

П. В. Бачище, В. Б. Рубахин, Е. В. Сороко

(Белорусский политехнический институт — Лукомльская ГРЭС)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И СХЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА 300 Мвт

Важнейшей проблемой для современных энергосистем является повышение экономичности и маневренности энергетического оборудования. Одним из перспективных путей экономического прохождения минимальных нагрузок суточных графиков электропотребления является перевод блоков на скользящее давление острого пара. В этом направлении в настоящее время проводят исследования ряд ведущих организаций страны и коллективы работников некоторых электростанций.

Расчетные данные и результаты опытно-эксплуатационных исследований показывают, что для условий ОЭС Северо-Запада перевод блока 300 Мвт на скользящее начальное давление (СНД) позволяет получить годовой экономический эффект порядка 56 тыс. руб. При работе блоков на скользящем давлении увеличивается срок службы пароперегревателей и паропроводов, улучшаются температурные условия ЦВД, что повышает маневренность турбины. Единодушно признается, что оптимальным при СНД для блока 300 Мвт является режим с полностью открытыми четырьмя регулирующими клапанами. При этом уменьшается проигрыш за счет некоторого ухудшения термического к.п.д. и появляется возможность повысить приемистость блока за счет открытия в момент набора нагрузки оставшихся трех клапанов. Тепловые испытания блока ст. № 1 Лукомльской ГРЭС [1] подтвердили, что при СНД блок работает устойчиво в диапазоне нагрузок 100—300 Мвт при питании от турбонасоса. Полная экономия от применения скользящего давления может быть получена при расширении диапазона регулирования турбопривода основного питательного насоса.

Ввиду того что проект не предусматривает перевода работающих энергоблоков 300 Мвт в режим СНД, одним из не решенных в настоящее время является вопрос автоматического регулирования их мощности. С целью определения динамических свойств по основным регулировочным каналам были проведены испытания блока ст. № 2 Лукомльской ГРЭС. Известно, что блок как объект регулирования мощности характеризуется двумя регулируемыми параметрами: давлением острого пара перед стопорным клапаном p_t и мощностью турбины N_s . Регулирующими воздействиями являются перемещение регулировочных клапанов турбины Z_t и обобщенного условного органа Z_k , согласованно изменяющего подачу топлива, питательной воды и воздуха в котел.

Испытания проводились на дубль-блоке. Прямоточный котел ТГМП-114 рассчитан на паропроизводительность 950 т/ч и параметры пара 255 кгс/см², 560/565°C; выполнен в двухкорпусном симметричном варианте. Пароводяной такт четырехпоточный, по две нитки в каждом корпусе. Котлоагрегат оборудован двумя ступенями регулирования температуры острого пара. Первый впрыск осуществляется перед ширмовым пароперегревателем, второй — в рассечку конвективного пароперегревате-

ля. Регулирование температуры вторичного пара выполняется путем изменения степени рециркуляции дымовых газов. Регулирование питания каждого тракта производится индивидуальными регулировочными питательными клапанами (РПК). В соответствии с расходом питательной воды регуляторами топлива и воздуха устанавливается количество подаваемого в топку топлива и воздуха. Топливом является мазут марки 100.

Опыты проводились на одном корпусе. Перед началом каждого опыта оба корпуса загружались симметрично по первичному и вторичному

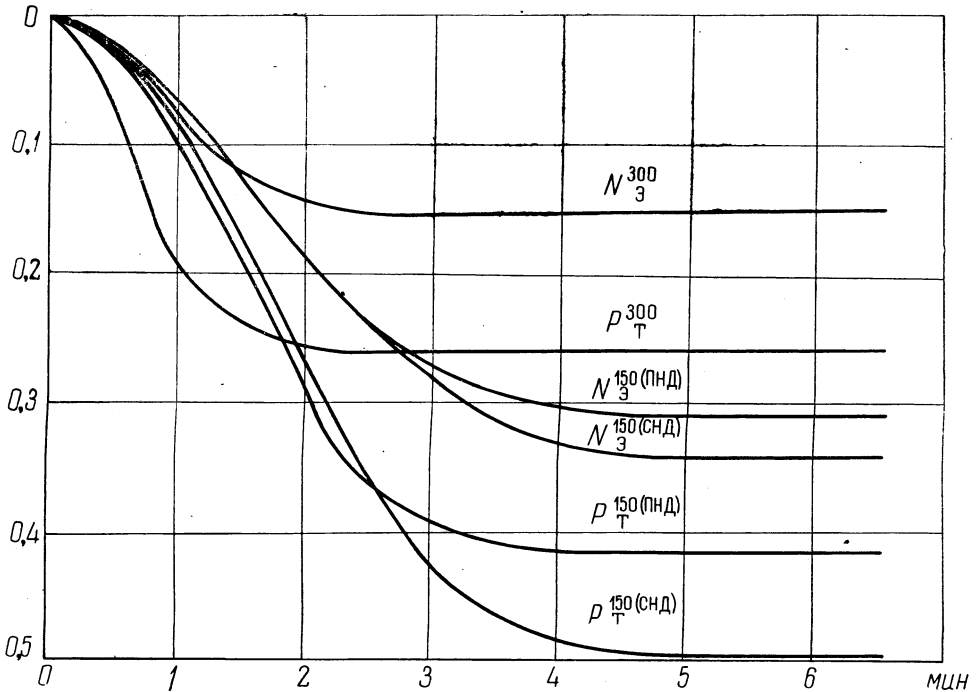


Рис. 1. Разгонные характеристики блока 300 Мвт, приведенные к возмущению со стороны котла, равному 1 т/ч:

N_3^{300} , $N_3^{150(ПНД)}$, $N_3^{150(СНД)}$ — изменение электрической мощности блока соответственно в области 300, 150 Мвт при постоянном (ПНД) и скользящем (СНД) давлении пара; p_T^{300} , $p_T^{150(ПНД)}$, $p_T^{150(СНД)}$ — изменение давления острого пара в области нагрузок 300 и 150 Мвт.

пару. Для уменьшения влияния случайных возмущений были включены на каждом корпусе стабилизаторы питания и топлива, регуляторы производительности, температуры пара и разрежения. Регулятор давления «до себя» отключен.

Динамические характеристики снимались при возмущении согласованным воздействием со стороны котла и регулировочными клапанами турбины.

В ходе испытаний регистрация параметров выполнялась электронными потенциометрами ЭПП-09, оснащенными специальными высокоомными выпрямительно-преобразовательными приставками, разработанными южным отделением ОРГРЭС. Время пробега шкалы кареткой прибора составляло 2,5 сек, скорость диаграммной ленты 1200 мм/ч. В установившихся режимах выполнялись записи значений регистрируемых параметров по щитовым приборам.

На рис. 1 показаны усредненные разгонные характеристики давления пара перед турбиной p_T и электрической нагрузки N_3 при скачкообразном перемещении регулирующего воздействия Z_K . Положение регу-

лировочных клапанов турбины Z_T оставалось постоянным. Кривые приведены к возмущению, соответствующему расходу питательной воды, равному 1 т/ч . Как видно из графиков, электрическая мощность блока $N_э$ начинает изменяться по мере изменения давления пара p_T . График изменения p_T определяется инерционностью пароводяного и газозводного трактов котла. При всех нагрузках приведенные зависимости носят

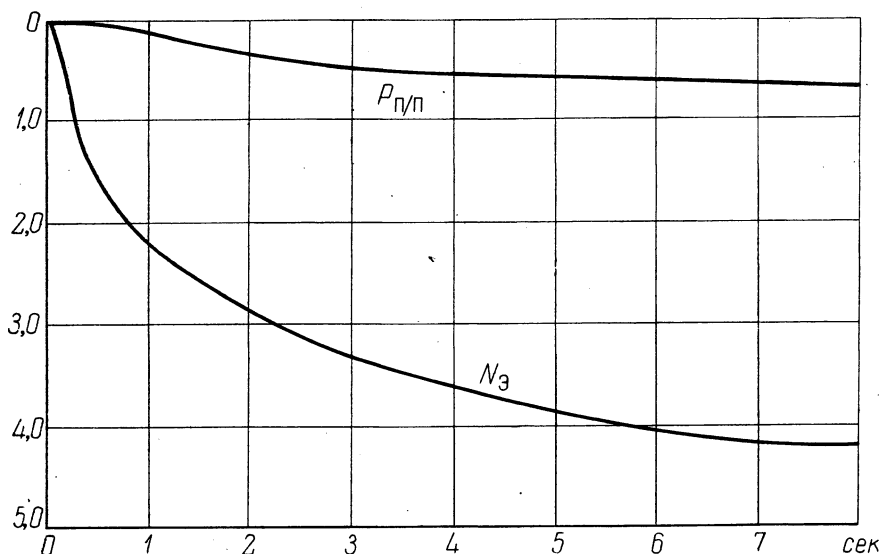


Рис. 2. Разгонные характеристики блока при возмущении клапанами турбины, приведенные к $\Delta Z_T = 1\%$.

монотонный S-образный характер. При переходе на пониженную нагрузку наблюдается существенное изменение динамики блока: процессы становятся более затяжными, увеличиваются коэффициенты усиления и динамические постоянные времени регулируемых участков. При переходе на скользящее начальное давление динамические свойства блока изменяются незначительно.

Динамические характеристики турбогенератора, определяющие свойства объекта при возмущении клапанами турбины Z_T , приведены на рис. 2. Опыты проводились при поддержании с помощью БРОУ постоянного давления пара p_T . Графики приведены к перемещению клапанов, равному 1% . Как видно из представленных характеристик, изменение мощности турбогенератора $N_э$ и давления пара после промпрегревателя $p_{п/п}$ происходит со значительным отставанием по сравнению с процессом перемещения регулировочных клапанов. В первые секунды мощность изменяется только за счет изменения мощности ЦВД турбины и достигает $0,33$ общего изменения. Изменение мощности на полную величину происходит по мере перехода промежуточного пароперегревателя на новый режим.

На рис. 3 показаны усредненные кривые разгона, снятые при скачкообразном перемещении регулировочных клапанов турбины Z_T . Нагрузка котла при этом оставалась неизменной. Резкое открытие клапанов Z_T вызывает изменение расхода пара и, следовательно, электрической мощности блока в начальный момент. По истечении $4-5 \text{ мин}$ мощность блока становится примерно равной исходной. Это объясняется тем, что в статике расход пара примерно равен расходу питательной воды. Динамика изменения мощности турбогенератора определяется аккумулярующей способностью котла: при снижении давления пара уменьшается темпера-

тура испарения, и аккумулированное в металле котла тепло, соответствующее разности температур металла и рабочего котла, служит дополнительным источником парообразования. График изменения мощности блока в начальный момент после открытия клапанов позволяет оценить начальную стадию переходных процессов при работе блока в регулирующем режиме.

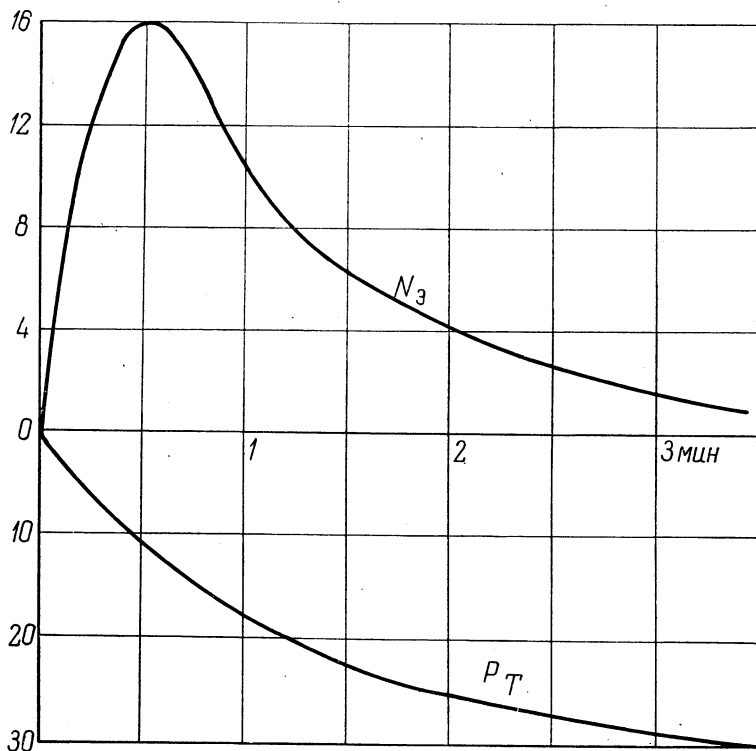


Рис. 3. Усредненные разгонные характеристики при возмущении клапанами турбины, $\Delta Z_T = 7,2\%$; исходная нагрузка $N_э = 295$ Мвт; начальное давление пара $p_T = 230$ кгс/см².

Анализ результатов проведенных испытаний дубль-блока 300 Мвт позволяет сделать следующие выводы.

1. При изменениях нагрузки блока как при ПНД, так и при СНД существенно изменяются динамические характеристики регулируемых участков. Для обеспечения устойчивого и требуемого качества процесса регулирования необходимо вводить коррекцию параметров настройки регуляторов. В качестве ведущего параметра при коррекции следует выбирать импульс, однозначно зависящий от мощности блока.

2. Изменение давления острого пара в переходных режимах в диапазоне $\pm 15\%$ исходного незначительно влияет на температуру острого пара при включенных регуляторах впрысков.

3. Переход на скользящее давление приводит к некоторому ухудшению динамических характеристик блока. Для обеспечения маневренности блока, сравнимой с режимом блока при ПНД, необходимо предусматривать в системе регулирования мощности дополнительные форсирующие связи.

4. Одной из возможностей повышения приемистости блока является использование аккумулирующей способности котла. Так, при резком открытии регулировочных клапанов турбины на $7,2\%$ может быть получена дополнительная мощность за счет аккумуляции порядка 16 Мвт в тече-

ние одной минуты (исходная мощность 260 Мвт; давление пара 240 кгс/см²).

Перевод блоков в режим скользящего давления делает электрическую мощность функцией двух параметров: положения регулировочных клапанов турбины Z_T и давления пара p_T . (При СНД также имеется возможность на пониженных нагрузках повышать по сравнению

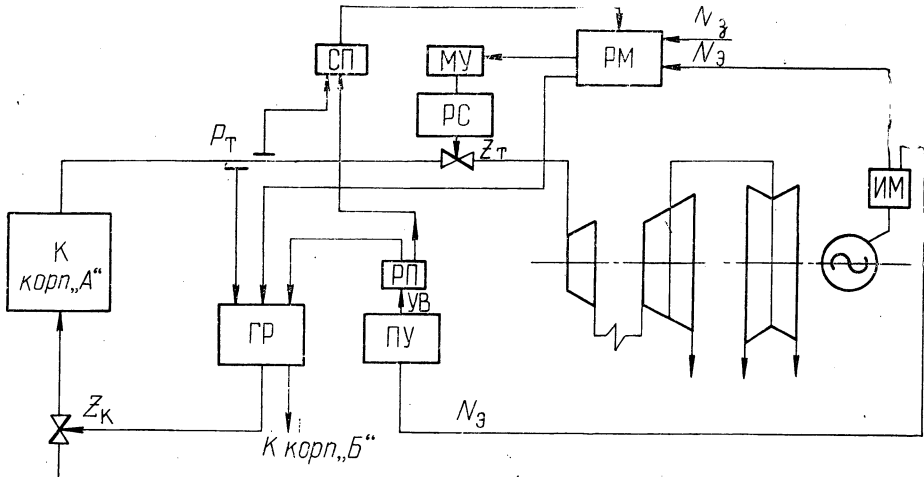


Рис. 4. Схема регулирования мощности дубль-блока 300 Мвт:

ГР — главный регулятор; РС — регулятор скорости; РМ — регулятор мощности; МУ — механизм управления; ИМ — измеритель мощности; РП — размножитель сигналов; СП — сумматор.

с номинальным значением температуру острого пара. В таком случае N_3 может являться функцией трех переменных величин.) Это позволяет значительно расширить количество программ регулирования. Основой существующих схем [2], как известно, является жесткая программа регулирования температуры и давления острого пара, осуществляемая посредством регуляторов температуры и главных регуляторов либо регуляторов «до себя». При переходе на СНД применение таких схем становится невозможным без дополнительных устройств программного управления и выключающих связей.

В настоящее время предложен ряд схем автоматического регулирования блоков при СНД. Одни из них затрагивают отдельные регуляторы, предполагая, что на новый режим блок переводится вручную [3]. Другие [4] имеют некоторые недостатки, которые не позволяют реализовать их на действующих блоках.

На рис. 4 приведена предлагаемая схема автоматического регулирования мощности блока 300 Мвт с котлом ТГМП-114 и турбиной К-300-240ЛМЗ. Основу предлагаемой схемы составляет существующая на данных блоках система автоматического регулирования с главным регулятором. Для изменения программы регулирования давления пара, а при необходимости и температуры предусматривается новый элемент — нелинейное программное устройство (ПУ). Программное устройство имеет нормированный входной сигнал (УВ), нелинейно зависящий (рис. 5) от входного, получаемого от измерителя мощности, в качестве которого может быть использован датчик электрической мощности либо датчик, однозначно определяющий N_3 . Для возвращения клапанов в исходное положение (полностью либо частично открытое) используется дополнительный регулятор мощности (РПИБ), воздействующий на механизм управления турбиной.

Применение замкнутой системы регулирования мощности позволяет также значительно улучшить маневренность блока, обеспечить его участие в регулировании режимов энергосистемы. Для повышения качества переходных процессов предусмотрено введение сигнала в виде разности заданной и фактической мощностей ($N_3 - N_9$) одновременно в регулятор мощности и главный регулятор котла. В схеме предусматривается подача сигнала, соответствующего отклонению фактического давления p_T от заданного значения УВ в РМ. Это необходимо для ограничения недопустимого отклонения давления острого пара.

Схема разработана с учетом того, что блок может эксплуатироваться в режимах постоянного и скользящего давлений пара. С этой целью ПУ имеет два параметра настройки Δ_N и α (см. рис. 5). Для перехода к режиму ПНД необходимо выбрать настроечный параметр Δ_N таким, чтобы УВ во всем диапазоне изменения нагрузки блока был равен нулю. Изменяя коэффициент α , можно получить различную степень открытия регулировочных клапанов турбины в статике. Предварительные результаты моделирования предложенной системы регулирования мощности блока подтверждают ее работоспособность.

Реализация системы потребует применения сравнительно нового элемента — нелинейного программного устройства, которое может быть создано на базе измерительного блока электронного регулятора РПИБ. Предложенная система может найти применение на действующих блоках.

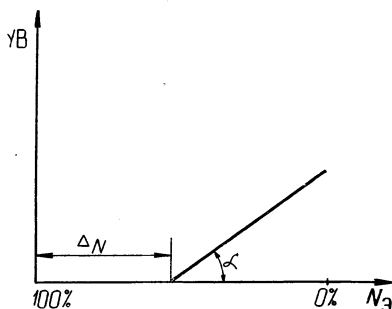


Рис. 5. Характеристика нелинейного программного устройства.

Литература

1. Леонков А. М., Кусков И. А., Рубахин В. Б. Исследование способов прохождения минимумов графиков электрической нагрузки при работе блоков 300 Мвт с турбиной К-300-240ЛМЗ и котлом ТГМП-114. — В сб.: «Теплоэнергетика». Вып. 3. Минск, 1973.
2. Рубин В. Б., Кузьмин Г. И., Давыдов Н. И. Экспериментальное исследование объекта и систем регулирования мощности блока 200 Мвт. — В сб.: «Регулирование и управление современными турбоагрегатами». М., 1969.
3. Немерский Б. В. и др. Исследование автоматического регулирования котельных агрегатов энергоблоков 300 Мвт в режиме скользящего давления. — «Электрические станции», 1973, № 2.
4. Иванов В. А. и др. Схема автоматического регулирования блока котел — турбина при скользящем давлении свежего пара. — «Изв. вузов». Энергетика, 1967, № 2.