

6
А-62

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Е.В.ЧАЙКОВСКИЙ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Специальность № 05.198 - Автоматизация
производственных процессов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

М и н с к 1971

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Е.В.ЧАЙКОВСКИЙ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Специальность № 05.198 - Автоматизация
производственных процессов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

М и н с к 1971



Работа выполнена в Белорусском филиале Государственного научно-исследовательского энергетического института имени Г.М.Кржижановского.

Научный руководитель -
доктор технических наук Г.И.ХУТСКИЙ

Официальные оппоненты:

лауреат Государственной премии
доктор технических наук В.Д.МИРОНОВ
профессор
кандидат технических наук П.В.БАЧИЩЕ

Ведущее предприятие -

Главное Производственное Управление
Энергетики и Электрификации БССР

Автореферат разослан "21" мая 1971 года.

Защита диссертации состоится "25" июня 1971 года на заседании Совета по присуждению ученых степеней по энергетическим специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять по адресу: г.Минск 220027, Ленинский проспект 65, Белорусский политехнический институт, Ученому секретарю Совета по энергетическим специальностям.

Дата защиты будет объявлена дополнительно в газете "Вечерний Минск".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук Л.ЧЕРВИНСКИЙ

УДК 621.175.845-52+681.323.001.2

Повышение экономичности тепловых электростанций является важной народнохозяйственной задачей. Успехи в решении этой задачи ярко отражают уровень технического прогресса в области энергетики и постоянно находятся в нашей стране в центре внимания.

Одним из главных факторов, определяющих экономичность тепловой электростанции, является режим циркуляционного водоснабжения. Известно значительное число работ, посвященных оптимизации этого режима. Существуют и используются методики поддержания оптимального режима в изолированных установках с индивидуальным водоснабжением. Однако, для систем водоснабжения, выполненных по схеме с центральной насосной станцией, задачу оптимизации нельзя считать решенной окончательно. Трудности здесь заключаются главным образом в том, что известные методики оптимизации слишком сложны для оперативного управления вручную, а созданию систем автоматического управления препятствует отсутствие аппаратуры, отвечающей особенностям задач оптимального распределения.

Необходимо особо отметить, что задача оптимизации циркуляционного водоснабжения, выполненного по схеме с центральной насосной станцией, имеет более широкое значение, поскольку сводится к оптимальному распределению затрат из общего источника между однородными объектами. Именно так, например, формулируется задача оптимизации установок с индивидуальным водоснабжением, работающих в энергосистеме. В этом случае распределению подлежит не общий поток охлаждающей воды, а электроэнергия, потребляемая из системы для перекачивания воды отдельными установками.

Приведенные соображения определяют актуальность дальнейших исследований, направленных на создание систем автоматической оптимизации циркуляционного водоснабжения тепловых электростанций, чему и посвящена данная работа. Диссертация состоит из аннотации, содержащей краткое изложение результатов, четырех

глав, приложения; и библиографического списка.

I. Циркуляционное водоснабжение как объект оптимизации.

Проблема оптимизации конденсационных установок паровых турбин является актуальной и постоянно привлекает к себе внимание исследователей. Оптимизация в целом распадается на два крупных направления, первое из которых связано с определением оптимальных конструктивных характеристик конденсационной установки, в второе - с определением и поддержанием оптимальных режимов ее работы. Важной составной частью этого второго направления является оптимизация режимов циркуляционного водоснабжения.

Оптимальный режим циркуляционной системы соответствует такому расходу охлаждающей воды (при постоянном расходе пара на турбину), при котором разность между мощностью, генерируемой турбогенератором, и мощностью, затраченной на перекачивание охлаждающей воды, достигает максимума.

Соответственно двум различным схемам, нашедшим применение в практике строительства тепловых электростанций, используются различные методы и средства оптимизации для схемы индивидуального водоснабжения и водоснабжения с центральной насосной. Различия состоят в том, что для схемы водоснабжения с центральной насосной станцией задача оптимизации дополняется проблемой оптимального распределения общего потока охлаждающей воды между конденсаторами отдельных турбин. Эта дополнительная проблема существенно затрудняет оптимизацию водоснабжения, выполненного по такой схеме, и до сих пор ожидает своего окончательного решения.

Система циркуляционного водоснабжения с центральной насосной станцией исследовалась неоднократно. Исследования показали, что возможные методики оптимизации таких систем слишком громоздки для оперативного применения при ручном управлении. Их громоздкость обусловлена многомерностью оптимизируемой функции и приводит к большому объему оперативных вычислений. Исследования

показали также, что автоматическая оптимизация схемы водоснабжения с центральной насосной на основе традиционных средств автоматического регулирования может быть выполнена только при некоторых, узко ограниченных условиях. Ограничения в таких случаях относятся как к составу оборудования, так и к режимам его работы.

Приведенные выше обстоятельства позволяют считать, что разработка системы автоматической оптимизации циркуляционного водоснабжения, выполненного по схеме с центральной насосной станцией, может быть целесообразной только в случае применения для этой цели специализированных устройств, полностью отвечающих потребностям таких систем.

Поскольку работа специализированной аппаратуры в рассматриваемой системе связана с выполнением значительного объема вычислений, то ее разработка и исследование может представить интерес также и в общем плане применения управляющих вычислительных устройств на тепловых электростанциях.

Цель данной работы заключается в создании и внедрении системы автоматической оптимизации циркуляционного водоснабжения, выполненного по схеме с центральной насосной станцией. Область эффективного применения системы должна распространяться на станции с разнотипными турбогенераторами и насосами произвольной конструкции, а также на режимы работы с неравномерной нагрузкой турбогенераторов.

Поскольку построение системы неизбежно связано с разработкой специализированного вычислительного устройства, ставится дополнительная задача исследования элементов и узлов этого устройства, а также его структуры и конструкции. Основное внимание в этих исследованиях обращено на показатели, затрудняющие в настоящее время широкое внедрение управляющих вычислительных устройств на тепловых электростанциях, т.е. главным образом, на надежность и помехозащищенность этих устройств.

2. Анализ эффективности и выбор закона распределения общего потока охлаждающей воды.

Известно, что изменение расхода охлаждающей воды через конденсатор турбины влечет за собой изменение разности между конечной температурой рабочего цикла и температурой окружающей среды, а следовательно (при постоянном расходе пара) и изменение мощности, которую эта турбина развивает. Другими словами, существует частная производная от мощности турбины N_T по расходу охлаждающей воды W . Известно также, что значения этой производной в области существования многомерной функции N_T неотрицательны, т.е. $\frac{\partial N_T}{\partial W} \geq 0$. (I)

Нетрудно видеть, что частная производная $\frac{\partial N_T}{\partial W}$ является абсолютным показателем энергетической эффективности использования охлаждающей воды в конденсаторе турбины.

Для формирования сигнала, пропорционального текущему значению этой производной (при неизменной воздушной плотности и чистоте конденсатора), достаточно располагать функциональными зависимостями

$$\left(\frac{\partial N_T}{\partial t_K} \right) = f_1(t_K, D_K) \quad (2)$$

и

$$\frac{\partial t_K}{\partial W} = f_2(W, D_K, t_{16}, t_K), \quad (3)$$

а также измерять четыре параметра: t_K , t_{16} , D_K и W . Причем, измерение одного из параметров: D_K и W может быть заменено измерением подогрева охлаждающей воды в конденсаторе Δt .

Функциональную зависимость f_1 легко найти из универсальной кривой для определения поправок к мощности турбины на вакуум в конденсаторе

$$\frac{\Delta N_T}{D_K} = f_3\left(\frac{P_K}{D_K}\right). \quad (4)$$

Измерение перечисленных параметров также не вызывает затруднений.

Построение функциональной зависимости $\left(\frac{\partial t_K}{\partial W} \right) = f_2(W)$ при определенных значениях D_K , t_{16} , t_K можно было бы выполнить посредством дифференцирования по расходу воды уравнения для

температуры конденсации, представленного в следующем виде:

$$t_K = t_{16} + \frac{D_K z}{W c_K} + \frac{D_K z}{K F}. \quad (5)$$

Однако, входящий в это уравнение условный коэффициент теплопередачи конденсатора K относится к конечной разности температур $\delta t = t_K - t_{26}$ и является сложной функцией многих переменных, а достаточно строгое аналитическое выражение для его описания неизвестно.

При таких условиях разработка специализированной аппаратуры для автоматического воспроизведения необходимой характеристики конденсационного устройства была бы преждевременной. Тем не менее, при выборе алгоритма управления представилось целесообразным предусмотреть возможность использования абсолютного показателя эффективности использования охлаждающей воды в конденсаторе турбины $\frac{\partial N_T}{\partial W}$, но вместо него, временно, ввести в систему приближенный, но более простой показатель эффективности. При таком решении сохранилась перспектива совершенствования закона оптимального управления по мере накопления сведений об управляемом объекте и существенно снизились затраты и сроки, связанные с разработкой и созданием системы управления.

Уже отмечалось, что в области существования многомерной функции N_T ее частная производная первого порядка по расходу охлаждающей воды неотрицательна. Известно, кроме того, что в той же области эта производная непрерывна и дифференцируема, причем

$$\frac{\partial^2 N_T}{\partial W^2} < 0. \quad (6)$$

Рассмотрим эффективность распределения общего потока охлаждающей воды между двумя турбогенераторами. Пусть

$$W = W_1 + W_2 = \text{const} \quad (7)$$

и при любом $W \neq 0$ существует такой вариант распределения "А" W_{1A} и W_{2A} , что

$$\left(\frac{\partial N_{T1}}{\partial W_1} \right)_{W_{1A}} = \left(\frac{\partial N_{T2}}{\partial W_2} \right)_{W_{2A}}. \quad (8)$$

Принимая во внимание условие (7), нарушим это первоначальное распределение, изменив оба расхода на величину ΔW , тогда получим вариант "Б"

$$W_{1B} = W_{1A} + \Delta W \quad \text{и} \quad W_{2B} = W_{2A} - \Delta W \quad (9)$$

Суммарное приращение мощности турбогенераторов ΔN_{A-B} определится при этом следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta N_{A-B} &= \int_{W_{1A}}^{W_{1B}} \frac{\partial N_{T1}}{\partial W} dW_1 + \int_{W_{2A}}^{W_{2B}} \frac{\partial N_{T2}}{\partial W} dW_2 = \\ &= \int_{W_{1A}}^{W_{1B}} \frac{\partial N_{T1}}{\partial W} dW_1 - \int_{W_{2B}}^{W_{2A}} \frac{\partial N_{T2}}{\partial W} dW_2 \end{aligned} \quad (10)$$

Поскольку $W_{1B} > W_{1A}$, а $W_{2B} < W_{2A}$, а также принимая во внимание условие (7), заметим, что в рассматриваемых интервалах интегрирования

$$\frac{\partial N_{T1}}{\partial W_1} < \left(\frac{\partial N_{T1}}{\partial W_1} \right)_{W_{1A}} = \left(\frac{\partial N_{T2}}{\partial W_2} \right)_{W_{2A}} < \frac{\partial N_{T2}}{\partial W_2} \quad (11)$$

и следовательно

$$\Delta N_{A-B} < 0.$$

Аналогичный результат получим и для случая

$$W_{1B} = W_{1A} - \Delta W \quad \text{и} \quad W_{2B} = W_{2A} + \Delta W. \quad (12)$$

Отсюда следует, что максимальная эффективность использования охлаждающей воды имеет место при W_{1A} и W_{2A} , т.е. в том случае, когда

$$\frac{\partial N_{T1}}{\partial W_1} = \frac{\partial N_{T2}}{\partial W_2}. \quad (13)$$

Методом последовательного увеличения рассматриваемого числа турбин Z можно показать, что для любого Z наивыгоднейшее распределение охлаждающей воды имеет место при

$$\frac{\partial N_{T1}}{\partial W_1} = \frac{\partial N_{T2}}{\partial W_2} = \dots = \frac{\partial N_{TZ}}{\partial W_Z}. \quad (14)$$

Существенно, что оптимальное распределение оказывается возможным для любого общего расхода охлаждающей воды W , а также, что после выполнения распределения показатель эффективности использования охлаждающей воды в каждом из конденсаторов $\frac{\partial N_{Ti}}{\partial W_i}$ оказывается и общестанционным показателем такой эффективности $\frac{\partial N_{cm}}{\partial W}$ и может служить основой для определения и поддержания оптимального значения общего расхода охлаждающей воды от береговой насосной.

Мы приходим, таким образом, к методу, который условно на-

зовем "методом последовательной оптимизации", с использованием двухступенчатой системы оптимального управления циркуляционным водоснабжением. Первая ступень этой системы выполняет оптимальное распределение произвольного расхода охлаждающей воды и выдает во вторую ступень общестанционный показатель эффективности использования воды $\frac{\partial N_{cm}}{\partial W}$. Вторая ступень системы поддерживает оптимальное значение общего расхода в соответствии с равенством

$$\frac{\partial N_{cm}}{\partial W} = \frac{\partial N_H}{\partial W}, \quad (15)$$

где $\frac{\partial N_H}{\partial W}$ - относительный прирост мощности насосов на дополнительную единицу расхода охлаждающей воды.

В диссертации показано, что существует вероятность появления заметных тепловых перекосов в конденсаторе вследствие неравномерного загрязнения поверхностей охлаждения в обеих его половинах. Из этого следует, что измерение величины, принятой в качестве упрощенного показателя эффективности, должно быть возможно как для половин одного, так и разных конденсаторов.

Поскольку измерение абсолютного показателя эффективности использования охлаждающей воды в конденсаторе паровой турбины оказывается невозможным, то в качестве приближенного значения такого показателя в системе управления используется кратность охлаждения. Такое решение оказывается наиболее простым, так как сокращает входные устройства системы до единственного датчика подогрева охлаждающей воды на каждый из каналов, и достаточно эффективным, так как позволяет восполнить около 70% всех потерь от неоптимального распределения воды. Аналитически получены те допущения, с которыми связано такое упрощение критерия, и частные условия, при которых это упрощение является строгим.

Для определения экономической эффективности системы управления используется оценка тех дополнительных потерь от неоптимального распределения воды, которые имели место до ввода ее в постоянную эксплуатацию. С этой целью разработана методика расчета, позволяющая по заранее накопленным статистическим данным определить величину экономии от оптимизации тех режимов, которые действительно имели место. Для сбора статистических

данных, примерно за год до ввода системы в эксплуатацию, была начата регистрация подогрева охлаждающей воды в каждой из половин всех конденсаторов электростанции. Остальные данные, необходимые для расчета, получены из диаграмм "штатных" приборов. Детальный расчет выполнен на основе десяти суточных интервалов, выбранных в различное время года. Расчетная экономия удельного расхода условного топлива на выработку электроэнергии составила 1,72 г.у.т./квт-ч, что для Василевичской ГРЭС в целом соответствует годовой экономии в 32600 руб/год. При дополнительных капиталовложениях в автоматические устройства и связанную с ними реконструкцию в размере 39600 руб годовой экономический эффект составил 23100 руб/год.

3. Система автоматического управления.

Важнейшим условием для построения работоспособной и эффективной системы автоматического управления является четкое формулирование предъявляемых к ней требований. Требования формулируются на основе анализа назначения системы, важнейших условий ее работы и, по существу, представляют собой первый этап разработки системы. Основные из требований направлены на повышение надежности работы системы в условиях повышенной температуры, влажности, вибрации и интенсивных импульсных помех. Специально оговаривается простота обращения оперативного персонала к системе и четкость ее деления на блоки с контролируемой работоспособностью для упрощения ремонтно-профилактических работ. Особыми требованиями регламентируются ложные управляющие воздействия при повреждениях в элементах системы.

Подобие аналитических выражений для оптимального распределения охлаждающей воды и оптимального распределения нагрузок в энергосистеме побуждает сопоставить обе задачи и проанализировать возможность заимствования известных аппаратурных решений. Особенностью распределения охлаждающей воды является возможность оптимального распределения произвольного общего ее расхода, тогда как при распределении нагрузок их сумма должна иметь строго заданное значение. Вторая особенность системы оптимального распределения воды состоит в том, что решение находится не в виде расходов для каждого из потоков,

а в виде направления и величины перемещения каждого из регулирующих органов. Эти перемещения последовательно приближают систему к заданному условию оптимального распределения. Вытекающая из такого решения неопределенность для общего расхода воды устраняется дополнительным ограничением, согласно которому наибольший из расходов имеет предельно большое значение (или, наиболее открытый из регулирующих органов открыт полностью). В отличие от этого, решение задачи наивыгоднейшего распределения нагрузок принято находить в виде значений этих нагрузок для каждого из агрегатов системы. Приведенные отличия не позволяют использовать для оптимизации циркуляционного водоснабжения арсенал аппаратурных решений, накопленный при разработке систем распределения нагрузок.

На рис. I представлена функциональная схема системы управления. Из схемы видно, что управляющие воздействия μ_i , формируемые системой для каждого из каналов, пропорциональны отклонению кратности охлаждения в канале m_i от среднестанционной кратности охлаждения m .

$$\mu_i = \nu \Delta m_i = \nu (m - m_i). \quad (I6)$$

Отсюда следует, что изменение суммарного станционного расхода пара в конденсаторы турбин или изменение общестанционного расхода охлаждающей воды не вносят возмущения в систему управления, хотя и сопровождаются изменением входных сигналов. Возмущающим воздействием для системы управления является изменение соотношения между отдельными расходами пара или потоками охлаждающей воды.

Распределение потоков воды, объединенных общим напорным водоводом, затруднено сильным взаимным влиянием каналов управления. Избежать взаимного влияния каналов можно посредством применения импульсных методов управления. Импульсная система реализована на основе цифрового специализированного вычислительного устройства. В этом случае измерение входных сигналов (ввод информации) и воздействие на исполнительные механизмы выполняются в различные периоды времени, а между окончанием управляющих воздействий и началом следующего измерительного периода выдерживается пауза, превышающая продол-

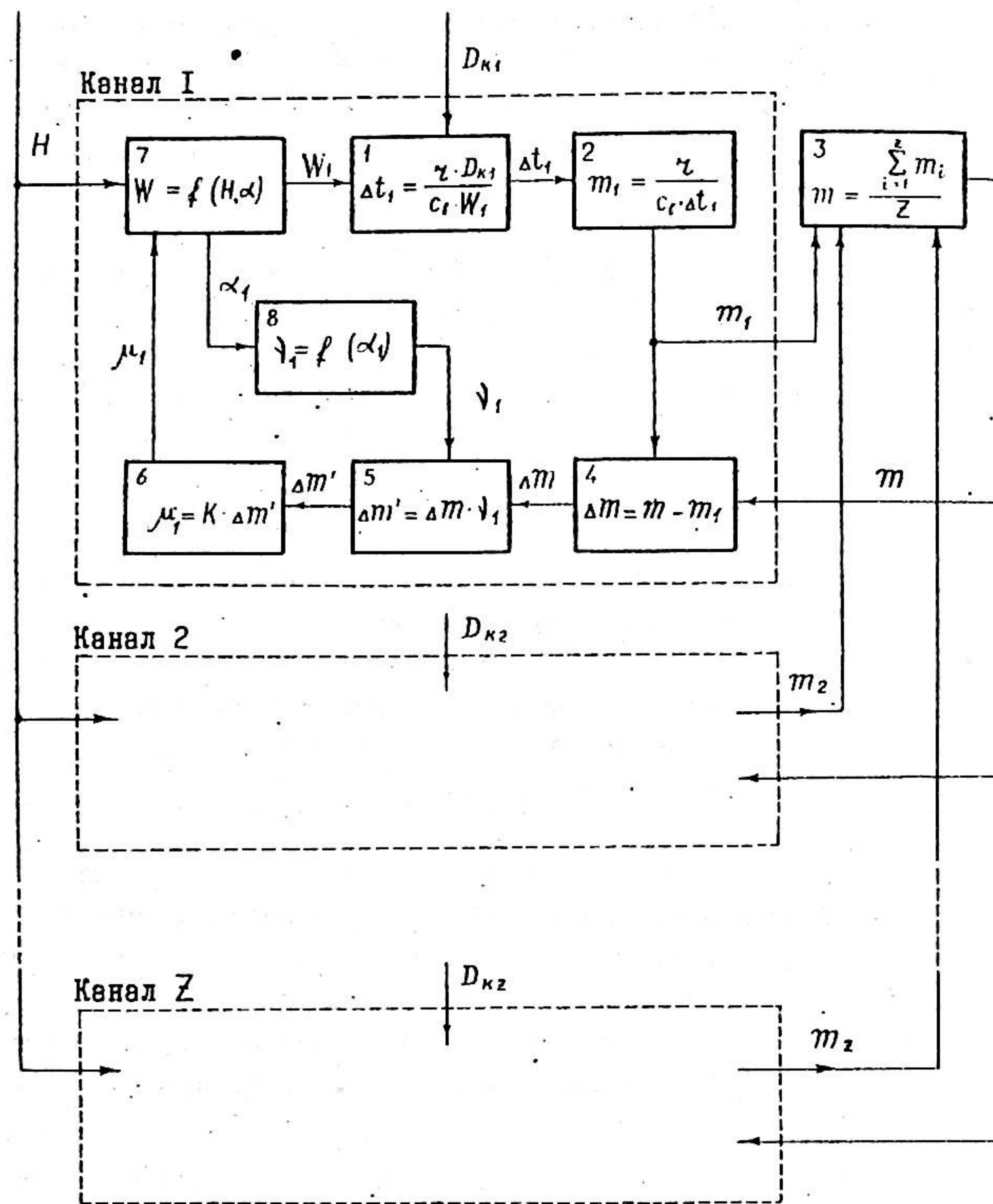


Рис. I. Функциональная схема системы управления.

I-конденсатор; 2-вычислитель кратности охлаждения, совмещенный с аналого-цифровым преобразователем; 3-вычислитель среднестанционной кратности охлаждения; 4-5-арифметическое устройство; 6-цифро-аналоговый преобразователь; 7-исполнительный механизм с регулирующим органом; 8-функциональный преобразователь.

жительность переходного процесса в объекте управления. Сохранение результатов измерения вплоть до выполнения всех управляющих воздействий обеспечивается оперативной магнитной памятью вычислительного устройства.

Аналитически исследованы переходные процессы в системе автоматического распределения. Устойчивость распределения обеспечивается единственным параметром системы - ее коэффициентом усиления в разомкнутом состоянии. Для монотонно сходящегося переходного процесса значение коэффициента усиления должно находиться в пределах

$$-1 < K_p < 0. \quad (I7)$$

Продолжительность переходного процесса зависит как от K_p , так и от длительности цикла управления T_0 . Реальная система работает с параметрами:

$$T_0 = 150 \text{ сек}; \quad K_p = -0,5.$$

Существенным элементом системы являются датчики подогрева охлаждающей воды в конденсаторах турбин. Используются семикратные хромель-копелевые термобатарей в комплекте с нормирующими преобразователями. Благодаря такому выбору обеспечена высокая стабильность значений входного сигнала вблизи нуля. Это обстоятельство является важным при вычислении кратности охлаждения как величины, обратно пропорциональной входному сигналу.

В системе используется оригинальный способ деления двух величин, представленных в виде напряжений постоянного тока, совмещенный с аналого-цифровым преобразованием входных сигналов. Для этого аналого-цифровой преобразователь оборудован двумя входами для ввода соответственно "делимого" и "делителя". Входной сигнал U_A , пропорциональный "делимому", является, как обычно, измеряемым напряжением, тогда как "делитель" U_B управляет величиной единичного приращения ступенчатой функции, выполняющей квантование измеряемого напряжения. В этом случае уравнение аналого-цифрового преобразования имеет вид:

$$U_A = N \cdot h, \quad (I8)$$

где N - результат преобразования аналог-код; h - шаг квантования по уровню, $h = K_1 U_B$; K_1 - коэффициент пропорциональности устройства управления шагом квантования. Отсюда результат преобразования

$$N = \frac{U_A}{K_1 U_B} \quad (19)$$

Значительные трудности при разработке систем управления с цифровыми вычислительными устройствами представляет выбор устройств ввода информации. Интересными возможностями, в этом смысле, располагают автоматические электронные потенциометры ЭПП-09. В диссертации подробно рассматривается применение таких потенциометров в качестве групповых нормирующих преобразователей. Показано, что, обладая высокими метрологическими показателями, эти приборы позволяют контролировать достоверность снимаемой с них информации и для некоторых систем управления являются наиболее удобными и надежными устройствами многоканального ввода информации.

4. Разработка управляющего специализированного вычислительного устройства и исследование его элементов.

Разработка вычислительного устройства ("ЭНИНОР-10") выполнена автором в лаборатории автоматизации энергоустановок Белорусского филиала Энергетического института им. Г.М. Кржижановского и введено в постоянную промышленную эксплуатацию на Василевичской ГРЭС. В разработке принимала участие инженер Е.К. Ярмолинская.

Устройство имеет следующие технические характеристики: количество каналов управления - 10; минимальное время цикла - 30 сек; разрядность - 13 дв. разрядов; скорость выполнения коротких операций - 20000 операций в секунду; емкость оперативного запоминающего устройства - 10 ячеек по 13 дв. разрядов каждая; тип выходного преобразователя - широтно-импульсный модулятор. Устройство выполнено на элементах импульсно-потенциальной системы. Общее число транзисторов, использованных в устройстве, - 1132. Габариты 650 x 600 x 1800 мм.

При разработке вычислительного устройства последовательно проведена тенденция глубокой специализации его для решения задачи оптимального распределения потоков охлаждающей воды. Следствием такой специализации является предельная простота взаимодействия оперативного персонала с управляющим вычислительным устройством. Действия персонала сводятся к тому, чтобы простым поворотом ключа либо подключить систему распределения к любому из каналов управления, либо отключить ее.

Другой тенденцией, имеющей не меньшее значения, является единство схемной и конструктивной структур вычислительного устройства. Это означает, что каждый из функциональных блоков выполнен в виде самостоятельной конструкции и способен нормально функционировать вне вычислительного устройства. Съемные блоки позволяют контролировать их работоспособность в широких пределах изменения внешних условий, используя для этой цели термостат, вибростенд и другие приспособления. В сочетании с асинхронным принципом работы устройства единство

схемной и конструктивной структур создает возможность сосредоточить подавляющее число импульсных связей внутри функциональных блоков. В межблочную коммутацию выносятся лишь импульсные связи для запуска функциональных блоков и для сигналов об окончании правильной обработки информации в блоках. Остальные межблочные связи используются для передачи потенциалов (коды чисел, адреса, аналоговые сигналы, питание). Поскольку внутри блоков все соединения выполнены на основе печатного монтажа, объем монтажной документации резко сокращен (на 24000 соединений, выполненных внутри двенадцати блоков, приходится около 900 соединений в межблочном монтаже). Кроме того, блочная конструкция вычислительного устройства позволила унифицировать внешние соединения блоков. Каждый из блоков имеет четыре группы внешних связей: 1) питание; 2) сигналы управления; 3) цифровой (кодовый) вход; 4) цифровой выход. Каждая группа связей имеет отдельные разъемы. Это еще более сокращает объем монтажной документации, так как для групп 1, 3 и 4 приводятся лишь номера поконтakтно соединяемых разъемов. Таким образом, из полного числа около 500 проводников межблочной коммутации монтажные таблицы составляются

менее чем на 80 проводников.

Наконец, строго выдержанная блочная конструкция вычислительного устройства позволяет организовать успешное его изучение лицами, не имеющими специальной подготовки по вычислительной технике. Каждый из блоков в этом случае играет роль учебного пособия самого высокого качества, а совпадение схемной и конструктивной структур является как бы овеященной программой изучения вычислительного устройства. Фактический срок детального изучения управляющего вычислительного устройства "ЭНИНОР-10" персоналом Василевичской ГРЭС составил 1,5 месяца.

Из опыта внедрения вычислительных устройств на тепловых электростанциях известно, что наибольшие трудности связаны с обеспечением схемной и технологической надежности устройства и с подавлением импульсных помех, воздействующих на его входные цепи и цепи питания. Учитывая более чем годичный период успешной эксплуатации устройства "ЭНИНОР-10", можно полагать, что в каждой из этих проблем удалось добиться положительных результатов.

Наиболее существенное повышение схемной надежности было достигнуто в результате исследования ограничений по длительности и амплитуде импульса при счетном запуске по базам симметричного потенциального триггера. Было установлено, что ограничения по длительности сверху, которые принято считать принципиальными, могут быть надежно устранены посредством соответствующего выбора параметров цепи запуска. Выбор параметров входной цепи должен обеспечить соотношение скоростей восстановления зарядов на входной $C_{вх}$ и запоминающей $C_{зап}$ емкостях триггера при воздействии на его вход импульса неограниченной длительности. Скорость восстановления заряда на $C_{вх}$ должна быть больше, чем на $C_{зап}$. В этом случае к началу стадии переключения триггера остаточный заряд запоминающей емкости будет еще достаточным для надежного переключения. С учетом последовательного соединения емкостей получено простое условие для нахождения максимально допустимого значения $C_{вх}$

$$C_{вх} \leq C_{зап} \quad (20)$$

При этом и ограничения сверху по амплитуде импульса сдвигаются далеко за пределы возможных амплитуд напряжений, действующих в схемах устройства.

Повышение технологической надежности вычислительного устройства осуществлялось, главным образом, за счет улучшения качества электрических соединений. Более 91% (30500 из 33500) всех соединений выполнены с применением печатного монтажа, который распространен также и на присоединения элементов к печатной плате блока. Специальными мерами обеспечена возможность быстрой замены элементов без опасений повредить печатный монтаж. Те же меры обуславливают "релейную" зависимость внешнего вида пайки от ее качества и, таким образом, способствуют повышению надежности соединений. К этим мерам относится, в частности, заковка монтажного отверстия со стороны фольги и лирообразные компенсаторы на монтажных проводниках между элементом и платой блока.

Подавление импульсных помех основано на отличии динамических свойств помехи и сигнала. Обнаружение помехи выполняется в специализированном аналого-цифровом преобразователе, динамические параметры которого согласованы с параметрами входных сигналов системы таким образом, что при отсутствии помехи одна из двух попыток двукратного замера дает результаты, лежащие в пределах одного кванта по уровню сигнала. Подавление помехи осуществляется за счет исключения парных результатов, лежащих в разных квантах, и автоматического повторного запуска аналого-цифрового преобразователя.

В приложениях к работе приведены акты, удостоверяющие ввод системы автоматического управления в опытную и постоянную промышленную эксплуатацию, а также справка о фактическом экономическом эффекте, полученном в результате использования системы на Василевичской ГРЭС.

Основные выводы

1. Для циркуляционного водоснабжения, выполненного по схеме с центральной насосной станцией, оптимизация режима связана с оптимальным распределением общего потока охлаждающей воды между конденсаторами турбин. Необходимость оптимального распределения усложняет задачу оптимизации до такой степени, что делает ее решение недоступным для ручного управления, главным образом, из-за большого объема оперативных вычислений.

2. При любом режиме работы электростанции и произвольном общем расходе охлаждающей воды существует единственный вариант ее оптимального распределения, который соответствует равноэффективному использованию воды в каждом из конденсаторов. Потери от неоптимального распределения воды достигают наибольшей величины в летние месяцы с повышением температуры охлаждающей воды.

3. Существенное влияние на эффективность использования охлаждающей воды оказывает асимметричное загрязнение поверхности охлаждения конденсатора. В общем паровом объеме конденсатора происходит вытеснение конденсирующегося пара с грязной половины поверхности охлаждения на чистую. В результате такого вытеснения подогрев, а следовательно и эффективность использования охлаждающей воды, снижаются для грязной и повышаются для чистой половины конденсатора. Отсюда следует, что при оптимальном распределении воды нужно раздельно учитывать эффективность ее использования в каждой из половин конденсатора.

4. Абсолютным показателем эффективности использования охлаждающей воды в конденсаторе турбины является частная производная от мощности турбины по расходу охлаждающей воды $\frac{\partial N_T}{\partial W}$. Формирование сигнала, пропорционального этой производной, сопряжено со значительными трудностями, которые обусловлены, отчасти, недостаточностью исследований по распределению локальных тепловых нагрузок в продольном сечении конденсатора

и между поверхностями охлаждения, параллельно включенными по воде и находящимися в общем паровом пространстве. В качестве приближенного показателя эффективности использования воды может быть принят ее подогрев в конденсаторе турбины или кратность охлаждения.

5. Для управления режимом системы циркуляционного водоснабжения с центральной насосной следует применять метод последовательной оптимизации с использованием двухступенчатой системы оптимального управления. Первая ступень этой системы выполняет оптимальное распределение произвольного общего расхода охлаждающей воды и выдает во вторую ступень общестанционный показатель эффективности использования воды. Вторая ступень системы поддерживает значение общего расхода на оптимальном уровне.

6. Специфика распределения охлаждающей воды между взаимосвязанными потоками и значительный объем оперативных вычислений, для такого распределения, существенно затрудняют построение системы управления на основе традиционных средств автоматического регулирования и создают предпосылки для применения управляющего специализированного вычислительного устройства.

7. В отличие от системы распределения электрических нагрузок в энергосистеме, алгоритм управления которых, как правило, основывается на вычислении заданий для каждого из управляемых агрегатов, для распределения охлаждающей воды может быть применен алгоритм управления, основанный на последовательном движении показателей эффективности отдельных потоков к среднестанционному показателю эффективности использования охлаждающей воды. Применение такого алгоритма позволяет избежать ошибок из-за неточного согласования коэффициентов усиления звеньев отдельных каналов и может быть реализовано простой системой многоканального импульсного пропорционального регулирования.

8. Поскольку оптимальное распределение охлаждающей воды может быть достигнуто при любом ее общем расходе, в систему управления необходимо ввести дополнительное условие, ориен-

тирующее направленное смещение системы к состоянию с минимальным гидравлическим сопротивлением.

9. Разработка управляющих специализированных вычислительных устройств и применение их на тепловых электростанциях важны не только экономическим эффектом, который они создают в составе конкретных систем управления, но и предпосылками для преодоления профессиональных барьеров, поскольку в каждую такую разработку вовлечены не только специалисты по вычислительной технике но и энергетики. Кроме того, при разработке специализированных вычислительных устройств создаются благоприятные условия для поиска технологических и схемных методов повышения надежности устройства, которые имеют важное самостоятельное значение. Наконец, при разработке и использовании специализированного управляющего вычислительного устройства проходит тщательную проверку на действующем объекте один из алгоритмов управления тепловой электростанцией, что важно в общем плане разработки алгоритмов управления.

10. Важным технологическим методом повышения надежности электрических соединений, выполняемых с помощью пайки на печатном монтаже, является получение "релейного эффекта" для внешнего вида соединения в зависимости от его качества. Такой "релейный эффект" можно получить, например, за счет зонковки монтажного отверстия в печатной плате со стороны фольги и выполнения пайки без подгибки монтажного проводника. Этот прием позволяет распространить сферу применения печатного монтажа на присоединения элементов к монтажной плате функционального блока, так как существенно облегчает удаление припоя из мест пайки при замене элементов. В свою очередь, использование печатного монтажа при сборке функциональных блоков резко сокращает объем монтажной документации и число возможных ошибок при монтаже устройства.

11. Ограничение сверху по длительности запускающего импульса, подаваемого на неуправляемый общий вход симметричного импульсно-потенциального триггера (запуск по базам) не является принципиальным, как это обычно принято считать, а возникает при недопустимом увеличении входной емкости в цепи запуска.

12. При сравнительно низкой скорости ввода информации (около одного измерения в секунду) эффективным средством обнаружения помех является сопоставление результатов двукратного аналого-цифрового преобразования. Достоверными считаются результаты, лежащие в пределах одного кванта.

Приведенные выводы успешно прошли проверку на действующей системе автоматического управления циркуляционным водоснабжением Василевичской ГРЭС.

Результаты исследований докладывались на семинаре "Кибернетика и автоматическое управление" в Одесском технологическом институте им. М.В.Ломоносова (Одесса, 22 января 1969 года), на XXII научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института совместно с работниками промышленности и строительства, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина (Минск, 10-18 апреля 1970 года) и на III республиканской научно-технической конференции по применению вычислительной техники в энергетике Белоруссии (Минск, 28-29 декабря 1970 года).

Материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Е.В.Чайковский. Счетно-решающие устройства для непрерывной обработки показаний приборов теплового контроля. - В кн. "Автоматическое управление энергоустановками и системами". Минск, "Наука и техника", 1965, 85-92.

2. Г.И.Хутский, Е.В.Чайковский и С.Л.Клейнберг. Повышение экономичности тепловой электростанции. "Теплоэнергетика", 1967, № 1, 34-38.

3. Г.И.Хутский, Е.В.Чайковский и Б.В.Панченко. Об использовании электронных регистрирующих потенциометров в цифровых системах автоматического управления на электрических станциях. "Известия вузов СССР - Энергетика", 1968, № 12, 24-27.

4. Г.И.Хутский, Е.В.Чайковский, А.А.Москаленко и В.П.Яновский. Цифровое вычислительное устройство системы автоматического управления пуском энергетического блока. "Приборы и системы управления", 1968, № 11, 27-30.

5. В.В.Морозов, Е.В.Чайковский и А.Т.Смитюк. Повышение экономичности конденсационных паротурбинных установок. - В кн.: "Кибернетика и автоматическое управление" (труды семинара. Институт кибернетики. Одесское отделение), Киев, 1969, вып. I, 25-30.

6. Е.В.Чайковский и В.В.Морозов. Алгоритм автоматической оптимизации циркуляционного водоснабжения для тепловой электростанции. - В кн.: "Кибернетика и автоматическое управление", (Труды семинара. Институт кибернетики. Одесское отделение), Киев, 1969, вып. I, 96-101.

7. Е.В.Чайковский. Применение специализированных вычислительных устройств на Василевичской ГРЭС, - В кн.: "Тезисы докладов III республиканской научно-технической конференции по применению вычислительной техники в энергетике Белоруссии". Секция электрических станций. Минск, 1970, 23-24.

8. Chutski G.I., Tschalkowski E.W. und Patschenko B.W. Elektronische Registrierpotentiometer für Computer für die automatische Steuerung von Kraftwerken. "Archiv für Energiewirtschaft", 1969, 23, Nr. 18, 858-863.

АТ 03266. Подписано в печать 12/У-71 г. Формат 60x84 1/16
1,3 печ. л ; 1,5 уч.-изд. л. Тираж 200. Зак. 453. Бесплатно

БПИ. Минск, Ленинский пр., 65