

SCAN

DVD

biblem

elektromonter

В. Х. Георгиади

**ПОВЕДЕНИЕ
ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС
ПРИ ПЕРЕРЫВАХ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СОБСТВЕННЫХ НУЖД
(часть 3)**

**ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ
ЭНЕРГЕТИК**

Вниманию специалистов

Вышли в свет следующие выпуски

“Библиотечки электротехника”:

Удрис А. П. **Панель релейной защиты типа ЭПЗ-1636 для ВЛ 110 – 220 кВ** (часть 1 — устройство защиты, часть 2 — обслуживание защиты).

Шкарин Ю. П. **Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи** (части 1 и 2).

Шуин В. А., Гусенков А. В. **Защита от замыканий на землю в электрических сетях 6 – 10 кВ.**

Конюхова Е. А., Киреева Э. А. **Надежность электроснабжения промышленных предприятий.**

Могузов В. Ф. **Обслуживание силовых трансформаторов** (части 1 и 2).

Таубес И. Р., Удрис А. П. **Использование реле ДЗТ-21 и ДЗТ-23 для защиты трансформаторов, автотрансформаторов и блоков.**

Киреева Э. А. **Повышение надежности, экономичности и безопасности систем цехового электроснабжения.**

Овчинников В. В. **Защита электрических сетей 0,4 – 35 кВ** (части 1 и 2).

Иноземцев Е. К. **Ремонт турбогенераторов** (части 1 и 2).

Яковлев Л. В. **Пляска проводов на воздушных линиях электропередачи и способы борьбы с нею.**

Овчаренко Н. И. **Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий электропередачи напряжением 110 – 220 кВ ДФЗ-201.**

Шабад М. А. **Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле.**

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу **“ПРЕССА РОССИИ”**. Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Индексы “Библиотечки электротехника”

— приложения к журналу “Энергетик”

88983 — для предприятий и организаций;

88982 — для индивидуальных подписчиков.

Адрес редакции
журнала **“Энергетик”:**

109280, Москва, ул. Автозаводская, д. 14/23.

Телефон (095) 275-19-06

E-mail: energy@mail.magelan.ru

Библиотечка электротехника

— приложение к журналу “Энергетик”

Основана в июне 1998 г.

Выпуск 6(54)

В. Х. Георгиади

ПОВЕДЕНИЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС ПРИ ПЕРЕРЫВАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

(часть 3)

Москва

НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”

2003

Главный редактор журнала “Энергетик” А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

“Библиотечки электротехника”

В. А. Семенов (*председатель*), И. И. Батюк (*зам. председателя*),
Б. А. Алексеев, К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев,
В. А. Забегалов, В. Х. Ишкин, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,
Н. В. Лисицын, Л. Г. Мамиконянц, Л. Ф. Плетнев, В. И. Пуляев,
Ю. В. Усачев, М. А. Шабад

Георгиади В. Х.

Г 35 Поведение энергоблоков ТЭС при перерывах электро-
снабжения собственных нужд (часть 3) — М.: НТФ “Энер-
гопрогресс”, 2003. — 88 с.; ил. [Библиотечка электротехни-
ка, приложение к журналу “Энергетик”; Вып. 6(54)].

Изложен полный комплекс вопросов, характеризующий поведение и сохранение основного оборудования (котла, турбины, генератора) энергоблока электростанций при кратковременных перерывах электроснабжения потребителей собственных нужд, вызванных различными причинами, с учетом изменения технологических параметров тепломеханического оборудования.

В первой части книги дана краткая характеристика состава потребителей собственных нужд, их технических характеристик в установившемся режиме работы и при перерыве электроснабжения. Во второй части изложены результаты экспериментальной проверки поведения энергоблоков различной мощности при кратковременных перерывах электроснабжения потребителей собственных нужд.

Для эксплуатационного персонала электростанций, наладочных и проектных организаций, студентов учебных заведений.

Предисловие

С созданием Федерального оптового рынка электроэнергии и мощности (ФОРЭМ) будет учитываться любой аварийный останов генератора (энергоблока), приводящий к недоотпуску тепловой и электрической энергии. В связи с этим, число аварийных отключений генераторов и энергоблоков должно быть минимальным.

Вопросу поведения энергоблоков при перерывах электроснабжения потребителей собственных нужд (СН) посвящено множество работ, в которых представлены изменения некоторых технологических и электрических величин, полученных при испытаниях на работающем оборудовании, но отсутствуют книги, в которых рассматривался бы полный комплекс вопросов, связанных с анализом поведения энергоблоков при перерывах электроснабжения потребителей СН и разработкой мероприятий по сохранению в работе основного оборудования (котла, турбины, генератора) тепловой электростанции (ТЭС).

Предлагаемая книга посвящена вопросам анализа поведения энергоблоков и сохранения их в работе при кратковременных перерывах электроснабжения потребителей СН и повторном его восстановлении.

Книга включает в себя общую характеристику электроснабжения СН, электродвигателей и механизмов, релейно-защитных устройств основного оборудования и оборудования СН, краткое описание процесса перерыва электроснабжения и его восстановления, экспериментальный фактический материал по поведению энергоблоков различной мощности при кратковременных перерывах электроснабжения, методические указания по выполнению расчетной и экспериментальной проверке поведения энергоблоков ТЭС.

Книга предназначена для специалистов, которым приходится заниматься вопросами расчетной и экспериментальной проверки поведения и сохранения энергоблоков в работе. Предполагается, что специалисты достаточно хорошо знакомы с вопросами релейной защиты и автоматики, теорией электрических машин, основами электроснабжения СН, режимами электротехнического и теплотехнического оборудования.

Автор выражает глубокую благодарность рецензенту доктору техн. наук, проф. Л. Г. Мамиконянцу, прочитавшему рукопись книги и сделавшему ряд ценных замечаний.

**Замечания и пожелания по улучшению содержания книги
следует направлять по адресу:**

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.

Редакция журнала "Энергетик".

Автор

Список сокращений

АБП	— агрегат бесперебойного питания;
АВР	— автоматическое включение резерва;
АД	— асинхронный электродвигатель;
АМН	— аварийный маслonaсос;
АМНС	— аварийный маслonaсос смазки подшипников;
АМНУ	— аварийный маслonaсос уплотнений вала турбогенератора;
АНРТ	— аварийный насос системы регулирования турбины;
АПВ	— автоматическое повторное включение;
АТ	— автотрансформатор;
БОУ	— блочная обессоливающая установка;
БПН	— бустерный питательный насос;
БЩУ	— блочный щит управления;
ВГД	— вентилятор горячего дутья;
ГРУ	— распределительное устройство на генераторном напряжении;
ГТУ	— газотурбинная установка;
ДВ	— дутьевой вентилятор;
ДРГ	— дымосос рециркуляции газов;
Д, ДС	— дымосос;
ЗМН	— защита минимального напряжения;
ИР	— индукционный реостат;
КЗ	— короткое замыкание;
КН	— конденсатный насос;
КНБ	— конденсатный насос бойлеров;
КЭС	— конденсационная электростанция;
МВ	— мельничный вентилятор;
МДП	— машина двойного питания;
ММТ	— молотковая мельница тангенциального типа;

МН	— маслонасос;
МНР	— маслонасос регулирования;
МНС	— маслонасос смазки подшипников;
МНУ	— маслонасос уплотнений вала турбогенератора;
МПЭН	— маслонасос смазки подшипников питательного электронасоса;
МПУ	— мембранное предохранительное устройство;
МТЗ	— максимальная токовая защита;
МЭН	— мазутный электронасос;
НГО	— насос газовых охладителей турбогенератора;
НКП	— насос кислотной промывки;
НОГ	— насос охлаждения генератора;
НОС	— насос охлаждения статора турбогенератора;
НОУ	— насос обессоливающей установки;
НОЦ	— насос охлаждения циркуляционный;
НРТ	— насос системы регулирования частоты вращения вала турбины;
НТВ	— насос технической воды;
ОРУ	— открытое распределительное устройство;
ПГА	— пружинно-грузовой аккумулятор;
ПЖН	— противопожарный насос;
ПНД	— подогреватель низкого давления;
ПНЭ	— подъемный насос эжекторов;
ПРТСН	— пускорезервный трансформатор собственных нужд;
ПРТЭЦ	— пускорезервная тепловая электроцентраль;
ПСГ	— подогреватель сетевой горизонтальный;
ПСУ	— питатель сырого угля;
ПСЭН	— подпиточный сетевой электронасос;
ПТН	— питательный турбонасос;
ПЭН	— питательный электронасос;
РВ	— резервный возбудитель;
РЗА	— релейная защита и автоматика;
РПН	— регулятор ответвлений обмотки трансформатора под нагрузкой;
САР	— система автоматического регулирования частоты вращения вала турбины;
СД	— синхронный электродвигатель;
СЛН	— сливной насос;

СН	— собственные нужды;
СНА	— сетевой насосный агрегат;
СЭН	— сетевой электронасос;
ТВД	— турбовоздуходувка;
ТГ	— турбогенератор;
ТЗОП	— токовая защита обратной последовательности;
ТСН	— трансформатор собственных нужд;
ТО	— токовая отсечка;
ТЭС	— тепловая электростанция;
ТЭЦ	— теплоэлектроцентраль;
УАВР	— устройство автоматического включения резерва;
УЛУ	— устройства логического управления;
УТКЗ	— устройства комплектные технологических защит;
ЦВД	— цилиндр высокого давления турбины;
ЦРМЗ	— центральный ремонтный механический завод;
ЦСД	— цилиндр среднего давления турбины;
ЦЭН	— циркуляционный электронасос;
ШБМ	— шаровая барабанная мельница;
ШУ	— шины оперативных цепей управления;
ЩПТ	— щит постоянного тока;
ЭД	— электродвигатель;
ЭКМ	— электроконтактный манометр.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Расчетно-экспериментальная проверка работы энергоблоков при перерывах электроснабжения электроприводов

4.1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Весь объем работ по расчетно-экспериментальной проверке поведения энергоблоков при перерывах электроснабжения электроприводов СН ТЭС условно можно разбить на два этапа:

I этап — расчетная проверка поведения группы электроприводов СН при кратковременных перерывах питания и самозапуске после повторной подачи напряжения. Этот этап работы выполняется как для проектируемых ТЭС на стадии рабочего проекта, так и для эксплуатируемых ТЭС;

II этап — экспериментальная проверка поведения энергоблоков действующих ТЭС при кратковременных перерывах питания в системе СН и повторной подаче напряжения, сопровождающейся последующим самозапуском электроприводов СН.

На I этапе выполняются подготовительные работы, которые должны быть выполнены до того, как приступить к выполнению расчетов режима перерыва питания и самозапуска группы ЭД на стадии рабочего проекта или для действующих ТЭС. Расчетчик знакомится с главной схемой электрических соединений и схемой рабочего и резервного электроснабжения потребителей СН, выясняет тип оборудования и его технические характеристики по каталогам и технической документации заводов-изготовителей. Так, для турбогенератора необходимо знать следующие номинальные параметры: полную (кажущуюся) мощность $S_{\text{ном.Г}}$, напряжение статора $U_{\text{ном.Г}}$, переходное индуктивное сопротивление по продольной оси X'_d . Для силового блочного трансформатора необходимы следующие технические величины: полная номинальная мощность $S_{\text{ном.Т}}$, напряже-

ние U_k и потери активной мощности при коротком замыкании для каждой пары обмоток, номинальные напряжения каждой обмотки $U_{ном}$. Для рабочего и резервного трансформаторов СН следует знать положение регулятора под нагрузкой (РПН), хотя на начальной стадии выполнения расчетов его можно принять нейтральным (этому положению соответствует номинальный коэффициент трансформации силового трансформатора). Воздушные и кабельные линии электропередачи, шинопроводы рабочего и резервного питания СН характеризуются удельным активным R_0 , индуктивным X_0 сопротивлением и длиной l . Для ЭД требуются номинальные активная мощность на валу $P_{2ном}$; напряжение $U_{ном}$; ток статора $I_{ном}$; коэффициент полезного действия $\eta_{ном}$; частота вращения вала $n_{ном}$; кратности пускового тока $K_{п}$, пускового момента $M_{п}$, максимального момента M_{max} ; момент инерции $J_{рот.дв}$ (или маховый момент $GD^2_{рот.дв}$); коэффициент загрузки K_z по активной мощности, определяемый по заводским характеристикам механизмов по формуле (1.26), а для ЭД действующих ТЭС — по потребляемой из сети активной мощности из формулы (1.45).

Для механизмов необходимо знать:

а) зависимость момента сопротивления механизма от частоты вращения. Если в расчетах используются обобщенные зависимости момента сопротивления от частоты вращения, то для насосов у проектировщиков тепловых схем ТЭС важно уточнить, работают ли последние на сеть без противодействия или через обратный клапан на сеть с противодействием, так как характеристики момента сопротивления будут разными (см. § 1.3);

б) подачу $Q_{ном}$ (или производительность), напор $H_{ном}$, частоту вращения $n_{ном}$, которые служат для определения типа механизма;

в) момент инерции ротора $J_{рот.мех}$ (или маховый момент $GD^2_{рот.мех}$). К определению момента инерции нужно относиться осторожно. Нельзя также присваивать значение момента инерции одного агрегата другому агрегату. Эту ошибку часто допускают расчетчики, когда момент инерции ЭД одной номинальной мощности на условиях “подобия” присваивают ЭД такой же номинальной мощности, но другого конструктивного исполнения и с другими габаритными размерами ротора. Любое применение усредненных значений недостающих величин должно быть веско обосновано.

При выполнении расчетов для действующей ТЭС все недостающие данные по агрегатам СН определяются экспериментальным путем в условиях работающего или неработающего основного оборудования в соответствии с методикой, изложенной в § 4.3.

Следует уделять особое внимание точности определения этих данных, так как неточность экспериментального определения, например, каталожных данных ЭД по-разному влияет на результаты расчетов режимов перерыва питания и самозапуска. Среди исходной информации можно выделить “существенную” и “несущественную” [124]. Изменение “существенной” информации в заданных пределах значительно влияет на результаты расчетов, а “несущественная” информация влияет в меньшей степени, поэтому ее можно экспериментально определять более простыми методами и техническими средствами.

Наиболее “существенными” данными являются: коэффициент загрузки ЭД по активной мощности (при изменении которого на +10 % относительная погрешность в определении времени самозапуска равна 18,2 %); зависимость момента сопротивления механизма от частоты вращения (при отклонении которой на +10 % относительная погрешность в определении времени самозапуска равна +15,9 %); кратности пускового тока и пускового и максимального моментов, коэффициент мощности ЭД. Коэффициент загрузки ЭД и момент сопротивления механизма (в области изменения частоты вращения от 1 до 0,5 номинальной) следует определять более точными приборами и методами.

Для ТЭС, длительно находящихся в эксплуатации, очень часто при сборе информации известны только номинальные мощность, ток статора, напряжение и частота вращения вала ЭД. В этом случае в качестве исходных данных по КПД короткозамкнутых АД можно рекомендовать значения [12], приведенные в табл. 4.1.

Приближенные значения коэффициента мощности можно определить следующим образом:

а) для ЭД мощностью 1 – 100 кВт

Таблица 4.1. Ориентировочные значения КПД короткозамкнутых АД

Номинальная мощность, кВт	Число пар полюсов p	КПД $\eta_{\text{ном}}$, %
1	1,2	78
2	1,2 3	82 81
5	1,2 3,4	86 84
10	1,2 3,4	88 86
20	1,2,3,4	89
50	1,2,3,4	90
100	1,2,3,4	91
200	1,2,3,4	92
500	1,2,3,4	93
1000 и более	1,2,3,4	94

$$\text{при } p = 2, 3 \quad \cos\varphi_{\text{ном}} \approx \eta_{\text{ном}} \cdot 10^{-2}; \quad (4.1)$$

$$\text{при } p = 1,4 \quad \cos\varphi_{\text{НОМ}} \approx \eta_{\text{НОМ}} \cdot 10^{-2} + \frac{0,6(2-p)}{\sqrt[3]{P_{\text{НОМ}}}}; \quad (4.2)$$

б) для ЭД мощностью более 100 кВт

$$\cos\varphi_{\text{НОМ}} \approx \eta_{\text{НОМ}} \cdot 10^{-2} - 0,03, \quad (4.3)$$

где $\eta_{\text{НОМ}}$ — в процентах; $P_{\text{НОМ}}$ — в киловаттах.

В качестве ориентировочных значений кратностей пускового тока статора, пускового момента, максимального момента ЭД можно принять соответственно 5 — 7; 0,9 — 1,1; 2,0 — 2,5 отн. ед.

К сожалению, никаких ориентировочных значений момента инерции агрегата СН (ЭД и механизма) рекомендовать нельзя. Эти значения можно получить только экспериментальным путем из режима одиночного выбега агрегата СН в соответствии с методикой, изложенной в § 4.3.

Когда вся необходимая информация по оборудованию собрана, приступают к анализу возможных режимов работы схем электрических соединений ТЭС.

Рассматривают нормальные и ремонтные варианты схем электрических соединений ТЭС и на основе анализа осуществляют выбор наиболее тяжелых расчетных условий.

В процессе анализа обосновывают все возможные режимы перерывов питания в системе электроснабжения СН, после которых групповой самозапуск ЭД СН должен обеспечивать полное восстановление мощности и технологических параметров энергоблока, а также те режимы, при которых происходит уменьшение мощности энергоблока.

При выборе расчетных условий для оценки успешности самозапуска группы ЭД СН необходимо учитывать: 1) исходную схему главных электрических соединений ТЭС и те повреждения в ней и в прилегающей сети, которые приводят к снижению напряжения на шинах СН ниже 0,7 — 0,8 номинального; 2) схему электроснабжения резервного питания и режим работы электрооборудования (наличие или отсутствие предвключенной нагрузки — потребителей СН другого энергоблока, значение напряжения в режиме XX); 3) расчетное время перерыва питания, выбранное на основе анализа работы устройств РЗА и технологических блокировок; 4) состав ЭД, участвующих в самозапуске, и их коэффициенты загрузки по активной мощности.

За расчетное нарушение нормального режима электроснабжения СН 3 — 6(10) кВ на ТЭС при питании от рабочего ТСН принято счи-

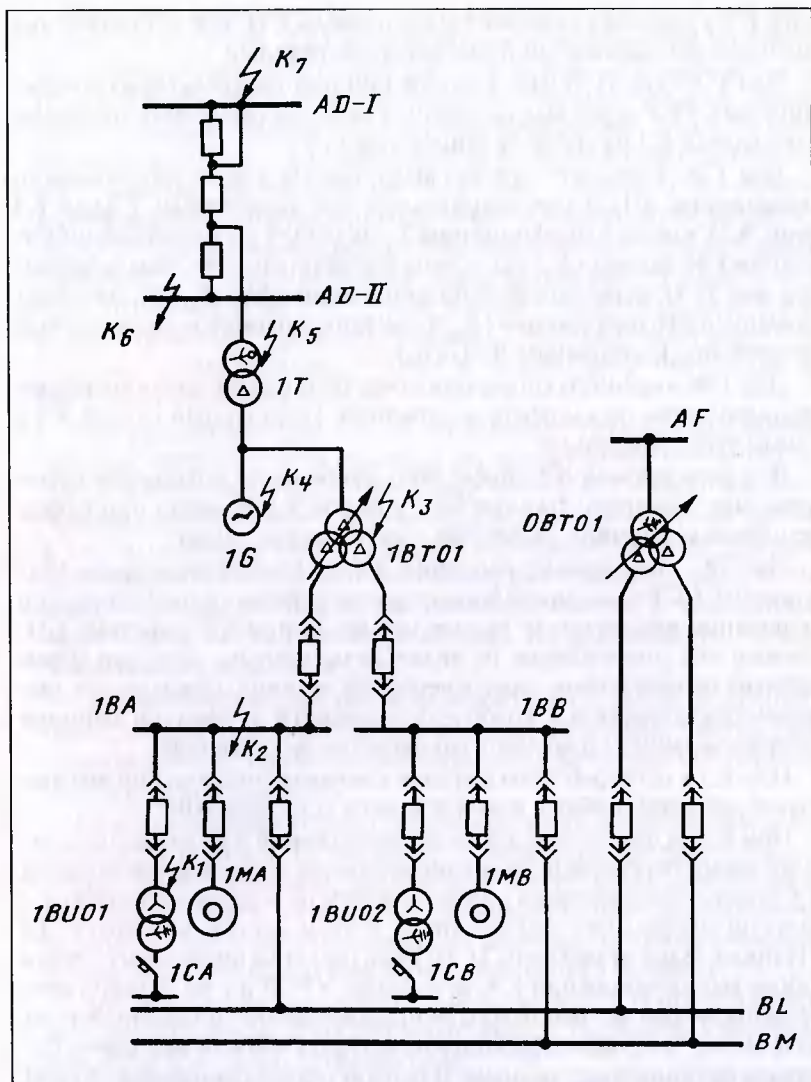


Рис. 4.1. Схема ТЭС блочного типа без выключателя в цепи генераторного напряжения:

$AD-I$, $AD-II$, AE — шины ВН; $1T$ — блочный трансформатор; $1G$ — турбогенератор; $1BT01$ — рабочий трансформатор СН; $OBT01$ — резервный трансформатор СН; $1BU01$, $1BU02$ — рабочие трансформаторы СН 6/0,4 кВ; $1MA$, $1MB$ — электродвигатели секции $1BA$ и $1BB$ 6 кВ; $1CA$, $1CB$ — шины секции 0,4 кВ; BL , BM — шины резервного источника питания; $K1 \div K7$ — точки КЗ

тать КЗ в пределах главной схемы и схемы СН, после отключения которого самозапуск ЭД будет наиболее тяжелый.

Для ТЭС, где ТСН (или токоограничивающие реакторы) присоединены к ГРУ через выключатели, в качестве расчетного принимается случай КЗ на сборных шинах этого РУ.

Для ТЭС блочного типа без выключателя в цепи генераторного напряжения в [13] рассматриваются три характерных случая КЗ (рис. 4.1): в цепи трансформатора 3 — 6(10)/0,4 кВ или отходящих от секции СН линиях (K_1, K_2); в цепи блока генератор — трансформатор или ТСН, через который питается секция (K_3, K_4, K_5); на шинах повышенного напряжения (K_6, K_7), к который присоединен данный энергоблок, и отходящих ЛЭП (K_8).

Для ТЭС блочного типа с выключателем в цепи турбогенератора рекомендуется рассмотреть и четвертый характерный случай КЗ в самом турбогенераторе.

Для всех случаев КЗ определяют наибольшее возможное время перерыва электроснабжения СН, которое имеет место при отказе основных и действии резервных электрических защит.

На ТЭС, где согласно решению Э-6/85 Главтехуправления Минэнерго СССР выполнено блокирование действия автоматического включения выключателя резервного ввода при КЗ в системе СН, данный вид повреждения не является расчетным. Если эти мероприятия не выполнены, время перерыва питания определяется временем отключения КЗ, которое складывается из времени действия резервной защиты и времени отключения выключателя.

При КЗ в цепи рабочего питания к времени отключения выключателя добавляют общее время действия устройств АВР.

При КЗ на шинах повышенного напряжения и на отходящих линиях время перерыва питания определяется временем отключения КЗ, которое складывается из времени действия резервной защиты и времени отключения выключателя. В этом случае самозапуск ЭД СН происходит от рабочего ТСН. Если при этом происходит отказ в работе выключателя при КЗ, то работает УРОВ и с выдержкой времени отключает все необходимые присоединения. В зависимости от того, может энергоблок работать на нагрузку СН или нет, время перерыва питания будет разным. В первом случае самозапуск ЭД СН происходит от рабочего ТСН с временем перерыва питания равным сумме времени работы УРОВ и отключения выключателя. Во втором случае, когда невозможна работа энергоблока на нагрузку СН, последний аварийно останавливается и УРОВ подключает к шине СН ПРТСН с временем перерыва питания большим, чем в первом случае, на время действия устройства АВР.

Расчетное время перерыва питания потребителей СН обычно не превышает для ТЭС с РУ на генераторном напряжении и поперечными связями по воде и пару 6,5 – 7,5 с; для ТЭС блочного типа: 0,3 – 0,5 с при отключении рабочего источника питания быстродействующими защитами или при ошибочном отключении его персоналом; 1,5 с при отключении рабочего ТСН максимальной токовой защитой, установленной на стороне высшего напряжения (время дано с учетом времени отключения выключателя ввода рабочего питания и времени включения выключателя ввода резервного питания); 2,5 с при отключении выключателя ввода рабочего питания ЗМН обычно на ТЭС с поперечными связями по воде и пару. Следует отметить, что на действующих ТЭС возможны условия эксплуатации оборудования, которые изменяют указанные выше времена перерывов питания СН.

При проектировании ТЭС на стадии рабочего проекта к моменту выполнения расчетов по режимам перерыва питания и самозапуска ЭД не всегда известны уставки устройств РЗА, и часто расчетная проверка выполняется согласно [2] для времени перерыва питания 2,5 с. Такой подход в выборе времени перерыва питания значительно сокращает объем подготовительных работ за счет невыполнения анализа уставок устройств РЗА, но следует отметить, что он применим в основном для ТЭС блочного типа, так как временные уставки резервных защит меньше 2,5 с.

Состав агрегатов, участвующих в самозапуске после перерыва питания, следует определять в зависимости от режима работы (пуск, останов, работа с номинальной нагрузкой) основного оборудования (котлоагрегата, турбины).

При определении состава ЭД, участвующих в самозапуске, необходимо учитывать и ЭД резервных механизмов, которые при отклонении технологических параметров могут быть автоматически включены в работу, а также то, что двухскоростные ЭД при работе на большей скорости и возникновении перерыва питания первой ступенью ЗМН переводятся на первую (меньшую) скорость.

При наличии на резервном трансформаторе СН предварительно включенной нагрузки другого энергоблока, последняя учитывается в расчетах конкретным составом ЭД.

Все агрегаты СН, как отмечалось выше, можно условно разделить на неответственные, ответственные и особо ответственные. Согласно ПТЭ [123] перечень особо ответственных и ответственных агрегатов утверждается главным инженером на основе анализа технологических схем и технических характеристик теплоэнергетического оборудования.

К особо ответственным агрегатам СН ТЭС относятся ЭД и механизмы, отключение которых может вызвать повреждение основного оборудования. К таким агрегатам можно отнести дымососы, циркуляционные насосы, которые не отключаются ЗМН при наличии одностороннего ЭД, а при наличии двухскоростного ЭД переводятся в режим работы на меньшую (первую) скорость, если работали на большей.

К ответственным агрегатам СН ТЭС относятся ЭД и механизмы, отключение которых нарушает технологическую работу котла, турбины, турбогенератора, вызывая либо снижение производительности тепловой и электрической энергии, либо полное прекращение работы энергоблока без повреждения оборудования. Поэтому, как отмечалось в § 1.5, ЭД ответственных механизмов отключаются второй ступенью ЗМН с выдержкой времени 3 — 9 с. При этом минимальная выдержка времени должна применяться для ЭД менее ответственных механизмов, отключение которых предусматривается для облегчения самозапуска ЭД более ответственных механизмов (по условию восстановления напряжения). Чем большую значимость имеют ЭД определенных ответственных механизмов для поддержания технологического процесса, тем большую выдержку времени второй ступени должна иметь их ЗМН. Но в связи с тем, что ЗМН с точки зрения экономии релейной аппаратуры выполняется единым комплектом для каждой секции 3 — 6 кВ с двумя выдержками времени, то отсутствует возможность вариации выдержки времени второй ступени ЗМН для каждого ЭД.

К ЭД неответственных механизмов относятся, например, ЭД мельничного вентилятора, багерного насоса, шаровой мельницы, насоса кислотной промывки. Электродвигатели этих механизмов отключаются от секции 3 — 6 кВ первой ступенью ЗМН с выдержкой времени 0,5 с для облегчения условий самозапуска ЭД ответственных механизмов СН. Это указывает на то, что в режиме перерыва питания эти ЭД участвуют, и в расчетах это необходимо учесть. Электродвигатели неответственных механизмов участвуют в самозапуске, если время перерыва питания меньше выдержки времени первой ступени ЗМН. Это характерно для нормального действия устройств РЗА (без отказов основных защит) и нормального оперативного переключения секций 3 — 6 кВ с рабочего источника питания на резервный.

На ТЭС с энергоблоками генератор — трансформатор и поперечными связями по воде и пару, а также на ТЭС с ГРУ после отключения КЗ на секции сборных шин ГРУ и подачи резервного питания на обесточенную секцию СН должен быть восстановлен нагрузоч-

ный режим соответствующего котла и турбины. Для этого необходимо обеспечить самозапуск ЭД всех ответственных механизмов, относящихся к данному котлу или турбине, с учетом их загрузки.

На ТЭС блочного типа без выключателя в цепи генераторного напряжения и в случаях, если не выполнены мероприятия, рекомендуемые решением Э-6/85 Главного технического управления Минэнерго СССР, послеаварийный режим, а следовательно и состав ЭД, участвующих в самозапуске, зависят от того, где произошло КЗ.

После отключения КЗ в цепи трансформатора 6/0,4 кВ должен быть восстановлен доаварийный нагрузочный режим энергоблока, а для этого должен быть обеспечен самозапуск ЭД всех ответственных механизмов СН энергоблока.

После отключения КЗ на шинах РУ высокого напряжения или на отходящих линиях послеаварийный режим энергоблока зависит от схемы присоединения энергоблока к сборным шинам. Если энергоблок присоединен одновременно к двум системам сборных шин, то после отключения КЗ выключателем он должен восстановить нагрузочный режим. Если энергоблок присоединен только к одной (поврежденной) системе шин, то после аварийного отключения его желательно сохранить при работе на собственные нужды. Когда по технологическим причинам это выполнить невозможно, то энергоблок необходимо перевести в растопочный режим.

На ТЭС блочного типа с выключателем в цепи генераторного напряжения при КЗ в турбогенераторе энергоблок должен быть переведен в режим останова. При этом необходимо обеспечить самозапуск ЭД механизмов, которые участвуют в останове котла.

В тех случаях, когда самозапуск ЭД осуществляется от ПРТСН, в расчетах следует учитывать его предварительную загрузку, которой являются ЭД секций СН другого энергоблока, например при ремонте выключателя рабочего ввода секции или рабочего ТСН.

4.2. УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СН

Расчет режимов и область их применения. Основной целью выполняемых расчетов режимов перерыва электроснабжения и самозапуска ЭД является:

- проверка успешности самозапуска группы ЭД при подаче напряжения после перерыва питания;

- приближенная оценка правильности настройки уставок РЗА;

- выявление наиболее тяжелых режимов и проверка допустимости этих режимов для электротехнического оборудования;

разработка необходимых мероприятий по нормальному восстановлению работы всего электротехнического оборудования.

В настоящее время наиболее полно разработаны методы расчетов электрических параметров в установившихся и переходных режимах ЭД СН. Методы расчета технологических параметров в установившихся и переходных процессах при перерыве питания разработаны только для такой технологической системы, как тепловые сети. Расчет параметров других технологических систем энергоблока с учетом их конфигурации, гидравлического сопротивления трубопроводов и других элементов, наличия регуляторов давления или подачи при перерыве питания и самозапуске группы ЭД СН рассмотреть невозможно, так как работы в этом направлении практически не выполнялись. Поэтому в дальнейшем рассматривается расчет только электромеханических параметров ЭД.

Строгий расчет процессов перерыва питания и самозапуска ЭД СН при любой сложности электрической схемы и различном предшествующем режиме работы источника питания реализовать вручную практически невозможно. Для этих целей применяются ЭВМ [26].

Автором разработаны упрощенные методы расчетов режимов ЭД (установившегося, перерыва питания, самозапуска) разной сложности и точности, отличающиеся малым объемом вычислительных операции и возможностью их реализации с помощью малых вычислительных средств. Эти методы в качестве исходной информации используют каталожные данные оборудования (или экспериментальные данные, представленные в форме каталожных) и с достаточной для практики точностью (порядка 10 – 15 %) позволяют рассчитать начальные значения токов и напряжения, предельную мощность неотключаемых ЭД по условиям успешности самозапуска, а также (с точностью порядка $\pm 30\%$) полное время (время самозапуска) восстановления частоты вращения ЭД с различными механизмами. Упрощенные методы позволяют оценить возможность и эффективность самозапуска ЭД 3 – 6(10) кВ применительно к типовым схемам СН ТЭС [36, 125].

При упрощенной оценке успешности процесса самозапуска ЭД СН от ПРТСН при отключении рабочего питания расчетную схему любой сложности можно преобразовать к простой, эквивалентная схема замещения которой состоит из: а) источника питания неограниченной мощности с шинами постоянного по значению напряжения переменного тока; б) сопротивления внешней сети (трансформатора, линии, включая внутреннее сопротивление источника питания — энергосистемы); в) сопротивления ЭД и других потребителей (рис. 4.2).

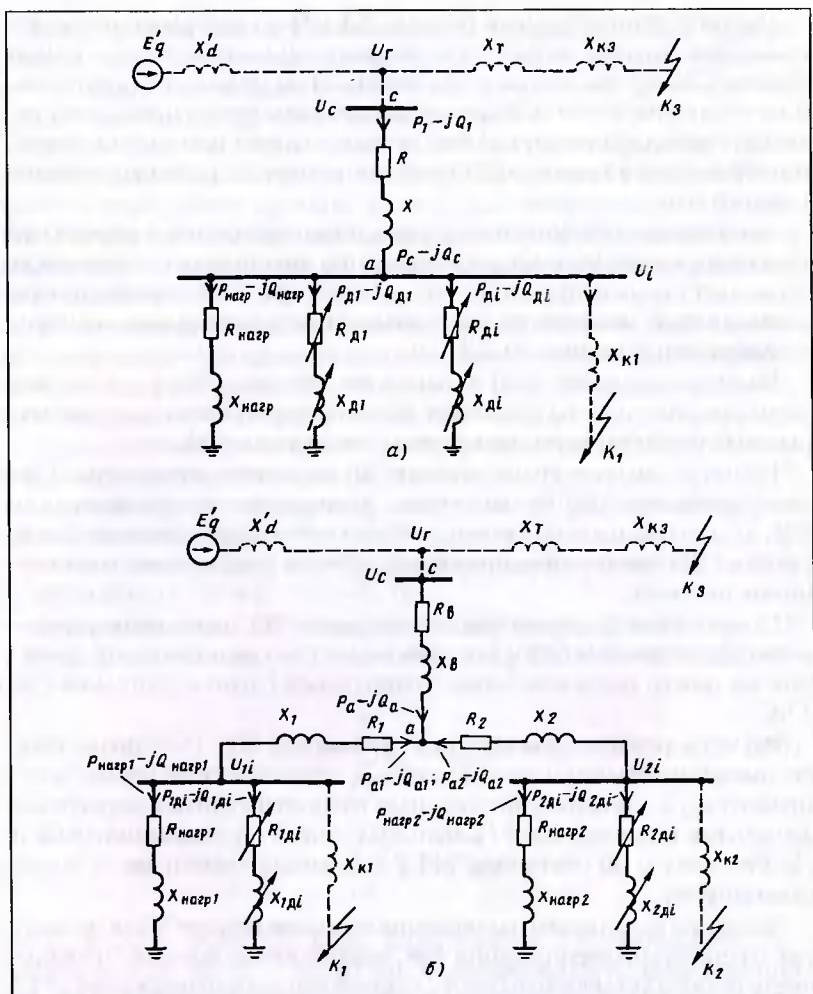


Рис. 4.2. Эквивалентные схемы замещения систем электроснабжения СН:

a — при питании от двухобмоточного трансформатора или токоограничивающего реактора; *б* — при питании от двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения; $R_{д1}, R_{дi}, R_{лi}, R_{2дi}, X_{д1}, X_{дi}, X_{лi}, X_{2дi}$ — активные и индуктивные сопротивления ЭД; $R_{нагр}, R_{нагр1}, R_{нагр2}, X_{нагр}, X_{нагр1}, X_{нагр2}$ — активные и индуктивные сопротивления эквивалентной нагрузки; R, X — активное и индуктивное сопротивления внешней сети (кабельной линии, токоограничивающего реактора, двухобмоточного трансформатора); $R_{в}, R_1, R_2, X_{в}, X_1, X_2$ — активные и индуктивные сопротивления обмоток трансформатора СН; $X_{к1}, X_{к2}, X_{к3}$ — индуктивные сопротивления шунта трехфазного КЗ; K_1, K_2, K_3 — точки трехфазного КЗ

Расчет установившегося режима ЭД СН до перерыва питания и после самозапуска позволяет определить: а) напряжение на шинах секции СН; б) ток, активную и реактивную мощности, протекающие по внешней сети (кабельной линии, токоограничивающему реактору, трансформатору); в) ток, активную и реактивную мощности, потребляемые каждым ЭД; г) частоту вращения (или скольжение) каждого ЭД.

Полученное значение тока секции позволяет судить о возможной кратности перегрузки по току элементов внешней сети. Оно также позволяет оценить перегрузку по току статора, а значения активной и реактивной мощностей дают возможность определить значение коэффициента мощности ЭД.

Частота вращения (или скольжения) каждого ЭД в установившемся режиме работы позволяет оценить технологические параметры насосной и тягодутьевой группы механизмов СН.

Расчет режима перерыва питания ЭД позволяет определить: а) частоту вращения ЭД; б) остаточное напряжение на шинах секции СН; в) угол расхождения вектора остаточного напряжения на шинах секции СН с вектором напряжения рабочего или резервного источников питания.

Полученные значения частот вращения ЭД позволяют определить сопротивления ЭД и приближенное изменение подачи, давления жидкости насосной и газа тягодутьевой групп механизмов СН ТЭС.

Расчеты режима самозапуска группы ЭД СН ТЭС позволяют по значению суммарного тока секции, зависящего от времени самозапуска, с достаточной степенью точности судить о перегрузке элементов внешней сети (кабельных линий, трансформаторов и т.д.) по току и об отстройке МТЗ питающих элементов от токов самозапуска.

Значение начального напряжения при самозапуске ЭД позволяет уже на стадии проектирования ТЭС приближенно оценить правильность выбора уставки блокировки минимального напряжения МТЗ рабочих ТСН и вводов резервного питания.

Расчетные значения времени пуска и самозапуска ЭД позволяют приближенно оценить правильность выбора уставки по времени защиты от перегрузки по току статора ЭД, а расчетное значение пускового тока ЭД при скольжении $s_1 = 1$ — уставки по току МТЗ.

Ниже излагаются основы упрощенных приближенных методов расчета, которые рекомендуются автором для оценки успешности самозапуска группы ЭД 3 — 6(10) кВ после перерыва питания и его повторном восстановлении.

Расчет установившегося режима работы группы ЭД СН. В зависимости от цели выполнения расчетов, требований, предъявляемых к их точности, принимаются различные допущения, позволяющие значительно сократить объем вычислений.

Если необходимо знать только значение частот вращения ЭД и неизвестно значение напряжения на шинах секции СН, то в первом приближении можно принять частоту вращения каждого АД, равной 0,99 отн. ед. Частота вращения каждого СД в установившемся режиме работы равна 1 отн. ед. (по отношению к его синхронной частоте вращения).

При втором приближении рекомендуется значение напряжения на шинах секции СН принять равным номинальному $U_{ном}$ и определить значение скольжения s_y по формуле (1.54, см. ч. 1), а значение частоты вращения n из формулы (4.44).

При известном значении напряжения на шинах секций СН при необходимости можно также рассчитать:

активные P_d и реактивные Q_d мощности, потребляемые каждым ЭД из сети по формулам (1.43) и (1.44, см. ч. 1);

полную мощность S_d и ток I_d , потребляемый каждым ЭД из сети по формулам (1.50) и (1.51, см. ч. 1);

коэффициент мощности $\cos \varphi_d$ каждого ЭД по формуле (1.52, см. ч. 1);

суммарные активную P_c и реактивную Q_c мощности каждой секции СН;

$$P_c = \sum_{j=1}^N P_{dj} + P_{нагр}; \quad (4.4)$$

$$Q_c = \sum_{j=1}^N Q_{dj} + Q_{нагр}, \quad (4.5)$$

где P_{dj} и Q_{dj} — активная, квар, и реактивная, кВт, мощности, потребляемые j -м ЭД; N — число ЭД, подключенных к шинам секции СН; $P_{нагр}$ и $Q_{нагр}$ — активная, кВт, и реактивная, квар, мощности, потребляемые постоянной нагрузкой;

ток секции СН

$$I_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \cdot 10^3 / (\sqrt{3}U), \quad (4.6)$$

где U — известное значение напряжения на шинах секции СН, В;
коэффициент мощности секции СН, отн. ед.,

$$\cos \varphi_c = P_c / \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (4.7)$$

При неизвестном значении напряжения на шинах секций СН и известном значении напряжения источника питания за внешним сопротивлением (двухобмоточным трансформатором, кабельной линией, двухобмоточным трансформатором с расщепленной обмоткой низкого напряжения, токоограничивающим реактором) расчет установившегося режима выполняется методом систематизированного подбора.

При питании ЭД СН через двухобмоточный трансформатор (токоограничивающий реактор, кабельную линию) в следующей последовательности определяют (рис. 4.2, а):

1) активные R и индуктивные X сопротивления элементов внешней сети, отнесенные к номинальному напряжению основной ступени, по общеизвестным формулам, представленным в [12, 26, 50, 125 – 129], Ом;

2) для каждого ЭД значения потребляемой активной мощности $P_{д.ном}$, тока намагничивания $I_{\mu.ном}$, реактивной мощности намагничивания $Q_{\mu.ном}$ и рассеяния $Q_{р.ном}$ при номинальных напряжениях и нагрузке на валу по (1.45) – (1.48, см. ч. 1);

3) относительное значение напряжения K_U на шинах секции СН по формуле (1.49, см. ч. 1) при напряжении на шинах секции СН U_p равному напряжению источника питания U_c ;

4) значения потребляемой активной и реактивной мощностей ЭД при условиях, отличных от номинальных, по (1.43), (1.44, см. ч. 1);

5) суммарные активные мощности секции по (4.4), (4.5);

6) суммарные активную P_1 , кВт, и реактивную Q_1 , квар, мощности, потребляемые с шин источника питания,

$$P_1 = P_c + (P_c^2 + Q_c^2)R / U_i^2; \quad (4.8)$$

$$Q_1 = Q_c + (P_c^2 + Q_c^2)X / U_i^2; \quad (4.9)$$

7) расчетное значение напряжения источника питания $U_{p.c}$, В,

$$U_{p.c} = \sqrt{\left[U_i + \frac{(P_c R + Q_c X) \cdot 10^3}{U_i} \right]^2 + \left[\frac{(P_c X - Q_c R) \cdot 10^3}{U_i} \right]^2}; \quad (4.10)$$

8) относительную погрешность ξ_U определения расчетного значения напряжения источника питания, отн. ед.,

$$\xi_U = |U_c - U_{p.c}| / U_c; \quad (4.11)$$

9) относительную погрешность ξ_U и сравнивают ее с заданным значением ξ_{U3} ; если ξ_U больше ξ_{U3} , то напряжение на шинах секции

уменьшается на значение ΔU , которое выбирается произвольно, и расчет вновь повторяется; если значение полученной относительной погрешности ξ_U меньше ее заданного значения ξ_{U_3} , то расчет прекращается и за напряжение на шинах секции принимается его последнее значение;

10) ток секции, протекающий по элементам внешней сети по (4.6);

11) для каждого ЭД потребляемые активную P_d и реактивную Q_d мощности, ток I_d , коэффициент мощности $\cos \varphi_d$, скольжение s_y и частоту вращения по (1.43), (1.44), (1.51), (1.52), (1.54, см. ч. 1), (4.44).

При питании ЭД СН от двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения расчет установившегося режима их работы производят в следующей последовательности (рис. 4.2, б):

а) вычисляют полные Z_b, Z_1, Z_2 , активные R_b, R_1, R_2 и индуктивные сопротивления X_b, X_1, X_2 , отнесенные к номинальному напряжению основной ступени по формулам, представленным в [12, 26, 50, 125 – 129], Ом;

б) определяют потребляемые активную мощность $P_{д.ном}$, ток намагничивания $I_{\mu.ном}$, реактивные мощности намагничивания $Q_{\mu.ном}$ и рассеяния $Q_{р.ном}$ при номинальных условиях для ЭД обеих секций по (1.45) – (1.48);

в) напряжение U_a принимают равным напряжению источника питания U_c ;

г) независимо друг от друга производят расчет установившегося режима для обеих секций аналогично тому, как это делалось выше для одной секции по пп. 2 – 10;

д) вычисляют активные P_{a2}, P_{a3} и реактивные Q_{a2}, Q_{a3} мощности, потребляемые группой ЭД каждой секции из узла a по (4.8), (4.9);

е) определяют суммарные активную и реактивную мощности в узле a :

$$\left. \begin{aligned} P_a &= P_{a1} + P_{a2}, \\ Q_a &= Q_{a1} + Q_{a2}; \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

ж) по формуле (4.10) определяют расчетное значение напряжения источника питания $U_{p.c}$, принимая $R = R_b, X = X_b, P_c = P_a, Q_c = Q_a$;

з) по формуле (4.11) рассчитывают значение относительной погрешности ξ_U , и если она больше заданной ξ_{U_3} , то значение напряжения U_a в узле a уменьшают на ΔU , весь расчет заново повторяют до тех пор, пока относительная погрешность не станет меньше заданного ее значения ξ_{U_3} .

Расчет режима перерыва электроснабжения. В зависимости от причины и места возникновения повреждения в системе электроснабжения СН принимаются различные допущения, позволяющие выполнить расчет режима перерыва питания или глубокого снижения напряжения приближенно при малом объеме вычислений.

Перерыв электроснабжения одиночного ЭД. При отключении одиночного ЭД от шин СН напряжение на его зажимах снижается до нуля и исчезает его вращающий момент M . В этом случае под действием противодействующего момента сопротивления механизма M_c частота вращения ротора ЭД начинает уменьшаться. Изменение частоты вращения ЭД во времени будет зависеть от характера момента сопротивления механизма M_c и постоянной ускорения (электромеханической постоянной времени) T_j .

При допущении, что момент сопротивления механизмов описывается выражениями (1.31) – (1.34), (1.36) – (1.39), (1.42, см. ч. 1) уравнение (2.15, см. ч. 1) можно проинтегрировать аналитически и получить его решение, позволяющее определить частоту вращения ЭД при перерыве его питания по (4.13) – (4.20) из табл. 4.2.

Перерыв электроснабжения группы ЭД. При отключении группы ЭД, работающих на сборные шины СН от источника питания, происходит уменьшение их частоты вращения. Ввиду сложности процессов, протекающих при совместном групповом выбеге, нет возможности точно упрощенными методами рассчитать этот режим. Существует несколько приближенных упрощенных методов расчета режима перерыва питания группы ЭД разной точности.

Представление момента сопротивления механизма в аналитическом виде дает возможность выполнить расчет режима перерыва питания группы ЭД аналитическим методом. При произвольном характере момента сопротивления механизма расчет режима перерыва питания группы ЭД выполняется методом последовательных интервалов.

Ниже изложены основы приближенного метода расчета режима перерыва питания группы ЭД. Определяют:

- 1) постоянную ускорения (электромеханическая постоянная времени) T_j каждого агрегата (ЭД и механизма) по (2.16, см. ч. 1), с;
- 2) номинальный коэффициент мощности каждого ЭД, отн. ед.,

$$\cos \varphi_{\text{НОМ}} P_{\text{НОМ}} \cdot 10^5 / (\sqrt{3} I_{\text{НОМ}} U_{\text{НОМ}} \eta_{\text{НОМ}}), \quad (4.31)$$

- 3) полную номинальную мощность каждого ЭД, кВт · А,

$$S_{\text{П.НОМ}} \sqrt{3} I_{\text{НОМ}} U_{\text{НОМ}} \cdot 10^{-3} = P_{\text{НОМ}} \cdot 10^2 / (\eta_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}}); \quad (4.32)$$

4) номинальное скольжение $s_{\text{ном}}$ каждого ЭД по (1.56, см. ч. 1), отн. ед.;

5) электромагнитную постоянную времени T_{Σ} затухания ЭДС каждого ЭД по (2.1, ч. 1), с;

6) эквивалентную электромагнитную постоянную времени затухания остаточного напряжения на шинах секции СН генерируемого группой ЭД, с,

$$T_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N (S_{\text{п.ном}j} T_{\Sigma j}) / \sum_{j=1}^N S_{\text{п.ном}j}, \quad (4.33)$$

где j — порядковый номер ЭД; N — число ЭД, участвующих в групповом выбеге;

7) скольжение и время группового выбега в следующей последовательности:

а) значения частот вращения ЭД принимают равным значениям их частот вращения в установившемся режиме работы n_y ;

б) задают произвольное значение времени группового выбега $t = t_{\text{гр}}$;

в) частоту вращения каждого ЭД находят по одной из формул (4.13) — (4.20), принимая $t = t_{\text{гр}}$; при произвольном характере момента сопротивления механизма;

начальное значение времени группового выбега принимают равным $t_{\text{гр}} = 0$, а значения частот вращения ЭД — значениям их частот вращения в установившемся режиме работы $n = n_y$;

частоту вращения каждого ЭД определяют по (4.21);

8) эквивалентное скольжение группы ЭД, отн. ед.,

$$s_{\text{гр}} = \sum_{j=1}^N [T_{Jj} P_{\text{ном}j} (1 - n_j)] / \sum_{j=1}^N (T_{Jj} P_{\text{ном}j}); \quad (4.34)$$

9) эквивалентную частоту вращения группы ЭД, отн. ед.,

$$n_{\text{гр}} = 1 - s_{\text{гр}}; \quad (4.35)$$

10) расчетное значение остаточного напряжения на шинах СН в момент времени $t_{\text{гр}}$, отн. ед.,

$$U_{\text{гр.р}} = E_0 n_{\text{гр}} e^{-(t_{\text{гр}}/T_{\Sigma})}, \quad (4.36)$$

где E_0 — напряжение на шинах секции СН с группой ЭД после отключения выключателя ввода рабочего питания в момент времени

Таблица 4.2. Формулы для определения частоты вращения и фиктивного времени индивидуального выбега агрегата СН, содержащего в своем составе ЭД

Механизм	Ф-ла рас- чета M_c , отн. ед.	Частота вращения, отн. ед.	Фиктивное время индиви- дуального выбега, с
Транспортеры, шнеки	M_c , рассчи- танный по формуле (1.31)	$n = n_y - tK_3/T_J$ (4.13)	$t_\phi = (n_y - n_{гр})T_J/K_3$ (4.22)
Резервные воз- будители (гене- ратора посто- янного тока независимого возбуждения)	M_c , рассчи- танный по формуле (1.32)	$n = n_y e^{-(tK_3/T_J)}$ (4.14)	$t_\phi = -K_3^{-1}T_J \ln \left \frac{n_y}{n_{гр}} \right $ (4.23)
Дымососы, дутьевые венти- ляторы, насо- сы, работаю- щие на сеть без противодав- ления	M_c , рассчи- танный по формуле (1.33) при $c = 2$	$n = \operatorname{tg} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{n_y}{\sqrt{M_{с.нач}} / A} \right) - \frac{t\sqrt{M_{с.нач}}}{T_J} \right] \sqrt{M_{с.нач}} / A$, где $A = K_3 - M_{с.нач}$ (4.15a)	$t_\phi = T_J \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{n_y}{\sqrt{M_{с.нач}} / A} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{n_{гр}}{\sqrt{M_{с.нач}} / A} \right) \right] / \sqrt{M_{с.нач}} A$ (4.24)
	M_c , рассчи- танный по формуле (1.34) при $c = 2$	$n = 1/(tK_3/T_J + 1/n_y)$ (4.16)	$t_\phi = \frac{(n_y - n_{гр})T_J}{n_y n_{гр} K_3}$ (4.25)
Молотковые мельницы, на- сосы, работаю- щие через обрат- ный клапан на сеть с проти- водавлением	M_c , рассчи- танный по формуле (1.38) при $c = 3$	$n = \frac{1}{\sqrt{2K_3 t / T_J + 1 / n_y^2}}$ (4.17)	$t_\phi = \frac{1 - n_{гр}^2 T_J}{n_{гр}^2 K_3}$ (4.26)
Насосы, рабо- тающие через обратный клапан на сеть с противо- давлением	M_c , рассчи- танный по формуле (1.36)	$n = \begin{cases} \left(n_y + \frac{a}{b} \right) e^{-(bt/T_J)} - \frac{a}{b} & \text{при } n \geq n_{кл} \\ \frac{1}{\frac{K_{3.0}(t - T_{отк})}{T_J} + \frac{1}{n_{кл}}} & \text{при } n \leq n_{кл} \end{cases}$ (4.18)	$t_\phi = \begin{cases} \frac{T_J}{b} \ln \left \frac{a+b}{a+bn_{гр}} \right & \text{при } n_{гр} \geq n_{кл} \\ \frac{T_J}{K_{3.0}} \left(\frac{1}{n_{гр}} - \frac{1}{n_{кл}} \right) + \frac{T_J}{b} \ln \left \frac{a+b}{a+bn_{кл}} \right & \text{при } n_{гр} \leq n_{кл} \end{cases}$ (4.27)
		где $a = K_{3.0} n_{кл}^2 b n_{кл}$; (4.18a)	
		$b = \frac{K_3 - K_{3.0} n_{кл}^2}{n_y - n_{кл}}$; (4.18б)	

		$T_{\text{отк}} = T_J \ln \left \frac{a+b}{a+bn_{\text{кл}}} \right / b;$ <p>(4.18в)</p> $K_{3,0} = N_0 / P_{\text{ном}};$ <p>(4.18г)</p> $n_{\text{кл}} \text{ определяется по формуле (1.20), в которой } H_{\text{ст}} \approx (p_{\text{нап}} - p_{\text{вас}}) / (10\gamma_{\text{л}} \cdot \text{с});$ <p>(4.18д)</p>	
Среднеходные мельницы типа МСП-2650	$M_{\text{с}}$, рассчитанный по формуле (1.37)	$n = 1 - \text{tg} \left\{ \frac{t\sqrt{ab}}{T_J} + \arctg \left[(1-n_y) \frac{\sqrt{a}}{b} \right] \right\} / \sqrt{\frac{a}{b}},$ <p>(4.19)</p> <p>где $a = M_{\text{с.нач}} - K_3$; $b = K_3$ при $M_{\text{с.нач}} > K_3$; $b = K_3$</p> <p>(4.19а)</p> <p>(4.19б)</p>	$t_{\phi} = T_J \left\{ \arctg \left[(1-n_y) \sqrt{\frac{a}{b}} \right] - \arctg \left[(1-n) \sqrt{\frac{a}{b}} \right] \right\} / \sqrt{ab}$ <p>(4.28)</p>
Шаровые барабанные мельницы типа ШБМ-370/850 (Ш-50А) и ШБМ-400/1000 (Ш-70)	$M_{\text{с}}$, рассчитанный по формуле (1.37)	$n = n_y + \frac{a}{b} / e^{(bt/T_J)} - \frac{a}{b},$ <p>(4.20)</p> <p>где $a = M_{\text{с.нач}}$; $b = K_3 - M_{\text{с.н}}$</p> <p>(4.20а)</p> <p>(4.20б)</p>	$t_{\phi} = \frac{T_J}{b} \ln \left \frac{a+bn_y}{a+bn_{\text{тр}}} \right $ <p>(4.29)</p>
Прочие механизмы	Имеет сложный характер зависимости от частоты вращения; для его описания применяется кусочно-линейная аппроксимация по (1.39)	$n_{i+1} = \frac{n_i - M_{\text{с},i-1}\Delta t}{T_J}$ <p>(4.21)</p>	$t_{\phi i+1} = t_{\phi i} + \Delta t$ <p>(4.30)</p>

Примечание. $M_{\text{с}}$ — момент сопротивления механизма, отн. ед.; K_3 — коэффициент загрузки ЭД по активной мощности, отн. ед.; T_J — постоянная ускорения (электромеханическая постоянная времени) агрегата (ЭД с механизмом), с; t — время перерыва питания, с; t_{ϕ} — фиктивное время индивидуального выбега одиночного агрегата, с; n — частота вращения агрегата, отн. ед.; $n_{\text{тр}}$ — эквивалентная частота группы ЭД, отн. ед.; $M_{\text{с.нач}}$ — начальный момент сопротивления механизма при частоте вращения, равной нулю, отн. ед.; a, b — расчетные коэффициенты, отн. ед.; K_3 — коэффициент загрузки ЭД по активной мощности при работе насоса на закрытую задвижку, отн. ед.; $n_{\text{кл}}$ — частота вращения вала ЭД, при которой происходит открытие (или закрытие) обратного клапана, установленного на напоре насоса, отн. ед.; $H_{\text{ст}}$ — статическое противодавление, м; H_0 — напор, развиваемый насосом при номинальной частоте вращения и подаче, равной нулю, м; $P_{\text{напор}}$ — давление жидкости в напорном патрубке насоса, Па; $p_{\text{вас}}$ — давление во всасывающем патрубке насоса, Па; $\gamma_{\text{л}} \cdot \text{с}$ — удельный вес воды при температуре t °С, кг/м³; N_0 — активная мощность, потребляемая ЭД при работе насоса на закрытую задвижку, кВт; n_y — частота вращения ЭД в установившемся режиме работы, для СД, равная 1, а для АД, определяемая по формуле $n_y = 1 - s_y$, отн. ед.

$t_{гр i} = 0$, принимаемое в среднем $0,85 - 0,95$ отн. ед.; при необходимости значение напряжения можно рассчитать по формуле

$$E_{0*} = \sqrt{(U \cos \varphi_c)^2 + (U \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_c} - I_c X_{\Sigma}'')^2} / U_{ном}, \quad (4.37)$$

где U — напряжение в шинах секции СН в предшествующем выбеге установившемся режиме, В; $U_{ном}$ — номинальное напряжение на шинах секции СН, В; $\cos \varphi_c$ — коэффициент мощности, рассчитанный по (4.7), отн. ед.; I_c — ток секции, определенный по (4.6), А; X_{Σ}' — суммарное сверхпереходное сопротивление группы ЭД, вычисляемое по формуле

$$X_{\Sigma}'' = 1 / \sum_{j=1}^N (K_{п j} \sqrt{3} I_{ном j} / U_{ном}), \quad (4.38)$$

где $K_{п j}$ — кратность пускового тока статора ЭД, отн. ед.

11) относительную погрешность расчетного значения остаточного напряжения, отн. ед.

$$\xi_U = |U_{гр.р} - U_{гр}| / U_{гр}, \quad (4.39)$$

где $U_{гр}$ — остаточное напряжение, при котором заканчивается расчет процесса группового выбега, обычно принимаемое равным $0,25$;

12) если ξ_U больше его заданного значения ξ_{U3} , то задают новое значение времени группового выбега

$$t_{гр i+1} = t_{гр i} + \Delta t, \quad (4.40)$$

где $t_{гр i+1}$, $t_{гр i}$ — последующее и предыдущее значения времени группового выбега, с;

вновь возвращаются к п. 7, в до тех пор, пока значение ξ_U не будет меньше ξ_{U3} ; время, при котором выполняется это условие, принимается за окончательное время группового выбега $t_{гр}$;

13) фиктивное время индивидуального выбега для каждого ЭД по одной из формул (4.22) — (4.29); при произвольном характере зависимости момента сопротивления механизма от частоты вращения следующим образом:

а) начальное значение фиктивного времени индивидуального выбега принимают $t_{гр i} = 0$, а значения частот вращения ЭД равными значениям их частот вращения в установившемся режиме работы $n = n_y$;

б) частоту вращения n_{i+1} каждого ЭД определяют по (4.21);

в) сравнивают частоту вращения n ЭД со значением эквивалентной частоты вращения $n_{гр}$; если $n > n_{гр}$, то определяют новое значение фиктивного времени индивидуального выбега

$$t_{\phi i+1} = t_{\phi i} + \Delta t, \quad (4.41)$$

где $t_{\phi i+1}$ и $t_{\phi i}$ — последующее и предыдущее значения фиктивного времени индивидуального выбега, с; Δt — расчетный шаг по времени, принимаемый равным 0,1 и менее, с;

вновь возвращаемся к п. 13, б до тех пор, пока значение частоты вращения ЭД n не будет меньше или равно $n_{гр}$; время, при котором выполняется это условие, принимается за окончательное фиктивное время выбега;

14) полное эквивалентное время перерыва питания для каждого ЭД, с

$$t_{п} = t_{п.п} - t_{гр} + t_{\phi}, \quad (4.42)$$

где $t_{п.п}$ — время перерыва питания, с.

15) частоту вращения n каждого ЭД в конце перерыва питания по одной из формул (4.19) — (4.20), в которых t принимается равным t_{ϕ} ; при произвольном характере зависимости момента сопротивления механизма:

а) начальное значение времени выбега принимают равным $t_{ni} = 0$, а значения частот вращения ЭД — значениям их частот вращения в установившемся режиме работы $n = n_y$;

б) частоту вращения n_{i+1} каждого ЭД определяют по (4.21);

в) выполняют сравнение времени t_{ni} со значением $t_{п}$; если t_{ni} меньше $t_{п}$, то определяют новое значение времени выбега

$$t_{ni+1} = t_{ni} + \Delta t, \quad (4.43)$$

где t_{ni+1} и t_{ni} — последующее и предыдущее значения времени выбега, с; Δt — расчетный шаг по времени, принимаемый равным 0,1 и менее, с;

вновь возвращаются к п. 15, б до тех пор, пока значение времени выбега t_{ni} не будет больше значения $t_{п}$; значение частоты вращения ЭД, полученное при выполнении этого условия, принимается за окончательное.

Расчет режима разворота группы ЭД при самозапуске после перерыва электроснабжения. При повторной подаче напряжения на шины секции СН электродвигатели, которые не отключились устройствами РЗА во время перерыва питания, и ЭД резервных механизмов, включаемые автоматически, под воздействием избыточ-

ного момента вновь увеличивают частоту вращения. Расчетom определяются напряжение и ток секции, токи и время разворота ЭД.

По значению тока секции в начальный момент времени можно оценить возможную перегрузку по току элементов (токоограничивающего реактора, трансформатора, шинпровода, кабельной линии) внешней сети и судить об отстройке МТЗ питающих элементов от токов самозапуска.

Значение начального напряжения на шинах секции СН при самозапуске позволяет предварительно оценить правильность выбора уставки блокировки минимального напряжения МТЗ вводов резервного питания и трансформаторов СН.

Расчетное значение пускового тока ЭД дает возможность предварительно оценить правильность выбора уставок токовых отсечек, а расчетное время разворота ЭД — правильность выбора уставок по времени защиты от перегрузки током обмотки статора ЭД.

В зависимости от требований, предъявляемых к расчетам, применяются приближенные методы расчета различной степени точности. Так, при определении уставок РЗА достаточно напряжение и ток секции, токи ЭД рассчитать из условия их заторможенности. А для выбора временных уставок защит от перегрузки повышенным значением тока обмотки статора ЭД необходимо выполнить расчет всего процесса самозапуска и определить время, в течение которого протекает повышенное значение тока.

Существует оценка успешности разворота ЭД при самозапуске по значению начального напряжения [7]. Разворот ЭД при самозапуске считается успешным, если значение начального напряжения равно 0,55 — 0,6 номинального. Следует отметить, что эти значения были получены на основе экспериментальных данных в 50-х годах на ТЭС с поперечными связями по воде и пару с коэффициентами загрузки ЭД по току равными 0,6 — 0,8 при определенных составе агрегатов СН, соотношении моментных характеристик (кратности пускового момента ЭД не менее 1,0 номинального кратности максимального момента ЭД равной 2,2 — 2,5 номинального) и времени самозапуска не более 30 — 35 с после перерыва питания 2,5 с. Время самозапуска в основном ограничивалось нагревом ЭД. С вводом ТЭС блочного типа мощностью 150 МВт и более значительно изменился состав агрегатов СН, их характеристики, коэффициенты загрузки ЭД. Но в директивных материалах остались все те же значения начального напряжения, рекомендуемые для оценки успешности самозапуска ЭД СН.

Автор в [130] показал, что нецелесообразно принимать в качестве критерия успешности самозапуска группы ЭД рекомендованные в

[7] значения начального напряжения $0,55 - 0,6$ номинального, так как при одном и том же значении начального напряжения (рис. 4.3) время разворота ЭД при самозапуске будет разным, зависящим от характеристик момента вращения ЭД, момента сопротивления механизма, общего момента инерции агрегата (ЭД и механизма), значения частоты вращения к концу перерыва питания. Происходит это за счет того, что при перерыве питания, когда частота вращения принимает значение менее $0,8 - 0,9$ номинального, входное сопротивление ЭД, а следовательно и значение начального напряжения изменяются незначительно. В зависимости от частоты вращения (скольжения) и соотношения моментных характеристик ЭД и механизма требуются различные значения начального напряжения (рис. 4.4) [21]. Поэтому за критерий успешности самозапуска предлагается принимать допустимое время самозапуска: а) для ТЭС с поперечными связями по воде и пару — определяемое допустимым нагревом ЭД; б) для ТЭС блочного типа — при котором сохраняется устойчивость технологического режима и работы энергоблока в целом. Для предварительной оценки успешности самозапуска группы ЭД целесообразно использовать упрощенные методы расчета, в которых не только определяется значение начального напряжения, но и рассчитывается частота вращения при перерыве питания и самозапуске упрощенными методами. Однако для этого требуется проводить трудоемкие расчеты с применением ЭВМ по заранее разработанным программам, которые позволяют определять начальное напряжение и поведение каждого ЭД в процессе перерыва питания и самозапуска.

Расчет самозапуска группы ЭД можно выполнить, если известны: а) характеристики вращающих моментов и токов ЭД, моментов сопротивления от частоты вращения (или скольжения); б) значения частот вращения каждого ЭД в конце перерыва питания.

В первую очередь, при расчетах необходимо использовать характеристики, полученные экспериментальным путем в условиях действующей ТЭС или на испытательных стендах заводов-изготовителей. Определение моментных характеристик ЭД и механизмов СН экспериментальным путем связано с большими трудозатратами в условиях ТЭС. Поэтому для оценки успешности процесса самозапуска группы ЭД расчетным путем необходимо в первую очередь использовать экспериментальные или расчетные данные заводов-изготовителей. При отсутствии таких характеристик для весьма приближенной оценки успешности самозапуска группы ЭД можно использовать обобщенные характеристики момента вращения

(1.62), тока статора (1.64), и моментов сопротивления механизмов СН (1.30) – (1.38).

При этом необходимо помнить, что точность результатов расчета будет занижена.

При расчете делают допущения, незначительно снижающие его точность, но приводящие к значительному его упрощению. В качестве таких допущений принимаются следующие: а) ток самозапуска ЭД 3 – 6(10) кВ считается чисто индуктивным; б) напряжение источника питания принимается неизменным по значению, а его внутреннее сопротивление равным нулю.

Расчет разворота группы ЭД при самозапуске методом последовательных интервалов от двухобмоточного трансформатора, токоограничивающего реактора выполняют в следующей последовательности. Определяют:

1) номинальное и критическое скольжение каждого ЭД по (1.56), (1.55), отн. ед.; постоянную ускорения (электромеханическую времени) каждого агрегата по (2.16), с;

2) активные R и индуктивные X сопротивления элементов внешней сети, отнесенные к номинальному напряжению основной ступени, по общеизвестным формулам, представленным в [12, 26, 50, 125 – 129], Ом;

3) начальное значение времени t_{i-1} принимают равным 0;

4) скольжение каждого ЭД, отн. ед.

$$s = 1 - n, \quad (4.44)$$

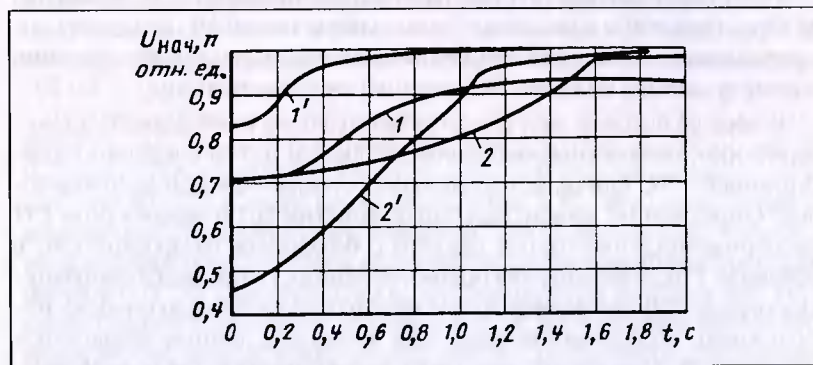


Рис. 4.3. Кривые изменения напряжения (1 и 2) секции ИБ и частоты вращения конденсатного насоса (1 и 2') при самозапуске в опытах 1 и 2 после перерыва питания СН соответственно 0,8 и 1,9 с на энергоблоке мощностью 300 МВт

где n — частота вращения ЭД, первоначальное значение которой определяют из расчета режима перерыва питания группы ЭД, а последующие значения — в результате режима разворота группы ЭД, отн. ед.;

5) кратность пускового тока $K_{\text{пл}}$ обмотки статора ЭД при номинальном напряжении и скольжении s либо по известной экспериментальной или расчетной зависимости кратности тока статора от скольжения, либо по обобщенной зависимости кратности пускового тока, которая определяется по (1.64);

6) полную проводимость каждого ЭД, См,

$$\gamma_j = \sqrt{3} K_{\text{пл}} I_{\text{ном}j} / U_{\text{ном}}, \quad (4.45)$$

где $K_{\text{пл}}$ — кратность пускового тока обмотки статора ЭД при скольжении s , отн. ед.; $I_{\text{ном}j}$, $U_{\text{ном}}$ — номинальные ток, А, и напряжение, В, ЭД;

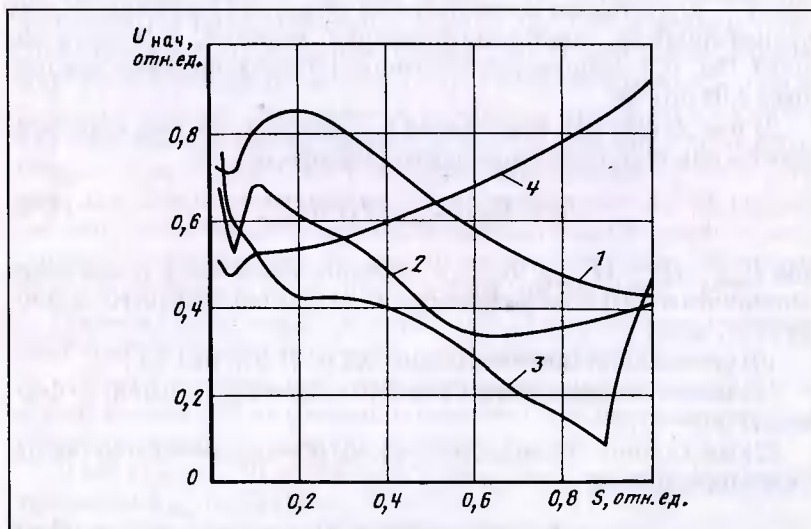


Рис. 4.4. Кривые начального напряжения от скольжения ЭД для различных агрегатов СН:

1 — ЭД типа А02-21-39-16У1 мощностью 2000 кВт, 373 мин⁻¹ с дымососом типа Д0Д-41; 2 — ЭД типа АТД-4000/6000 мощностью 4000 кВт, 2985 мин⁻¹ с питательным насосом типа ПЭ-500-180-2; 3 — ЭД типа АВ-8000/6000 мощностью 8000 кВт, 2960 мин⁻¹ с питательным насосом типа СВПЭ-320-550; 4 — ЭД типа ДАЗ04-560УК-6У1 мощностью 1000 кВт, 991 мин⁻¹ и среднеходная мельница типа МСП-2650

7) суммарную проводимость потребителей СН, подключенных к шинам секций, См,

$$Y_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \gamma_j + \frac{Q_{\text{нагр}} 10^3}{U_{\text{ном}}^2} + \frac{1}{X_k}, \quad (4.46)$$

где N — общее число ЭД на секции, шт.; j — порядковый номер ЭД; $Q_{\text{нагр}}$ — реактивная мощность статической нагрузки, квар; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение, В; X_k — индуктивное сопротивление шунта трехфазного металлического КЗ, принимаемое большим, если перерыв питания произошел в результате отключения оператором выключателя ввода рабочего питания и включения выключателя ввода резервного питания, Ом;

8) напряжение на шинах секции СН при самозапуске, отн. ед.,

$$U_{c3} = U_c / (1 + Y_{\Sigma} X), \quad (4.47)$$

где X — индуктивное сопротивление элементов (двухобмоточного трансформатора, токоограничивающего реактора, кабельной линии), Ом; U_c — напряжение источника питания, принимаемое равным 1,05 отн. ед.;

9) ток секции СН, отнесенный к номинальному току трансформатора или токоограничивающего реактора, отн. ед.

$$I_{*c} = U_{c3} Y_{\Sigma} U_{\text{ном.т}} / (\sqrt{3} I_{\text{ном.т}}), \quad (4.48)$$

где $I_{\text{ном.т}}$, $U_{\text{ном.т}}$ ($I_{\text{ном.р}}$, $U_{\text{ном.р}}$) — номинальные ток и напряжение двухобмоточного трансформатора (токоограничивающего реактора) СН, А;

10) вращающий момент каждого ЭД по (1.62), отн. ед.;

11) момент сопротивления каждого механизма по одной из формул (1.30) — (1.39);

12) ток каждого ЭД, отнесенный к его номинальному току обмотки статора, отн. ед.,

$$I_{*dj} = U_{c3} \gamma_j U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} I_{\text{ном}j}); \quad (4.49)$$

23) частоту вращения n_{i+1} каждого ЭД в конце интервала времени Δt по (4.21), отн. ед.;

14) для каждого ЭД полученное значение частоты вращения n_{i+1} может быть больше или меньше $n_y = 1 - K_{\Sigma s_{\text{ном}}}$; если больше, то этот ЭД считается развернувшимся и его частота вращения в дальнейших

расчетах принимается равной n_y ; если меньше, то данный ЭД еще не развернулся и надо перейти к п. 15;

15) новое значение времени самозапуска, с;

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t, \quad (4.50)$$

где t_i, t_{i-1} — последующее и предыдущее времена самозапуска, с; Δt — расчетный шаг по времени, принимаемый 0,6 с и менее.

Вновь возвращаются к п. 4 до тех пор, пока у всех ЭД частота вращения не достигнет установившегося значения.

Рассмотренная выше методика расчета процесса разворота группы ЭД позволяет выполнить расчет и для случая, когда шины резервного питания предварительно загружены ЭД другого энергоблока. Скольжения этих ЭД в начальный момент времени можно рассчитать по (1.54).

Самозапуск группы ЭД считается успешным, если время разворота будет меньше допустимого (по условию нагрева ЭД для ТЭС с поперечными связями по воде и пару, по условию сохранения устойчивости технологического режима для ТЭС блочного типа). Допустимое время самозапуска группы ЭД СН по условию сохранения технологического в зависимости от типа энергоблока и состояния его основного оборудования колеблется в пределах 15 — 20 с, а для энергоблоков мощностью 250 МВт с теплофикационными турбинами типа Т-250/300-240 это время ограничивается 0,8 — 1,4 с, если перерыву питания подвергаются одновременно все ЭД насосов системы регулирования частоты вращения. Если в работе удастся сохранить хотя бы один насос системы регулирования, то энергоблок сохраняется в работе при перерывах питания до 2,5 с.

Проверку допустимости самозапуска ЭД по условиям их нагрева приближенно можно выполнить следующим образом:

1) по полученной из расчетов зависимости напряжения $U_{сз}(t)$ на шинах секции СН от времени общеизвестным методом площадей определяется его усредненное значение K_{Ucp} , отн. ед.;

2) для каждого ЭД определяется допустимое время пуска при напряжении K_{Ucp} по (2.14), с;

3) сравнивается для каждого ЭД его время самозапуска $t_{сз}$ с допустимым временем $t_{допU}$ по условию нагрева; если время самозапуска $t_{сз}$ меньше допустимого времени $t_{допU}$, то нагрева ЭД выше допустимого не происходит; если время самозапуска $t_{сз}$ больше $t_{допU}$, то происходит перегрев ЭД. В этом случае необходимо выполнить более точный анализ нагрева ЭД [19], а потом попытаться уменьшить время самозапуска ЭД одним из известных способов.

Расчет самозапуска группы ЭД от двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения производится в следующей последовательности. Определяют:

- 1) полные Z_B, Z_1, Z_2 ; активные R_B, R_1, R_2 и индуктивные X_B, X_1, X_2 сопротивления, отнесенные к номинальному напряжению основной ступени по формулам, представленным в [12, 26, 50, 125 – 129], Ом;
- 2) номинальное и критическое скольжения каждого ЭД по (1.56), (1.55) и постоянную ускорения (электромеханическую постоянную времени) T_j , каждого агрегата по (2.16) для обеих секций СН;
- 3) начальное значение времени t_{i-1} принимают равным 0;
- 4) скольжение каждого ЭД обеих секций по (4.44), отн. ед.;
- 5) кратность пускового тока $K_{пв}$ обмотки статора ЭД обеих секций при скольжении s и номинальном напряжении по (1.64), отн. ед.;
- 6) полную проводимость каждого ЭД обеих секций по (4.45), Ом;
- 7) суммарные проводимости $Y_{1\Sigma}, Y_{2\Sigma}$ потребителей СН, подключенных соответственно к шинам 1-й и 2-й секции, по (4.46), Ом;
- 8) суммарную проводимость элементов схемы замещения относительно узла a (рис. 4.4, б):

$$Y_{\Sigma} = Y_{1\Sigma} / (1 + Y_{1\Sigma} X_1) + Y_{2\Sigma} / (1 + Y_{2\Sigma} X_2); \quad (4.51)$$

- 9) напряжение на шинах каждой секции СН, отн. ед.:

$$U_{1сз} = U_c / [(1 + Y_{\Sigma} X_B)(1 + Y_{1\Sigma} X_1)]; \quad (4.52)$$

$$U_{2сз} = U_c / [(1 + Y_{\Sigma} X_B)(1 + Y_{2\Sigma} X_2)], \quad (4.52a)$$

где X_B, X_1, X_2 — индуктивные сопротивления обмоток двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения, Ом;

- 10) ток каждой секции СН I_{*c} по (4.48), отнесенный к номинальному току расщепленной обмотки трансформатора, в которой используется поочередно значения суммарных проводимостей $Y_{1\Sigma}$ и $Y_{2\Sigma}$, отн. ед.;

- 11) вращающий момент каждого ЭД обеих секций по (1.62), отн. ед.;

- 12) момент сопротивления M_c каждого механизма обеих секций по одной из формул (1.30) — (1.39);

- 13) ток каждого ЭД I_d , отнесенный к его номинальному току обмотки статора по (4.49), отн. ед.;

- 14) частоту вращения n_{i+1} каждого ЭД обеих секций в конце интервала времени Δt по (4.21), отн. ед.;

- 15) для каждого ЭД обеих секций СН, полученное значение частоты вращения сравнивается с установившимся значением n_y ; если

частота вращения n_{i+1} больше n_y , то этот ЭД считается развернувшимся и его частота вращения в дальнейших расчетах принимается равной n_y ; если частота вращения n_{i+1} меньше n_y , то данный ЭД еще находится в стадии разворота и необходимо перейти к п. 16;

16) новое значение времени самозапуска t_i по (4.50), с.

Вновь возвращаются к п. 4 до тех пор, пока у всех ЭД обеих секций частота вращения не достигнет установившегося значения.

Расчет режима работы ЭД при КЗ в системе электроснабжения СН. Вышеизложенные методы расчета режима самозапуска группы ЭД позволяют рассчитать частоту вращения каждого ЭД при КЗ в точках K_1 или K_2 (см. рис. 4.1) и после его отключения. При выполнении данного расчета в начальный момент времени t_{i-1} , принимаемый равным 0, скольжение (частоту вращения) каждого ЭД в установившемся режиме работы определяют по (1.54), а в формулу (4.46) вводят сопротивление шунта X_k трехфазного КЗ на все время его действия t_k .

При достижении текущим значением времени t_{i-1} значения времени действия КЗ t_k , сопротивление шунта X_k выводится из (4.46) и расчет продолжается до тех пор, пока не развернутся все ЭД.

Расчет режима работы ЭД СН при КЗ за блочным трансформатором. При трехфазном КЗ за блочным трансформатором энергоблока (рис. 4.1, точка K_3) напряжение в точке присоединения рабочего трансформатора СН не остается постоянным из-за ограниченной мощности синхронного генератора. В этом случае напряжение U_c будет равно напряжению на выводах обмотки статора U_r . За счет действия системы автоматического регулирования возбуждения будет поддерживаться постоянное значение переходной ЭДС E'_q за переходным сопротивлением X'_d .

При питании потребителей (рис. 4.4, а) СН от двухобмоточного трансформатора расчет выполняют в следующей последовательности.

Определяют:

1) значение переходной ЭДС E'_q для конкретного типа турбогенератора, которое приводится к напряжению основной ступени, отн. ед.;

2) индуктивные сопротивления, отнесенные к напряжению основной ступени, турбогенератора, блочного трансформатора и трансформатора СН [12, 26, 50, 125 – 129], Ом;

3) скольжение s_y каждого ЭД в установившемся режиме работы по (1.54) при допущении, что на шинах секции СН номинальное напряжение, отн. ед.;

4) номинальное $s_{\text{ном}}$ и критическое $s_{\text{кр}}$ скольжения каждого ЭД по (1.56), (1.55); постоянную ускорения (электромеханическую постоянную времени) каждого агрегата по (2.16);

5) начальный момент времени t_{i-1} принимают равным 0 с;

6) кратность пускового тока статора $K_{\text{пс}}$ обмотки статора ЭД при номинальном напряжении и скольжении s либо по известной зависимости, либо по обобщенной зависимости кратности пускового тока (1.64), отн. ед.;

7) полную проводимость y_j каждого ЭД по (4.45), Ом;

8) суммарную проводимость Y_{Σ} потребителей СН, подключенных к шинам секции по (4.46), принимая $X_k = 0$ Ом;

9) собственную проводимость узла a , за исключением сопротивления турбогенератора

$$Y_{a\Sigma} = \frac{Y_{\Sigma} Y_{\text{ТЧН}}}{Y_{\Sigma} + Y_{\text{ТЧН}}} + \frac{Y_{\text{т.б}} Y_k}{Y_{\text{т.б}} + Y_k}, \quad (4.53)$$

где $Y_{\text{ТЧН}}$, $Y_{\text{т.б}}$, Y_k — проводимости трансформатора СН, блочного трансформатора, шунта КЗ, Ом;

10) напряжение на шинах секции СН при самозапуске

$$U_{\text{сз}} = E'_q / [(1 + Y_{a\Sigma} X'_d)(1 + Y_{\Sigma} X_{\text{ТЧН}})], \quad (4.54)$$

где X'_d — переходное сопротивление турбогенератора, Ом;

11) ток секции СН $I_{\text{сз}}$, отнесенный к номинальному току трансформатора или токоограничивающего реактора по (4.48), отн. ед.;

12) вращающий момент M по (1.62), ток статора $I_{\text{ау}}$ по (4.49) каждого ЭД и момент сопротивления $M_{\text{с}}$ механизма по одной из формул (1.30) — (1.39);

13) частоту вращения n_{i+1} каждого ЭД в конце интервала времени Δt по (4.21), отн. ед.;

14) текущее значение времени t_{i+1} . Если оно равно или больше значения времени действия КЗ t_k , то в формуле (4.53) вместо проводимости шунта КЗ принимают проводимость нагрузки

$$Y_{\text{нагр}} = Q_{\text{нагр}} \cdot 10^3 / U_{\text{ном}}, \quad (4.55)$$

где $Q_{\text{нагр}}$ — реактивная мощность нагрузки, квар; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение, В;

15) для каждого ЭД полученное значение частоты вращения n_{i+1} сравнивается с установившимся значением n_y ; если больше, то этот ЭД считается развернувшимся и его частота вращения в дальнейших расчетах принимается равной n_y ; если меньше, то данный ЭД находится в стадии разворота и надо перейти к п. 16;

16) новое значение текущего времени t_i по (4.50), с.

Вновь возвращаются к п. 4, определив скольжение каждого ЭД по (4.44), отн. ед., до тех пор, пока у всех ЭД частота вращения не достигнет установившегося значения.

При питании потребителей СН от двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения расчет значительно упростится, если принять индуктивное сопротивление X_B обмотки высокого напряжения равным нулю. В этом случае последовательность расчета остается такой же, как при расчете самозапуска ЭД с двухобмоточным нерасщепленным трансформатором, с той лишь разницей, что собственная проводимость узла a определится по формуле

$$Y_{a\Sigma} = \sum_{i=1}^2 \left(\frac{Y_{i\pi} Y_{TCH}}{Y_{i\pi} + Y_{TCH}} \right) + \frac{Y_{T.6} Y_K}{Y_K + Y_{T.6}}, \quad (4.56)$$

где $i = 1, 2$ — порядковый номер секции.

Напряжение для каждой секции при самозапуске определяют по (4.54) соответственно при значениях суммарных проводимостей $Y_{1\Sigma}$ и $Y_{2\Sigma}$.

После выполнения расчетов и оценки их результатов приступают ко II этапу работы — экспериментальной проверке поведения начала автономных технологических систем, а затем всего энергоблока в целом при перерывах электроснабжения СН.

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОТДЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Работа агрегата СН в установившихся и переходных режимах, как отмечалось в § 1.3 и 1.4, характеризуется множеством характеристик, из которых были рассмотрены только те, которые необходимы для понимания рассматриваемого вопроса и выполнения практических работ.

Основной целью экспериментального определения характеристик агрегатов СН и отдельных технологических систем является получение необходимой достоверной информации для выполнения расчетов по оценке успешности самозапуска группы ЭД после перерыва питания и корректировка уставок устройств РЗА, обеспечивающая успешный самозапуск.

На неработающем или работающем оборудовании ТЭС экспериментальным путем при необходимости определяют следующие характеристики: а) по ЭД — зависимости тока статора, момента вра-

щения, частоты вращения, напряжения на зажимах обмотки статора (обычно сопротивлением кабельной линии от секции до ЭД пренебрегают и за напряжение на зажимах обмотки статора ЭД принимают напряжение на секции) от времени пуска или самозапуска; б) по механизму — зависимости момента сопротивления от частоты вращения, давления и подачи от времени пуска, перерыва питания и самозапуска; в) момент инерции агрегата (электродвигателя плюс механизма) СН.

Подготовительные работы

Составление программы определения характеристик. Определение характеристик агрегатов СН и отдельных технологических систем начинают с составления типовой и рабочей программ испытаний в соответствии с рекомендациями, изложенными в [131]. Для составления программы определения характеристик экспериментальным путем необходимо четко и конкретно знать оборудование, его режимы работы, электрические, технологические защиты и блокировки в соответствии с инструкцией по эксплуатации, утвержденной главным инженером ТЭС.

После составления и утверждения рабочей программы главным инженером ТЭС приступают к подготовке приборов и схем измерения.

Приборы и схемы измерения. Для измерения электрических параметров (тока, напряжения, мощности) ЭД, рабочих и резервных вводов секций СН, напряжений секций СН в установившемся режиме работы применяют обычные приборы электромагнитной, электродинамической систем, подключаемые к штатным трансформаторам тока и напряжения, а в некоторых случаях к специально устанавливаемым измерительным шунтам. Класс точности приборов должен быть не ниже 0,5. Выбор пределов измерения производят в обычном порядке, но с учетом возможных перегрузок приборов при пуске и самозапуске ЭД.

На рис. 4.5 представлена схема измерений тока, напряжения, мощности в установившемся режиме работы ЭД, применяемая при определении его характеристик.

Использование ваттметра, включенного для измерения реактивной мощности (см. рис. 4.5 — пунктирные линии) дополнительно к схеме двух ваттметров, применяемых для определения активной и реактивной мощностей, позволяет в кратчайшее время выявить правильность работоспособности всей схемы измерений. Так, при правильном монтаже схемы измерения разность показаний двух ваттметров равна показанию ваттметра, измеряющего реактивную мощность. Очень часто трансформаторы тока еще на стадии монта-

жа неправильно установлены в силовой цепи (начало L_1 и конец L_2 первичной обмотки поменяли местами). Для устройств РЗА (токовой отсечки и защиты от перегрузки током статора ЭД) это не имеет значения, а при использовании такого трансформатора тока в схеме измерения двух ваттметров приведет к искажению показаний приборов. Аналогичный отрицательный эффект будет получен, если измерительные цепи неправильно будут подключены к ТТ, т.е. начало вторичной обмотки ТТ I_1 будет подключено не к “генераторному зажиму” ваттметра.

Эффективность применения третьего ваттметра особенно возрастает при ограниченной возможности включения (или отключения) и времени работы ЭД агрегата СН на работающем энергоблоке ТЭС.

Для измерения технологических параметров (давление жидкостей) в установившихся режимах работы оборудования СН используются стационарно установленные стрелочные и электроконтактные манометры. Эти манометры позволяют только визуально фиксировать значение давления жидкости. На вновь строящихся ТЭС давление измеряют с помощью стационарно установленных преобразователей избыточного давления, которые являются датчиками информационно-вычислительных систем (ИВС). Используются преобразователи избыточного давления следующих типов: МИМ-18-34, ММЭ(МПЭ), “Кристалл”, МИДА, “Сапфир”, которые имеют прямолинейную зависимость тока $I_{\text{вых}}$ от измеряемого давления p .

В тех случаях, когда отсутствует датчик давления с аналоговым выходом 0 — 5 мА, можно использовать обычные электроконтактные манометры (ЭКМ), которые позволяют зафиксировать момент достижения определенного значения давления жидкости [132].

Измерение давлений и перепадов давлений газов производится с помощью преобразователей ДМЭ и МАДМЭ.

Агрегаты СН не оснащаются датчиками частоты вращения. Имеются единичные случаи установки стационарных датчиков частоты вращения (тахометров), например на пускорезервном питательном электронасосе энергоблока мощностью 300 МВт. Конструктивные особенности агрегатов СН (отсутствие доступа к вращающему валу) не позволяют измерять частоту вращения наиболее простым традиционным способом с помощью тахометра.

Измерение быстро изменяющихся электрических и технологических величин в режимах пуска, перерыва питания (выбега) и самозапуска осуществляется с помощью светолучевых осциллографов. Наибольшее применение находят светолучевые осциллографы, производящие запись процессов на обычную фото- или ультрафио-

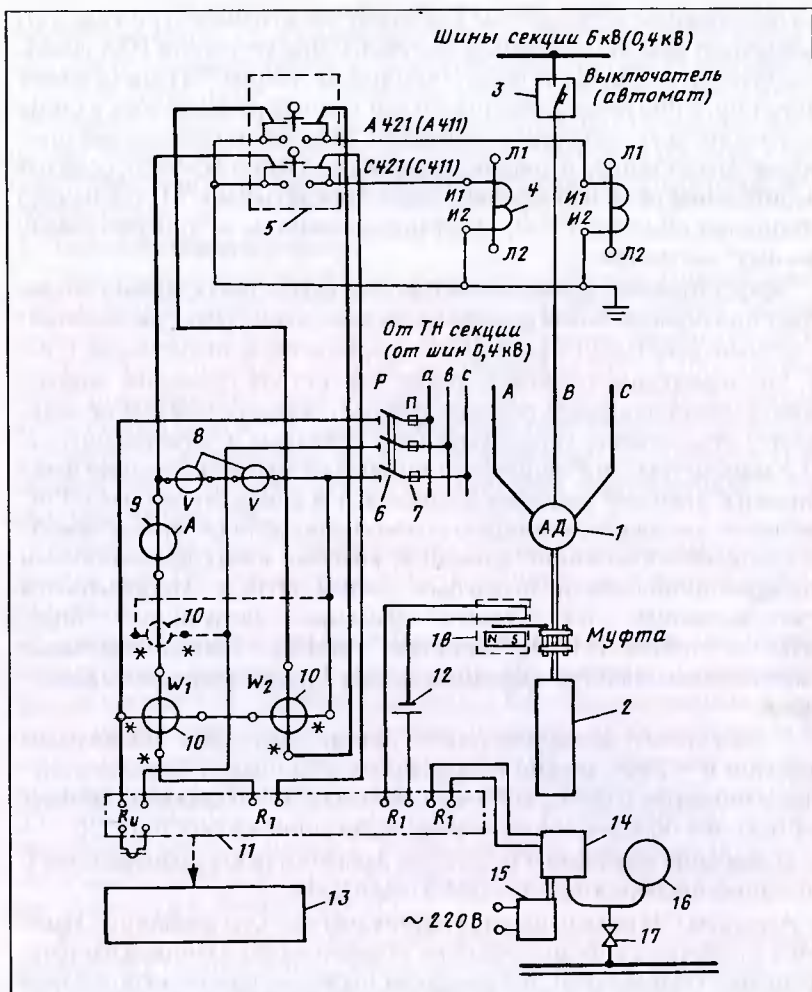


Рис. 4.5. Схема измерений тока, напряжения, мощности в установившемся режиме работы ЭД:

1 — асинхронный электродвигатель; 2 — механизм; 3 — выключатель; 4 — трансформатор тока; 5 — клеммы испытательные; 6 — рубильник; 7 — предохранитель; 8 — вольтметр; 9 — амперметр; 10 — ваттметр; 11 — магазин сопротивлений типа Р-15 или избиратель пределов типа Р 009; 12 — источник постоянного тока напряжением 1 — 4 В; 13 — осциллограф; 14 — преобразователь давления типов "Кристалл" или "Сапфир" с аналоговым выходом 0 — 5 мА; 15 — блок питания к преобразователю давления; 16 — электроконтактный манометр или преобразователь давления или расхода (датчики ИВС); 17 — вентиль; 18 — герконовый датчик частоты вращения

летовую бумагу Уф-67, а также позволяющие одновременно наблюдать эти процессы.

Общие вопросы техники записи довольно подробно изложены в специальной литературе [133, 134], инструкциях по эксплуатации осциллографов.

Измерение токов ЭД в переходных режимах. В режимах пуска и самозапуска ток статора ЭД имеет большую кратность по отношению к току номинального режима и высокую скорость изменения во времени. Для качественной и наглядной записи изменения тока статора ЭД необходимо правильно выбрать скорость движения бумаги и ограничить отклонение луча гальванометра осциллографа, так как он может выйти за пределы бумаги. При снятии токовых характеристик ЭД в режимах пуска и самозапуска минимальная скорость протяжки бумаги осциллографа должна быть не менее 125 мм/с. При данной скорости движения бумаги получается четкая запись синусоидального изменения мгновенного значения тока статора ЭД во времени, но при этом затрачивается большое количество бумаги. При меньших скоростях лентопротяжного механизма осциллографа получается настолько плотная запись тока статора ЭД, что не видно его синусоидального изменения. Однако в этом случае осциллограмма тока во времени выглядит наглядно, особенно огибающие максимальных амплитуд (рис. 4.6).

Ограничение отклонения луча гальванометров осциллографа удобно выполнять с помощью магазинов добавочных сопротивлений и шунтов (типа P155, P156, P157, которые в настоящее время сняты с производства), избирателей пределов типа P009, P010 и лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). Максимальное отклонение луча гальванометра, фиксирующего изменение тока статора ЭД, будет в начальный момент пуска (в первый полупериод), когда значение тока приблизительно равно $(1,8 \div 2,0)K_n I_{\text{ном}}$. Далее определяют ток, протекающий во вторичной обмотке трансформатора тока

$$I_2 = (1,8 \div 2,0)K_n I_{\text{ном}}/K_I,$$

где K_n — кратность пускового тока ЭД, отн. ед.; $I_{\text{ном}}$ — номинальное значение тока статоров ЭД, А; K_I — коэффициент трансформации трансформатора тока, отн. ед.

Монтажные провода токовых цепей измерительной схемы подключают к нагрузочным зажимам ЛАТР, а генераторные зажимы — к источнику питания 220 В. Поворачивая рукоятку движка, добиваются различных значений тока, а следовательно и отклонения луча гальванометра. Отклонение луча гальванометра, фиксирующего изменение тока статора ЭД при установившемся режиме работы послед-

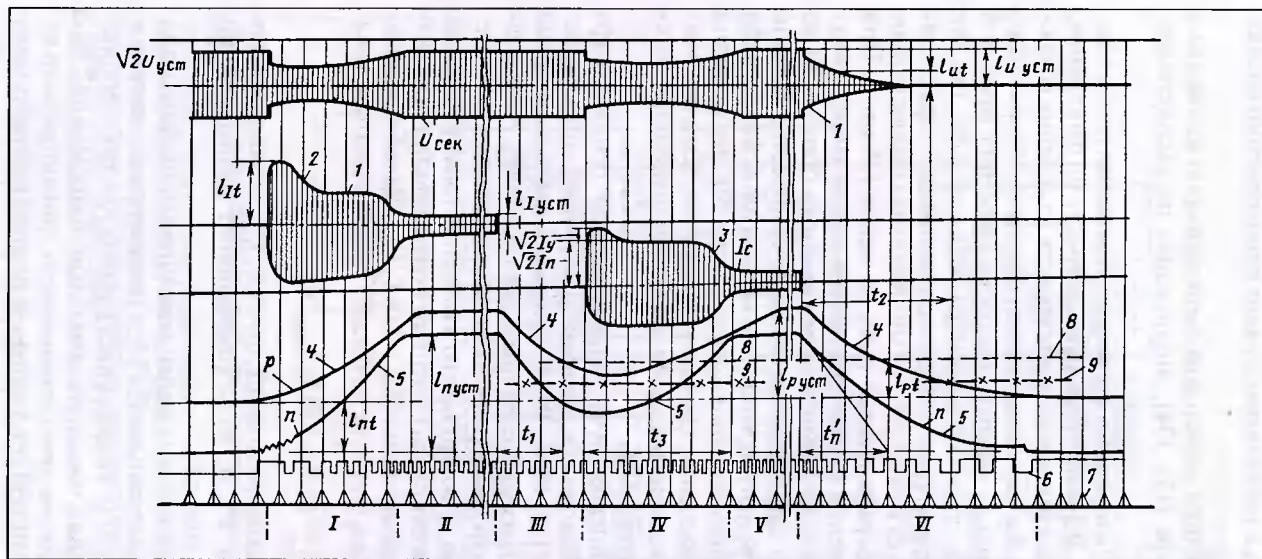


Рис. 4.6. Изменение технологических и электрических параметров агрегатов СН при различных режимах работы:

I — пуск электродвигателя; II, V — установившийся режим работы; III — отключение электродвигателя; IV — самозапуск группы электродвигателей; VI — групповой выбег электродвигателей;

1 — напряжение на шинах секции СН; 2 — ток электродвигателя; 3 — ток ввода резервного питания секции СН; 4 — давление на напоре механизма (насоса, дымососа, вентилятора и т.д.); 5 — частота вращения вала агрегата СН (ЭД плюс механизма), измеренная с помощью униполярного тахогенератора; 6 — частота вращения (частота следования импульсов) вала агрегата СН, измеренная импульсным методом; 7 — напряжение, используемое в качестве отметчика времени; 8 — уставка по давлению на АВР агрегата; 9 — уставка по давлению технологической защиты, действующей на отключение агрегата; t_1 — время, на которое давление жидкости в трубопроводе уменьшается до уставки на АВР агрегата; t_2 — время, за которое давление жидкости в трубопроводе уменьшается до уставки технологической защиты, действующей на отключение агрегата; t_3 — время самозапуска группы ЭД; t'_n — время, отсекаемое касательной, проведенной к кривой частоты вращения

него, не должно быть меньше $10 - 15$ мм. Тогда в начальный момент пуска ЭД при кратностях тока $(4,0 \div 7,0)I_{\text{ном}}$ отклонение луча гальванометра будет $100 - 265$ мм. Это указывает на то, что ширина бумаги осциллографа должна быть 200 или 300 мм.

При различных значениях тока производят запись положений переключателей пределов магазинов сопротивлений, показаний контрольных приборов и отклонения луча гальванометра фиксируют на бумагу осциллографа. Полученная таким образом осциллограмма является тарифовочной, позволяющей определить масштаб по току. По окончании тарифовки соединительные провода отсоединяются от ЛАТР и вновь подключаются к испытательным клеммам.

В тех случаях, когда выполнить точную тарифовку с помощью ЛАТР и контрольных измерительных приборов нет возможности, выполняют приближенную тарифовку следующим образом. С помощью магазина сопротивлений при установившемся режиме работы ЭД, когда ток близок к номинальному, добиваются отклонения луча гальванометра порядка $10 - 15$ мм. Производят запись положений переключателей пределов магазинов сопротивлений, контрольных приборов и отклонения луча гальванометра на бумагу осциллографа.

Обычно нулевую линию (нулевое отклонение луча) гальванометра располагают близко к средней линии бумаги.

При записи переходных токов ЭД желательно подключать токовые цепи измерения к трансформаторам тока (обычно это трансформаторы тока в цепях РЗА) с большим коэффициентом трансформации тока, которые не переходят в режим насыщения и не искажают переходного процесса. Если есть необходимость устанавливать специально трансформатор тока, то желательно чтобы его коэффициент трансформации был равным $K_I = I_{\text{ном}} K_{\text{п}} / 5$, где $K_{\text{п}}$ — кратность пускового тока ЭД по каталогу (паспорту), отн. ед., $I_{\text{ном}}$ — номинальное значение тока статора электродвигателя, А.

При осциллографировании тока секции, протекающего через выключатель ввода резервного питания, максимальное значение тока, которое во вторичной обмотке трансформатора тока приблизительно будет равно $I_2 = (2 - 3)I_{\text{ном.тр}}$.

Измерение напряжений в переходных режимах. В режимах пуска одиночного ЭД большой мощности, перерыва питания и самозапуща группы ЭД происходят изменения напряжения секции. Для качественной записи изменения напряжения секции во времени следует выполнить все рекомендации, приведенные выше, для записи токов.

Максимальное отклонение луча гальванометра осциллографа будет при установившемся режиме работы ЭД.

На вторичной обмотке стационарного трансформатора напряжение будет равно 100 В. В режимах пуска, самозапуска это напряжение будет понижаться. Поэтому при тарировке с помощью ЛАТР отклонение луча гальванометра ограничивается 30 — 40 мм.

При осциллографировании рекомендуется изображение напряжения располагать по краям бумаги. А напряжение, используемое в качестве отметчика времени, записывается в половину синусоидальной волны путем смещения луча гальванометра за границу бумаги или применения однополупериодного выпрямления.

Измерение технологических параметров в переходных режимах.

Для измерения технологических параметров (давлений, расходов), как отмечалось выше, используются стационарные преобразователи технологических параметров в электрические.

В некоторых случаях требуется дополнительная установка преобразователей (датчиков) технологических параметров.

В этом случае предварительно изготавливается развилка, с помощью которой осуществляется установка датчиков давлений параллельно стационарным показывающим или электроконтактным манометрам. Некоторые датчики на штуцере имеют резьбу М20 × 1,5 или М22 × 1,5, поэтому необходимо иметь переходный узел. Датчик давления предварительно тарируют в условиях лаборатории совместно с конкретным типом гальванометра светолучевого осциллографа. Для этой цели применяются грузопоршневой манометр типа МП-600 и гальванометры осциллографа с собственной частотой колебаний 80, 150 Гц. Совместная тарировка датчиков давления с гальванометром светолучевого осциллографа позволяет в некоторых случаях выявить нелинейную зависимость тока выхода датчика от давления при больших значениях последнего. В таких случаях датчик давления выбирается таким образом, чтобы его рабочая точка находилась на линейной части характеристики.

Установка датчиков давления может осуществляться и на неработающем, и на работающем оборудовании. При установке датчиков давлений на работающем оборудовании параллельно ЭКМ необходимо прежде всего вывести из действия технологические защиты, действующие на отключение или сигнал при понижении давления. Далее необходимо закрыть запорные вентили подачи жидкости на импульсной трубке, которые установлены перед ЭКМ или показывающим манометром. Затем гаечным ключом следует осторожно отвернуть гайку, с помощью которой крепится манометр. При этом необходимо следить за тем, чтобы не было просачивания жидкости.

Если жидкость просачивается под давлением, то это указывает на неисправность запорного вентиля, и установку датчика давления следует приостановить. В этом случае установка датчика давления осуществляется на другой импульсной трубке, если таковая имеется. Если импульсная трубка врезана до обратного клапана в напорной линии насоса и на ней неисправен запорный вентиль, то на время установки датчика давления отключается данный насос и включается резервный насос.

В установившемся режиме работы перед пуском, перерывом питания (выбег ЭД) или самозапуском агрегата СН необходимо записывать показания миллиамперметра, включенного в цепь выхода датчика давления. По показаниям миллиамперметра и тарировочной кривой определяется давление, которое развивает насос в установившемся режиме работы. Показания технических манометров и ЭКМ используют в качестве приближенной оценки.

При фиксации сигналов с преобразователя давлений на осциллограф необходимо соблюдать полярность подключения гальванометра. При записи сигналов с нескольких датчиков на осциллограмме их следует располагать наглядно и удобно для расшифровки параметров.

Регистрация перемещений стопорных и регулирующих клапанов системы автоматического регулирования частоты вращения турбины. Положение клапанов САР частоты вращения турбины при перерывах электроснабжения электродвигателей выносных насосов можно зафиксировать несколькими способами [132], [135].

Наиболее простым, доступным, не требующим больших затрат, является способ фиксирования перемещения клапанов путем замыкания или размыкания специально установленных контактов предельно простой конструкции. Контакты устанавливаются для двух крайних положений клапанов (верхнего открытого и нижнего закрытого). При такой установке контактов можно фиксировать, например, суммарное время работы сервомоторов и момент окончания работы САР.

Линейные перемещения можно также измерить с помощью реостатных и трансформаторных датчиков.

Обычно применяются реостатные датчики перемещений (реохорды) трубчатой конструкции, у которых токосъемный контакт имеет рабочий ход 60, 200, 270, 350 мм [136], [137].

Реостатные датчики перемещений применяются тогда, когда диапазон перемещения составляет не менее 10 — 15 мм. При меньшем диапазоне перемещений применяют трансформаторные датчики [138].

Измерение частоты вращения вала ЭД или механизма в переходных режимах. Для измерения частоты вращения вала агрегата в установленном режиме наилучшим является общеизвестный бесконтактный стробоскопический способ. Строботаксометр (стробоскоп) обычно представляет собой ламповый генератор регулируемой частоты, питающий осветительную лампу, смонтированную в рефлектор. Шкала частоты стробоскопа проградуирована в числах оборотов в минуту. Широко известны стробоскопы типов СТ-3, СТ-4, существенными недостатками которых являются большая масса и крупные габаритные размеры.

Во ВНИИЭ* разработан стробоскоп, имеющий весьма маленькие массу и габариты [139].

Длительное время при выполнении практических работ на ТЭС использовался фотоимпульсный метод измерения частоты вращения вала агрегата СН. Для измерения частоты вращения фотоимпульсным методом на вал неработающего агрегата равномерно наносятся черно-белые полосы. Количество белых полос и скорость протяжки бумаги осциллографа определяют возможность обработки осциллограммы и достоверность значений частоты вращения.

Фотодатчик укрепляется перед поверхностью вращающего вала, как можно ближе к нему. Обычно рядом с фотодатчиком закрепляется источник света в виде лампы накаливания, питаемой постоянным напряжением. Изменяя освещенность и положение фотодатчика по отношению к поверхности вала агрегата СН, добиваются наибольшей четкости изображения импульсов.

Недостатками этого метода являются:

необходимость выведения из работы ЭД, снятие защитного кожуха с вала полумуфты для нанесения нитрокраской черно-белых полос на вал;

при снятии защитного кожуха необходимость соблюдения специальных мер безопасности (создание ограждения, вывешивание предупреждающих плакатов, необходимость присутствия наблюдающего в стороне от полумуфты), оговоренных в графе особые условия наряда по технике безопасности.

Недостатки фотоимпульсного метода измерения частоты вращения вала агрегата СН заставляли искать другие, более надежные, удобные методы измерения.

* Авторы канд. техн. наук В. И. Долина, инженеры А. А. Харламов, В. Н. Заволокин.

Так, вместо фотодатчика стали применять магнитный индукционный датчик*, который реагирует на неравномерность магнитного сопротивления зазора между датчиком и любыми неровностями на валу агрегата: шпонками, шпоночными пазами, болтами на муфте.

Применение этого датчика позволило исправить только один недостаток фотоимпульсного метода, связанный с интенсивностью освещенности поверхности черно-белых полос. Но при этом появился новый недостаток, связанный с большим расходом фото- или ультрафиолетовой бумаги осциллографа (чем больше болтов на полумуфте, тем больше должна быть скорость протяжки бумаги осциллографа, чтобы была возможность обработать осциллограмму).

Частоту вращения вала агрегата СН можно измерить более простым и надежным способом с помощью герконового датчика, состоящего из герконового контакта и постоянного магнита, закрепленных на одной панели с подковообразной прорезью (см. рис. 4.5). С помощью предварительно изготовленных металлических полос, соединенных болтами, эта панель жестко закрепляется на оборудовании в необходимом положении. Через прорезь при вращении вала проходит металлическая пластина, изготовленная из магнитного материала и закрепленная на одном из болтов полумуфты. Когда металлическая пластина проходит через прорезь, она ослабляет магнитное поле, герконовый контакт размыкается и прекращается протекание тока по цепи, состоящей из источника постоянного тока, соединительных проводов, магазина сопротивлений и гальванометра светолучевого осциллографа. В качестве соединительных проводов используются резервные жилы кабельных линий. При прохождении металлической пластины через прорезь герконового контакта под действием магнитного поля вновь замыкается и по цепи начинает протекать ток; за счет этого происходит отклонение луча гальванометра светолучевого осциллографа. Источник постоянного тока подбирается так, чтобы ток, проходящий через герконовый контакт, не превышал допустимое по технической документации значение.

Достоинствами данного метода являются высокая надежность, простота датчика импульсов и схемы измерения. К недостаткам метода относятся: большие трудозатраты, связанные с установкой металлической пластины на полумуфте и креплением герконового датчика; высокая скорость протяжки бумаги осциллографа (не менее 250 мм/с при частоте вращения вала 3000 мин⁻¹ чтобы была

* Авторы инженеры С. К. Журавлев, Г. П. Рябов.

возможность обработать осциллограмму; наличие вибрации герконового контакта; трудоемкость обработки осциллограмм.

Заслуживает внимание с точки зрения точности и простоты получения конечного результата метод измерения частоты вращения валов агрегатов СН, предложенный работниками цеха наладки и пуска Кольской АЭС [140]. При измерении частоты вращения данным способом используются индукционный датчик и штатные средства автоматизации и обработки информации.

Определение частоты вращения производится путем измерения периода вращения вала ЭД. Система измерения состоит из четырех индукционных датчиков, четырех формирователей импульсов и измерительной установки, работающей с ЭВМ типа СМ-2М. Основное достоинство этого метода — высокая точность измерения частоты вращения и машинная обработка результатов измерений и их графическое представление.

Подготовка средств связи. При подготовке схем измерения и определении характеристик агрегатов СН, требуется согласованное действие эксплуатационного персонала и персонала, занятого определением характеристик, находящегося территориально в разных местах ТЭС. Для этого используют существующую на ТЭС телефонную, громкоговорящую связь, а в некоторых случаях создается дополнительная телефонная связь, так как существующие виды связи не позволяют согласовать действия людей. В качестве соединительных проводов дополнительной телефонной связи желательно прежде всего использовать резервные жилы различных кабельных линий. Не исключено и применение радиосвязи, но металлические конструкции ТЭС и помехи создают иногда такие условия, что качественной связи трудно достичь.

Определение характеристик агрегатов СН и отдельных технологических систем. В условиях работающей ТЭС определение характеристик возможно весьма ограниченным числом измерительных методов. Объем определения характеристик агрегатов СН зависит от цели их применения. В условиях действующей ТЭС для определения характеристик используются нормальные и переходные эксплуатационные режимы работы агрегатов СН (пуск агрегата в работу, отключение агрегата до полного останова, установившийся режим работы, отключение рабочего агрегата и включение резервного) и специально созданные режимы работы (в период капитального ремонта пуск ЭД, отцепленного от механизма, пуск и выбег агрегата при закрытой запорной арматуре).

Для определения характеристик агрегатов СН, необходимо собрать схему измерения, представленную на рис. 4.5.

Режим пуска агрегата на закрытую или открытую запорную арматуру позволяет получить зависимости тока статора ЭД, частоты вращения вала агрегата, давления на напоре насоса от времени. При пуске мощного ЭД, особенно при ограниченной мощности источника питания, возможно снижение напряжения, а следовательно уменьшение тока ЭД, поэтому производится фиксация изменения напряжения секции во времени, чтобы полученная зависимость тока была приведена к номинальным условиям.

Перед пуском агрегата СН по команде руководителя испытаний включается в работу осциллограф и его лентопротяжный механизм, а затем также по команде руководителя испытаний оператор включает в работу ЭД. После завершения пуска ЭД отключается осциллограф, записываются показатели контрольно-измерительных приборов (амперметра, вольтметра, ваттметров, ЭКМ, манометров), ток выхода преобразователя давления. Проявляется осциллограмма. Характер изменения фиксируемых величин выглядит так, как показано на рис. 4.6 (участки 1 и 2).

Для технологических систем, содержащих рабочий и резервный насосы (с электродвигателями переменного тока), работающих на общую магистраль (общий коллектор), в которой установлены ЭКМ для АВР насоса и ЭКМ технологической защиты, в режиме перерыва питания и повторной подачи напряжения определяются: зависимости изменения давления на напоре насосов и в общей магистрали, частоты вращения рабочего и резервного ЭД, тока статора ЭД резервного насоса от времени.

Схема измерения, представленная на рис. 4.5, дополняется необходимым набором контрольно-измерительных приборов для ЭД резервного насоса. Перед проведением опыта проверяется: соответствие уставок ЭКМ значениям, записанным в карте уставок и положения ключа блокировок “ПБ” резервного насоса (должен находиться в положении “Резерв”). Записываются показания контрольно-измерительных приборов (ЭКМ рабочего насоса и в общей магистрали, ваттметров, вольтметров, амперметра ЭД рабочего насоса). По команде руководителя испытаний испытатель включает в работу осциллограф и его лентопротяжный механизм, и оператор (из эксплуатационного персонала ТЭС) отключает рабочий насос. Автоматически происходит включение ЭД резервного насоса по факту отключения (по блок-контактам выключателя) ЭД рабочего насоса или по факту понижения давления (при замыкании контактов ЭКМ). По окончании переходного процесса отключается осциллограф и производится запись показаний контрольно-измерительных приборов (амперметра, ваттметров, вольтметров ЭД резервного на-

сосо, ЭКМ резервного насоса и в общей магистрали). Проявляется осциллограмма. Характер изменения фиксируемых величин выглядит так, как показано на рис. 4.6 (участки 2, 3, 4, 5). В опыте, когда ЭД резервного насоса должен включиться по факту понижения давления, деблокируется действие блок-контактов выключателя ЭД рабочего насоса.

Рассмотренные выше два опыта не позволяют получить характеристики технологических систем при длительных перерывах питания, которые необходимы для анализа поведения энергоблока, поэтому проводится специальный опыт, в котором ЭД рабочего насоса отключается и вновь включается в работу спустя какое-то время (0,5; 1 с и т.д.). Максимальное время перерыва питания определяется на основе анализа уставок РЗА (см. § 4.2). Необходимое время перерыва питания достигается с помощью специально созданной искусственной релейной схемы. При снятии характеристик на неработающем энергоблоке можно использовать устный счет (каждое произнесенное вслух число 21, 22 и т.д. будут соответствовать приблизительно 1 с), что значительно сократит объем подготовительных работ. Ключ “ПБ” резервного насоса при выполнении этого опыта должен находиться в положении “Отключено”.

Заслуживает особого внимания определение характеристик на энергоблоках таких технологических систем, как система регулирования частоты вращения турбины, маслосистема уплотнений вала турбогенератора, маслосистема смазки подшипников турбоагрегата. Эти технологические системы, кроме резервных насосов с ЭД переменного тока, имеют аварийные насосы с ЭД постоянного тока, питаемые от аккумуляторной батареи 220 В. В этих технологических системах при отключении рабочего насоса с ЭД переменного тока включаются в работу одновременно резервный насос с ЭД переменного тока и аварийный насос с ЭД постоянного тока по факту отключения (по блок-контактам выключателя) ЭД рабочего насоса или по факту понижения давления (при замыкании контактов ЭКМ) в общей магистрали или на напоре рабочего насоса. На практике бывали случаи залипания обратного клапана в напорной линии резервного насоса, и включившийся насос не развивал давления в магистрали. При перерывах питания секций СН резервный насос с ЭД переменного тока не включается, так как длительное время отсутствует напряжение переменного тока на секциях СН. Во всех этих случаях в работу включается только аварийный насос с ЭД постоянного тока, а в системах смазки подшипников турбоагрегата спустя некоторое время включается в работу второй аварийный мас-

лонасос с ЭД постоянного тока. Характер изменения фиксируемых величин выглядит так, как показано на рис. 3.34 (см. ч. 1).

В режиме нормального отключения агрегата СН от сети происходит уменьшение частоты вращения вала (иначе торможение или выбег). В этом режиме могут быть получены зависимости изменения частоты вращения вала, давления на напоре насоса от времени. В зависимости от цели определение характеристик осуществляется при разном состоянии запорной арматуры: открытой или закрытой.

Схема измерения, используемая при снятии характеристик, представлена на рис. 4.5.

Перед отключением агрегата по команде руководителя испытаний производится запись показаний контрольно-измерительных приборов (амперметра, вольтметров, ваттметров, ЭКМ или манометра, датчика частоты вращения), а затем включается лентопротяжный механизм осциллографа. По команде руководителя испытаний эксплуатационный персонал отключает агрегат. При торможении вала агрегата до полного останова отключается осциллограф. Проявляется осциллограмма, на которой характер фиксируемых величин выглядит так, как это показано на рис. 4.6 (участки 5 и 6). Начало процесса отключения на осциллограмме определяется по току статора ЭД, а не по напряжению, которое медленно затухает.

После экспериментального определения характеристик агрегатов СН и технологических систем, выполнения расчетов и анализа полученных результатов приступают к выполнению экспериментальной проверки поведения энергоблоков при перерыве питания электроприводов СН и самозапуска после повторной подачи напряжения.

4.4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС ПРИ ПЕРЕРЫВАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СН

Успешность процесса самозапуска группы ЭД СН, восстановление технологического режима работы энергоблока после перерыва электроснабжения СН, правильность действия устройств РЗА и регулирования могут быть подтверждены только испытаниями оборудования в реальных режимах или режимах, максимально приближенных к реальным.

Экспериментальная проверка поведения энергоблока при перерыве питания и самозапуске ЭД СН осуществляется искусственным созданием перерывов электроснабжения СН на заданное время, близкое к максимально возможному.

Режимы работы энергоблока, схемы электроснабжения СН при испытаниях должны соответствовать тем режимам, которые выбраны на стадии анализа и выполнения расчетов, при которых необходимо обеспечение успешного самозапуска. Испытаниям подвергается энергоблок в наиболее тяжелых в отношении самозапуска режимах в соответствии с рекомендациями, изложенными в [26, 131]. Режимы, при которых быстрое восстановление мощностей и технологических параметров энергоблоков после кратковременных перерывов электроснабжения СН не обеспечивается, экспериментально не проверяются. Эти режимы, как и результаты испытаний, предлагаемые мероприятия по улучшению восстановления технологических параметров энергоблока, необходимость и достаточность этих мероприятий должны согласовываться с соответствующими службами управления ОАО-энерго.

Составление программ испытаний. После определения характеристик агрегатов СН, технологических систем, выполнения расчетов режимов перерыва питания и самозапуска ЭД с использованием экспериментальных данных и анализа результатов расчета приступают к составлению технической и рабочей программ испытаний с учетом рекомендаций, изложенных в [131].

Для того, чтобы технически грамотно составить программу испытаний, необходимо подробно изучить: схемы электроснабжения СН; допустимые режимы работы оборудования энергоблока; уставки электрических, технологических защит и блокировок; схемы электроснабжения цепей оперативного переменного тока и аварийного освещения ТЭС; результаты испытаний отдельных технологических систем; результаты расчетов на ЭВМ.

В технической программе испытаний обычно в общем виде указывается цель испытаний, описывается этап подготовительных работ, дается характеристика условий работы основного оборудования энергоблока и оборудования СН, излагается последовательность проведения испытаний, конкретизируются условия безопасного проведения испытаний, указываются фамилии, инициалы эксплуатационного персонала ТЭС и наладочных организаций, отвечающего за организационное и техническое выполнение программы испытаний. Указывается продолжительность испытаний.

Программа испытаний согласовывается с начальниками и их заместителями по эксплуатации котельно-турбинного, электрического, топливно-транспортного цехов и цеха тепловой автоматики и измерений, с заместителем главного инженера по эксплуатации, а затем утверждается главным инженером ТЭС.

Так как испытания проводятся на оборудовании, которое непосредственно связано с энергосистемой (например, резервные трансформаторы СН), техническая программа испытаний утверждается также главным инженером управления ОАО-энерго после предварительного ее согласования со службами режимов, РЗА, силового оборудования, тепловой автоматики и измерений, с заместителем главного инженера по эксплуатации.

В рабочей программе испытаний присутствуют те же этапы, что и в технической с той лишь разницей, что все конкретизировано применительно к рассматриваемой ТЭС (указывается: станционное обозначение оборудования; номера трансформаторов тока и напряжения; нумерация клемм, к которым подключается дополнительная схема измерения). В рабочей программе испытаний в четкой форме излагается последовательность операций при подготовительных и основных работах и кто конкретно несет ответственность за ее выполнение. Рабочая программа испытаний согласуется с техническим руководящим персоналом ТЭС. Далее приступают к выполнению подготовительных работ.

Подготовительные работы. При производстве испытаний режимов перерыва питания и самозапуска группы ЭД объем параметров, фиксируемых контрольно-измерительными приборами и осциллографами, зависит от поставленных задач. Применяемые схемы измерения и приборы описаны в § 4.3. Сборка всех измерительных схем для испытаний выполняется на этапе подготовительных работ. При проведении испытаний требуется контролировать электрические параметры большого количества ЭД и технологические параметры их механизмов. Сборка измерительной схемы для каждого ЭД и механизма потребует большого числа приборов. В целом измерительная схема может стать сложной, что затруднит работу оператора на ней.

С целью уменьшения количества применяемых приборов, уменьшения трудозатрат на сборку измерительной схемы и повышения качества проводимых измерений применяются устройства, исключющие вышеперечисленные недостатки.

Измерение мощности, потребляемой каждым ЭД СН. В установленном режиме при комплексных испытаниях такие измерения необходимо выполнять на всех ЭД, участвующих в самозапуске. Максимальное число ЭД на секциях СН, для которых необходимо выполнять измерение потребляемой активной мощности, составляет от 9 до 20 шт. Если на ЭД установлены измерительные преобразователи (ИП) серии Е, например типа Е848-М1 класса точности 1,0, то могут быть использованы их аналоговые выходы для регистрации

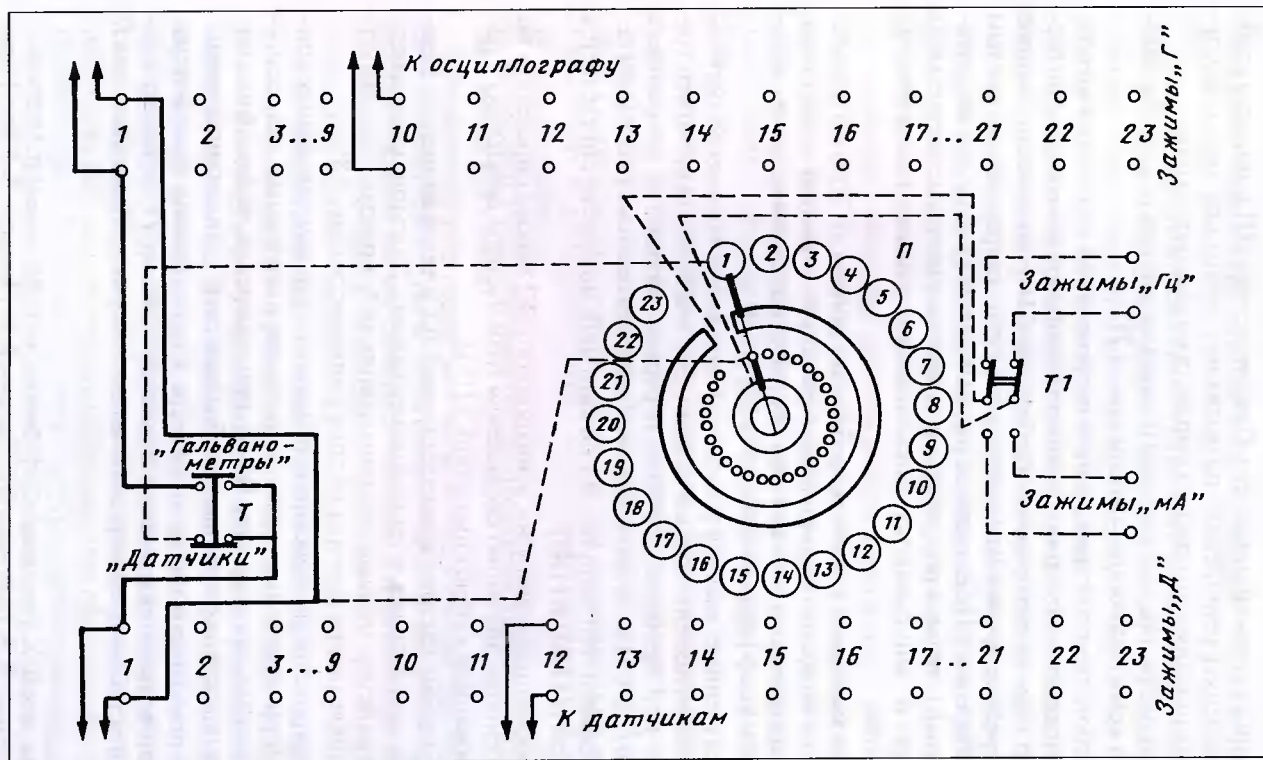


Рис. 4.8. Коммутатор для поочередной регистрации технических и электрических параметров в установившемся режиме работы агрегатов СН

значений активной мощности. При отсутствии ИП мощности удобно применять устройство*, позволяющее уменьшить число используемых приборов до одного комплекта на каждую секцию.

Устройство состоит из схемы измерения мощности (двух ваттметров) и коммутационной панели (рис. 4.7).

Устройство позволяет до начала проведения испытаний выполнить подключение одного комплекта приборов измерительной схемы ко всем испытуемым потребителям СН и произвести быстрое поочередное *прямое* измерение мощности, потребляемой каждым потребителем СН без разрыва токовых цепей ТТ, для чего коммутационный штепсель поочередно вставляется в гнезда испытательных блоков и записываются показания контрольно-измерительных приборов.

При *косвенном* методе потребляемая мощность ЭД 6 кВ определяется с помощью стационарных счетчиков активной энергии или по потребляемому току с учетом поправки на действительное напряжение и коэффициент мощности ЭД [142].

Полученные значения активной мощности позволяют определить коэффициент загрузки каждого ЭД, значение которого используется при проверке режимов перерыва питания и самозапуска группы ЭД СН и служит одним из критериев оценки тяжести опыта.

Коэффициент загрузки ЭД по активной мощности определяется из формул (1.43) и (1.45).

Коэффициент загрузки асинхронного ЭД можно определить по измеренному значению скольжения (или частоты вращения) с использованием каталожных данных [141].

Измерение частоты вращения группы ЭД и технологических параметров механизмов в установившемся режиме. Для этого используется устройство, называемое коммутатором**, позволяющее выполнить поочередное измерение тока и мощности (рис. 4.8).

В устройстве поочередно используются два измерительных прибора (при измерении частоты вращения импульсным методом — цифровой частотомер типа ЧЗ-36, при измерении давлений или подачи жидкостей с помощью преобразователей — миллиамперметр).

По показаниям миллиамперметра и тарифовочной кривой определяются значения давления и подачи. Тумблер *Т1* позволяет подключить либо частотомер, либо миллиамперметр. Переключатель *П*

* Авторы В. Х. Георгиади, С. И. Фейгин, В. Г. Балабанов, Э. М. Юков.

** Авторы В. Х. Георгиади, Б. Д. Пронин, А. В. Малышев, В. Г. Балабанов.

позволяет выполнить поочередное измерение технологических параметров.

Устройство состоит из коммутационной панели, на которой находятся: позиционный переключатель Π с малым переходным сопротивлением контактов; тумблеры T (число тумблеров равно числу зажимов “Г” или “Д”), тумблер T_I , зажимы “Г_ц” и “МА”. Зажимы “Г” служат для подключения коммутатора через магазины сопротивлений к гальванометрам светолучевого осциллографа. Зажимы “Д” служат для подключения аналоговых выходов датчиков давления, подачи жидкостей или частоты вращения валов ЭД. Зажим “Г_ц” служит для подключения частотомера, а зажим “МА” — для подключения миллиамперметра.

Возможны следующие режимы работы устройства:

а) тумблеры T в положении “Гальванометры”. Сигналы от датчиков поступают через магазины сопротивлений на гальванометры светолучевого осциллографа; приборы отключены; в этом режиме производится фиксация изменения параметров в переходных режимах;

б) тумблеры T в положении “Датчики”. Сигналы от датчиков поступают на приборы (частотомер или миллиамперметр); в этом режиме следует контролировать положение переключателя Π и тумблера T_I , чтобы сигналы с датчиков частоты вращения попадали на частотомер, а сигналы датчиков с аналоговым выходом 0 — 5 мА — на миллиамперметр.

Время, затрачиваемое на регистрацию контролируемых величин, составляет 1 — 1,5 мин.

Определение угла несинхронного включения группы ЭД. Несинхронное включение группы ЭД на резервный источник питания приводит к увеличению максимальных значений токов несинхронного включения, что влияет на изоляцию статорной обмотки ЭД и может приводить к ложной работе РЗА.

При экспериментальной проверке угол несинхронного включения можно определить по напряжению биения (по геометрической разности между затухающим вектором остаточного напряжения одного или группы ЭД и вектором напряжения сети) или с помощью технических средств.

Определение угла несинхронного включения по напряжению биения наиболее доступно (на гальванометр светолучевого осциллографа через магазин сопротивлений подводятся одноименные фазы, например фаза А, напряжение сети и остаточное напряжение секции с тормозящимся ЭД), но связано с большими трудозатратами на обработку осциллограмм и погрешностью, вносимой расчетчиком.

Можно уменьшить трудозатраты на обработку осциллограмм, если применять средства измерения, которые имеют аналоговый выход по току или по напряжению, что дает возможность получить на осциллограмме плавно изменяющуюся кривую, обработать которую значительно легче. Некоторые измерительные устройства позволяют также вести и визуальное наблюдение за изменением угла между синхронно вращающимся вектором сети и вектором остаточного напряжения одного или группы ЭД, который затухает по амплитуде и частоте [142].

Искусственная задержка времени включения группы ЭД на рабочий или резервный источник питания и автоматическое включение осциллографов. При выполнении испытаний на энергоблоке необходимо группу ЭД рабочей секции СН переключить на резервный источник питания или повторно включить на рабочий источник с заданным временем перерыва питания, полученным на основе анализа работы устройств РЗА (см. § 4.2).

При выполнении комплексных испытаний, необходимо также включение светолучевых осциллографов, территориально устанавливаемых в различных местах ТЭС. Включение могут осуществлять операторы, находящиеся у каждого светолучевого осциллографа, которые по команде руководителя испытаний включают лентопотяжный механизм осциллографа. Включение можно осуществить и с помощью технических средств, которые выполняют автоматическое отключение и включение на рабочий или резервный источник питания группы ЭД с различными выдержками времени одной или одновременно двух секций и автоматическое включение светолучевых осциллографов [26, 143].

Регистрация срабатывания защит (регистрация аварийных ситуаций). Под аварийной ситуацией на энергоблоке понимается частичный или полный отказ оборудования или устройств управления энергоблока, из-за которого происходит немедленное или с выдержкой времени аварийное отключение оборудования или снижение нагрузки энергоблока.

На ряде ТЭС внедрены автоматизированные системы управления технологическими параметрами (АСУ ТП) на базе средств вычислительной техники. Одной из функций АСУ ТП является регистрация событий и параметров при возникновении на энергоблоке аварийных ситуаций.

Регистрация аварийных ситуаций (РАС) обеспечивает возможность последующего разбора аварии на основе достоверных и хронологически точно зафиксированных данных: о работе оборудования в предаварийный период времени и в процессе протекания ава-

рии; о действии средств защиты, блокировок, автоматического управления и регулирования; об основных действиях оперативного персонала в предаварийном режиме и при аварийной ситуации.

Поэтому наличие РАС на энергоблоке позволяет значительно повысить качество проводимых испытаний по перерыву питания и самозапуску ЭД СН.

В тех случаях, когда на энергоблоке отсутствует РАС, создают специально регистрацию срабатывания защит [144].

Необходимо отметить, что по показаниям ИП серии Е по току, напряжению, мощности нельзя судить о достоверности протекания переходного процесса. Это обусловлено тем, что схемы ИП изначально предназначены для регистрации параметра в установившемся режиме. Наличие на выходе схемы ИП стабилизаторов и сглаживающего фильтра ограничивает по модулю и задерживает изменение аналогового сигнала на 0,5 с по отношению к входному сигналу.

Проведение испытаний на неработающем энергоблоке. После доставки приборов на ТЭС, необходимо проверить их работоспособность, так как из-за вибрации при транспортировке на дальние расстояния могут возникнуть неисправности. После проверки работоспособности приборы устанавливаются на оборудовании и испытатели совместно с эксплуатационным персоналом электроцеха, цеха ТАИЗ, цеха наладки, цеха АСУ собирают измерительные схемы. При полной готовности измерительных схем эксплуатационный персонал подает заявку в управление ОАО-энерго на разрешение проведения испытаний согласно программе. Если заявка удовлетворена, то в назначенное время приступают к реализации программы испытаний.

Сначала испытывают отдельные технологические системы: смазки подшипников турбоагрегата, регулирования частоты вращения турбины и уплотнений вала ротора турбогенератора. Следует отметить, что не все вышеперечисленные системы выполнены с отдельно стоящими насосами и электроприводом. У некоторых турбин система регулирования частоты вращения вала имеет пусковой насос и основной (главный) масляный насос на валу турбины.

Проведение испытаний технологических систем подробно изложено в § 4.3. Полученные при испытаниях данные обрабатываются и анализируются, а при необходимости выполняется корректировка уставок РЗА таким образом, чтобы перерыв питания и последующий самозапуск ЭД насосов не приводил к срабатыванию электрических (токовых отсечек, защит от перегрузки током статора ЭД) и технологических защит, действующих на отключение энергоблока. При этом следует помнить, что при испытаниях отдельных техноло-

гических систем не удастся учесть изменение напряжения на секции, которое будет при перерыве питания и самозапуске. Поэтому результаты этих испытаний следует рассматривать как приближенные. Для получения более достоверной информации о поведении технологических систем необходимо их испытать в режиме перерыва питания и самозапуска прежде на неработающем энергоблоке. При этом все технологические системы должны быть заполнены водой, маслом, а все электрические и технологические защиты, которые могут работать при перерыве питания, должны быть включены в работу.

В зависимости от возмущающего воздействия и его длительности (КЗ, сопровождающееся глубокими снижениями напряжения; отключение выключателя ввода рабочего питания, работы устройств РЗА) самозапуск ЭД секций СН 3 – 6 кВ будет происходить либо от рабочего, либо от резервного ТСН. Если КЗ имеет место не в ТСН, а в какой-либо точке главной схемы и его длительность будет меньше уставки времени устройства АВР, то при отключении КЗ самозапуск группы ЭД секций СН будет происходить от рабочего ТСН. При длительности КЗ больше уставки времени устройства АВР самозапуск ЭД будет происходить от резервного ТСН. Аналогично будет протекать процесс при действии резервной МТЗ рабочего ТСН.

Создание режимов КЗ при испытаниях связано с большим риском поломки оборудования и психологическим барьером у эксплуатационного персонала. Поэтому экспериментально успешность режима самозапуска группы ЭД от рабочих ТСН проверяется искусственным созданием такого перерыва питания, при котором ЭД СН к концу перерыва питания будут иметь такую же частоту вращения, что и в режиме глубокого снижения напряжения при КЗ. Это эквивалентное время перерыва питания определить на стадии выполнения расчетов достаточно просто.

Для энергоблоков с генераторным выключателем испытания следует выполнять от того ТСН, у которого сопротивление внешних связей (трансформатора, воздушных линий) больше.

Для энергоблоков без генераторного выключателя испытания следует выполнять как от рабочего ТСН, который по мощности меньше резервного, так и от резервного трансформатора СН. В условиях неработающего энергоблока испытания от рабочего ТСН невыполнимы. На неработающем энергоблоке испытания осуществляются только от ПРТСН.

Проведение испытаний от ПРТСН на неработающем энергоблоке. При испытаниях от резервного трансформатора СН с расщепленной обмоткой НН перерыв питания осуществляется одновременно

двух секций путем отключения и включения выключателей вводов резервного питания с заданной выдержкой времени. Выключатель на стороне ВН трансформатора постоянно находится во включенном состоянии. При таких коммутациях в режиме группового выбега остаточное напряжение на шинах СН будет уменьшаться по экспоненте с электромагнитной постоянной времени, определяемой всеми ЭД секции, и в момент повторного включения секций тока включения резервного трансформатора СН можно не учитывать.

Проектная схема резервного питания предусматривает следующую последовательность включения выключателей: сначала включаются выключатели 6 кВ резервного ТСН и выключатели вводов резервного питания секций, а затем включаются выключатели на стороне ВН резервного ТСН. При выполнении испытаний по проектной схеме в режиме перерыва питания выключатели резервных вводов секции спустя какое-то время включаются на расщепленные обмотки низшего напряжения ПРТСН, а запасенная ЭД энергия рассеивается на их сопротивлениях. В момент включения ЭД секции на расщепленные обмотки НН резервного ТСН происходит резкое уменьшение остаточного напряжения, что дает изменение частоты вращения ЭД. Поэтому результаты испытаний двух рассмотренных вариантов будут неравноценны.

Предлагается для исключения многократных переключений выключателями 3 – 6(10) кВ вводов резервного питания перерыв в электроснабжении СН осуществлять отключением и включением выключателя на высшем напряжении ПРТСН и в [26] отмечается, “что иногда при этом способе коммутации и больших токах включения может происходить срабатывание электрических (фильтровых) защит из-за большой несинусоидальности токов в первый период времени после повторной подачи напряжения”. При выполнении испытаний по такой схеме запасенная энергия ЭД будет сразу же рассеиваться на активном сопротивлении каждой расщепленной обмотки ПРТСН. В этом случае уменьшение остаточного напряжения происходит быстрее, чем в двух выше рассмотренных режимах, а частота вращения ЭД изменяется быстрее.

Перед проведением испытаний:

- а) проверяется работоспособность измерительных схем после включения в работу ЭД, участвующих в опыте;
- б) включаются в работу все электрические и технологические защиты, которые могут работать при перерыве питания и самозапуске;
- в) производится опробование работы устройств АВР питания секций 3 – 6 кВ и 0,4 кВ, а также устройств АВР механизмов;

г) питание потребителей 0,4 кВ осуществляется от рабочих ТСН 6/0,4 кВ, а время действия индивидуальных ЗМН электродвигателей 0,4 кВ, устройства АВР 0,4 кВ отстраивается от времени действия устройства АВР питания секций 6 кВ;

д) распределение ЭД агрегатов СН по секциям, а также их загрузка уточняются с оперативным персоналом технологических цехов в соответствии с условиями нормальной эксплуатации.

Особо следует обратить внимание на состав и загрузку ЭД, участвующих в опыте, и их распределение по секциям. В испытаниях должны участвовать все агрегаты СН, которые используются в режиме нормальной эксплуатации. Следует также учесть, что некоторые агрегаты СН могут быть в ремонте. Поэтому на секции СН могут оказаться два питательных электронасоса (для энергоблоков мощностью 200 МВт с тремя электронасосами, в настоящее время энергоблок мощностью 200 МВт имеет два насоса, подключенных к разным секциям), бустерных, конденсатных и т.д. В опытах также желательно участие ЭД агрегатов резервного возбуждения, если они используются на ТЭС. Для испытаний на неработающем энергоблоке следует выбирать наиболее тяжелые условия, при которых состав и мощность ЭД, переключаемых на резервный ТСН, будут максимальны.

Если на момент проведения испытаний по каким-то причинам невозможно участие в испытаниях некоторых агрегатов СН, то рекомендуется заменять их другими “эквивалентными”, ЭД которых получают питание с этой же секции, но нормально не участвуют в самозапуске [26]. Однако в [26] не указываются критерии эквивалентности. Эквивалентным в первом приближении можно считать такой агрегат СН, у которого ЭД имеет такую же мощность, кратности пускового тока, момента, максимального момента и электромеханическую постоянную агрегата (ЭД и механизма). Только при замене агрегата эквивалентным можно гарантировать идентичное протекание процессов. На ТЭС выполнить эквивалентную замену практически невозможно за исключением тех случаев, когда ЭД резервных агрегатов (например, конденсатные или бустерные насосы) подключены к одной и той же секции.

При испытаниях на неработающем энергоблоке очень важным является вопрос загрузки механизмов СН. Коэффициенты загрузки механизмов должны соответствовать режиму нормальной эксплуатации. В [26] отмечается, что это легко реализуется практически для всех агрегатов, кроме механизмов тракта подачи топлива в топку котла. Отмечается также, что углеразмольные агрегаты могут быть загружены до требуемого значения без подачи в них угля. Однако не

все агрегаты СН можно загрузить так, как необходимо. Рассмотрим, каким образом можно выполнить загрузку некоторых конкретных агрегатов. Например, при работе ЭД шаровой барабанной мельницы, заполненной шарами без угля, в силу ее конструктивных особенностей, мельница загружается даже несколько больше, чем в рабочем режиме, когда она заполнена углем.

Молотковые мельницы в схемах с прямым вдуванием топлива в топку котла и в схемах с промежуточным бункером пыли загружать углем нельзя. В первом случае угольная пыль будет поступать непосредственно в топку котла, а во втором случае — в промежуточный бункер, что на холодном воздухе приведет к налипанию топлива на стенки бункера, засорению сепараторов и питателей пыли. Поэтому включение молотковых мельниц возможно только на холостом ходу без угля, а это для ЭД очень малая загрузка по активной мощности. Питатели угля при испытаниях на неработающем энергоблоке в работу не включаются.

Дымососы, вентиляторы с помощью направляющих аппаратов могут быть загружены до требуемого значения. В связи с тем, что на холодном воздухе увеличивается аэродинамическое сопротивление газхода при одном и том же положении направляющих аппаратов загрузка на неработающем блоке будет больше, чем на работающем, когда рабочим телом механизмов являются горячие газы.

Сетевые насосы можно загрузить, если создать в теплосети большой протяженности линию рециркуляции.

Циркуляционный насос и насос подъема эжекторов можно загрузить до требуемого значения по нормальной схеме.

Сливные насосы подогревателей низкого давления смешанного типа можно загрузить на неработающем энергоблоке, а насосы подогревателей низкого давления поверхностного типа нельзя.

Резервные возбудители нельзя загрузить на обмотку возбуждения турбогенератора из-за возможного перегрева обмотки и подгорания щеточно-контактного аппарата. Поэтому ЭД резервных возбудителей участвуют в испытаниях без нагрузки последнего. Питательные и бустерные электронасосы могут быть загружены либо на линию рециркуляции, либо в режиме заполнения котла водой.

Насос уплотнений вала генератора с ЭД переменного тока на неработающем энергоблоке загружается так же, как и на работающем энергоблоке.

Насос смазки подшипников турбоагрегата загружается чуть меньше, чем при работе энергоблока, так как на невращающемся турбоагрегате отсутствует насосный эффект подшипников и расход масла меньше.

Загрузка насосов системы регулирования при открытых стопорных и регулирующих клапанах одинакова на неработающем и работающем энергоблоках.

Из всего изложенного следует, что на неработающем энергоблоке невозможно получить коэффициенты загрузки ЭД такие же, как и на работающем энергоблоке. А это приводит к значительному искажению результатов испытаний. Так, при заниженных коэффициентах загрузки время самозапуска оказывается меньше, чем на работающем энергоблоке. Поэтому при испытаниях на неработающем энергоблоке длительность перерыва питания следует принимать увеличенной на 1 — 2 по сравнению с временем перерыва питания, определяемым устройствами РЗА.

Во время опыта с помощью осциллографа следует фиксировать изменение следующих величин:

- токов вводов резервного питания;

- напряжения обеих секций;

- тока электродвигателей;

- давлений в системах смазки подшипников турбоагрегата, уплотнений вала генератора, регулирования частот вращения турбины (для САР турбин с выносными насосами).

На неработающем энергоблоке испытания от ПРТСН рекомендуется выполнить в следующей последовательности:

- осуществить перерыв питания с временем, равным времени действия устройства АВР (временем отключения и включения выключателей) на незагруженном ПРТСН другого энергоблока;

- осуществить перерыв питания с временем, равным времени действия резервной МТЗ, при отказе основной, времени отключения и включения выключателей вводов питания на незагруженном ПРТСН другого энергоблока;

- первые два опыта выполнить на загруженном ПРТСН другого энергоблока.

К выполнению испытаний на загруженном ПРТСН следует приступать только после проведения расчетов режимов перерыва питания и самозапуска, а также выполнения испытаний на незагруженном ПРТСН. На ЭД другого энергоблока, которые отключаются второй ступенью ЗМН на время испытаний, по возможности необходимо выставить уставку по времени больше, чем время окончания самозапуска, полученное при испытаниях от незагруженного ПРТСН.

Такое мероприятие, в случае неуспешного самозапуска, отключит ЭД неработающего энергоблока и не отключит ЭД энергоблока, СН которого будут получать питание от ПРТСН.

Перед испытаниями необходимо проинструктировать оперативный персонал и персонал, участвующий в испытаниях, о его поведении при отказе действий устройств РЗА или коммутационной аппаратуры.

Испытания проводятся в следующей последовательности. По команде руководителя испытаний производится:

- запись показаний контрольно-измерительных приборов;

- включение лентопротяжных механизмов осциллографов;

- отключение выключателей вводов резервного питания секции (или выключателя на высшем напряжении резервного ТСН);

- спустя заданное время перерыва питания — включение выключателей вводов резервного питания (или выключателя на высшем напряжении резервного ТСН);

- по окончании переходного процесса — отключение лентопротяжных механизмов осциллографов;

- запись показаний контрольно-измерительных приборов;

- фиксация всех мигающих световых табло на БЩУ, blinkеров на релейных панелях;

- проявление осциллограмм и анализ результатов испытаний.

При анализе необходимо убедиться, что все устройства РЗА и блокировки действовали правильно.

Защитой минимального напряжения должны отключиться некоторые неответственные механизмы, а двухскоростные ЭД с большей частоты вращения должны перейти на меньшую. Остальные электрические защиты не должны привести к отключению оборудования.

Возможны случаи отключения:

ЭД токовыми отсечками или защитами от перегрузки токами статора. В этом случае выполняется корректировка уставок на основании пусковых характеристик ЭД и результатов испытаний в режимах перерыва питания и самозапуска на неработающем энергоблоке;

вводов резервного питания секций от МТЗ с блокировкой по напряжению из-за того, что уставка срабатывания защиты по току не согласована с током самозапуска;

ЭД отдельных механизмов от их индивидуальных ЗМН, если на этапе подготовительных работ не сделана отстройка от времени перерыва питания на шинах 3 — 6(10) кВ.

При анализе правильности действия технологических защит и блокировок достаточно убедиться, что фактор уменьшения напряжения на ЭД в режимах самозапуска не утяжеляет технологические процессы и не приводит к отключению оборудования.

Проведение испытаний от рабочего ТСН на неработающем энергоблоке. При наличии генераторного выключателя на энергоблоке, как отмечалось выше, возможно проведение испытания от рабочего ТСН. Желательно выполнить три опыта, в которых время перерыва питания:

равно времени действия устройства АВР (времени отключения и включения выключателей вводов питания);

равно эквивалентному времени перерыва питания, определяемому временем КЗ в главной схеме (непосредственно за блочным трансформатором);

определяется действием резервной МТЗ при отказе основной защиты, временем отключения и включения выключателей.

Проведение испытаний на работающем энергоблоке. Как правило, после завершения испытаний на неработающем энергоблоке, анализа результатов испытаний, устранения выявленных недостатков приступают к проведению испытаний на работающем энергоблоке.

В зависимости от объема параметров, фиксируемых осциллографами, схемы измерения, используемые при испытаниях на работающем энергоблоке, могут дополняться или остаться без изменения.

Так, при испытаниях на головных энергоблоках желательно получить максимум информации. Это просто, если на энергоблоке есть информационно-вычислительная система (ИВС) или комплекс. Использование датчиков ИВС позволяет в необходимом объеме фиксировать изменение технологических параметров. При отсутствии ИВС на этапе подготовительных работ устанавливают в необходимом количестве датчики с аналоговым унифицированным выходом. Фиксация большого объема параметров потребует и большого количества осциллографов, которые территориально будут находиться в разных местах ТЭС. Иногда удобнее при испытаниях осциллографы включать в работу не с помощью технического устройства (см. выше), а с помощью средств связи и оператора. Следует также помнить о том, что подключение измерительных цепей осциллографов к датчикам не должно искажать показания самой ИВС, в противном случае следует выполнить согласование этих цепей.

В основном фиксируют те параметры, на которые реагируют устройства РЗА и которые позволяют оценить устойчивость ра-

боты энергоблока при перерывах питания. К таким параметрам относятся:

- токи рабочих и резервных вводов секций 3; 6; 0,4 кВ;
- напряжения на обеих секциях 3 — 6 кВ;
- напряжения на секциях 0,4 кВ, к которым подключены ЭД маслоснабжения систем смазки подшипников и регулирования частоты вращения турбоагрегата, уплотнений вала генератора;
- напряжение на шинах постоянного тока, к которым подключены ЭД аварийных насосов систем регулирования частоты вращения и смазки подшипников, уплотнений вала генератора;
- напряжения на первичной и вторичных обмотках ПРТСН (следует отметить, что из-за большой удаленности от ПРТСН запись на осциллографе вызывает трудности особенно в тех случаях, когда для подачи напряжения нет возможности использовать набор резервных жил);
- разность напряжений (напряжение биений) сети и секции с группой тормозящихся ЭД;
- токи ЭД основных механизмов (по спаду тока можно приблизительно определить время самозапуска конкретного агрегата);
- давления масла в системах: частоты вращения и смазки турбоагрегата, ПТН (ПЭН); уплотнений вала генератора;
- давление масла в гидропате питательных насосов;
- перемещения стопорных и регулирующих клапанов турбин турбогенератора, ПТН, ТВД;
- перепад давления “масло — водород” уплотнений вала генератора;
- давление и расход питательной воды к котлу;
- давление на напоре конденсатных насосов турбины;
- давление мазута к котлу;
- расход воздуха на всасе дутьевых вентиляторов;
- расход воздуха на углеразмольных механизмах.

При испытаниях на серийных энергоблоках объем фиксируемых технологических параметров может быть сокращен до минимума или технологические параметры могут не осциллографироваться [26]. Рекомендуется с помощью осциллографа выполнять запись только первых двух параметров: токов рабочих и резервных вводов питания; напряжений на обеих секциях 3 — 6(10) кВ. По мнению автора не стоит отказываться от фиксации всех технологических параметров. При проведении испытаний некоторые технологические системы, например САР частоты вращения теплофикационной турбины Т-250/300 могут вести себя нестандартно. Поэтому для полу-

чения необходимой информации следует фиксировать изменение отдельных технологических параметров, что незначительно увеличит объем работы, но позволит с большей уверенностью судить об устойчивости работы энергоблока при перерывах питания электроприводов СН.

Состав агрегатов СН определяется максимальным режимом работы энергоблока. Для энергоблоков, содержащих в составе СН ПТН и ПЭН, РВ, испытания должны проводиться при следующих условиях:

- в работе находится ПЭН, а не ПТН;

- нагрузка энергоблока равна 0,6 номинальной;

- турбогенератор работает не с основным возбудителем, а с резервным, у которого устройство форсировки возбуждения введено в работу.

При испытаниях на работающем энергоблоке выполняются следующие опыты от ПРТСН:

- отключение выключателей вводов рабочего питания секций 3 — 6 кВ и включение выключателей вводов резервного питания;

- отключение выключателей вводов рабочего питания и включение с заданным временем перерыва питания выключателей вводов резервного питания.

От рабочего ТСН выполняется один опыт: отключение выключателей вводов рабочего питания секций и их включение с заданным эквивалентным временем перерыва питания. При выполнении этого опыта желательно, чтобы турбогенератор работал с основным возбудителем, так как при работе с резервным возбудителем (особенно без маховика) возможны глубокие снижения его частоты вращения и напряжения на обмотке ротора, что может привести к выпадению из синхронизма турбогенератора. Это справедливо для случая, когда ЭД РВ подключен к секции, участвующей в перерыве питания и самозапуске.

Последовательность проведения опытов на работающем энергоблоке аналогична последовательности на неработающем.

Все электрические и технологические защиты должны быть введены в работу.

По результатам эксперимента следует убедиться, что отсутствует срабатывание технологических и электрических защит, приводящих к отключению блока, и перерыв питания ЭД СН с последующим самозапуском не нарушает устойчивости технологического режима энергоблока.

4.5. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАНЕНИЮ В РАБОТЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ ПРИ ПЕРЕРЫВАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СН

В целях повышения устойчивой работы основного оборудования (котла, турбины, генератора) ТЭС при кратковременных перерывах электроснабжения СН предлагается [7] следующее.

1. Для существующей главной схемы электрических соединений и схем питания потребителей СН:

проанализировать реально возможные в эксплуатации схемы и режимы работы оборудования, отказы в работе оборудования, приводящие к понижению напряжения на секциях СН, а следовательно к появлению переходных процессов группы ЭД (режима выбега и самозапуска);

выполнить анализ действия устройств РЗА теплотехнического, электротехнического оборудования и определить максимально возможное время перерыва электроснабжения потребителей СН; на основании многочисленных испытаний допустимым временем перерыва питания считается время не более 2,5 с [7, 123]; при таком времени перерыва питания изменение технологических параметров для большинства энергоблоков не приводит к срабатыванию технологических защит и останову энергоблоков; в качестве исключения можно привести теплофикационный энергоблок с турбиной Т-250/320-240, для которого время перерыва питания более 0,8 с приводит к его отключению из-за понижения давления жидкости в системе регулирования частоты вращения турбины;

уточнить: а) реальный состав участвующих в групповом выбеге и самозапуске ЭД; б) активную и реактивную нагрузку рабочих и резервных источников питания СН для каждой схемы (режима) до момента начала переходного процесса;

выполнить расчеты режима группового выбега и самозапуска ЭД для нормальных и ремонтных вариантов главной схемы электрических соединений и схем питания СН; по результатам расчетов оценить успешность разворота каждого ЭД.

2. При необходимости выполнить экспериментальную проверку поведения основного оборудования энергоблоков при перерыве электроснабжения ЭД насосов следующих автономных систем:

смазки подшипников турбоагрегата, питательных и сетевых насосов, дымососов и других механизмов СН;

регулирования частоты вращения паровых и газовых турбин;

регулирования подачи топлива к горелкам газовых турбин;

подачи мазута к паровым и пиковым водогрейным котлам;

масляных уплотнений вала генератора с водородным охлаждением.

3. Существующие уставки устройств РЗА, которые могут отключить оборудование при перерыве электроснабжения СН сопоставить с результатами расчетов.

4. На основании анализа результатов расчета, результатов экспериментальной проверки автономных технологических систем разработать мероприятия, направленные на повышение надежности работы энергоблока; обсудить их с представителями всех технологических цехов ТЭС, затем с их помощью внедрить.

5. Проверить экспериментальным путем достаточность разработанных мероприятий по улучшению восстановления технологического режима после кратковременных перерывов электроснабжения потребителей СН путем проведения комплексных испытаний при работе основного оборудования в соответствии с отраслевыми методическими указаниями [26].

6. Согласовать со службой режимов энергосистем те схемы электрических соединений и режимы работы оборудования ТЭС, при которых быстрое восстановление устойчивой работы основного оборудования после кратковременных перерывов электроснабжения потребителей СН не обеспечивается.

Особое внимание следует уделить вопросу разработки мероприятий по сохранению в работе основного оборудования ТЭС при перерывах электроснабжения потребителей СН.

Опыт эксплуатации значительного числа ТЭС и результаты выполненных на этих ТЭС расчетно-экспериментальных проверок режимов работы основного оборудования при перерывах питания и самозапуске группы ЭД СН показали, что отклонения некоторых параметров от нормируемых значений в переходном процессе при самозапуске группы ЭД представляет большую опасность. Наиболее опасны отклонения от нормируемых значений следующих технологических параметров:

- уменьшение расхода воды в корпусе котла;

- снижение уровня воды в барабане котла;

- уменьшение давления воды во всасывающем и напорном патрубках ПЭН;

- уменьшение расхода циркуляционной воды в конденсаторах турбины;

- падение давления масла в системе смазки подшипников турбины, генератора, турбины ПТН, электродвигателей ПЭН и сетевых насосов;

- падение давления жидкости в системе регулирования частоты вращения турбоагрегата;

повышение давления в обратной магистрали сетевой воды теплофикационной турбины;

снижение разряжения в топке котла.

Несмотря на отклонения технологических параметров, при перерывах питания и самозапуске группы ЭД СН можно путем внедрения ряда мероприятий сохранить неизменной выдачу мощности, генерирующую турбогенератором.

Ниже изложены основные мероприятия, позволяющие сохранить в работе основное оборудование энергоблоков при перерывах электроснабжения СН и его повторном восстановлении.

1. Наиболее распространенным мероприятием является правильный выбор уставок технологических защит, их согласование с действием электрических защит и блокировок. Уставки устройств РЗА элементов схемы электроснабжения СН должны отстраиваться от повышенных значений токов, которыми сопровождаются всевозможные режимы самозапуска группы ЭД. Во всех случаях необходимо уменьшить время перерыва электроснабжения потребителей СН путем ускорения действия устройств РЗА. Иногда уменьшение времени перерыва электроснабжения позволяет обеспечить самозапуск большого числа ЭД (или меньшего числа ЭД, но большей единичной мощности). В целях ускорения действия устройств АВР питания и уменьшения времени перерыва электроснабжения потребителей СН рекомендуется:

уменьшить уставки по времени МТЗ до минимально возможного значения, применяя ступень селективности равную 0,3 — 0,5 с;

не предусматривать излишних ступеней уставок по времени защит;

пуск устройств АВР выполнять от блок-контакта выключателя ввода рабочего питания секции с приемной стороны; предусматривать при этом автоматическое отключение этого контакта при внезапном отключении выключателя ввода рабочего питания с питающей стороны;

предусматривать действие неполной дифференциальной защиты шин генераторного напряжения на отключение трансформатора или линии СН, подключенных к защищаемым шинам;

при подключении рабочего ТСН глухой отпайкой к генератору его выключателя на стороне низшего напряжения (трансформатора) отключать при отключении выключателя блока, сопровождающемся срабатыванием стопорного клапана турбины;

при отключении ввода рабочего питания секции одновременно отключить выключатель синхронных ЭД шаровых барабанных мельниц; если синхронный ЭД используется в качестве привода ответ-

ственных механизмов (например, питательного или циркуляционного насосов), то необходимо разработать мероприятия по их ресинхронизации в случае потери и повторном восстановлении напряжения на секциях СН;

принять выдержку времени на запуск устройства АВР источников питания потребителей СН при снижении напряжения до значения 0,25 номинального такую же, как у МТЗ, если к рабочему источнику питания (к одной обмотке трансформатора) подключается одна секция; при подключении двух секций и более выдержка времени увеличивается на одну ступень;

запуск устройств АВР 0,4 кВ действием ЗМН осуществлять с выдержкой времени на ступень выше выдержки времени пускового элемента АВР 6 кВ от ЗМН плюс время действия устройств АВР 6 кВ.

2. Максимальные токовые защиты рабочих и резервных ТСН выполняются с блокировкой по напряжению, что позволяет отстроить их от срабатывания при самозапуске группы ЭД. Для исключения ложного срабатывания МТЗ при всевозможных нарушениях блокировки по напряжению рекомендуется ее уставку по току выбирать такой, чтобы ее коэффициент чувствительности ($k_{\text{ч}} = I_{\text{кmin}} / I_{\text{ср.з}}$) был равным 1,3 – 1,5.

При необеспечении требуемой чувствительности токовых защит вводов питания секций СН следует предусматривать установку дистанционной защиты, отстраиваемой от сопротивления полностью заторможенных ЭД.

3. Для трансформаторов СН 6/0,4 кВ и для отдельных присоединений с длинными кабельными линиями, где отказы выключателей не резервируются токовыми или дистанционными защитами вводов питания секций СН, необходимо ориентироваться на установку УРОВ 3 – 6(10) кВ, действующего на отключение выключателей вводов рабочего питания секций СН с выдержкой времени 0,25 – 0,3 с.

4. В случае действия токовых, дистанционных защит вводов рабочего питания на секциях СН или УРОВ присоединений СН, следует автоматически блокировать действие устройств АВР питания распределительных устройств 3 – 6(10) и 0,4 кВ в целях уменьшения объема повреждений при КЗ.

5. Некоторые энергоблоки мощностью 150 и 200 МВт с котлами барабанного типа укомплектованы тремя ПЭН; в этом случае необходимо предусматривать блокировку по напряжению, запрещающую АВР ПЭН при падении давления воды и одновременном понижении напряжения ниже 0,85 номинального; при восстановлении напряжения на секциях СН выше 0,85 номинального указанная

блокировка должна автоматически сниматься с сохранением действия устройства АВР.

6. Электродвигатели ответственных и неответственных механизмов СН в режимах исчезновения или длительного снижения напряжения на шинах СН при самозапуске необходимо отключать действием групповой защиты минимального напряжения:

I ступенью с уставками 0,65 — 0,7 номинального напряжения и выдержкой времени 0,5 с отключаются ЭД неответственных механизмов;

II ступенью с уставками 0,5 номинального напряжения и выдержкой времени 3 — 9 с отключаются ЭД части ответственных механизмов, участвующих в самозапуске. В отдельных случаях допускается уменьшение уставки по напряжению II ступени ЗМН ниже 0,5 номинального в целях обеспечения отстройки этой ступени от минимального значения напряжения на шинах секции СН при успешном самозапуске.

7. По степени ответственности в обеспечении технологического режима и участию в самозапуске механизмы СН обычно условно разделяют на три группы (табл. 4.3) [145]:

А — неответственные механизмы, отключение которых не приводит к изменению выдачи генерирующей мощности, производства пара;

Б — ответственные механизмы, отключение которых приводит к нарушению технологического режима и снижению нагрузки котлов, турбин, турбогенераторов, но не вызывает повреждения основного оборудования;

В — особо ответственные механизмы, отключение которых может привести к повреждению основного оборудования энергоблока; ЭД этих механизмов не должны отключаться действием ЗМН.

Многоскоростные ЭД механизмов групп Б и В при действии ЗМН могут автоматически переводиться с большей на меньшую частоту вращения.

Разделение механизмов по группам ответственности, отключение их ЭД ЗМН должны тщательным образом прорабатываться на каждой ТЭС, с учетом выше приведенных рекомендаций, и утверждаться главным инженером.

8. Рекомендуется устройства АВР электроснабжения потребителей СН 0,4 кВ настраивать так, чтобы при успешном резервировании шин 6 кВ переключение питания шин СН 0,4 кВ не происходило; данная рекомендация учитывает в основном низкую эксплуатационную надежность коммутационной аппаратуры 0,4 кВ.

Таблица 4.3

Наименование агрегатов СН	Действие групповой защиты минимального напряжения	Действие защиты от перегрузки током обмотки статора ЭД на		
		разгрузку	отключение	сигнал
Агрегаты группы А				
Сетевые насосы I степени*	Отключение с уставкой по времени 0,5 с при снижении напряжения до $0,7U_{ном}$	—	+	—
Конденсатные насосы вспомогательных механизмов		—	+	—
Перекачивающий насос ХВО		—	+	—
Насос (дренажный, сливной перекачивающий)		—	+	—
Подпиточный насос теплосети		—	+	—
Мельница шаровая		—	+	—
Насос кислотной промывки котла		—	+	—
Мельничный вентилятор при наличии вентилятора первичного воздуха		—	+	—
Насос эжекторный		—	+	—
Насос смывной		—	+	—
Багерный насос гидрозолоудаления		—	+	—
Шламовый насос гидрозолоудаления		—	+	—
Оросительный насос гидрозолоудаления		—	+	—
Ленточный конвейер		—	+	—
Дробилка		—	+	—
Дутьевой вентилятор размораживающего устройства		—	+	—
Насос загрязненного конденсата	—	+	—	
Привод транспортера	—	+	—	
Компрессор	—	+	—	
Агрегаты группы Б				
Питательный насос (ПЭН)	Отключение с уставкой по времени 3 — 9 с при снижении напряжения до $0,5U_{ном}$	—	—	+
Конденсатный насос турбины		—	—	+
Бустерный насос ПЭН		—	—	—
Насос (пускорезервный системы регулирования)		—	—	+
Мельничный вентилятор при отсутствии вентилятора первичного воздуха		—	—	+
Вентилятор первичного воздуха		—	—	+
Дымосос при работе на II ск**.		—	—	+

Наименование агрегатов СН	Действие групповой защиты минимального напряжения	Действие защиты от перегрузки током обмотки статора ЭД на		
		разгрузку	отключение	сигнал
Дымосос рециркуляции первичного воздуха		—	—	+
Дутьевой вентилятор при работе на II ск**.		—	—	+
Мельница шахтная		—	—	+
Мельница среднесходная валковая		—	—	+
Мазутный насос I и II подъема		—	—	+
Сетевой насос II подъема*		—	—	+
Насос технической воды		—	—	+

Агрегаты группы В

Циркуляционные насосы	Не воздействует	—	—	+
Дымосос		—	—	+
Пожарный насос		—	—	+
Резервный возбудитель		—	—	+
Насос газоохладителей генератора		—	—	+
Насос гидростатического подъема ротора		—	—	+
Маслонасос турбины		—	—	+

* Подключение ЭД сетевых насосов к ЗМН желательно выполнять по результатам расчетов и экспериментальных исследований гидравлических переходных процессов в теплосети.

** При работе дымососа на II ск. ЗМН перевода его на I ск.

9. При наличии в силовой цепи электродвигателей 0,4 кВ ответственных механизмов автоматического выключателя серии АВ с двигательным приводом целесообразно питание электродвигателя привода выполнять не от переменного, а от постоянного тока; при питании двигателя привода переменным током заводы-изготовители гарантируют их работу при наличии напряжения 0,85 номинального и выше [65].

10. На тех ТЭС, где большинство приборов тепловой автоматики и технологического контроля питаются переменным током 220 В, перерыв их питания может привести к неправильным действиям технологических защит, останову основного оборудования, дезориентации оперативного персонала. Поэтому необходимо обеспечить надежное перекрестное питание от разных независимых источников переменного тока или от аккумуляторной батареи через инвер-

тор, применяя агрегаты бесперебойного питания (АБП); АБП следует применять и для питания особо ответственных потребителей.

11. Для ряда насосов, таких как КН, БН, НГО, НОС, ПНЭ, МНПЭН, насосов БОУ вполне допустимо ввести выдержку времени 1 — 3 с на включение резервных агрегатов при снижении давления жидкости в системе, сохранив при этом мгновенное включение резервного агрегата при отключении рабочего [65].

12. Уменьшение состава электродвигателей, участвующих в самозапуске, осуществлять действием I ступени ЗМН.

13. Изменять характеристики внешней сети (токопроводов, кабельных линий, силовых понижающих трансформаторов токоограничивающих реакторов) рабочего и резервного питания путем шунтирования всей цепи выключателем с установкой МТЗ, контролирующей наличие КЗ [146].

14. Устанавливать силовые трансформаторы с пониженным значением напряжения КЗ до 8 % с учетом возрастания токов КЗ.

15. Подбирать электродвигатели и механизмы с необходимым соотношением момента вращения и момента сопротивления.

16. Изменение или правильный выбор схемы электроснабжения потребителей СН осуществлять с помощью:

подключения к разным полусекциям ЭД одностипных механизмов;

секционирования секций ГРУ, от которых получают питание линии СН;

установки МТЗ на секционном выключателе.

17. Необходимо правильно выбирать уставки по току МТЗ ПРТСН с учетом коэффициента запаса, равного 1,2 — 1,3 из условия замены им рабочего ТСН одного энергоблока и обеспечения самозапуска ЭД другого энергоблока; если коэффициент чувствительности окажется низким, то его можно повысить введением блокировки по напряжению с уставкой реле минимального напряжения 0,5 номинального или установкой дистанционной защиты.

18. Исключать ложную работу токовых отсечек ЭД при работе АВР секций либо увеличивая уставки по току, что менее желательно, либо применяя промежуточное реле, у которого есть небольшая выдержка времени на срабатывание.

19. Уменьшать уставки по времени МТЗ вводов рабочего и резервного питания до значений 0,3 — 0,5 с.

20. Организовывать питание цепей управления автоматических выключателей электродвигателей ответственных механизмов переменным током от АБП или постоянным током от аккумуляторной батареи.

21. Включать маслonaсос смазки подшипников резервного ПЭН от I степени ЗМН.

22. Эксплуатацию ПРТСН осуществлять с включенным выключателем на высшем напряжении (по проектной схеме сначала включаются выключатели каждой расщепленной обмотки НН с временем 0,3 — 0,5 с, а затем выключатель на ВН — с временем 2 — 2,3 с).

23. Улучшать переходный процесс ответственных механизмов ЭД постоянного тока (уменьшать время пуска) за счет форсирования напряжения подключением дополнительных элементов к аккумуляторной батарее на время 20 — 25 с.

24. Изменять уставки технологических защит, блокировок (например, увеличение уставки по давлению жидкости на АВР агрегатов, уставки по времени технологической защиты на отключение основного и включение резервного оборудования; особенно следует отметить, что к уменьшению уставок технологических защит по параметру следует относиться весьма осторожно).

25. Производить пуск резервного механизма на закрытую запорную арматуру с последующим ее быстрым открытием.

26. Подключать ЭД ПЭН, РВ к шинам резервного питания или к секциям ГРУ.

27. Вводить автоматическую блокировку, не допускающую присоединение к ПРТСН ЭД нескольких секций.

28. Применять многообмоточный блочный трансформатор, от которого получают питание ЭД СН [147].

29. Распределять мощные ЭД ПЭН по секциям СН таким образом, чтобы при переключении на ПРТСН они подключались к разным его обмоткам.

30. Подключать резервные трансформаторы СН 6/0,4 кВ к секциям 6 кВ, к которым не подключены ЭД ПЭН.

31. Распределять ЭД механизмов СН по секциям с учетом минимального нарушения технологического режима ТЭС в случае выхода из строя любой секции.

32. Равномерно распределять ЭД 0,4 кВ ответственных механизмов по двум секциям СН, рабочее электроснабжение которых осуществляется от двух независимых источников питания с взаимным резервированием.

33. Освещение рабочих мест осуществлять с секций, к которым не подключены ЭД большой мощности, например, ЭД ПЭН.

34. Схему электроснабжения электродвигателей маслonaсосов смазки ПЭН выполнять с условием надежного резервирования электропитания цепей ШУ и ЭД маслonaсосов смазки.

35. Избегать при самозапуске подключения к одному ТСН одновременно двух ЭД ПЭН и более. При перерывах питания отключать один из ЭД ПЭН I ступенью ЗМН через замыкающие блок-контакты выключателя второго насоса и включать его при восстановлении напряжения.

36. Уменьшать уставку по давлению воды или увеличивать уставку по времени технологической защиты ПЭН при уменьшении давления воды на напоре или автоматически вывести из работы технологическую защиту на 5 с действием I ступени ЗМН той секции 6 кВ, к которой подключен ЭД ПЭН, что позволит исключить излишние действия технологической защиты и сохранить в работе ПЭН.

37. Уменьшать уставку по давлению масла или увеличивать уставку по времени до 2,5 с технологической защиты ПЭН при уменьшении давления масла в системе смазки подшипников или устанавливать демпферный бак в системе смазки подшипников с АВР МПЭН по уменьшению уровня масла в баке, что позволит сохранить в работе ПЭН.

38. Если на ПЭН ЭД типа АВ-8000/6000 не заменен на ЭД типа 4АЗМ-8000/6000, то устанавливать реле фиксации команд в схеме общих цепей устройства АВР ЭД насосов охлаждения ротора и статора ЭД типа АВ-8000/600 ПЭН, что позволит сохранить ПЭН и энергоблок в работе.

39. Модернизировать технологическую защиту от осевого сдвига ПТН (или выполнить надежную схему электроснабжения ЭД маслонасосов), основанную на уменьшении давления масла в гидропате.

40. Изменять уставку по давлению или по времени технологической защиты от осевого сдвига ПТН, ПЭН; эту рекомендацию согласовать с заводом-изготовителем.

41. Электродвигатели резервных МПЭН включать I ступенью ЗМН при достижении напряжения 0,7 номинального без выдержки времени.

42. Во избежание излишних включений резервных сетевых насосов уменьшать уставку по давлению воды устройств АВР сетевых насосов I и II ступеней, если давление сетевой воды в обратной магистрали не будет достигать опасных значений; возможность данного мероприятия подтвердить результатами расчетов гидравлических переходных процессов в системе теплоснабжения (например, по программе расчета на ПЭВМ АО "Фирма ОРГРЭС").

43. Воздействие групповой ЗМН на ЭД сетевых насосов согласовывать с результатами расчета гидравлических переходных процессов в системе теплоснабжения.

44. На турбинах типа Т-250/300-240 устанавливать разработанное ЦРМЗ АО "Мосэнерго" устройство стабилизации давления масла на всасе в импеллер.

45. Для исключения ложного действия токовых отсечек ЭД лучше применять промежуточное реле типа РП-251 (РП-18-2), у которого есть небольшая выдержка времени на срабатывание, чем увеличивать уставку по току в 1,3 — 1,4 раза больше обычно выбираемой по пусковому току.

46. При любых переходах двухскоростного ЭД с большей частоты вращения на меньшую включать ЭД под напряжение при номинальном значении меньшей частоты вращения.

47. На время самозапуска двухскоростные ЭД переводить на меньшую частоту вращения, а после восстановления напряжения автоматически переключать ЭД на большую.

48. При подключении ПРТСН к третичной обмотке АТ для обеспечения сохранения в работе основного энергоблока выполнять следующие мероприятия:

правильно выбирать уставки МТЗ ПРТСН;

если значение начального напряжения при самозапуске ЭД будет ниже 0,55 номинального, то либо вводить блокировку, которая в режиме самозапуска ЭД должна дополнительно действовать на разгрузку секции, либо предусматривать установку ПРТСН с напряжением КЗ 8 %;

отключать ЭД ПЭН на время процесса разворота группы ЭД с последующим включением ЭД ПЭН;

на время самозапуска выполнять запрет АВР ЭД, включаемых при изменении технологических параметров у механизма.

49. При всех возможных случаях перерыва питания, связанных с отключением выключателя ввода рабочего питания, автоматически отключать ЭД ШБМ.

50. Выполнять блокировку, которая на время протекания процесса самозапуска выводила бы из действия регуляторы производительности ПЭН и питания котла от I ступени ЗМН.

51. В схемах управления ЭД, содержащих в силовой цепи контакторы и пускатели, устанавливать реле типа ЭВ-235, позволяющее сохранять готовность схемы к включению при перерывах питания продолжительностью до 9 с.

52. Улучшать качество переходных процессов в технологических системах за счет применения мероприятий специального характера:

турбины без ГМН на валу

а) установка демпферного бака в системе уплотнении вала турбогенератора с водородным охлаждением и установка трех электрона-

сосов (два насоса с ЭД переменного тока и один насос с ЭД постоянного тока); питание ЭД переменного тока должно быть выполнено с разных секций;

б) установка аккумулирующих баков в системе смазки подшипников турбины, двух насосов с ЭД переменного тока и двух насосов с ЭД постоянного тока;

в) в САР частоты вращения турбины установка пружинно-грузовых аккумуляторов для стабилизации давления жидкости при перерывах электроснабжения ЭД НРТ. Если это невозможно, то выполнить следующие мероприятия:

установить маховик на валу рабочего НРТ (на валу резервного НРТ маховик не устанавливать);

при наличии в САР двух НРТ с ЭД переменного тока и одного АНРТ с ЭД постоянного тока электроснабжение одного НРТ выполнить либо от шин резервного питания, либо от шин другого энергоблока;

исключить выдержку времени на включение АНРТ;

при наличии в САР трех или четырех НРТ электроснабжение одного НРТ выполнить либо с шин резервного питания, либо от шин другого энергоблока;

исключить автоматическое отключение ЭД рабочего НРТ от II ступени ЗМН;

при наличии в САР турбины ПГА ввести задержку времени или уменьшить уставку по давлению жидкости на АВР НРТ, что позволит избежать излишних включений НРТ.

г) установка аккумулирующего бака в системе смазки подшипников ПЭН и четырех маслонасосов с ЭД переменного тока, получающих питание с разных секций 0,4 кВ энергоблоков 200 МВт и ниже.

турбины с ГМН на валу

д) в системах уплотнений вала турбогенератора с водородным охлаждением, смазки подшипников турбогенератора, автоматического регулирования частоты вращения вала турбины установка резервного насоса с ЭД переменного тока и аварийного насоса с ЭД постоянного тока.

53. В схемах ГРУ при необходимости установки межсекционного токоограничивающего реактора желательно последовательно с ним с каждой стороны устанавливать по одному выключателю с комплектом МТЗ, которая будет отключать выключатели с уставкой по времени не более 0,5 с. Установка двух выключателей позволяет избежать последствий отказа одного из выключателей. Это позволит сохранить в работе потребители и генерирующие мощности, подключенные к другим секциям ГРУ.

Любое из мероприятий может быть использовано на конкретном оборудовании ТЭС только после тщательного изучения его на предмет применимости к данному оборудованию или схеме.

Перечисленные мероприятия являются только частью всевозможных вариантов повышения надежности работы основного оборудования.

Надежная работа основного оборудования ТЭС при перерывах электроснабжения СН должна по мнению автора закладываться еще на стадии рабочего проектирования, которое должно выполняться с учетом вышеперечисленных мероприятий, а не тогда, когда ТЭС слана в эксплуатацию.

В заключении следует еще раз отметить, что режим перерыва электроснабжения ЭД и его повторное включение приводит к изменениям технологических параметров, к возможной работе технологических защит и к отключению энергоблока. Оперативный персонал БЩУ и ГЩУ должен быть готов к останову энергоблока в соответствии с существующими инструкциями по эксплуатации.

4.6. ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Представленные в гл. 3 результаты расчетно-экспериментальной проверки поведения энергоблоков при перерывах питания электродвигателей СН позволяет предложить план дальнейшей работы по данной тематике, который по мнению автора восполнит существующие пробелы.

Желательно выполнить:

1) экспериментальную проверку поведения энергоблоков при перерывах питания СН, в состав которых входят дымососы и вентиляторы с регулируемым электроприводом, содержащим в своем комплекте машину двойного питания с обязательной регистрацией технологических параметров по котлоагрегату;

2) экспериментальную проверку поведения энергоблоков при перерывах питания СН, в состав которых входят ПЭН с регулируемым электроприводом (с регулированием частоты вращения по статору) с регистрацией технологических параметров по котлоагрегату, в частности по питательной воде;

3) определение момента инерции механизмов СН еще на стадии испытания на стендах заводов-изготовителей и указание значения момента инерции в каталогах или справочной литературе;

4) более детальное исследование режимов перерыва питания и самозапуска ЭД 0,4 кВ совместно с ЭД 3 — 6 кВ и регистрацией параметров наиболее критичных технологических систем;

5) исследование времени погасания факела в топках котлов при сжигании различных видов топлива (пылеугольного, мазутного) и возможность восстановления горения факела без создания взрывоопасных ситуаций. Знание времени погасания факела в топке котла позволит правильно выбрать уставки технологических защит, действующих на отключение котлоагрегата;

6) испытания на энергоблоках мощностью 500 МВт при перерывах питания СН с последующим самозапуском ЭД с более детальной регистрацией технологических параметров, так как выполненные на этих энергоблоках работы не дают полной информации о надежности работы этих энергоблоков в этих режимах;

7) испытания поведения газотурбинных установок типа ГТ-100, ГТ-150, парогазовых установок при перерывах питания СН с детальной регистрацией технологических параметров;

8) исследование режимов работы энергоблоков с бездеаэрационной тепловой схемой при перерыве питания СН и самозапуске ЭД после повторной его подачи;

9) более детальное исследование надежности работы энергоблока мощностью 1200 МВт при перерыве питания электроприводов СН;

10) анализ поведения электроприводов СН при КЗ за блочным трансформатором при работе в энергоблоке турбогенератора с различными типами систем возбуждения;

11) рассмотрение поведения энергоблока, в котором турбогенератор работает на резервном возбуждении от электромашинного возбудителя (с маховиком или без маховика, электродвигатель которого получает питание от секций СН, подключенных к турбогенератору этого же энергоблока, или от статического тиристорного преобразователя типа СТСП, который также подключен к секциям СН;

12) разработку методики определения начального момента сопротивления (момента трогания) механизма в условиях эксплуатации на ТЭС;

13) разработку методики определения достоверного значения пускового момента электродвигателя в условиях эксплуатации на ТЭС;

14) разработку устройства (прибора), позволяющего непосредственно определять значение момента инерции вращающихся масс агрегатов СН;

15) проверку возможности применения расчетных параметров схем замещения ЭД, полученных на заводах-изготовителях, для анализа режимов группового выбега и самозапуска ЭД;

16) подробный анализ нагрева ЭД с различной формой обмотки ротора в переходных режимах группового выбега и самозапуска ЭД

СН с последующей разработкой упрощенной методики, позволяющей определять, нагревается ли ЭД в режимах самозапуска выше допустимой температуры;

17) создание упрощенной методики расчета технологических параметров в таких автономных системах, как система смазки подшипников агрегатов (турбины), система автоматического регулирования турбины, уплотнений вала турбогенератора с водородным охлаждением;

18) создание комплексной программы расчета на ПЭВМ электрических параметров ЭД и технологических параметров отдельных технологических систем;

19) с помощью тепловизорной техники температурные испытания линий резервного питания (несколько параллельно включенных кабелей или шинопровод) после перерыва питания и самозапуска группы ЭД;

20) выпуск эксплуатационного циркуляра решения для теплотехнических цехов, предписывающий экспериментальную проверку поведения основного теплотехнического оборудования при перерывах питания электродвигателей механизмов отдельных технологических систем и всего оборудования СН ТЭС;

21) экспериментальную проверку (анализ: схем электроснабжения, уставок технологических и электрических защит и их согласованности между собой, регистрацию изменения технологических и электрических величин) поведения различных типов и производительности пиковых водогрейных котлов совместно с тепловыми сетями при перерывах электроснабжения их СН;

22) в разделах ПТЭ по тепломеханическому оборудованию отметить, что все тепломеханическое оборудование ТЭС должно выдерживать перерывы электроснабжения не менее 2,5 с, т.е. само тепломеханическое оборудование, схема электроснабжения электродвигателей его собственных нужд, релейная защита электродвигателей и тепломеханического оборудования должны быть построены таким образом, чтобы время перерыва электроснабжения было не более 2,5 с и при этом не нарушалась устойчивость технологического режима основного оборудования (котла, турбины, генератора) ТЭС.

Список литературы (часть 3)

124. Баженов В. Н., Козьма А. А. Влияние неточности исходных данных на результаты расчета при помощи ЦВМ самозапуска асинхронных электродвигателей // Энергетика и электрификация. 1975. № 4(82). С. 40 — 41.
125. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения/Под ред. И. А. Баумштейна, С. А. Бажанова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
126. Руководящие указания. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110 — 750 кВ. — М.: Энергия, 1979. Вып. 11.
127. Электротехнический справочник/Под общ. ред. А. Т. Голована, П. Г. Грудинского, Г. Н. Петрова и др. — М.-Л.: Энергия, 1964.
128. Электротехнические сети и системы/В. А. Боровиков, В. К. Косарев, Г. А. Ходот. — М.: Энергия, 1968.
129. Крайз А. Г. Трехфазные силовые трансформаторы с расщепленными обмотками//Электричество. 1965. № 7. С. 31 — 37.
130. Георгиади В. Х. Оценка успешности самозапуска асинхронных электродвигателей собственных нужд//Электрические станции. 1978. № 4. С. 40 — 42.
131. Положение о порядке разработки, согласования и утверждения программ испытаний на тепловых, гидравлических и атомных электростанциях, в энергосистемах, тепловых и электрических сетях. — М.: М-во энергет. и электр. СССР, 1986.
132. Глазер Ф. Ю. Упрощенный метод осциллографирования переходных процессов регулирования турбин. — М.: БТИ ОРГРЭС, 1961.
133. Артамонов В. М., Лебедев Т. П., Хренков П. И. Светолучевые осциллографы. — Л.: Энергоиздат, 1982.
134. Шушкевич В. А. Основы электротензометрии. — Минск: Высшейшая школа, 1975.
135. Методические указания по проверке и испытаниям автоматических систем регулирования и защит паровых турбин/Ф. Ю. Гла-

- зер, М. Н. Манькин, В. В. Лыско и др.//МУ 34 — 70 — 063 — 83.
— М.: СПО ОРГРЭС, 1992.
136. Глазер Ф. Ю. Осциллографирование процессов регулирования паровых турбин. — М.-Л.: Энергия, 1964.
137. Шакало В. В., Попков Н. Ф. Осциллографирование переходных процессов при динамических испытаниях систем регулирования мощных паровых турбин//Электрические станции. 1963. № 6. С. 26 — 29.
138. Карлинер В. М. Испытание и настройка автоматического регулирования паровых турбин. — М.: Энергия, 1974.
139. Долина В. И. Применение униполярной машины для измерения скорости вращения//Электричество. 1957. № 2.
140. Автоматизированная система измерений частоты вращения вала ГЦН-195/П. П. Вайшнис, В. В. Друба, В. Р. Резник и др.//Энергетика и электрификация. Экспресс-информация. Сер. Эксплуатация и ремонт оборудования атомных электростанций. — М.: Информэнерго, 1987. Вып. 7. С. 8 — 12.
141. Штернберг В. А. Косвенный метод определения загруженности асинхронных электродвигателей//Вестник электропромышленности. 1932. № 7.
142. Нестеров Н. В., Поляков В. Е., Черемихин В. Н. Определение при самозапуске угла включения самозапускающейся секции/Сб. материалов по обмену опытом эксплуатации энергетических установок. — Пермь: НТО и ЭП, Пермское правление, 1972. С. 37 — 40.
143. Фишер Д. А., Фрумкин А. Е. Переносная установка для проведения самозапуска электродвигателей//Электрические станции. 1986. № 8. С. 66 — 67.
144. Крастелев К. Н. Устройство регистрации команд и событий//Энергетика и электрификация. 1980. № 104. С. 44 — 45.
145. Релейная защита элементов сети собственных нужд 6,3 и 0,4 кВ электростанций с турбогенераторами/Пояснительная записка. 142713.0000036.02955.000АЭ01. — М.: Атомэнергопроект, 1987.
146. А.с. SU № 1814143А1, Н 02 J 79/06. Способ самозапуска электроприводов с токоограничивающим реактором/В. Х. Георгиади, И. П. Плясуля. 1992.
147. Старшинов В. А., Пойдо А. И., Пираторов В. М. Применение многообмоточных блочных трансформаторов для питания собственных нужд ТЭС/Труды МЭИ. Электрическая часть электростанций и подстанций. — М.: МЭИ. 1993. Вып. 662. С. 3 — 6.

Содержание

Часть 1

Предисловие	3
Предисловие автора	4
Список сокращений	5
Введение	7
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Общая характеристика СН ТЭС	8
1.1. Требования, предъявляемые к системам СН	8
1.2. Схемы питания СН	12
1.3. Механизмы СН	19
1.4. Электродвигатели СН	39
1.5. Системы защит и автоматики оборудования энергоблоков	49
ГЛАВА ВТОРАЯ. Процессы в системе СН при перерывах электроснабжения.	52
2.1. Режимы перерыва электроснабжения группы электроприводов и его особенности	52
2.2. Восстановление нормального режима работы электроприводов	68
Список литературы	76

Часть 2

Предисловие	83
Список сокращений	84
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Поведение энергоблоков ТЭС при перерывах электроснабжения СН	86
3.1. Направления экспериментальных исследований	86
3.2. ТЭЦ с поперечными связями по воде и пару с котлоагрегатами БКЗ-320-140ГМ-6 на мазутном топливе, турбинами ПТ-60-130/13, Т-50/60-130, турбогенераторами ТВФ-63-2	90
3.3. Энергоблоки мощностью 100 МВт	95
3.4. Энергоблоки мощностью 150 МВт на пылеугольном топливе с синхронным приводом ШБМ	110

3.5. Энергоблоки мощностью 165 МВт	111
3.6. Энергоблоки мощностью 200 МВт	115
3.7. Энергоблоки теплофикационного типа мощностью 250 МВт на газомазутном топливе	128
3.8. Энергоблоки мощностью 300 МВт	137
3.9. Энергоблоки мощностью 500 МВт	146
3.10. Энергоблоки мощностью 800 МВт	151
3.11. Энергоблоки с газотурбинными установками	160
3.12. Выводы по работе основного оборудования ТЭС при перерывах электроснабжения СН	161
Список литературы	164
Часть 3	
Предисловие	171
Список сокращений	172
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Расчетно-экспериментальная проверка работы энергоблоков при перерывах электроснабжения электроприводов СН	
4.1. Подготовительные работы	175
4.2. Упрощенные методы расчета режимов работы электроприводов СН	183
4.3. Определение характеристик отдельных технологических систем	205
4.4. Экспериментальная проверка поведения энергоблоков ТЭС при перерывах электроснабжения СН	219
4.5. Мероприятия по сохранению в работе энергоблоков при перерывах электроснабжения СН	237
4.6. Задачи дальнейших исследований	249
Список литературы	252

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу "Энергетик"

ГЕОРГИАДИ ВАЛЕРИЙ ХРИСТИНОВИЧ

**Поведение энергоблоков ТЭС при перерывах электроснабжения
собственных нужд**

(часть 3)

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

109280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Телефоны: (095) 275-19-06, тел. 275-00-23 доб. 22-47; факс: 234-74-21

Редакторы: Л. Л. Жданова, Н. В. Олышанская

Худож.-техн. редактор Т. Ю. Андреева

Корректор З. Б. Драновская

Сдано в набор 15.04.2003 г. Подписано в печать 19.06.2003 г.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.

Печ. л. 5,5. Тираж 1200 экз. Заказ БЭТ/06(54)-2002

Макет выполнен издательством "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Отпечатано типографией издательства "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Журнал “Энергетика за рубежом” — приложение к журналу “Энергетик”

Подписывайтесь на специальное приложение к журналу “Энергетик” — **“Энергетика за рубежом”**. Это приложение выходит **один раз в два месяца**.

Журнал “Энергетика за рубежом” знакомит читателей с важнейшими проблемами современной зарубежной электроэнергетики, такими, как:

- развитие и надежность энергосистем и энергообъединений;
- особенности и новшества экономических и рыночных отношений в электроэнергетике;
- опыт внедрения прогрессивных технологий в энергетическое производство;
- модернизация и реконструкция (перемаркировка) оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей;
- распространение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- энергосбережение, рациональное расходование топлива и экологические аспекты энергетики.

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу **“ПРЕССА РОССИИ”**. Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Индексы журнала “Энергетика за рубежом” — приложения к журналу “Энергетик”

87261 — для предприятий и организаций;

87260 — для индивидуальных подписчиков.

Об авторе



**Валерий Христинович
Георгиади —**

инженер-электрик, канд. техн. наук,
известный специалист в области
обеспечения надежности работы
тепловых электростанций при
нарушениях электроснабжения
потребителей собственных нужд.

Окончил Фрунзенский политехнический институт, преподавал на кафедре “Электрические станции, сети и системы”. Большую часть трудовой деятельности (22 года), работая в АО “Фирма ОРГРЭС”, посвятил проблемам сохранения в работе основного оборудования тепловых электростанций при кратковременных перерывах электроснабжения потребителей собственных нужд. Автор 50 научных работ и “Методики расчёта режимов перерыва питания и самозапуска электродвигателей 3 – 10 кВ собственных нужд электростанций упрощенными методами” (СПО ОРГРЭС, 1993 г.). Соавтор 14 научных работ и “Справочника по электрическим установкам высокого напряжения” (Энергоатомиздат, 1989 г.). В настоящее время специализируется в области сохранения в работе пиковых водогрейных котлов.

Сохранение в работе основного оборудования электростанций после кратковременных перерывов электроснабжения потребителей СН — это важная экономическая задача обеспечения бесперебойной подачи тепловой и электрической энергии коммунально-бытовым и промышленным потребителям