

Двтор ер,
М 80

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант В.В. МОРОЗОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ
КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Переучет 1984

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научные руководители:

Доктор технических наук
профессор И.И. Кринецкий

Доктор технических наук
профессор П.Н. Платонов

Одесса - 1967 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант В.В. МОРОЗОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ
КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научные руководители:

Доктор технических наук
профессор И.И. Кринецкий

Доктор технических наук
профессор П.Н. Платонов



Одесса - 1967 г.

Одесский технологический институт им. М.В. Ломоносова направляет Вам автореферат диссертационной работы аспиранта МОРОЗОВА Василия Васильевича на тему "Исследование систем автоматической оптимизации режима работы конденсационных установок", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится "24" XI 1967 года.

Отзывы в 2-х экземплярах просим направлять по адресу:
г. Одесса, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт им. М.В. Ломоносова.

Работа выполнена в Одесском технологическом институте имени М.В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета (Запорожец Л.А.)

Лавров

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных задач в области энергетических установок является обеспечение высоких технико-экономических показателей и, в первую очередь, уменьшение расхода топлива на каждый киловатт-час вырабатываемой электроэнергии.

На экономичность паротурбинной установки большое влияние оказывает величина конечного давления в конденсаторе P_k . При постоянном расходе пара в конденсатор уменьшение давления на 0,01 ата приводит к повышению экономичности на 0,8 + 1,0%. Однако понижение давления в конденсаторе достигается за счет увеличения расхода охлаждающей воды W , что приводит к увеличению мощности, потребляемой циркуляционными насосами. При заданном расходе пара в конденсатор D_k , температуре входящей охлаждающей воды $t_{в}$, состоянии охлаждающей поверхности конденсатора и воздушной плотности вакуумной системы турбины экономичность режима определяется максимальной разностью приращений мощностей турбины и циркуляционных насосов $\Delta N_T - \Delta N_H$, вызываемых изменением расхода охлаждающей воды. Этому максимальному выигрышу мощности соответствует оптимальный расход воды W_{opt} , определяющий оптимальное (экономическое) значение вакуума P_{kopt} .

Методам определения оптимального вакуума в конденсаторах работающих установок посвящено значительное число работ ВТИ, ОРГРЭС и др., хотя эту задачу нельзя считать окончательно решенной. Однако, вопросам автоматического поддержания такого режима уделяется недостаточное внимание. Создание систем автоматического поддержания оптимального вакуума для конденсационных установок, работающих на переменных режимах, позволяет обеспечить высокую экономичность энергоустановок, в максимальной степени компенсировать потери от изменения внешних условий, повысить надежность и долговечность оборудования и культуру его эксплуатации, а также получить более значительный эффект от большого объема исследований по определению оптимального вакуума.

Исследование и разработка таких систем вызывает необходимость в изучении статических и динамических свойств конденсатора, особенно, когда для последних свойственна работа на переменных режимах.

В немногочисленных работах, посвященных вопросам автоматизации оптимального вакуума, предлагаются возможные подходы к решению задачи и не рассматриваются конкретные схемы и аппаратурные решения. Поэтому в настоящей работе уделяется внимание исследованию рациональных схем автоматического регулирования, а также разработке регулирующей аппаратуры, обладающей улучшенными характеристиками.

В диссертации уделено внимание синтезу локальных бесконтактных цифровых регуляторов, так как они обладают наибольшей чувствительностью и хорошо работают на объектах, для которых характерны значительные инерционности и запаздывания.

В связи с общностью проблемы автоматизации поддержания оптимального вакуума в стационарных и судовых конденсационных установках и отсутствием исследований этого вопроса для последних, в работе анализируются возможные пути автоматизации поддержания оптимального вакуума в судовых конденсаторах.

Основными задачами рассматриваемой работы являются:

- 1) исследование конденсационной установки как объекта управления;
- 2) анализ способов автоматического поддержания оптимального режима конденсационных установок при различных схемах водоснабжения и включения циркуляционных насосов, обоснование, разработка и исследование новых схем автоматизации поддержания режима оптимального вакуума;
- 3) разработка целесообразных подходов к проблеме автоматического поддержания оптимального вакуума в судовых конденсационных установках;
- 4) разработка управляющих устройств, обладающих улучшенными характеристиками.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений и библиографического списка.

В первой главе исследуется конденсационная установка как объект управления.

В § 1 приводится краткое описание назначения и работы конденсационной установки и ее основных элементов.

В § 2 рассматривается оптимальный режим конденсационной установки, условие которого при заданных D_k, t_g и состоянии конденсатора записывается в виде

$$\frac{\partial N_T}{\partial W} = \frac{\partial N_H}{\partial W} \quad (1)$$

На ряде примеров показано, что поддержание оптимального вакуума обеспечивает значительный выигрыш электроэнергии (до 0,5% от номинальной мощности турбоагрегата, станции), уменьшает опасность эрозии лопаток последних ступеней турбины и трубок конденсатора за счет уменьшения расхода воды при низких температурах, что увеличивает надежность и долговечность оборудования.

Приводится краткий обзор методик определения оптимального вакуума, отмечаются некоторые их недостатки.

Здесь же предлагается методика определения оптимального вакуума.

Показано, что условие существования максимума разности $\Delta N_T - \Delta N_H$ практически целесообразно задавать зависимостью:

$$p_{\text{кopt}} = f[D_k, (t_g + \delta t)], \quad (2)$$

где δt — температурный напор.

Приводится графоаналитический способ нахождения (2), что позволяет при определении текущего значения $p_{\text{кopt}}$ учитывать состояние конденсатора (степень загрязнения трубок и воздушную плотность).

В § 3 проанализированы регулирующие воздействия и возмущения, действующие на конденсатор как объект управления.

На примере Молдавской ГРЭС показано, что основные возмущения, действующие на объект и влияющие на оптимальное значение вакуума (паровая нагрузка на конденсатор, температура входа охлаждающей воды, состояние конденсатора), изменяются в больших диапазонах, намного отличаются от номинальных, причем возмущения в ряде случаев весьма значительны, что подтверждает необходимость и целесообразность создания автоматической системы поддержания режима экономического вакуума.

В § 4 приводятся результаты экспериментального исследования конденсатора 200 КЭС-1 турбины К-200-130, определяются передаточные функции по управляющему и возмущающему каналам. На основании экспериментально снятых переходных характеристик конденсатора показано, что конденсатор как объект управления по каналам управляющего и возмущающего воздействий приближенно можно описать линейными дифференциальными уравнениями второго порядка с запаздыванием.

Во второй главе анализируются существующие предложения по автоматизации оптимального вакуума и обосновываются рекомендуемые способы автоматизации при непрерывном и ступенчатом регулировании расхода охлаждающей воды.

В § 5 проанализирован ряд работ советских (Г.И. Хутский, Ю.Н. Чеховой и др.) и зарубежных (И. Вильгельм) ученых, посвященных возможным подходам к решению задачи поддержания оптимального вакуума с помощью автоматических систем с точки зрения эффективности решения поставленной задачи.

Наиболее интересные подходы к решению этой задачи можно разделить на два направления: применение специальных управляющих машин, реализующих определенные программы, и применение самонастраивающихся систем управления.

В работе Г.И. Хутского и В.А. Родзевича ("Энергетика", № 2, 1964) оптимальный режим конденсационной установки предлагается поддерживать с помощью вычислительной управляющей машины, воздействующей на циркуляционную систему для поддержания минимального удельного расхода тепла на отпущенный квт-час. В статье Г.И. Хутского и др. ("Теплоэнергетика", № 1, 1967) обосновывается оптимизация цирку-

ляционного водоснабжения от береговой центральной насосной путем осуществления двух независимых систем управления; первая из которых выполняет оптимизацию распределения общего потока охлаждающей воды по конденсаторам турбин, а вторая — обеспечивает оптимальный расход этого общего потока.

В первом случае требуется весьма точное автоматическое непрерывное вычисление удельного расхода тепла, что в настоящее время является сложной задачей. Во втором случае задача решается лишь для станции с центральной береговой и, кроме того, детальная разработка отмечается только для первого контура.

В работе Ю.Н. Чехового ("Теплоэнергетика", № 11, 1965) автоматическое поддержание оптимального режима предлагается осуществлять с помощью разомкнутой экстремальной системы управления^{х)}, работающей по возмущениям Δk и Δb .

Достоинством таких систем является простота их структуры, однако, настройка подобных систем на оптимальный режим настолько точна и объективна, насколько точны и объективны исходные уравнения движения объекта, заложенные в программы самонастройки. Вычисление же $P_{\text{опт}} = f(\Delta k, \Delta b)$ выполняется при условии, что степень загрязнения охлаждающей поверхности и воздушная плотность вакуумной системы остаются постоянными, что является недостатком, так как состояние конденсатора в процессе эксплуатации изменяется в значительных пределах и существенно влияет на значение оптимального вакуума.

В диссертации проанализирована возможность осуществления поисковых (замкнутых) экстремальных систем управления. Показано, что задачу автоматического поддержания оптимального вакуума в конденсаторах паротурбинных установок можно свести к задаче минимизации расхода потребляемой энергии в единицу времени V при обеспечении заданной выходной

х) В связи с неустановившейся терминологией разомкнутые экстремальные системы называются также программными самонастраивающимися системами, системами с косвенной самонастройкой или разомкнутым циклом самонастройки.

мощности установки N либо к задаче максимизации выдаваемой мощности (эти задачи эквивалентны в том смысле, что линии оптимальных режимов совпадают).

В качестве оптимизируемой величины в первом случае может быть взята величина $\Psi = \frac{B}{N} = \min$, во втором — величина $\varphi = \Delta N_T - \Delta N_H = \max$, а в качестве регулирующего воздействия — изменение расхода охлаждающей воды. Однако поисковые экстремальные системы управления реально могут действовать только тогда, когда оптимизируемая величина поддается измерению (вычислению) и экстремальные характеристики объекта имеют определенную кривизну. В рассматриваемом случае экстремальные характеристики весьма пологие, а измерение составляющих оптимизируемых величин Ψ и φ и их вычисление в настоящее время затруднено и ненадежно.

Специфические особенности рассматриваемой задачи, в частности значительная инерционность конденсатора, приводящая к медленным изменениям оптимизируемой величины, и трудности, связанные с измерением абсолютного ее значения, а также доступность и простота измерений основных возмущений, действующих на объект управления, приводят к тому, что из ряда различных возможных вариантов решения задачи наиболее целесообразным и практически осуществимым решением автоматизации поддержания оптимального вакуума, обеспечивающего минимальные затраты, является применение программных самонастраивающихся систем. Программа их определяет оптимальное значение вакуума в зависимости от расхода пара в конденсатор, температуры входящей охлаждающей воды и состояния конденсационной установки.

В § 6 описываются варианты программных самонастраивающихся систем, обеспечивающих поддержание p_{opt} на переменных режимах работы конденсационных установок с индивидуальным водоснабжением, допускающим непрерывное регулирование расхода охлаждающей воды при помощи осевых поворотно-лопастных насосов.

Структурная схема автоматической системы содержит контур стабилизации вакуума (конденсатор, датчик вакуума, регулятор вакуума, гидропривод разворота лопастей, насос) и

контур самонастройки, содержащий датчики возмущений Δk , t_B и δt , функциональный преобразователь и исполнительное устройство, осуществляющее непосредственное воздействие на задатчик регулятора вакуума.

Если при произвольном изменении возмущений Δk , t_B и δt давление в конденсаторе поддерживать в соответствии с (2), то $\Delta N_T - \Delta N_H$ все время будет принимать экстремальные значения, т. е. будет выполняться условие (1). Для выполнения его необходимо задать закон $p_{\text{opt}} = f[\Delta k, (t_B + \delta t)]$ функциональному преобразователю, сигнал на выходе которого пропорционален текущему значению оптимального вакуума, определяемого непосредственно по измерениям Δk , t_B и δt , что в эксплуатации всегда известно. Техническая реализация такого нелинейного двухкоординатного функционального преобразователя не представляет трудностей и его достаточно легко построить, например, на принципе кусочно-линейной аппроксимации двух переменных.

В ряде случаев, когда зависимость $W = f(\theta)$, где θ — угол разворота лопастей осевого циркуляционного насоса, является однозначной, нетрудно от (2) перейти к зависимости

$$\theta = \theta_{\text{opt}} = f[\Delta k, (t_B + \delta t)] \quad (3)$$

В этом случае регулируемой величиной является угол разворота лопастей, а контур самонастройки должен реализовать закон (3), при котором соблюдается условие (1).

Если на ГРЭС установлен ряд турбин с индивидуальным водоснабжением, не целесообразно каждый блок укомплектовывать отдельным регулятором вакуума. Рациональным является многоточечное импульсное (дискретное) регулирование с применением многоканального регулятора, обеспечивающее автоматизацию при минимальных затратах.

В ряде случаев, в частности, когда турбоагрегат (станция) несет базовую нагрузку, функциональный преобразователь, реализующий (2), можно использовать в качестве самостоятельного контрольного устройства, позволяющего непрерывно получать информацию об оптимальном значении вакуума; на

основании показаний этого устройства, работающего в режиме "советчика", при отклонении эксплуатационного вакуума от оптимального персонал может оказывать соответствующее воздействие на циркуляционную систему для поддержания экономичного режима.

В § 7 исследуется вопрос автоматизации конденсационных установок, укомплектованных циркуляционными насосами, допускающими ступенчатое регулирование расхода охлаждающей воды. Как известно, в этом случае задача поддержания оптимального вакуума, согласно методике ОРГРЭС, сводится к задаче построения режимных графиков, разбивающих плоскость $D_k - t_b$ на области рационального использования циркуляционных насосов. Используя метод "эквивалентных агрегатов", к этой же задаче может быть сведен случай центрального водоснабжения.

Для различных видов режимных графиков выводятся алгоритмы работы автоматических систем, обеспечивающих необходимые переключения и исключающих возможность пусков и остановов циркуляционных насосов при нахождении рабочей точки на режимном графике в случае небольших колебаний мощности, т. е. обеспечивающих устойчивость работы системы.

Для случая использования двух циркуляционных насосов на установку условие переключения, согласно полученным режимным графикам, представляется в виде:

$$D_k \geq S(t_b) + \Delta \quad - \text{включение второго насоса; (4)}$$

$$D_k \leq S(t_b) - \Delta \quad - \text{выключение второго насоса,}$$

где $S(t_b)$ - зависимость, аппроксимирующая режимный график, а 2Δ - зона нечувствительности, выбираемая по условиям эксплуатации для устойчивой работы системы.

Рассмотрены алгоритмы переключения при различных аппроксимациях режимных графиков (прямой, нелинейной зависимостью, в частности гиперболой) и для различных схем включения циркуляционных насосов (использование различного числа насосов на установку, применение двухскоростных приводов, случай центрального водоснабжения и т. д.).

Третья глава посвящена исследованию автоматических систем поддержания оптимального вакуума, осуществляющих непрерывное регулирование расхода охлаждающей воды с помощью осевого поворотного-лопастного насоса (на примере блока 200 Мвт с индивидуальным водоснабжением).

В § 8 приведен анализ структурной схемы регулирования и выведено уравнение статики системы.

В § 9 исследована автоматическая система поддержания оптимального вакуума с ПИ-регулятором.

Расчет устойчивости непрерывной системы с ПИ-регулятором основан на частотном критерии Найквиста-Михайлова по заданной амплитудно-фазовой характеристике регулируемого объекта (конденсатора). Определены границы области устойчивости системы регулирования в пространстве параметров настроек регулятора $K_p - T_i$ (K_p - коэффициент передачи регулятора, T_i - время изодрома). В области заданного запаса устойчивости определены оптимальные настройки регулятора при условии, что амплитудно-частотные характеристики фильтров и их производные при нулевой частоте минимальны.

Исследование качества переходных процессов проведено на электронной моделирующей установке. Моделирование показало, что система с заданными настройками может обеспечить приемлемое качество переходных процессов. При мгновенном изменении нагрузки регулятор обеспечивает аperiodическое регулирование.

В § 10 проанализирована структурная схема импульсной системы автоматического поддержания оптимального вакуума.

В качестве регулятора выбран широтно-импульсный регулятор, позволяющий получить высокое качество регулирования, упростить схему регулирования и осуществлять управление гидроприводом разворота лопастей насоса с наилучшим использованием мощности.

Выведены передаточные функции разомкнутой непрерывной части системы и передаточная функция разомкнутой импульсной системы.

Исследование устойчивости импульсной системы прове-

дено согласно критерию Найквиста-Михайлова, являющемуся аналогом критерия устойчивости для непрерывных систем, методами линейной теории импульсных систем, так как относительная длительность управляющего импульса $\gamma \ll 1$ ($\gamma = \frac{t_{и}}{T}$, где $t_{и}$ — длительность управляющего импульса, T — период регулирования (цикла)). Определены условия устойчивости системы и построены графики границ устойчивости.

Исследование системы на электронно-моделирующей установке показало, что импульсная система с широтно-импульсным регулятором обеспечивает аperiodическое или устойчивое регулирование при наличии одного-двух качаний. Осциллограммы переходных процессов по вакууму показывают, что при оптимальных настройках регулятора оптимальное значение вакуума достигается за один импульс управляющего воздействия.

В четвертой главе рассматриваются возможные подходы к решению задачи повышения эксплуатационной эффективности судовых конденсационных установок путем определения и автоматического поддержания оптимального вакуума.

В § 11 приведен анализ существующих методик определения оптимального вакуума в судовых конденсационных установках. В этих методиках критерием определения оптимального вакуума служит минимум расхода топлива на единицу мощности, который имеет место в том случае, если мощность силового комплекса — главный турбозубчатый агрегат — циркуляционные насосы — получается наибольшей (аналогично стационарным установкам). Однако, для судовых установок такой критерий не является определяющим. Давление в конденсаторе определяет располагаемую мощность силовой установки, влияющую на скорость судна и, следовательно, его провозоспособность, а также определяет величину топливной составляющей в общих эксплуатационных расходах. Как показали исследования, проведенные, в частности, в последнее время в Одесском высшем инженерно-морском училище, гораздо более выгодно форсировать систему водоподдачи, так как получаемые при этом более высокие значения вакуума, хотя и вызывают некоторый перерасход топлива на циркуляционные насосы, все же вследствие прибавки скорости (про-

возоспособности) судна благоприятно сказывается на уменьшении общих эксплуатационных расходов. Поэтому под оптимальным режимом судовой конденсационной установки (режимом оптимального вакуума) понимается такой режим, который обеспечивает минимум суммарных эксплуатационных расходов по судну.

Для определения оптимального вакуума (оптимальной кратности охлаждения) при переменных нагрузках Δk и температурах забортной воды $t_{зв}$ выбирается исходный режим конденсационной установки, а переход на другие режимы оценивается величиной перерасхода эксплуатационных затрат, в результате чего строятся зависимости изменения себестоимости грузоперевозок ΔS от кратности охлаждения m .

В зависимости от способа регулирования расхода забортной воды строится либо зависимость $\rho_{кopt} = f(\Delta k, t_{зв})$ (при непрерывном регулировании с помощью поворотных лопастных циркуляционных насосов), либо режимные графики, разбивающие плоскость $\Delta k - t_{зв}$ на области рационального использования числа циркуляционных насосов и их скоростных режимов (при ступенчатом регулировании).

Если при произвольном изменении внешних возмущений Δk и $t_{зв}$ давление в судовом конденсаторе поддерживать в соответствии с характеристикой $\rho_{кopt} = f(\Delta k, t_{зв})$, то функция $\Delta S = f(m)$ все время будет принимать экстремальные (минимальные) значения.

В § 12 описываются рекомендуемые автоматические системы поддержания оптимального вакуума, структура которых зависит от типа средств подачи забортной воды.

При использовании циркуляционного насоса, обеспечивающего непрерывное регулирование расхода забортной воды путем поворота лопастей насоса на ходу, поддержание $\rho_{кopt}$ целесообразно осуществлять с помощью программной самонастраивающейся системы автоматического управления. Она состоит из контура стабилизации вакуума и контура самонастройки. Последний содержит нелинейный двухкоординатный преобразователь, реализующий закон $\rho_{кopt} = f(\Delta k, t_{зв})$, при котором функция $\Delta S = f(m)$ принимает минимальное значение.

Такое построение системы автоматического поддержания оптимального вакуума целесообразно в том случае, если главная конденсационная установка значительное время работает на переменных режимах.

Для транспортных судов, когда подавляющую часть ходового времени турбина работает с номинальной мощностью, схема автоматизации упрощается. В этом случае система стабилизации вакуума должна настраиваться программным задатчиком по параметру — температуре забортной воды. В таком случае программный задатчик реализует зависимость $P_{кopt} = f(t_{зв})$.

Для судов, оборудованных циркуляционными нерегулируемыми насосами при переменных режимах судовой конденсационной установки, установление рационального числа насосов и скоростного режима асинхронных приводов этих насосов (на судах наибольшее распространение получили двухскоростные циркуляционные насосы) целесообразно поручить автоматическому устройству, обеспечивающему выбор наилучшего режима согласно рассчитанным режимным графикам. Структура и алгоритм автоматических систем зависят от вида режимных графиков.

В работе приводятся алгоритмы действия и варианты таких систем, позволяющих по измерениям текущих значений D_k и $t_{зв}$ определять нахождение рабочей точки и осуществлять необходимые устойчивые переключения насосов.

Задача определения и автоматического поддержания оптимального вакуума в конденсаторе судовой электростанции аналогична задаче определения и поддержания оптимального вакуума в конденсаторах стационарных энергоустановок и может быть решена способами, рекомендованными для стационарных конденсационных установок. В этом случае представляет интерес решение задачи поддержания оптимального вакуума с помощью поисковых экстремальных систем управления.

В пятой главе рассматриваются разработанные пневматические автоматические системы для рационального переключения циркуляционных насосов и бесконтактные цифровые регуляторы для управления инерционными процессами.

В § 13 приведены разработанные полные принципиальные схемы и описана работа пневматических автоматических систем для рационального переключения насосов, реализованных на элементах универсальной системы промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА), для различных видов режимных графиков.

Автоматическая система, измеряя текущие значения температуры охлаждающей воды и расхода пара в конденсатор (измерение производится с помощью манометрических термометров и манометров со стандартными выходными сигналами $(0,2 + 1 \text{ кг/см}^2)$), определяет область экономичной работы циркуляционных насосов и производит соответствующие устойчивые переключения для поддержания оптимального режима установки. Описывается ряд систем, позволяющих производить необходимые переключения насосов согласно полученным режимным графикам при различных их типах не только для индивидуальной установки двух насосов, но для случая центрального водоснабжения, использования трех насосов на установку или применения двухскоростных двигателей.

Автоматические системы имеют органы для настройки в зависимости от вида режимного графика и обеспечения устойчивого переключения.

В § 14 описаны разработанные варианты цифровых широтно-импульсных регуляторов.

Техника управления инерционными процессами, требующими высокой точности управления (к которым следует отнести и поддержание оптимального вакуума в конденсаторах турбин), характеризуется применением дискретных управляющих устройств, в частности, широтно-импульсных регуляторов (ШИР).

В параграфе приведена классификация существующих ШИР (по типу входного сигнала и конструктивному исполнению широтно-импульсного элемента), выявлены недостатки ШИР (невысокая надежность, обусловленная наличием движущихся механических частей, электрических контактов и замыкателей, ограниченная точность и пределы регулирования, отсутствие стабильной модуляционной характеристики и т. д.).

На основании анализа ставится задача синтеза широтно-

импульсного регулятора, обладающего повышенной точностью и улучшенными характеристиками. Приводится описание структурной и принципиальной схем бесконтактного цифрового ШИР, имеющего улучшенные характеристики, заключающиеся в повышении точности, увеличении пределов регулирования при линейной модуляционной характеристике во всем диапазоне изменения скважности выходного (управляющего) импульса.

Регулятор реализован на базе преобразователя, построенного по методу суммирования единичных приращений. Такой преобразователь, состоящий из реверсивного двоичного счетчика, генератора импульсов и логической схемы, использован для преобразования сигнала ошибки, представленного в виде двоичного кода, в интервалы времени.

Так как в ряде случаев целесообразно применение ШИР с нелинейными модуляционными характеристиками (например, для улучшения динамики процесса или компенсации нелинейностей объекта либо регулирующих органов, дросселирующих потоки), рассматривается структура цифрового широтно-импульсного регулятора с нелинейными характеристиками, позволяющего формировать заданные законы управления.

В § 15 описан разработанный цифровой экстремальный регулятор пропорционального действия шагового типа. Для улучшения качества переходных процессов и расширения области устойчивости в регуляторе предусмотрена возможность преимущественного реверса исполнительного двигателя. Это осуществляется с помощью введения отрицательного смещения в операционный блок регулятора. При этом реверс исполнительного двигателя происходит не только при отрицательных приращениях регулируемой величины (показателя экстремума), но также при нулевых и положительных приращениях, меньших, чем введенное смещение.

Величина смещения выбирается в зависимости от динамических и статических характеристик объекта, а также из условия получения наилучшего качества регулирования в режиме установившихся колебаний.

Экстремальный регулятор реализует алгоритм:

$$U_{n+1} = U \text{Sign}(\Delta\varphi - \xi) \text{Sign} U_n \quad \text{при } n \leq \bar{t} \leq n + \gamma$$

$$U_{n+1} = 0 \quad \text{при } (n + \gamma) \leq \bar{t} \leq n + 1 \quad (5)$$

$$\gamma = \alpha(\Delta\varphi - \xi),$$

- где U - управляющее воздействие;
 $\Delta\varphi$ - приращение показателя экстремума;
 γ - относительная длительность управляющего импульса;
 ξ - смещение;
 α - коэффициент пропорциональности.

Цифровые экстремальные регуляторы с алгоритмом работы (5) могут применяться для автоматической оптимизации стационарных режимов объектов, например энергетических установок, требующих от систем автоматической оптимизации их режимов повышенной статической точности слежения за экстремумом при сравнительно невысоких качествах (быстродействии).

В регуляторе предусмотрена возможность изменения коэффициента пропорциональности между величиной регулирующего воздействия и приращением показателя экстремума, что обуславливает его преимущества по сравнению с известными цифровыми экстремальными регуляторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных в реферируемой работе, можно сделать следующие основные выводы и рекомендации.

1. Предложена методика, позволяющая определять текущее значение оптимального вакуума непосредственно по измерениям паровой нагрузки на конденсатор, температуры охлаждающей воды и температурного напора.

2. Конденсатор блока 200 Мвт как объект управления по управляющему и возмущающему каналам может приближенно описываться линейными дифференциальными уравнениями второго порядка с запаздыванием.

3. В условиях эксплуатации при широком диапазоне изменения режима работы конденсационных турбоагрегатов непрерывное поддержание оптимального вакуума целесообразно осуществлять с помощью программных самонастраивающихся систем управления.

V.001453

4. Проведенные исследования непрерывной (с ПИ-регулятором) и дискретной (с широтно-импульсным регулятором) автоматических систем поддержания оптимального вакуума показали, что системы обеспечивают устойчивое регулирование при хорошем качестве переходных процессов.

5. Определение оптимального вакуума в главных судовых конденсационных установках следует производить по критерию минимизации общесудовых эксплуатационных расходов. Непрерывное поддержание оптимального вакуума целесообразно осуществлять с помощью программных самонастраивающихся систем, структура которых зависит от средств подачи забортной воды и режима работы конденсатора.

6. При использовании циркуляционных насосов, допускающих ступенчатое регулирование расхода охлаждающей воды, рациональное переключение циркуляционных насосов возможно производить при помощи пневматических автоматических систем, реализованных на УСЭППА, работающих согласно полученным алгоритмам для различных видов режимных графиков.

7. Разработаны бесконтактный цифровой экстремальный регулятор шагового типа, позволяющий улучшить качество переходных процессов и расширить область устойчивости, и бесконтактный цифровой широтно-импульсный регулятор, отличающийся повышенной точностью, увеличенными пределами регулирования и линейной характеристикой во всем диапазоне изменения скважности выходного управляющего импульса. Регуляторы могут быть рекомендованы для автоматизации поддержания оптимального вакуума, а также при автоматизации объектов, характеризующихся значительными инерционностями и запаздыванием и требующих высокой точности управления.

8. Направление дальнейших работ в области определения и поддержания оптимального вакуума заключается в совершенствовании методики определения оптимального вакуума с учетом неоднородности структуры современных энергосистем и его автоматическое поддержание на тепловых электростанциях, что позволит получить еще большую экономию топлива в энергосистеме, а также в схемном совершенствовании систем и регулирующей аппаратуры, причем задача

автоматического поддержания оптимального вакуума должна рассматриваться как составная часть проблемы комплексной автоматизации энергетических установок.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. И.И.Кринецкий, И.С. Миронов, В.В. Морозов. Предварительные исследования по автоматической оптимизации режима работы турбоагрегата. Тезисы докладов XXУШ научной конференции ОТИ им. М.В. Ломоносова, секция автоматизации и приборостроения, Одесса, 1965.
2. В.В. Морозов, Г.Ф. Болилый. Цифровой экстремальный регулятор шагового типа. Авторское свидетельство № 196972. Бюллетень изобретений № 12, 1967.
3. И.И. Кринецкий, И.С. Миронов, В.В. Морозов. Автоматическая оптимизация режима работы турбоагрегата. Н-т сборник "Автоматизация производственных процессов", № 5, 1967 (в печати).
4. И.И. Кринецкий, В.В. Морозов, И.С. Миронов. К вопросу об автоматической оптимизации режима работы судовых турбоагрегатов. Н-т сборник "Судостроение и морские сооружения", № 5, 1967. (в печати).
5. В.В. Морозов, Г.Ф. Болилый. Цифровой экстремальный регулятор шагового типа. Н-т сборник "Приборы и устройства средств автоматики и телемеханики", № 5, 1967 (в печати).
6. В.В. Морозов, И.С. Миронов. Пневматическая система автоматического переключения циркуляционных насосов. Авторское свидетельство № 200927. Бюллетень изобретений, № 17, 1967.
7. И.И. Кринецкий, В.В. Морозов, В.П. Мануилов. Об автоматическом поддержании оптимального вакуума в судовой конденсационной установке. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по обмену опытом внедрения средств автоматизации и механизации на флоте, Измаил, 1967.
8. Г.Ф. Болилый, В.В. Морозов, П.Н. Платонов, В.С. Явтушенко. Цифровые управляющие устройства на базе двойного реверсивного счетчика. Тезисы докладов Республи-

канской межвузовской научно-технической конференции по вопросам радиоэлектроники и автоматики. Секция автоматики и технической кибернетики, Львов, 1967.

9. В.В. Морозов, В.С. Явтушенко, Г.Ф. Болилый, А.А. Иванов. Цифровой широтно-импульсный регулятор. Авторское свидетельство по заявке № 1126593/26-24, приоритет от 17 января 1967 г.
10. В.В. Морозов. Автоматическая система поддержания оптимального вакуума в конденсаторах паротурбинных установок. Известия вузов МВССО СССР по разделу "Энергетика" (в печати).
11. В.В. Морозов, В.П. Мануилов. Повышение эксплуатационной эффективности судовой конденсационной установки путем автоматического поддержания оптимальных режимов ее работы. Информационный сборник ЦНИИМФ "Автоматизация и механизация производственных процессов на морском флоте", № 58, М., 1967. (в печати).

Результаты работы докладывались на XXУШ и XXIX научных конференциях ОТИ им. М.В. Ломоносова (Одесса, март 1965; апрель 1967), в Украинской школе технической кибернетики (Одесса, сентябрь 1966), на заседании Одесского городского семинара по кибернетике и автоматическому управлению (март 1967), на Республиканской межвузовской научно-технической конференции по вопросам радиоэлектроники и автоматики (Львов, май 1967), на заседании кафедры "Автоматика и вычислительная техника" Одесского института инженеров морского флота (май 1967), на Всесоюзной конференции по обмену опытом внедрения средств автоматизации и механизации на флоте (Измаил, июнь 1967) и на Всесоюзной конференции по применению методов кибернетики в энергетике (Тбилиси, сентябрь 1967).