холодильная техника, 1983, № 7. - С. 49 - 52.

2. Аннушкина Л.П. Выбор высоты и шага рёбер в воздухоохладителях с оребрённым трубным пучком, работающих в условиях инееобразования // Теплообменные аппараты ГТД, выпуск У. Труды ЦИАМ № 1081, 1984. - С. 61 - 66.

3. Аннушкина Л.П., Плотников А.Е. Расчётно-теоретическое сравнение эффективности применения гладких и оребренных труб для охладителей воздуха в полноразмерных авиационных стендах // Теплообменные аппараты ГТД, выпуск У. Труды ЦИАМ № 1081, 1984. - С. 67 - 76.

4. Плотников А.Е., Замковец В.Н., Аннушкина Л.П. Работа испарителей ИКР - 2000 при температуре кипения (-40 °С по оросительно-заполненной схеме // Холодильная техника, 1985, № 8. - С. 46 - 47.

5. Аннушкина Л.П. Расчётное исследование зависимости массы и компактности оребренного трубного пучка от геометрических характеристик оребрения в условиях инееобразования различной интенсивности // Теплообменные аппараты ГТД, выпуск У1. Труды ЦИАМ № 1239, 1989. - С. 172 - 177.

6. Налобин Л.В., Замковец В.Н., Аннушкина Л.П. Автоматизированная холодильно-осушительная установка высотно-компрессорного комплекса // Тезисы докладов межотраслевой научно-технической конференции «Совершенствование методов и средств стендовых испытаний ЕРД и их узлов» - М., 1989.

7. Аннушкина Л.П., Козорез А.И., Радковский О.В. Исследование процесса инееобразования в воздухоохладителях трубчатого типа // Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции «Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле и на транспорте». Одесса, 1989.

8. Аннушкина Л.П. Особенности проектирования воздухоохладителей, работающих в условиях инееобразования // Холодильная техника, 1989, № 2. - С. 9 - 12.

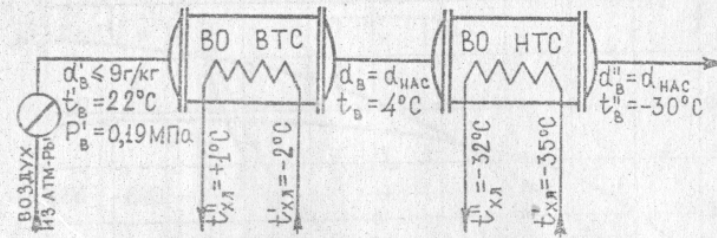


Рис. 1. Схема охлаждения и осушения воздуха на ХОС ВКК.

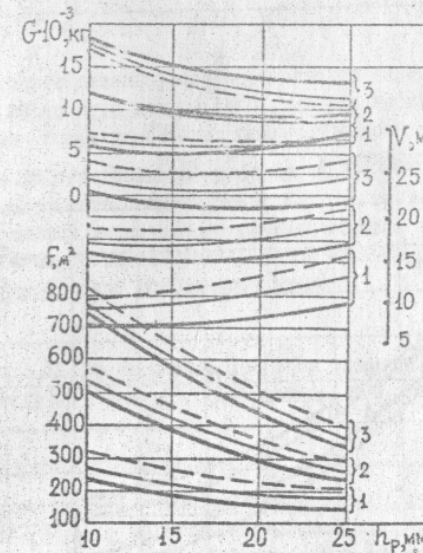


Рис. 2. Зависимость теплопередающей поверхности, массы и объема оребренного трубного пучка от геометрических параметров оребрения при различной интенсивности инееобразования: 1 - $R_{ин} = 0$; 2 - $R_{ин} = 0,004 (м^2 \cdot К) / Вт$; 3 - $R_{ин} = 0,008 (м^2 \cdot К) / Вт$; --- $b_p = 5$ мм; — $b_p = 10$ мм; - - - $b_p = 15$ мм.

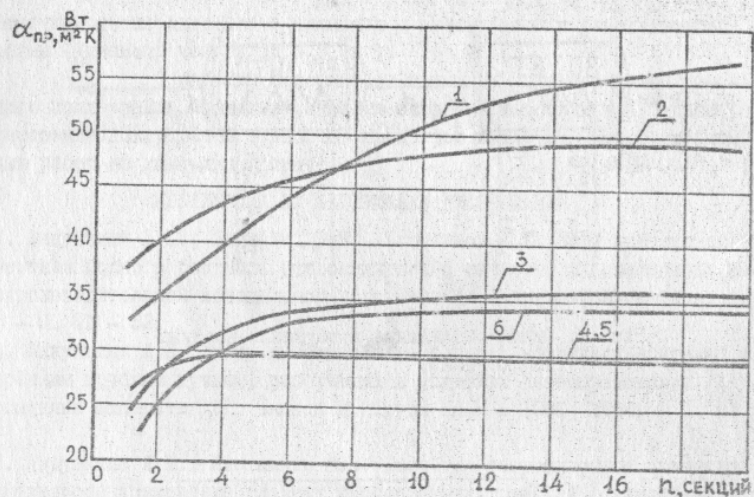


Рис. 3. Изменение приведенного коэффициента теплоотдачи по длине воздухоохладителя, работающего в условиях инееобразования и избыточного давления воздуха, при различных расчётных параметрах G_B , v_p и τ .

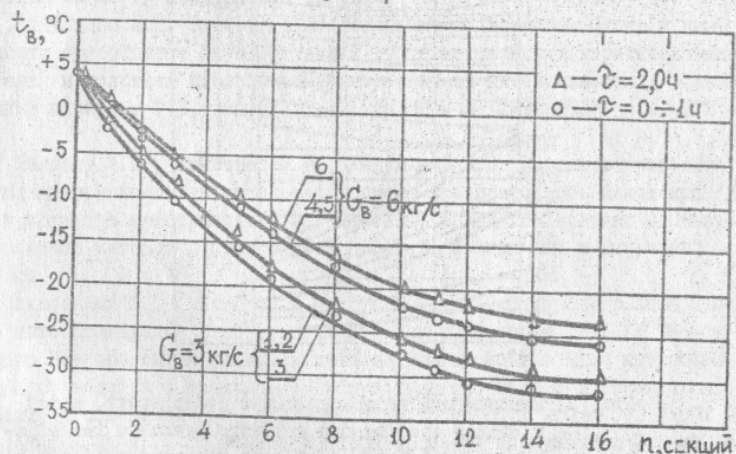


Рис. 4. Изменение температуры воздуха по длине ВО НТС : $P_B = 180$ кПа; $t_{xл} = -32,5^\circ\text{C}$.

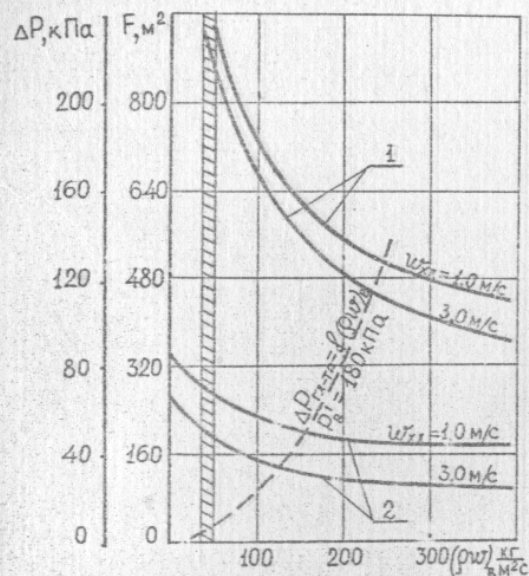


Рис. 5. Зависимость теплопередающей поверхности и аэродинамического сопротивления ВО ВТС, работающего в условиях интенсивного влаговыпадения, от массовой скорости воздуха: 1 - для гладкотрубного пучка, 2 - для оребренного пучка.

9. Аннушкина Л.П. Исследование процесса инееобразования при избыточном давлении воздуха // Холодильная техника, № 9, 1990. - С. 9 - 12.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ВО - воздухоохладитель; ВКК - высотный-компрессорный комплекс; ВТС - высокотемпературная ступень; НТС - низкотемпературная ступень; КОС - холодильно-осушительная станция; ЭГ - этиленгликоль; P_B - давление воздуха; G_B - массовый расход воздуха; F - теплопередающая поверхность; G - масса трубного пучка; V - объём трубного пучка; $R_{ин}$ - термическое сопротивление слоя инея; d_B - влажность воздуха; v_p - шаг рёбер; h_p - высота рёбер; n - количество секций в воздухоохладителе; ΔP_r - аэродинамическое сопротивление.

xv 880
 ИНСТИТУТ ХОЛОДА
 ОНАХТ
 БІБЛІОТЕКА

динамическое сопротивление по длине трубного пучка; t_s - температура воздуха; t_c - температура охлаждающей поверхности; $t_{\text{хл}}$ - температура хладоносителя; W - скорость; $\alpha_{\text{пр}}$ - приведенный коэффициент теплоотдачи; $\delta_{\text{ин}}$ - толщина слоя инея; $\lambda_{\text{ин}}$ - теплопроводность инея; $\rho_{\text{ин}}$ - плотность инея; τ - продолжительность испытания; $(\rho w)_s$ - массовая скорость воздуха; η_p - тепловая эффективность ребра; ψ - относительная влажность воздуха; Δ - шероховатость инея.

М. Акулинич