

Авторефер
X 82

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

Хорхе Шери Хименес

РАЗРАБОТКА КОНДЕНСАТОРА АММИАКА С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ
ДЛЯ ТРОПИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

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 ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1992

xv 1050

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
бібліотека

Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники УССР академик, доктор технических наук
ЧЕПУРНИКОВ В.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор КРАСНОМОВЕЦ П.Г.
кандидат технических наук
ВИСТЯК В.Б.

Ведущая организация: НПО "Холодмаш"

Защита диссертации состоится "28" мая 1992 г. в 11 часов на заседании специализированного совета К.068.27.01 при Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики по адресу: 270100, г. Одесса, ул. Петра Великого, 1/3, ОИЭТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "28" апреля 1992 г.

Ученый секретарь

специализированного совета,

Р.Б. НИКУЛЬШИН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях недостаточной обеспеченности энергоресурсами для республики Куба особо актуальной является задача экономичного расходования энергии.

В экономике Республики в основном преобладает аграрный сектор и связанные с ним отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности, в которых холодильные установки являются наиболее крупными потребителями электроэнергии и пресной воды.

Поэтому снижение электропотребления холодильными установками способно внести весомый вклад в экономию национальных энергоресурсов.

Известно, что максимум энергопотребления холодильными установками приходится на дневное время суток. Это обусловлено тем, что в этот период увеличиваются теплопритоки от окружающей среды и происходит повышение температуры (давления) конденсации влекущие за собой дополнительный перерасход электроэнергии вследствие снижения КПД компрессоров. Кроме того, в республике Куба принята трехтарифная система цен на электроэнергию, при которой максимальный тариф действует также в дневное время суток. Исходя из этого задача снижения энергопотребления холодильными установками именно в этот период времени суток является первоочередной.

Известны три основных пути снижения энергопотребления холодильными установками:

- снижение теплопритоков и температурных напоров на стороне низкого давления холодильных установок;
- повышение энергетических показателей компрессорного оборудования;

- улучшение условий теплообмена с окружающей средой на стороне высокого давления холодильной установки.

Поставленная задача - исследование тепломассообмена в кассетно-конденсаторной системе, разработка новых расчетных методов и создание эффективных теплообменных аппаратов с увлажнительным охлаждением воздуха - является актуальной и перспективной для Республики Куба.

Цель работы. Основной целью проведенных исследований являлось:

- разработка конструкции воздушного конденсатора с кассетным увлажнительным устройством;
- проведение экспериментального и теоретического исследований факторов снижения энергопотребления аммиачными холодильными установками с предложенной системой отвода теплоты конденсации;
- определение дополнительных требований к используемому оборудованию, направленных на повышение энергетической эффективности подобных холодильных установок в целом;
- исследование процессов, протекающих в кассетном увлажнительном устройстве с пористым наполнителем;
- анализ и обработка данных, полученных на экспериментальном стенде в виде графиков и корреляционных таблиц.

Научные положения. В работе защищается следующее научное положение:

- в условиях высоких температур и относительных влажностей воздуха, характерных для Республики Куба, использование воздушных конденсаторов с литой биметаллической поверхностью и кассетных увлажнителей с пористым наполнителем (осиновая стружка) способно обеспечивать экономию энергоресурсов на

аммиачных холодильных установках.

Научные результаты, полученные в работе:

1. Кассетные увлажнители с пористым наполнителем способны работать без каплеуноса, имеют приемлемые аэродинамические сопротивления и высокую эффективность адиабатического охлаждения воздуха для условий малой разности температур воздуха по сухому и мокрому термометрам.
2. Увлажнительные устройства для охлаждения воздуха перед конденсаторами в условиях Республики Кубы целесообразно применять только в дневное время суток когда относительная влажность воздуха достигает самых низких значений.
3. Для обеспечения высоких энергетических показателей от применения кассетных увлажнителей воздушные конденсаторы холодильной установки должны быть укомплектованы вентиляторами с круто падающей расходно-напорной характеристикой. Максимум КПД вентилятора должен приходиться на режим работы с увлажнением.
4. При заданных температуре и относительной влажности наружного воздуха характер зависимости предельно допустимого отношения аэродинамического сопротивления кассеты к аэродинамическому сопротивлению конденсатора определяется преимущественно характером зависимости КПД компрессора от температуры кипения.

Научная новизна. Настоящая работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию экономии энергоресурсов на аммиачных холодильных установках за счет улучшения условий отвода теплоты конденсации. В работе предложены кассетные

устройства с пористым наполнителем для адиабатического охлаждения воздуха исследована опытная аммиачная холодильная установка с воздушным конденсатором оборудованным предложенным устройством.

Практическая ценность работы. Уточнена математическая модель процесса кассетно-увлажнительного охлаждения воздуха, подаваемого на высокоразвитую теплообменную поверхность конденсатора воздушного охлаждения холодильной установки, что позволяет выяснить характер совместного рассмотрения расходно-напорных характеристик, вентилятора и аэродинамической сети (кассеты).

Полученные аналитические зависимости, описывающие процесс подохлаждения воздуха и эффективности кассеты в различные периоды времени суток.

Разработана конструкция воздушного конденсатора с увлажнительным устройством и предложена методика его расчета.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 3 печатные работы.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Диссертация содержит 108 страниц машинописного текста, 5 таблиц, 32 рисунка, библиография включает 110 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности проблемы, постановку задачи исследования, а также основные научные и практические результаты.

В первой главе приводится обзор исследований и анализ физических представлений о механизме процесса конденсации аммиачных разнотипных конденсаторах, а также рассмотрены системы

увлажнительных устройств для охлаждения воздуха перед воздушным конденсатором, как основной путь снижения энергопотребления в холодильных установках.

Теоретические и экспериментальные исследования конструкции конденсаторов воздушного охлаждения были проведены следующими учеными: Павлов Р.В., Стрельчик О.Б., Чепурненко В.П., Дарьяновский С.Д., Кириллов В.Х., Дымов М.И., Алонсо Гонсалес, Диэго Кинтеро и другие.

Анализируя недостатки практикуемых методов увлажнительного охлаждения воздуха и исследуя пути их преодоления ряд авторов: Баркалов Б.В., Берман Л.Д., Воронцов Д.А., Гоголин А.А., Кокорин О.Я., Стрельчук О.Б., Чепурненко В.П. и др. указывают на перспективность применения различных орошаемых слоев насадки. В насадочных аппаратах можно осуществить процессы изохлальной и политропного увлажнения воздуха, испарительного охлаждения воды и даже охлаждения и осушения воздуха на небольшую глубину.

По назначению орошаемые слои для тепловлажностной обработки воздуха разделяются на две группы: орошаемые слои для адиабатического охлаждения воздуха и орошаемые слои для политропических режимов.

Установлено, что в отличие от политропических режимов направленность процессов адиабатического увлажнения не зависит от количества орошающей воды. Поэтому целесообразно обеспечить такое конструктивное выполнение аппаратов для адиабатических режимов обработки воздуха, чтобы при малых коэффициентах орошения достигалась высокая эффективность испарительного охлаждения.

Для достижения этого необходимо использовать в качестве орошаемого слоя материалы, обладающие хорошими качествами по

смачиваемости и удержанию влаги. Такими материалами являются синтетические волокна, древесная стружка, пористые пластмассовые пластины и сетки, волокна коры пальмовых деревьев и др.

Кассеты с орошаемыми слоями целесообразно располагать вертикально так, чтобы вода самотеком омывала поверхность орошаемого слоя.

Применительно к совместной работе с воздушными конденсаторами орошаемые слои имеют несколько полезных особенностей:

- орошаемые слои могут выполнять роль фильтров по очистке проходящего через них воздуха от пылевых и некоторых газовых загрязнений. Загрязнения из воздуха оседают на орошаемой насадке и затем смываются водой в поддон,
- орошаемые слои из гигроскопичного материала способны работать без каплеуноса вследствие малых расходов орошающей воды при достаточной смачиваемости гигроскопического материала в слое.

Недостатком устройств увлажнительного охлаждения воздуха, построенных с неиспользованием орошаемых слоев является наличие у них значительного аэродинамического сопротивления, для преодоления которого необходимо затрачивать дополнительную мощность на привод вентилятора. Очевидно, что возможность снижения температуры конденсации за счет использования орошаемых слоев перед теплообменной поверхностью воздушного конденсатора холодильных установок не вызывает сомнения.

Однако тщательного изучения требует вопрос экономической целесообразности использования орошаемых слоев, разработке которого и уделено внимание в настоящей работе.

Во второй главе помещены материалы, доказывающие научное положение работы и касающиеся математической модели процесса в

узле вентилятор - кассета - конденсатор воздушного охлаждения.

Установление условий экономичности применения кассетных увлажнителей воздуха с орошаемым слоем для снижения энергопотребления холодильными установками с аммиачными воздушными конденсаторами возможно только в результате рассмотрения холодильной установки в целом.

Схему процесса узла вентилятор-кассета-конденсатор можно изобразить с помощью следующего рисунка.

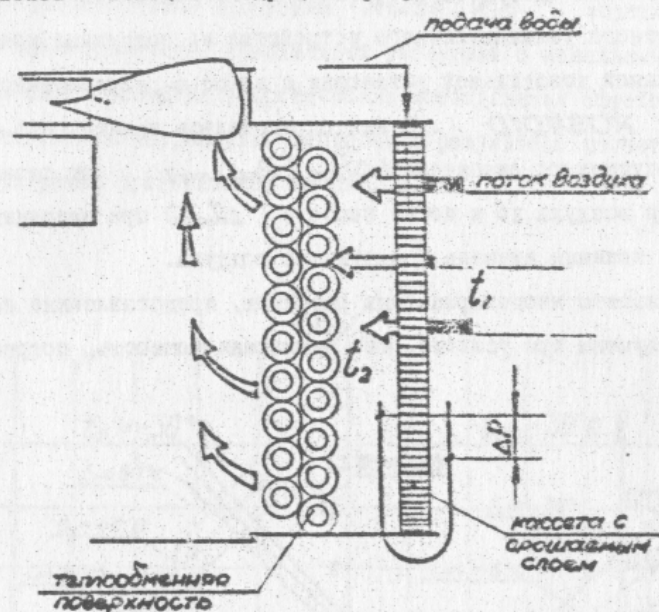


Рис. I

Увлажнительное охлаждение воздуха подаваемого на конденсатор способствует снижению температуры конденсации и следовательно, дает экономию электроэнергии, потребляемой компрессором.

Однако, применение кассетного увлажнителя с орошаемым

слеем в напорной сети воздушного конденсатора, создает дополнительное аэродинамическое сопротивление и этим вызывает рост энергопотребления вентиляторной установкой.

Таким образом, наличие двух противоположных эффектов ставит задачу поиска режимов при которых наблюдается снижение общего энергопотребления компрессором и вентиляторной установкой. Для этих целей были проведены теоретические исследования использования кассетного увлажнительного устройства на воздушный конденсатор идеальной холодильной установки с помощью разработанной программы *KASKDID*. В ней определялась зависимость предельно допустимого отношения $(\Delta P_{кас}/\Delta P_{ка})_{пред.}$ от разности температур воздуха до и после кассеты ($\Delta t_{кас}$) при заданных температурах кипения аммиака и наружного воздуха.

Результаты многовариантных расчетов, представленные на рис. 2 получены при условии, что суммарная мощность, потребляе-

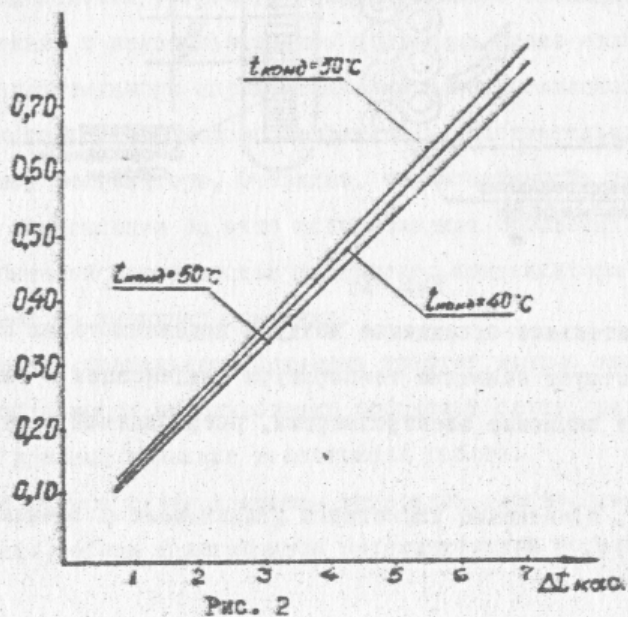


Рис. 2

мая компрессором и вентиляторной установкой оставались неизменными. Таким образом, для снижения общего энергопотребления необходимо, чтобы отношение $(\Delta P_{кас}/\Delta P_{ка})$ было ниже предельных значений представленных на рис. 2.

Однако этот вывод получен без учета реальных процессов, протекающих в действительном компрессоре. Для учета отмеченного с помощью разработанной программы *KASKDKM* моделирующей работу одноступенчатой холодильной установки с идеальным вентилятором были проведены теоретические исследования эффективности увлажнительного устройства. Выборочные результаты расчетов по этой программе представлены на рис. 3, 4.

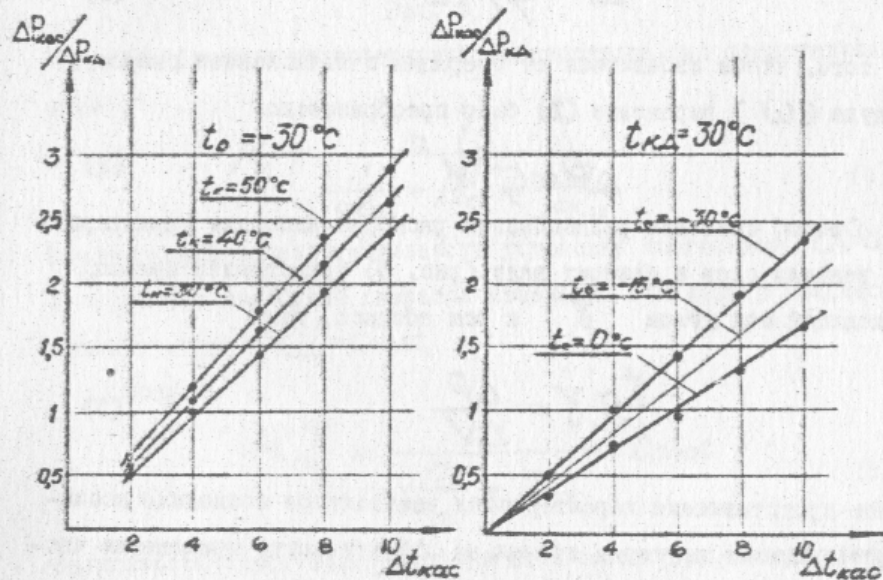


Рис. 3

Рис. 4

Сравнение этих данных с результатами, полученными для идеализированной холодильной установки показывает, что харак-

тер процессов, протекающих в поршневом компрессоре оказывает существенное влияние на эффективность в пользу применения каскадных увлажнителей. При этом экономия электроэнергии зависит от температур кипения и конденсации, т.е. чем больше разность между этими температурами, тем лучше возможности для применения каскадных увлажнителей.

Окончательный теоретический вывод о перспективности применения увлажнителей был получен при анализе действительных процессов в усле вентилятор-кассета-конденсатор. При этом для получения обобщенного результата все разнообразие характеристик вентиляторов было предварительно сведено к единому виду.

Аэродинамическое сопротивление сети кассета-конденсатор подчиняется закону

$$\Delta P = \xi P \frac{\omega^2}{2} \quad (1)$$

Для того, чтобы избавиться от операции с вычислением скорости воздуха (ω) выражение (1) было преобразовано

$$\Delta P = \xi' V^2 \quad (2)$$

Способ сведения разнообразия расходно-напорных характеристик вентиляторов к единому виду (рис. 5) представлен прямой, проходящей под углом γ к оси абсцисс, где

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (3)$$

Такое представление характеристик вентилятора позволило исследовать влияние крутизны прямой на эффективность применения каскадно-увлажнительного устройства перед конденсатором холодильной установки.

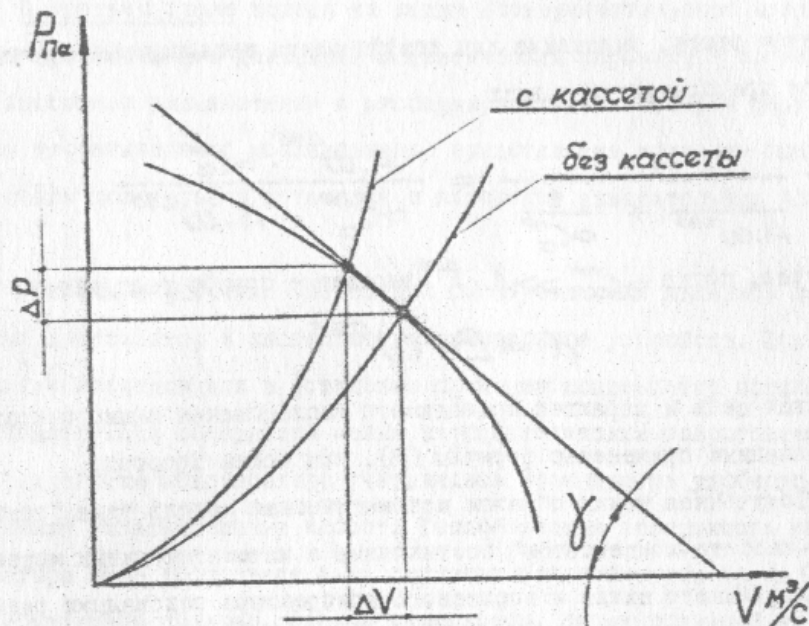


Рис. 5

Коэффициент теплопередачи конденсатора был представлен в виде

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + R_{ст} + \frac{B}{\alpha_A}} \quad (4)$$

Приняв холодопроизводительность установки постоянной $Q_0 = \text{const}$ и ограничив возможный диапазон изменения температур конденсации, можем считать $\alpha_A = \text{const}$

Тогда

$$\alpha_A^{np} = \frac{1}{\frac{B}{\alpha_A} + R_{ст}} = \text{const} \quad (5)$$

Зависимость коэффициента теплопередачи со стороны воздуха α_B от скорости охлаждающего потока для оребренных шахматных пучков подчиняется закону

$$\alpha_B = A \cdot \omega_B^{0.65} \quad (6)$$

С учетом этого, выражение для коэффициента теплопередачи конденсатора преобразуется к виду

$$K = \frac{1}{\frac{1}{A \cdot \omega^{0.65}} + \frac{1}{\alpha_a^{np}}} = \frac{A \cdot \omega^{0.65} \cdot \alpha_a^{np}}{\alpha_a^{np} + A \cdot \omega^{0.65}} \quad (7)$$

В случае, когда $\alpha_a^{np} \gg A \cdot \omega^{0.65}$ выражение приобретает вид

$$K = B \cdot \omega^{0.65} \quad (8)$$

Учитывая цель и характер проводимого исследования можно считать обоснованным применение формулы (8), как более простой.

Полученная таким образом математическая модель узла "вентилятор-кассета-конденсатор" состыкована с математическими моделями холодильного цикла и поршневого компрессора описанными ранее для программы *KASKDKM*.

В результате дополнительный условие состыковки принято, что при работе без увлажнительного устройства, температура конденсации на 10°C превышает температуру окружающей среды. Величина подгрева воздуха в конденсаторе составила 5°C .

В итоге была составлена обобщенная математическая модель *INSTREAL* максимально приближенная к реальной установке.

Результаты многовариантных расчетов проведенных с помощью этой программы показали, что положительный экономический эффект может быть получен только при ограниченном аэродинамическом сопротивлении кассеты и существенно зависит от характеристик вентилятора.

Предельно допустимые изменения напора вентилятора, зависят как от величины подохлаждения воздуха в кассете, так и от угла наклона γ расходно-напорной характеристики вентилятора, причем зависимость от γ является доминирующей.

В третьей главе исходя из задач экспериментального исследования (установление диапазона климатических параметров применения кассетных увлажнителей и экспериментальной проверки результатов теоретического исследования) представлено описание опытной аммиачной холодильной установки и комплекса измерительных приборов.

Основными рабочими элементами этой установки являлись воздушный конденсатор и кассетное увлажнительное устройств. Исходя из задач исследования в установке применен конденсатор специальной конструкции обладающий малым аэродинамическим сопротивлением. При разработке конденсатора учитывалась возможность удобного расположения увлажнительных кассет. Теплообменная поверхность конденсатора была образована 4-мя секциями теплообменных труб. Секции объединены попарно. Осевой вентилятор, смонтированный на аппарате обеспечивал его работу, как при наличии увлажнительных кассет, так и без них. Конструктивно увлажнительная кассета представляет собой вертикальную раму обтянутую с обеих сторон сеткой. Между сетками помещалась регулярная ячеистая структура, образованная обрезками осинового стружки раскрепленной в кассете нейлоновыми нитями.

В верхней части кассеты располагалось оросительное устройство. Избыток воды при орошении слоя насадки сливался в поддон, установленный под кассетой. Перед проведением основной серии опытов экспериментально был определен оптимальный вариант укладки пористого наполнителя кассеты.

Холодильная установка, состоящая из поршневого компрессора, опытного узла конденсатор-кассета, маслоотделителя, линейного ресивера и калориметрического испарителя работала в диапазоне температур кипения $t_0 = 0 \dots -30^\circ\text{C}$ и диапазоне температур

конденсации $t_k = 35 \dots 45^\circ\text{C}$.

Параметры цикла холодильной установки измерялись с помощью образцовых манометров и ртутных термометров. Измерение температур в опытном узле конденсатор-кассета осуществлялось с помощью медь-константановых термопар. Измерение скорости потока воздуха осуществлялось с помощью анемометра. Изменение потерь напора в попарной сети вентилятора контролировалось дифференциальным манометром, а относительная влажность воздуха измерялась с помощью гигрометра. Измерение мощности двигателей вентилятора и компрессора контролировалось с помощью измерительного комплекса К-50.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования аммиачного воздушного конденсатора с устройством увлажнительного охлаждения воздуха.

Проведенные эксперименты показали, что эффективность работы кассетного увлажнителя зависит от следующих факторов:

1. Материала насадки и способа ее закрепления в кассете.
2. Аэродинамического сопротивления насадки и секции конденсатора.
3. Относительной влажности наружного воздуха.
4. Напорно-расходной характеристики нагнетателя воздуха.

В ходе эксперимента было установлено, что интенсивность теплообмена в конденсаторе зависит от глубины подохлаждения воздуха в кассетном увлажнителе.

Результаты сопоставления суммарного расхода мощности на работу компрессора и вентилятора в зависимости от температуры наружного воздуха и глубины подохлаждения в кассете для различных режимов (t_o) работы установки представлены на рис. 6, 7.

На этих же рисунках приведенные данные по суммарному расходу мощности для режимов без увлажнительных устройств.

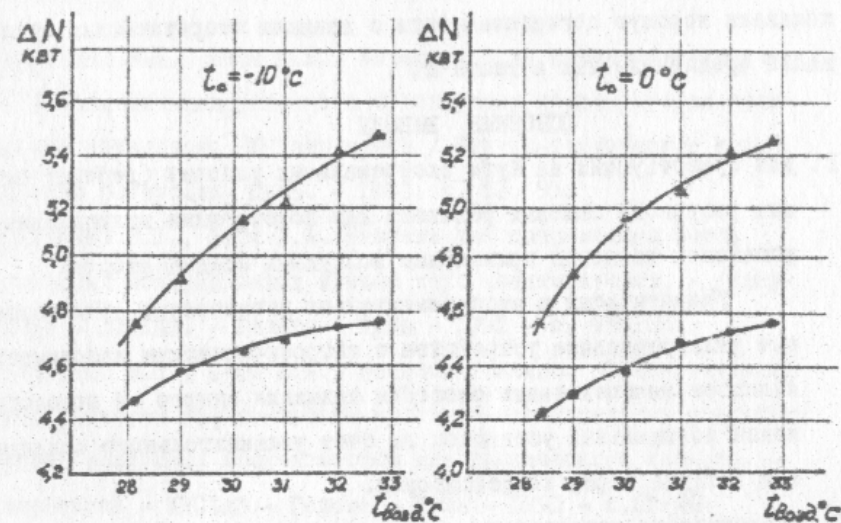


Рис. 6

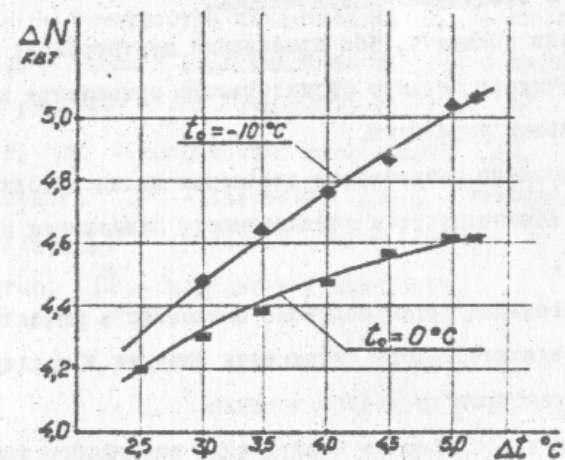


Рис. 7

xv 1050

Результаты опытной оценки работы экспериментального узла показали хорошую согласованность с данными теоретических исследований представленных в главе 2.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для существующих на Кубе экстремальных условий (дефицит водных ресурсов) базовым решением для конструкции холодильных установок является применение воздушных конденсаторов.

Теоретически и экспериментально установлено, что кассетные увлажнительные устройства с гигроскопическим наполнителем являются перспективным способом снижения энерго и водопотребления холодильных установок за счет увлажнительного охлаждения воздуха перед конденсатором.

2. Теоретически установлены требования, предъявляемые к кассетным увлажнительным устройствам по гидродинамическому сопротивлению для обеспечения их эффективной работы в составе холодильной установки с воздушным конденсатором.

3. Теоретически показано, что применение центробежных вентиляторов обеспечивает большую эффективность применения кассетных увлажнительных устройств.

4. Экспериментально установлены диапазоны климатических условий, в которых обеспечивается эффективность применения кассетного увлажнения.

5. Экспериментальным путем получена зависимость эффективности процесса увлажнительного охлаждения воздуха в исследуемой кассете от параметров наружного воздуха.

6. Разработана и исследована конструкция воздушного конденсатора с кассетными увлажнительными устройствами, которая может послужить базой для промышленных разработок.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛУ, ИЗЛОЖЕННОМУ В ДИССЕРТАЦИИ

1. Чепурненко В.П., Шери Х.Х., Мирончук Д.А. Применение кассетных увлажнительных устройств в воздушных конденсаторах холодильных установок. // Энергетика / Научно-техническое издательство республики Куба. - 1991. с. 52-55.
2. Чепурненко В.П., Шери Х.Х. Кассета как современный метод увлажнения воздуха перед пучком труб конденсаторов. - /Энергетика - ИПСХАЭ. - Гавана - Куба - 1991 - с. 98-100.
3. Чепурненко В.П., Шери Х.Х., Мендоса Роландо. Статистический метод расчетов эффективности кассетно-влажнительных устройств крупных воздушных конденсаторов для тропического климата. - /Энергетика - ИПСХАЭ - Гавана - Куба - 1990 - с.15-18

Условные обозначения: $\Delta P_{кас}$, $\Delta P_{ка}$ - аэродинамическое сопротивление увлажнительной кассеты и конденсатора, соответственно; t_k - температура конденсации; t_0 - температура кипения; $\Delta t_{кас}$ - глубина подохлаждения воздуха в кассете; ω - скорость воздуха; ρ - плотность воздуха; V - объемный расход воздуха; α - коэффициент теплоотдачи; $R_{ст}$ - термическое сопротивление; P - давление; $t_{возл}$ - температура наружного воздуха; ΔN - суммарный расход мощности на компрессор и вентилятор; β - коэффициент обребнения.

