

Российская академия наук
Уральское отделение
Коми научный центр

Научные доклады
Выпуск 448

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ
АНАЛИЗА И СИНТЕЗА НАДЕЖНОСТИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сыктывкар 2002

УДК 621.311.1.

055(02)7

Н.А. Манов. Классификация задач анализа и синтеза надежности электроэнергетических систем. – Сыктывкар, 2002. - с. (Научные доклады/ Коми научный центр Уральского отделения Российской АН; Вып. 448).

Проанализированы существующие подходы к систематизации задач анализа и синтеза надежности электроэнергетических систем. Показано, что по отдельности ни одна из существующих классификаций не охватывает всех сторон комплексного свойства надежности. Разработана расширенная классификация, охватывающая все виды (подвиды) и единичные составляющие этого свойства. Предложенные группы задач анализа и синтеза надежности в классификации увязаны с территориальными и временными уровнями управления электроэнергетической системой, средствами обеспечения и причинами снижения рассматриваемого свойства.

Manov N.A. A classification of tasks of power system reliability analysis and synthesis. – Syktyvkar, 2002. – P. (Scientific reports/ Komi Scientific Centre of Ural Division of Russian Academy of Sciences; Issue 448).

Existed approaches to systematization of the analysis and synthesis tasks for Electric and Energy Systems reliability are analyzed. This paper illustrates that each classification taken separately doesn't cover all sides of complex property of the reliability. Extended classification that covers all types (subtypes) and single components of this property is developed. Proposed classes of the analysis and synthesis tasks in classifications are linked with territorial and temporal levels of Electric and Energy System management, maintenances and causes that decline considered property.

Редакционная коллегия

М.П. Рошевский (*отв. редактор*), Б.А. Голдин (*зам. отв. редактора*),
Н.В. Ладанова (*отв. секретарь*), В.А. Головкин, Н.А. Громов, А.В. Кучин,
В.Н. Лаженцев, Н.А. Манов, Ю.С. Оводов, Э.А. Савельева, А.Ф. Сметанин
А.И. Таскаев, М.В. Фишман, Н.П. Юшкин

© Н.А. Манов, 2002
© Коми научный центр
УрО Российской АН, 2002

ВВЕДЕНИЕ

В проблеме надежности систем энергетики (СЭ), включая электроэнергетические (ЭЭС), выделяют пять классов задач [1,2]: концептуальные, информационные, нормативные, исследовательские, анализа и синтеза надежности (АиСН). Первые четыре класса имеют обслуживающее значение для задач АиСН при управлении функционированием и развитием СЭ. Они рассмотрены в работах [1,2] и не являются предметом данного доклада. Значимость задач АиСН определяется тем, что они непосредственно направлены «на выработку решений по обеспечению надежности принимаемых на различных уровнях иерархии управления специализированных СЭ и энергетического комплекса в целом» [2, с. 114]. В публикациях [2-4] дана классификация задач АиСН в разрезе территориально-временной иерархии управления специализированных СЭ и укрупненно в разрезе средств обеспечения надежности и причин ее снижения. Переход к рыночной экономике, либерализация систем энергетики, а также развитие теории надежности и практики управления СЭ вызывают необходимость определенной корректировки существующей классификации задач АиСН. В настоящем докладе такая попытка сделана применительно к ЭЭС в части электроснабжения.

1. СУЩЕСТВУЮЩИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1. Классификация задач АиСН ЭЭС, разработанная Ю.Н. Руденко, М.Б. Чельцовым [1, 2]

Работа [2] является основной, в которой систематически рассмотрена классификация задач АиСН СЭ, включая ЭЭС, в разрезе территориально-временной иерархии управления. В качестве территориальных уровней управления в ней приняты: Единая ЭЭС (ЕЭЭС), объединенная ЭЭС (ОЭЭС), районная ЭЭС (РЭЭС) и предприятие (электростанция, электросеть). Временные уровни управления рассмотрены для стадий развития и эксплуатации ЭЭС. На стадии развития выделены уровни прогнозирования (на 10-20 лет) и проектирования (на 2-10 лет). На стадии эксплуатации рассмотрены три цикла регулирования: длительный (на один-два года), краткосрочный (до одного месяца) и суточный (до одних суток). В составе временных уровней не учтен уровень автоматического управления, «так как на этом уровне обеспечивается лишь автоматическая реализация решений, сформулированных на предыдущих временных уровнях» [2, с.15]. Обозначим временные уровни в порядке, в котором они перечислены: Пр, П,Д, К,С,А.

К задачам анализа Ю.Н. Руденко отнесено определение показателей надежности питания потребителей, остальные задачи АиСН рассмотрены в аспекте синтеза (обеспече-

ния) надежности. Выделенные в работе [2] укрупненные группы задач АИСН обобщены нами для разных временных уровней следующим образом:

I. Развитие ЭЭС

- I.1. Определение показателей надежности питания потребителей;
- I.2. Оценка (определение) величины, структуры и размещения резервов мощности;
- I.3. Выбор (уточнение) пропускной способности основных электропередач;
- I.4. Разработка принципов, структуры и размещения средств управления в аварийных условиях (для предприятия – выбор средств управления);
- I.5. Формирование резервов в системе собственных нужд электростанций и подстанций;
- I.6. Определение пропускной способности распределительных электрических сетей.

II. Эксплуатация ЭЭС

- II.1. Определение показателей надежности питания потребителей;
- II.2. Распределение и использование резервов мощности;
- II.3. Определение (уточнение) пропускной способности электропередач по условиям устойчивости и их загрузки;
- II.4. Определение (уточнение, корректировка) алгоритмов и параметров настройки средств управления в аварийных условиях;
- II.5. Разработка (уточнение) программы накопления и использования запасов воды в водохранилищах ГЭС и топлива на ТЭС;
- II.6. Планирование и обеспечение выполнения ремонтов оборудования;
- II.7. Выбор (уточнение) коммутации схемы распределительной сети.

Соотношение обобщенных групп задач АИСН с территориально-временной иерархией управления ЭЭС [2] для наглядности представлено нами графически на рис.1. Для стадии развития все группы задач АИСН решаются на уровне проектирования и лишь половина – на уровне прогнозирования. Для стадии эксплуатации все группы задач АИСН решаются на уровнях длительного и краткосрочного регулирования и четыре (из семи) – на уровне суточного регулирования. Для территориальных уровней ЭЭС распределение групп задач специфично: для ОЭЭС и РЭЭС их по десять, для ЕЭЭС и предприятия – по восемь. Для предприятия отсутствует временной уровень прогнозирования.

Средствами обеспечения надежности ЭЭС [2] принято считать: резервирование, конструирование (выбор конфигурации и структуры), средства автоматического управления, организацию эксплуатации. «Среди средств обеспечения надежности не рассматриваются повышение надежности и улучшение технических показателей оборудования и аппаратуры, поскольку изменение этих показателей осуществляется вне рамок СЭ» [2, с. 129]. Обозначим средства обеспечения надежности в порядке перечисления через Р, К, У, Э.

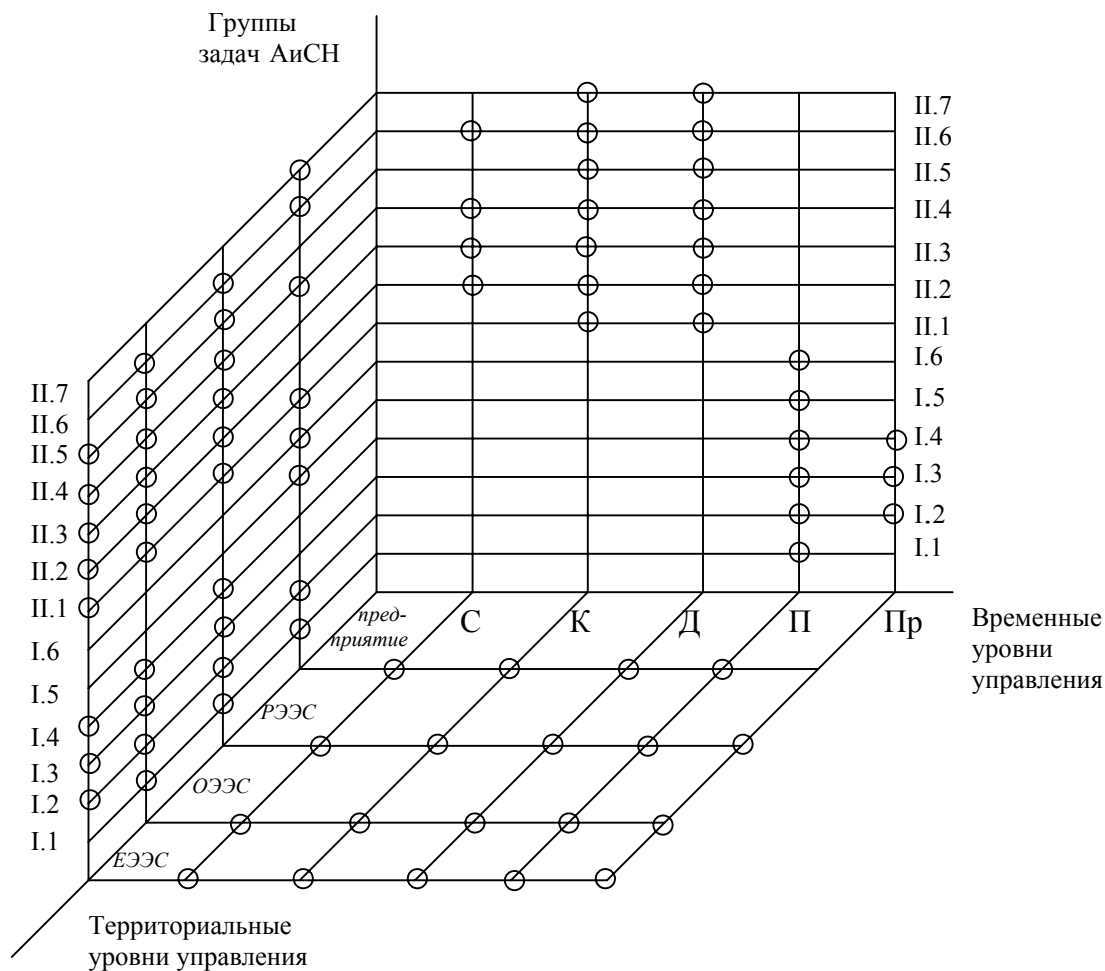


Рис.1. Соотношение обобщенных групп задач АиСН с временными и территориальными уровнями управления ЭЭС.

Причинами снижения надежности (а также технического совершенства) в работе [2, с. 106] приняты: отказы оборудования, ошибки эксплуатационного персонала, снижение ресурсо-обеспеченности, отклонение условий функционирования от расчетных. Обозначим эти причины соответственно как ОО, ОП, СР, ОУ. Соотношение обобщенных групп задач АиСН с причинами снижения и средствами обеспечения надежности ЭЭС графически представлено нами на рис.2. Наиболее универсальным средством обеспечения надежности является резервирование. Оно применяется для семи из 11 групп задач синтеза надежности. На втором месте – автоматическое управление (для двух групп задач) и по одной приходится на конструирование и организацию эксплуатации. Количество групп задач АиСН, учитывающих отдельные причины снижения надежности, наибольшее для отказов оборудования, на одну меньше – для ошибок персонала и отклонения условий функционирования от расчетных и всего три – для снижения ресурсообеспеченности. Частота использования средств обеспечения надежности для компенсации ее снижения наивысшая для резервирования (100%), 75% – для автоматического управления и по 50% – для организации эксплуатации и конструирования.

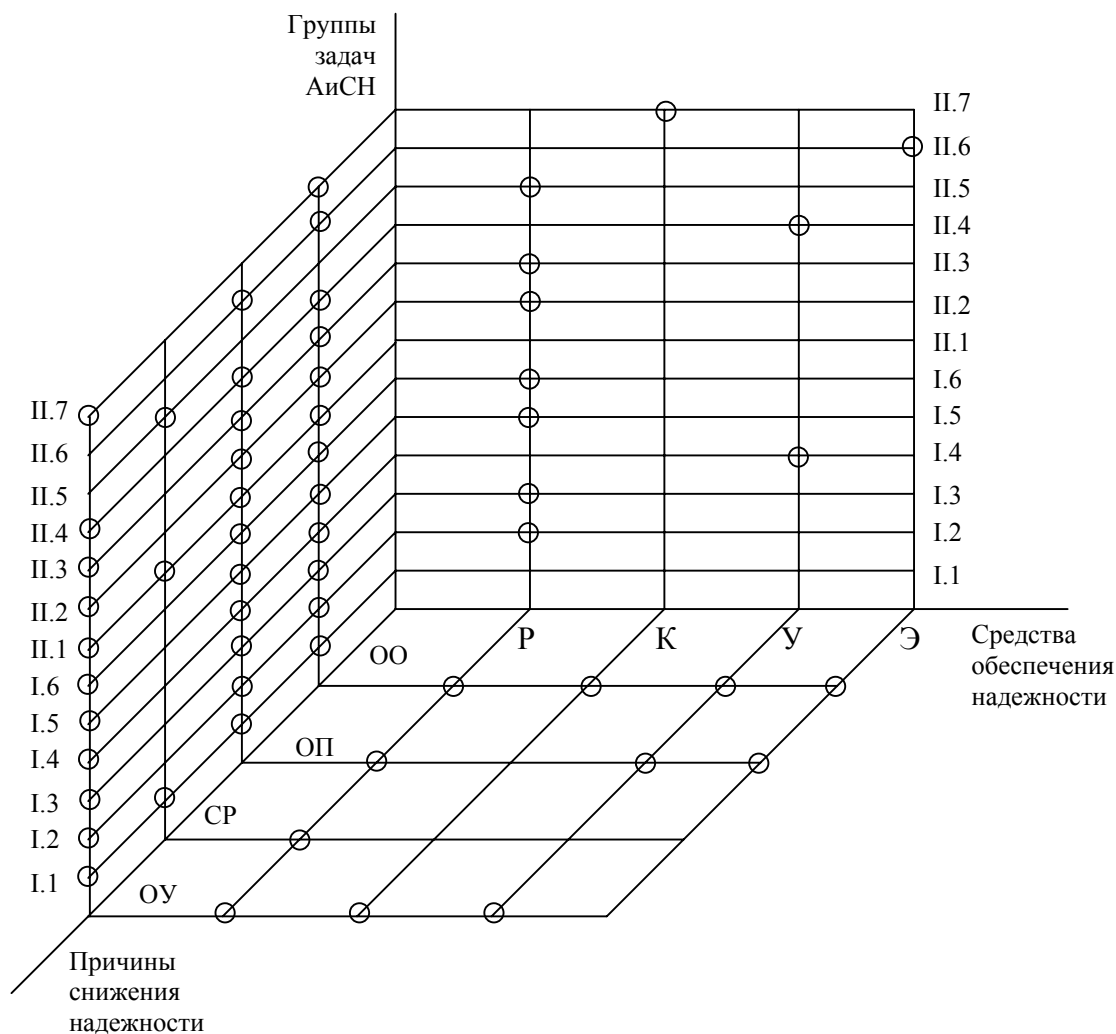


Рис.2. Соотношение обобщенных групп задач АиСН с причинами снижения и средствами обеспечения надежности.

1.2. Состав задач АиСН в системе оперативно-диспетчерского управления ЭЭС

Задачи АиСН для стадии эксплуатации детальнее рассмотрены в работе [3]. В их состав включены также задачи, «еще не решаемые в настоящее время в процессе диспетчерского управления» ЭЭС [3, с.49]. В качестве территориальных уровней ЭЭС [3] приняты: ЕЭЭС, ОЭЭС, РЭЭС и энергообъект (электростанция, узловая подстанция, электросеть). Временные уровни управления для стадии эксплуатации раскрыты более конкретно: перспективное планирование (для энергетических режимов – на 5-20 лет, электрических режимов – несколько лет); долгосрочное планирование (на год, квартал, месяц); краткосрочное планирование (на неделю, сутки); оперативное управление (коррекция режима до конца суток или даже с переходом на следующие сутки и с периодом управления в несколько минут); автоматическое управление (в темпе процессов). Для принятой территориально-временной иерархии управления ЭЭС сформулированы задачи АиСН (табл.1).

Таблица 1

Состав задач АИСН при оперативно-диспетчерском управлении ЭЭС
(Е – ЕЭЭС, О – ОЭЭС, Р – РЭЭС, Э – энергообъект) [3]

Номер и наименование задачи	Использование на уровнях				Корреспондирует с обобщенными группами задач АИСН в [2]
	планирования		управления		
	перспективного и долгосрочного	краткосрочного	оперативного	автоматического	
1. Планирование и управление электрическими режимами					
1.1. Анализ возможных аварийных ситуаций	Е, О, Р	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	–	II.1
1.2. Комплексная оценка надежности схем ЭЭС	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	–	–	II.1
1.3. Оценка текущего режима по условиям надежности	–	–	Е, О, Р, Э	–	II.1
1.4. Корректировка схем и режимов по условиям надежности	–	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	–	II.2 II.3 II.7
1.5. Формирование плана восстановления работы ЭЭС после системных аварий	Е, О, Р	Е, О, Р	Е, О, Р	–	–
1.6. Расчет показателей безопасности и выбор оптимальных путей доведения их до нормы	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	–	–
1.7. Ретроспективный анализ аварийных ситуаций	–	Е, О, Р, Э	–	–	II.1
1.8. Расчеты уставок релейной защиты и автоматики	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	Р, Э	Р, Э	II.4
1.9. Выбор алгоритмов настройки “централизованных” и локальных средств противоаварийного управления	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	II.4
2. Планирование и управление энергетическими режимами					
2.1. Статистический анализ и прогноз надежности основного оборудования	Е, О, Р	–	–	–	II.1
2.2. Оценка надежности электроснабжения потребителей в зависимости от наличия первичных энергоресурсов	Е, О, Р	–	–	–	II.1 II.5
2.3. Распределение резервов генерирующей мощности между ремонтной и оперативной составляющими	Е, О, Р	Е, О, Р	–	–	II.2 II.6
2.4. Расчет включенной составляющей оперативного резерва мощности	Е, О, Р	Е, О, Р	Е, О, Р	–	II.2
2.5. Определение оптимальных потоков мощности по межсистемным связям с учетом надежности	Е, О	Е, О	Е, О	–	II.3
2.6. Проверка допустимости разрешения оперативных и аварийных ремонтных заявок	–	Е, О, Р, Э	Е, О, Р, Э	–	II.6
2.7. Расчет надежности тепловых сетей (надежности теплоснабжения потребителей)	Р, Э	Р, Э	–	–	II.1

Последний столбец табл. 1 показывает, что обобщенные группы задач АИСН [2] и задачи, сформулированные в работе в [3], не во всем совпадают. В работе [3] большее число задач анализа надежности – таковых восемь (включая первую часть задачи 1.6). Задач синтеза надежности также восемь, из них три относятся к резервированию генерирующих мощностей, две – к обеспечению избыточности электропередач (включая задачу 1.4, которая синтезирует группы задач П.2, П.3, П.7), две – к настройке средств управления в аварийных условиях. Задачи 1.5 и 1.6 не относятся ни к одной из обобщенных групп задач [2].

1.3. Систематизация задач АИСН, предложенная М.Н. Розановым

Значительный вклад в постановку, развитие методов решения и создание модельного обеспечения задач АИСН внесен М.Н. Розановым. В наиболее обобщенной форме этот вклад представлен в коллективной работе [4], где ЭЭС рассматривается как производственная система. Подход к анализу и синтезу надежности ЭЭС подкупает своей прагматичностью: декомпозиция комплексного свойства надежности осуществлена в технологической и расчетной плоскостях, что представлено нами для наглядности в табличной форме (табл. 2).

Таблица 2

Декомпозиция комплексного свойства надежности ЭЭС [4]
(в части удовлетворения спроса на электроэнергию)

Составляющие КСН по технологической цепочке	Составляющие КСН по методам расчета				
<ul style="list-style-type: none"> • Обеспеченность энергоресурсами (запасами) • Обеспеченность мощностью (производительностью)* • Обеспеченность электрическими сетями (системообразующими и распределительными) 	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: middle;"> } балансовая надежность ** </td> <td style="width: 50%; vertical-align: middle;"> } режимная надежность*** </td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: middle;"> } структурная (схемная) надежность** </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>	} балансовая надежность **	} режимная надежность***	} структурная (схемная) надежность**	
} балансовая надежность **	} режимная надежность***				
} структурная (схемная) надежность**					

* Включая пропускную способность межсистемных связей.

** Определяется без расчета электрических режимов.

*** Определяется с расчетами электрических режимов.

Причинами отказов ЭЭС [4, с. 7-8] приняты: дефицит электроэнергии из-за недостатка энергоресурсов; дефицит мощности из-за аварийного простоя генерирующих агрегатов или превышения потребления над прогнозом нагрузки; автоматические отключения потребителей по условиям устойчивости или при снижении частоты; прекращение электроснабжения потребителей при аварийных отключениях или плановых ремонтах элементов распределительной сети; кратковременные (на время действия защит и автоматики) перерывы питания

или глубокие снижения напряжения у потребителей с нарушением работы электроприемников.

Средствами обеспечения надежности [4] являются – обеспечение энергоресурсами, генерирующими мощностями и электрическими сетями. Для решения задач АиСН используются методы расчета балансовой (степени удовлетворения спроса на электроэнергию), структурной (вероятностей различных состояний групп элементов ЭЭС) и режимной (учета пропускных способностей электрических сетей) надежности [4, с. 9]. Для последней определение последствий отказов производится на основе расчетов электрических режимов. Вопросы устойчивоспособности и живучести рассматриваются в рамках режимной надежности основных системообразующих электрических сетей ЭЭС.

Таблица 3

Состав задач АиСН в работе [4] и их соотношение с обобщенными группами задач в справочнике [2] и задачами в монографии [3]

Номер и наименование задачи	Корреспондирует с	
	обобщенными группами задач в [2]	задачами в [3]
Развитие ЭЭС		
Р1. Расчет функции распределения выработки электроэнергии ГЭС и их каскадов	II.5	2.2
Р2. Формирование и управление многолетними запасами энергоресурсов	II.5	2.2
Р3. Оптимизация емкости складов и производительности поставщиков топлива	II.5	2.2
Р4. Оценка надежности обеспечения генерирующих мощностей	I.2	–
Р5. Оптимизация оперативного резерва мощности	II.2	2.4
Развитие и эксплуатация ЭЭС		
РЭ1. Исследование живучести ЭЭС	II.3, II.4	1.3, 1.4, 1.5, 1.9
РЭ2. Исследование надежности распределительных электрических сетей	I.4, I.6 II.4, II.6, II.7	1.2, 1.9, 2.6
РЭ3. Анализ надежности генерирующего оборудования	–	2.1
РЭ4. Оценка и обеспечение надежности воздушных ЛЭП	–	2.1
РЭ5. Анализ и обеспечение надежности электрических аппаратов высокого напряжения	–	2.1
РЭ6. Анализ и обеспечение надежности трансформаторов	–	2.1
Эксплуатация ЭЭС		
Э1. Планирование поставок топлива в многоузловой ЭЭС с оценкой надежности энергоснабжения потребителей	II.5	2.2
Э2. Планирование ремонтов основного оборудования	II.6	2.3, 2.6
Э3. Оптимизация включенного оперативного резерва мощности	II.2	2.4
Э4. Оценка надежности режимов работы основных сетей	II.3	1.3, 2.5

В табл. 3 дан перечень задач АиСН [4] в сопоставлении с классификацией в работах [2, 3]. Отличием этого перечня является более полная развертка задач по обеспеченности энергоресурсами (корреспондирующих с обобщенной группой задач П.5 [2]) и электрическими сетями разного типа и по надежности оборудования ЭЭС.

В сущности трактовка М.Н. Розанова сводится (за исключением оборудования) к одному средству обеспечения надежности [2] – резервированию (запасов и мощностей) – при наличии модельно-методического аппарата решения широкого круга задач АиСН. Причины снижения надежности фактически те же, что и в работе [2], но с более четким выделением ресурсообеспеченности по энергоресурсам и мощностям (генерирующим и передающим электроэнергию).

2. ОБОСНОВАНИЕ РАСШИРЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАДАЧ АиСН ЭЭС

2.1. Структуризация комплексного свойства надежности ЭЭС

Задачи АиСН должны быть направлены на обеспечение всех граней КСН ЭЭС, поэтому важна их увязка со структуризацией КСН, для которой в литературе предложено несколько вариантов. В работе [2, с.43-50] КСН делится на восемь единичных свойств, в том числе шесть для систем. Наиболее общим из них признается безотказность. В справочнике [4, с.14-30] используются понятия балансовой, структурной (схемной) и режимной надежности, при исследовании которых фигурируют те же восемь единичных свойств. В монографии [5, с. 69-72] предложено различать надежность технических и производственных систем. Для первых выделены статическая, динамическая и долгосрочная надежность и безопасность, для вторых – дополнительно ресурсообеспеченность (разными видами ресурсов). В монографии [6, с.344-356] предложена двухмерная классификация КСН: на виды – статическая, динамическая (с подвидами – устойчивоспособность, живучесть и динамическая при локальных возмущениях) и безопасность; на составляющие видов (подвидов) – безотказность, ремонтпригодность и режимную управляемость. За этими составляющими предложено оставить термин «единичное свойство надежности», поскольку они характеризуются единичными показателями надежности (виды и подвиды – комплексными). В англоязычной литературе [7, с. 3] надежность (reliability) подразделяется на адекватность (adequacy) и безопасность (security).

Работы [2, 4, 5, 6] рассматривают ЭЭС (СЭ) в качестве производственных, т.е. включают в КСН ресурсообеспеченность (в части обеспеченности энергоресурсами и производственными мощностями). В работе [2, с.106] ресурсообеспеченность рассматривается как одна из причин снижения надежности, в справочнике [4, с.14-18] обеспеченность энергоресурсами, генерирующими мощностями и пропускными способностями межсистемных связей оп-

ределяет (наряду с аварийностью) балансовую надежность, а обеспеченность системообразующими и распределительными сетями – структурную (схемную) и режимную надежность.

Отметим неоднозначность отечественной терминологии в части структуризации КСН для ЭЭС в ситуационном аспекте. В зарубежной литературе [7 и др.] в надежность ЭЭС (reliability – общая способность системы обеспечивать свое функционирование) вкладывается более узкий смысл, чем в России [2-4]. В частности, обычно не рассматриваются опасность отказов для людей и окружающей среды и обеспеченность энергоресурсами. Reliability делится в зависимости от режима на адекватность (adequacy) и безопасность (security). Adequacy трактуется как наличие достаточного генерирующего, передающего и распределяющего оборудования, чтобы удовлетворять в установившихся режимах потребностям нагрузки потребителей или ограничениям режима работы системы. Security трактуется как способность системы противостоять возмущениям, возникающим в пределах этой системы. Security связана с реакцией системы на любые нарушения режима, включая локальные и широко разветвленные с потерей основного генерирующего и передающего оборудования.

В отечественной литературе для понятий adequacy и security, отсутствующих в статье [8], предложены различные термины: в монографии [9, с.85] – балансовая и режимная надежность, в статье [10, с.193] – статическая и динамическая надежность, в монографии [11, с.4] – надежность в установившемся режиме и переходном процессе. В препринте [12, с.9] констатируется, что для adequacy используются также термины обеспеченность, достаточность, а для security – оперативная или эксплуатационная надежность. Нередко для этих понятий применяется прямой перевод: соответственно адекватность и безопасность [9 и др.]. Указанная неоднозначность в русскоязычном обозначении понятий adequacy и security должна быть устранена. При этом надо учитывать, что большинство из предложенных для них терминов имеет и другие смыслы.

Соотношение между разными видами надежности на множестве возмущений в ЭЭС показано в табл.4. В шестом и седьмом столбцах принята структуризация КСН в соответствии с [6, с.344-356], дополненная для ЭЭС, как производственной системы, ресурсообеспеченностью [5, с.69-72]. В скобках в шестом столбце приведены англоязычные термины adequacy и security [7], характеризующие надежность ЭЭС при данном возмущении. В восьмом столбце принята структуризация КСН на балансовую, структурную (схемную) и режимную надежность в смысле, данном в справочнике [4].

Как следует из табл.4, балансовая надежность (в определении [4]) включает обеспеченность энергоресурсами, обеспеченность генерирующими мощностями, статическую и локальную динамическую надежность для концентрированных ЭЭС [5, 6]. Режимная надеж-

Таблица 4

Характеристика возмущений в функционировании ЭЭС,
соответствующие им виды (подвиды) КСН в монографиях [5, 6] и виды КСН в справочнике [4]

Характеристика возмущения в части электроснабжения					Структуризация КСН в [5, 6]		Вид КСН по структуризации в[4]
Вид	Причины	Вид отказа	Следствие	Способы ликвидации	Вид	Подвид	
Дефицит энергии	Дефицит энергоресурсов	Постепенный	Заблаговременное ограничение потребителей	Создание запасов энергоресурсов Устранение ограничений по выдаче мощности ГЭС Диверсификация структуры электростанций	Ресурсо-обеспеченность	Обеспеченность энергоресурсами	Балансовая или режимная*
Дефицит мощности	Превышение нагрузкой располагаемой мощности**	Постепенный	Заблаговременное ограничение потребителей	Вводы новых мощностей	Ресурсо-обеспеченность (adequacy)	Обеспеченность мощностями	Балансовая или режимная*
– “ –	Превышение нагрузкой рабочей мощности**	Постепенный или внезапный, устойчивый	Ограничение (отключение) потребителей	Аварийный ремонт оборудования Вывод оборудования из планового ремонта	Статическая надежность (adequacy)	–	Балансовая или режимная*
– “ –	Превышение нагрузкой включенной мощности**	Внезапный, неустойчивый, локальный	Отключение потребителей	Режимное управление	Динамическая надежность (security)	Локальная динамическая надежность	Режимная или балансовая*
Нарушение устойчивости	Недостаточная пропускная способность связей	По устойчивости	– “ –	– “ –	– “ –	Устойчивость	Режимная
Системная авария	Каскадное развитие аварии	По живучести	Массовое отключение потребителей	– “ –	– “ –	Живучесть	Режимная
Плановый ремонт в распределительной сети	Отсутствие или неполное резервирование питания потребителей	Предусмотренный	Плановое отключение (ограничение) потребителей	Обеспечение второго источника питания	Ресурсо-обеспеченность (adequacy)	Обеспеченность мощностями	Структурная (схемная)
Отказ в распределительной сети	Короткое замыкание, обрыв	Внезапный, устойчивый	Отключение потребителей	Аварийный ремонт оборудования Вывод оборудования из планового ремонта	Статическая надежность (adequacy)	–	Схемная или режимная***
– “ –	Те же и другие	Внезапный, неустойчивый	Кратковременное отключение потребителей	Режимное управление	Динамическая надежность (security)	Локальная динамическая надежность	Режимная или схемная***

* Балансовая – для концентрированной ЭЭС, режимная – для ЭЭС со слабыми связями.

** За вычетом соответствующей запертой мощности для ЭЭС со слабыми связями.

*** Схемная – при неучете режима сети и потребления.

ность в определении [4] включает (согласно видам и подвидам надежности [5, 6]) обеспеченность энергоресурсами, обеспеченность генерирующими и передающими мощностями, статическую и динамическую надежность для ЭЭС со слабыми связями, а также статическую и локальную динамическую надежность для распределительных сетей при необходимости учета режима сети и потребления. Структурная (схемная) надежность в табл.4 включает обеспеченность мощностями и статическую надежность для распределительных сетей при неучете режима сети и потребления*. В англоязычной литературе понятие adequacy шире, чем статическая надежность в монографии [6], оно включает в себя также обеспеченность производственными мощностями. Понятие security в англоязычной литературе совпадает с динамической надежностью в работе [6], но в отличие от последней не структурировано. Далее для классификации задач АиСН по видам (подвидам) принята структуризация согласно [5, 6], отраженная в шестом и седьмом столбцах табл.4.

Зарубежные постановки задач АиСН [7,13 и др.] традиционно связаны с резервированием генерирующих мощностей и избыточностью электрических сетей с учетом разного рода неопределенностей, включая прогноз нагрузки, и большого числа технологических и природных факторов. Наряду с оценкой и обеспечением adequacy, все большее внимание уделяется security [14 и др.]. Вместе с тем вопросы обеспеченности энергоресурсами и безопасности (safety) выведены за рамки надежности (reliability), а такие подвиды КСН, как устойчивоспособность, живучесть и локальная динамическая надежность, в security не структурированы.

В работе [15] предлагается, помимо подразделения проблемы надежности по влияющим факторам (на структурную и функциональную), ее структуризация по прогнозируемым интервалам времени (балансовую – безвременную, стратегическую – на интервал от нескольких месяцев до нескольких лет, оперативную – на интервал от суток до нескольких недель, коммутационную – на интервал от долей часа до нескольких часов). На наш взгляд, по заблаговременности оценки показателей более удачно деление надежности ЭЭС в соответствии с временными уровнями управления: текущую – для данного момента времени, оперативную – для интервала от нескольких минут до суток, краткосрочную – в пределах от суток до недели, долгосрочную – на месяц, квартал, год, многолетнюю – от года до нескольких лет, перспективную (при проектировании ЭЭС или планировании ее энергетических режимов на стадии эксплуатации) – от нескольких до 10-20 лет, прогнозную – при прогнозировании, обычно с заблаговременностью 15-20 лет.

* Область исследования структурной (схемной) надежности намного шире (например, для электрических станций), но в данной работе она ограничена распределительными сетями.

2.2. Оценка полноты задач АИСН в существующих классификациях

Задачи анализа надежности ЭЭС в работе [2] сводятся к определению показателей надежности питания потребителей. Последнее является конечной целью функционирования ЭЭС и в этом смысле характеризует уровень ее надежности. Вместе с тем при анализе надежности ЭЭС в некоторых случаях удобно ограничиваться и более частными показателями, не доводя их до оценки последствий отказов для потребителей. Например, частота и длительность тех или иных отказов характеризуют надежность ЭЭС, но недостаточно информативны с точки зрения надежности питания потребителей. В последнем случае необходимо еще знать их последствия, по меньшей мере, мощность отключенных потребителей. Кроме того, анализ может проводиться по единичным показателям, или отдельным видам или подвидам КСН, представительность которых для характеристики надежности питания потребителей либо ограничена, либо отсутствует (например, для такого вида КСН, как безопасность). Наряду с отказами функционирования, может представлять интерес оценка отказов работоспособности, в том числе не приводящих ни к каким последствиям для потребителей. Наконец, надежность оборудования или отдельных частей ЭЭС не оценивается через надежность питания потребителей, поэтому целесообразно разбить задачи анализа надежности ЭЭС по меньшей мере на две группы: надежности функционирования ЭЭС (ее подсистем, элементов и оборудования) и надежности питания (электро-, тепло-, энергоснабжения) потребителей.

В монографии [3], наряду с оценкой надежности энергоснабжения (задачи 2.2, 2.7), рассматриваются и более частные задачи 1.2, 1.3, 1.6, 2.1, а также 1.1, 1.7 (табл.1). В справочнике [4] рассматривается нормирование надежности для всех единичных свойств ЭЭС, которые не всегда оцениваются через надежность питания потребителей. Указанное также подтверждает целесообразность разбивки задач анализа надежности ЭЭС не менее чем на две группы.

В табл. 5 группы задач в работе [2] и задачи в монографии [3] и справочнике [4] разнесены по видам (подвидам) и составляющим КСН, согласно структуризации в монографиях [5, 6]. В совокупности перечень групп и задач АИСН в работах [2-4] охватывает все виды (подвиды) и составляющие КСН. Однако по отдельности картина несколько иная. В работе [2] отсутствуют задачи, направленные на анализ и синтез режимной управляемости как составляющей статической надежности, на анализ устойчивоспособности в части безотказности, на анализ и синтез живучести и локальной динамической надежности в части безотказности, на анализ устойчивоспособности, живучести и локальной ди-

Таблица 5

Соотношение задач АиСН ЭЭС в работах [2-4] с видами (подвидами) КСН и их составляющими согласно [6]

Вид (• подвид) КСН	Составляющая вида (подвида) КСН			КСН или ее вид (подвид) в целом
	Безотказность	Ремонтопригодность	Управляемость	
Статическая надежность	[2]: I.1, II.1, II.2, II.7 [3]: 1.1-1.3, 1.7, 2.1, 2.4, 2.6 [4]: P5, И2, Э3	[2]: I.1, II.1, II.2, II.6 [3]: 2.1, 2.3 [4]: И2, Э2	[3]: 1.4 [4]: И2	[2]: I.1, II.1, II.2, II.6, II.7 [3]: 1.1-1.3, 1.7, 2.1, 2.3, 2.4, 2.6, 2.7 [4]: P5, И2, Э2, Э3
Динамическая надежность:	[2]: II.3 [3]: 1.1-1.4, 1.7, 2.4, 2.5 [4]: И1, Э4	–	[2]: I.4, II.4 [3]: 1.4, 1.5, 1.8, 1.9	[2]: I.4, II.3, II.4 [3]: 1.1-1.5, 1.7- 1.9 [4]: И1, Э4
• устойчивоспособность	[2]: II.3 [3]: 1.1- 1.4, 1.7, 2.4, 2.5 [4]: Э4	–	[2]: I.4, II.4 [3]: 1.4, 1.8, 1.9	[2]: I.4, II.3, II.4 [3]: 1.1- 1.4, 1.7- 1.9 [4]: Э4
• живучесть	[3]: 1.7, 2.4 [4]: И1	–	[2]: I.4, II.4 [3]: 1.5, 1.8, 1.9 [4]: И1	[2]: I.4, II.4 [3]: 1.5, 1.7- 1.9 [4]: И1
• локальная динамическая надежность	[3]: 1.7	–	[2]: I.4, II.4 [3]: 1.8, 1.9	[2]: I.4, II.4 [3]: 1.7-1.9
Безопасность	[3]: 1.6	[3]: 1.6	[3]: 1.6	[3]: 1.6
Ресурсообеспеченность:	[2]: I.2., 1.3, 1.6, II.5 [3]: 2.2 [4]: P1-P4, Э1	–	[2]: I.2, I.3, I.6, II.5 [3]: 2.2	[2]: I.2, I.3, I.6, II.5 [3]: 2.2 [4]: P1-P4, Э1
• обеспеченность энерго-ресурсами	[2]: II.5 [3]: 2.2 [4]: P1-P3, Э1	–	[2]: II.5 [3]: 2.2 [4]: P1-P3, Э1	[2]: II.5 [3]: 2.2 [4]: P1-P3, Э1
• обеспеченность производственными мощностями	[2]: I.2, I.3, I.6 [4]: P4	–	[2]: I.2, I.3, I.6 [4]: P4	[2]: I.2, I.3, I.6 [4]: P4
КСН или составляющая вида (подвида) в целом	[2]: I.1-I.3, I.6, II.1- II.3, II.5, II.7 [3]: 1.1-1.4, 1.6, 2.1, 2.2, 2.4- 2.7 [4]: P1-P5, И1, И2, Э1, Э3, Э4	[2]: I.1, II.1, II.2, II.6 [3]: 1.6, 2.1, 2.3 [4]: И2, Э2	[2]: I.2-I.4, I.6, II.4, II.5 [3]: 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 1.9 [4]: И1, И2	Все задачи

намической надежности в части режимной управляемости, на анализ и синтез безопасности, на анализ обеспеченности энергоресурсами в части безотказности. Отсутствие перечисленных задач анализа объясняется использованием показателей надежности питания потребителей, не характеризующих отдельные стороны надежности функционирования ЭЭС. Выпадение задач анализа и синтеза безопасности можно объяснить тем, что оно не характеризует надежность энергоснабжения (питания) потребителей. Отсутствие задач синтеза режимной управляемости, как составляющей статической надежности, живучести и локальной динамической надежности, вызвано, на наш взгляд, недостаточной теоретической проработанностью данных вопросов.

В монографии [3], напротив, богатая палитра задач анализа статической безотказности и приведены модели решения основных задач синтеза надежности ЭЭС. Достоинством работы [3] является, кроме того, наличие задач синтеза режимной управляемости, в аспекте как статической, так и динамической надежности. К другому преимуществу перечня задач АиСН в монографии [3] следует отнести охват анализа и синтеза безопасности. Касаясь статической надежности в целом, отметим, что в монографии [3] даны задачи анализа надежности функционирования ЭЭС, но не выделены (в отличие от обеспечения первичными энергоресурсами и теплом) задачи анализа надежности электроснабжения потребителей. Кроме того, в силу ограничения задач АиСН оперативно-диспетчерским управлением ЭЭС в работе [3] не рассматриваются задачи обеспеченности производственными мощностями.

В справочнике [4] полнее раскрыты задачи ресурсообеспеченности (в части безотказности), статической надежности (в части безотказности, ремонтпригодности и в меньшей степени – управляемости) и ограниченно – динамической надежности (устойчивости, управляемости). Отсутствуют задачи по безопасности.

Сравнение классификации задач АиСН в работах [2-4] показывает, что каждая из них имеет свою специфику, определяемую целями исследования. В работе [2] дан широкий подход к проблеме надежности, в монографии [3] – приведено углубление и развитие этого подхода в разрезе оперативно-диспетчерского управления, в справочнике [4] – модельными разработками охвачен широкий спектр задач резервирования, включая специализированные системы электроснабжения потребителей и оборудование ЭЭС. Однако в отдельности ни одна из существующих классификаций не охватывает всех задач АиСН ЭЭС.

2.3. Предлагаемая классификация задач АиСН ЭЭС

В основу классификации задач АиСН далее положены следующие требования: их решение должно опираться на математические методы, основанные на исчислении отка-

зов и их количественных характеристик; совокупность задач должна характеризовать все виды (подвиды) надежности, их единичные составляющие и комплексное свойство надежности в целом; целью решения задач должны быть количественный анализ уровня того или иного надежностного свойства и определение состава, структуры, параметров средств обеспечения надежности.

Классификация задач АиСН в общем случае носит многоуровневый характер. Для формирования первого уровня может быть принят подход в работе [2]: систематизация задач синтеза в разрезе средств обеспечения надежности. Второй уровень систематизации может быть основан на подходе в монографии [3]: в ракурсе технологии оперативно-диспетчерского управления функционированием ЭЭС или технологии проектирования (планирования) развития ЭЭС. На первом уровне, который рассматривается в данной работе, представляется целесообразным обобщение групп задач АиСН для стадий эксплуатации и развития ЭЭС.

Исходя из сказанного, основываясь на работах [2-4] и с учетом положений раздела «Оценка полноты задач АиСН в существующих классификациях» в данном докладе, предлагается следующий состав обобщенных групп задач АиСН ЭЭС:

Задачи анализа надежности

1. Определение показателей надежности функционирования ЭЭС и надежности оборудования;
2. Определение показателей надежности питания (электро-, тепло-, энергоснабжения) потребителей.

Задачи синтеза надежности

3. Обеспечение резервирования активных генерирующих мощностей;
4. Обеспечение баланса реактивных мощностей;
5. Выбор (корректировка) схемы электрических соединений (основной сети, распределительной сети, энергообъекта, собственных нужд, выдачи мощности и т.д.);
6. Обеспечение избыточности пропускных способностей электропередач;
7. Обеспечение автоматического противоаварийного управления;
8. Создание запасов энергоресурсов (топлива для ТЭС, воды в водохранилищах ГЭС);
9. Планирование и обеспечение ремонтов оборудования;
10. Управление электропотреблением;
11. Восстановление питания потребителей;
12. Восстановление нормального режима ЭЭС;
13. Восстановление обеспеченности энергоресурсами;

14. Обеспечение безопасной работы;
15. Восстановление безопасной работы.

Дополнительными в этом перечне к приведенным в работе [2] являются группы задач 1, 4, 10-15. О необходимости определения показателей надежности функционирования ЭЭС и надежности оборудования уже было сказано выше. Задача обеспечения баланса реактивных мощностей выделена как самостоятельная, поскольку она во многом определяет устойчивоспособность и живучесть ЭЭС. Ее решение не ограничивается автоматическим противоаварийным управлением. Аналогично, решение задачи 7 направлено и на реализацию задач 3, 5, 6, 10 – 12, 14, 15 в темпе физических процессов в ЭЭС. Задача 10 решается на разных временных уровнях управления ЭЭС и подобно задаче 4 не сводится к задаче 7. Задачи 11, 12, как и задачи 7, 10, направлены на формирование свойства режимной управляемости ЭЭС. Показатели времени восстановления питания потребителей и нормального режима ЭЭС являются важнейшими количественными характеристиками этого свойства. И, наконец, задачи 14 и 15 решают проблему безопасной работы энергообъекта. Естественно, что решение задач 14 и 15 связано и с другими задачами, такими как 4, 7, 9, 10, 11, но не сводится только к ним. Поэтому представляется целесообразным объединение всей совокупности мер по безопасности в отдельные задачи 14 и 15.

В табл.6 дано распределение предложенных задач АИСН ЭЭС по видам (подвидам) надежности и их составляющим согласно структуризации КСН в монографиях [5,6]. Оно свидетельствует об охвате задачами АИСН по обновленной (дополненной) классификации всех видов (подвидов) и единичных свойств надежности ЭЭС. Первая задача анализа надежности характерна для всех видов (подвидов) КСН, их составляющих в части единичных свойств, каждого единичного свойства и КСН в целом. Вторая задача соответствует лишь видам (подвидам) и КСН в целом. Естественное исключение составляет свойство безопасности.

Решение задачи 3 – резервирования активных генерирующих мощностей – является средством обеспечения статической и динамической (кроме локальной) надежности в части безотказности и обеспеченности производственными (генерирующими) мощностями. Задачи резервирования и обеспеченности генерирующими мощностями решаются при проектировании обычно совместно. Поэтому под резервированием нужно понимать не только резервирование на случай аварийного простоя генерирующих мощностей, возможности проведения их ремонтов, но и ошибок в прогнозе электропотребления, задержек ввода новых генерирующих мощностей, нерегулярных колебаний нагрузки и т.д. (так называемые аварийный, ремонтный, народнохозяйственный, нагрузочный и другие виды резерва).

Таблица 6

Соотношение групп задач АиСН по предложенной классификации
с видами (подвидами) КСН и их составляющими

Вид (• подвид) КСН	Составляющая вида (подвида) КСН			КСН или ее вид (подвид) в целом
	Безотказность	Ремонтопригодность	Управляемость	
Статическая надежность	1, 3-6	1, 5, 9	1, 5, 7, 10	1-7, 9, 10
Динамическая надежность:	1, 3-6	–	1, 7, 10-12	1-7, 10-12
• устойчивоспособность	1, 3-6	–	1, 7, 10-12	1-7, 10-12
• живучесть	1, 3-6	–	1, 7, 10-12	1-7, 10-12
• локальная динамическая надежность	1, 4, 5	–	1, 7, 10-12	1, 2, 4, 5, 7, 10-12
Безопасность	1, 14	1, 15	1, 15	1, 14, 15
Ресурсообеспеченность:	1, 3, 4, 6, 8	–	1, 13	1, 3, 4, 6, 8, 13
• обеспеченность энергоресурсами	1, 8	–	1, 13	1, 2, 8, 13
• обеспеченность производственными мощностями	1, 3, 4, 6	–	*	1, 3, 4, 6
Единичные свойства и КСН в целом	1, 3-8, 14	1, 5, 9, 15	1, 7, 10-13, 15	Все группы задач

* Восстанавливаемость данного подвида КСН определяется управляемостью не режимами, а развитием ЭЭС.

Решение задачи 4 – обеспечения баланса реактивных мощностей – как правило, необходимо для синтеза всех подвидов динамической надежности и ресурсообеспеченности в части баланса емкостных и индуктивных мощностей для комплекса генерация – передача – нагрузка при проектировании. В случае, если аварийный или плановый ремонт источника реактивной мощности или уровни напряжения в отдельных режимах ЭЭС приводят к ограничению потребителей либо снижению качества электроэнергии, задача баланса реактивных мощностей должна рассматриваться и в аспекте статической надежности.

Задача 5 – выбора (корректировки) схемы электрических соединений – решается для обеспечения как статической, так и динамической надежности в части безотказности. Кроме того, выбор схемы электрических соединений важен с точки зрения обеспечения ремонтов оборудования и режимной управляемости для статической надежности.

Задача 6 – обеспечения избыточности пропускных способностей электропередач – актуальна для синтеза статической и динамической (кроме локальной) надежности в части безотказности и ресурсообеспеченности основными сетями. Обычно эта задача решается совместно с резервированием генерирующих мощностей.

Задача 7 – обеспечения автоматического противоаварийного управления – актуальна главным образом для реализации динамической надежности в части режимной управляемости (для локализации отказов, предотвращения их развития, восстановления электроснабжения потребителей и нормального режима ЭЭС). Кроме того, эта задача связана с синтезом режимной управляемости для обеспечения статической надежности путем предотвращения устойчивых отказов. Подчеркнем, что противоаварийная автоматика в широком смысле (включая релейную защиту, линейную и системную автоматику, противоаварийную автоматику в узком смысле) решает в темпе электромагнитных и электромеханических процессов те же задачи, что и персонал в темпе оперативного управления (т.е. задачи 3, 4, 5 и 6 синтеза надежности). Помимо того она локализует и предотвращает отказы, в том числе устойчивые, в чем персонал, если удастся, подстраховывает автоматику. Важнейшей функцией противоаварийной автоматики является решение задач 10, 11, 12. В этих случаях зачастую, а для крупных аварий, как правило, требуются дополнительные действия оперативного персонала. Собственно задача 7 связана с конструированием и настройкой противоаварийной автоматики.

Задача 8 – создания запасов энергоресурсов – естественно связана с обеспеченностью энергоресурсами в части безотказности. Задача 9 – планирования и обеспечения ремонтов оборудования, как средства обеспечения его работоспособности, – характеризует единичное свойство ремонтпригодности – вторую составляющую статической надежности. Задачи 10, 11, 12 (управление электропотреблением, восстановление питания потребителей и

нормального режима ЭЭС) направлены на синтез режимной управляемости как составляющей динамической надежности, а задача 10 и как составляющей статической надежности.

Задача 13 отличается от задачи 8 тем, что решается в условиях, когда текущая потребность в энергоресурсах больше или равна объему их возможного использования, а запасы энергоресурсов исчерпаны. При экономическом кризисе такая задача может быть обусловлена дефицитом финансовых ресурсов или недостаточной поставкой топлива (работа «с колес»). Задачи 14 и 15 связаны соответственно с предотвращением и ликвидацией отказов по безопасности.

В соответствии с табл. 6 единичное свойство безотказности обеспечивается задачами синтеза 3-6 в части статической и динамической надежности, 14 – в части безопасности, 8 – в части обеспеченности энергоресурсами, 3, 4, 6 – в части обеспеченности производственными мощностями. Единичное свойство ремонтпригодности обеспечивается задачами 9 и 5 в части статической надежности и 15 – в части безопасности. Единичное свойство режимной управляемости обеспечивается задачами 5, 7, 10 в части статической и 7, 10 – 12 – динамической надежности, 13 – в части обеспеченности энергоресурсами и 15 – безопасностью. Восстановление обеспеченности производственными мощностями является задачей управления не режимами, а развитием ЭЭС.

Для решения задач АИСН ЭЭС разработано множество моделей, например, в работах [2-4, 7, 13]. Целесообразна определенная инвентаризация существующих моделей на множестве различающихся объектов исследований согласно предложенной классификации задач АИСН. Такая инвентаризация позволит выявить задачи, наименее обеспеченные моделями для их решения.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ АИСН ПО УРОВНЯМ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ ИЕРАРХИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЭС И В РАЗРЕЗЕ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ И СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

3.1. Влияющие факторы, причины отказов и средства обеспечения надежности

Задачи синтеза неразрывно связаны со средствами обеспечения надежности, а задачи анализа – с причинами отказов и влияющими на надежность факторами. В [2] выделены четыре средства обеспечения надежности в рамках самих СЭ – резервирование, конструирование, автоматическое управление и организация эксплуатации. Назовем их основными. Чтобы почувствовать все действительное многообразие средств обеспечения надежности (структурных, организационных, инструментальных и т.д.), необходимо проанализировать факторы, влияющие на надежность. Такой анализ на примере систем газо- и нефтеснабже-

ния выполнен в [16, С.24.]. Влияющие факторы разбиты на два уровня, второй из которых детализирует первый. В качестве факторов первого уровня выделены: надежность оборудования, качество технического обслуживания, структура системы, управление системой, условия функционирования. Заметим, что улучшение (в смысле влияния на надежность системы) любого из этих факторов можно рассматривать как средство обеспечения надежности. В этом ракурсе влияющие факторы первого уровня в справочнике [16] принадлежат к основным средствам обеспечения надежности. Разница таковых в работах [2] и [16] заключается, главным образом, в следующем. В справочнике [16] резервирование понимается на втором уровне как фактор, влияющий на структуру системы. Управление в справочнике [16] рассматривается более широко, чем выделенные в работе [2] средства автоматического управления. Условия функционирования в справочнике [16] частично учтены в причинах снижения надежности в работе [2] в форме их отклонения от расчетных.

Различие, при приведенной выше трактовке, средств обеспечения надежности в работах [2] и [16] в целом понятно: в первой рассматриваются только задачи теории надежности, а во второй систематизированы влияющие на надежность факторы, независимо от того, в какой степени они могут исследоваться теорией надежности.

В принципе большинство влияющих факторов может выступать в двух ипостасях: как средство обеспечения и как причина снижения надежности. Например, качество техобслуживания – влияющий на надежность фактор, повышение качества техобслуживания – средство обеспечения надежности, снижение качества техобслуживания – причина ненадежности. Исключение составляет резервирование, хотя недостаточное резервирование с известной условностью также можно отнести к разряду причин снижения надежности.

В качестве конкретных организационных средств обеспечения надежности могут рассматриваться нормирование (оптимизация) ее уровня, регламентирование требований по подсистемам, нормирование периодичности и объема ремонтов, обеспеченности запчастями и т.д. Инструментальными средствами обеспечения надежности являются контроль, испытания, диагностика. Организационные и инструментальные средства обеспечения надежности можно отнести ко второму уровню влияющих факторов.

В теории надежности СЭ принято рассматривать лишь те влияющие факторы, учет которых «связан с необходимостью анализа отказов (работоспособности или функционирования) системы и определения их последствий в виде тех или иных показателей надежности» [2, с.115]. Исходя из этого положения и руководствуясь работами [2, 16], примем в качестве основных (т.е. первого уровня) средств обеспечения надежности следующие: резервирование, конструирование (выбор конфигурации и структуры), управление режимами (включая автоматическое) и организацию эксплуатации. На эти средства можно наиболее

активно влиять при решении задач АиСН в рамках самих СЭ. По мере развития теории надежности СЭ этот перечень может увеличиваться.

К основным причинам снижения надежности отнесем те факторы, управление которыми хотя и производится, но затруднено в рамках самой ЭЭС. Прежде всего это отклонение условий функционирования от расчетных и снижение ресурсообеспеченности, принятые в работе [2]. Нерасчетные отклонение условий и снижение ресурсообеспеченности становятся причинами отказов ЭЭС. Две другие причины в работе [2] – отказы оборудования и ошибки эксплуатационного персонала – по сути являются не причинами, а следствием причин (ненадежности оборудования, ошибочности действий персонала). В числе дополнительных причин ненадежности (технического несовершенства), во многом носящих экзотический характер, можно назвать достигнутый уровень информационного обеспечения средств управления (погрешности измерения параметров режима ЭЭС, искажения информации при передаче, ограничение объема измеряемых параметров и т.д.), давление рынка* (например, из-за снижения резервов при вводе конкурентных отношений в генерации электроэнергии, непредсказуемого снижения избыточности основной сети вследствие коммерческих перетоков), давление социально-экономического кризиса в стране (отсутствие средств на поддержание надежности из-за неполной оплаты продукции потребителями, вывод из строя оборудования из-за воровства цветных металлов).

Целесообразность включения в состав дополнительных причин ненадежности ЭЭС неполноты и/или недостоверности информации при управлении функционированием обуславливается развитием и возрастанием роли новых информационных технологий и телекоммуникаций. Отметим, что эта причина может приводить и к «отказу» оборудования, и «ошибке» персонала. При выделении недостоверности информации в отдельную категорию ее последствия могут рассматриваться как информационный отказ.

Выделение в качестве дополнительной причины ненадежности «давления рынка» актуально с позиции анализа и обеспечения надежности. Хотя эта причина в итоге приводит к «отказам» оборудования, но надежность оборудования здесь обусловлена факторами внедрения рыночных отношений в электроэнергетику. И, наконец, третья дополнительная причина – давление кризиса в стране – также в итоге приводит к отказам оборудования, но пути предотвращения подобных отказов специфичны.

Причины ненадежности, как и влияющие факторы, могут иметь многоуровневую кон-

* Рынок с его конкуренцией является мощнейшим средством повышения надежности и технического совершенства оборудования и средств управления. В то же время внедрение конкурентных отношений в сферу производства и передачи электроэнергии способно привести к снижению надежности функционирования ЭЭС, пока не будут выработаны специальные правила для ограничения неуправляемого воздействия рыночных факторов на надежность.

струкцию. Так, отклонение условий функционирования от расчетных может объясняться неточностью прогноза электропотребления, последнее – ошибками прогноза погоды либо непредсказуемостью спроса потребителей. Другой причиной нерасчетных условий являются экстремальные природные явления, на воздействие которых система не рассчитана (в силу редкости или неизученности). Наконец, третья причина – это отклонение условий развития от прогнозных. Аналогично недостоверность информации при управлении, давление рынка и давление кризиса можно рассматривать как причины второго уровня, определяющие надежность оборудования и безошибочность действий персонала. Но с позиции значимости в современных условиях и специфичности путей устранения целесообразен их перенос на первый уровень.

Классификация отказов по причинам при анализе надежности необходима для нейтрализации негативных факторов с помощью стандартных средств обеспечения либо за счет мер, реализация которых лежит за рамками самой системы.

3.2. Соотношение предложенных групп задач АИСН с временными и территориальными уровнями управления ЭЭС, причинами снижения и средствами обеспечения надежности

Предложенные группы задач АИСН решаются на всех временных уровнях управления ЭЭС (рис.3), включая автоматическое. Целесообразность включения уровня автоматического управления важна с точки зрения анализа его качества и надежности. Внедрение новых информационных технологий, адаптивных систем управления, методов искусственного интеллекта ведет к отходу от жестких алгоритмов автоматического управления, выработке и принятию решений автоматикой в темпе управляемых процессов с учетом их динамики и прогноза развития. Наиболее значима роль автоматики в решении в аварийных условиях задач синтеза надежности 3-6 и 10-12, 14.

Спектр задач надежности при оперативном управлении шире, чем при автоматическом: добавляются группы задач 1, 7, 9. Задача анализа 1 решается для текущей и оперативной надежности функционирования ЭЭС. На уровнях кратко- и долгосрочного планирования режимов решаются в первом случае все группы задач АИСН (в том числе первая для анализа краткосрочной надежности функционирования ЭЭС или ее частей и вторая – надежности питания потребителей), во втором – с 1 по 9 (включая задачи 1, 2 для долгосрочной надежности) и с 13 по 15. На уровне многолетнего планирования режимов отсутствует, по сравнению с долгосрочным планированием, группа задач 13, а задачи анализа в основном связаны с обеспеченностью энергоресурсами. На уровне проектирования решаются все задачи, кроме 13. При решении задач 1, 2 временной интервал, как правило, равен одному году. На уровне прогнозирования развития присутствуют группы задач 3, 6, 7.

Соотношение групп задач АиСН с территориальными уровнями управления (рис.3) показывает их решение почти в полном объеме для РЭЭС, с некоторым снижением объема при переходе к ОЭЭС, ЕЭЭС и энергообъекту. Группа задач 15 решается только для энергообъекта. Задачи АиСН характерны для всех сочетаний территориальных и временных уровней управления ЭЭС, за исключением прогнозирования для энергообъектов.

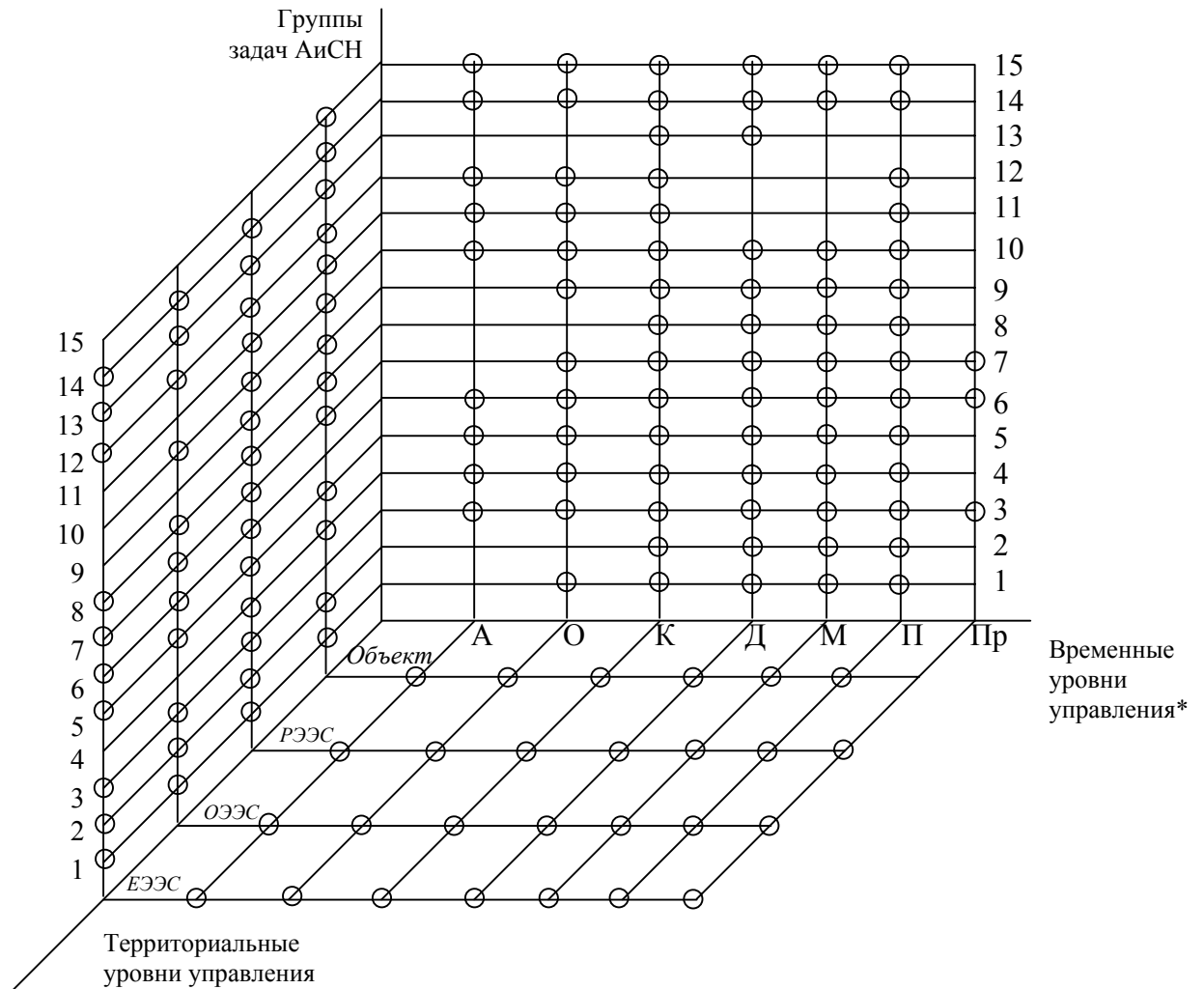


Рис.3. Соотношение предложенных групп задач АиСН с временными и территориальными уровнями иерархии управления ЭЭС.

* Управление: А – автоматическое, О – оперативное;

Планирование режимов: К – краткосрочное, Д – долгосрочное, М – многолетнее;

П – проектирование развития, Пр – прогнозирование развития.

Для синтеза надежности в разрезе групп задач (рис.4) чаще используется организация эксплуатации (для семи групп), далее следует управление режимами (для пяти групп), затем резервирование (для четырех групп) и на одну группу задач реже – «конструирование» ЭЭС. Резервирование (создание избыточности) и конструирование ЭЭС могут использоваться в качестве средства обеспечения надежности с целью устранения либо снижения последствий всех причин. Управление режимами используется для компенсации

таких причин снижения надежности, как отказы оборудования, ошибки персонала, отклонения условий функционирования от расчетных и давление кризиса. В последнем случае речь идет об отключении (ограничения) неплатежеспособного спроса потребителей. Организация эксплуатации важна, помимо традиционных причин (отказов и ошибок), также как средство борьбы с давлением рынка и кризиса.

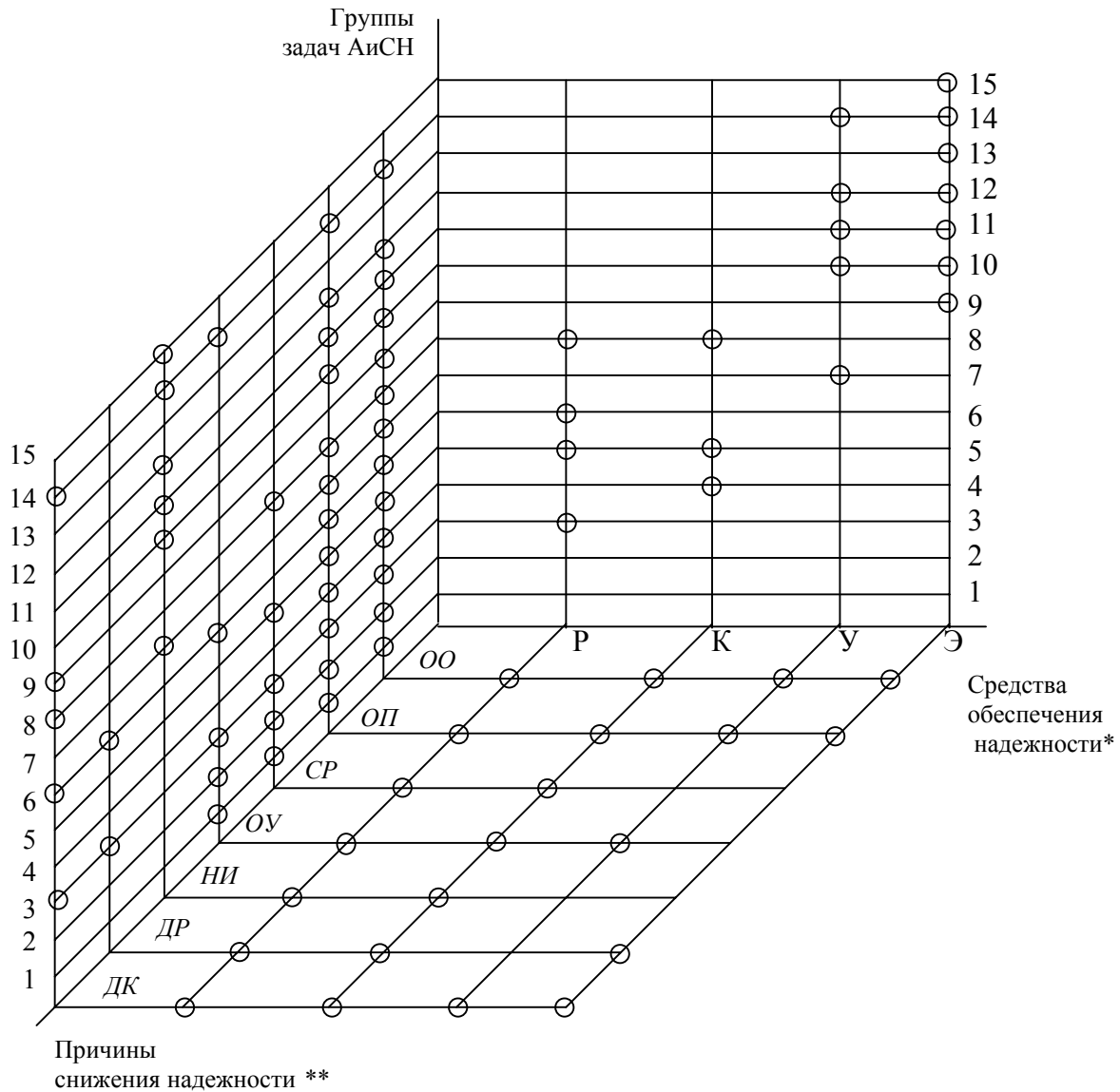


Рис.4. Соотношение предложенных групп задач AiSN с причинами снижения и средствами обеспечения надежности.

* Р – резервирование (создание избыточности),

К – конструирование, У – управление режимами,

Э – организация эксплуатации ЭЭС.

** ОО – отказы оборудования, ОП – ошибки персонала,

СР – снижение ресурсообеспеченности,

ОУ – отклонение условий функционирования от расчетных,

НИ – недостоверность (недостаточность) информации для управления,

ДР – давление рынка, ДК – давление кризиса.

Различные причины снижения надежности учитываются для решения задач АИСН в следующей пропорции (рис.4): отказы оборудования – 13, ошибки персонала – 12, недостоверность информации – шесть, снижение ресурсообеспеченности – пять, отклонение условий функционирования от расчетных – пять, давление кризиса – пять, давление рынка – две задачи.

Следовательно, предложенная (обновленная) классификация задач АИСН охватывает анализ и синтез КСН на всех территориальных и временных уровнях управления ЭЭС, а также в разрезе всех основных средств обеспечения и причин снижения надежности.

ВЫВОДЫ

1. Существуют различающиеся классификации задач АИСН ЭЭС, зафиксированные в первом и втором томах «Справочника по надежности систем энергетики» [2, 4] и монографии [3]. Отличие в определенной мере определяется разными целями разработчиков – классификацией задач в разрезе: основных средств обеспечения надежности [2], оперативно-диспетчерского управления [3], резервирования обеспеченности энергоресурсами и производственными мощностями [4]. Вместе с тем в эти классификации заложены различающиеся подходы к анализу и синтезу надежности ЭЭС.

2. В совокупности три рассмотренные классификации задач АИСН [2-4] охватывают все грани комплексного свойства надежности ЭЭС (согласно структуризации, разработанной автором данного доклада в монографиях [5, 6]). Однако по отдельности ни одна из этих классификаций не содержит всех существующих групп задач анализа и синтеза КСН ЭЭС.

3. Разработанная в докладе классификация задач АИСН в разрезе основных средств обеспечения надежности включает 15 укрупненных групп задач (против семи сопоставимых групп в работе [2]) и охватывает все грани КСН ЭЭС. По сравнению с классификацией в справочнике [2], дополнительно включены группы задач: определения показателей надежности функционирования ЭЭС и надежности оборудования, обеспечения баланса реактивных мощностей, управления электропотреблением, восстановления питания потребителей, восстановления нормального режима, восстановления текущей обеспеченности энергоресурсами, обеспечения и восстановления безопасности.

4. Структуризация КСН ЭЭС на четыре вида (с подвидами) и три единичных свойства, предложенная автором в монографиях [5, 6] и в данном докладе, более полная по сравнению с существующими, не противоречит употребляемым в отечественной литературе понятиям балансовой, структурной (схемной) и режимной надежности [4] и применяемым в зарубежной литературе понятиям adequacy и security [7]. Соотношение между различными структуризациями КСН выявлено на множестве возмущений в функционировании ЭЭС,

характеризуемых их видом, причиной, следствием, видом отказа и способами ликвидации. Дефицит мощности в ЭЭС дифференцирован по превышению нагрузкой соответственно располагаемой, рабочей и включенной мощности, что органически увязывает эти важнейшие эксплуатационные характеристики со структуризацией КСН.

5. Дифференциация надежности ЭЭС по заблаговременности оценки возможна согласно общепринятым временным уровням управления функционированием и развитием: на текущую (для данного момента времени), оперативную (для интервала от нескольких минут до суток), краткосрочную (в пределах от суток до недели), долгосрочную (на месяц, квартал, год), многолетнюю (от года до нескольких лет), перспективную (от нескольких до 10-20 лет) и прогнозную (на 15-20 лет) надежность.

6. Соотношение групп задач АИСН с территориально-временной иерархией управления ЭЭС и причинами снижения и средствами обеспечения надежности удобно представлять в графическом виде (рис. 1-4).

7. Обновленная классификация задач АИСН ЭЭС может быть основой для инвентаризации существующих и выявления необходимости разработки новых моделей их решения на множестве различающихся объектов исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руденко Ю.Н., Чельцов М.Б. Классификация задач в проблеме надежности электроэнергетических систем // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1975. – Вып.2. – С. 6-17.

2. Надежность систем энергетики и их оборудования. Справочник: В 4-х т. Т.1: Справочник по общим моделям анализа и синтеза надежности систем энергетики / Под ред. Ю.Н. Руденко. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 480 с.

3. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / Под ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 648 с.

4. Надежность систем энергетики и их оборудования. Справочник: В 4-х т. Т.2: Надежность электроэнергетических систем / Под ред. М.Н. Розанова. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 568 с.

5. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы / Под ред. Н.И. Воропая. – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. – 434 с.

6. Современные проблемы надежности систем энергетики: модели, рыночные отношения, управление реконструкцией и развитием / Под общ. ред. М.Г. Сухарева. – М.: Изд-во РГУ нефти и газа им. М.И. Губкина, 2000. – 375 с.

7. Billinton R., Allan R.N. Reliability assesment of large electric power systems. – Kluwer academic publishers: Boston/ Dordrecht / Lancaster, 1988. – 296 p.
8. Надежность систем энергетики. Терминология / Отв. ред. Ю.Н. Руденко. – М.: Наука, 1980. – Вып. 95. – 44 с.
9. Надежность и эффективность функционирования больших транснациональных ЭЭС. Методы анализа: Европейское измерение / Ю.Н. Кучеров, О.М. Кучерова, Л. Капойи, Ю.Н. Руденко. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – 380 с.
10. Волков Г.А., Широкоступова М.С. Модели анализа и оптимизации надежности ОЭЭС для использования при формировании стратегии развития ЕЭЭС России // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2000. – Вып. 51. – С. 192-199.
11. Совалов С.А., Семенов В.А. Противоаварийное управление в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 416с.
12. Ковалев Г.Ф., Лебедева Л.М. Области использования и проблемы применимости критерия N-I при формировании структуры и выборе параметров элементов ЭЭС / Препринт ИСЭМ СО РАН, № 6. – Иркутск, 1999. – 69 с.
13. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
14. Naubrich H.-J., Nick W.R. Adequacy and security of Power Systems at planning stage. On behalf Sc 37 CIGRE, 1992. – 16 p.
15. Структуризация понятия «надежность электроэнергетических систем» /Ю.А. Фокин, О.В. Файницкий, Р.С.-О. Алиев, А.Е. Туманин // Электричество, 1998. – № 1. – С. 2-9.
16. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник: В 4-х т. Т.3: Надежность систем газо- и нефтеснабжения. Кн.1 / Под. ред. М.Г. Сухарева. – М.: Недра, 1994. – 414 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	
1. Существующие классификации задач анализа и синтеза надежности электро- энергетических систем	
1.1. Классификация задач АИСН ЭЭС, разработанная Ю.Н. Руденко, М.Б. Чель- цовым	
1.2. Состав задач АИСН в системе оперативно-диспетчерского управления ЭЭС ...	
1.3. Систематизация задач АИСН, предложенная М.Н. Розановым	
2. Обоснование расширенной классификации задач АИСН ЭЭС	
2.1. Структуризация комплексного свойства надежности ЭЭС	
2.2. Оценка полноты задач АИСН в существующих классификациях	
2.3. Предлагаемая классификация задач АИСН ЭЭС	
3. Распределение задач АИСН по уровням территориально-временной иерархии уп- равления ЭЭС и в разрезе причин снижения и средств обеспечения надежности	
3.1. Влияющие факторы, причины отказов и средства обеспечения надежности	
3.2. Соотношение предложенных групп задач АИСН с временными и террито- риальными уровнями управления ЭЭС, причинами снижения и средства- ми обеспечения надежности	
Выводы	
Литература	