

ВСЕСОЮЗНЫЙ СОВЕТ
НАУЧНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЩЕСТВ

УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКО-ХИМИИ и ЭНЕРГЕТИКИ

Имени Академика Н. Д. ЗЕЛИНСКОГО

Инж. А. К. ДАРМАНЧЕВ

РАЗРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ И ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Вып. X

УНИВЕРСИТЕТ ФИЗИКО-ХИМИИ И ЭНЕРГЕТИКИ
им. акад. Н. Д. ЗЕЛИНСКОГО

А. К. ДАРМАНЧЕВ

**РАЗРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ
И ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ
СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Вып. X

ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА

1936

ЛЕНИНГРАД

Редактор А. Д. Смирнов
Тех. редактор В. Н. Шипов

Сдано в набор 16/VI 1936 г.
Подписано к печати 19/VII 1936 г.

Формат бумаги 62×94 ¹ / ₁₆ .	Тираж 20000 экз.	2,25 печ. листа
Уполномоченный Главлита № В—40.733.	Зак. 5626.	

Тип. «Красная звезда», М. Дмитровка, 16

РАЗРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ И ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Введение

Оперативная сторона эксплуатации энергетических систем как проблема в целом является достоянием практической работы относительно очень узкого круга лиц и поэтому мало знакома даже многим из работников самих энергосистем.

Эта тема не охвачена как комплексная задача ни в печатных трудах, ни в иных систематизированных материалах (например, инструкциях).

В то же время отдельные вопросы этой обширной темы находят достаточное отражение как в журнальной, так и в неперiodической технической литературе.

В этих условиях даже краткий очерк, посвященный проблеме в целом, может быть полезен. В нем должен быть сделан основной упор на четкое научно-практическое освещение главнейших проблем оперативного управления энергосистемой и на уяснение физико-технической сущности явлений.

Изложение ввиду большого объема материала по необходимости должно быть очень кратким и даже конспективным.

1. Особенности энергетического производства

Энергетическое производство не должно быть искусственно относимо ни к разряду добывающей, ни к разряду обрабатывающей промышленности. Это совершенно своеобразная отрасль промышленности, где все сводится к непрерывной цепи преобразований энергии. При этом нет ни технологических, ни хронологических подразделений между выпуском, транспортом и потреблением продукции — все происходит непрерывно и одновременно (точнее, в пределах скорости распространения электрического тока). К тому же аккумулярование энергии (т. е. работа на склад) в крупных энергосистемах применяется в чрезвычайно незначительных размерах, с которыми можно попросту не считаться.

Эти особенности энергетического производства, т. е. непрерывность технологического процесса, совпадение моментов производства и потребления и отсутствие складского хозяйства в отношении готовой продукции, приводит к тому, что в каждый данный момент потребление полностью определяет собой производство.

Поэтому в планировании энергопроизводства нельзя (как в большинстве других производств) ориентироваться в пределах некоторой потребности в продукции только лишь на мощность оборудования и материальные и людские ресурсы. Необходимо учитывать (и притом в первую очередь) размер, характер потребления и режим потребления.

Режим потребления сам собой не очевиден — он должен быть определен, подсчитан.

Это определение предстоящего наиболее вероятного режима потребления представляет, пожалуй, наибольшую трудность в энергетическом планировании. В то же время при намеченном уже режиме потребления количественная сторона всех отдельных элементов режима производства устанавливается без особых затруднений — благодаря присущей ему автوماتичности, обусловленной непрерывностью взаимно связанных физико-химических процессов преобразования энергии.

В обрабатывающей промышленности имеем как раз обратную картину — наибольшие трудности возникают именно во внутренней увязке между цехами и по отдельным переходам технологических процессов, т. е. в создании необходимой соразмерности процесса производства.

2. Понятие об оперативном планировании энергопроизводства

Отметим в отношении энергетического планирования те основные особенности различных видов планирования, которые могут практически нас интересовать.

Перспективное планирование в энергетике отличается директивностью в наибольшей степени. При этом директивность охватывает размер и характер самого потребления энергии, и это обязательство в значительной мере уменьшает отмеченную ранее основную трудность энергетического планирования. Текущее планирование (в основном — годовое и квартальное) уже в значительно большей мере должно ориентироваться на конкретные особенности сложившейся и намечающейся обстановки, допускать некоторые отступления от общих директив (например, в силу ограниченности ресурсов) и должно являться в значительной степени детализированным.

Наконец, наиболее интересующее нас оперативное планирование (т. е. разработка производственного задания на месяц; на декаду; на некоторую совокупность дней, объединенных каким-либо общим признаком, на ближайшие сутки) должно отличаться конкретностью в еще большей степени. Степень его детализированности должна обеспечивать возможность полного развертывания задания вплоть до отдельного агрегата и вспомогательного механизма и вплоть до отдельного исполнителя.

Существенной особенностью оперативного планирования является крайняя срочность работы, поскольку она не может быть начата заблаговременно (от этого пострадала бы конкретность), но должна быть готова за определенный срок до начала планируемого периода. Дальнейшей особенностью оперативного планирования является, как правило, совмещение руководства составлением плана с руководством его выполнением.

В дальнейшем изложении мы будем иметь в виду только комплексную энергосистему. При этом мы делаем определенное различие между «объединением станций» и «энергетической системой», предъявляя в последнем случае повышенные требования как в отношении взаимной слаженности отдельных частей (под углом зрения интересов системы в целом), так и в отношении средств и методов централизованного управления.

3. Показатели, оперативного планирования

Поскольку исходной задачей энергетического планирования является определение потребной выработки энергии, а она в свою очередь определяется размером потребления, то правильнее всего начать составление оперативного плана с подсчета ожидаемого потребления и дальше последовательно строить остальные показатели вплоть до потребности в топливе с установлением также и качественных показателей — задаваемое напряжение в контрольных точках системы.

Перечислим основные показатели оперативного плана именно в этой последовательности.

1. Среднесуточные графики электрической (активной) и тепловой нагрузки, отнесенные к местам потребления, по отдельным категориям потребления и суммарные.

2. Отпуск электрической и тепловой энергии потребителям (по категориям потребления и по отдельным наиболее крупным потребителям).

3. Потери при распределении и передаче энергии.

4. Отпуск электроэнергии с шин по основным распределительным узлам системы (фидерные и трансформаторные подстанции, шины собственного района станций).

5. Общий отпуск электрической и тепловой энергии с шин и коллекторов отдельных станций в сеть.

6. Собственный расход станций (ориентировочно — до установления режима станций и уточненно в окончательном варианте плана).

7. Выработка энергии машинами станций.

8. Среднесуточные графики суммарной электрической (активной) и тепловой нагрузки системы, отнесенные к выработке машин.

9. Наибольший (абсолютный) максимум активной электрической нагрузки системы.

10. Задаваемые графики напряжения по станциям и подстанциям основной электрической системы.

11. Среднесуточные графики суммарной реактивной нагрузки системы, отнесенные к зажимам генераторов (с учетом работы синхронных компенсаторов).

12. Расписание капитальных и текущих (планово-предупредительных) ремонтов и ревизий основного оборудования станций и сетей.

13. Располагаемая и производственная мощность станций и пропускная способность сетевых связей и сооружений.

14. Среднесуточные бытовые расходы воды по гидростанциям.

15. Среднесуточные графики активной и реактивной нагрузки по станциям.

16. Резерв активной и реактивной мощности по станциям (а также в пропускной способности сетевых связей и сооружений).

17. Ориентировочные удельные расходы топлива по отдельным станциям на выработку и отпуск электрической и тепловой энергии.

18. Количество натурального топлива по сортам и отдельным станциям.

4. Основы метода синтетического планирования

В самом перечислении основных показателей оперативного планирования мы можем уже усмотреть основы того метода, который может быть назван «синтетическим» методом и является теоретически наиболее рациональным в условиях энергетического планирования, где исходными данными должны быть данные о потреблении, поскольку от них зависит все остальное.

Таким образом при «синтетическом» планировании мы должны бы исходить из заявок потребителей (соответственным образом проверенных), строить их графики нагрузки (определяя тем самым и размеры их суточного потребления), затем определять потери в сетях, соответствующие данному потреблению, далее, находить, какой собственный расход станций необходим в этих условиях и что в конечном счете должны выработать машины всех станций системы и при каком именно суммарном (совмещенном) графике нагрузки. Приблизительно в том же роде происходило бы последовательное накопление данных и построение суммарного реактивного графика машин всех станций системы (с учетом задаваемых графиков напряжения), а также графика тепловой нагрузки.

Дальше уже следует планирование самого процесса производства. В первую очередь из сопоставления мощности системы и требуемой нагрузки, с одной стороны, и потребностей в ревизиях и ремонте оборудования — с другой, составляется конкретный оперативный план ремонтов. При этом потребности в ревизиях и ремонте определяются из годового плана с теми поправками, какие возникают из конкретной обстановки.

Затем по прогнозу расходов воды определяем возможные выработки гидростанций и с учетом конфигурации совмещенного графика возможную производственную мощность гидростанций (см. § 12).

Установив план ремонтов основного оборудования системы и характер работы гидростанций, мы тем самым определим производственную мощность каждой из станций, сетевых узлов и сетевых связей и получаем возможность построить средние суточные графики активной и реактивной электрической нагрузки и тепловой нагрузки по станциям (применительно ко всему планируемому периоду или по отдельным его подразделениям).

Станционные суточные графики уже дают представление о режимах работы и, следовательно, позволяют наметить удельные расходы топлива с точностью, вполне достаточной для определения потребности в топливе.

Фиксирование этой последней (по отдельным видам топлива) в очень значительной мере связано с соображениями топливной политики.

Далее может следовать еще планирование завоза топлива, исходя из потребности и директив по складскому хозяйству.

Топливом как первичным энергоносителем заканчивается энергетическая часть оперативного планирования работы системы.

5. Практический (комбинированный) метод оперативного планирования

Практически описанный метод, названный методом «синтетического» планирования, в условиях крупной энергосистемы не применим в чистом виде, так как является слишком промоздким и не обеспечивающим все же той достоверности результата, которая достижима при комбинированном методе, который и следует рекомендовать к применению.

Для ускорения и облегчения работы и для достижения в то же время большей надежности и точности результата необходимо, во-первых, упростить синтез графика нагрузки системы, и, во-вторых, проверить его встречным методом.

Упрощение состоит в том, что мы не строим суточных графиков потребления, а довольствуемся только определением потребления по основным категориям за весь планируемый период (за месяц). Для этого используем заявки потребителей (или органов, регулирующих энергоснабжение потребителей) в основном только в целях сопоставления их с подобными же заявками истекших периодов, для которых они могут быть сличены с фактическим потреблением. Это сопоставление, подкрепленное данными о конкретных факторах, вызывающих изменение потребления (например, присоединение новых мощностей в виде потребительских трансформаторов, освоение новых производств у промышленных потребителей системы, изменения в их производственных планах и в состоянии их снабжения сырьем, коллективные отпуска и т. п.), позволяет с достаточной степенью уверенности судить о предстоящем увеличении или уменьшении потребления. Следует отметить, что потребительские заявки сами по себе, без чрезвычайно серьезной критической их оценки, представляют материал очень мало достоверный, так как дисциплина энергетического планирования, даже в передовых отраслях промышленности, стоит еще очень невысоко. Коррективы со стороны регулирующих органов также не обладают достаточной точностью.

Что же касается таких отраслей потребления, которые вообще не могут подавать от себя заявок (в основном, мелкомаховая нагрузка, т. е. осветительная и мелкомоторная), то и здесь заявки регулирующих органов значительно менее достоверны, чем те косвенные данные, которыми может и должен располагать аппарат энергосистемы, ведущий оперативное планирование. Эти косвенные данные основываются на накопленном и проанализированном фактическом материале (исходя, главным образом, из анализа графика нагрузки системы).

Вообще для осуществления оперативного планирования должен быть тщательно подобран за ряд последних лет доброкачественный материал по укрупненным измерителям, систематизирован, постоянно пополняться и подвергаться критическому анализу. Укрупненные измерители, которые мы имеем в виду, в основном следующие (как по активной, так и по реактивной нагрузке):

- 1) данные о месячной выработке по системе за ряд предыдущих лет;
- 2) динамика совмещенного суточного максимума по системе по месяцам (тоже за ряд лет);
- 3) средние (по месяцам и даже по декадам) суточные графики нагрузки системы по категориям дней («нормальные», «пониженные» дни и т. п.);
- 4) динамика коэффициента нагрузки (числа часов пользования) средних суточных графиков различных периодов (например, месяцев);

5) данные анализа суточных графиков системы (т. е. расчленения его по основным категориям потребления);

6) различные таблицы и диаграммы, дающие такие сопоставления отдельных показателей, которые могут явиться особенно удобоприменимыми в смысле уточнения оперативного планирования (например, соотношение между активной и реактивной нагрузкой; осветительный максимум в процентах от общего и т. п.).

В дополнение ко всему этому обязательно должны иметься хорошо проработанные данные о динамике присоединенной мощности — в том числе и сезонной.

Располагая такого рода материалами за истекшее время, зная размер и характер новых присоединений как текущего месяца, так и на планируемый месяц и ориентируясь на выявленные к моменту составления плана особенности предстоящего потребления, можно с большой точностью наметить общую выработку энергии по системе и графики нагрузки системы, не подходя даже вплотную к цифрам потребления энергии.

Сличение найденной таким способом общей выработки с общей выработкой, вычисленной по указанному выше упрощенному синтетическому методу (т. е. по проверенным заявкам потребителей), дает надежную встречную проверку. Если проверка обнаруживает расхождение между обеими цифрами выработки (т. е. цифрой по упрощенному синтетическому методу и цифрой по укрупненным измерителям), выходящее за пределы погрешности оперативного планирования (т. е., грубо говоря, за пределы $\pm 1,5\%$), то производится заново весьма строгая критическая оценка проделанной работы в цехах выявления сомнительных моментов и введения надлежащих коррективов.

В случае непримиримого расхождения практически оказывается целесообразным взять некоторую промежуточную цифру, ориентируясь, однако, больше на расчет по укрупненным измерителям, чем на расчет по синтетическому построению.

Точность планирования месячной выработки системы при умелом применении вышеописанного комбинированного метода бывает иногда чрезвычайно большой, в особенности в системах со смешанным составом потребителей.

В качестве иллюстрации этой точности можно привести соответствующие данные по Ленэнерго за 1935 г. и два первых месяца 1936 г.

Из 14 месяцев в трех случаях ошибка в определении месячной выработки оказалась меньше $0,5\%$; в четырех случаях — в пределах 1% ; в четырех случаях — в пределах $1,5\%$ и только в трех случаях — больше $1,5\%$ (причем в одном случае ошибка достигла $5,3\%$).

6. Анализ суточных графиков нагрузки

Фактический график нагрузки системы мы строим только со стороны выработки энергии, получая его путем суммирования графиков отдельных станций (а эти последние — по записям приборов отдельных машин), и в его конфигурации неизвестным для нас образом комбинированы отдельные категории нагрузок и потери.

Эту именно неизвестную комбинацию отдельных составных частей, из которых состоит график системы, необходимо вскрыть путем анализа.

Когда эти составные части известны, только тогда можно сознательно подходить к вопросам эволюции графика, так как каждая из составных частей подчиняется сравнительно четко обозначающимся факторам, а взаимное наложение отдельных частей не представляет уже особых затруднений.

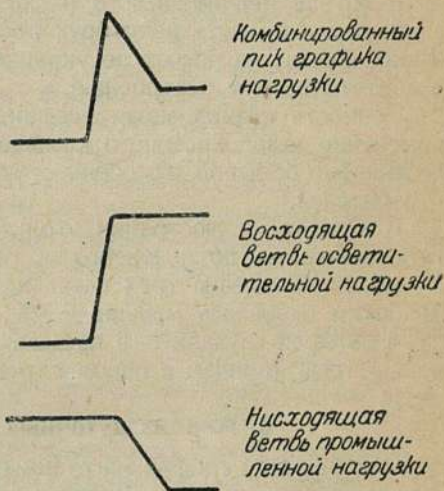
Иллюстрацией к сказанному может служить анализ вечернего пика зимнего графика смешанной нагрузки в том его виде, каким он был в наших условиях до перестановки часовой стрелки на 1 час вперед. Этот пик имел резко заостренную конфигурацию, т. е. обнаруживал чрезвычайно быстрое нарастание нагрузки и немедленное вслед за достижением максимума ее спадание — тоже очень быстрое.

Не вникая в состав смешанного графика, можно было бы относить этот заостренный пик всецело за счет осветительной составляющей. Между тем, если легко понять, что с наступлением сумерек осветительная нагрузка быстро возрастает, то совершенно непонятно, почему она должна столь же резко падать, едва достигнув наибольшего развития. Это могло бы произойти, вообще говоря, только в принудительном порядке по специальной команде.

Анализ графика разъясняет это недоумение (фиг. 1). Оказывается, все дело в том, что крутой подъем осветительной нагрузки в некоторый момент, едва достигнув своей наивысшей точки, не может на ней удержаться, так как «подкашивается» в смешанном графике круто падающей промышленной нагрузкой. Падение этой последней обусловлено переходом от дневных смен в промышленности, сильно нагруженных, к менее нагруженным вечерним сменам. Это совпадение подъема осветительной нагрузки и падения промышленной нагрузки уже не может иметь места при том их взаимном сдвиге, который получается при перестановке стрелки часов на 1 час вперед. Действительно, после произведенной в 1930 г. перестановки стрелки зимний вечерний пик смешанной нагрузки в Москве, Ленинграде и других пунктах СССР уже не обнаруживает той заостренной конфигурации, которую имел прежде.

Уже из одного этого примера видна конкретная польза анализа графика для уяснения его внутренней структуры.

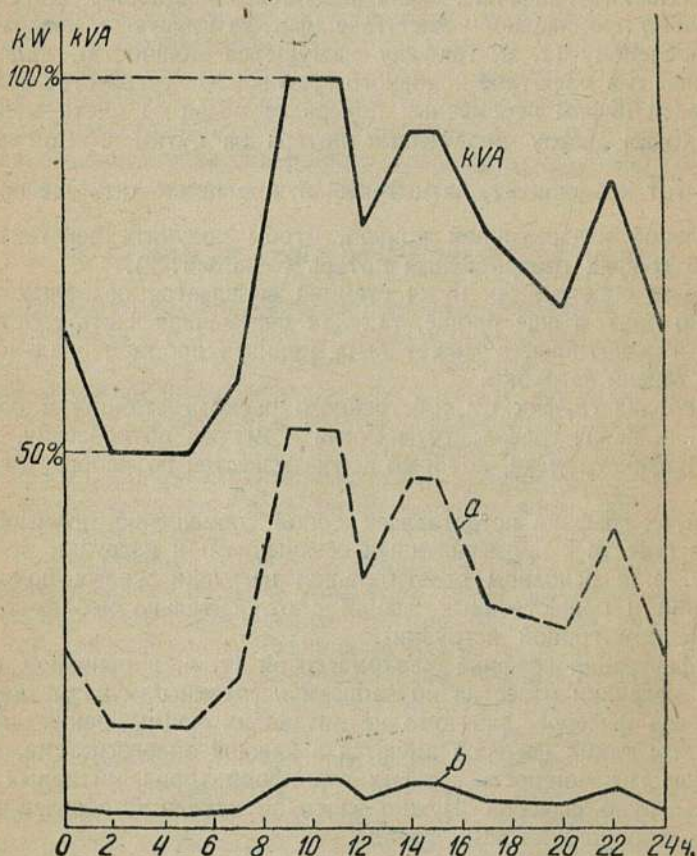
Не менее существенным является анализ и для уяснения количе-



Фиг. 1

ственных соотношений отдельных составляющих графика. Например, только путем анализа можно определить, каково участие осветительной составляющей в общем графике.

Практически при этом громадном количестве отдельных потребительских точек, какое мы имеем в крупной системе, никакой измерительный контроль непосредственно не дает данных для расчленения графика. Возможны только косвенные методы. Однако все прежде применявшиеся для этого приемы несостоятельны, так как при них не выделяются из графика собственные нужды станций и потери в сетях и поэтому нельзя отделаться от некоторой неопределенности и малой достоверности результата.



Фиг. 2

Применяемый нами метод имеет исходным действием именно выделение собственных нужд и потерь. Поясним принцип этого выделения на потерях.

Общий размер потерь энергии за истекший месяц тем или иным способом всегда ориентировочно исчисляется, так как этого требует эксплуатационная отчетность. При этом известны отдельно постоянные и переменные потери, т. е. потери в железе и потери в меди. Ординату постоянных потерь в суточном графике легко найти, разделив постоянные потери за месяц на число дней в месяце и число часов в сутках. Переменные потери с достаточной для практики точностью можно принять пропорциональными квадрату тока, т. е. квадрату кажущейся мощности (если не считаться с колебаниями напряжения).

Имея для анализируемых суток активный и реактивный график, мы тем самым имеем для каждого часа $\lg \varphi$ (отнесенный к нагрузке генераторов); по $\lg \varphi$ находим $\cos \varphi$ и легко можем построить по ординатам активного графика график кажущейся мощности. Далее строим в совершенно произвольном масштабе (фиг. 2) кривую a , квадратичную этому посленему (т. е. графику кажущейся мощности). Определяем ее площадь S в масштабе исходного графика. С другой стороны, делением общей цифры переменных потерь за месяц на число дней в месяце находим цифру переменных потерь за сутки s . Соотношение $\frac{s}{S}$ дает тот коэффициент, на который нужно помножить все ординаты произвольной квадратичной кривой, чтобы получить действительный суточный график квадратичных потерь (b на фиг. 2).

График собственных нужд станций выделяется подобным же методом, но притом еще проще, так как переменная часть собственных нужд не квадратична, а может быть принята пропорциональной первой степени степени нагрузки.

Освободив график от собственного расхода станций и потерь в сетях, т. е. найдя график, отнесенный к местам потребления, мы выделяем график трамвая, который всегда известен по непосредственным записям.

Остаток графика представляет собой совмещение промышленной нагрузки (вместе с промышленным освещением) и нагрузки мелкомаховой (т. е. в основном осветительной нагрузки жилых помещений, учреждений и общественных зданий с относительно небольшой примесью мелкомоторной нагрузки).

Конфигурация графика мелкомаховой (т. е. в основном осветительной) нагрузки известна по записям нагрузки так называемых осветительных фидеров, заведомо не питающих промышленных абонентов. Группы таких фидеров имеются в каждой энергосистеме, причем всегда известна мощность сетевых трансформаторов, питаемых любой из таких групп фидеров. Нужно взять за исходный образец график наиболее типичной из этих групп.

Мощность всех сетевых трансформаторов данной системы, несущих мелкомаховую нагрузку, также известна. Остается только найти соотношение этих двух цифр приключенной мощности (т. е. по всей системе в целом и по выделенной группе фидеров) и помножить на это соотношение все ординаты осветительного графика выделенной группы фидеров, чтобы получить график мелкомаховой нагрузки всей

системы. Вычтя его из оставшейся части общего графика, получим в остатке промышленный график системы. Правдоподобность его конфигурации и соответствие его площади тому отпуску энергии, который учтен у промышленных потребителей, могут служить проверкой правильности всей работы по анализу графика.

Существенным является анализ не только активного графика, но и реактивного. Общий реактивный график системы строится аналогично активному, т. е. по показаниям реактивных ваттметров отдельных генераторов системы. Анализ производится вычислительным путем, исходя из мощностей и реактивностей трансформаторов и сетевых элементов, и сводится к выделению графиков реактивных потерь и намагничивающих мощностей в основной электрической системе и распределительной сети и к нахождению по остатку реактивного графика всей совокупности потребителей. График синхронных компенсаторов системы должен быть учтен, конечно, отдельно и может рассматриваться либо как некоторый потребительский график, соответственно изменяющий общий реактивный график потребления в сторону его снижения (при опережающем токе синхронных компенсаторов), либо как график добавочного генерирования реактивной мощности.

7. Оценка влияния новых приспособлений

Для обеспечения успешного составления оперативного плана необходимы прежде всего вполне доброкачественные исходные данные. В частности, мы должны не только уметь удостовериться в реальности сведений о новых присоединениях, но и уметь оценить, как именно сказывается каждая данная вновь присоединенная мощность на нагрузке системы. Для такого рода ориентировочной оценки практически весьма удобен эмпирически определяемый коэффициент участия в максимуме, непосредственно переводящий мощность вновь присоединяемого трансформатора, выраженную в kva , в нагрузку, создаваемую этим вновь присоединенным трансформатором на машинах станций. Этот коэффициент неявным образом учитывает такие факторы, как степень загруженности вновь присоединенного трансформатора, $\cos \varphi$, потери в сети и собственный расход станции (в том размере, в котором потери и собственный расход вызываются наличием нового потребителя).

Определение этого коэффициента не так просто, как могло бы казаться, поскольку, даже при большой достоверности результатов расчленения графика по роду потребления, очень трудно отделить влияние новых присоединений от внутреннего роста нагрузки в пределах прежнего состава потребителей. К тому же надо иметь в виду, что такого рода обобщенный коэффициент участия в максимуме применим для оценки возрастания нагрузок от некоторой группы относительно мелких новых присоединений, но не применим в отношении крупных новых присоединений. Здесь необходим, конечно, уже индивидуальный подход — вплоть до специального обследования.

Значение коэффициента участия в максимуме в том понимании, как здесь указывалось, т. е. коэффициента, непосредственно определяющего

нагрузку на машинах станций (в кВт) от присоединения потребительского трансформатора данной мощности (в кВа), составляет для промышленных присоединений от 0,4 до 0,7.

8. Регулирование электрических нагрузок

Полноценный учет всех особенностей потребления энергии, предстоящего в течение планируемого периода, составляет, как уж неоднократно упоминалось, основу самой возможности составления плана. Однако режимы потребления, присущие самим потребителям (в их совокупности), могут быть в известной мере видоизменены вмешательством электроснабжающей организации путем так называемого регулирования графиков нагрузки.

Регулирование может производиться в годовом, недельном и суточном разрезе.

В годовом разрезе оно сводится к следующим мероприятиям: 1) намеренное сокращение или усиление новых присоединений в соответствии с возможностями и интересами энергосистемы; 2) привлечение или, наоборот, недопущение тех или иных сезонных потребителей; 3) назначение коллективных отпусков промпредприятий в удобные для энергосистемы периоды; 4) введение в состав потребителей данной энергосистемы так называемых потребителей-регуляторов с сезонным регулированием, т. е. потребителей, у которых производственный процесс заранее рассчитан на сезонные повышения и понижения — либо по твердому расписанию, либо в соответствии с требованиями энергосистемы.

Недельное регулирование вообще стало возможным только после отмены общего дня отдыха. В зависимости от наличия и размеров резерва в системе это регулирование может и должно принимать различные формы.

Объектами недельного регулирования являются те производственные предприятия, у которых основной технологический процесс не обладает свойствами безусловной непрерывности и равномерности и которые, следовательно, могут и должны иметь еженедельный выходной день.

Целесообразное распределение этих выходных дней по дням недели и представляет собой недельное регулирование.

Назовем распределение равномерным в том случае, если в каждый день шестидневки имеем одинаковое снижение нагрузки системы, как следствие выходных дней заводов и фабрик. При этом мы будем иметь наименьший максимум нагрузки в недельном масштабе.

Это первый случай недельного регулирования.

В тех случаях, когда при равномерном распределении выходных дней в системе не остается резерва мощности (по отношению к суточному максимуму), приходится считать это распределение единственно допустимым. Действительно, всякое нарушение указанной равномерности равносильно снижению максимума нагрузки некоторых из дней ше-

шестидневки за счет совершенно неизбежного соответствующего повышения максимума нагрузки других дней, а это повышение при отсутствии резерва для системы не приемлемо.

Наоборот, если при равномерном распределении получается некоторый резерв по отношению к суточному максимуму, но этот резерв является неполным (т. е. меньше мощности наибольшего агрегата системы), то выгодно и даже необходимо в некоторых пределах нарушить равномерность распределения выходных дней.

Действительно, достаточно снизить нагрузку в один из дней шестидневки (путем предоставления в этот день выходных дней большему числу предприятий) настолько, чтобы иметь в этот день полноценный резерв, и мы получим возможность вывода в ремонт любого из агрегатов системы. Это очень существенно для поддержания оборудования системы в должном состоянии.

Такое дополнительное снижение одного дня отзовется на остальных пяти днях соответствующим суммарным повышением. Если к тому же добиться сохранения равномерности в отношении этих пяти дней, то окажется, что снижение одного дня отразится повышением каждого из остальных пяти дней в размере $\frac{1}{5}$ части этого снижения. Таким образом за счет незначительного уменьшения и без того уже неполноценного резерва на протяжении пяти дней мы получаем возможность в один из дней осуществлять необходимый ремонт.

Это второй случай недельного регулирования (намеренное создание пониженного дня).

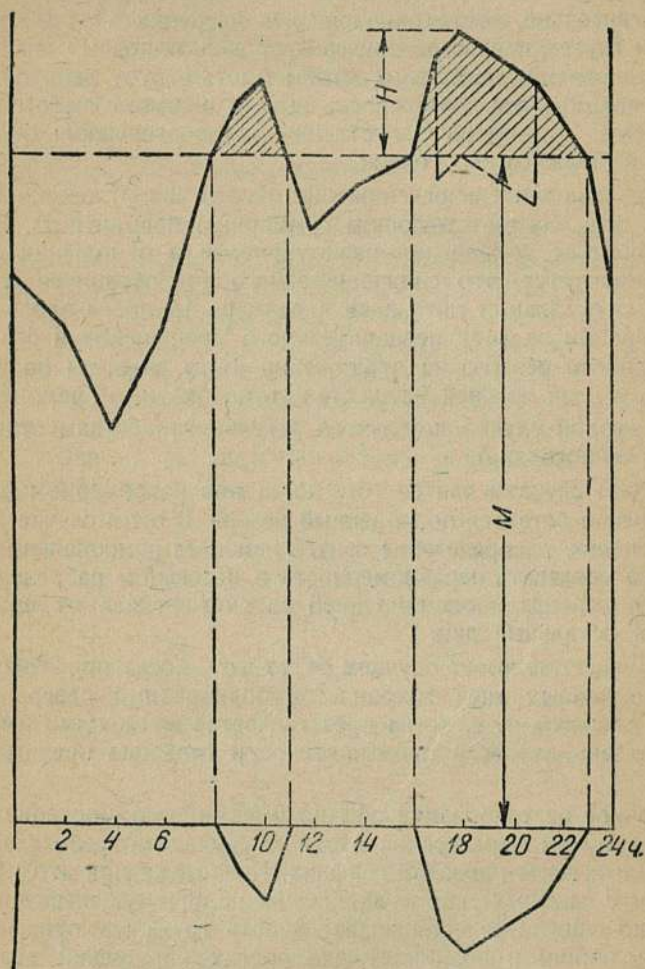
Третьим случаем явится тот, когда при равномерном распределении ежедневно остается полноценный резерв. В этом случае, естественно, равномерное распределение явится наиболее рациональным, так как нет смысла создавать неравномерность в недельном разрезе, добиваясь излишнего резерва в один из дней за счет отказа от полноценного резерва в остальные дни.

Наконец, четвертым случаем будет тот, когда при любом распределении выходных дней сохраняется полноценный резерв в каждый день шестидневки, т. е. когда представляется возможным иметь общий выходной день для всей промышленности (подобие прежнего воскресенья).

Суточное регулирование обычно имеет целью снижение суточного максимума путем перенесения части нагрузок потребителей с часов максимума на часы провалов графика. Поскольку при этом работа переносится с дневных или вечерних часов преимущественно на ночь, то нередко снижается производительность труда, увеличивается выход брака продукции и возникает ряд других нарушений оптимального режима производства. Вообще суточное регулирование всегда является в той или иной мере нежелательным для потребителей, так как вызывает производственные и бытовые неудобства.

Наиболее безболезненным является так называемое внутриводское (правильнее — внутрипотребительское) регулирование. Оно основано на детальном обследовании производственного и энергетического

режима каждого из предприятий, являющихся объектами регулирования, и видоизменении этого режима в соответствии с общим заданием по регулированию графика нагрузки системы. Видоизменению подвергаются преимущественно режимы тех токоприемников, которые в масштабе данного предприятия являются наиболее крупными и обслуживают наиболее энергоемкие процессы, к тому же наиболее обособлены в производственном отношении и во всяком случае не являющиеся узким



Фиг. 3

местом производства. Общее задание по регулированию графика пояснено фиг. 3, где показаны как намечаемые площади снижения, т. е. те части графика (отнесенного к местам потребления — за вычетом

собственного расхода и потерь), где потребление должно быть снижено (в целях снижения максимума), так и площади заполнения, т. е. те, где может быть допущено увеличение потребления, компенсирующее указанное снижение.

Площади снижения получают путем отсечения на графике верхней его части горизонтальной линией, проведенной на уровне той нагрузки, до которой должен быть снижен максимум. Площади заполнения находятся вне контура регулируемого графика — между ним и вышеуказанной горизонтальной прямой (фиг. 3). Теоретическим пределом регулирования графика является равенство площадей снижения и заполнения. При этом график выравнивается до прямой линии.

Правильная постановка вопроса и формулировка задания по точному регулированию графика возможны только путем вышеуказанного построения. Если взять зеркальные изображения площадей снижения, то они явятся не чем иным, как теми провалами, которые нужно сделать в промышленной составляющей графика для получения нужного результата регулирования. Конфигурация этих провалов может получиться только как совокупность правильно намеченных и увязанных между собой отдельных снижений по отдельным объектам регулирования.

Каждое из этих снижений графически изображается некоторым прямоугольником, высота которого соответствует размеру среднего снижения в течение интервала времени, представленного основанием прямоугольника. Правильные взаимные увязки этих отдельных снижений представляют немалые трудности и возможны только при осуществлении графического суммарного учета отдельных вариантов.

9. Распределение нагрузок между станциями и агрегатами

Получив описанным выше путем ясное и исчерпывающее представление о предстоящем режиме потребления энергии и соответственно о режиме ее выработки, строим суточные графики нагрузки системы по намеченным характерным подразделениям планируемого периода (например, по декадам месяца). Дальнейшая задача — это правильная разбивка общего графика между отдельными станциями системы и отдельными агрегатами.

Прежде всего надо построить график тех станций, которые имеют вынужденный режим (станции с выделенным районом потребления; станции, работающие по теплофикационному графику; станции, работающие по пределу своей мощности и т. п.). Суммарный график этих станций надо вычесть сверху из общего графика с тем, чтобы получить конфигурацию той части графика, которая подлежит распределению между станциями, работающими по свободному графику.

Из них прежде всего рассматривают гидростанции. При этом в периоды избытка воды (т. е. работы с переливом) гидростанции дают ровный график круглосуточно на наибольшую возможную нагрузку.

В целях увеличения этой предельной нагрузки и достижения тем самым наиболее полного использования воды необходимо давать генераторам гидростанций возможно более высокий $\cos \varphi$ с тем, чтобы при данном предельном токе вырабатывать большую активную мощность. Повышение $\cos \varphi$ гидростанций, т. е. относительное недовозбуждение их машин, достигается за счет соответствующего снижения $\cos \varphi$ на некоторых из паровых станций системы (путем относительного их перевозбуждения).

В периоды недостатка воды наиболее экономичным (с точки зрения удельного расхода воды) был бы также круглосуточный ровный график на среднюю мощность по бытовому расходу воды, так как при этом можно было бы все время работать при оптимальном напоре.

Однако во многих случаях необходимость использования возможно большей мощности гидростанции (при общем недостатке мощности в системе) заставляет вопреки экономике прибегать к суточному регулированию водотока, накапливая воду в периоды провалов общего графика и используя ее в периоды максимума нагрузки.

Кроме того, все резкие и относительно кратковременные пики и провалы нагрузки выгоднее воспринимать на гидростанциях, нежели на паровых станциях. Дело в том, что такого рода изменения нагрузки, будучи переданы на гидростанцию, очень мало отзываются на напоре, а следовательно, и на экономичности гидростанции (в особенности для турбин Каплана).

Так или иначе в периоды недостатка воды гидростанциям практически приходится давать более или менее пиковый график.

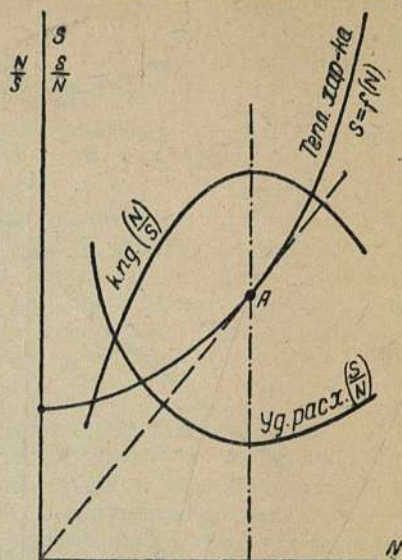
Выделив график вынужденных режимов (как указывалось выше) и графики гидростанций, мы оставшуюся часть общего графика распределяем между паровыми станциями системы, руководствуясь помимо правильного учета их производственных мощностей в основном двумя критериями: топливной политикой и соображениями относительной экономичности (последнее — либо в ценностном выражении, либо в смысле экономии топлива).

Основы нашей топливной политики общеизвестны и сводятся к максимальному использованию низкокалорийных топлив как можно ближе к месту их добычи, к сокращению, насколько возможно, топливных перевозок и к возможно меньшему использованию в энергетической промышленности таких сортов топлива, которые находят специальное применение (например, газовые угли) или могут служить для получения более ценных продуктов (например, нефть). К сожалению, местные обстоятельства иногда нарушают эти основные положения, и реальная топливная политика иногда идет в разрез с основными ее положениями. Например, в Ленэнерго в первом квартале 1936 г. ввиду недостатка торфа приходилось до предела загружать котлы, работающие на дальнепривозном донецком угле, а вследствие плохого

качества торфа и вызываемых им снижений мощности торфяных котлов — использовать иногда нефтяные котлы в повышенной степени.

Относительная экономичность работы отдельных станций и агрегатов системы определяется в конечном счете так называемыми тепловыми характеристиками агрегатов (в основном котлов и турбин). Тепловая характеристика дает часовой расход энергии (для котла — топливо; для турбины — пар) в функции от часовой выработки агрегата. В наиболее общем случае — это вогнутая кривая, аналитически выражаемая уравнением $S = a + bNk$, где k больше единицы (фиг. 4).

Делением абсцисс этой кривой на соответствующие ординаты мы получаем кривую коэффициента полезного действия, имеющую максимум при той нагрузке, при которой касательная к тепловой характеристике проходит через начало координат.



Фиг. 4

Делением ординат тепловой характеристики на соответствующие абсциссы получаем кривую полного удельного расхода. Ее минимум — в том же месте, где максимум кривой к. п. д.

Угловым коэффициентом тепловой характеристики, т. е. тангенсом угла касательной с направлением оси абсцисс в каждой данной точке характеристики (первая производная расхода тепла по выработке), является так называемым дополнительным (или частичным) удельным расходом. Это не что иное, как предел отношения приращения расхода тепла к приращению выработки при стремлении этого последнего (т. е. приращения выработки) к нулю.

Следовательно, приближенную кривую частичного удельного расхода можно построить путем вычисления отношений достаточно малых приращений расхода к соответствующим приращениям выработки.

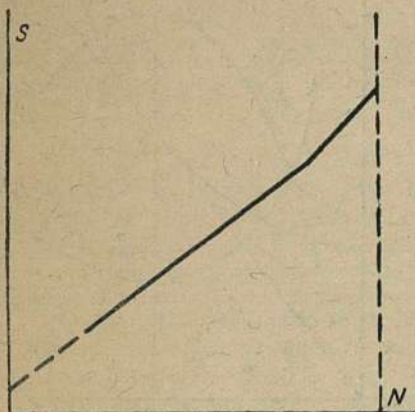
По кривой полного удельного расхода можно выбрать наиболее экономичный из двух или нескольких агрегатов, если предстоит включить в работу один из них.

По кривым дополнительного удельного расхода можно найти наиболее выгодную, с точки зрения экономии топлива, комбинацию нагрузок двух или нескольких агрегатов, работающих совместно. Эта наилучшая комбинация нагрузок соответствует равенству дополнительных удельных расходов совместно работающих агрегатов.

Иначе говоря, основное правило сводится к тому, что при возра-

станции общей нагрузки следует в первую очередь загружать тот из агрегатов, который в данный момент работает в точке с наименьшим дополнительным удельным расходом, т. е. с наименее крутым подъемом тепловой характеристики.

В целом ряде случаев тепловая характеристика агрегата может быть представлена в виде прямой линии, т. е. соответственно уравнению $S = a + bN$.



Фиг. 5

У современных крупных паровых турбин, работающих после достижения своей нормальной (экономической) мощности за счет открытия перегрузочных клапанов, тепловая характеристика имеет вид ломаной линии и состоит из двух отрезков прямой (фиг. 5) соответственно формуле

$$S = a + b_1 N + (b_2 - b_1) (N - N_0).$$

При задании графиков станциям следует уже заранее ориентироваться на мощность котлов (если на станции небольшое число крупных котлов) с тем, чтобы не получить неудобный промежуточный график (например, для трех котлов много, а для четырех—мало).

В то же время из соображений необходимости иметь включенный (вращающийся) резерв машин может оказаться нужным вопреки соображениям экономичности включить лишние (против графика нагрузки) котлы.

В отношении современных турбин соображение о резерве вполне совпадает с требованиями экономичности, так как нормальная работа каждой из турбин при нагрузке не выше экономической (т. е. до перелома характеристики) сама собой создает в каждой из машин резерв порядка 25 %. Этот резерв должен быть, конечно, как указано выше, обеспечен включенными на паропровод котлами.

Далее, при распределении нагрузок следует учитывать технические минимумы нагрузок котлов и машин и пропускные способности всех элементов оборудования станции (вплоть до регулировочных трансформаторов, реакторов и т. п.).

10. Баланс реактивной мощности

Очень существенным соображением при определении рабочих режимов станций и, в частности, числа машинных агрегатов, включаемых в работу, и степени их загрузки является соблюдение баланса реактивных мощностей в системе.

Здесь на первый взгляд казалось бы возможным применить метод, вполне аналогичный распределению активного графика по станциям. Однако это не совсем так.

Прежде всего совмещенный (т. е. общий) реактивный график всех генераторов объединения, как уже указывалось, содержит в себе гораздо больше (в процентном отношении) потерь распределения, чем активный, а именно порядка 30 — 40 %. К тому же размер этих потерь очень сильно изменяется с изменением распределения нагрузок по станциям, т. е. изменением распределения энергопотоков в системе.

Таким образом сам подлежащий распределению график непосредственно и очень значительно зависит от этого распределения. Это создает несомненные трудности.

Другого рода трудности происходят от того, что наибольшая реактивная мощность, которая может быть получена от генератора, зависит в каждом данном конкретном случае от активной нагрузки, назначенной генератору, и от напряжения, которое по условиям работы системы следует держать на данном генераторе. Чем меньше активная нагрузка и чем выше напряжение, тем больше может быть взята реактивной мощности.

Изложенные соображения показывают, что распределение реактивного графика по станциям и агрегатам может в сколько-нибудь сложных случаях потребовать последовательного рассмотрения ряда вариантов. В то же время оптимальный вариант может потребовать некоторого перераспределения активных нагрузок или даже пуска лишних (с точки зрения активного графика) агрегатов. В последнем случае мы говорим, что при назначенных по активному графику машинах оказался недостаток реактивной мощности в системе.

В энергосистемах со смешанным составом потребления (при относительно значительном развитии промышленного сектора потребления) недостаток реактивной мощности наблюдается преимущественно в летние месяцы, когда резко падает по сравнению с зимним временем осветительная нагрузка, не имеющая реактивной составляющей, а прибавляются сезонные нагрузки с относительно невысокими коэффициентами мощности. Система воспринимает это явление как ухудшение среднего коэффициента мощности.

Наиболее благоприятным случаем в этом отношении можно считать тот, если при зимнем режиме генераторы, включенные в работу из расчета покрытия активной нагрузки, всегда, в любых комбинациях и при назначении сколь угодно малого резерва, оказываются достаточными в отношении также и реактивной нагрузки. Однако даже в этом наиболее благоприятном случае, как правило, почти всегда окажется, что летом благодаря вышеуказанному ухудшению коэффициента мощности ($\cos \varphi$) машинная мощность, включенная на покрытие активной нагрузки, уже не будет достаточной по реактивной нагрузке.

Особенно резко описанные обстоятельства сказываются в системах типа Ленэнерго, имеющих в своем составе гидростанции.

Эти последние летом в соответствии с возрастанием расходов воды увеличивают свою выработку, а так как они являются станциями наиболее удаленными от центров потребления, то с увеличением их вы-

работки резко возрастают реактивные потери в линиях. Кроме того, стремление во что бы то ни стало обеспечить гидростанциям наивысший достижимый $\cos \varphi$ (во избежание излишнего слива воды) ценой соответствующего снижения $\cos \varphi$ паровых станций (т. е. получения от них большой реактивной мощности) ставит эти последние в отношении покрытия требуемого от них летнего реактивного графика в особо тяжелые условия и приводит к необходимости пуска генераторов специально на покрытие реактивного графика.

Вышеописанное положение вещей в системе, определяемое как недостаток реактивной мощности, не всегда может быть благополучно разрешено, так как в целом ряде случаев нет свободной мощности генераторов, которая могла бы быть использована сверх потребной по активному графику, а нет ее потому, что генераторы находятся в годовой ревизии. В этих случаях остается либо заведомо идти на снижение напряжения в системе, обеспечивая в то же время полное покрытие активного графика (полное — если не считать его естественного снижения от посадки напряжения), либо отказаться от покрытия части нагрузок, но сохранить норму напряжения.

Обычно идут по первому пути, пока снижение не доходит до недопустимых пределов. Критерием недопустимости сниженного напряжения может явиться помимо качества работы осветительных токоприемников также и чрезмерное возрастание тока электродвигателей и, наконец, предел устойчивости параллельной работы.

11. Нормирование удельного расхода топлива

По существу дела оперативный план должен был бы являться тем планом, по которому система в целом и ее составные части отчитываются в своей производственной деятельности.

Однако в силу соображений, связанных в основном с осуществлением хозрасчетных взаимоотношений и с учетом выполнения директив руководящих органов, критерием далеко не всегда может являться именно оперативный план.

Во всяком случае, на основе какого бы плана ни происходил учет достижений энергетического предприятия за истекший период, этот учет не может сводиться, как в других отраслях промышленности, к сопоставлению плановых и отчетных данных.

Все показатели энергетического предприятия определяются в основном и главным образом режимом работы предприятия, а фактический режим станции, работающей в общей системе, может сколь угодно значительно отличаться от планового. При этом оба могут быть, а при правильной постановке дела и должны быть оптимальными — плановый для условий, намечавшихся при составлении плана, а фактический для фактической обстановки.

Особенно резкая разница может получиться при наличии в составе системы хотя бы одной гидростанции, так как правильный прогноз

выработки гидростанции далеко не всегда удается, даже в порядке оперативного планирования. Между тем, отступление фактической выработки гидростанции от заданной, как правило, влечет за собой вынужденное изменение режимов хотя бы одной из паровых станций.

Таким образом фактические показатели работы станции, и в первую очередь главный из этих показателей — удельный расход топлива, должны оцениваться путем их сравнения не с заданными показателями, а с теми, которые являлись бы нормальными для фактически имевшего место режима.

Для того чтобы такое сравнение было возможно, необходимо прежде всего уметь находить нормальные показатели — в частности нормальный удельный расход. А это в свою очередь требует наличия: 1) вполне обоснованных и детально проработанных норм по всем отдельным переходам производственного процесса станции (что в конечном счете сводится к нормированию потерь во всех частях основного энергопотока, начиная от топки котла и его ответвлений); 2) твердо установленного метода расчета и даже определенной расчетной формы для единообразного получения нормального удельного расхода, исходя из норм и режима.

Несомненно, что эти детализированные нормы должны постоянно обновляться (на основе, главным образом, испытаний оборудования) и должны быть источником непрерывного совершенствования методов эксплуатации и применения рационализаторских мероприятий.

В системе Ленэнерго с 1933 г. применяется именно такой метод расчета и отчетности по удельным расходам, причем имеются как тщательно разработанные и вполне обоснованные нормы, так и твердо установленная форма расчета, сведенная к официально утвержденному печатному бланку. В этом бланке дан весь последовательный ход расчетов, даны нужные формулы и даны все вообще необходимые указания с тем, чтобы при каждом данном режиме станции, данном состоянии оборудования и данном качестве топлива правильно произведенный расчет приводил бы всегда (в пределах точности подсчета) к одной определенной цифре.

В тесной связи с вышеуказанным методом расчета и учета удельного расхода стоит и метод поощрения персонала за экономию топлива.

Поскольку нормы для исчисления удельного расхода совершенно жестки и многократно выверены, то никакой экономии против удельного расхода, исчисленного по этим нормам, добиться, как правило, невозможно без применения каких-либо конкретных технических усовершенствований. Но технические усовершенствования уже меняют в какой-то степени нормальный технологический процесс и должны быть соответственным образом отражены в нормах.

Совершенно очевидно, что прежде всего должно поощряться удержание норм, поскольку эти нормы действительно являются жесткими.

Поэтому в целях создания премиального фонда заданным считается не тот удельный расход, который получился как техническая норма в результате расчета по нормам, а некоторый намеренно увеличенный удельный расход, который может быть назван эксплуатационной нормой. Увеличение составляет несколько процентов (например, 3 %).

В случае если фактический удельный расход окажется ниже даже технической нормы, это может означать либо ошибку в учете, либо неправильность норм, лежащих в основе расчета, либо наличие какого-либо нового технического усовершенствования. Так или иначе в этом случае премиальный фонд не перечисляется на счет станции впредь до того, как не будут даны исчерпывающие объяснения достигнутой экономии топлива.

Всякое техническое усовершенствование немедленно отражается в технической норме (которая тем самым постоянно сохраняет свое ведущее значение), но в течение некоторого времени служит источником увеличения премиального фонда, а по истечении установленного срока учитывается также и в эксплуатационных нормах.

Выплата премии отдельным работникам в пределах премиального фонда производится по частным показателям (например, для кочегаров — содержание CO_2 , температураходящих газов и т. д.), исчисляемым по бригадно или индивидуально.

12. Характерные приемы оперирования с графиками нагрузки

На всех почти этапах оперативного планирования мы так или иначе имеем дело с точным графиком нагрузки.

Оперируя графиком нагрузки, необходимо иметь в виду некоторые особенные его свойства, которые при неправильном подходе к делу могут привести к серьезным и досадным недоразумениям. Я здесь отмечу только три основных случая, как наиболее существенные.

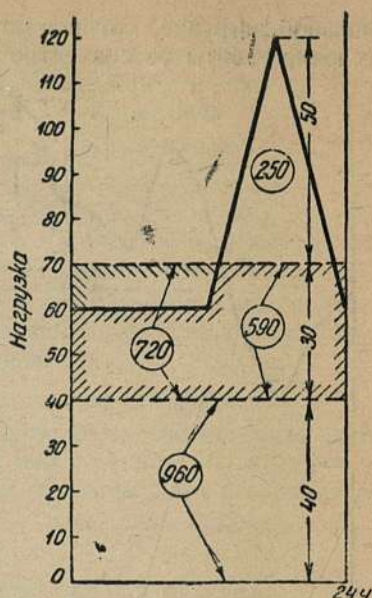
Первый — это снятие некоторой нагрузки с графика в целях снижения максимума. С этим случаем мы имеем дело, главным образом, при регулировании графика, о чем уже говорилось в предшествующем изложении этого вопроса (см. § 8).

Если нужно снизить максимум на некоторую величину H (фиг. 3), то нельзя начало и конец снижения устанавливать произвольно. Надо на графике провести горизонталь на высоте максимума, остающегося после снижения, и начинать снижение не позже, как в точке пересечения горизонтали с восходящей ветвью снижаемого пика, и закончить снижение не ранее, как в точке пересечения горизонтали с нисходящей ветвью пика. Невыполнение этого правила приведет к тому, что максимум в действительности не будет снижен на требуемую величину, а появится лишь соответствующий провал на графике (фиг. 3).

Следует отметить, что такие ошибки, несмотря на их очевидность, на практике имели место, почему на этот вопрос здесь и обращается внимание.

Второе положение, которое следует отметить, относится в основном к § 9 и сводится к тому, что нельзя, не вычертив общий график, распределять его между станциями, руководствуясь только тем, чтобы сумма выработок отдельных станций была равна суммарной выработке и сумма нагрузок в момент общего максимума оказалась бы равной этому общему максимуму.

Рассмотрим в качестве примера фигуру элементарно простой конфигурации (фиг. 6), состоящую из прямоугольника с высотой—60 мвт и основанием—24 час., т. е. имеющего в некотором масштабе площадь 60 мвт×24 часа=1 440 мвтч, и треугольника с высотой—60 мвт и основанием—12 час., т.е. площадью 360 мвтч. Таким образом общая выработка составляет 1800 мвтч, а общий максимум—120 мвт.



Фиг. 6

Руководствуясь только цифровыми данными, мы могли бы распределить выработки и максимум между тремя станциями таким, например, образом:

	Выработка	Максимум
I ст.	960 мвтч	40 мвт
II ст.	720 "	30 "
III ст.	120 "	50 "
Итого . . .	1800 "	120 "

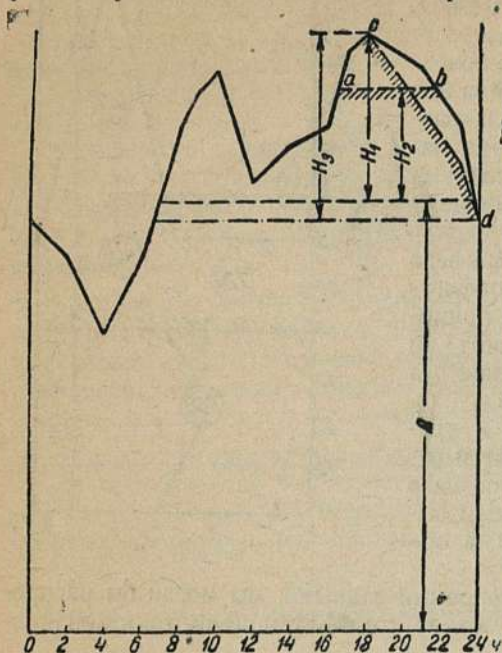
При этом выработки и максимумы в отдельности будут арифметически увязаны, но, как ясно из чертежа, общий график не будет выполнен: станция II вышла за пределы графика, а на долю станции III остается большая доля общего графика, чем мы ей наметили при распределении выработки.

Одним из правильных вариантов распределения явился бы, например, следующий (см. фиг. 6):

	Выработка	Максимум
I ст.	960 мвтч	40 мвт
II ст.	590 "	30 "
III ст.	250 "	50 "
Итого . . .	1800 "	120 "

Третья особенность графика системы, на которую следует обратить внимание, относится также к § 9 и касается вопроса о макси-

мальной нагрузке, которая может быть получена от гидростанции при условии работы ее совместно с паровыми станциями.



Фиг. 7

Пусть А (фиг. 7) представляет предельную нагрузку, которую могут взять на себя паровые станции. При этом весь пик выше нагрузки А должен быть покрыт гидростанцией. Если суточный расход воды как раз соответствует суточной выработке, равной площади этого пика, то гидростанция выполнит предъявленное к ней требование, график в целом будет покрыт, но максимальная нагрузка гидростанции будет жестко определена высотой этого пика H_1 , и больше мы от станции не получим, какова бы ни была мощность ее машин.

Если расход воды окажется недостаточным для покрытия пика, то остается либо покрыть максимум, а затем отключить часть нагрузки (ли-

ния cd на фиг. 7), либо прибегнуть к отключению заранее и в таком случае еще меньше использовать мощность машин гидростанции (линия ab).

Наконец, если расход воды соответствует выработке, превосходящей площадь того пика, который остается после предельного использования паровых станций, то гидростанция снимет часть выработки с паровых станций и сможет развить мощность, не ограничиваемую высотой пика, снимаемого при равной нагрузке паровых станций. За счет некоторых повышений и провалов в графике этих последних гидростанция даст соответственно повышенную мощность, если бы это потребовалось (хотя в общем случае такой режим нецелесообразен).

В качестве общего вывода можем отметить, что максимальная нагрузка гидростанций в условиях работы в системе далеко не всегда определяется, даже при сколь угодно глубоком суточном регулировании, мощностью машин, а зависит от конфигурации общего графика, расхода воды и степени загрузки паровых станций системы.

13. Оформление производственного задания (оперативного плана)

В отношении оперативного планирования остается еще сказать несколько слов о самом оформлении плана.

Имея конкретно в виду месячный оперативный план, можно рекомендовать прежде всего построение подекадных средних графиков (общих и по станциям) и графика абсолютного месячного максимума. Это одинаково относится к активным и реактивным графикам.

Затем обязательными являются еще четыре таблицы:

1. Выписка из подекадных графиков (и графика дня абсолютного максимума) трех-четырёх характерных точек (по станциям), например, ночной минимум, утренний максимум и вечерний максимум. На той же таблице дается подекадно производственная мощность станций.

2. План ревизий и ремонтов основного оборудования системы (котлы, машинные агрегаты, устройства топливоподачи, трансформаторы первичных подстанций, линии электропередачи).

3. Подекадные среднесуточные выработки по станциям.

4. Месячные выработки электро- и теплоэнергии по станциям (и в сумме по системе), ориентировочные удельные расходы, условное топливо и количество натурального топлива по отдельным его видам и сортам для каждой из станций.

14. Общая характеристика энергетической системы

Энергосистема в нашем понимании охватывает весь комплекс установок — от подъездных путей топливоподачи станций и до потребительских токоприемников включительно. При этом современная энергосистема должна отличаться органической взаимной увязанностью отдельных своих частей, что обуславливает целый ряд технико-экономических преимуществ.

В то же время, однако, эта тесная увязка ведет к вынужденности целого ряда соотношений и общих эксплуатационных показателей системы.

Для того, чтобы в некоторой степени освободиться от этих вынужденных соотношений, т. е. ослабить воздействие системы в целом на отдельные ее элементы (как при нормальном, так и при аварийном режиме), принимаются специальные меры. Так, например, для того чтобы авария в одной части системы не отражалась на системе в целом, обращается особое внимание на селективность и быстроту действия релейной защиты. Для того чтобы при снижении частоты или напряжения в системе сохранить в наибольшей степени работоспособность механизмов собственных нужд на каждой из станций, принимают целый ряд специальных мер — вплоть до установки отдельных агрегатов собственных нужд. Для того чтобы при распределении реактивных нагрузок не приходило к вынужденным и притом в некоторых случаях недопустимым режимам напряжения в отдельных пунктах системы, широко применяют как специальные генераторы реактивной мощности (синхронные компенсаторы), так и различные устройства для непосредственного регулирования напряжения: индукционные регуляторы, регулировочные трансформаторы различных типов, бустеры.

Чем более дифференцированы эти регулирующие устройства, тем больше степеней свободы мы имеем в смысле обеспечения требуемых режимов напряжения. Наилучшие результаты — при предельно дифференцированном регулировании, т. е. при наличии местных регуляторов напряжения вплоть до фидерных регуляторов.

Для того чтобы получить достаточную свободу действий в отношении распределения активных токов в отдельных частях системы, применяют специальные устройства в виде так называемых поперечных трансформаторов.

К той же категории мероприятий, имеющих целью лимитировать воздействие системы в целом на отдельные ее элементы, можно отнести и секционирование электрической схемы системы в целях ограничения мощности коротких замыканий.

Итак, характерным для современной энергосистемы является единство основного энергетического режима и взаимосвязанность эксплуатационных параметров при наличии специальных средств для обеспечения некоторой независимости отдельных частей системы в целях достижения оптимальных режимов в смысле бесперебойности работы и качества энергии.

Эти особенности современной энергосистемы делают совершенно очевидным необходимость централизованного оперативного управления, оснащенного всеми средствами для быстрой и достоверной информации о положении в системе и для столь же быстрого и четкого командного воздействия на отдельные элементы системы.

Функции такого оперативного управления системой выполняет диспетчерская служба системы.

15. Основные задачи и условия оперативного управления системой

Задачи текущего оперативного управления системой сводятся к обеспечению следующих четырех основных условий работы системы:

- 1) бесперебойность;
- 2) надежность;
- 3) качественность;
- 4) экономичность.

Между бесперебойностью и надежностью мы делаем различие в том смысле, что бесперебойность означает отсутствие нарушений энергоснабжения в каждый данный момент, а надежность означает обеспечение бесперебойности в ближайшем и более отдаленном будущем (т. е. имеет в виду, главным образом, сохранность оборудования).

Перечисленные четыре основных условия могут быть дополнены еще условием безопасности эксплуатации для персонала.

Кроме того, оперативное управление системой в каждый данный момент должно быть согласовано с директивными указаниями высшего руководства. Иногда эти директивы в силу особых обстоятельств вынужденно противоречат на первый взгляд в той или иной мере основ-

ным условиям. Например, при дефиците некоторого основного вида топлива его сжигают совместно с суррогатным, более дорогим, топливом с тем, чтобы не стоять в некоторый момент перед необходимостью работать только лишь на суррогатном топливе, что технически может оказаться неосуществимым.

Наконец, оперативное управление системой должно участвовать в мероприятиях, направленных к дальнейшему совершенствованию системы, что в основном сводится к обеспечению проведения различных испытаний и опытов в системе.

Перечислим главнейшие из мероприятий и отдельных действий, которыми достигается выполнение вышеуказанных основных условий:

1. По части бесперебойности

Предвидение особых условий нагрузки в те или иные дни. Увязанность ремонтных заявок на данный момент. Непосредственное топливообеспечение и приспособление режимов станций к топливообеспеченности их. Обеспечение особых (вынужденных) условий питания отдельных потребительских районов. Аварийная маневренность (быстрота ликвидации аварий).

2. По части надежности

Современность распоряжений о пуске агрегатов.

Рациональное резервирование заведомо слабых мест.

Общая обеспеченность резервом (холодным).

Отсутствие затяжки в планово-предупредительном ремонте оборудования.

Сообразование возможных (при данной эксплуатационной схеме системы) мощностей короткого замыкания с разрывными мощностями масляных выключателей.

Правильная настройка релейной защиты.

Аварийная осмотрительность (безболезненность ликвидации аварий для оборудования и персонала).

Бдительность в отношении состояния связи, телесигнализации, телеуправления.

3. По части качества энергоснабжения

Обеспечение надлежащего регулирования частоты в системе.

Рациональная установка анцапф у трансформаторов на намеченный отрезок времени.

Рациональное распределение реактивных нагрузок (по генераторам и компенсаторам).

Рациональное использование местных средств регулирования напряжения в пределах их значимости для системы в целом.

Обеспечение нормальных параметров отпускаемой теплоты.

4. По части экономичности

Обеспечение надлежащего состояния оборудования.

Правильный выбор пускаемых агрегатов.

Правильный выбор режима гидростанций.

Экономически рациональное распределение нагрузок между работающими агрегатами.

Обеспечение правильной последовательности и своевременности пусков и остановок оборудования.

Обеспечение минимума потерь в линиях и трансформаторах основной системы.

Сокращение аварийного недоотпуска.

5. По части безопасности

Рациональное оформление реализации ремонтных заявок (под углом зрения соблюдения техники безопасности).

6. По части выполнения директивных указаний

Соблюдение топливной политики.

Особое обеспечение энергоснабжения важнейших объектов.

16. Объем функций и основные разделы работы по оперативному управлению системой

Рассмотрев основные задачи и условия рационального оперативного управления энергосистемой, попытаемся определить объем функций этого управления и указать основные разделы этих функций.

Прежде всего надо отметить, что под функциями оперативного управления системой мы понимаем только то, что является непосредственной настройкой системы на выполнение конкретного задания и непосредственным регулированием работы (в разрезе системы) в процессе выполнения этого задания.

Следовательно, целый ряд задач текущей эксплуатации не входит в число оперативных функций в разрезе системы. Это в основном следующие задачи:

- 1) цеховые и оперативные функции на местах (на станциях, подстанциях, в сетевых районах и т. д.);
- 2) вопросы материального снабжения;
- 3) технический надзор за состоянием и ремонтом оборудования;
- 4) испытания оборудования;
- 5) техническое обследование аварий;
- 6) хозрасчетные отношения с предприятиями системы;
- 7) вопросы труда и кадров.

При осуществлении вышеперечисленных задач оперативная часть эксплуатационного отдела энергосистемы и, в частности, диспетчер-

ская служба оказывают лишь некоторое содействие в тех вопросах, где это оказывается неизбежным или целесообразным.

Так, например, в части технического надзора за оборудованием диспетчерская служба, используя налаженность своих оперативных сношений с местами, является источником информации для органов технического надзора.

При обследовании аварий диспетчерская служба, не занимаясь специально техническими деталями аварийных случаев, может и должна давать заключения и делать выводы по оперативной части (т. е. в части действий персонала).

Наконец, в части хозяйственных отношений только диспетчерская служба может зафиксировать и правильно оценить наличие штрафных или поощрительных моментов в работе отдельных предприятий системы.

Понимая оперативные функции в управлении энергосистемой так, как было сейчас пояснено, мы приходим к нижеследующим основным разделам, в которые укладывается работа оперативного (диспетчерского) персонала:

- 1) задание оперативных графиков активной и реактивной нагрузки;
- 2) разрешение и реализация ремонтных и испытательных заявок при обеспечении надлежащего резерва в системе;
- 3) составление оперативной схемы основной электрической системы и управление ею (в частности — управление уставками релейной защиты);
- 4) обеспечение непосредственного резерва: горячего и вращающегося (или выключенного);
- 5) регулирование энергетического режима электро- и теплоснабжения в соответствии с общим графиком нагрузки и действующими директивами;
- 6) маневрирование нагрузками в соответствии с топливными ресурсами;
- 7) регулирование частоты;
- 8) регулирование напряжения;
- 9) ликвидация аварий в системе;
- 10) надзор за действующим техническим оснащением диспетчерского пункта (т. е. за связью и устройствами телетехники, телеметрии и автоматики).

В эти разделы работы оперативного персонала укладываются все мероприятия и конкретные действия, которые обеспечивают бесперебойность, надежность, качественность и экономичность работы системы при безопасности ее эксплуатации.

17. Методика выполнения функций по оперативному управлению системой

По каждому из указанных разделов работы оперативного персонала рассмотрим в самом кратком и сжатом виде главные указания в отношении рациональной методики работы и отдельных технических приемов ее выполнения.

1. Оперативный график строится на основе средних графиков, указанных в оперативном плане. При этом учитывается недельное регулирование распределения выходных дней промышленных потребителей и эволюция графика на протяжении запланированного отрезка времени, а также все те тенденции, которые так или иначе могут быть отмечены. Оперативный график активной нагрузки для дневных часов задается в двух вариантах — для солнечного и для пасмурного дня.

2. Порядок оформления разрешения заявок на ревизию, ремонт или испытание оборудования должен быть очень четко установлен во избежание недоразумений, осложнений и даже срывов электроснабжения.

Это в особенности относится к фиксации времени начала и конца работ по заявке и так называемой аварийной готовности (т. е. времени, которое потребуются для восстановления работоспособности оборудования в случае экстренной надобности). Очень существенны также вопросы о лицах, ответственных по заявке, о способе ведения переговоров диспетчера с этими лицами, о мерах предосторожности при реализации заявок по линиям и сетевым сооружениям (во избежание попадания людей под напряжение, включения линии на заземление и тому подобных случаев).

3. Оперативная схема системы тесно связана с ремонтными работами в электрической части системы и до некоторой степени — также с ремонтами в теплосиловой части (поскольку этим затрагивается распределение потоков активной и реактивной мощности). При составлении оперативной схемы всегда надо рассматривать вопрос о большей или меньшей остроте аварийных положений в системе при тех или иных вариантах схемы и никогда не упускать из виду вопросы релейной защиты. Большую помощь при составлении оперативных схем в затруднительных случаях может оказать расчетная модель (расчетный стол). Важно также иметь систематизированный материал в виде записей фактического токораспределения в системе.

4. Обеспечение непосредственного резерва при том дефиците мощности, который наблюдается в наших энергосистемах, может обычно касаться только резервирования заведомо слабых мест. Более всего такое резервирование имеет в виду возможность снижения мощности той или иной станции вследствие резкого ухудшения качества топлива (главным образом повышенная влажность торфа).

5. Регулирование энергетического режима системы в целом должно ориентироваться на график нагрузки и при соблюдении требований топливной политики соотноситься с наиболее экономичным рас-

пределением нагрузок между работающими агрегатами (на основе указанных ранее принципов наиболее благоприятной комбинации дополнительных удельных расходов).

Соответствующие сводные таблицы данных и диаграмм должны быть всегда под руками у диспетчера. При наличии в системе гидростанций необходимо следить за наиболее целесообразным регулированием водотока, накапливая воду перед подъемами графика и своевременно ее сбрасывая.

Большое значение в деле регулирования энергетического режима приобретает наличие телеметрических устройств, дающих показания мощности, напряжения, давления пара и других параметров, могущих интересовать диспетчера.

6. Маневрирование нагрузками отдельных станций (главным образом торфяным) в зависимости от наличия и прибытия топлива представляют собой в некоторых энергосистемах и при некоторых неблагоприятных обстоятельствах (т. е. при напряженности суточного топливного баланса той или иной станции и наличии опозданий в прибытии топливных маршрутов) сложную и ответственную задачу, требующую от диспетчера напряженного внимания и большой маневренности.

7. На вопросе о сущности явлений, связанных с поддержанием нормальной частоты в системе, следует несколько остановиться.

Регулирование частоты в наших энергосистемах не автоматизировано. Диспетчер выделяет в зависимости от обстоятельств (руководствуясь имеющимися общими указаниями) ту или иную станцию в качестве ведущей, т. е. работающей не по заданному графику нагрузки, а по частотомеру, имея задачей удерживать частоту в норме (с отклонениями, не превышающими установленный допуск).

Турбинам, работающим совместно (в составе энергосистемы), придается всегда статическая (неизодромная) характеристика регулирования числа оборотов, т. е. такая характеристика, при которой по мере возрастания нагрузки обороты падают (в соответствии со степенью неравномерности регулирования).

Это достигается наличием так называемой обратной связи между поршнем сервомотора и его распределительным золотником (управляемым от центробежного маятника).

Предположим, что общая нагрузка системы в некоторый момент возросла, тогда задача регулировщика (или автоматического прибора регулирования) на ведущей станции состоит в том, чтобы совершенно оградить остальные (не ведущие) машины от каких бы то ни было изменений нагрузок, от каких бы то ни было колебаний и процессов в их регулирующих устройствах и взять всю добавочную нагрузку на ведущую машину, не сбавив ее обороты и не снизив частоту в системе. Это можно сделать при статической характеристике только таким образом, чтобы характеристику сдвинуть, переставить (приблизительно параллельно самой себе) в новое положение, при котором прежнее число оборотов и прежняя частота будут соответствовать другой (в

данном случае большей) нагрузке. Иначе говоря, ведущая машина возьмет на себя добавочную нагрузку и останется на прежних оборотах, и в системе будет сохранена тем самым нормальная частота. Аналогично — и при сбросах нагрузки.

Вышказанный сдвиг характеристики достигается либо воздействием на степень жесткости пружин центробежного маятника, либо видоизменением обратной связи золотника с поршнем сервомотора.

Эти операции осуществляются путем дистанционного управления специальным электродвигателем (очень малой мощности), установленным при соответствующем механизме регулирующего устройства.

Таким образом, когда машины работают в объединенной энергосистеме, то независимо от того, будет ли иметь место регулирование от руки или путем автоматического устройства, все равно осуществляется воздействие тем или иным способом извне на настройку регулирующего механизма и все регулирование частоты сводится к тому, чтобы брать на ведущую машину добавочную нагрузку или сбрасывать нагрузку, ограждая остальные параллельно работающие машины от каких бы то ни было изменений в их регулировочных устройствах.

При наличии согласованности работающей мощности ведущей станции с нагрузкой системы и натренированности персонала удержание чистоты в норме с отклонениями в пределах $\pm 0,15$ герца в большинстве случаев (при смешанном составе потребителей и большом их числе) не представляет затруднений. Это, конечно, далеко от той точности регулирования, которая достигается при его автоматизации (до $\pm 0,01$ герца), но практически достаточно — в особенности при наличии корректирования частоты помощью синхронных часов (с тем чтобы допустимые отклонения не были односторонними).

Лучше всего регулирование частоты осуществляется на гидростанциях (при бытовом расходе воды ниже того, который соответствовал бы полной мощности машин).

На паровых станциях регулирование частоты (при рациональном режиме других станций системы) хорошо удается и является достаточно экономичным скорее всего на станциях с небольшим числом крупных котельных единиц — при наличии достаточно гибкого регулирования тяги и скорости решеток.

Дело в том, что при большом числе мелких котельных единиц постоянные снижения и повышения нагрузки совершенно расстраивают стройность совместной работы котлов — вплоть до полных остановок и новых растогок. Это, конечно, и не экономично и вредно отзывается на состоянии котлов и к тому же затрудняет точность регулирования.

Целесообразность регулирования частоты на крупных котельных и машинных единицах обязательно требует, как уже указывалось, наличия рационально составленного и своевременно корректируемого режима остальных (не регулирующих) станций системы.

Это означает, что закономерные, заранее предвиденные, повышения и понижения общего графика (в особенности, если они резкие) должны надлежащим образом распределяться на несколько станций с

тем, чтобы на долю регулирующей станции приходились, главным образом, только случайные (нерегулярные) колебания (с малым периодом и малой амплитудой), налагающиеся на закономерные (основные) колебания.

Требования топливной политики могут, однако, в некоторых случаях привести к необходимости во что бы то ни стало вести регулирование частоты на так называемой пиковой (обычно устарелой) станции с мелкими котельными единицами.

8. Относительно регулирования напряжения частично уже было сказано ранее при описании особенностей, присущих современной энергосистеме (см. § 14). Если система оснащена устройствами для местного регулирования напряжения и если к тому же это регулирование автоматизировано, то проблема тем самым решена, и распределение потоков реактивной мощности в системе становится в значительной степени самостоятельной, замкнутой в самой себе, задачей, уверенно и сравнительно просто разрешаемой, исходя из принципа наименьших реактивных потерь. Этот принцип требует при прочих равных условиях загрузки реактивной мощностью в первую очередь генераторов, находящихся ближе всего к местам потребления реактивной мощности. Свобода выбора в этом направлении во многих случаях может быть стеснена распределением активных нагрузок и необходимостью компенсировать в некоторых случаях (как это было указано ранее в § 10) заведомую недовыработку реактивной мощности гидростанциями.

При недостатке средств местного регулирования напряжения графики напряжения задаются в порядке оперативного планирования для станций и тех из подстанций, где имеются синхронные компенсаторы. Градации напряжения по часам суток и допуски колебания согласуются с фактическими возможностями, выявляемыми расчетом и наблюдениями. При этом приходится в отдельных случаях идти на загрузку синхронных компенсаторов отстающим током. Рациональное управление анцапфами трансформаторов в основных узлах системы является одним из условий правильного использования реактивных мощностей и улучшения условий регулирования напряжения.

В некоторых системах конфигурация основных сетевых связей благоприятствует выделению одной из станций в качестве ведущей (регулирующей) по реактивной мощности. Такая станция регулирует возбуждение своих генераторов, ориентируясь на отклонения напряжения в контрольных пунктах системы от заданного напряжения на этих пунктах.

В наших системах при их крайне ограниченных резервах иногда наступают (в летнее время преимущественно) периоды так называемого недостатка реактивной мощности. Причины этого явления были пояснены при изложении вопроса об оперативном планировании (см. § 10).

Непосредственно же в процессе управления режимом констатируется прежде всего пониженность напряжения у потребителей при невозможности увеличения возбуждения генераторов (иногда — при по-

ниженном их напряжении). Это в свою очередь вызвано невыгодным соотношением между активной нагрузкой и коэффициентом мощности ($\cos \varphi$). При чрезмерном общем понижении напряжения (и достигнутом уже оптимальном токораспределении) единственным выходом из положения является частичный сброс нагрузки.

Проще всего осуществить сброс смешанной нагрузки (как активной, так и реактивной); при этом $\cos \varphi$ практически мало изменится, а активная нагрузка упадет. Теоретически можно также прибегнуть к сбросу чисто реактивной нагрузки, т. е. к повышению $\cos \varphi$ при неизменной активной нагрузке, можно, наконец, помочь в некоторой степени и сбросом чисто активной нагрузки, например, осветительной, тогда окажется возможным получить от генераторов больше реактивной мощности (при соответствующем ухудшении $\cos \varphi$).

В конечном счете в разрезе системы в целом дело сводится по существу к недостатку кажущейся мощности ($3 \cdot E \cdot J$).

Однако благодаря тому, что мы стремимся обеспечить в первую очередь полное покрытие активной нагрузки, мы отмечаем в описываемых случаях недостаток именно реактивной мощности генераторов.

Такой подход к вопросу является наиболее удобным в эксплуатационной практике, и поэтому понятие о недостатке реактивной мощности имеет все основания и впредь фигурировать в нашей научно-практической терминологии.

9. Проблема ликвидации аварий в энергосистеме настолько специфична и представляет собой столь обширную область, что никаким образом не может явиться здесь предметом рассмотрения.

Отметим только, что в ликвидации системных аварий должны в разумном соотношении комбинироваться аварийная маневренность (быстрота ликвидации) и аварийная осмотрительность (т. е. безболезненность для оборудования и безопасность для людей). Громадное значение в деле ликвидации аварий имеет качество связи и наличие телесигнализации — в особенности в отношении положения главнейших масляных выключателей системы.

Целесообразно скомпонованный световой диспетчерский щит с автоматизированной сигнализацией, отмечающей не только положение масляников, но и наличие или отсутствие напряжения на отдельных элементах системы, явился бы особенно ценным вкладом в дело ликвидации аварий. Дальнейшим усовершенствованием явилось бы телеуправление некоторыми из масляных выключателей непосредственно с диспетчерского пульта и, наконец, автоматизация тех операций, которые при некоторых характерных аварийных положениях в системе являются неоспоримыми.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
В в е д е н и е	3
1. Особенности энергетического производства	4
2. Понятие об оперативном планировании энергопроизводства	5
3. Показатели оперативного планирования	5
4. Основы метода синтетического планирования	6
5. Практический комбинированный метод оперативного планирования	7
6. Анализ суточных графиков нагрузки	9
7. Оценка влияния новых присоединений	13
8. Регулирование электрических нагрузок	14
9. Распределение нагрузок между станциями и агрегатами	17
10. Баланс реактивной мощности	20
1. Нормирование удельного расхода топлива	22
12. Характерные приемы оперирования с графиками нагрузки	24
13. Оформление производственного задания (оперативного плана)	26
14. Общая характеристика энергетической системы	27
15. Основные задачи и условия оперативного управления системой	28
1) по части бесперебойности	29
2) " " надежности	29
3) " " качества энергоснабжения	29
4) " " экономичности	30
5) " " безопасности	30
6) " " выполнения директивных указаний	30
16. Объем функций и основные разделы работы по оперативному управлению системой	30
17. Методика выполнения функций по оперативному управлению системой	32