

УДК 621.311.1.019.3 : 621.643.006.8

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

Ю. Н. РУДЕНКО

(Иркутск)

Рассматривается проблема надежности питания потребителей больших систем энергетики (БСЭ), как составляющих топливно-энергетического комплекса. Формулируются основные научно-методические задачи в области надежности БСЭ. Библ. 19. Стр. 7-17. Дискуссия 17-24.

**Введение.** Все более высокие темпы электрификации народного хозяйства, существенное увеличение доли нефти и природного газа в структуре топливно-энергетического баланса, развитие атомной энергетики и угольной промышленности характеризуют основные тенденции развития топливно-энергетического хозяйства как нашей страны, так и всех развитых стран мира. Существенно возрастает роль комбинированных установок, производящих и использующих различные виды энергии и топлива (теплоэлектроцентрали, нефтеперерабатывающие заводы и т. п.). Основой современной энергетики становятся крупные специализированные системы (электроэнергетические, газоснабжения, нефтеснабжения, угле-снабжения, теплоснабжения городов и промышленных центров, водоснабжения), некоторые из которых охватывают территории целых стран и даже групп стран. Все это приводит к постоянному усилению физико-технических и экономических связей между различными звеньями топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Взаимосвязи специализированных систем энергетики, определяемые, в первую очередь, взаимозаменяемостью различных видов энергоресурсов и возможностью взаимопомощи систем на различных иерархических уровнях, очень сложны и неизбежно требуют совместного изучения этих систем при выработке оптимальных с народнохозяйственной точки зрения решений по развитию различных отраслей энергетики, по выбору параметров и размещению сооружаемых установок и объектов, по управлению отдельными звеньями этого сложнейшего комплекса [1].

Указанные обстоятельства заставляют считать необходимым в процессе выработки решений при планировании развития, проектировании и эксплуатации больших систем энергетики (БСЭ), направленных на обеспечение надежности топливно- и энергоснабжения потребителей, учитывать тесные взаимосвязи систем, образующих топливно-энергетическое хозяйство нашей страны. Это требует, в свою очередь, теоретического, методического и практического решения сложного комплекса задач.

В настоящей статье рассматривается межотраслевой характер проблемы надежности в БСЭ, анализируются возможности общего методического подхода к исследованию надежности технологически различных (специализированных) систем энергетики, дается краткая оценка состояния разработки методов исследования надежности и формулируются основные задачи и содержание научных и научно-технических работ в области надежности БСЭ.



Межотраслевой характер проблемы надежности в системах энергетики. В отдельных электроэнергетических системах (ЭЭС) страны недоотпуск потребителям электроэнергии из-за ограничений по топливу на тепловых электростанциях (ТЭС) бывает соизмерим с недоотпуском электроэнергии вследствие аварийности оборудования, а иногда даже превышает его. По-видимому, что недоотпуск электроэнергии вследствие ограничений по топливу, предупреждение о которых дается заблаговременно, не то же самое, что недоотпуск электроэнергии из-за аварийности оборудования. Но, во-первых, об ограничении отпуска электроэнергии вследствие аварийности оборудования во многих случаях (когда речь идет не о внезапных аварийных отключениях поврежденного оборудования при действии релейной защиты и противоаварийной автоматики) потребители также могут быть предупреждены (правда, с меньшей заблаговременностью), а во-вторых, соотношение недоотпуска электроэнергии по этим двум причинам таково, что заставляет обратить серьезное внимание на надежность топливоснабжения электростанций.

Не редки случаи, когда на некоторых ТЭС запас топлива значительно ниже нормативного. Топливо-транспортные службы районных энергоуправлений (РЭУ) ЭЭС, служба топливных режимов и топливоиспользования центрального диспетчерского управления (ЦДУ) Единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС) СССР, топливо-транспортное управление Минэнерго СССР в большой степени заняты работой по оперативному топливоснабжению электростанций.

Следует заметить при этом, что выделение фондов на топлива фондодержателям осуществляется Госпланом СССР и Госснабом СССР (по соответствующей номенклатуре) на предстоящий год с поквартальной разбивкой, исходя из среднесезонной температуры наружного воздуха. Увеличение же фондов при изменении метеорологической обстановки связано с большими, порой непреодолимыми трудностями. Вместе с тем изменение температуры наружного воздуха приводит к заметному изменению в потребности топлива. Например, для европейской части страны и Сибири расход топлива на цели отопления и вентиляции за отопительный период может отклоняться от среднесезонной величины в отдельные годы соответственно на  $\pm 15-20\%$  и  $\pm 10-12\%$ . Если же рассматривать меньшие календарные периоды (например, месяцы), то те же отклонения от среднесезонных могут достигать  $\pm 35-40\%$  и  $\pm 25-30\%$  [2].

Поставки топлива для ТЭС (угля, газа, продуктов нефтепереработки и др.) в значительной степени зависят не только от выделенных фондов, но и от возможностей их реализации, связанной с работой топливдобывающих отраслей промышленности, работой систем газо- и нефтеснабжения, работой железнодорожного, водного и автомобильного транспорта. Доставка топлива порой лимитируется транспортными емкостями (например, числом железнодорожных угольных вагонов и цистерн).

Между поставками топлива и его расходом на электростанциях имеется существенная диспропорция: максимальные поставки топлива осуществляются летом, когда расход его снижается. Прокладывая топливные склады электростанций регулируют годовую неравномерность потребления топлива (в основном угля) другими, менее крупными потребителями. Часто на ТЭС в летний период складывается уголь в объеме, превышающем емкость запроектированных складов в 2-3 раза, используя территорию за пределами складов и повышая высоту штабелей угля. При этом не только затрудняется «потребление» угля со складов, но и нарушаются сроки хранения угля (превышая их в 1,5-2,0 раза и более). Последнее обстоятельство приводит к снижению качества угля и, следовательно, к повышению его расхода и к снижению надежности электро- и теплоснабжения из-за ухудшения условий работы топливно-подготавливающих систем и парогенераторов.

Топливоснабжение электростанций непосредственно связано с эконо-



мичностью работы ЭЭС. Об одной стороне этой связи — ухудшении качества угля при нарушении сроков его хранения — уже говорилось. Вторая сторона — «классическая» для электриков — касается оптимизации режимов ЭЭС. Вместе с тем текущее топливоснабжение электростанций и оперативная работа диспетчерских служб осуществляются до тех пор, пока нет ограничений по топливу, практически независимо, по крайней мере, на уровнях районных и объединенных ЭЭС.

Эти замечания имеют целью показать существенную зависимость надежности электро- и теплоснабжения потребителей ЭЭС от надежности топливоснабжения электростанций и вместе с тем принципиальную возможность воздействия на повышение надежности топливоснабжения: потребность в топливе можно прогнозировать с учетом прогноза метеорологических условий; надежность поставки топлива различными видами транспорта (трубопроводного в первую очередь) может быть оценена; естественна задача оптимального резервирования топлива и емкости его хранения — как основной меры повышения надежности топливоснабжения [3, 4].

Аналогично можно было бы проиллюстрировать взаимосвязи между различными отраслями топливно-энергетического комплекса на примерах систем газоснабжения, нефтеснабжения и даже углеснабжения [3, 4].

Наличие этих взаимосвязей заставляет считать необходимым рассмотрение надежности функционирования (в проектном и эксплуатационном планах) ТЭК в целом — надежности топливо- и энергоснабжения различных потребителей. В решении совещания по основным методическим проблемам надежности больших систем энергетики отмечено, в частности [5], что в современных условиях развития топливно-энергетического хозяйства страны, а тем более в перспективе, проблема надежности приобретает межотраслевой характер. Это вызывает необходимость не только согласованных решений о развитии отдельных (специализированных) систем энергетики, но и исследования надежности питания потребителей ТЭК страны в целом, включая обеспечение надежности при оперативном энерго- и топливоснабжении страны. В широком смысле межотраслевой характер проблемы надежности определяется также взаимосвязями систем энергетики с другими отраслями народного хозяйства: системой материально-технического снабжения, транспортными системами, энергомашиностроением, металлургией, приборостроением и т. д., от технического уровня и темпов развития которых непосредственно зависит надежность систем энергетики и их оборудования.

В настоящее время вопросы надежности изучаются и решаются в основном лишь раздельно по отраслевым системам энергетики [6-12 и др.]. В межотраслевом плане эти вопросы практически не решаются. В электроэнергетике надежность топливоснабжения полагается обычно 100%-ной, в газоснабжении полагается 100%-ной надежность питания потребителей резервным топливом (углем, мазутом) и т. д. Если же используется не 100%-ная надежность по этим показателям, то их значения берутся из непонятных соображений.

В ТЭК, как и в отдельных специализированных системах энергетики, задача надежности является составной частью общей задачи оптимизации его развития и функционирования, так как обеспечиваемая надежность питания потребителей (количественные значения показателей надежности) должна быть экономически целесообразной [5]. Основными этапами для обеспечения надежности питания потребителей систем энергетики являются проектирование и планирование их развития, так как на этих этапах решаются вопросы о создании резервов и запасов различных видов, которыми в первую очередь и обеспечивается надежность питания потребителей.

Вместе с тем проектные решения для отраслевых систем энергетики на различных уровнях территориальной иерархии и в различных времен-



ных разрезах вырабатываются проектными организациями соответствующих министерств несинхронно, уровни территориальной иерархии специализированных систем энергетики не совпадают, технические нормы взаимно не согласованы и т. д. Все это заставляет считать, по крайней мере в ближайшее время, нереальным единый формализованный процесс выработки решений, связанных с обеспечением надежности питания потребителей ТЭК в целом. Основные пропорции развития топливно-энергетических отраслей, их структура рассматриваются, конечно, совместно в рамках оптимизации топливно-энергетического баланса, но на стадиях проектирования, когда системы энергетики рассматриваются в основном как технические, выработка решений по обеспечению надежности питания потребителей практически может осуществляться лишь в отдельности для каждой специализированной системы. Как же при этом (на стадиях проектирования) может учитываться взаимосвязь систем энергетики друг с другом и с другими отраслями народного хозяйства? По-видимому, только взаимосогласованными нормативными требованиями, обоснование которых должно определяться анализом надежности функционирования ТЭК в целом в различных условиях. Проблема нормирования при этом становится особенно важной.

Обратимся для примера опять к ЭЭС. Основная задача ЭЭС — надежное питание потребителей, следовательно, объектом нормирования может являться надежность электроснабжения и теплоснабжения потребителей. Вторым объектом нормирования может быть структура самой системы, включая структуру генерирующей мощности, величину резервов генерирующей мощности, структуру электрической сети, схемы коммутации электростанций и подстанций, структуру системы управления. Система состоит из элементов, следовательно, объектом нормирования может быть надежность элементов (оборудования), формирующих систему. ТЭС снабжаются топливом, следовательно, объектом нормирования может быть надежность их топливоснабжения. Система функционирует, следовательно, объектом нормирования могут являться допустимые условия функционирования системы (прежде всего, запасы статической и динамической устойчивости) [14]. Мы говорим «могут являться объектами нормирования», поскольку в зависимости от постановки задачи, территориального или временного уровня ее решения декомпозиция может быть различной и необходимость в использовании тех или иных нормативных требований может не возникать.

Нормативные требования к структуре системы, надежности оборудования, надежности топливоснабжения, допустимым условиям функционирования системы должны быть такими, чтобы при их выполнении априори обеспечивались значения показателей надежности питания потребителей не ниже нормативных [14]. Из перечисленных объектов нормирования два — надежность оборудования и надежность топливоснабжения ТЭС — определяют связи электроэнергетики с другими отраслями народного хозяйства.

Таким образом, взаимосвязь систем энергетики друг с другом и с другими отраслями народного хозяйства при учете надежности в условиях проектирования может быть обеспечена взаимосогласованными нормативными требованиями.

Сказанное не исключает необходимости разработки методологии выработки проектных решений, связанных с обеспечением надежности питания различных потребителей ТЭК, исходя не из предварительно выработанных нормативных требований, а из условий функционирования ТЭК в целом.

В эксплуатационном плане — при оперативно-диспетчерском и производственно-хозяйственном управлении — представляется необходимым вырабатывать решения, обеспечивающие повышение надежности питания потребителей систем энергетики, исходя из условий функционирования



ТЭК в целом. «Замыкающей» топливно-энергетические отрасли, по-видимому, должна быть система распределения топлив, осуществляемая Госснабом СССР (Управлением снабжения и межотраслевых связей по топливу) и его подразделениями. Соответствующая задача в научном, методическом и практическом плане в настоящее время находится лишь в стадии постановки [2, 15, 16 и др.]; ее решение должно способствовать созданию автоматизированной системы оперативного управления топливоснабжением потребителей в стране.

**О возможности единого методического подхода к исследованию надежности различных специализированных систем энергетики.** Другая сторона проблемы состоит в том, что отдельные специализированные системы энергетики обладают рядом общих свойств (особенностей), что делает возможным и целесообразным изучение (или решение) проблем их надежности с единых теоретических и методических позиций. Это тем более необходимо, потому что, как было отмечено выше, проблемы надежности питания потребителей специализированных систем должны решаться с учетом их тесной взаимосвязи в рамках ТЭК. Мы имеем хорошие примеры единого теоретического и методического подхода к исследованию технологически различных систем. Например, В. Я. Хасилевым и его школой в Сибирском энергетическом институте СО АН СССР разработаны теория гидравлических цепей и методы контурных расходов и узловых давлений для их расчета, применимые, с одной стороны, к различным трубопроводным и другим гидравлическим системам, а с другой стороны, аналогичные соответственно теории электрических цепей, методам контурных токов и узловых напряжений [17].

В качестве примера можно рассмотреть общие и отличительные свойства электроэнергетических и газоснабжающих (ГСС) систем, некоторые из которых присущи, конечно, и другим системам [2].

Общими (интересующими нас) особенностями этих систем являются следующие.

1. Значительное территориальное распределение и большое число элементов (при разумном содержании понятия «элемент» — несколько тысяч), формирующих систему. Это заставляет использовать системный подход при изучении надежности питания потребителей систем и применять различные приемы эквивалентирования при построении расчетных схем.

2. Непрерывное развитие по территории и во времени, что заставляет использовать адаптивный подход к исследованию надежности, учитывающий существующую часть системы и дискретный состав существующего и вновь вводимого оборудования.

3. Разнообразие технических средств и возможностей обеспечения надежности питания потребителей, что требует технико-экономической постановки задачи выбора оптимальных в том или ином смысле путей обеспечения надежности.

4. Наличие большого числа территориально-распределенных потребителей с различными требованиями к надежности их питания и невозможность полного отказа системы в выполнении ее функций, что обеспечивает возможность дифференцированного удовлетворения требований к надежности питания различных групп потребителей.

5. Недостаточность информации о надежности элементов системы, имея в виду как эксплуатационные статистические данные, так и данные заводов-изготовителей (недостаточность тем большая, чем с большей заблаговременностью изучается система). Эта особенность заставляет либо проводить многовариантные расчеты, либо, если эта информация задается в виде зоны возможных значений, стремиться разрабатывать и использовать методы, обеспечивающие возможность ее переработки.

6. Непосредственное участие человека в управлении процессами развития и эксплуатации системы, что заставляет учитывать его основную роль в принятии решений, а также (строго говоря) и ошибки эксплуата-



ционного персонала при управлении режимами системы (надежность человека-диспетчера как звена управления).

Отличительными (интересующими нас) особенностями рассматриваемых систем являются следующие:

1. Возможность создания резервов передаваемой потребителями энергии в ГСС (газа) в отличие от ЭЭС.

2. Возможность резервирования питания потребителей газа в ГСС другими видами топлива в отличие от ЭЭС.

3. Различный характер восстановлений после отказов в ЭЭС и ГСС. В ЭЭС основное время отказа вызвано процессом ликвидации причины аварий, т. е. временем собственно восстановления (замены). Это время может быть для условий эксплуатации системы получено статистическим путем. В ГСС основное время восстановления нормального питания потребителей после отказа определяется временем поиска повреждения, которое трудно поддается статистическому анализу.

4. Процессы в ГСС существенно более инерционны, чем в ЭЭС. Это приводит, во-первых, к необходимости анализа в ЭЭС (при исследовании надежности электроснабжения потребителей) статической и динамической устойчивости, так как требуемые корректирующие воздействия вследствие динамичности процессов в ряде случаев не могут быть обеспечены. В ГСС из-за инерционности процессов переходные явления (аналогичные явлениям, определяющим нарушения динамической и статической устойчивости ЭЭС) могут быть в большинстве случаев предотвращены при соблюдении соответствующих конструктивных и режимных ограничений. Поэтому расчеты гидравлических ударов и условий резонанса при исследовании надежности ГСС могут не производиться. Во-вторых, различная инерционность процессов в этих системах заставляет при исследовании надежности в ЭЭС анализировать существенно большее число расчетных режимов потребления, тем самым значительно усложняя задачу. Наконец, в-третьих, это приводит к отсутствию в ГСС в отличие от ЭЭС совмещенного годового графика нагрузки (сезонные и недельные совмещенные графики нагрузки существуют и в ГСС, особенно для районных систем газоснабжения).

5. Зависимость в ЭЭС в отличие от ГСС пропускных способностей связей от их местоположения в системе, режимов работы системы и состава работающего оборудования.

Если проанализировать используемые в ЭЭС и ГСС постановки задач, методы и алгоритмы анализа (т. е. вычисления показателей надежности при известных расчетной схеме системы, параметрах ее элементов, нагрузках потребителей) и синтеза (т. е. уточнение решений при проектировании и эксплуатации системы с целью обеспечения необходимой надежности питания потребителей) надежности, показатели для ее измерения, то легко заменить их общность, определяемую не только тем, что они базируются на одних и тех же математических методах (эта общность естественна), но и общностью свойств этих систем. Рядом общих свойств, дающих надежду на возможность использования единого методического подхода к исследованию надежности, обладают не только ЭЭС и ГСС, но также системы тепло- и нефтеснабжения (возможно, исключая подсистемы нефтепереработки). Что касается системы углеснабжения, то ее структура и свойства таковы, что требуют использования специфических методов для исследования надежности.

**Методы исследования надежности систем энергетики и краткая оценка состояния их разработки.** Сделаем некоторые замечания о методах, используемых для анализа надежности систем энергетики. Замечания о методах анализа, а не синтеза потому, что это проще и, кроме того, потому, что задача анализа надежности, как правило, является одной из процедур задачи синтеза. Для определенности (в том числе терминологической) будем рассматривать ЭЭС.



Используемые методы анализа надежности в зависимости от различных предположений о характере случайного процесса изменения состояний исследуемой системы, определяемого случайным характером отказов элементов, изменения внешних факторов и параметров режима, можно разделить на следующие три группы [8, 10] (это деление практически общепринято): аналитические методы, основанные на анализе случайных событий; аналитические методы, основанные на анализе случайных процессов; методы, опирающиеся на статистическое моделирование как случайных событий, так и случайных процессов.

Методические отличия процесса анализа при использовании того или иного метода определяются объектом исследования (расчетной схемой), учетом условий устойчивости системы, изменения состава элементов расчетной схемы в течение рассматриваемого периода времени, ограничений по энергообеспеченности ГЭС и водохозяйственным условиям, ограничений выработки электроэнергии ТЭЦ в зависимости от теплотребления, формой представления нагрузки в течение рассматриваемого периода времени, учетом ошибок прогноза нагрузки и ее нерегулярных колебаний, наконец, определяемыми показателями надежности.

Аналитические методы, основанные на анализе случайных событий, имеют наиболее давнюю историю: они развиваются с 30-х годов. Методы, относящиеся к двум другим группам, начали использовать только около 15—20 лет назад. В 70-е годы стали уделять все большее внимание (в СССР, США, Канаде, Франции, Италии, Румынии и других странах) развитию и практическому применению методов, оперирующих случайными процессами (как аналитическими, так и использующих статистическое моделирование). Связано это, с одной стороны, с тем, что с этих позиций могут быть получены значительно более информативные показатели надежности питания потребителей, а с другой стороны, с существенным усложнением структуры электроэнергетических систем. Статистическое моделирование случайных процессов принципиально позволяет сколь угодно полно учитывать все многообразие факторов, влияющих на значения показателей надежности (при наличии, конечно, необходимой исходной информации). Широкое же развитие аналитических методов, основанных на анализе случайных процессов, в значительной мере вызывается трудоемкостью вычислений при статистическом моделировании. В этой группе аналитических методов до настоящего времени, как правило, используются гипотезы об экспоненциальном распределении времени между отказами элементов системы и времени их восстановления. Экспоненциальное распределение вообще очень популярно в исследованиях надежности, так как существенно облегчает процессы вычислений. В данном случае его использование позволяет описывать изменение состояний системы стационарным марковским процессом, дискретным в пространстве и непрерывным во времени.

Процесс определения показателей надежности питания потребителей, какой бы метод ни использовался, всегда условно можно разделить на два этапа: вычисление в той или иной форме вероятностей возможных (случайных) состояний системы, обусловленных случайными состояниями ее элементов и значениями нагрузок в узлах в рассматриваемом периоде времени; определение обобщаемых в виде показателей надежности последствий для потребителей, вызываемых различными состояниями системы. При каждом случайном состоянии системы необходимо находить оптимальный (в силу выбранного критерия) режим покрытия ее нагрузок. Эта наиболее трудоемкая задача при соответствующих допущениях может быть сформулирована как общая или частная (транспортная) задача линейного программирования и решена, например, симплексным или двойственным симплексным методом. Трудоемкость стандартной процедуры, однако, заставляет искать иные пути организации итерационного процесса вычислений, обеспечивающие ускорение его сходимости. Эти пути могут быть раз-



личными в зависимости от структуры расчетной схемы электрической сети системы, например кольцевой, древовидной, радиальной и т. д.

Из задач синтеза основное внимание, по-прежнему, уделяется выбору величины и размещению резервов генерирующей мощности при проектировании ЭЭС и их рациональному использованию в эксплуатации. В последние годы впервые были опубликованы работы, дающие рекомендации (хотя и недостаточно практичные) по обеспечению требуемой надежности питания потребителей в краткосрочном (до суток) цикле управления за счет не только использования располагаемых резервов, но и изменения схемы электрической сети и т. д. Корректирующие воздействия вырабатываются (с необходимой для их реализации заблаговременностью), если ожидаемые (вычисленные) значения показателей надежности оказываются ниже нормативных (США, Канада, Великобритания).

Таким образом, в настоящее время практика располагает большим набором возможностей для принятия решений, связанных с учетом надежности питания потребителей при проектировании и эксплуатации ЭЭС. Однако, по существу, отсутствуют рекомендации о том, когда и какие методы исследования надежности следует использовать, для решения каких проектных и эксплуатационных задач с учетом различных заблаговременности и территориальных уровней изучения ЭЭС, какая идеализация расчетной схемы исследуемой системы допустима и почему, какие допущения о процессе функционирования системы возможны и почему и т. д. Ответы на эти вопросы должны опираться на оценку чувствительности вырабатываемых решений к изменению исходных условий и точности исходных данных, на изучение технологических и структурных особенностей ЭЭС с точки зрения надежности их функционирования, на изучение свойств потоков отказов сложных ЭЭС при различных конфигурациях и условиях их работы. В этих направлениях делаются лишь первые шаги.

Все имеющиеся методы определения показателей надежности питания потребителей рассчитаны на переработку детерминированной или вероятностно-определенной информации (в виде, например, законов распределения случайных величин). Однако на проектных уровнях исходные данные, по-видимому, в большинстве случаев должны быть представлены в виде зоны возможных значений — зоны неопределенности. Здесь может не спасти даже перебор вариантов, так как при этом приходится предполагать равномерное распределение случайной величины, заданной зоной возможных значений. Поэтому для «потребления» такой информации необходимы соответствующие методы. Кроме того, так как результаты при этом будут также получены в виде зоны, необходимо дополнительно применить методы принятия решений в зоне неопределенности. Наконец, существующие методы исследования надежности ЭЭС практически не приспособлены для использования в комплексах ныне широко разрабатываемого математического обеспечения автоматизированных систем как пластово-проектных расчетов (АСПР), так и диспетчерского управления (АСДУ).

Краткая характеристика состояния разработки методов анализа надежности, данная на примере ЭЭС, относится лишь к специализированным системам энергетики, причем не ко всем, а только к электроэнергетическим и трубопроводным. Что касается методов анализа надежности функционирования ТЭК в целом (не говоря уже о методах синтеза), то, поскольку соответствующая задача до сих пор не ставилась, отсутствуют и какие-либо методы ее решения.

Основные задачи и содержание научных и научно-технических работ. Цель исследования в рассматриваемой области — разработка принципов и методов выработки решений при проектировании, планировании и эксплуатации БСЭ, обеспечивающих требуемую надежность питания потребителей и оптимальных с точки зрения ТЭК в целом. По сути дела речь должна идти о формировании основных положений теории надежности больших систем энергетики как специфического класса больших искусственных си-



стем, характеризующихся широкой взаимозаменяемостью, с одной стороны, и относительной однородностью производимой продукции, с другой, а также особыми свойствами: материальностью основных связей (линии электропередачи, трубопроводы); неразрывностью (и даже непрерывностью) процессов производства, преобразования, распределения и потребления энергии; территориальной глобальностью; перерастанием их из экономических в технические при переходе от решений, принимаемых с большей заблаговременностью, к решениям, принимаемым с меньшей заблаговременностью [12]. В прикладном плане исследования должны привести к разработке соответствующих методических и руководящих указаний, нормативных требований, комплексов вычислительных программ, а возможно, и некоторых технических средств.

Проблема включает в себя (учитывая технологическую иерархию управления) разработку методов учета надежности при оптимизации развития и эксплуатации ТЭК в целом (как совокупности специализированных систем энергетики, объединяемых экономическими, транспортными и другими связями), а также отдельных (специализированных) систем энергетики, как составляющих ТЭК. Одной из наиболее важных задач при решении проблемы надежности питания потребителей ТЭК в целом является создание оптимальных запасов топлива и продуктов топливпереработки и резервов соответствующих производственных мощностей (запасов и резервов оптимальных по величине, качеству, структуре и территориальному размещению), а также создание системы управления запасами и резервами. Следовательно, необходимы разработка принципов и методов оптимизации запасов и резервов в системе энерго- и топливоснабжения потребителей страны, разработка методических основ автоматизированного оперативного управления запасами и резервами в ТЭК. Все это требует в свою очередь изучения структуры и свойств ТЭК и образующих его систем, характеризующих надежность их функционирования. Кроме того, задача включает в себя разработку методов прогнозирования и обеспечения надежности основного оборудования систем энергетики.

Содержание методических исследований с учетом сказанного представляется следующим.

1. Изучение общих и отличительных свойств, технологических и структурных особенностей специализированных систем энергетики, а также ТЭК в целом, представляющих интерес с точки зрения постановки задач исследования надежности, влияния на принимаемые с учетом надежности решения, связанные с планированием развития и эксплуатацией этих систем. Разработка методов оценки и численная оценка чувствительности (устойчивости) принимаемых с учетом надежности решений по развитию и эксплуатации систем энергетики и ТЭК к изменению исходных условий и точности исходных данных и определение связанной с этим необходимой точности моделирования при исследованиях надежности.

2. Выработка принципов и путей создания взаимосогласованных нормативных требований к надежности энерго- и топливоснабжения потребителей. Для этого необходимо выполнить классификации показателей надежности питания потребителей специализированных систем энергетики, определяющих частоту, продолжительность и глубину отказов в бесперебойном их питании и используемых для выработки соответствующих решений по их развитию и эксплуатации на различных уровнях территориально-временной иерархии; проанализировать пути и разработать методические основы взаимосогласованного нормирования показателей надежности питания потребителей, выработки нормативных требований к структуре и конфигурации отдельных специализированных систем энергетики (включая системы управления ими), к параметрам режима, характеризующим процессы их функционирования, и к надежности оборудования этих систем.

3. Разработка методов учета надежности при выработке решений, свя-



ванных со взаимосогласованным планированием, проектированием и эксплуатацией специализированных систем энергетики. Здесь важно классифицировать и сформулировать задачи анализа и синтеза надежности специализированных систем энергетики на различных уровнях территориально-временной иерархии; исследовать области применения существующих методов анализа надежности; разработать методы анализа надежности систем энергетики при неполной информации, а также методы оптимального синтеза с учетом надежности отдельных систем энергетики на различных условиях территориально-временной иерархии.

4. Разработка методов учета надежности и оптимального резервирования при централизованном управлении топливо- и энергоснабжением потребителей ТЭК. Начало этой работы связано с обследованием существующей системы топливоснабжения потребителей в стране и разработкой функциональной структуры связей в системе топливоснабжения. Должны быть разработаны методы моделирования функционирования ТЭК и анализа надежности ТЭК, принципы и методы оптимизации резервов и запасов в системе энерго- и топливоснабжения потребителей. На базе этих исследований должны быть разработаны методические и руководящие указания по учету надежности при выработке взаимосогласованных решений в условиях проектирования и эксплуатации систем энергетики, комплекс соответствующего математического обеспечения для АСПР и АСДУ, а также должна быть создана методика образования оптимальных запасов и резервов в энерго- и топливоснабжении страны и оперативного управления ими.

5. Разработка методических основ создания достоверной информационной базы, необходимой для исследования надежности систем энергетики и ТЭК. Здесь необходимы, в первую очередь, классификация и оценка точности необходимых исходных данных; формирование требований и условий создания единых информационных систем, обеспечивающих получение данных о надежности энергомашиностроительного, электротехнического оборудования и оборудования трубопроводных систем; анализ потоков и свойств информации о надежности оборудования.

6. Разработка методических основ прогнозирования и обеспечения надежности основного оборудования систем энергетики при его производстве, в том числе, методов исследования физико-химических процессов старения элементов оборудования; методов анализа надежности оборудования на стадиях его проектирования и изготовления; методов определения требований к надежности элементов, исходя из требований к надежности установки (оборудования) в целом; методики определения зависимости надежности оборудования от его стоимости.

7. Разработка терминологии в области надежности БСЭ, связанной с показателями надежности систем и их элементов, с обеспечением их надежности, с методами анализа и синтеза надежности систем энергетики, их оборудования и ТЭК в целом.

**Вывод.** Надежность питания потребителей специализированных систем энергетики должна рассматриваться в межотраслевом разрезе, учитывая взаимозаменяемость различных энергоресурсов и, как следствие, возможность межотраслевого взаиморезервирования. Это обстоятельство необходимо учитывать при формировании направлений исследований, разработке методов и средств обеспечения надежности топливо- и энергоснабжения потребителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Л. А. Мелентьев.* Современные проблемы энергетики. В кн. «Наука и человечество. Международный ежегодник». «Знание», 1969.
2. *Л. С. Хрилев.* О влиянии климатического фактора на перспективную структуру топливно-энергетического баланса. Теплоэнергетика, 1966, № 2.
3. *Л. А. Мелентьев, В. А. Великов, В. А. Смирнов, Ю. П. Рубенко.* Проблема надежности в топливо- и энергоснабжении. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 5.



4. *И. А. Александров, Ю. А. Кузнецов, Ю. Н. Руденко.* Общее и отличительное в исследованиях надежности электроэнергетических и газоснабжающих систем. В кн. «Методические вопросы исслед. надежности больших систем энергетики». Вып. 1. СЭИ СО АН СССР, Иркутск, 1974.
5. Решение совещания по основным методическим проблемам надежности больших систем энергетики научного совета по комплексным проблемам энергетики АН СССР. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 5.
6. *В. А. Веников, Ю. Н. Руденко, С. А. Савалов.* Задачи исследования надежности электроэнергетических систем. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 5.
7. *Ю. Н. Руденко.* Исследование надежности электроэнергетических систем при управлении их развитием и эксплуатацией. В кн. «Кибернетика — на службу коммунизму». Том 7. «Энергия», 1973.
8. *И. Я. Фурман.* Экономика резервирования мощностей газоснабжающих систем. Изд. ВНИИЭгазпром, 1972.
9. *А. В. Александров, А. И. Гарлаускас, В. А. Смирнов, Ю. А. Кузнецов.* Вопросы определения оптимального уровня надежности Единой газоснабжающей системы. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 5.
10. *А. В. Александров, Е. И. Яковлев.* Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. «Недра», 1974.
11. *В. В. Саенцкий.* Вопросы экономической оценки надежности нефтепроводного транспорта. Экономика нефтяной промышленности, 1972, № 11.
12. *М. К. Такайшвили, В. Я. Хасилев.* Об основах методики расчета надежности и резервирования тепловых сетей. Теплоэнергетика, 1972, № 4.
13. *И. Н. Абрамов.* О проблемах надежности систем водоснабжения. В кн. «Проблемы надежности систем водоснабжения». Московский инж.-стройт. ин-т им. В. В. Куйбышева, 1973.
14. *Ю. Н. Руденко.* О подходах к нормированию показателей надежности электроснабжения потребителей. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1975, № 1.
15. *А. С. Некрасов, Т. М. Полянская.* Проблема регулирования топливоснабжения. В кн. «Вопросы регулирования топливоснабжения». М., ЦЭМИ, 1972.
16. *Ю. Я. Мазур.* Проблема надежности топливоснабжения экономического района. М., АН СССР. Научный совет по компл. пробл. энергетики, 1973.
17. *В. Я. Хасилев.* Элементы теории гидравлических цепей. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1964, № 1.
18. *Ю. Н. Руденко, М. Б. Чельцов.* Надежность и резервирование в электроэнергетических системах. Методы исследования. Новосибирск, «Наука», 1974.
19. *Л. А. Мелентьев.* Исходные положения формирования теории управления большими системами энергетики. В кн. «Оптимизация и управление в больших системах энергетики». Том 1. Иркутск, Сибирский энерг. ин-т, 1970.

Поступило  
30 IV 1975