

Автореферат  
к 82

Проч. Алексееву В. П.  
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

Аспирант  
КРИЦКИЙ Евгений Данилович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧНОЙ РАБОТЫ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
АВТОНОМНОГО КОНДИЦИОНЕРА**

Специальность 05.04.03 – Гидравлические машины,  
машины и аппараты холодильной и криогенной техники

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

---

На правах рукописи

Аспирант  
**КРИЦКИЙ Евгений Данилович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧНОЙ РАБОТЫ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
АВТОНОМНОГО КОНДИЦИОНЕРА**

Специальность 05.04.03 – Гидравлические машины,  
машины и аппараты холодильной и криогенной техники

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

XV 1196

ИНСТИТУТ ХОЛОДА  
ОНАХТ  
БІБЛІОТЕКА

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте холодильной промышленности (ВНИИХИ)

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор А.А.Гоголин

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,  
профессор В.З.Жадан  
- кандидат технических наук,  
доцент И.М.Шнайд

Ведущее предприятие указано в решении совета

Автореферат разослан " " 1974 г.

1520  
Защита диссертации состоится "20" мая 1974 г. в  
ч. на заседании совета факультетов холодильных машин,  
глубокого холода и криогенной техники Одесского технологичес-  
кого института холодильной промышленности, г.Одесса, ул.Петра  
Великого, 1/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.  
Отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной  
печатью учреждения, просим направить в совет института по  
адресу: 270000, г.Одесса ГСП-387, ул.Петра Великого, 1/3, ОТИХИ.

Ученый секретарь совета факультетов  
доцент

Г.В.Лихницкий

Решениями XXIV съезда КПСС намечено обеспечить значительный подъем уровня жизни советского народа, более полное удовлетворение материальных и культурных потребностей советских людей на основе высоких темпов развития социалистического производства, повышения его эффективности, научно-технического прогресса и ускорения роста производительности труда.

Кондиционирование воздуха, являющееся средством создания искусственных климатических условий в помещениях, относится к числу тех новых отраслей техники, развитие которых должно существенно способствовать реализации этих решений.

Одним из широко распространенных видов оборудования для кондиционирования воздуха являются автономные кондиционеры со встроенной холодильной машиной.

В качестве системы автоматического регулирования заданных параметров в автономных кондиционерах, как правило, применяется наиболее простое и надежное двухпозиционное регулирование температуры и относительной влажности или только температуры воздуха в помещениях.

При таком регулировании в реальных условиях эксплуатации, когда тепловлажностные нагрузки меньше производительности кондиционера, он будет работать циклично, т.е. периодически включаться и выключаться.

При расчетах и выборе автономных кондиционеров, как правило, пользуются основными рабочими характеристиками, относящимися к установившимся режимам работы, тогда как циклическая работа кондиционера характеризуется средними величинами основных характеристик, значительно отличающимися от характеристик стационарной, установившейся работы.

Так, при циклической работе холодильной машины изменяются холодопроизводительность, удельная холодопроизводительность и особенно осушающая способность кондиционера.

Тем не менее, вопросы циклической работы холодильной машины автономного кондиционера, т.е. практически основного режима его работы до настоящего времени фактически не изучены и не исследованы. Отсутствуют методики расчета основных рабочих характеристик холодильных машин автономных кондиционеров и их основных элементов (компрессор, теплообменные аппараты, дроссельные органы и др.) при циклической работе, а также рекомендации по назначению режимов работы, номинальных характеристик, настройке систем автоматического ре-

гулирования заданных параметров, без чего невозможно дальнейшее повышение технико-экономических показателей и эффективности эксплуатации автономных кондиционеров.

В соответствии с этим автор посвятил свою диссертационную работу исследованию факторов, влияющих на характер основных рабочих характеристик и эффективность автономного кондиционера при циклической работе его холодильной машины.

Применительно к автоматизированным холодильным машинам торгового типа основы теории и методики расчета циклической работы были разработаны советскими учеными Б.С.Вейнбергом и В.Б.Якобсоном, при этом они исходили из регулирования по температуре кипения. При работе холодильной машины в составе автономного кондиционера, где регулирование ведется по параметрам воздуха, необходимо установить зависимость параметров циклической работы (частота циклов и коэффициент рабочего времени) от регулируемых параметров воздуха в помещении при разных значениях тепловлажностной нагрузки.

В.Б.Якобсоном было исследовано влияние перетекания жидкого холодильного агента через ТРВ при остановке компрессора на эффективность холодильной машины при циклической работе. Было показано, что нечувствительность ТРВ при остановке компрессора оказывает существенное влияние на снижение экономичности работы автоматизированной холодильной машины и его влияние усиливается при снижении температурного дифференциала.

Одной из основных и важных рабочих характеристик автономного кондиционера является его осушающая способность.

Известны экспериментальные работы американских исследователей *J.G.Janssen*, *P.E.McNall* и *K.Behr* по определению влияния циклической работы холодильной машины комнатного кондиционера на относительную влажность воздуха в помещении. Было показано, что основной причиной снижения осушающей способности кондиционера при циклической работе является испарение влаги с поверхности воздухоохладителя при стоянке компрессора. Приведенные в работе результаты и рекомендации относятся к режимам работы холодильной машины с коэффициентом рабочего времени  $\beta_0 = 0,5$  и требуют всесторонней проверки в широком диапазоне изменения тепловлажностной нагрузки, параметров воздуха и режимов циклической работы холодильной машины кондиционера.

Состояние научной разработки вопросов, относящихся к определению эффективности автономного кондиционера при циклической работе его

холодильной машины предопределило следующие задачи, решению которых посвящена настоящая работа.

1. Анализ основных рабочих характеристик автономного кондиционера - холодопроизводительности, осушающей способности, потребляемой мощности, удельной холодопроизводительности при циклической работе холодильной машины.

2. Установление и анализ зависимости между параметрами циклической работы холодильной машины кондиционера - частотой циклов, коэффициентом рабочего времени и заданными параметрами воздуха в помещении при различных значениях тепловлажностной нагрузки.

3. Определение влияния циклической работы холодильной машины автономного кондиционера на относительную влажность воздуха в помещении.

4. Разработка рекомендаций по выбору режимов циклической работы холодильной машины автономного кондиционера.

Диссертация состоит из введения, 5 глав: I - Состояние вопроса и задачи исследований; II - Теоретический анализ факторов, влияющих на эффективность холодильной машины автономного кондиционера при циклической работе; III - Методика экспериментальных исследований; IV - Результаты экспериментальных исследований; V - Аналитическое определение основных рабочих характеристик автономного кондиционера при циклической работе холодильной машины и выводов.

Исследования проведены применительно к автономным кондиционерам со встроенной холодильной машиной, автоматически поддерживающим заданную температуру воздуха в обслуживаемых помещениях с постоянной подачей обрабатываемого воздуха через воздухоохладитель.

Основными параметрами, характеризующими циклическую работу холодильной машины кондиционера являлись частота циклов  $z = \frac{1}{\Delta\tau}$ ,  $1/\chi$  и коэффициент рабочего времени  $\beta_0 = \frac{\Delta\tau_p}{\Delta\tau}$ , где  $\Delta\tau = \Delta\tau_p + \Delta\tau_n$  - продолжительность цикла, ч;  $\Delta\tau_p$  и  $\Delta\tau_n$  - продолжительности соответственно рабочей и нерабочей частей цикла, ч.

Результаты исследований могут быть также использованы для циклично работающих воздухоохладителей и воздухоосушительных установок систем комфортного и технического кондиционирования воздуха.

В общем случае циклической работы холодильной машины автономного кондиционера после включения компрессора пока температура поверхности воздухоохлаждителя, снижаясь, не станет равной температуре точки росы воздуха перед воздухоохлаждителем  $t_{p1}$ , происходит только охлаждение обрабатываемого воздуха без осушения. Осушение воздуха начинается с момента, когда температура поверхности воздухоохлаждителя становится ниже температуры точки росы  $t_{p1}$  и прекращается, когда температура поверхности после выключения компрессора окажется равной температуре точки росы  $t_{p1}$ . После этого оставшаяся на наружной поверхности воздухоохлаждителя влага начинает испаряться в проходящий через воздухоохлаждитель воздух и вместе с ним поступает в помещение.

Таким образом, на величину одной из основных рабочих характеристик автономного кондиционера — осушающую способность при циклической работе холодильной машины оказывают влияние время, в течение которого температура поверхности воздухоохлаждителя выше температуры точки росы  $t_{p1}$ , и испарение влаги с поверхности воздухоохлаждителя.

При работе автономного кондиционера без рециркуляции воздуха, т.е. только на наружном воздухе, если предположить, что наружная поверхность воздухоохлаждителя не обладает влагоемкостью (вся сконденсировавшаяся влага на такой поверхности сразу же стекает в поддон) в зависимости от величины коэффициента рабочего времени  $\beta_0$  и температуры точки росы  $t_{p1}$  могут быть проанализированы три основных режима циклической работы:

1.  $\beta_0 = \beta'_0$  (рис. I, в). Здесь  $\beta'_0$  (I) — значение коэффициента рабочего времени, когда при любой частоте циклов работы холодильной машины средняя температура поверхности воздухоохлаждителя в начале рабочей части цикла  $t_{H1}$  всегда выше, а в конце  $t_{H2}$  — всегда ниже  $t_{p1}$ .

$$\beta'_0 = \frac{1}{1 + \frac{T_{к.н.}}{T_{к.р.}} \cdot \frac{\xi_m (\xi - 1)}{\xi_m - \xi}}, \quad (1)$$

где  $T_{к.р.}$  и  $T_{к.н.}$  — постоянные времени холодильной машины автономного кондиционера за время рабочей и нерабочей частей цикла, ч;  $\xi$  и  $\xi_m$  — коэффициенты влагосодержания при длительной установившейся работе холодильной машины кондиционера соответственно в расчетном режиме и предельный (при условии  $t_{B1} = t_{M1}$ ):  $t_{B1}$  и  $t_{M1}$  — температуры воздуха перед воздухоохлаждителем соответственно по

сухому и влажному термометрам, °С.

При циклической работе холодильной машины с коэффициентом рабочего времени  $\beta_0 = \beta'_0$  с увеличением частоты циклов  $Z$  температуры поверхности  $t_{H1}$  и  $t_{H2}$  приближаются к  $t_{p1}$  и средняя осушающая способность кондиционера  $W_{ср}$  снижается, стремясь к  $W_{ср} = 0$  при  $Z = \infty$ .

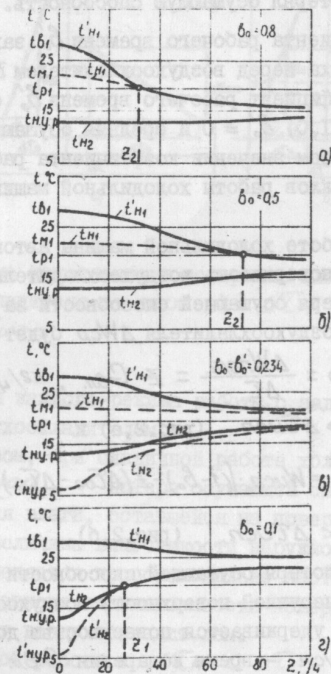


Рис. I. Зависимость средней температуры поверхности воздухоохлаждителя в начале  $t_{H1}$  и в конце  $t_{H2}$  рабочей части цикла от параметров циклической работы холодильной машины  $Z$  и  $\beta_0$

2.  $\beta_0 > \beta'_0$  (рис. I, а и б) — с увеличением частоты циклов температура поверхности воздухоохлаждителя  $t_{H1}$  при некоторой частоте циклов  $Z = Z_2$  станет равна  $t_{p1}$ . Начиная с этой частоты циклов, в течение как рабочей, так и нерабочей частей цикла воздух будет

всегда осушаться, а  $W_{ср}$  несколько повышается. При работе холодильной машины с  $Z \leq Z_2$  с увеличением частоты циклов осушающая способность кондиционера снижается.

3.  $\beta_0 < \beta'_0$  (рис.1, г) – при некоторой частоте циклов  $Z = Z_1$  температура поверхности воздухоохладителя в конце рабочей части цикла  $t_{н2}$  станет равной  $t_{р1}$  и осушение воздуха прекратится – кондиционер полностью потерял осушающую способность.

Величина коэффициента рабочего времени  $\beta'_0$  зависит от температуры точки росы воздуха перед воздухоохладителем  $t_{р1}$  (при  $t_{н1} = const$ ). С увеличением  $t_{р1}$  коэффициент рабочего времени  $\beta'_0$  снижается. При  $t_{р1} = t_{н1}$  (т.е.  $\varphi_{в1} = 1,0$ )  $\beta'_0 = 0$  и средняя осушающая способность кондиционера при любом значении коэффициента рабочего времени с повышением частоты циклов работы холодильной машины будет увеличиваться.

При циклической работе холодильной машины автономного кондиционера, когда наружная поверхность воздухоохладителя обладает влагоемкостью, средняя потеря осушающей способности за счет испарения влаги с поверхности воздухоохладителя  $\Delta W_{ср}$  будет равна

$$\Delta W_{ср} = \frac{\Delta W_{пот.}}{\Delta \tau} = Z \cdot G_{вл.}, \text{ кг/ч} \quad (2)$$

для циклов с  $\Delta \tau_{н} \geq \Delta \tau_{исп.}$  (рис.2, а) и

$$\Delta W_{ср} = W_{исп.} \cdot [(1 - \beta_0) - Z(\Delta \tau_{ос} - \Delta \tau_c)], \text{ кг/ч} \quad (3)$$

для циклов с  $\Delta \tau_{н} < \Delta \tau_{исп.}$  (рис.2, б).

Здесь  $\Delta W_{пот.}$  – потеря осушающей способности за цикл, кг;  $G_{вл.}$  – влагоемкость наружной поверхности воздухоохладителя – количество влаги, которое удерживается поверхностью до начала стекания ее в поддон, кг;  $\Delta \tau_{исп.}$  – время испарения  $G_{вл.}$  кг влаги с поверхности воздухоохладителя при скорости ее испарения  $W_{исп.}$  кг/ч, ч;  $\Delta \tau_c$  и  $\Delta \tau_{ос}$  – продолжительности периодов соответственно рабочей части цикла, когда происходит только охлаждение воздуха и нерабочей, когда воздух еще осушается, ч.

Выражения (2) и (3) получены из допущения, что скорости конденсации  $W_0$  и испарения влаги с поверхности воздухоохладителя  $W_{исп.}$ , учитывая характерные для холодильных машин автономных кондиционеров малые значения постоянных времени частей цикла, – постоян-

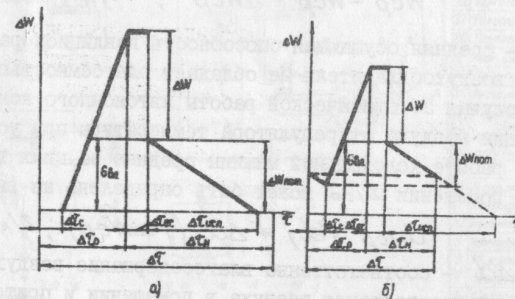


Рис.2. Схема накопления и испарения влаги с наружной поверхности воздухоохладителя за цикл а) -  $\Delta \tau_{н} \geq \Delta \tau_{исп.}$ ; б) -  $\Delta \tau_{н} < \Delta \tau_{исп.}$ .

ные величины для каждого режима работы с заданными параметрами воздуха перед воздухоохладителем.

Таким образом, при циклической работе холодильной машины с  $\Delta \tau_{н} \geq \Delta \tau_{исп.}$  потеря осушающей способности кондиционера за счет испарения влаги, оставшейся на поверхности воздухоохладителя, зависит от величины влагоемкости наружной поверхности воздухоохладителя и изменяется пропорционально частоте циклов. Время  $\Delta \tau_{исп.}$  в свою очередь зависит от влагоемкости поверхности  $G_{вл.}$  и параметров воздуха перед воздухоохладителем.

При циклической работе с  $\Delta \tau_{н} < \Delta \tau_{исп.}$  к началу рабочей части очередного цикла на наружной поверхности воздухоохладителя всегда будет оставаться определенное количество влаги, а потеря осушающей способности  $\Delta W_{ср}$  определяется величиной скорости испарения  $W_{исп.}$  и зависит от коэффициента рабочего времени и разности  $\Delta \tau_{ос} - \Delta \tau_c$ . С увеличением частоты циклов в зависимости от величины коэффициента рабочего времени разность  $\Delta \tau_{ос} - \Delta \tau_c$  может увеличиваться, уменьшаться и даже стать отрицательной. В результате  $\Delta W_{ср}$  соответственно будет уменьшаться или увеличиваться в большей или меньшей степени.

В итоге, средняя осушающая способность кондиционера с учетом потери от испарения влаги с поверхности воздухоохлаждителя

$$W_{ср} = W_{ср} - \Delta W_{ср}, \text{ кг/ч} \quad (4)$$

где  $W_{ср}$  — средняя осушающая способность кондиционера, когда поверхность воздухоохлаждителя не обладает влагоемкостью кг/ч.

Для случая автоматической работы автономного кондиционера без рециркуляции воздуха от регулятора температуры при установившейся циклической работе холодильной машины среднее за цикл влагосодержание воздуха в помещении  $d_{иср}$  может быть определено из выражения

$$d_{иср} = d_1 + \Delta d \cdot (1 - W_{ср}), \text{ г/кг} \quad (5)$$

где  $d_1$  и  $\Delta d$  — соответственно влагосодержание воздуха в помещении и перепад влагосодержания воздуха в помещении и приточного при полной тепловлажностной нагрузке и длительной работе холодильной машины, г/кг;  $W_{ср} = \frac{W_{ср}}{W_0}$  — средняя относительная осушающая способность кондиционера.

Для амплитуды колебания влагосодержания воздуха в помещении за время рабочей (или нерабочей) части цикла было получено выражение

$$\delta d = \chi \cdot \Delta d_k, \text{ г/кг} \quad (6)$$

Здесь  $\Delta d_k$  — перепад влагосодержания воздуха в кондиционере в расчетном режиме работы, г/кг;

$$\chi = \frac{(1 - E_{п.р.})(1 - E_{п.н.})}{1 - E_{п.р.} \cdot E_{п.н.}}; E_{п.р.} = e^{-\frac{v_0}{zT}}; E_{п.н.} = e^{-\frac{1-v_0}{zT}};$$

$$T = \psi' \frac{G_n}{G_b}, \text{ ч};$$

$G_n$  — масса воздуха в объеме помещения, кг;  $G_b$  — подача кондиционера, кг/ч;  $\psi'$  — опытный коэффициент, учитывающий долю объема воздуха помещения, участвующую в процессе.

Из условия  $\frac{d(\delta d)}{d v_0} = 0$  определено, что максимального значения амплитуда колебания воздуха в помещении достигает при циклической работе холодильной машины кондиционера с коэффициентом рабочего времени  $v_0 = 0,5$ .

Экспериментальное определение основных рабочих характеристик автономного кондиционера при циклической работе холодильной машины (средние холодопроизводительность  $Q_{ср}$ , осушающая способность  $W_{ср}$ , потребляемая мощность  $N_{ср}$ , удельная холодопроизводительность  $N_{ср}$ ),

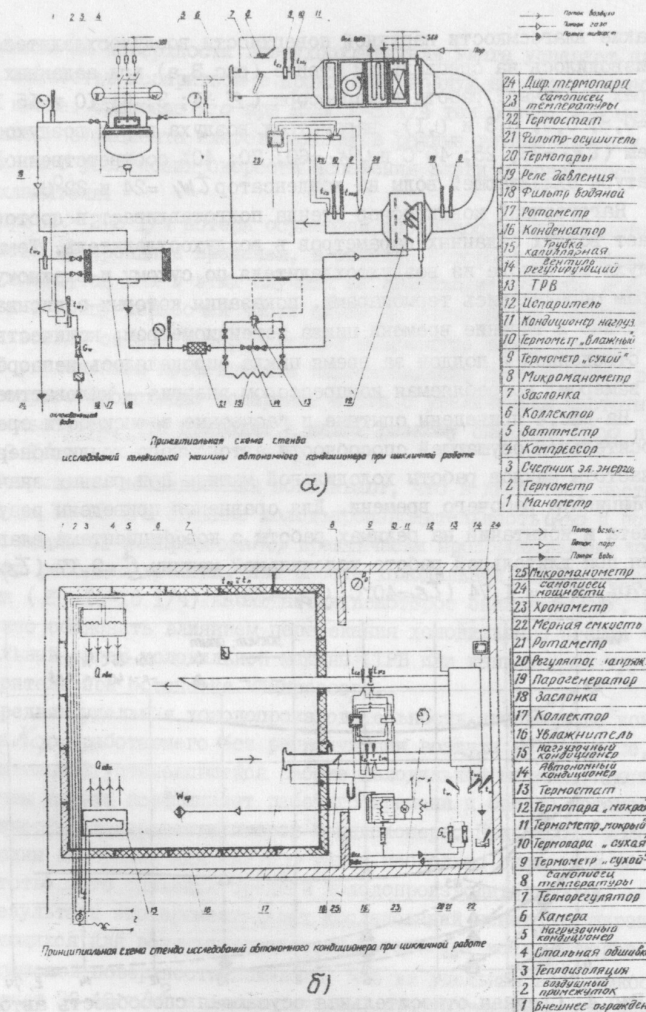


Рис.3. а) — принципиальная схема стенда исследований холодильной машины автономного кондиционера при циклической работе; б) — принципиальная схема стенда исследований циклической работы автономного кондиционера при автоматическом поддержании заданной температуры воздуха в помещении.

а также влагосмкости наружной поверхности воздухоохладителя производилось на специальном стенде (рис.3,а) при заданных параметрах циклической работы компрессора ( $Z = 1; 3; 6; 10$  и  $15$  I/ч и  $\beta_c = 0,8; 0,5; 0,3$  и  $0,1$ ), параметрах воздуха перед воздухоохладителем ( $t_{в1} = 23; 25; 40^\circ\text{C}$  и  $\varphi_{в1} = 60; 70; 40\%$  соответственно) и температуре охлаждающей воды на конденсатор  $t_{w1} = 24$  и  $32^\circ\text{C}$ .

Нагрузочный кондиционер стенда подготавливает и постоянно подает воздух заданных параметров в воздухоохладитель. Температуру воздуха на выходе из воздухоохладителя по сухому и влажному термометрам определялись термопарами, показания которых записывались постоянно в течение времени цикла потенциометром; количество влаги, отведенной в поддон за время цикла определялось непосредственным замером; потребляемая компрессором энергия – киловаттметром.

На рис.4 приведены опытные и расчетные зависимости средней относительной осушающей способности автономного кондиционера  $\bar{W}_{ср}$  от частоты циклов работы холодильной машины при разных значениях коэффициента рабочего времени. Для сравнения приведены результаты расчета и испытаний на режимах работы с коэффициентами влаговыведения при длительной работе холодильной машины  $\xi = 2,17$  ( $t_{в1} = 28^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{в1} = 70\%$ ) и  $\xi = 1,74$  ( $t_{в1} = 40^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{в1} = 45\%$ ).

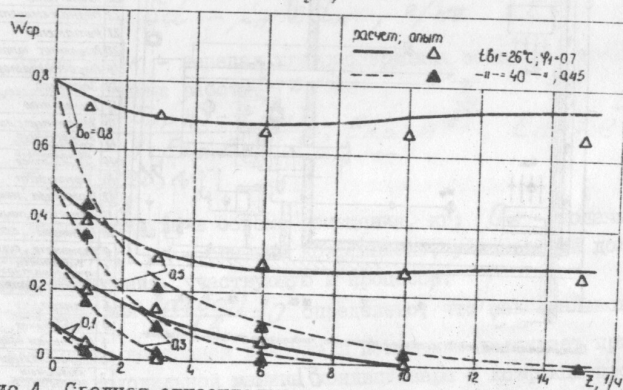


Рис.4. Средняя относительная осушающая способность автономного кондиционера

Наиболее резкое снижение осушающей способности происходит при работе холодильной машины с частотой циклов  $Z \leq 2-3$  I/ч, когда на-

копившаяся на поверхности воздухоохладителя влага успевает практически полностью испариться в проходящий воздух за время нерабочей части цикла. Снижение  $\bar{W}_{ср}$  при  $Z \leq 2-3$  I/ч тем резче, чем меньше значение коэффициента влаговыведения в режиме установившейся работы, за счет увеличения скорости испарения влаги с поверхности воздухоохладителя.

При  $Z > 2-3$  I/ч потеря осушающей способности определяется скоростью испарения и временем, в течение которого происходит испарение влаги, так как в этих случаях не происходит полного испарения влаги и к концу нерабочей части цикла на поверхности воздухоохладителя всегда остается определенное количество влаги (см.рис.2,б).

С увеличением коэффициента влаговыведения для времени, в течение которого происходит испарение влаги с увеличением частоты циклов уменьшается, что приводит к менее резкому снижению  $\bar{W}_{ср}$  при  $Z > 2-3$  I/ч.

Результаты исследований показывают, что в диапазоне частот циклов до  $10-15$  I/ч средние холодопроизводительность  $\bar{Q}_{ср}$  и потребляемая мощность компрессора  $\bar{N}_{ср}$  практически пропорциональны коэффициенту рабочего времени. При работе холодильной машины короткими циклами ( $Z = 10-15$  I/ч) наблюдается некоторое снижение  $\bar{Q}_{ср}$ , которое можно объяснить влиянием перетекания холодильного агента через дроссельный орган холодильной машины (ТРВ или капиллярная трубка) в испаритель при остановке компрессора.

Средняя удельная холодопроизводительность автономного кондиционера  $\bar{K}_{ср}$ , работающего без рециркуляции воздуха всегда ниже, чем при длительной установившейся работе холодильной машины.  $\bar{K}_{ср}$  тем ниже, чем меньше коэффициент рабочего времени и больше установленная мощность электровентиляторов кондиционера. При работе холодильной машины короткими циклами  $\bar{K}_{ср}$  также несколько снижается за счет соответствующего снижения средней холодопроизводительности.

Результаты экспериментальных исследований некоторых широко применяющихся для воздухоохладителей автономных кондиционеров типов ребристой поверхности показали, что их удельная влагосмкость составляет  $30-40$  г/м<sup>2</sup> и соответствует средней толщине слоя влаги на увлажненной поверхности  $0,03-0,04$  мм. Исследовались плоско-пластинчатая поверхность с шагом ребер от  $2,3$  мм до  $5$  мм и спирально-го типа с шагом  $2,8$  и  $3,3$  мм.

При работе автономного кондиционера с рециркуляцией воздуха температура точки росы воздуха в помещении, а следовательно и перед воздухоохладителем кондиционера постоянно изменяется за время цикла и это обстоятельство, как подтвердилось в дальнейшем, в значительной степени изменяет характер влияния циклической работы холодильной машины на осушающую способность кондиционера.

Испытания проводились на специальном стенде (рис.3,б), состоящем из испытательной камеры (объем 75 м<sup>3</sup>) с наружной теплоизоляцией и внутренней цельносварной стальной тонкостенной обшивкой, автономного кондиционера холодопроизводительностью 12 кВт, нагрузочных кондиционеров и парового увлажнителя при разных значениях тепловлажностной нагрузки помещения ( $x=1,0-0$  и  $y=1,0-0,25$ , где  $x$  и  $y$  - отношения частичных тепловой и влажностной нагрузок помещения соответственно к номинальным). Величина дифференциала терморегулятора изменялась в пределах  $2\theta=5,0-0,6^{\circ}\text{C}$ .

Изменение параметров воздуха в камере и приточного за время цикла определялось по показаниям сухой и влажной термпар во всасывающем и нагнетательном воздуховодах кондиционера. Показания термпар записывались потенциометром; количество высвободившейся влаги из обрабатываемого воздуха за время цикла определялось непосредственно замером конденсата; потребляемая компрессором энергия - счетчиком электроэнергии. Кондиционер работал с полной рециркуляцией воздуха.

Характер изменения температур точки росы рециркуляционного и приточного воздуха показывает, что при работе холодильной машины длинными циклами ( $Z < 1,5 - 2$  I/ч) средняя за цикл относительная влажность воздуха в помещении  $\varphi_{\text{ср}}$  дополнительно повышается за счет испарения влаги с поверхности воздухоохладителя при остановке компрессора (рис.5). При увеличении частоты циклов работы холодильной машины количество испарившейся влаги с поверхности воздухоохладителя уменьшается и при  $Z \geq 2-3$  I/ч практически прекращается, т.к. температура точки росы приточного воздуха за время нерабочей части цикла уже не успевает уравниваться с температурной точки росы рециркуляционного воздуха. Дальнейшее увеличение частоты циклов приводит к снижению  $\varphi_{\text{ср}}$ , т.к. температура точки росы приточного воздуха уже всегда ниже температуры точки росы рециркуляционного воздуха.

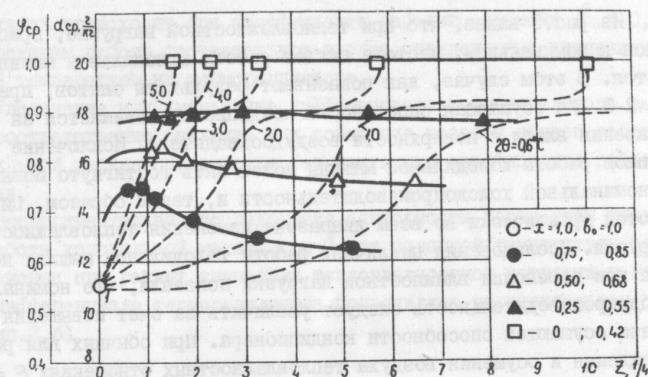


Рис.5. Зависимость средней относительной влажности воздуха в помещении от параметров циклической работы холодильной машины автономного кондиционера

Опытные амплитуды колебания относительной влажности воздуха в помещении  $\delta\varphi$  при работе холодильной машины с частотой циклов  $Z > 2-3$  I/ч практически совпадают с расчетными, за исключением режимов с малым значением тепловой нагрузки ( $x < 0,3-0,25$ ), когда уже наблюдается процесс конденсации влаги в помещении. При работе холодильной машины кондиционера длинными циклами ( $Z < 2-3$  I/ч) амплитуда колебания относительной влажности  $\delta\varphi$  увеличивается за счет испарения влаги с поверхности воздухоохладителя при остановке компрессора.

С другой стороны, результаты исследований показывают, что автономный кондиционер, работающий с рециркуляцией воздуха и автоматически поддерживающий только заданную температуру воздуха в помещении, поддерживает также относительную влажность воздуха в определенных пределах и при циклической работе холодильной машины. Наиболее благоприятными режимами работы холодильной машины при этом следует считать циклическую работу с частотой циклов  $Z \geq 3-4$  I/ч. В этом случае отсутствует испарение влаги с поверхности воздухоохладителя, а амплитуда колебания относительной влажности воздуха в помещении  $\delta\varphi \leq 10\%$ .

Из рис.5 видно, что при тепловлажностной нагрузке, приближающейся к номинальной, частота циклов работы холодильной машины снижается. В этом случае, как показывают результаты опытов, при  $Z < 2-3$  1/ч осушающая способность кондиционера снижается за счет испарения влаги с поверхности воздухоохлаждителя. Исключение таких режимов работы холодильной машины может быть достигнуто повышением ее номинальной холодопроизводительности и, таким образом, циклической работой практически во всем диапазоне изменения тепловлажностной нагрузки. Исследования циклической работы холодильной машины кондиционера при изменении влажностной нагрузки показали, что номинальную холодопроизводительность следует увеличить за счет повышения в 1,5-2 раза осушающей способности кондиционера. При обычных для режимов охлаждения и осушения воздуха тепловлажностных отношениях  $\varepsilon = 5000-40000$  кДж/кг номинальная холодопроизводительность кондиционера должна быть на 20-30% выше расчетной тепловлажностной нагрузки, а коэффициент рабочего времени в расчетном режиме -  $\beta_0 = 0,75-0,85$ . Средняя относительная влажность воздуха в помещении в этом случае при полной тепловлажностной нагрузке не будет выше расчетной.

Используя зависимости теории двухпозиционного регулирования, выражение частоты циклов работы холодильной машины автономного кондиционера может быть представлено в следующем виде

$$Z = \frac{t_{y.n.} - t_{y.p.}}{2\theta T_n} \cdot \frac{\beta_0(1-\beta_0)}{\beta_0 + \frac{T_p}{T_n} \cdot (1-\beta_0)}, \quad 1/4 \quad (7)$$

где  $t_{y.p.}$  и  $t_{y.n.}$  - установившиеся температуры воздуха в помещении соответственно при работающей и неработающей холодильной машине кондиционера, °С;  $2\theta$  - температурный дифференциал терморегулятора, °С;  $T_p$  и  $T_n$  - постоянные времени помещения соответственно рабочей и нерабочей частей цикла, ч.

Выражение (7) позволяет определить частоту циклов работы холодильной машины кондиционера при любом значении тепловлажностной нагрузки, а также величину температурного дифференциала терморегулятора, при котором обеспечивается заданная частота циклов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что для каждого заданного значения тепловлажностной нагрузки работа холодильной машины кондиционера с максимальной частотой

циклов происходит при коэффициенте рабочего времени  $\beta_0 \approx 0,5$ . Этим режимам работы соответствуют вполне определенные значения заданной температуры на терморегуляторе.

Увеличение или уменьшение дифференциала терморегулятора вызывает соответственно снижение или повышение частоты циклов работы холодильной машины практически без изменения коэффициента рабочего времени.

Экспериментальные исследования зависимости параметров циклической работы холодильной машины  $Z$  и  $\beta_0$  от заданной температуры воздуха в помещении при разных значениях тепловлажностной нагрузки и величины дифференциала терморегулятора проводились на специальном стенде (рис.3,б).

Результаты исследований внедрены при создании ряда автономных кондиционеров типа "Нептун" для судов с неограниченным районом плавания.

Ряд включает кондиционеры "Нептун-18", "Нептун-36", "Нептун-72" и "Нептун-125" холодопроизводительностью соответственно 2,1; 4,2; 8,4 и 14,5 кВт (1800; 3600; 7200 и 12500 ккал/ч) при  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  и  $t_k = 42^\circ\text{C}$ .

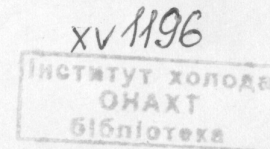
Результаты проведенных исследований по определению эффективности автономного кондиционера при циклической работе холодильной машины, особенно его осушающей способности, позволили значительно упростить систему автоматического регулирования кондиционеров "Нептун", отказавшись от применения такого сложного в конструктивном отношении, эксплуатации и обслуживании прибора, как влагорегулятор.

Кондиционеры "Нептун" успешно прошли опытную эксплуатацию на судах неограниченного плавания, в том числе и в районах с тропическим климатом, и в настоящее время поставляются для нужд флота.

## ВЫВОДЫ

1. Теоретические и экспериментальные исследования влияния циклической работы холодильной машины на основные характеристики автономного кондиционера, работающего без рециркуляции воздуха, показали:

а) в диапазоне частот циклов до 10-15 1/ч средняя холодопроизводительность и потребляемая мощность холодильной машины практически пропорциональны коэффициенту рабочего времени;



б) средняя удельная холодопроизводительность автономного кондиционера  $K_{ср}$  всегда ниже, чем при длительной установившейся работе холодильной машины.  $K_{ср}$  тем ниже, чем меньше коэффициент рабочего времени и больше потребляемая мощность электровентилятора;

в) средняя осушающая способность кондиционера  $W_{ср}$  также зависит от коэффициента рабочего времени, но с увеличением частоты циклов, как правило падает. Падение  $W_{ср}$  происходит, в основном, за счет испарения влаги с поверхности воздухоохладителя при остановках компрессора и при работе холодильной машины длинными циклами ( $Z \leq 2-3$  I/ч) определяется величиной влагоемкости наружной поверхности воздухоохладителя.

Характер снижения  $W_{ср}$  зависит от величины коэффициента влаговыпадения, т.е. от параметров обрабатываемого воздуха. Чем ниже коэффициент влаговыпадения, тем резче снижение  $W_{ср}$  с увеличением частоты циклов работы холодильной машины.

2. Предложенные расчетные методики позволили определить основные рабочие характеристики автономного кондиционера без рециркуляции воздуха при циклической работе холодильной машины.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных подтверждают возможность использования предложенных методик для инженерных расчетов.

3. Исследования холодильной машины автономного кондиционера, работающего с рециркуляцией воздуха показали, что снижение осушающей способности кондиционера за счет испарения влаги с поверхности воздухоохладителя происходит при работе длинными циклами ( $Z \leq 1,5 - 2$  I/ч). С увеличением частот циклов испарение влаги прекращается, а осушающая способность кондиционера несколько увеличивается.

4. При циклической работе холодильной машины автономного кондиционера, работающего с рециркуляцией воздуха и автоматически поддерживающего только заданную температуру воздуха в помещении, наиболее высокая средняя относительная влажность воздуха в помещении (при  $\varphi_0 = Const$ ) устанавливается при  $Z \leq 1,5-2$  I/ч). С увеличением частоты циклов средняя относительная влажность воздуха в помещении снижается.

Амплитуда колебания относительной влажности воздуха в помещении за цикл зависит от величины дифференциала терморегулятора. С увеличением дифференциала терморегулятора амплитуда колебания относительной влажности за цикл также увеличивается.

5. Наиболее благоприятными условиями для поддержания относительной влажности воздуха в помещении в допустимых пределах, когда автономный кондиционер автоматически поддерживает только заданную температуру, являются следующие:

а) работа автономного кондиционера с высокой степенью рециркуляции;

б) номинальная осушающая способность кондиционера в 1,5-2 раза выше расчетной влажностной нагрузки помещения, т.е. при тепло-влажностных отношениях  $E = 5000 - 40000$  кДж/кг, номинальная холодопроизводительность кондиционера на 20-30% выше расчетной тепловой нагрузки. Коэффициент рабочего времени в расчетном режиме при этом  $\varphi_0 = 0,75 - 0,85$ ;

в) холодильная машина кондиционера в заданном диапазоне изменения тепловлажностной нагрузки помещения должна работать с частотой циклов не ниже 3-4 I/ч.

6. Предложенная методика определения параметров циклической работы холодильной машины кондиционера  $Z$  и  $\varphi_0$  подтверждена результатами опытов в широком диапазоне изменения тепловлажностной нагрузки и температур воздуха и может быть использована для инженерных расчетов.

7. Результаты исследований позволили значительно упростить систему автоматического регулирования судовых автономных кондиционеров типа "Нептун" за счет отказа от применения сложного дорогостоящего и мало надежного прибора - влагорегулятора.

Материалы диссертации докладывались на V Всесоюзной научно-техническом совещании по кондиционированию воздуха промышленных, общественных и жилых зданий в г.Баку (1970г.), на Республиканской научной конференции "Повышение эффективности процессов и оборудования холодильной и пищевой промышленности" в г.Ленинграде (1971г.) и изложены в работах:

1. Крицкий Е.Д. Новые судовые автономные кондиционеры. "Холодильная техника", 1968, № 10.

2. Крицкий Е.Д. Влияние циклической работы на осушающую способность автономного кондиционера. "Холодильная техника", 1970, № 9.

3. Крицкий Е.Д. Основные характеристики автономного кондиционера при циклической работе. "Холодильная техника", 1971, № 12.

4. Крицкий Е.Д. Исследование осушающей способности автономного кондиционера при его циклической работе. Сб. "Кондиционирование воздуха", ЛТИХП, Л., 1972.

5. Крицкий Е.Д. Влияние циклической работы автономного кондиционера на относительную влажность воздуха в помещении. "Холодильная техника", 1972, № 5.

6. Крицкий Е.Д. и др. Свидетельство на промышленный образец "Автономный кондиционер "Нептун-18", № 97, 1966.

Л-89092. Подп. к печ. 28/1-1974 г.

Зак. № 24. Тир. 200 экз.

ПМУ Опытного завода ВНИИХИ