

Авторефер
Д42

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

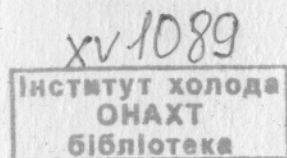
Джомаа Халиль

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА АППАРАТОВ
КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ 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 учёной степени
кандидата технических наук



Одесса - 1992

Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики.

Научные руководители: д.т.н., профессор, академик АН Украины
ЧУМАК И.Г.

к.т.н., доцент ЛАРЬНОВСКИЙ С.М.

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Войтко А.М.,

к.т.н., ст.н.с. Дорошенко А.В.

Ведущая организация: Блотехнический институт Украинской
академии аграрных наук

Защита диссертации состоится "11" мая 1992 г.
в 14 час. 00 мин. на заседании специализированного
совета К.68.27.01 в Одесском институте низкотемпературной
техники и энергетики по адресу: 270100, г.Одесса, ул.Петра Ве-
ликого, 1/3, ОИНТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИНТЭ.

Автореферат разослан "20" апреля 1992 г.

Ученый секретарь специализированного
совета К.68.27.01,
кандидат технических наук, доцент

Р.К. Някульшин

КС
ловин
ней полон
ия требуюто
дгеса 22 закрепляю
планшайбе механи
дуглятора, конструкция
дуглятора, конструкция
дуглятора, конструкция

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Климатические условия арабских стран требуют обязательного кондиционирования воздуха в жилых и служебных помещениях. Возможности машиностроительной отрасли этих стран, в частности Сирии, недостаточны для обеспечения выпуска необходимого количества кондиционеров с машинным охлаждением. Кроме того, кондиционеры с машинным охлаждением конструктивно сложны и, в какой-то мере, являются источником загрязнения окружающей среды.

В связи с этим необходимы альтернативные решения для создания комфортных условий в помещениях, такие, как установки косвенно-испарительного охлаждения (КОВ).

В странах СНГ исследованием и разработкой установок КОВ занимались и занимаются многие ученые. В работах Б.В.Баркалова, Б.Н.Богословского, Л.О.Богуславского, А.А.Гоголина, О.П.Иванова, Е.В.Каргуса, О.М.Кокорина, Б.В.Стефанова, В.С.Майсоценка, А.В.Дорошенко, А.Б.Имермана и др. исследовались закономерности теплообмена между влажной поверхностью и воздухом в каналах различной конфигурации и на основе этих исследований разрабатывались конструкции аппаратов КОВ.

Несмотря на многочисленные исследования процессов теплообмена между водой и воздухом, по-прежнему сохраняются трудности в расчетах коэффициентов обмена в этих процессах, результаты исследований не поддаются широкому обобщению.

Цели и задачи исследования.

1. Разработать метод расчета аппаратов косвенно-испарительного охлаждения воздуха и выбрать рациональные схемы КОВ для применения в различных климатических зонах Арабского мира.

2. Разработать методику оценки их эколого-экономической эффективности.

В соответствии с целями исследования определены задачи работы:

1. Рассмотреть различные схемные решения аппаратов КОВ и выбрать оптимальную схему КОВ для каждой климатической зоны Арабского мира.

2. Провести анализ имеющихся в мировой литературе экспериментальных данных по исследованию аппаратов КОВ и методов их

расчета.

3. Провести теоретический анализ процессов теплообмена между водой и воздухом и на этой основе разработать полуэмпирический метод расчета аппаратов КОВ (метод ε_{φ}).

4. Провести экспериментальное исследование аппаратов КОВ, апробировать на этой основе ε_{φ} - метод расчета.

5. Сопоставить ε_{φ} - метод с существующими.

6. Разработать теоретические основы проектирования различных аппаратов КОВ.

7. Предложить метод оценки экологических характеристик аппаратов КОВ.

Научная новизна работы состоит в том, что на основе термодинамического анализа процессов теплообмена влажного воздуха с влажной поверхностью насадки КОВ создан метод расчета аппаратов КОВ, позволяющий отказаться от расчета коэффициентов массоотдачи, диффузии, перепада парциальных давлений во влажных каналах аппаратов КОВ.

Научные положения, защищаемые в работе.

1. Масса влаги, испарившаяся с поверхности пленки воды во влажных каналах КОВ, может быть определена по способности воздуха, поступающего во влажный канал, усваивать влагу, в зависимости от его относительной влажности и температуры орошающей влажный канал воды при заданной величине теплового потока.

2. Термодинамический анализ процессов теплообмена влажного воздуха и влажной поверхности каналов КОВ позволяет определить "сухую" составляющую общего теплового потока и по её значению рассчитать необходимую поверхность аппаратов КОВ.

Научные результаты.

1. Аппараты КОВ с различными насадками (галетн, галетно-сорбентные, галетно-пластинчатые, с прямоточным, поперечноточным и противоточным движением воздушных потоков) при одинаковом количестве подводимой теплоты к пленке воды имеет одинаковую холодопроизводительность при испарении равных количеств влаги во всмогательных каналах аппаратов.

2. Предложен контрольный метод расчёта коэффициента испарения влаги с поверхности влажных каналов по определяемой величине влажной составляющей общего теплового потока.

3. Разработан метод оценки экологических характеристик аппаратов КОВ.

Практическая ценность работы. Новый метод расчета, основанный на термодинамическом анализе процессов во влажных каналах КОВ, позволит проектировать аппараты КОВ по основному показателю - способности воздуха усваивать влагу в зависимости от количества теплоты, участвующей в процессе теплообмена, и температуры поступающей во влажный канал КОВ воды. Даны рекомендации по применению конкретной конструкции КОВ для различных климатических зон Северной Африки и Юго-Западной Азии и предложена новая методика расчета аппаратов КОВ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на 58 и 59 научно-технической конференции ОИИЭ.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в четырех печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и приложений. Основная часть работы содержит 120 страниц текста, 40 рисунков, 26 таблиц, 10 страниц приложений. Список литературы включает в себя 96 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, дано краткое описание работы, сформулирована цель исследования и содержание защищаемых научных положений.

В первой главе рассматривается состояние вопроса, проведен критический анализ отдельных и совмещенных схем косвенно-испарительного охлаждения, показаны достигнутые в исследованиях величины коэффициентов эффективности аппаратов и температуры приточного воздуха. Описаны конструкции разработанных различными исследователями воздухоохладителей косвенно-испарительного охлаждения и режимы их работы (рис. 1).

В работах В.С.Майсоценко, А.В.Дорошенко, В.П.Тарана, К.И.Ржавишевского и др. получены достоверные зависимости по определению коэффициентов обмена и эффективности работы аппаратов КОВ при различных условиях контактирования сред, что позволяет использовать эти данные для проектирования.

Выбрана оптимальная схема косвенно-испарительного охлаждения для климатических условий арабских стран, обеспечивающая

охлаждение воздуха до точки росы при полном использовании психрометрической разности температур. Показано, что нельзя ограничиваться одной схемой КОВ, выбор схемы зависит от климатических условий региона. В заключении сформулированы задачи настоящего исследования.

Во второй главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований аппаратов КОВ, выполненные в разное время В.С.Майсоенко, К.И.Ряжипшевским, А.Б.Цимерманом, В.А.Тараном, В.К.Карловичем и др.

Исследовались воздухоохладители КОВ с насадками различных типов (гелетно-сорбентными, гелетно-пластинчатыми с проставочными местами, гелетно-пластинчатыми с пористым покрытием, с подвижной насадкой в виде шариков) при разной организации потоков воздуха: с односторонним входом воздуха, со встречными потоками.

Сопоставление этих экспериментальных данных с нашими проведено после экспериментальных исследований на специальном экспериментальном стенде № 3 в ОИНГЭ (рис. 2). На этом стенде исследовали два модуля: гелетно-пластинчатый с пористым покрытием ПП 6П (изготовлен из вертикального гофрированного элемента насадки с регулярной шероховатостью ЗН4-2) и гелетно-пластинчатый с проставочными листами ПП-7 (изготовлен из элемента насадки ЗН4-1).

Указанные выше исследования различными авторами имели своей целью определить эффективность работы различных конструктивных решений устройств КОВ и их насадок в широком диапазоне температур поступающего воздуха от 25°C до 50°C и при его влагосодержании не выше $16 \cdot 10^{-3}$ кг/кг.

Целью наших экспериментов и критического анализа результатов исследований других авторов было определение количества теплоты, воспринятой воздухом во влажных каналах аппарата, независимо от конструкции насадки и схемы организации потоков воздуха, при различной температуре воздуха, поступающего во влажный канал.

Наиболее характерные режимы, которые были нами выбраны для обработки, приведены в таблице I.

Таблица I

Режимы	$G_{\text{в}}$ м ³ /ч	$G_{\text{с}}$ м ³ /ч	$t_1^{\text{н}}$ °C	$t_{1\text{м}}^{\text{н}}$ °C	$t_2^{\text{о}}$ °C	$t_{2\text{м}}^{\text{о}}$ °C	$t_3^{\text{о}}$ °C	$t_{3\text{м}}^{\text{о}}$ °C	Примечания
1. Ряжипшевский К.И.	378	325,8	30,0	16,3	19,6	12,4	19,0	11,0	Модель КОВ гелетно-сорбент.
2. Таран В.А.	500	300	40,3	23,0	31,0	21,0	29,4	26,6	Регенеративный КОВ, $l = 0,45$ м
3. Цимерман А.Б.	300	300	49,9	25,0	19,6	17,2	39,7	31,0	Регенеративный КОВ
4. Майсоенко В.С.	100	100	34,8	21,7	20,5	17,2	29,9	26,0	"-
5. Карлович В.К.	-	6700	25,4	18,1	-	-	24,8	23,8	Испарительный теплообменник с подвижной насадкой
7. Джомая Х.	272	334,4	35,0	18,4	22,1	13,5	21,3	21,3	КОВ с ПП-7

В третьей главе анализируются методы расчета аппаратов косвенно-испарительного охлаждения. Рассмотрен метод расчета косвенно-испарительного воздухоохладителя и регенеративного косвенно-испарительного воздухоохладителя, разработанный профессором В.С.Майсоенко, который включает основные уравнения теплообмена между водой и воздухом, уравнения баланса влаги и теплоты во влажных каналах, зависимости, определяющие величину энтальпии воздуха на выходе из влажных каналов.

При использовании этого метода необходимо знание коэффициентов массоотдачи, потенциала парциальных давлений, температуру стенки канала, парциальные давления в состоянии насыщения при t_2 и t_3 . Это все требует значительного времени и затрудняет расчет. Нами разработана более простая методика, позволяющая по минимальному количеству информации о процессах, определить требуемую поверхность аппарата КОВ. Метод основан на термодинамическом анализе процессов теплообмена влажного воздуха и влажной поверхности насадки (рис. 4).

Рассмотрим такую характеристику влажного воздуха как его энтальпия i . Энтальпия i влажного воздуха зависит от независимых переменных: барометрического давления P , температуры t , относительной влажности φ ; или от P , t и влагосодержания d ; либо от других возможных сочетаний этих величин

$$i = i(P, t, \varphi)$$

$$i = i(P, \varphi, d)$$

Можно сколько угодно малое приращение Δi энтальпии одного килограмма сухого воздуха в тепловлажностном процессе записать в виде

$$\Delta i = \left(\frac{\partial i}{\partial P}\right)_{t,d} \cdot \Delta P + \left(\frac{\partial i}{\partial t}\right)_{P,d} \cdot \Delta t + \left(\frac{\partial i}{\partial d}\right)_{P,t} \cdot \Delta d \quad (1)$$

$$= \left(\frac{\partial i}{\partial P}\right)_{\varphi,d} \cdot \Delta P + \left(\frac{\partial i}{\partial \varphi}\right)_{P,d} \cdot \Delta \varphi + \left(\frac{\partial i}{\partial d}\right)_{P,\varphi} \cdot \Delta d \quad (2)$$

Учитывая, что за сколько угодно малые промежутки времени общее барометрическое давление существенно не изменяется.

Величина $(\partial i / \partial d)_{\varphi}$, именуемая тепловлажностным отношением ε , имеет вид

$$\varepsilon = \frac{\Delta i}{\Delta d} \quad (3)$$

Исходя из уравнения (2)

$$\varepsilon = \varepsilon_{\varphi} + \left(\frac{\partial i}{\partial \varphi}\right)_d \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta d} \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\varphi} = \left(\frac{\partial i}{\partial d}\right)_{\varphi} \quad (5)$

Количество испаряющейся влаги

$$\Delta G = M_B \frac{\Delta i - C_{в,в} \Delta t}{r(t)} \quad (6)$$

$$\Delta G = M_B \frac{\Delta i - \left(\frac{\partial i}{\partial \varphi}\right)_d \cdot \Delta \varphi}{\varepsilon_{\varphi}} \quad (7)$$

Величины $(\partial i / \partial \varphi)_d$, ε_{φ} - термодинамические характеристики влажного воздуха, определяемые его температурой, давлением, относительной влажностью, которые находим по таблицам, либо по формуле

$$\varepsilon_{\varphi} = A_1 + A_2 t + A_3 t^2 + A_4 t^3 + A_5 t^4 + A_6 t^5 + A_7 t^6$$

где A - коэффициент полинома (см. табл.2);
 t - температура поступающей в аппарат воды.

Таблица 2

Интервал температур, °C	Давление, кПа	Коэффициенты полинома						
		A_1	A_2	A_3	A_4	$A_5 \times 10^4$	$A_6 \times 10^4$	$A_7 \times 10^6$
0 - 40	93,31	5887	-217	8,0	-0,208	40	-0,49	0,277
	95,96	5964	-223	8,0	-0,216	42	-0,54	0,326
	98,64	6081	-229	8,4	-0,222	43	-0,56	0,340
	101,31	6179	-235	8,6	-0,224	42	-0,51	0,284
	103,97	6276	-242	8,9	-0,233	45	-0,57	0,344
	106,64	6376	-248	9,1	-0,236	45	-0,55	0,312
	109,31	6470	-254	9,4	-0,249	49	-0,64	0,394

Коэффициенты влагопереноса ξ_d и влаговыпадения ξ

$$\xi_d = \frac{\varepsilon_{\varphi}}{r(t)} \quad (8)$$

$$\xi_d = 1 + Q_{сх} / Q_{вв} \quad (9)$$

$$\xi = 1 + Q_{вв} / Q_{сх} = \xi_d / (\xi_d - 1) \quad (10)$$

Явное количество теплоты

$$Q_{сх} = (\xi_d - 1) Q_{вв}$$

Связь между ξ_d и ξ позволяет рассчитывать аппарат КОБ, не прибегая к определению температур и влагосодержаний, входящих в величину коэффициента влаговыпадения.

Сравнение предложенного метода расчета с другими показано в табл.3. Как видно из табл.3, максимальное расхождение результатов расчетов по ϵ_{φ} - методу с другими по количеству испарившейся влаги лежит в пределах 15%.

Таблица 3

Режимы	Величины	t_1 , °C	ΔG , кг/16ч	$\Delta G_{\epsilon_{\varphi}}$, кг/16ч	$\frac{\Delta G - \Delta G_{\epsilon_{\varphi}}}{\Delta G} \times 100$	ϵ_{φ}^{on}	ϵ_{φ}^p	$\frac{\Delta \epsilon_{\varphi}}{\epsilon_{\varphi}^{on}}$
1. Рзештневский К.И.		30,0	10,7	11,17	4,2	1,600	1,550	-3,20
2. Таран В.А.		40,3	52,3	51,83	-0,8	1,601	1,009	0,80
3. Майсопенко В.С.		34,8	16,07	15,2	-5,0	1,320	1,440	9,00
4. Карлович В.К.		25,4	93,98	85,9	-8,5	0,970	1,030	8,49
5. Джомая Х.		35,0	22,8	22,75	-0,22	1,320	1,330	0,80

В четвертой главе разработана метод оценки эколого-экономических характеристик аппарата РКВ, где использовался критерий эколого-экономической эффективности РКВ (коэффициенты безотходности, вредности, полезности, энергетической вредности) (рис.3) как линейная комбинация положительного, отрицательного экологических эффектов в стоимостном выражении и приведенных затратах.

Показано, что метод регенеративного косвенно-испарительного охлаждения использует в качестве энергоресурса возобновляемый источник - неравновесность окружающей атмосферы, и поэтому реализация его в народном хозяйстве может дать значительный эколого-экономический эффект. Например, использование аппаратов РКВ вместо серийно выпускаемых в настоящее время компрессионных кондиционеров, позволит существенно снизить затраты электроэнергии, черных и цветных металлов, исключить вредные утечки хладагентов в атмосферу. Если у битового воздухоохладителя РКВ величина удельного расхода электроэнергии на производство 1 кВт холода составляет $6 \cdot 10^{-2}$ кВт, то у серийно выпускаемого парокомпрессионного кондиционера она равна $5,3 \cdot 10^{-1}$ кВт, т.е. в 9 раз больше. Таким образом, использование аппаратов РКВ позволит значительно уменьшить косвенное воздействие на окружающую среду электростанций, производящих электроэнергию для генераторов

холода, т.е. это приведет к снижению расхода воды, уменьшению сброса окислов серы и азота, углеводородов, зола, теплоты и других вредных компонентов в окружающую среду.

Анализ экологических характеристик показал, что аппараты РКВ имеют наиболее высокие экологические показатели по сравнению с другими генераторами холода (табл.4). Это объясняется, прежде всего тем, что они используют в качестве энергоресурса природную психрометрическую разность температур.

Таблица 4

Экологические коэффициенты	Кондиционер РКВ	Кондиционер БК-2500
Коэффициент безотходности η_5 , %	18,70	7,55
Коэффициент вредности Z_3 , руб/кВт	0,336	0,511
Коэффициент полезности РКВ относительно БК-2500 Z_n , руб/кВт	0,175	
Энергетический коэффициент вредности η_3 , %	1,39	2,6

В пятой главе проанализированы климатические условия арабских стран и, в частности, Сирии. Анализ основных параметров воздуха в этих странах показал, что по температурно-влажностным режимам они подобны и близки и для них возможно применить эффекты испарительного охлаждения с помощью аппаратов КОВ. Анализ показал, что при $d \approx 13 \cdot 10^{-3}$ кг/кг КОВ обеспечивает допустимые параметры воздушной среды в помещениях (t от 24 до 28 °C, φ от 55 до 75 %). Определены 4 зоны рационального использования воздухоохладителей КОВ для условий Сирии, обеспечивающие нормируемый микроклимат в помещениях: зона рационального использования КОВ; зона, в которой требуется доувлажнение воздуха; зона, в которой КОВ используется как вспомогательное оборудование и зона использования искусственного холода.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. Термодинамический анализ процессов теплообмена между водой и воздухом во влажных каналах аппаратов КОВ позволил разработать новый метод расчета (ϵ_{φ} - метод), дающий

возможность определить поверхность обмена без определения коэффициента массоотдачи, величин перепада парциальных давлений во влажном канале.

2. ξ_{φ} - метод применим для контрольного определения коэффициента массоотдачи в лабораторных исследованиях.

3. Применение КОВ уменьшает потребление электроэнергии в 3 - 8 раз и позволяет создать производство аппаратов на несложных технологических линиях машиностроительных заводов с затратами металла и конструкционных материалов в 3 - 5 раз меньше, чем у серийно выпускаемых паркомпрессионных кондиционеров аналогичной производительности. При этом массогабаритные характеристики находятся в тех же пределах. Анализ экологических характеристик кондиционеров КОВ показал, что, благодаря использованию неравновесности атмосферы в качестве энергоресурса аппаратов КОВ, а также их конструктивной простоте, воздухоохладители КОВ типа имеют более высокие экологические показатели, чем традиционные системы кондиционирования воздуха.

4. Доказана целесообразность использования КОВ для производства холода в условиях Северной Африки и Юго-Западной Азии, оно имеет важное народнохозяйственное значение в связи с созданием и эксплуатацией ресурсосберегающих и природосохранных технологий в технике кондиционирования воздуха и в других областях, нуждающихся в холоде в этих странах. Для условий Сибири определены 4 климатических зоны и указаны возможные варианты использования как косвенно-испарительных воздухоохладителей, так и комбинированных схем, включающих компрессорные холодильные машины.

5. Методика расчета оценки экологических характеристик аппарата РКВ поможет оценить другие аппараты КОВ с помощью экологических показателей.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

J, P, t, φ, d - энтальпия, давление, температура, относительная влажность и влагосодержание воздуха; $\left(\frac{\partial i}{\partial \varphi}\right)_d$ - термодинамические характеристики влажного воздуха; A - коэффициент полинома; ξ, ξ_d - коэффициенты влаговыделения и влагопереноса; G - объемный расход воздуха; M - массовый расход воздуха; ΔQ - количество влаги; Q - количество теплоты; η_s, Z_s, Z_n - коэффициенты безотходности, вредности и полезности; η_o - энергетический коэффициент вредности.

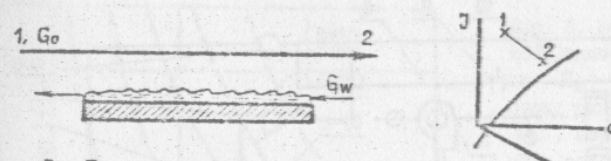


Рис. 1а. Прямое охлаждение воздуха

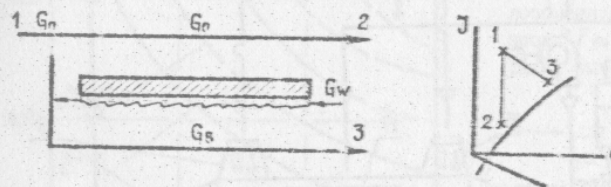


Рис. 1б. Прямоточное косвенно-испарительное охлаждение воздуха

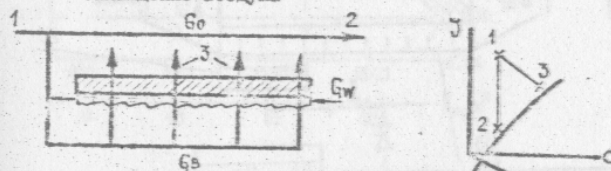


Рис. 1в. Поперечноточное косвенно-испарительное охлаждение воздуха

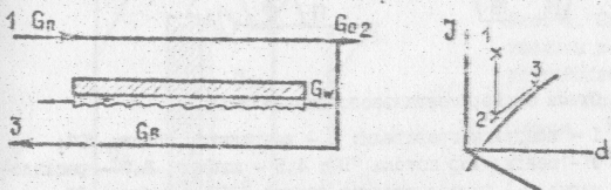


Рис. 1г. Регенеративное косвенно-испарительное охлаждение воздуха

Рис. 1. Основные блок-схемы воздухоохладителей КОВ

- G_o - основной поток воздуха
- G_n - полный поток воздуха
- G_s - вспомогательный поток воздуха
- G_w - водяной поток

xv 1089

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
библиотека

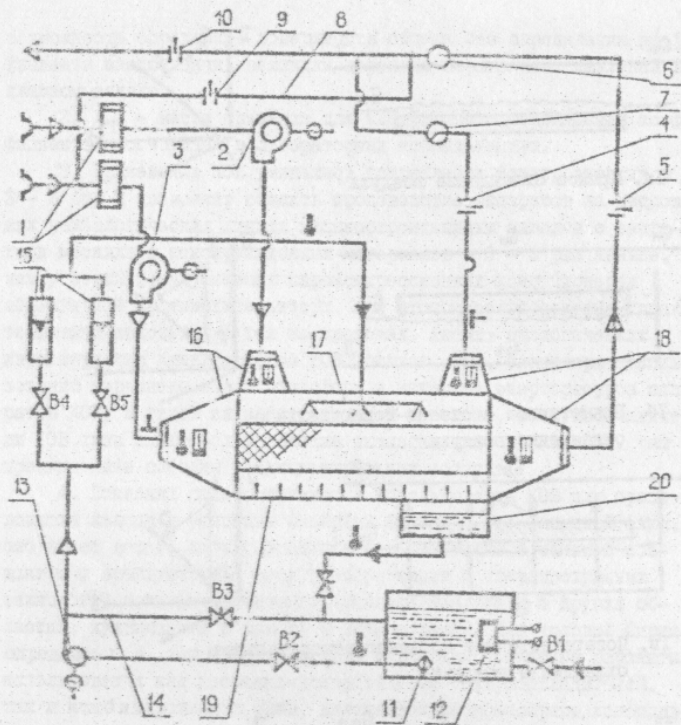


Рис. 2. Схема экспериментального стенда № 3:

1 - воздухонагреватели; 2 - вентилятор потока "С";
 3 - вентилятор потока "В"; 4, 5 - шибера; 6, 7 - расходо-
 меры; 8 - циркуляционная линия; 9, 10 - шибера; 11 - во-
 дяной бак; 12 - водонагреватель; 13 - насос; 14 - бай-
 пасная линия; 15 - блок ротаметров; 16 - входные диф-
 фузоры; 17 - водораспределитель; 18 - выходные диффу-
 зоры; 19 - секционированный поддон; 20 - общий поддон

8801-vx
 МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
 ЦЕНТР
 ИМ. А. А. БУДЫКО

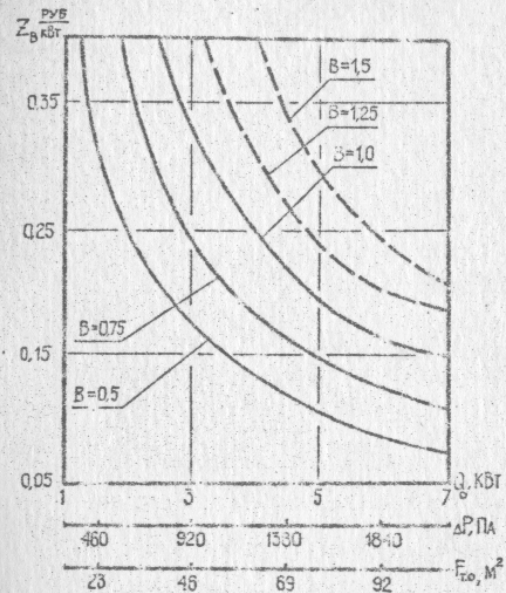


Рис. 3. Зависимости коэффициента вредности Z_B от холодопроизводительности Q_0 , аэродинамического сопротивления ΔP и площади теплообменной поверхности F_{T_0} при различных вредностях

— для кондиционера КВ
 --- для кондиционера ЕК-2500

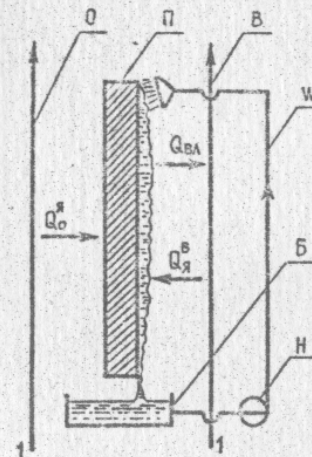


Рис. 4. Схема потоков тепла и массы в устройстве КОВ
 П - поверхность обмена, Н - насос, Б - водяной бак

И н д е к с ы

с - сухой; вл - влажный; м - мокрый; о - основной поток; л - пол-
ный поток; в - вспомогательный поток.
1 - вход сухого теплообмена; 2 - выход сухого теплообмена;
3 - выход влажного теплообмена.

Публикации по материалу, изложенному в
диссертации

1. Таубман Е.И., Майсоценко В.С., Милованова В.В., Джомба
Халиль. Анализ экологических характеристик регенеративного кос-
венно-испарительного воздухоохладителя // Холодильная техника
и технология / Респ. Межвед. науч.-техн. сб. - 1991. - Выпуск
52. - С. 96-101.

2. Джомба Халиль. Новый метод расчета аппаратов КОВ //
Холодильная техника и технология // Респ. Межвед. науч.-техн.
сб. - 1992. - Выпуск 53.

Халиль