

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

В.Г. ПИРОГОВ

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ПУСКОВЫХ
АВТОМАТОВ ДЛЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ И ТУРБИН

/№ 05. 198. Автоматизация производственных процессов/

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 1971

Работа выполнена в лаборатории автоматизации энергоустановок Белорусского филиала энергетического института им. Г.М. Крижановского.

Научный руководитель -
доктор технических наук Г.И. ХУТСКИЙ

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Кринецкий И.И.
кандидат технических наук, доцент Леонков А.М.

Ведущее предприятие - Главное производственное
управление энергетики и электрификации БССР.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1971 г.

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 1971 г.
на заседании Совета по присуждению ученых степеней по энергетическим специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

О дне защиты будет объявлено в газете "Вечерний Минск".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Заверенный и скрепленный печатью отрыв на автореферат в двух экземплярах просим направлять по адресу: Минск, 27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук

Л.Л. ЧЕРВИНСКИЙ

В В Е Д Е Н И Е

Одной из главнейших и наиболее сложных задач комплексной автоматизации тепловых электростанций является автоматизация пуска турбин, котлов и энергетических блоков.

Неавтоматизированные пуски весьма часто приводят к авариям оборудования на электростанциях в связи со следующими причинами:

1. Число операций, связанных с включением отдельных агрегатов и переключением аппаратуры в процессе пуска блока настолько велико, что при выполнении их ошибки практически неизбежны, если пуск осуществляется вручную.

2. В процессе прогрева деталей котла и турбины во время пуска оператор не в состоянии изменять температуру металла в соответствии с выбранными и заданными программами. Как правило, скорости прогрева и разности температур по толщине деталей на отдельных этапах пуска значительно отклоняются от заданных значений. В результате возникают недопустимо большие термические напряжения, с течением времени приводящие к тепловой усталости металла и, как следствие, появлению трещин в паропроводах, паровых коробках, барабане котла, цилиндре турбины и т.д.

Развитие технической кибернетики в течение последнего десятилетия послужило толчком для создания систем автоматического управления пуском энергоблоков. В связи со сложностью законов управления в процессе пуска в системах автоматизации предусматривается использование управляющих вычислительных устройств, элементов логического действия и программных аналоговых регуляторов.

Работы по автоматизации пуска котлов, турбин и блоков в СССР проводятся рядом ведущих научно-исследовательских институтов и организаций: ВТИ /В.Д.Миронов, И.И.Гальперин, Н.И.Давыдов, П.Е.Болобан/, ЦКТИ /В.Д.Ливень, В.К.Глухов/, ЦНИКА /М.А.Дуэль, А.Х.Горелик/, Киевский институт автоматизации /В.М.Синьков, Е.М.Роик/, Ростовэнергоремонт /Б.М.Якуб/ и др. Координацию работ по созданию автоматических устройств для пуска теплоэнергетического оборудования электростанций осуществляют МЭ и Э СССР и Теплоэлектропроект.

В лаборатории автоматизации энергоустановок Белорусского филиала энергетического института им.Г.М.Кржижановского при участии

автора были разработаны специальные пусковые автоматы, которые используются при пусках котла ПК-14-2 и турбины К-50-90. Поскольку в течение длительного времени автоматические устройства находятся в эксплуатации, накоплен определенный опыт их работы, который используется Бел.ЭНИН^{ом} им.Г.М.Кржижановского при разработке систем автоматического управления нестационарными режимами современных мощных энергоблоков. В частности, основные принципы построения системы управления пуском котла ПК-14-2 и турбины К-50-90 /использование регуляторов непрерывного действия для изменения ведущих параметров, применение специальных автоматов и т.д./ получили развитие в работе над проектом системы автоматизации пуска блока сверхкритического давления мощностью 300 Мвт /котлоагрегат ТМШ-II4, турбина К-300-240/.

В диссертации приведены результаты экспериментального исследования работы предложенных систем при пусках котлов и турбин из различных исходных тепловых состояний.

Г Л А В А I.

Обзор состояния работ в области автоматизации пуска теплоэнергетических установок в Советском Союзе и за рубежом.

Первые работы, касающиеся вопроса автоматического пуска агрегатов, появились в отечественной и зарубежной печати в конце пятидесятых — начале шестидесятых годов. Разработки систем автоматизации в этот период базировались на использовании цифровых вычислительных машин в качестве основных управляющих устройств. Как ведущие иностранные фирмы /Вестингауз, Дженерал Электрик и др./, так и научно-исследовательские институты в нашей стране возлагали на управляющую вычислительную машину /УВМ/ практически все функции регулирования и управления энергетическим блоком /пуск блока на скользящих параметрах, включая проведение всех необходимых предпусковых переключений; ведение нормального процесса эксплуатации блока по диспетчерскому графику с максимально возможной экономической эффективностью; контроль и периодическая регистрация технологических параметров при нормальной работе блока; сигнализация и регистрация отклонений технологических параметров от заданных значений; локализация аварий и лик-

выдача аварийного состояния установки, а при отклонении от нормального режима - ввод в действие резервного оборудования; расчет и выдача технико-экономических показателей работы блока; нормальный и аварийный останов блока/.

В промышленную эксплуатацию, однако, эти сложные системы с УВМ не были введены. Низкая надежность, сложность в обслуживании, относительно высокая стоимость - вот те основные факторы, которые пока препятствуют широкому внедрению УВМ в системах автоматизации тепловых электростанций, и в частности, в системах автоматизации пуска турбин, котлов и блоков.

Анализ операций пуска показывает, что последние могут быть разделены на две группы:

1. Операции подъема технологических параметров блока.
2. Логические операции включения систем, механизмов и устройств.

Выполнение данных операций принципиально может быть возложено не только на УВМ, но и на децентрализованную систему автоматического управления, состоящую из комплекса элементов логического действия и программных регуляторов. Основным недостатком таких децентрализованных систем является сложность изменения порядка включения отдельных устройств и изменения в целом программы пуска. Главным их достоинством является сравнительно низкая стоимость и возможность использования в работе части системы в случае выхода из строя отдельных автономных устройств. Именно по этой причине децентрализованные системы автоматизации пуска начали широко разрабатываться в последнее время /системы ВТИ и ЦНИИКА в СССР; системы фирм "Броун Бовери", "Парсонс", "Сименс" за рубежом/.

В последние годы наметилась тенденция использования комбинированных систем автоматизации пуска. Такие системы реализуются с помощью логических схем, а также аналоговой и цифровой вычислительной техники, причем, в зависимости от алгоритма управления, на цифровые регуляторы возлагаются различные функции. Данный подход к разработке автоматических систем обусловлен, с одной стороны, трудностями построения централизованной системы с единой цифровой управляющей машиной, с другой стороны - желанием создать более гибкую систему управления, позволяющую перерабатывать повышенный объем информации и в результате оптимизировать процесс пуска.

В цифровой — аналоговой системе автоматического управления блоком котел-турбина предусматривается двухуровневый вариант структуры системы управления, содержащей вычислительную машину. Система позволяет использовать локальные устройства и вычислительную машину с координирующей программой.

В качестве примера комбинации цифровых и аналоговых устройств автоматизации пуска и останова энергоблоков можно назвать систему на ТЭС Ламтон /Канада/. Все четыре блока по 500 Мвт оснащены развитыми системами автоматического управления, образованными ЦВМ и жестко запрограммированными логическими устройствами. Аналогично строят системы управления Киевский институт автоматизации, предусматривая сочетание развитых местных систем управления с вычислительными машинами. Последним поручаются информационные функции, координация работы местных систем, оптимизация процессов, а также сложные логические операции при пуске и останове блоков.

В настоящее время используются различные принципы построения систем автоматизации пуска турбин, котлов и блоков. Однако, в первую очередь важно разработать надежные и сравнительно недорогие системы, которые удобны в эксплуатации, т.е. не требуют специального обслуживающего персонала. С этой точки зрения сейчас наиболее перспективными являются децентрализованные и комбинированные системы, включающие специальные пусковые автоматы. Разработке, исследованию и внедрению одного из вариантов таких систем посвящена данная работа.

Г Л А В А П.

Принципы построения систем автоматизации пуска и алгоритмизация процесса управления пуском котла и турбины.

Систему автоматизированного управления пуском котла и турбины целесообразно строить по принципу децентрализации, что позволяет осуществить постепенную, поэтапную автоматизацию теплоэнергетического оборудования, сохраняя при этом высокую надежность работы системы: отказ какого-либо ее узла не приводит к выходу из строя всей системы автоматического управления. Подобная структура построения систем позволяет сравнительно просто увязать воедино режимные аналоговые регуляторы и схемы логического управления с

пусковыми регуляторами. Такая структура систем возможна только при разделении автоматов и схем логического управления на функциональные группы, которые технологически объединяют оборудование с присущими им контурами регулирования, дистанционного управления и т.д. Функциональная группа состоит из одной или более подгрупп. Например, функциональная группа поддержания уровня в барабане котла имеет подгруппу управления запорной арматурой узла питания, подгруппу аварийного слива и подгруппу поддержания уровня в барабане котла. Система, состоящая из функциональных подгрупп по управлению пуском котла и турбины, производит:

а/ логическое управление различными устройствами и узлами с учетом возможного состояния оборудования;

б/ программное регулирование технологических процессов розжиг топлива, прогрев котла и главного паропровода, набор оборотов и нагружение турбогенератора и др./.

Операции первого вида реализуются путем применения логических элементов И, ИЛИ, НЕ, а второго вида - за счет использования программных аналоговых регуляторов.

В качестве примера построения логических схем управления приведено описание созданной релейно-контактной системы, используемой для толчка, разворота, синхронизации и нагружения турбогенератора. Выходные и промежуточные сигналы в схеме являются логическими функциями от входных переменных. Для рассматриваемой системы эти функции определяются алгебраическими выражениями, записанными в нормальных дизъюнктивных и конъюнктивных формах, поскольку логическая схема имеет последовательно параллельную структуру /схема класса П/. Вся схема управления разделяется на ряд отдельных узлов, различающихся по своему функциональному назначению.

I. Узел сигнализации и подготовки к толчку.

$$BOB = P_1 = 20CT = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5; \quad BOB = P_2 = 19CT = a_1 \bar{a}_1 \bar{b}_1 \bar{b}_2 \bar{b}_3 c_2;$$

$$22CT = a_6; \quad 23CT = b_{11}; \quad 24CT = v_4; \quad 25CT = v_{12}; \quad 26CT = v_8;$$

$$27CT = v_{15}; \quad 28CT = v_9; \quad X_0 = P_2 \bar{b}_4 \bar{a}_1 a_2$$

II. Узел выполнения толчка.

$$Y_{0m} = P_1 \bar{a}_1 (\bar{a}_3 a_4 + a_6) \bar{b}_5 \cdot a_7 \cdot c_4 \cdot \bar{a}_6;$$

$$Y_{3m} = c_4 \cdot b_5 \cdot \bar{a}_7 \cdot a_6$$

Ш. Узел управления разворотом и нагружением до 3-4 Мвт.

$$Y_{op} = P_8 \cdot \bar{a}_1 (\bar{a}_3 \cdot \bar{a}_4 + a_6) \cdot b_8 \cdot b_4 [b_6 + b_7 + d_9 (\bar{a}_6 \cdot a_7 \cdot b_9 + a_6 \cdot a_7 \cdot \bar{a}_9) b_1] \times \\ \times C_5 \cdot \bar{a}_6 \cdot \bar{a}_6 ; \\ Y_{3P} = b_4 \cdot \bar{a}_7 \cdot \bar{a}_6 .$$

IV. Узел управления нагружением от 3 + 4 Мвт до 50 % нагрузки.

$$Z_0 = (b_{10} + b_{12}) b_9 \cdot b_{13} (l_1 + \bar{a}_6) b_4 (l_2 + d_5) \bar{a}_7 \cdot a_7 ; \\ Z_3 = b_{13} + (b_{12} + b_{10}) \cdot b_4 .$$

Весь алгоритм управления пуском турбогенератора можно представить операторной схемой из последовательной цепочки логических и управляющих операторов:

$$Y / \text{П11} / \text{1P}_2 Y / \text{П8} / \text{3Y} / \text{П9} / \text{4P}_5 P_6 Y_0 / \text{П33} / \text{7Y} / \text{П10} / \text{8P}_9 \text{ II } Y / \text{П134} / \text{9P}_{10} \text{ P}_{11} \\ Y_3 / \text{П134} / \text{12Y} / \text{П10} / \text{13P}_{14} Y_0 / \text{П134} / \text{15P}_{16} \text{ II } Y_0 / \text{П134} / \text{17P}_{18} \text{ II } 18, 20 \text{ P}_{18} \\ Y_8 / \text{П133} / \text{19P}_{20} \text{ II } Y_5 / \text{П134} / \text{21P}_{17} Y_0 / \text{П134} / \text{22Y} / \text{АСУ} / \text{23Y}_0 / \text{П134} / \text{24P}_{25} \\ Y_0 / \text{П1102} / \text{26P}_{27} Y_0 / \text{П132} / \text{28P}_{29} .$$

Стрелка справа сверху символа оператора указывает, что управление передается к последующему оператору. Цифра у стрелки обозначает номер того оператора, которому передается управление в случае невыполнения контролируемого условия. Вид конъюнкции всех логических операторов, входящих в операторную схему алгоритма управления, легко определяется из алгебраических выражений, описывающих работу функциональных узлов системы, и из соответствующей электрической схемы.

Применение алгебры логики позволило разработать систему с минимальным числом используемых логических элементов.

Здесь $a_i, i = 1 + 8$ - сигналы о состоянии измерительных устройств, преобразователей, конечных выключателей. $b_i, i = 1 + 13$ - сигналы о величине параметров, характеризующих состояние оборудования, температура, давление, скорость вращения ротора. $C_i, i = 1 + 5$ - сигналы о состоянии переключателей, тумблеров. $\bar{a}_i, i = 1 + 9$ - сигналы о состоянии задвижек "от-

крыто", "закрыто". ℓ_i , $i = 1, 2$ - сигналы о синхронном ходе задвижек и пуске отборным паром. X, Y, Z - на включение контакторов задвижек. П8 + П11 - переключатели. ППЗ2, ППЗ3, ППЗ4, ПП102 - задвижки. ПОВ - подготовительные операции выполнены. Р - логический оператор. У/П11/ - оператор управления, реализующий операцию включения тумблера в заданное положение. У/ППЗ3/ - оператор управления, реализующий операцию открытия или закрытия регулирующего органа. Я - оператор, обозначающий окончание алгоритма. Индексы: n - порядковый номер, о - открыто, з - закрыто.

При разработке систем программного регулирования проведен ряд специальных исследований динамических свойств котла в турбинах. Так, в результате анализа нестационарного теплообмена в парообразующих элементах барабанного котла получены математические зависимости, явившиеся основой для построения оптимальных программ управления прогревом котла в период пуска и выбора параметров динамической настройки управляющих устройств.

При изменении температуры насыщения с постоянной скоростью, определяемой из выражения

$$\Delta \theta = \theta_n^0 + k\tau,$$

и при скачкообразном возмущении обогревом ΔQ_n решения неоднородных дифференциальных уравнений теплового баланса верхней части барабана, нижней части барабана и теплового баланса точки с учетом переменных коэффициентов теплоотдачи получаются в виде:

$$\Delta t_n^0 = (\theta_n^0 - kt_n^0) \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau}{T_n^0}\right) \right] + k\tau;$$

$$\Delta t_n^H = \theta_n^0 \left[1 - \exp\left(-\tau \frac{\tau + 2\Delta\tau^H}{2T_n^H}\right) \right] + k \left\{ \tau - \exp\left[-\frac{(\tau + \Delta\tau^H)^2}{2T_n^H}\right] \chi \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\tau + \Delta\tau^H)^{2n+1} - (\Delta\tau^H)^{2n+1}}{(2T_n^H)^n (2n+1)n!} \right\},$$

$$\Delta t_n^3 = \theta_n^0 \left[1 - \exp\left(-\tau \frac{\tau + 2\Delta\tau^3}{2T_n^3}\right) \right] + \exp\left[-\frac{(\tau + \Delta\tau^3)^2}{2T_n^3}\right] \chi \sum \frac{(\tau + \Delta\tau^3)^{2n+1} - (\Delta\tau^3)^{2n+1}}{(2T_n^3)^n (2n+1)n!} \left[\frac{\Delta Q_n}{\alpha_s} + k \right] + k\tau.$$

Здесь:

τ - текущее значение времени; T_n и ΔT_n - постоянные аппроксимации монотонных графиков изменения коэффициентов системы уравнений теплового баланса; θ_n - температура насыщения;

t_m - среднеинтегральная по толщине стенки температура металла.

Анализ дифференциальных уравнений прогресса показал, что в течение значительного периода времени с момента нанесения возмущения температура металла существенно отстает от роста температуры теплоносителя. Так, например, отставание в прогреве металла нижней части барабана составляет около 70 мин, а коллекторов экранов и верха барабана - около 20 мин. Для парообразующих труб контура естественной циркуляции скорости изменения температур металла и теплоносителя можно принимать одинаковыми.

На основании полученных математических выражений установлена количественная зависимость между скоростями роста температур насыщения и металла котла, что позволило построить программную систему регулирования прогресса, для которой ведущим параметром принята температура насыщения в барабане котла. Опыты и последующая эксплуатация данной системы на одном из котлов подтвердили правильность этого решения.

Г Л А В А Ш.

Основные пусковые автоматы.

Работы по автоматизации пуска теплоэнергетического оборудования потребовали создания ряда пусковых автоматов, которые внедрены на котлоагрегате ШК-14-2 и турбогенератора К-50-90.

А в т о м а т р о з ж и г а представляет комплекс устройств, включающий в себя: бесконтактный прибор зажигания газа, систему логического управления и устройство индикации зажигания газа и мазута.

Перед прогревом котла система логического управления контролирует включение дымососа и дутьевого вентилятора, наличие необходимого разрежения в топке и включение растопочного регулятора стабилизации уровня в барабане после чего поступает сигнал на запуск автомата розжига.

Запускающее устройство автомата построено по схеме мульти-вibrатора, работающего в автоколебательном режиме. Проведенные испытания показали, что при частоте порядка 3 кгц на электродах вращального устройства при искровых разрядах выделяется максимальное количество тепла, и искра наиболее стабильна.

Индикатор зажигания газа и мазута выполнен на полупроводниковом реле, работающем от термопары.

Автомат включения котла в магистраль содержит:

а/ логическую ячейку "И", имеющую два входных сигнала, подаваемых замыканием контактных групп; одна из них замыкается при достижении определенного значения разности давления до и после магистральной задвижки, вторая - при достижении определенного значения температуры перегретого пара котлоагрегата;

б/ узел, обеспечивающий импульсный характер открытия магистральной задвижки.

Узел импульсного управления реализуется с помощью серийной аппаратуры.

Выбор величины перепада давления на магистральной задвижке и зоны значений температуры пара на выходе из котлоагрегата, при которых возможно замыкание контактных групп ячейки "И" и включение котла в магистраль, был произведен, исходя из технологических условий:

$$\text{а/ перепад давления } P_{M,K} = P_M - P_K = 1 \text{ кгс/см}^2,$$

где

P_M - давление в магистрали; P_K - давление со стороны котлоагрегата перед магистральной задвижкой;

б/ допустимая зона значений температуры пара на выходе из котлоагрегата

$$t_{K,min} \leq t_K \leq t_{K,max}.$$

где

$$t_{K,min} = 500^\circ\text{C}; \quad t_{K,max} = 535^\circ\text{C}.$$

Следует отметить, что подобное устройство может быть применено и на блочных станциях при включении в работу второго корпуса дубль-блока.

Опыт эксплуатации устройства показал, что при автоматическом включении котлоагрегата в магистраль создаются благоприятные

условия для работы пароперегревателя, поддержания уровня в барабане и устраняется переток нагрузки между котлоагрегатами.

Автомат прогрева барабанного котла одновременно воздействует на регулирующие клапаны мазутной и паровой линий, обеспечивающих подачу пара и мазута. В качестве регулируемого параметра выбрана температура насыщенного пара.

Для осуществления устойчивого горения в топке необходимо поддерживать соотношение расхода мазута и пара во всем регулируемом диапазоне приблизительно постоянным. Это обеспечено следующими мероприятиями:

а/ профиль окон в клапане, регулирующем расход мазута, и в клапане, регулирующем расход пара, выполнен так, что соотношение крутизны их расходных характеристик остается постоянным во всем регулируемом диапазоне;

б/ синхронизирован ход обоих клапанов.

Температурные разбежки для барабанного котла ПК-14-2 при автоматическом пуске в отличие от ручных пусков из аналогичного температурного состояния находятся в допустимых пределах.

Автомат разворота турбины включает в себя узел сигнализации и подготовки к толчку ротора, узел выполнения толчка, узел управления набором оборотов, устройство контроля скорости вращения, программное задающее устройство и устройство коррекции. Автомат работает с учетом воздействия ограничивающих сигналов по скорости прогрева стопорного клапана, по вибрации и относительному удлинению ротора турбины.

Автомат нагружения турбины включает в себя генератор дискретных сигналов, который ступенчато открывает регулирующий орган. В случае необходимости электронный регулятор производит коррекцию выбранной ранее программы путем воздействия на изменение частоты генератора.

Г Л А В А IV.

Экспериментальные исследования работы пусковых автоматов.

Сравнение графиков изменения температур при ручном и ав-

томатическом пусках из холодного состояния турбины показывает, что при автоматическом пуске скорости роста температур изменяются плавно и удерживаются близкими к оптимально допустимым значениям, тогда как при ручном пуске наблюдаются значительные отклонения скоростей от заданных. При неавтоматизированном пуске скорость роста температур металла главного паропровода резко изменяется от $+ 10 - 12^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, а затем при увеличении подачи пара скорость возрастает. При автоматическом пуске скорость прогрева металла паропровода в первые 10 - 20 минут удерживается близкой к оптимально допустимой, т.е. $7 - 9^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. В дальнейшем темп прогрева металла монотонно убывает вплоть до окончательного прогрева паропровода.

В сечении паропровода перед главной паровой задвижкой /ПЗ/ турбины также имеет место значительное отклонение скорости роста температуры от заданной величины при ручном пуске. Скорость в первый момент резко возрастает до $12 - 14^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ и затем падает до $2-3^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. При автоматизированном пуске такие колебания скорости прогрева металла практически отсутствуют. В целом, при автоматизированном пуске паропровод прогревается на 5-10 мин раньше, чем при ручном пуске.

Скорость роста температуры металла стопорного и регулирующих клапанов близка к заданной величине /соответственно $4^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ и $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ / с момента толчка ротора и до конца прогрева. При ручном пуске в интервале 50 - 70 мин /из холодного состояния/ и 25 - 30 мин /из горячего состояния/ скорость роста температуры металла стопорного и регулирующих клапанов превышала допустимую величину на $1,5 - 2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$; несколько меньшая разница в скоростях прогрева пароперепусных труб. Однако и здесь автоматический прогрев является более благоприятным.

При ручном пуске контроль за температурным состоянием металла турбины производится оператором редко и несвоевременно, что видно из приведенных графиков. Поэтому имеет место колебания скорости прогрева металла ЦВД от $3^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, хотя при этом перепад температур корпуса ЦВД и фланца несколько ниже, чем при автоматическом пуске. В целом при ручном пуске время прогрева ЦВД на 10 + 20 мин больше, чем при автоматическом управлении.

В качестве ограничивающих критериев при пуске приняты пре-

дельно допустимые разности температур и скорости изменения температур. Термические напряжения, возникающие в процессе прогрева металла турбины, должны иметь значения, близкие к допустимым величинам. Надо полагать, что при ручных пусках термические напряжения в отдельные моменты времени значительно превосходят допустимые. Если эти превышения повторяются неоднократно, то не исключена возможность появления в деталях турбины трещин с последующим возникновением аварий.

При пусках турбогенератора К-50-90 хорошо зарекомендовала себя новая технология набора оборотов и нагружения турбины отборным паром. Смешивание пара номинальных параметров с отборным паром с целью выдерживания заданной температуры перед турбиной является наиболее трудоемкой и длительной операцией. Однако использование автоматической системы обеспечивает надежное проведение данного технологического процесса.

Толчок ротора и быстрый подъем оборотов производится при подаче в турбину через промывочное устройство отборного пара давлением 8-16 ата и температуры 250°C. Низкая температура греющего пара способствует более качественному прогреву стопорного и регулирующих клапанов, скорость прогрева металла которых не превышает 3°C/мин. Время разворота ротора до номинальных оборотов в этом случае может быть доведено до 6-12 мин против 25-30 мин при пусках паром номинальных параметров.

Одновременно с прогревом металла турбины отборным паром прогревается главный паропровод /до ГПЗ/ паром номинальных параметров, что значительно сокращает общее время пуска турбогенератора.

Сравнение графиков автоматических и ручных пусков показывает, что средняя скорость прогрева металла стопорного и регулирующих клапанов составляет 2 - 2,5°C/мин при автоматическом пуске и 1 - 2°C/мин при ручном пуске. В первом случае скорость прогрева металла близка к оптимально допустимой скорости прогрева /3°C/мин/, в то время как при ручном пуске сначала было допущено превышение скорости прогрева металла стопорного клапана более 3°C/мин, а затем в течение всего пуска держалась пониженная скорость.

Неравномерность подъема параметров при неавтоматизированном пуске котла объясняется тем, что оператор не в состоянии вручную

выдержать необходимый темп увеличения температуры насыщения.

В первые 20 + 40 минут при неавтоматизированном пуске обычно имеют место превышения допустимых значений скорости роста температуры металла пароперепускной трубы на 3,4⁰С/мин и разностей температур между верхом и низом барабана - на 12⁰С, тогда как при автоматизированном пуске подобных отклонений нет, а температура насыщения пара поднимается в соответствии с заданной программой, а небольшие неравномерности не снижают общего темпа прогрева котла.

Характерным примером может служить пуск из неостывшего состояния, при котором автомат плавно поднимает параметры пара, поддерживая их близкими к допустимым значениям, в то время как при аналогичном пуске, выполненном вручную, имеют место повышенные разности температур между верхом и низом барабана, достигающие до 35⁰С. Особенно отчетливо это видно при переходе котла на сжигание твердого топлива. При автоматизированном пуске автомат прогрева котла своевременно отрабатывает эти возмущения и в течение 8 + 10 минут восстанавливает необходимый темп изменения температуры прогрева металла. В подобной ситуации при ручном пуске оператором допускаются ошибки в управлении, что приводит к снижению скорости прогрева барабана и даже его остыванию.

При ручных пусках котлоагрегата на общую магистраль из-за резких колебаний температуры греющей среды в главном паропроводе возникает неравномерное поле температур.

На внутренней стенке главного паропровода при прогреве появляются тангенциальные и аксиальные напряжения сжатия, а на внешней поверхности - напряжения растяжения. При охлаждении знаки напряжений меняются.

Автомат прогрева главного паропровода ведет подъем параметров греющей среды согласно заданной программе. Работа автомата проверялась при пусках котлоагрегата из различных температурных состояний, при сбросе пара в бак низких точек, в атмосферу и в растопочную РОУ. В результате было установлено, что только регулируемый сброс греющей среды через растопочную РОУ обеспечивает качественный прогрев металла главного паропровода, температурное состояние которого контролируется по его длине в трех сечениях: в начале, середине и конце.

Г Л А В А У.

Автоматизация пуска мощных энергоблоков и экономическая эффективность автоматизации.

Для пуска энергоблока /котлоагрегат ТМГ-114, турбина К-300-240/ рекомендована упрощенная пусковая схема, предложенная ВТИ совместно с ОРГЭС. Эта схема позволяет проводить пуски из всех тепловых состояний блока. Унификация пусковых режимов позволила разработать систему автоматического управления пуском блока 300 мвт без использования дорогостоящей управляющей вычислительной машины.

В общую систему регулирования и управления блоком входит 60 регуляторов, из них только 17 используются в качестве программных. Для программных задающих устройств выбран ряд жестких программ, полученных в результате исследования прогрева элементов котла и турбины при пуске блока из некоторых, наиболее часто встречающихся состояний /после остановки блока на ночь, сутки, двое суток и при полном расхолаживании/. На первом этапе внедрения автоматическая коррекция программ не предусматривается, ввиду опасения излишнего усложнения системы, которое может привести к снижению надежности ее работы. В связи с этим не все автоматические пуски будут оптимальными во времени. Однако их качество остается немного выше, чем качество аналогичных ручных пусков, как правило, обуславливающих низкоциклическую тепловую усталость металла.

В настоящее время существует мнение, что основной экономический эффект от внедрения систем автоматизации нестационарных режимов энергоблоков определяется сокращением обслуживающего персонала, а также уменьшением времени пуска и в связи с этим снижением расхода пара, тепла и потребляемой электроэнергии на собственные нужды. При этом не учитывается экономия от автоматизации, получаемая за счет снижения аварийности на электростанциях.

Основной экономический эффект от повышения надежности энергоблоков за счет внедрения систем автоматического пуска и останова можно определить по уменьшению необходимой резервной мощности в энергетической системе. В соответствии с существующей методикой величина оптимального резерва выбирается с учетом следующих

вероятностных событий:

аварийного снижения активной мощности электростанций, вызванного аварийным состоянием отдельных элементов энергосистемы; снижением суммарной активной мощности против годового максимума;

ошибкой прогнозирования спроса.

В качестве примера в работе приводится определение экономического эффекта от уменьшения величин резервной мощности для конкретной энергосистемы за счет создания надежных систем автоматического управления энергоблоками в пусковых режимах.

Для расчета экономической эффективности принята энергетическая система, состоящая из 6 агрегатов по 150 Мвт с индивидуальной вероятностью выхода в аварию $\rho = 0,04$; 4 агрегатов по 100 Мвт, имеющих $\rho = 0,035$ и 14 агрегатов по 50 Мвт, имеющих $\rho = 0,03$.

Данные расчетов показывают, что экономия от снижения резервной мощности в системе увеличивается непропорционально мощности автоматизируемых агрегатов. Так, при автоматизации пуска и останова одного блока мощностью 50 Мвт эта экономия составляет примерно 34×10^9 руб/год, а при автоматизации блока 150 Мвт возрастает до 250×10^9 руб/год.

При расчете экономической эффективности внедрения систем автоматического управления блоком в переходных режимах следует также учитывать экономию, возникшую за счет устранения недогрузки блока.

Неопределенная продолжительность и нестабильность ручных пусков заставляют диспетчера системы вводить блоки раньше времени, обусловленного графиком нагрузки. Это ведет к работе блока в течение определенного периода с недогрузкой, а также к разгрузке работающих агрегатов.

Возросшая надежность автоматизированного пуска дает возможность вводить блоки в точно назначенное время.

Таким образом, устранение недогрузки энергоблока ликвидирует перерасход тепла.

Приведенная оценка экономической эффективности внедрения систем автоматического пуска и останова блоков является несколько

заниженной, поскольку в расчетах не учтена дополнительная экономия обусловленная:

сокращением работы менее экономичных станций как за счет ускоренного ввода резерва, так и за счет уменьшения времени простоя более экономичных агрегатов;

экономией топлива вследствие снижения пусковых потерь тепла и оптимизации процесса горения топлива;

уменьшением затрат на капитальный и текущий ремонт оборудования;

снижением расхода электроэнергии на собственные нужды; возможным сокращением обслуживающего персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание вычислительной машины, управляющей электростанцией или отдельным агрегатом во всем диапазоне его работы, включая пуск и остановку, пока представляет большие трудности. В настоящее время, как показано в диссертационной работе, более целесообразно идти по пути разработки и внедрения отдельных специализированных автоматов, в целом образующих единую децентрализованную систему автоматического управления энергетическим блоком.

Отдельные автоматы могут быть внедрены на разных агрегатах станции или даже на различных электростанциях, т.е. не обязательно разрабатывать все автоматические устройства для одного и того же объекта.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать, изготовить и сдать в эксплуатацию следующие пусковые автоматы:

1. Автомат розжига мазута - внедрен на котле ПК-14.
2. Автомат включения котлоагрегата в общую магистраль - внедрен на котлоагрегате ПК-14.
3. Автомат прогрева барабанного котла - внедрен на котлоагрегате ПК-14.
4. Автомат прогрева паропровода - внедрен на котле ПК-14.
5. Автоматы разворота и нагружения турбины паром номинальных параметров - внедрен на турбине К-50-30.
6. Автоматы разворота и нагружения турбины паром номиналь-

ных параметров с подмешиванием пара от соседней турбины - внедрен на турбине К-50-90.

7. Логические устройства, управляющие вспомогательным оборудованием котлоагрегата - внедрены на котле ПК-14.

8. Логические устройства, управляющие вспомогательным оборудованием турбоустановки - внедрены на турбине К-50-90.

9. Специализированное информационное цифровое вычислительное устройство внедрено на котлоагрегате ПК-14.

Опыт эксплуатации указанных автоматических устройств показал, что они могут получить широкое распространение на тепловых электростанциях.

Основной экономический эффект от внедрения пусковых автоматов заключается в снижении аварийности на электростанциях и в уменьшении необходимой резервной мощности энергосистемы.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Выбор оптимальной структурной схемы управляющей машины для пуска блока котел-турбина. "Энергомашиностроение", 1966, № 3. /Совместно с Хутским Г.И., Терешко М.Н./.

2. Система автоматического управления пуском блока котел-турбина. "Комплексная автоматизация электростанций". Минск, "Полюмя", 1966, /совместно с Хутским Г.И., Терешко М.Н./.

3. Система автоматизации пуска турбогенератора паром номинальных параметров. "Электрические станции", 1966, № 5. /совместно с Хутским Г.И., Вардомским Э.К., Ширмой Р.Г., Терешко М.Н., Радюком Л.И., Чайковским Е.В., Тарашуком М.Г., Кулаковым Г.Т./.

4. Опыт использования схемы преобладания на полупроводниковых диодах совместно с магнитными усилителями. "Комплексная автоматизация электростанций", Минск, "Полюмя", 1966. /совместно с Вексыным А.Н./.

5. Опыт эксплуатации системы автоматического пуска турбины К-50-90. "Энергетика и электрификация", 1967, № 4 /совместно с Хутским Г.И., Кулаковым Г.Т., Тарашуком М.Г./.

6. Работа системы автоматического управления пуском турбины ВК-50-3 /К-50-90/ ЛМЗ на пиковой электростанции. "Энергомашиностроение", 1967, № II /совместно с Хутским Г.И., Тарашуком И.Г., Ширмой Р.Г./.

7. Универсальный программный регулятор температуры.

"Опыт внедрения устройств автоматики в Белорусской энергосистеме".
Институт научно-технической информации. Минск, 1967. /совместно
с Хватовым Е.А., Колосницким Б.С., Стальбергом Л.А./.

8. Динамическая структура системы автоматического управления
пуском блока котел-турбина. "Известия высших учебных заведений -
Энергетика", 1968, № 6 /совместно с Хутским Г.И., Клейнбергом
С.Л./.

9. Способ автоматического прогрева энергетического блока.
Авторское свидетельство № 243633. "Бюллетень изобретений", 1969,
№ 17. /совместно с Хутским Г.И., Чайковским Е.В./.

10. Устройство автоматического включения барабанного котло-
агрегата в магистраль. "Опыт внедрения автоматики и вычислитель-
ной техники в Белорусской энергосистеме". Институт научно-техни-
ческой информации. Минск, 1969. /совместно с Емельянчиковым В.И./

11. Экономическая эффективность внедрения систем автомати-
ческого управления пуском и остановом энергоблоков на тепловых
электростанциях. "Теплоэнергетика", 1969, № 3. /совместно с Хут-
ским Г.И., Клейнбергом С.Л./.

12. Система автоматического управления разворотом и нагрузе-
нием турбогенератора К-300-240 ДМЗ. Сб. II-ое научно-техническое
совещание "Оптимизация режимов работы тепловых электрических стан-
ций с применением вычислительной техники". Научно-техническое об-
щество энергетики и электротехнической промышленности. Киев. 1969.
/совместно с Кулаковым Г.Т./.

13. Решение задачи нестационарного теплообмена в двух-
фазных элементах парогенератора при переменных термических коэф-
фициентах. "Известия высших учебных заведений / Энергетика".
1969, № 10 /совместно с Хутским Г.И., Клейнбергом С.Л./.

14. Спыт эксплуатации системы автоматического управления прог-
ревом котла. "Энергетика и электрификация", № 4, 1970. /совмест-
но с Хутским Г.И., Емельянчиковым В.И., Стальбергом Л.А./.

15. Автоматический пуск турбины К-50-90 из различных тем-
пературных состояний. Сб. "Теплоэнергетика", выпуск I, Минск,

1970. /совместно с Тарцевским А.Н., Ширмой Р.Г., Алфименко Н.С./.

16. Система автоматического управления энергоблоком сверхкритического давления со специализированным цифровым вычислительным устройством. Тезисы докладов III-республиканской научно-технической конференции по применению вычислительной техники в энергетике Белоруссии. Секция теплоэнергетики. Минск, 1970. /совместно с Хутским Г.И., Кулаковым Г.Т., Кутенем Э.М., Олейником Е.И. Панченко Б.В., Ширмой Р.Г., Вежиним А.Н., Залесским В.Е./.

17. Алгоритм управления пуском турбогенератора. Тезисы докладов III-республиканской научно-технической конференции по применению вычислительной техники в энергетике Белоруссии. Секция теплоэнергетики. Минск, 1970. /совместно с Хутским Г.И., Кутенем Э.М./.

18. Программное устройство. Проект решения ВНИИГПЗ на выдачу авторского свидетельства по заявке № I485947/I8-24. С приоритетом от 27 апреля 1970 г. /совместно с Кулаковым Г.Т./.