

Автореферат
Р15

проф. Герману Л.В.
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи
Для служебного пользования

Экз. № 000079

РАДКОВСКИЙ Олег Владимирович

УДК 621.565.4:62-5

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

xv 985

Одесса - 1987

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
Бібліотека

Работа выполнена в Одесском технологическом институте холодильной промышленности

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Кузнецов А.П.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор Бухарин Н.Н.
- доктор технических наук,
профессор Коханский А.И.

Ведущая организация: филиал ЦИАМ им. П.И.Баранова,
г.Лыткарино Московской области.

Защита состоится "16" ноября 1987г. в 11 часов
на заседании специализированного совета К.068.27.01 при Одесском
технологическом институте холодильной промышленности по адресу:
270057, г.Одесса, ул. Петра Великого, 1/3, ОТИХП.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "12" октября 1987г.

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

Р.К. Никульшин

20/29 ДСП

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года, в Комплексной программе научно-технического прогресса стран-членов СЭВ до 2000 года поставлены ответственные задачи по всемерной экономии топливно-энергетических ресурсов, существенному повышению эффективности энергоемких производств на основе их комплексной автоматизации с широким применением ЭВМ и средств микропроцессорной техники.

Для удовлетворения растущей потребности экономики в искусственном холоде все шире применяются ДХТУ большой единичной мощности при температурах кипения 223-283К, нашедшие широкое применение в газовой, химической, нефтеперерабатывающей отраслях промышленности, а также на предприятиях Минавиапрома для испытания авиационных двигателей и их элементов, требующих больших расходов холодного осушенного воздуха. ДХТУ, используемые в системах охлаждения сжатого воздуха на предприятиях Минавиапрома, характеризуются высокой сложностью, потребляют мощность, измеряемую тысячами кВт, и с полным основанием могут быть отнесены к категории наиболее энергоемких производств, расходующих большое количество электроэнергии и охлаждающей воды.

Рост мощности современных авиационных двигателей потребовал увеличения расходов и снижения конечных температур холодного осушенного воздуха и сделал необходимой реконструкцию ДХТУ ДР-IV, работающих на R12, разработку и внедрение новых ДХТУ ДР-IV-2А, работающих на R22, а также исследование статических режимов их работы в широком диапазоне изменений параметров охлаждаемого воздуха и охлаждающей воды при различных способах регулирования производительности ЦБК.

Наличие широкого диапазона тепловых нагрузок, различных управляющих воздействий, ограничений по конечным температурам охлаждаемого воздуха, значительных внутренних и внешних возмущений в процессе эксплуатации ДХТУ, приводящих к нарушениям режима и ухудшению технико-экономических показателей при высокой стоимости потерь делает создание системы оптимального управления с помощью ЭВМ статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, предназначенных для охлаждения и осушения сжатого воздуха, важной и актуальной задачей, успешное решение которой позволило бы значительно повысить энергетическую эффективность данного класса машин.

Цель работы. Целью настоящей работы является повышение энергетической эффективности ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV на основе создания системы оптимального управления с помощью МЭВМ статическими режимами их работы, а также исследование данных ДХТУ в широком диапазоне изменений тепловых нагрузок при различных внешних условиях и способах регулирования их характеристик и параметров.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику и алгоритм решения задачи оптимального управления с помощью МЭВМ статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV.

2. Разработать ММ для расчета статических режимов работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV и их составных элементов.

3. Экспериментально проверить адекватность разработанных ММ.

4. Определить статические характеристики ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV и их составных элементов в широком диапазоне тепловых нагрузок. Исследовать влияние начальных параметров воздуха и охлаждающей воды на энергетические и режимные показатели работы данных ДХТУ.

5. Сравнить энергетическую эффективность различных способов регулирования характеристик и параметров ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV и выбрать оптимальный.

Научная новизна работы заключается в постановке, обобщении и решении задачи оптимального управления с помощью МЭВМ статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, предназначенных для охлаждения и осушения потоков сжатого воздуха, разработке ММ для расчета статических характеристик данных ДХТУ в широком диапазоне тепловых нагрузок при различных способах регулирования производительности ЦБК; впервые определены статические характеристики ДХТУ ДР-IV-2А, реконструированных ДХТУ ДР-IV и их составных элементов в широком диапазоне изменений параметров воздуха и охлаждающей воды.

Научные положения, защищаемые в работе.

1. Наличие характеристических поверхностей ДХТУ, предназначенных для охлаждения сжатого воздуха, имеющих единственную точку минимальной энергетической эффективности, которая соответствует минимально возможным значениям углов поворота лопаток диффузоров в НТС и ВТС ЦБК для любого требуемого по условиям эксплуатации режима работы позволяет с помощью МЭВМ осуществить оптимальное управление статическими режимами данных установок.

2. При наличии широкого диапазона тепловых нагрузок, изменений и нарушений эксплуатационных режимов работы, ограничений по ко-

нечным температурам охлаждаемого продукта и различных управляющих воздействий экономичным и надежным способом оптимального управления с помощью МЭВМ статическими режимами работы ДХТУ будет комбинация из двух способов управления: способа сравнения с заданным значением и способа пробного поиска.

3. При работе ЦБК ДХТУ в области частичных нагрузок при степенях сжатия в НТС и ВТС ЦБК значительно более низких, чем на режимах с максимальными адиабатическими КПД экономичность регулирования поворотом лопаток диффузоров в НТС и ВТС ЦБК может быть значительно повышена, если одновременно осуществляется регулирование дросселированием на всасывании.

Основные научные результаты, полученные в работе.

1. Разработана система оптимального управления с помощью МЭВМ статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, которая позволяет обеспечивать не только требуемую конечную температуру охлаждаемого продукта в широком диапазоне изменения тепловых нагрузок, но и высокую энергетическую эффективность их работы.

2. Созданы ММ для расчета статических режимов работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV и их составных элементов в широком диапазоне изменений тепловых нагрузок.

3. Установлено, что оптимальные статические режимы работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV носят индивидуальный характер и зависят от начальных температур и расходов воздуха и охлаждающей воды, расходов рассолов в теплообменных аппаратах НТС и ВТС, начальных влажностей воздуха и требуемых по условиям эксплуатации его конечных температур. Применяемые в настоящее время АСР, построенные на базе изодромных регуляторов, для поддержания постоянного давления кипения в испарителях ДХТУ не учитывают перечисленных факторов и, следовательно, не могут обеспечить оптимального управления статическими режимами работы данных ДХТУ.

4. Установлено, что статические режимы работы кожухотрубных конденсаторов в составе ДХТУ в широком диапазоне изменений тепловых нагрузок и расходов охлаждающей воды характеризуются наличием зон сильного и слабого влияния расхода охлаждающей воды на температуру конденсации, на границе которых целесообразно выбирать его оптимальное значение.

5. С помощью разработанных ММ впервые определены статические характеристики ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, их составных элементов и исследовано влияние начальных параметров воздуха (G_a , T_{a1} , α_{a1}) и

охлаждающей воды (G_w и T_{w1}) на энергетические и режимные показатели их работы.

6. Разработаны рекомендации, направленные на снижение удельных расходов электроэнергии и охлаждающей воды при эксплуатации ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV в широком диапазоне тепловых нагрузок, и установлены законы их экономичного перехода с одного режима работы на другой.

Практическая ценность и внедрение. Проведенные исследования статических режимов работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV в широком диапазоне тепловых нагрузок позволили определить предельные возможности данных ДХТУ по холодному осушенному воздуху, а также сформулировать рекомендации по повышению их энергетической эффективности. Разработанная система и способ оптимального управления статическими режимами ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, а также ММ данных ДХТУ отличаются высокой универсальностью и могут быть использованы для оптимального управления и исследования различных типов ХТУ с различными способами регулирования производительности ЦБК, при работе на различных агентах, что делает возможным их широкое применение в АСУ ХТУ.

Результаты проведенных исследований внедрены на предприятии п/я В-2636 (г.Лыткарино). Экономический эффект от внедрения разработанной системы оптимального управления статическими режимами работы ДХТУ на 8 действующих ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV предприятия п/я В-2636 составит 118 тыс.руб/год. Отдельные результаты работы использованы в НПО "Кислородмаш" (г.Одесса) при создании систем предварительного охлаждения сжатых газов в криогенных установках.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинарах кафедры компрессоростроения ЛПИ им. М.И.Калинина, филиала ЦИАМ им.П.И.Баранова, Межреспубликанских научно-технических конференциях студентов и молодых специалистов "Технико-экономическое совершенствование компрессорных и вакуумных машин и пневмоагрегатов" (г.Краснодар, 1983), "Повышение технического уровня компрессорных, холодильных и вакуумных машин" (Одесса, 1986), Всесоюзной научно-технической конференции "Интенсификация производства и применения искусственного холода" (г.Ленинград, 1986), ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ОНХП (1983-1987гг.).

Публикации. Материалы работы опубликованы в 5 статьях и 2 тезисах докладов на Межреспубликанской и Всесоюзной научно-технических конференциях.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы (115 источников) и 4 приложений. В ней содержится 125 страниц основного текста, 32 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы, посвященной вопросам применения МЭВМ и микропроцессоров в системах управления ХТУ большой единичной мощности и разработке ММ для расчета их статических режимов работы. Анализ технологических особенностей эксплуатации ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV на предприятиях Минавиапрома показал, что в зависимости от требований потребителей охлаждаемого воздуха необходимо обеспечивать строго заданную конечную температуру воздуха при различных начальных параметрах воздуха (G_a , T_{a1} , p_{a1} , α_{a1}) и охлаждающей воды (G_w , T_{w1}), которые могут изменяться в широких пределах. Применяемые в настоящее время АСР, построенные на базе изодромных регуляторов, для поддержания постоянного давления кипения в испарителях ДХТУ при ручной настройке их оператором гарантируют в лучшем случае лишь получение требуемой конечной температуры охлаждаемого продукта, но не гарантируют при этом оптимальных параметров эксплуатации ДХТУ, что приводит к большим энергетическим потерям. В результате обобщения накопленного опыта эксплуатации и управления данным типом ДХТУ, с учетом технологических особенностей их работы на предприятиях Минавиапрома, формируются основные задачи исследования, конечной целью которых является повышение энергетической эффективности ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV в системах охлаждения сжатого воздуха.

Вторая глава посвящена разработке ММ для расчета статических режимов работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV и их составных элементов в широком диапазоне тепловых нагрузок, определению и анализу статических характеристик отдельного оборудования данных ДХТУ. Моделирование таких сложных систем, как ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV (принципиальная схема и цикл работы которых в диаграмме $i-p$ изображены на рис.1) проводится на основе системного подхода, при этом ДХТУ рассматриваются как сложные системы, в состав которых входит определенный набор элементов. Блок-схема ММ для расчета статических режимов работы исследуемых ДХТУ представлена на рис.2. Определение и анализ статических характеристик отдельного оборудования ДХТУ производились по следую-

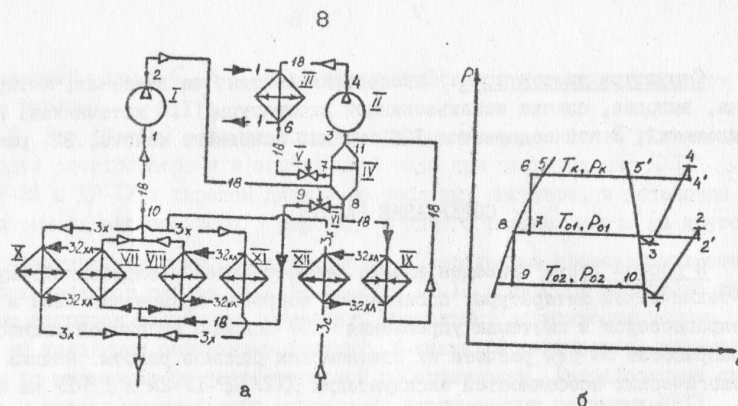


Рис.1. Принципиальная схема ДХТУ (а) и цикл в диаграмме $i-p$ (б): I - НТС ЦБК; II - ВТС ЦБК; III - конденсатор; IV - ПС; У, У1 - регулирующие вентили; УП, УШ, IX - испарители НТС и ВТС; X, XI, XII - ВО НТС и ВТС; Зс - скаты воздуха; Зх - холодный воздух; I - вода; I8 - фреон; 32хл - хладонотеплоноситель (рассол)

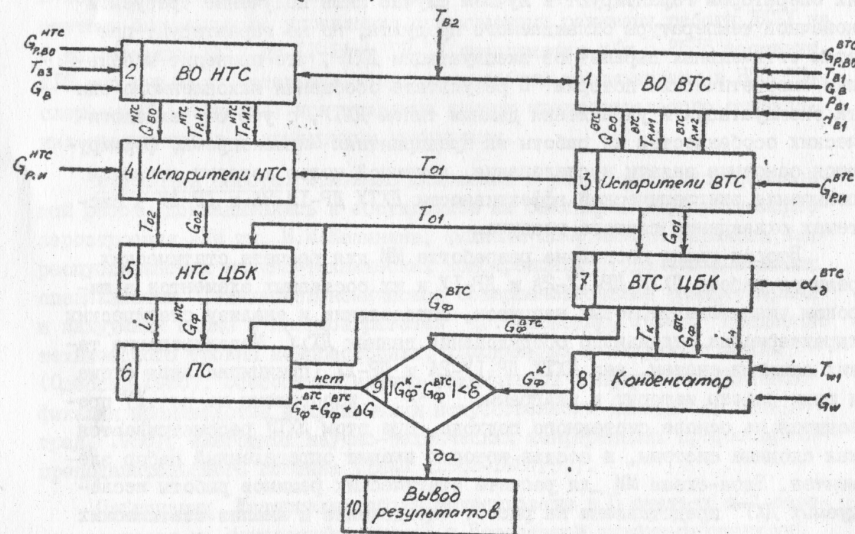


Рис.2. Блок-схема математической модели ДХТУ

щим 4 группам: теплообменные аппараты ВТС (ВО и испаритель ВТС, ПС), теплообменные аппараты НТС (ВО и испарители НТС).

Исходные параметры воздуха на входе и выходе из ВО ВТС и НТС позволяют рассчитать совместные статические режимы работы ВО и испарителей ВТС и НТС и определить следующие функциональные зависимости:

$$T_{o1} = f(G_B, p_{o1}, T_{B1}, T_{B2}, \alpha_{B1}, G_p^{BTC}), \quad (1)$$

$$T_{o2} = f(G_B, p_{o1}, T_{B1}, T_{B2}, \alpha_{B2}, G_p^{NTC}). \quad (2)$$

При расчете статических характеристик конденсатора рабочий процесс в нем был разбит на 3 участка: снятия перегрева паров фреона, их конденсации и переохлаждения сконденсировавшегося фреона. Принятое допущение позволяет рассматривать процессы на каждом участке как однофазные. Анализ статических характеристик конденсатора в форме зависимости $T_K = f(G_w)$ при $Q_K = var$ и $T_{w1} = idem$ (рис.3) позволяет установить зоны сильного и слабого влияния G_w на T_K и определить оптимальное значение G_w .

Используемые в ММ исследуемых ДХТУ статические характеристики НТС и ВТС ЦБК при различных углах поворота лопаток диффузоров получены экспериментальным путем. Значения η_{ad}^{NTC} для НТС ЦБК находились путем решения задачи двумерной интерполяции по полученным в результате расчетов статических режимов работы теплообменных аппаратов НТС значениям $G_{ф,пр}^{NTC}$ и T_{NTC} . Для ВТС ЦБК значения η_{ad}^{BTC} и T_{BTC} определялись с помощью аппроксимации характеристик ВТС ЦБК по полученным в ходе расчетов теплообменных аппаратов ВТС и конденсатора значениям $G_{ф,пр}^{BTC}$.

Для описания термодинамических свойств холодильных агентов выбрано уравнение состояния Боголюбова-Майера, для расчета величин давления насыщения паров фреонов использовалось уравнение Планка-Риделя, плотности жидкости - разновидность уравнения Гуггенгейма. Для аналитического задания теплофизических свойств фреонов использовались зависимости, полученные И.И.Перельштейном, термодинамических и теплофизических свойств влажного воздуха - зависимости, рекомендованные в работах Н.В.Варгафтика и А.Х.Хргиана. Зависимости термодинамических и теплофизических свойств рассолов и охлаждающей воды от температуры аппроксимировались по справочным данным.

Выбранные на основе анализа отечественных и зарубежных исследо-

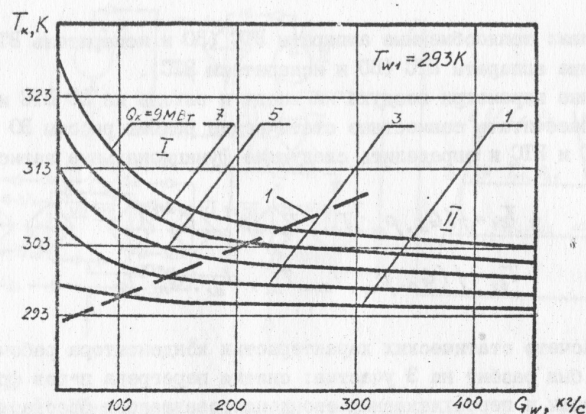


Рис.3. Статические характеристики конденсатора КТР-3000 при его работе на R22 в форме зависимости $T_k = f(G_w)$ при $Q_k = var$. I – зона сильного влияния G_w на T_k , II – зона слабого влияния G_w на T_k , I – граница между зонами I и II

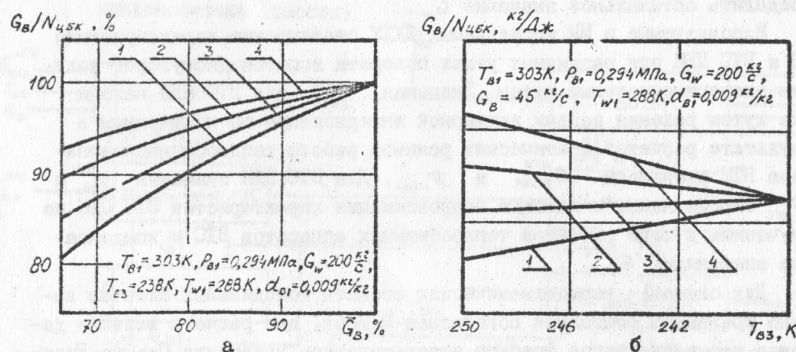


Рис.4. Энергетическая эффективность различных способов регулирования ДХТУ ДР-IV-2А при $T_{81} = const$, $P_{81} = const$, $T_{23} = const$, $G_8 = var$ (а) и $T_{81} = const$, $P_{81} = const$, $T_{23} = const$, $G_8 = var$ (б): 1 – $\alpha_{81}^{BTC} = 11,6$ град, $\alpha_{81}^{BTC} = var$ (максимально возможный); 2 – $\alpha_{81}^{BTC} = 11,6$ град, $\alpha_{81}^{BTC} = var$ (минимально возможный); 3 – $\alpha_{81}^{BTC} = 12,85$ град, $\alpha_{81}^{BTC} = var$ (минимально возможный); 4 – $\alpha_{81}^{BTC} = 11,6$ град, в НТС ЦЕК комбинированное регулирование (поворот лопаток диффузоров и дросселирование на всасывании); 100% нагрузки соответствуют $G_8 = 45$ кг/с, $N_{45K} = 2078$ кВт

ваний зависимости для расчетов коэффициентов теплоотдачи в теплообменных аппаратах специализированы по типу процесса, типу аппарата, холодильному агенту, теплоносителю и диапазону режимных параметров.

Полученные с помощью разработанной системы ММ статические характеристики теплообменных аппаратов ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV позволили проанализировать влияние изменения параметров воздуха и охлаждающей воды на показатели их работы в широком диапазоне тепловых нагрузок.

Третья глава посвящена анализу статических режимов работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV в широком диапазоне тепловых нагрузок с помощью разработанной ММ. В ней приведены экспериментальная проверка адекватности разработанной ММ, исследование влияния начальных параметров воздуха и охлаждающей воды на энергетические и режимные показатели работы ДХТУ, сравнение энергетической эффективности различных способов регулирования характеристик и параметров исследуемых ДХТУ в широком диапазоне тепловых нагрузок.

Проверка адекватности ММ ДХТУ, проведенная при экспериментальных исследованиях ДХТУ ДР-IV показала, что расхождение абсолютных значений выбранных параметров адекватности P_{81}^{BTC} , P_{81}^{BTC} , P_{81}^{BTC} , P_{81}^{BTC} , P_{81}^{BTC} , P_{81}^{BTC} , P_{81}^{BTC} , P_{81}^{BTC} , полученных экспериментальным и расчетным путем, не превышает $\pm 7\%$.

Опыт эксплуатации исследуемых ДХТУ показал, что начальные расходы и температуры воздуха и охлаждающей воды, начальные влагосодержания воздуха зависят от многих факторов и могут изменяться в следующих пределах: $G_8 = 0-90$ кг/с, $T_{81} = 283-323$ К, $\alpha_{81} = 0,002-0,009$ кг/кг, $G_w = 50-250$ кг/с, $T_{w1} = 283-303$ К. Анализ статических характеристик ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV позволил оценить влияние изменений G_8 , T_{81} , α_{81} , G_w , T_{w1} в широких диапазонах на конечные параметры воздуха и мощность, потребляемую ДХТУ.

В результате сравнения энергетической эффективности различных способов регулирования характеристик и параметров ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV (рис.4) были установлены законы экономичного перехода данных установок с одного режима нагрузки на другой, при которых поддерживаются минимально возможные значения углов поворота лопаток диффузоров в НТС ЦЕК – α_{81}^{BTC} и в ВТС ЦЕК – α_{81}^{BTC} . В этом случае значения величин T_{82} , P_{81} , G_{81}^{BTC} , P_{81} , T_{82} , T_{82} , N_{45K} будут минимально возможными, а энергетическая эффективность работы ДХТУ наивысшей при прочих равных условиях (G_8 , T_{81} , P_{81} , α_{81} , T_{23} , T_{w1} , G_w , G_{81} , G_{81}^{BTC}). При работе ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV на частичных нагрузках ($G_8 < 45$ кг/с)

$\eta_{\text{нте}}$ значительно ниже, чем на режимах с максимальным $\eta_{\text{ад}}^{\text{нте}}$. В связи с этим снижать производительность в НТС ЦБК оказалось выгоднее комбинированным регулированием — дросселированием на всасывании и поворотом лопаток диффузора (рис.4). В этом случае рост адиабатической работы сжатия в НТС ЦБК компенсируется ростом $\eta_{\text{ад}}^{\text{нте}}$, что в конечном итоге приводит к уменьшению действительной работы сжатия.

Четвертая глава посвящена постановке задачи оптимального управления статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, разработке способа и алгоритма ее решения с помощью ЭВМ.

Функциональная схема исследуемых ДХТУ, как объектов управления, представлена на рис.5 а. В результате проведенных с помощью разработанной ММ исследований статических режимов работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV и имеющихся экспериментальных данных было установлено, что существует зависимость между режимными параметрами исследуемых ДХТУ ($G_B, T_{B1}, P_{B1}, d_{B1}, T_{w1}, G_w, G_p^{\text{нте}}, G_p^{\text{вте}}, \Sigma N$) и управляющими воздействиями ($\alpha_{\text{д}}^{\text{нте}}, \alpha_{\text{д}}^{\text{вте}}, G_w$), которая представляет собой характеристическую поверхность, изображенную на рис.5 б.

Задача оптимизации статических режимов работы исследуемых ДХТУ с учетом технологических ограничений состоит в определении оптимального сочетания управляющих воздействий ($\alpha_{\text{д}}^{\text{нте}}, \alpha_{\text{д}}^{\text{вте}}, G_w$), обеспечивающих максимальную величину $G_B/\Sigma N$ для заданного режима эксплуатации ($G_B, T_{B1}, P_{B1}, d_{B1}, T_{w1}, G_p^{\text{нте}}, G_p^{\text{вте}}, T_{B3}$):

$$F(\alpha_{\text{д}}^{\text{нте}}, \alpha_{\text{д}}^{\text{вте}}, G_w) \Longrightarrow \text{opt}, \quad (3)$$

$$G_B/\Sigma N \Longrightarrow \text{max}, \quad (4)$$

$$U(G_B, P_{B1}, T_{B1}, d_{B1}, G_p^{\text{нте}}, G_p^{\text{вте}}, T_{w1}) \Longrightarrow \text{var}, \quad (5)$$

$$T_{B3}^{\text{min}} \leq T_{B3} \leq T_{B3}^{\text{max}}, \quad (6)$$

где $F(\alpha_{\text{д}}^{\text{нте}}, \alpha_{\text{д}}^{\text{вте}}, G_w)$ и $U(G_B, P_{B1}, T_{B1}, d_{B1}, G_p^{\text{нте}}, G_p^{\text{вте}}, T_{w1})$ соответственно функции управляющих и возмущающих воздействий.

Для решения поставленной задачи в диссертационной работе предлагается способ оптимального управления с помощью ЭВМ статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, образованный из комбинаций двух способов управления: способа сравнения с заданным значением и способа пробного поиска.

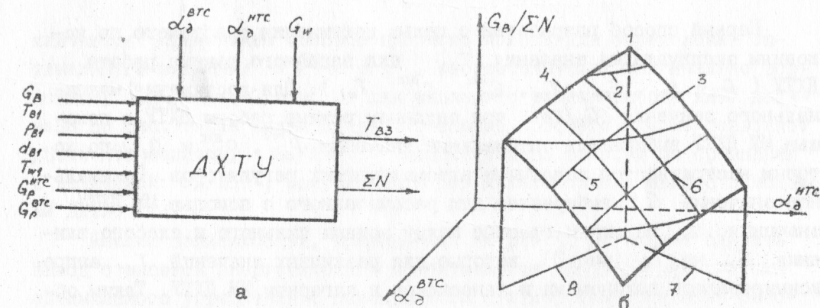


Рис.5. Функциональная схема ДХТУ как объекта управления (а) и ее характеристическая поверхность при $T_{B3} = \text{const}$ и $U(G_B, T_{B1}, P_{B1}, d_{B1}, G_p^{\text{нте}}, G_p^{\text{вте}}, T_{w1}) = \text{const}$ (б): 1 — точка максимального значения величины $G_B/\Sigma N$; 2 — кривая $G_B/\Sigma N = \text{const}$; 3, 4 — кривые наивысшей энергетической эффективности при $\alpha_{\text{д}}^{\text{вте}} = \text{const}$ и при $\alpha_{\text{д}}^{\text{нте}} = \text{const}$; 5, 6 — кривые изменения величины $G_B/\Sigma N$ при $\alpha_{\text{д}}^{\text{нте}} = \text{const}$, $\alpha_{\text{д}}^{\text{вте}} = \text{const}$; 7, 8 — кривые оптимальной регулировки поворотом лопаток диффузоров в НТС и ВТС ЦБК

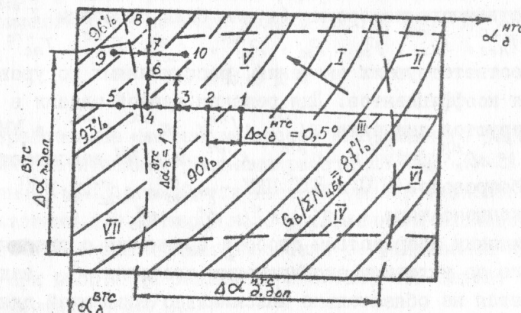


Рис.6. Пример использования способа пробного поиска для определения оптимальных величин углов поворота лопаток диффузоров в НТС и ВТС ЦБК для заданного режима работы ДХТУ ДР-IV ($G_B = 30 \text{ кг/с}$, $T_{B1} = 303\text{К}$, $P_{B1} = 0,147 \text{ МПа}$, $d_{B1} = 0,009 \text{ кг/кг}$, $T_{B3} = 244\text{К}$, $T_{w1} = 288\text{К}$, $G_w = 200 \text{ кг/с}$): I — направление увеличения величины $G_B/\Sigma N$; II — кривые $G_B/\Sigma N = \text{const}$; III — линия наивысшей энергетической эффективности при $\alpha_{\text{д}}^{\text{вте}} = \text{const}$ по результатам расчета на ММ; IV, V, VI, VII, VIII, IX, X — max и min значения $\alpha_{\text{д}}^{\text{вте}}$ и $\alpha_{\text{д}}^{\text{нте}}$, соответствующие заданному по условиям эксплуатации значению T_{B3} ; I-10 — точки пробного поиска; 7 — конечная точка поиска; 100% нагрузки соответствуют $G_B = 45 \text{ кг/с}$; $N_{\text{век}} = 1787 \text{ кВт}$

Первый способ разработан с целью достижения требуемого по условиям эксплуатации значения $T_{вз}$ для заданного режима работы ДХТУ ($G_B, P_{в1}, T_{в1}, \alpha_{в1}, G_p^{нтс}, G_p^{втс}, T_{w1}$). Для достижения максимального значения $G_B/\Sigma N$ при заданном режиме работы ДХТУ с помощью ММ ДХТУ выбираются оптимальные значения $P_{вс}^{нтс}, P_{вс}^{втс}$ и P_K , по которым настраиваются задатчики автоматических регуляторов. Оптимальное значение G_w выбирается для рассчитанного с помощью ММ ДХТУ значения Q_K на линии-границе между зонами сильного и слабого влияния G_w на T_K (рис.3), которые для различных значений T_{w1} аппроксимировались полиномами и заносились в алгоритм ММ ДХТУ. Таким образом, в результате применения способа сравнения с заданным значением гарантируется не только достижение требуемого значения $T_{вз}$, но также и высокая энергетическая эффективность работы ДХТУ.

Для повышения точности данного способа управления проводится периодическая адаптация ММ ДХТУ по разработанному алгоритму, который разбит на четыре частных задачи коррекции ММ процессов в ВО ВТС и НТС, в испарителях ВТС и НТС, во всасывающих и нагнетательных трубопроводах НТС и ВТС ЦБК и в конденсаторе. Задача адаптации ММ заключается в периодической проверке переменных, полученных в результате непосредственного измерения (к ним были отнесены $T_{в1}^{втс}, T_{в1}^{нтс}, T_{в2}^{втс}, T_{в2}^{нтс}, T_{н1}^{втс}, T_{н1}^{нтс}, P_{в1}, P_{в2}, P_{вс}, P_{вс}, T_{вс}, T_{вс}, P_{наг}, P_K, T_c$), и соответствующих значений, рассчитанных по уравнениям ММ, и коррекции их коэффициентов. Для решения данной задачи в ММ ВО ВТС и НТС корректируются значения $\Delta l_{в1}^{втс}, \Delta l_{в1}^{нтс}$ и $K_{в1}^{втс}, K_{в1}^{нтс}$, в ММ испарителей ВТС и НТС — $\Delta Q_{и1}^{втс}, \Delta Q_{и1}^{нтс}$ и $K_{и1}^{втс}, K_{и1}^{нтс}$, и в ММ всасывающих и нагнетательных трубопроводов НТС и ВТС ЦБК — $\Delta P_{вс}^{втс}, \Delta P_{вс}^{нтс}, \Delta T_{вс}^{втс}, \Delta T_{вс}^{нтс}$ и $\Delta P_{наг}^{нтс}$, в ММ конденсатора — $\Delta P_{наг}^{втс}, K_{оп}^K, K_{кон}^K, K_{по}^K$.

При достижении посредством способа сравнения с заданным значением требуемого по условиям эксплуатации значения $T_{вз}$ величина $G_B/\Sigma N$ является не обязательно максимально возможной для заданного режима работы ДХТУ из-за влияний изменений эксплуатационного режима и прочих возмущений. Для компенсации отклонения полученной с помощью способа сравнения с заданным значением текущей величины $G_B/\Sigma N$ от действительной максимально возможной используется способ пробного поиска, который можно применить при изменениях режимов и возмущениях. Перед началом работы способа пробного поиска автоматические регуляторы, задатчики которых были настроены по полученным с помощью ММ ДХТУ значениям $P_{вс}^{нтс}, P_{вс}^{втс}$ и P_K , от-

ключаются. Применение способа пробного поиска для определения оптимального значения $\alpha_{в1}^{нтс}$ и $\alpha_{в1}^{втс}$, соответствующих максимально возможному значению $G_B/\Sigma N$ для заданного режима работы ДХТУ показано на рис.7. Как видно из рис.7, способ пробного поиска позволяет увеличить величину $G_B/\Sigma N$ дополнительно на 3,5% по сравнению с величиной $G_B/\Sigma N$, полученной в результате оптимизации с помощью ММ ДХТУ.

Анализ зависимостей, приведенных на рис.4, позволяет сделать вывод о высокой энергетической эффективности предлагаемой системы оптимального управления с помощью МЭВМ статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, которая позволяет обеспечить в широком диапазоне тепловых нагрузок не только требуемую по условиям эксплуатации величину $T_{вз}$, но и выбор оптимального сочетания управляющих воздействий ($\alpha_{в1}^{нтс}, \alpha_{в1}^{втс}, G_w$), что позволяет снизить расходы потребляемой ДХТУ электроэнергии и охлаждающей воды на нерасчетных режимах их работы соответственно на 6-9 и 20-25%.

В приложении приведены основные параметры оборудования ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, статические характеристики ДХТУ ДР-IV и ее составных элементов, а также распечатка фортран-программы ММ и пример поиска оптимального статического режима работы ДХТУ ДР-IV-2А.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная система и способ оптимального управления с помощью МЭВМ статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV, а также ММ данных ДХТУ отличаются высокой универсальностью и могут быть использованы для оптимального управления и исследования различных типов ХТУ с различными способами регулирования производительности ЦБК, при работе на различных агентах, что делает возможным их широкое применение в АСУ ХТУ.

2. Предлагаемый алгоритм адаптации ММ ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV позволяет осуществить периодическую проверку соответствия переменных, полученных в результате непосредственного измерения и соответствующих значений, рассчитанных по уравнениям ММ, и коррекцию их коэффициентов в зависимости от величины неадекватности ММ объекту.

3. Результаты сравнения расчетных и экспериментальных зависимостей, характеризующих статические режимы работы ДХТУ ДР-IV, работающей на RI2, подтверждают адекватность ММ реальным физическим процессам с точностью до 7%.

4. Изменение начальных параметров охлаждаемого воздуха: расхода - G_B , температуры - T_{B1} и влагосодержания - d_{B1} оказывает существенное влияние на конечные параметры воздуха - T_{B3} и d_{B3} и величину потребляемой ЦБК ДХТУ мощности - $N_{цбк}$. Начальная температура - T_{W1} и расход - G_W охлаждающей воды, подаваемой в конденсаторы ДХТУ, оказывает незначительное влияние на T_{B3} и d_{B3} , однако они существенно влияют на величины давления конденсации - P_K и потребляемой ЦБК ДХТУ мощности - $N_{цбк}$.

5. При эксплуатации ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV в широком диапазоне изменений тепловых нагрузок необходимо поддерживать минимально возможные значения углов поворота лопаток диффузоров в НТС ЦБК - $\alpha_s^{НТС}$ и в ВТС ЦБК - $\alpha_s^{ВТС}$. В этом случае значения величин T_{B2} , P_{01} , P_K , $G_p^{НТС}$, $T_{НТС}$, $P_{НТС}$, $N_{цбк}$ будут минимально возможными, а энергетическая эффективность работы ДХТУ наивысшей при прочих равных условиях (G_B , P_{B1} , T_{B1} , d_{B1} , T_{B3} , T_{W1} , G_W , $G_p^{НТС}$, $G_p^{ВТС}$).

6. В ДХТУ с нерегулируемой ВТС ЦБК имеет место рост давления конденсации при повышении конечной температуры охлаждаемого продукта, что снижает энергетическую эффективность их работы.

7. Регулирование производительности ЦБК ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV поворотом лопаток диффузоров в НТС и ВТС позволяет значительно расширить диапазоны возможной работы данных ДХТУ по T_{B3} и G_B по сравнению с регулированием производительности ЦБК поворотом лопаток диффузоров только в НТС, либо только в ВТС.

8. Выбор оптимальных значений G_W в конденсаторах ХТУ, работающих в широком диапазоне тепловых нагрузок, возможен с помощью анализа статических характеристик данных конденсаторов, представленных в форме зависимости $T_K = f(G_W)$ при $Q_K = var$ и $T_{W1} = idem$, которые позволяют установить зоны сильного и слабого влияния G_W на T_K .

9. Применение способа пробного поиска в разработанной системе оптимального управления статическими режимами работы ДХТУ ДР-IV-2А и ДР-IV позволяет осуществить непрерывную адаптацию к изменениям и нарушениям режимов работы данных ДХТУ, которые изменяют как величину максимального значения $G_B/\Sigma N$, так и характеристическую поверхность.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Техничко-экономический анализ фреоновых турбокомпрессорных холодильных машин большой производительности/А.И.Козорез, В.Ф.Синицына, Ю.И.Муратов, О.В.Радковский// Холодил.техника и технология: Респ.межвед. науч.- техн.сб.- 1986.- Вып.42.- С.28-33.

2. Козорез А.И., Муратов Ю.И., Радковский О.В. Работа холодильной установки, оборудованной центробежным компрессором с поворотными лопатками диффузоров, в широком диапазоне изменения параметров охлаждаемого продукта/ Одес. технол. ин-т холод. пром-сти.- Одесса, 1986.- 15с. Библиогр.: 7 назв.- Деп. в УкрНИИТИ г.Киева 14.01.86, №280-Ук 86.

3. Математическая модель для управления с помощью ЭВМ двухступенчатой холодильной турбокомпрессорной установкой в широком диапазоне тепловых нагрузок/ А.И.Козорез, Ю.И.Муратов, О.В.Радковский, В.Н.Замковец, Л.В.Налобин.- Одес. технол.ин-т холод.пром-сти.- Одесса, 1986.- 23с. Библиогр.: 9 назв. - Деп. в УкрНИИТИ г.Киева 23.09.86, №2290 -Ук 86.

4. Козорез А.И., Радковский О.В., Лещенко И.И. Исследование регулирования производительности центробежного компрессора поворотом лопаток диффузоров с помощью микро-ЭВМ// Тез.докл. Межресп. науч.-техн. конф. студ. и молод. спец. "Повышение технического уровня компрессорных, холодильных и вакуумных машин".- Одесса, 1986.- С.15-16.

5. Радковский О.В., Козорез А.И., Муратов Ю.И. Управление с помощью ЭВМ двухступенчатыми холодильными турбокомпрессорными установками в широком диапазоне тепловых нагрузок// Тез.докл. Всесоюзной науч.-практ. конф. "Интенсификация производства и применения искусственного холода".- Л.,1986, с.21.

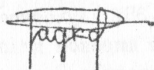
6. Козорез А.И., Муратов Ю.И., Радковский О.В. Определение статических характеристик горизонтальных кожухотрубных конденсаторов с водяным охлаждением на ЭВМ// Холодил. техника и технология: Респ. межвед. науч.-техн.сб.- Вып.44.-С.35-39.

7. Козорез А.И., Муратов Ю.И., Радковский О.В. Экономичная система управления с помощью микро-ЭВМ двухступенчатой холодильной турбокомпрессорной установкой в широком диапазоне изменения нагрузок //Холодил. техника и технология: Респ. межвед. науч.-техн.сб.- 1987.- Вып.45.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

МЭВМ - мини-ЭВМ; ДХТУ - двухступенчатая холодильная турбокомпрессорная установка, работающая на двух температурных уровнях; ХТУ - холодильная турбокомпрессорная установка; ЦБК - центробежный компрессор; АСУ - автоматизированная система управления; НТС - низкотемпературная секция; ВТС - высокотемпературная секция; ММ - математическая модель; АСР - автоматизированная система регулирования; ВО - воздухоохладитель; Т - температура; Р - давление; d - влагосодержание; G - массовый расход; $N_{цбк}$ - мощность, потребляемая центробежным компрессором; ΣN - суммарная мощность, потребляемая центробежным компрессором и центробежными насосами фреоновой, рассольного и водяного контуров ДХТУ; α_δ - угол поворота лопаток диффузоров; η - КПД; λ - степень сжатия; Δi_B - разность энтальпий воздуха на входе и выходе из воздухоохладителей; ΔQ_n - теплопритоки к испарителям из окружающей среды; Δp - потери давления в трубопроводах; ΔT_{ac} - перегрев паров фреона на всасывании; K_n - коэффициент теплопередачи от рассола к фреону в испарителях; $K_{во}$ - коэффициенты теплопередачи от воздуха к рассолу в воздухоохладителях; $K_{сл}^K$, $K_{кон}^K$, $K_{по}^K$ - коэффициенты теплопередачи от фреона к охлаждающей воде в конденсаторе в зонах снятия перегрева, конденсации и переохлаждения сконденсировавшегося фреона; Q_k - тепловая нагрузка на конденсатор.

Подстрочные индексы: v_1, v_2, v_3 - параметры воздуха на входе в ВО ВТС; на выходе из ВО ВТС (на входе в ВО НТС) и на выходе из ВО НТС; v - воздух; p - рассол; ВТС - высокотемпературная секция; НТС - низкотемпературная секция; ВО - воздухоохладитель; и - испаритель; k - конденсация; δ - диффузор; ac - всасывание; $наг$ - нагнетание; o_1 - кипение в испарителях ВТС; o_2 - кипение в испарителях НТС; $ад$ - адиабатический; 1 - входной параметр; 2 - выходной параметр; 6 - параметры фреона на выходе из конденсатора; $пр$ - приведенный; φ - фреон.



288 vx

СЕРИЯ 147121
ИЗДАНО
1987

Ротапринт ОТХП г.Одесса. Подписано к печати 24.05.87.
Физ. п.л. 1,0. Тираж 100. Зак. 4-87.