

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

Салах Карим Джавад

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА

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 - 1993



Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики

Научные руководители : кандидат технических наук,
профессор Ларьяновский С.Ю. ;
кандидат технических наук,
ст. науч. сотр. Ярмолович Ю.Р.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор, академик Академии
технологической кибернетики
Украины Захаров Ю.В. ;
кандидат технических наук
Дорошенко А.В.

Ведущая организация - Инженерно-технологический инсти-
тут "Биотехника"

Защита состоится "21" мая" 1993 г. в 11 часов
на заседании специализированного Совета К.068.27.01 при
Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики
по адресу: 270100, Украина, Одесса, ул. П.Великого, 1/3 -
ученый Совет ОИИТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
Одесского института низкотемпературной техники и энергетики.

Автореферат разослан "21" мая 1993 года.

Ученый секретарь
специализированного Совета
кандидат технических наук,
профессор

Р.К.Никульшина

" " _____ 1993 г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Системы кондиционирования воздуха (СКВ), включающие в себя, помимо прочего, аппараты тепловлажностной обработки воздуха с холодильной машиной или без нее, по энергоемкости превосходят обычные системы приточно-вытяжной вентиляции. Для европейских климатических условий капитальные затраты на СКВ нередко достигают 20 % общей стоимости зданий, а эксплуатационные - до 30-60 % всей стоимости эксплуатации инженерных сооружений здания. Эти затраты возрастают в условиях жаркого климата при значительных теплопотерях за счет влияния солнечной радиации и большой продолжительности стояния высоких наружных температур. При этом, в таких районах часто ненадежно снабжение электроэнергией, что делает задачу энергосбережения особенно важной.

Вопросам улучшения качества СКВ и их элементов посвящено большое количество работ, перечислить которые в рамках автореферата не представляется возможным.

В условиях Ближнего Востока, Юго-Восточной Азии, Средней Азии представляют интерес меры улучшения качества СКВ, не требующие больших капитальных и эксплуатационных затрат. Конструктивно простыми и относительно малозатратными являются метод косвенно-испарительного охлаждения воздуха и теплообменные аппараты, реализующие этот метод. Исследованиям таких аппаратов посвящена большая часть работ С.Я.Кожуряна, Е.Е.Карписа, А.В.Дорошенко и др. Однако метод косвенно-испарительного охлаждения воздуха, имея ряд преимуществ, может использоваться в СКВ только при определенном, странном сочетании параметров наружного воздуха и воздуха в помещениях. В связи с чем по-прежнему широко применяются кондиционеры с машинным охлаждением, как более универсальные, хотя и потребляющие больше энергии, чем аппараты КОВ.

В свете изложенного, исследования схем охлаждения воздуха, включающих в себя как аппараты безмашинного охлаждения воздуха или воздухоохлаждатели холодильной машины, так и эти аппараты в их рациональном сочетании, является актуальной задачей.

Целью работы является совершенствование систем кондиционирования воздуха на основе рационального сочетания аппаратов косвенно-испарительного охлаждения, прямого увлажнения и компрессионно-кондиционера.

Задачи работы, в связи с этим, следующие: оценить теплоэнер-

гетическую эффективность СКВ с различными аппаратами и схемами охлаждения воздуха при различных параметрах наружного воздуха в широком диапазоне температур и влагосодержаний; определить климатические границы использования исследованных схем охлаждения воздуха; выявить и оценить преимущества комбинированного способа охлаждения по отношению к традиционным; разработать рекомендации по выбору и расчету СКВ на основе комбинации испарительного охлаждения с машинным; оценить эколого-экономическую эффективность исследованных схем охлаждения.

Научная новизна работы состоит в том, что исследованы различные сочетания аппаратов косвенно-испарительного охлаждения, прямого увлажнения и кондиционера с машинным охлаждением и определены климатические границы рационального использования каждого способа охлаждения.

В диссертации защищается следующее научное положение:

Система кондиционирования воздуха, являющаяся комбинацией косвенно-испарительного охладителя с холодильной машиной, обеспечивает повышение теплоэнергетической эффективности с одновременным расширением температурно-влажностных границ в область высоких температур и низких влагосодержаний, снижением годового энергопотребления.

Научные результаты.

1. Получены экспериментальные данные по тепло- и массообмену и аэродинамическому сопротивлению в каналах КОВ.
2. Разработана методика расчета аппаратов косвенно-испарительного охлаждения.
3. Определены климатические зоны рационального использования комбинированной системы (КОМБИ).
4. Проведен энергетический анализ системы КОМБИ.

Практическая ценность работы. Разработан инженерный метод расчета аппаратов КОВ и УВ и рекомендации по выбору и расчету СКВ на основе комбинации косвенно-испарительного охлаждения воздуха с машинным охлаждением.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались:

на II-ой Международной научной конференции "Проблемы экологии и ресурсосбережения для сельскохозяйственных районов и агропро-

мысленных комплексов", Одесса, 1992 г.;

на Межреспубликанской научно-практической конференции "Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки сельскохозяйственной продукции", Краснодар, 1992 г.

Публикации: по теме диссертации имеются две публикации.

Структура и объем диссертаций. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и приложений. Основная часть диссертации содержит 85 страниц машинописного текста, 30 рисунков, 13 таблиц, 10 страниц приложений. Список литературы включает 115 наименований, в том числе 15 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований и содержание научных положений.

В первой главе рассмотрен процесс теплообмена при контакте воды и воздуха в аппаратах систем кондиционирования воздуха. На основе общей физической модели процессов, описываемых уравнениями Меркаля, анализируются результаты экспериментальных и теоретических работ по исследованию аппаратов прямого увлажнения воздуха и косвенно-испарительного охлаждения. Рассматриваются одно-, двух- и многоступенчатые схемы косвенно-испарительного охлаждения. Низкое энергопотребление, простота и надежность косвенно-испарительных охладителей позволяют считать их перспективным техническим решением в системах СКВ, однако такие аппараты обеспечивают поддержание комфортных условий только в определенных климатических зонах, при вполне определенных сочетаниях параметров наружного воздуха.

Исследования аппаратов КОВ, выполненные различными авторами, не позволили, однако, предложить и создать высокоэффективную поверхность теплообмена, отвечающую разнообразным требованиям по теплоотдаче, технологичности в изготовлении, конструктивной жесткости, гидрофильности. Отсутствуют расчетные зависимости по расчету теплоотдачи и сопротивлений.

Сочетание процесса обработки воздуха в воздухоохладителе холодильной машины с охлаждением воздуха в аппарате КОВ или в прямом увлажнителе, т.е. комбинированное охлаждение, позволяет сократить расход энергии, расширить температурно-влажностный диапазон использования системы кондиционирования воздуха, пони-

зять вредное экологическое воздействие СКВ. В настоящее время известно несколько вариантов схем комбинированной системы КВ. Перспективной, с точки зрения расширения областей применения и диапазона работы в различных климатических зонах, является схема (рис. 1), в которой наружный воздух направляется в аппарат косвенно-испарительного охлаждения и разделяется на два потока. Охлаждаемый поток после обработки в воздухоохладителе КОВ доохлаждается в испарителе холодильной машины и направляется в помещение. Вспомогательный поток, охлаждаясь и увлажняясь во влажных каналах аппарата КОВ, подается на конденсатор холодильной машины. Конденсат отводится из поддона воздухоохладителя холодильной машины по влажным каналам аппарата КОВ. В этой схеме полностью используются оба потока - основной и вспомогательный, возможна автономная работа аппарата КОВ и компрессионного кондиционера в случае необходимости.

Во второй главе описаны методики экспериментального исследования и обработки опытных данных.

В процессе экспериментов последовательно исследовались: косвенно-испарительный воздухоохладитель (КОВ), прямой увлажнитель воздуха (УВ), компрессионный кондиционер (ХМ), комбинация косвенно-испарительного воздухоохладителя с компрессионным кондиционером (КОМБИ). Основное внимание в эксперименте уделялось изучению системы КОМБИ. Исследования проводили на универсальном экспериментальном стенде, включающем три контура: воздушные основной и вспомогательного потоков и водяной (рис. 2).

Параметры воздуха на входе в исследуемые аппараты изменяли в пределах: температура от 30 до 45 °С, влагосодержание - от $11 \cdot 10^{-3}$ до $24 \cdot 10^{-3}$ кг/кг. Соотношение расходов вспомогательного и основного потоков воздуха изменялось от 0,5 до 2,0.

Расчет коэффициентов переноса проводился на основе метода энтальпийного потенциала. Составив систему уравнений, включающую уравнения переноса тепла и массы, уравнения теплового баланса и проинтегрировав ее, после подстановки получаем уравнение рабочей линии процесса

$$\frac{\Delta h_a}{\Delta h_0} = \frac{G_0 C_p}{G_a}$$

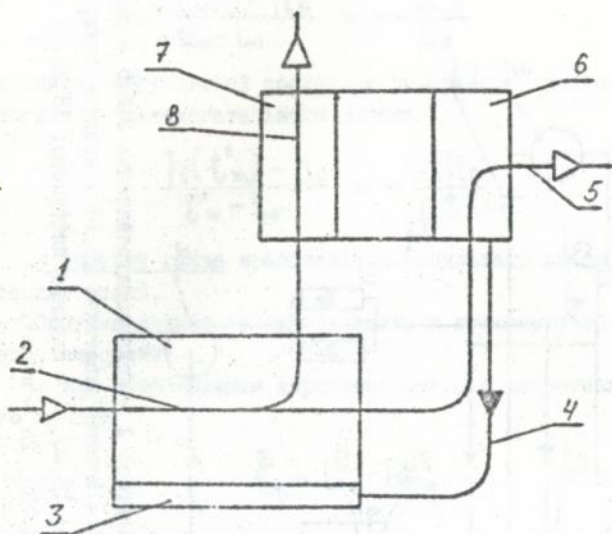


Рис. 1. Схема комбинированной системы тепловлажностной обработки воздуха.

1 - косвенно-испарительный охладитель; 2 - воздушный поток из окружающей среды; 3 - поддон; 4 - водяной конденсат; 5 - охлаждаемый поток (основной поток); 6 - испаритель компрессионного кондиционера; 7 - конденсатор компрессионного кондиционера; 8 - вспомогательный поток.

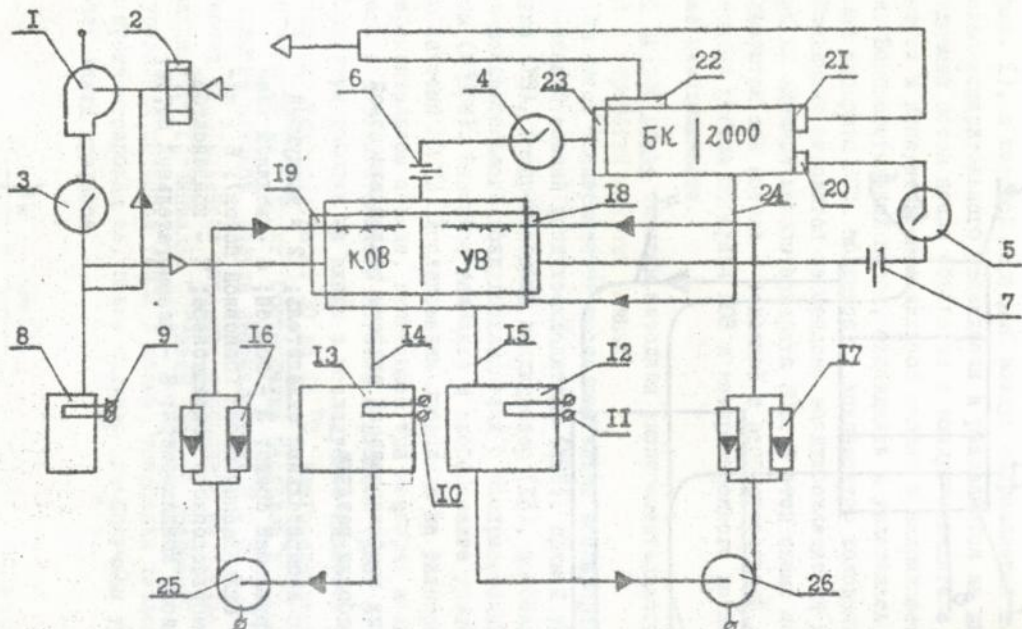


Рис. 2. Схема экспериментального стенда: 1 - вентилятор; 2 - воздухонагреватель; 3,4,5 - расходомеры; 6,7 - шибера; 8 - парогенератор; 9,10,11 - водонагреватель; 12,13 - водяные баки; 14,15 - линии слива воды; 16,17 - блоки ротаметров; 19,20,23 - входные диффузоры; 18,22,21 - выходные диффузоры; 24 - линия водяного конденсата; 25, 26 - насосы.

и уравнения конфорды

$$\frac{h(t_{ж}^*) - h_{в}}{t_{ж}^* - t_0} = - \frac{d_0}{\beta_0} \quad (2)$$

и линии, связывающей состояние поверхности раздела и изменение состояния вспомогательного потока

$$\frac{h(t_{ж}^*) - h_{в}}{t_{ж}^* - t_0} = - \frac{dh_{в}}{dt_{в}} \quad (3)$$

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований.

Опытные данные по аэродинамике и теплообмену описаны зависимостями:

- для коэффициента аэродинамического сопротивления основного канала

$$\xi_0 = C_1 \cdot Re^n \quad (4)$$

- для коэффициента аэродинамического сопротивления во вспомогательных каналах

$$\xi_{\beta} = C_2 \cdot Re_{\beta}^a \cdot Re_{ж}^b \quad (5)$$

- для теплообмена в основных каналах

$$Nu_0 = C_3 \cdot Re_0^k \cdot Re_{\beta}^l \cdot Re_{ж}^m \quad (6)$$

- для массообмена в орошаемых вспомогательных каналах

$$Sh = C_4 \cdot Re_{\beta}^p \cdot Re_{ж}^d \quad (7)$$

В таблицах I-4 приведены значения коэффициентов и показателей степени в уравнениях (4) - (7). Как видно из таблиц, эти значения будут различны в ламинарной и турбулентной областях. На интенсивность процессов теплообмена в основном канале ока-

Таблица 1

Значения параметров зависимости (4)

C_1	n	Диапазон изменения Re_0
2,8	- 0,26	500 - 2300
0,4	0	2300 - 5000

Таблица 2

Значения параметров зависимости (5)

C_2	a	b	Диапазон Re_B	Диапазон $Re_{ж}$
5,26	- 0,23	0	500 - 2400	10 - 100
0,98	- 0,02	0,035	2400 - 3000	10 - 100

Таблица 3

Значения параметров зависимости (6)

$C_3 \cdot 10$	k	l	m	Диапазон Re_0	Диапазон Re_B	Диапазон $Re_{ж}$
0,87	0,82	0,51	0,13	500-4000	800-2400	10 - 70

Таблица 4

Значения параметров зависимости (7)

$C_4 \cdot 10^2$	p	d	Диапазон Re_B	Диапазон $Re_{ж}$
2,5	0,5	0,25	800 - 2400	10 - 100

зывают влияние три потока: основной, вспомогательный и жидкостный.

Теплообменная поверхность исследованного аппарата КОВ, выполненная из вертикально гофрированных элементов насадки с регулярной шероховатостью, позволяет рационально интенсифицировать как теплоотдачу в основном канале, так и массоотдачу - во вспомогательном.

Сопоставление исследованных способов охлаждения воздуха по величине эксергетического к.п.д. в различных температурно-влажностных условиях наружного воздуха показывает, что система КОМБИ в термодинамическом отношении более совершенна, чем кондиционер с холодильной машиной. Для аппаратов КОВ и УВ в области низких влагосодержаний наружного воздуха значения эксергетического к.п.д. больше, чем у кондиционера с холодильной машиной (вариант ХМ) и системы КОМБИ. Однако с ростом влагосодержания величина η для вариантов КОВ и УВ резко падает, а при влагосодержании воздуха выше $7 \cdot 10^{-3}$ кг/кг становится меньше соответствующих значений для варианта ХМ. Эксергетический к.п.д. η системы КОМБИ снижается при возрастании влагосодержания до $8 \cdot 10^{-3} \dots 10 \cdot 10^{-3}$ кг/кг, после чего η стабилизируется (рис. 3). Величина η для кондиционера с холодильной машиной незначительно возрастает с увеличением влагосодержания, оставаясь ниже, чем эксергетический к.п.д. системы КОМБИ. Система КОМБИ, составленная из косвенно-испарительного воздухоохлаждателя и воздухоохлаждателя с холодильной машиной, в термодинамическом отношении превосходит свои составные части. Кроме того, при компоновке указанных элементов в систему КОМБИ, возникают положительные экологические эффекты.

В четвертой главе даны рекомендации по выбору, расчету и конструированию исследованных аппаратов и их комбинаций, проведено исследование экологической эффективности описанных устройств охлаждения воздуха. Определены наружные температурно-влажностные границы рационального применения аппаратов (КОВ, УВ, ХМ, КОМБИ). Результаты такого сопоставления показаны в координатах $t-d$ (рис. 4).

Наиболее простой в конструктивном отношении увлажнитель может быть рекомендован для районов с влагосодержанием наружного воздуха $4 \cdot 10^{-3}$ кг/кг. Аппарат КОВ охлаждает основной поток при неизменном влагосодержании, поэтому его использование ограничено влагосодержанием наружного воздуха от $4 \cdot 10^{-3}$ до $12 \cdot 10^{-3}$ кг/кг.

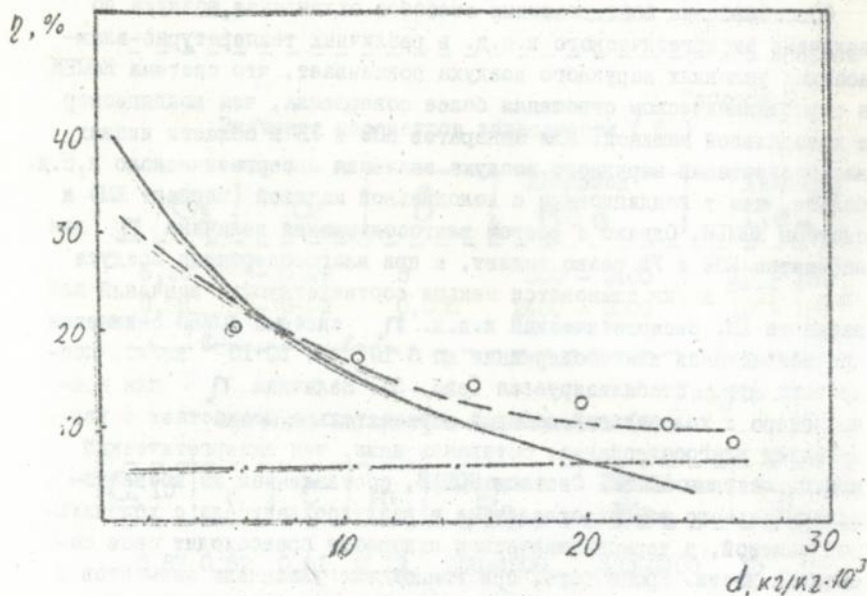


Рис. 3. Значение энергетического к.п.д. исследованных вариантов при различных влагосодержаниях варужного воздухе.

————— КОВ
 - - - - - КОМБИ
 - . - . - XM
 $t_{0.c.} = 35 \text{ } ^\circ\text{C.}$

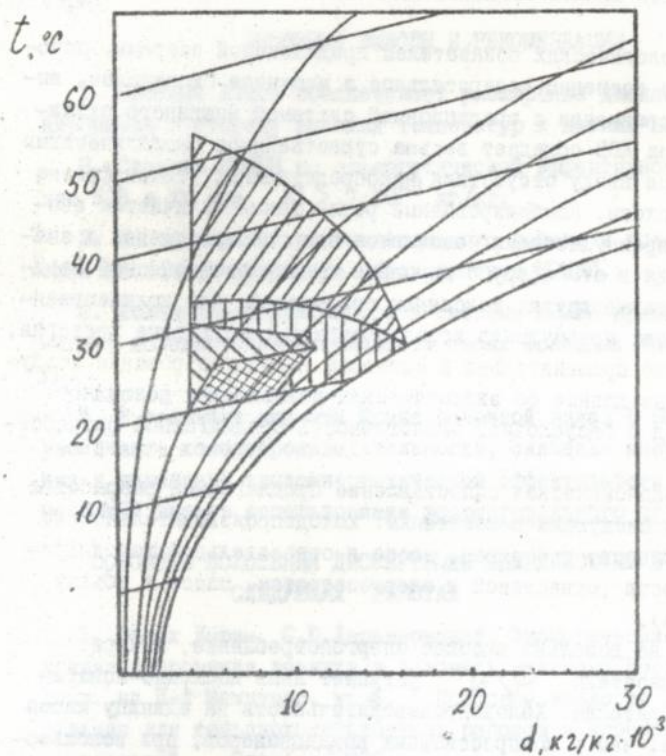






Рис. 4. Климатические границы применения исследованных схем охлаждения воздуха.

- | | |
|---|------------------|
|  | КОВ |
|  | ХМ |
|  | КОМБИ |
|  | Комфортная зона. |

Верхняя температурная граница зависит от эффективности работы аппарата КОВ, в нашем исследовании равной 0,7. Система КОМБИ имеет такие же ограничения по влагосодержанию, как и кондиционер с холодильной машиной, но позволяет больше охладить воздух.

Был проведен анализ компоновочных схем комбинированной системы.

Оценка экологических показателей предлагаемой системы, сочетающей в себе косвенно-испарительное и машинное охлаждение, выполняется в сравнении с традиционной системой машинного охлаждения. Система КОВ обладает весьма существенными экологическими преимуществами ввиду отсутствия непосредственных утечек фреона и сбросов теплоты. Комбинированный режим также отличается экологическими преимуществами: снижается энергопотребление, а значит, и эмиссия в атмосферу с дымовыми газами озоноопасной закиси азота, а также других токсичных соединений. Для количественной оценки этих преимуществ использовались специальные критерии, апробированные применительно к системам кондиционирования воздуха. Полученные данные об экологических показателях позволяют сделать вывод о безусловной экологичности предлагаемой разработки.

Технико-экономическое сопоставление предлагаемой разработки проведено по следующим показателям: холодопроизводительности, энергопотреблению, габаритам, массе и относительной холодопроизводительности (отнесенной к энергозатратам, массе и объему оборудования).

Несмотря на довольно высокое энергопотребление, аппарат КОМБИ по показателю Q/N уступает лишь косвенно-испарительным охладителям. Холодопроизводительность на единицу массы у КОМБИ выше, чем у компрессионных кондиционеров, при использовании подпитки из водопроводной сети. При автономном режиме работы этот показатель снижается до уровня кондиционеров БК 2000 и БК 2500. Косвенно-испарительный аппарат, разработанный в ОИИТЭ, отличается самым высоким значением Q/m при подключении к сети, запас же воды делает этот показатель сопоставимым с остальными решениями. Разработка ИТИ "Биотехника" уступает всем рассмотренным решениям по показателям Q/m и Q/v . Система КОМБИ отличается довольно высокими значениями Q/v , уступая по этому показателю только аппарату ОИИТЭ.

В целом можно заключить, что разработанная и исследованная

система КОМБИ отличается высокими удельными характеристиками, практически не имеет климатических ограничений по применению, позволяет значительно экономить электроэнергию, является менее экологически вредной, чем традиционные компрессионные кондиционеры.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Система КОМБИ обеспечивает расширение диапазона кондиционирования в сторону высоких температур и низких влажностей.

2. Система КОМБИ по энергетической эффективности превосходит КОВ и ХМ при $d > 7 \cdot 10^{-3}$ кг/кг.

3. Использование вспомогательного потока и водяного конденсата позволяет сократить объем системы КОМБИ.

4. Холодопроизводительность системы КОМБИ превосходит суммарную холодопроизводительность своих основных частей, КОВ и ХМ.

5. В условиях климата Ирака основной вклад (60 - 75 %) в увеличение холодопроизводительности, снижение энергопотребления и повышение теплотехнической эффективности работы системы КОМБИ вносит использование вспомогательного потока.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Салах Карим, С.Ю.Ларьяновский. Экологические аспекты кондиционирования воздуха в условиях Ближнего Востока. - Тез. докл. на II-й Междунар. конф. "Проблемы экологии и ресурсосбережения для сельскохозяйственных районов и агропромышленных комплексов". - Одесса, 1992.

2. С.Ю.Ларьяновский, Салах Карим. Сокращение энергозатрат при эксплуатации холодильников в климатических зонах с сухим и жарким климатом. - Тез. докл. Межреспубликанской научно-практической конф. "Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки сельскохозяйственной продукции". - Краснодар, 1992 г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

465592

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

h - энтальпия; G - расход потока; C_p - теплоемкость;
 d - влагосодержание; t - температура; β - коэффициент
массоотдачи; α - коэффициент теплоотдачи; ξ - коэффи-
циент аэродинамического сопротивления; Re - число Рейнольдса;
 Nu - число Нуссельта; η - эксергетический к.п.д.; Q -
холодопроизводительность; N - потребляемая мощность; m -
масса; V - объем.

Индексы

о - основной; в - вспомогательный; ж - жидкость,

