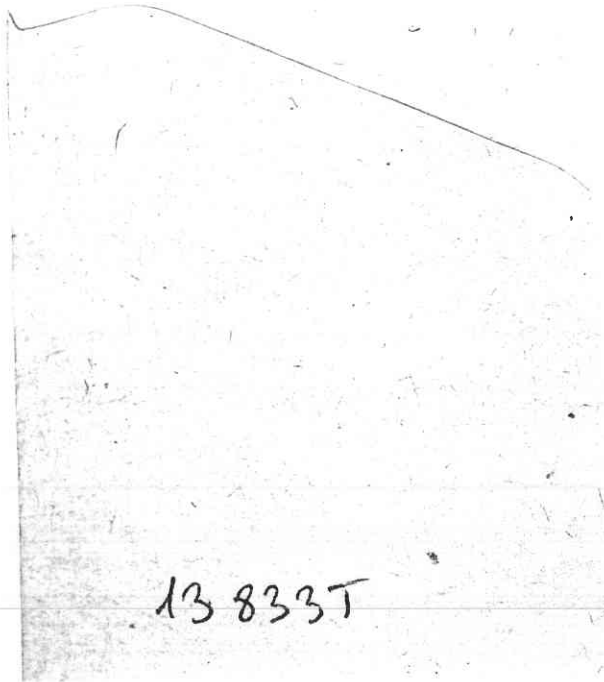


А.А.Башлыков

**Проектирование
систем
принятия решений
в энергетике**



13 833T

11 APR 2006



МОСКВА
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
1986

ВМ. 011

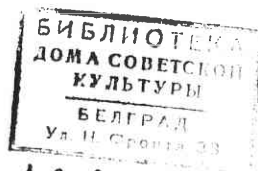
БЗЗ

ББК 32.965

Б 33

УДК 621.311:658.284.011.56:681.3

Рецензент: Д. А. Поспелов



13833Т

Башлыков А. А.

Б 33 Проектирование систем принятия решений в энергетике. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 120 с.: ил.

Рассмотрены принципы построения и проектирования диалоговых человеко-машинных систем управления режимами работы энергосистем, базирующихся на средствах автоматизации процессов поиска и принятия решений. Приведены основные математические модели процессов поиска и принятия решений, а также планирования при поиске решений. Рассмотрен пример реализации системы на технических средствах ЕС ЭВМ.

Для инженерно-технических работников в области проектирования и эксплуатации АСУ и АСДУ.

Б 1502000000-579
051 (01) -86 2-86

ББК 32.965

© Энергоатомиздат, 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Реализация энергетической программы СССР предполагает проведение работ, направленных на совершенствование управления и повышение уровня руководства производством электроэнергии. Одна из важнейших задач в области электроэнергетики в ближайшие два десятилетия — завершение формирования Единой электроэнергетической системы страны с повышением ее маневренности и надежности путем строительства пиковых электростанций, линий электропередачи сверхвысокого напряжения переменного и постоянного тока, а также улучшение качества электроэнергии, отпускаемой потребителям.

Основной фигурой в управлении электроэнергетическими системами, обладающей большими полномочиями по принятию управляющих решений, является диспетчер, который несет личную ответственность за бесперебойное снабжение электроэнергией. Диспетчер всегда трудится в условиях постоянного временного дефицита и увеличения объемов поступающей для оперативного анализа информации. Но возможности его не беспредельны. Именно это обусловило применение ЭВМ в сфере оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами. Наибольший эффект от такого применения можно получить в человеко-машинных системах принятия решений (СПР), в которых функции обработки информации будут оптимально распределены между человеком и ЭВМ. При этом ЭВМ должна выполнять не только традиционные функции сбора, хранения, обработки и отображения поступающей информации, но и автоматически выявлять состояния, требующие вмешательства диспетчера, и находить управляющие решения (советы диспетчеру).

Создание подобных систем рассматривается как одно из направлений деятельности, определенных решениями XXVII съезда КПСС и связанных с выполнением Энергетической программы СССР.

Одной из важнейших проблем, возникающих при проектировании СПР, является проблема автоматизации диспетчерских функций.

Организация диспетчирования как неотъемлемой части управления объектами энергетики имеет большую историю. Интерес, возникающий к такой проблеме в условиях создания СПР, закономерен и определяется следующими факторами. Во-первых, построение человеко-машинных систем управления, согласующих организационно-психологические, организационно-технологические и организационно-экономические аспекты

управления, становится невозможным без автоматизации функций диспетчирования. Во-вторых, повышение эффективности и качества любой системы управления в значительной мере зависит от того, насколько автоматизированы действия диспетчерского персонала, как оперативно и своевременно он принимает управляющие решения, влияющие непосредственно на качество электроэнергии.

Автоматизация диспетчерских функций и создание на этой базе человеко-машинных систем оперативно-диспетчерского управления широко используются не только в энергетике, но и во всех отраслях промышленности. Однако существующие до настоящего времени подходы к автоматизации диспетчерской деятельности в энергетике уже не удовлетворяют ее потребностям. Такое состояние дел определяется как сложностью алгоритмизации и программирования процессов диспетчерского управления, так и отсутствием методологических и методических проработок, которые могут быть положены в основу реализации СПР.

Цель настоящей книги – рассмотрение вопросов методологии и технологии проектирования автоматизированных систем диспетчерского управления, базирующихся на методах ситуационного управления, искусственного интеллекта и психологии мышления. Оставаясь на позициях системного подхода в проектировании, автор не претендует на законодательность своих предложений, а пытается выделить функционально завершенную составляющую человеко-машинного управления энергосистемой и показать подходы, принципы и практику проектирования СПР.

В книге обобщен опыт автора по автоматизации оперативно-диспетчерских функций управления в АСУ ТП энергосистемами, энергоблоками и электростанциями, а также отечественный и зарубежный опыт в этой области.

Искреннюю признательность автор приносит докт. техн. наук, проф. Д. А. Поспелову, а также канд. техн. наук В. Н. Вагину за квалифицированное редактирование рукописи.

Автор будет благодарен читателям за критические замечания, которые следует направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Автор

Принятие решений – это скорее искусство, чем наука

Г. С. ПОСПЕЛОВ

Часть первая

СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Глава первая

СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Решения человек принимал всегда и во всех сферах своей деятельности. Важная область принятия решений связана с оперативно-диспетчерским управлением в энергетике. Чем сложнее энергетический объект управления, тем труднее оценить его состояние и принять решение и, следовательно, легче допустить ошибку. Возникают естественные вопросы: Нельзя ли во избежание таких ошибок использовать ЭВМ? И как организовать эффективное взаимодействие человека и ЭВМ? Ответы на эти и другие вопросы, связанные с автоматизацией процессов условно-машинного управления, являются предметом данного изложения.

1.1. Энергосистема как объект управления

Характерными чертами современного этапа развития энергетики СССР являются рост единичной мощности энергоблоков и мощности электростанций, усложнение их взаимосвязей и взаимовлияния в рамках электроэнергетических систем [1, 29, 44, 57]. Технологический процесс выработки и распределения электроэнергии характеризуется: значительной территориальной рассредоточенностью источников выработки и потребления электроэнергии (которая пока исключает возможность ее накапливания); стохастическим характером потребления электроэнергии; ограниченной пропускной способностью распределительной электрической сети, связывающей генерирующие источники с потребителями; каскадным характером развития аварий (отключение линий, потребителей, генераторов и т. д.); высоким уровнем локальной автоматизации, обеспечивающим функционирование элементов электроэнергетических систем.

Основное назначение электроэнергетических систем – обеспечение надежного снабжения потребителей электроэнергией требуемого качества и в необходимом количестве при минимально возможных затратах [44, 57, 65].

Под *электроэнергетической системой* (далее для краткости — энергосистема) понимается электрическая часть объединения электрических станций, взаимосвязанных через электрические сети с центрами потребления электрической энергии, в единый энергопроизводственный комплекс [1, 44, 57]. Объединения отдельных энергосистем, охватывающие какую-то часть территории страны, называют *объединенной энергосистемой*.

Структура энергосистемы, т. е. состав установленной мощности энергосистемы, различаемой по типам входящих в нее электростанций [тепловые станции (ТЭС), теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), гидроэлектростанции (ГЭС), атомные электростанции (АЭС), гидроаккумулирующие станции (ГАЭС) и др.], может быть различной. Конфигурация энергосистемы и ее коммутация также могут быть различны (под *конфигурацией* понимается схематически представленное взаимное расположение входящих в энергосистему электростанций и основных электрических сетей, а под *коммутацией* — схематическое представление связей между электростанциями энергосистемы и центрами потребления электрической энергии).

Отдельные энергосистемы соединены между собой в электрических частях межсистемными связями, служащими для взаимного обмена мощностью. Подстанции, входящие в энергосистему, являются объектами. Цель последних преобразовывать электрическую энергию: повышать подводящее напряжение или понижать его [1, 44, 57].

Под *электрическими сетями* понимают устройства, предназначенные для распределения электрической энергии. Электрические сети состоят из электрических линий электропередач (ЛЭП), подстанций, распределительных и переключательных пунктов, связывающих источники электрической энергии и ее потребителей.

Под *режимом* работы энергосистемы понимается совокупность процессов, определяющих в любой момент времени состояние параметров режима. Под *параметрами* режима понимаются показатели, характеризующие режим системы и условия ее работы: мощности, напряжения, перемены по ЛЭП, частота и т. д.

Система характеризуется параметрами, т. е. показателями, зависящими от свойств оборудования системы, ее конфигурации и определяющими значения тех коэффициентов, с помощью которых устанавливается взаимосвязь и взаимозависимость параметров режима.

Функционирование энергосистемы происходит в установившемся или переходном режиме. Различают нормальный режим энергосистемы, т. е. работу в нормальных условиях с нормальными показателями качества энергии и отсутствием аварий; утяжеленный режим, т. е. работу энергосистемы с ухудшенными показателями качества, когда существует повышенная опасность аварийных нарушений схемы и режима; аварийный режим, т. е. работу энергосистемы при возникновении аварий; послеаварийный режим, т. е. состояние после устранения аварийных условий.

Одной из центральных проблем управления работой энергетических систем является создание соответствующих методов, моделей и программно-аппаратных средств, ориентированных на оптимизацию человеко-машинного взаимодействия, для оперативного ведения режима работы.

Рационально построенное управление энергетической системой как совокупностью отдельных систем в значительной мере сводится к отысканию оптимальных сочетаний в различных иерархических (технологических, территориальных) и временных аспектах методов, моделей и средств управления [1, 29, 44].

1.2. Принятие решений и организация управления энергосистемами

В работах [1, 29, 31, 57] показано, что технологические особенности энергетических систем, и в первую очередь тесная взаимосвязь между отдельными их элементами, определяют необходимость единого управления энергосистемой, которое охватывает не только оперативное регулирование отдельных устройств и установок, но также подготовку и планирование ее работы как на ближайшую, так и на более отдаленную перспективу.

Централизация управления привела к введению должности диспетчера, который должен осуществлять оперативное управление энергосистемой в эксплуатации через подчиненных ему работников диспетчерских подразделений отдельных энергообъектов.

Диспетчерское управление энергосистемой позволяет регулировать технологические процессы, обеспечивающие минимум затрат на производство и распределение электроэнергии.

Учитывая целевой характер деятельности диспетчерских служб [1, 44, 57], направленный на оптимизацию управления энергосистемой, следует обеспечить диспетчерам возможность: получать как общую и достаточно полную информацию о свойствах и характеристиках отдельных элементов систем, так и оперативную информацию об их состоянии в данный момент времени; достаточно быстро перерабатывать эту информацию для определения управляющих воздействий (правильных распоряжений, заданий или действий персонала, правильной отработки этих сигналов на автоматических устройствах и т. д.); неискаженно передавать эти воздействия персоналу энергообъектов или устройствам телеуправления для реализации команд на местах; иметь обратные связи (в удобном для быстрого понимания виде) для контроля за выполнением указанных сигналов или действий и их результатом, для корректировки сигналов в случае необходимости, а также регистрировать и анализировать работу энергосистемы и деятельность диспетчерской службы; прогнозировать и планировать режимы энергосистемы.

В настоящее время диспетчерский персонал энергосистемы при принятии решений по управлению режимами выполняет следующие важнейшие

оперативные функции [1, 44, 57]: 1) регулирование частоты и оптимальное распределение активных мощностей с учетом запланированных режимов ГЭС; 2) регулирование напряжений в основных узловых точках электрических сетей и оптимальное распределение реактивных мощностей в энергосистеме; 3) установление, поддержание и оптимальное распределение резерва активной мощности путем выбора очередности и времени включения и отключения агрегатов электростанций; 4) изменение схемы основных электрических сетей и станций с учетом необходимости ограничения токов и мощностей коротких замыканий и обеспечения устойчивости работы энергосистемы; 5) вывод в ремонт и включение в работу после ремонта важнейшего оборудования энергосистемы; 6) предотвращение и ликвидация системных аварий; 7) ликвидация значительных аварий с потерей электроснабжения части потребителей.

Для организации управления в энергосистемах диспетчерское управление поручается: а) оперативной службе, осуществляющей с помощью дежурных смен диспетчеров непосредственное управление энергосистемой; б) службе режимов, осуществляющей подготовку режима работы на следующие сутки, неделю или другие периоды года (в частности, на период зимнего максимума), разработку всех вопросов, связанных с экономичностью и надежностью работы энергосистемы, а также разработку инструкций и подготовку всех справочных материалов, необходимых диспетчерам при их оперативной работе, анализ фактического режима и т. д. [44].

Для обеспечения надежности и оперативности вышерассмотренной диспетчерской деятельности в энергосистемах большое внимание уделяется автоматизации процессов оперативно-диспетчерского управления путем создания автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ) на базе современной вычислительной техники.

1.3. Роль и место автоматизированных систем диспетчерского управления в управлении энергосистемами

Автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ), как и любые АСУ, предназначены для выполнения следующих функций:

- 1) планирования — выбора состава мероприятий и последовательности их осуществления в будущем для выполнения поставленной цели;
- 2) организации управления — установления постоянных и временных соотношений между подсистемами, входящими в систему, определения порядка и условий их функционирования;
- 3) оперативного управления — непрерывного или периодического сравнения фактических результатов работы системы с плановыми и соответствующей корректировки или замены управляющих воздействий;
- 4) связи — передачи сведений об объекте управления и внешней среде в центры управления, обмена

информацией между этими центрами, между системой и внешней средой, передачи команд от управляющей к управляемой подсистеме.

Перечисленные функции подчиняются главной задаче — выполнению системы поставленных перед ней целей.

Специфика диспетчерского управления энергообъектами отражается на функциях АСДУ, в первую очередь на функциях планирования и оперативного управления.

Планирование (и прогнозирование) режимов и состояний энергообъектов выполняется как на ближайшую, так и на более отдаленную перспективу с целью своевременной подготовки энергообъектов для выполнения оптимальных управляющих воздействий.

Прогнозирование выясняет ожидаемые потребности в мощности и энергии, возможности энергообъектов по выводу части оборудования в ремонт, вводу в строй нового оборудования, наличию энергоресурсов (в том числе и гидроресурсов) и оценивает будущее поведение всех энергоприемников.

Планирование в АСДУ — есть выбор целей и соответствующих им управляющих решений на основе ожидаемого прогноза.

Оперативное управление осуществляется в условиях единого технологического процесса производства, распределения, передачи и потребления электроэнергии. Оно позволяет принимать решения в следующих случаях:

Нормальный режим. При этом АСДУ используется для коррекции запланированных состояний и режимов, так как действительное состояние энергообъектов зависит от многих случайных факторов и отличается от прогноза. Эта коррекция предназначается для создания наилучшего режима работы энергообъектов с точки зрения минимума затрат, с выполнением всех требований качественного электроснабжения.

Утяжеленный режим. В этом режиме первоочередная задача АСДУ — выявление нарушений, по возможности, выяснения причин их возникновения и выдача рекомендаций оперативно-диспетчерскому персоналу, направленных на устранение возникших ненормальностей и восстановление нормального режима работы.

Аварийный режим. Этот режим (короткое замыкание, асинхронный ход, недопустимое даже кратковременно низкое или высокое значение частоты или напряжения, значительная перегрузка оборудования, создающая угрозу его повреждения), как правило, должен ликвидироваться действиями автоматических устройств. Лишь в редких случаях (при неотключенном коротком замыкании, длительном асинхронном режиме, резком отклонении от нормального значения частоты или напряжения, не устраненном действием автоматических устройств) от АСДУ требуется выдача информации оперативно-диспетчерскому персоналу о его немедленных действиях.

Послеаварийный режим. В этом режиме основные операции по ликвидации аварий и скорейшему переходу к нормальной эксплуатации осуществляются оперативным персоналом энергообъекта. Задача АСДУ — организовать своевременную и полную обработку необходимой информации с целью определения состояния энергообъектов и выдачи оперативно-диспетчерскому персоналу надлежащих рекомендаций. Традиционно все функции общесистемного оперативного управления в таких объектах возложены на человека-диспетчера энергообъекта. При этом оперативно-диспетчерское управление как вид деятельности является наиболее характерным звеном человеко-машинного взаимодействия, включающего в себя анализ состоя-

ния объекта управления, планирование режимов его работы и их реализацию с целью обеспечения качества, надежности и оптимальности процессов выработки и потребления электроэнергии на всей территории обслуживаемого энергообъектом региона [1, 57, 65]. Эта деятельность направлена на своевременное решение задач оперативного и автоматического управления, выявляющих отклонения параметров регулируемого процесса от планируемого, и поддерживается средствами технического, программного, информационного и лингвистического обеспечения автоматизированной системы диспетчерского управления.

Основная задача АСДУ — автоматизация решения его основных задач: организации сбора информации о состояниях объекта управления с целью создания информационного банка;

оптимального планирования режимов с учетом временной (долгосрочное, краткосрочное, суточное планирование) и административно-территориальной (энергообъединение, энергосистемы, электростанции, мощные энергоблоки) иерархий с целью создания банка оптимальных режимов;

оперативной коррекции и управления режимами в реальном времени с обеспечением цифрового регулирования (для энергосистем, районов и объединений — регулирование обменной мощности; для энергоблоков — функционально групповое управление);

оценки надежности планируемых режимов посредством выполнения для энергосистем расчетов токов коротких замыканий, статической и динамической устойчивости электрической сети;

предотвращения аварий при медленно развивающихся нарушениях режимов; ликвидации затянувшихся аварийных режимов;

восстановления нормальной схемы сети и электроснабжения потребителей в послеаварийных режимах;

организации ремонтных и восстановительных работ.

Таким образом, АСДУ сложным энергообъектом должна обеспечивать многосвязанное иерархическое управление.

Глава вторая

ЧЕЛОВЕК В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Оперативное управление энергосистемами осуществляется в рамках АСДУ. При этом функционально-управляющая деятельность лиц оперативно-диспетчерского персонала может быть представлена в виде совокупности отдельных связанных между собой работ. Каждая из этих функций обладает в известном смысле самостоятельностью, и в то же время всякая предыдущая функция в совокупности работ есть необходимая предпосылка для выполнения последующей. В данной главе приводятся результаты анализа и обобщения функций оперативно-диспетчер-

ского управления, а также методы формального описания процессов получения информации для реализации этих функций.

На основе рассмотрения структуры организационных процессов в управляющей системе обсуждается целенаправленное поведение лиц оперативно-диспетчерского персонала. При этом последовательность действий по каждой функции управления разбирается с точки зрения принятия решений.

Целенаправленное поведение диспетчера как лица, принимающего решение (ЛПР), представлено в виде множества фаз и этапов управления. В результате достижения общей цели управления системой обеспечивается достижение частных целей.

2.1. Функции лиц оперативно-диспетчерского персонала при принятии управляющих решений

Присущие энергосистемам черты больших систем не могут не оказывать существенного влияния на деятельность человека, управляющего такими системами [65]. Для того чтобы энергосистема оптимальным образом выполняла программу выработки электроэнергии, чтобы был обеспечен правильный ответ системы на различные неперiodически возникающие возмущения, человеку, выполняющему функции регулятора в этой системе, необходимо решать задачи по управлению режимами ее работы [55]. Будем рассматривать решение таких задач как деятельность, которая проявляется тогда, когда возникло рассогласование между программой производства электроэнергии и реальным режимом работы энергосистемы. В результате такой деятельности, направленной на устранение рассогласований, может возникнуть и складываться новая, не применявшаяся ранее в аналогичных случаях совокупность управляющих воздействий.

Процесс решения задач человеком при диспетчерском управлении был назван В. Н. Пушкиным *оперативным мышлением* [50, 55]. Он же показал, что оперативное мышление диспетчера является основным звеном переработки информации в управляющей системе. В этой связи мышление диспетчера как регулятора системы управления выполняет все ранее перечисленные функции.

Рассмотрим эти функции в определении В. Н. Пушкина.

Планирование — это мыслительная деятельность по созданию плана функционирования управляемого объекта на определенный отрезок времени. Основой всей деятельности диспетчера является общий план, который складывается обычно в начале смены на основе знания режима работы энергосистемы и учета тех изменений этого режима, которые сообщаются ему до начала работы. В продолжение смены диспетчер планирует свою деятельность на 2–3 ч вперед. Это частное планирование в диспетчерском труде, осуществляемое на основе оценки складывающегося динамического состояния объекта (*ситуации*) и соотношения результатов

этой оценки с информацией о реальном ходе процесса выработки электроэнергии.

Существенной чертой *оперативного планирования* является выбор диспетчером оптимального варианта регулировочных мероприятий из имеющихся в его распоряжении вариантов с учетом ограничений, заложенных в инструкциях службы режимов. Такое планирование, в которое входит и оценка возможных вариантов регулировки, и выбор среди них наилучшего, можно охарактеризовать как комбинаторное. Это планирование — важная составляющая диспетчерского оперативного мышления.

Контроль — специальная деятельность диспетчера, направленная на обеспечение выполнения выработанного плана и наблюдение за всей совокупностью управляемых объектов. Содержанием контроля является отражение в памяти человека различных динамических характеристик управляемых объектов и увязка их с программой. В работе диспетчерской службы контроль выступает как круговой обзор различных средств представления информации о состоянии элементов энергосистемы.

Контрольная деятельность диспетчера предполагает высокую степень его готовности в каждый момент времени вмешаться в технологический процесс для ликвидации возможных его отклонений от программы. Вероятность отклонения функционирования управляемого объекта от запланированного, возникновение различного рода возмущений в энергосистеме обычно велики и они могут приводить к изменениям в плановом режиме работы энергосистемы. В процессе оперативного управления у диспетчера на каждый момент должно быть несколько запасных вариантов плана (это ему обеспечивает служба режимов) и регулировочных мероприятий для быстрой ликвидации возникших отклонений.

Разработка регулировочных мероприятий является таким видом деятельности, в котором для множества прогнозируемых неблагоприятных состояний энергосистемы (ситуаций) можно поставить и решить задачу поиска регулирующих воздействий.

Диагностика как разновидность деятельности диспетчера особенно характерна для дистанционных форм управления энергосистемой. Это определяется тем, что в качестве управляемых объектов энергосистема имеет сложные агрегаты.

Диагностическая деятельность диспетчера развертывается при возникновении специфических аварийных ситуаций (различного рода поломки), когда возникает необходимость в устранении причин неисправности и процесс дифференциального диагностирования идет по линии последовательной проверки составных частей управляемого объекта.

Решение задач по устранению резких отклонений в управляемых процессах. В оперативно-диспетчерской деятельности при управлении энергосистемой довольно часто возникают ситуации, в которых обнаруживается резкое противоречие между запрограммированным и реальным ходом технологического процесса, а у диспетчера отсутствует четкое представление о том, что нужно сделать для ликвидации возмущения в сис-

теме, т. е. отсутствует способ действия. При этом возможны два случая. В первом случае диспетчеру вообще неизвестен способ действия, поскольку данная ситуация не встречалась ранее в его личном опыте и не предусмотрена производственными инструкциями, во втором случае, несмотря на необычность ситуации, в его распоряжении имеются отдельные приемы вмешательства в управление, комбинация которых дает возможность решить возникшую задачу.

Мыслительный процесс диспетчера в ситуациях такого рода приводит (в том случае, если задача успешно решена) или к открытию нового способа действия, или к созданию комбинации известных приемов вмешательства в управление, которая не использовалась ранее. Последний вариант — наиболее частый.

Такого рода ситуации, типичные для оперативно-диспетчерской деятельности, будем называть *проблемными*, поскольку они содержат черты, роднящие их с проблемными ситуациями в экспериментах по психологии мышления [58, 59].

Следует подчеркнуть, что возникновению проблемных ситуаций часто способствуют условия, специфичные для диспетчерского труда, например эмоциональный фон, порожденный огромной ответственностью за результаты деятельности, и острый дефицит времени, в условиях которого обычно протекает работа диспетчера.

Эти условия могут создать проблемные ситуации даже там, где структура деятельности довольно проста. Под влиянием эмоционального состояния (отрицательные эмоции), а также высокого темпа у диспетчера иногда выпадают из памяти известные ему из инструкций способы и приемы решения аналогичных задач, и он вынужден как бы заново их открывать.

Сложная структура деятельности диспетчера позволяет считать, что все виды его труда являются "умственными" и в основе их лежит интеллект, т. е. *оперативное мышление*, что, однако, далеко не всегда справедливо. Например, если, прежде чем отреагировать на ту или иную проблемную ситуацию, диспетчеру необходимо отразить, мысленно воссоздать, представить элементы, из которых складывается эта ситуация, затем привести в движение отражения, т. е. образы этих элементов, и на основе такого перемещения увидеть план будущего действия или совокупности действий, то здесь имеет место оперативное мышление. Если же действие однозначно следует из ситуации и его необходимость жестко определена программой, то, независимо от сложности действий, такого рода деятельность диспетчера следует назвать *реактивной*. В то же время необходимо подчеркнуть, что деятельность, осмысленная диспетчером для восстановления проблемной ситуации на управляемом объекте, может быть относительно проста и тем не менее ее можно назвать мыслительной. Таким образом, различие между реакциями и интеллек-

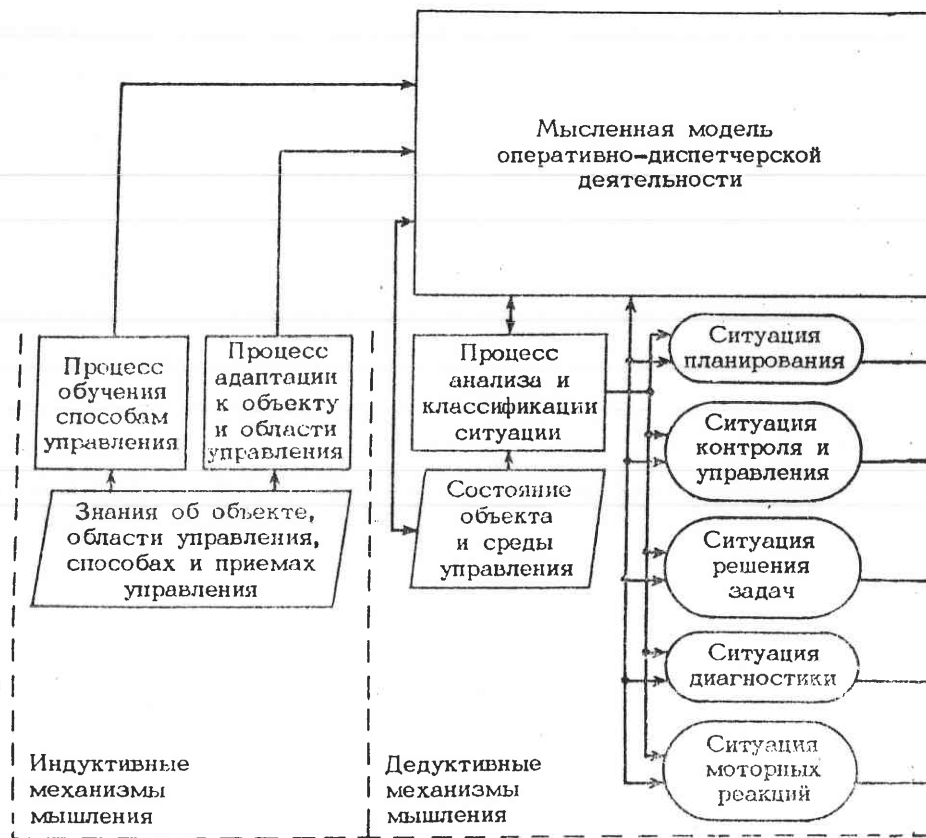


Рис.

туальными процессами состоит в качестве, т. е. в структуре психологической деятельности при решении задач, выделенных в процесс оперативной деятельности.

В этой связи необходимо подчеркнуть значение моделирующей деятельности мозга в оперативном мышлении. Понятие *мысленной модели* управляемого объекта и способов управления необходимо ввести не только для того, чтобы отделить характерную для такой деятельности реактивную составляющую, но и чтобы показать модельность оперативно-диспетчерской деятельности с присущими ей интеллектуальными процессами оперативного мышления [55, 58, 59].

Анализ функций оперативного мышления позволяет построить структуру процессов, базирующуюся на понятии мысленной модели оперативно-диспетчерского управления (рис. 2.1). Мысленная модель содержит всю информацию о данных, характеризующих объект управления, и об



2.1.

операторах функций, преобразующих эти данные, т. е. является хранилищем детерминированной и эмпирической информации. Для целенаправленной обработки информации модель, используя механизмы мышления, организует логическую последовательность работы процессов оперативного мышления.

Индуктивные механизмы мышления — процессы обучения и адаптации. Информацией, поступающей на их вход, являются знания об объекте и области управления, которые зафиксированы документально или могут быть переданы от человека к человеку при обучении.

Дедуктивные механизмы мышления — процессы анализа и классификации ситуаций, планирования, выбора, решения задач, дифференциального диагноза, реактивной деятельности. Информацией, поступающей на их вход, являются сведения о состоянии объекта управления, которые получает диспетчер в АСДУ от средств представления информации.

Рассмотрение функций и процессов оперативного мышления позволяет представить лишь качественную картину оперативно-диспетчерского управления энергосистемой. Но даже эта качественная картина не раскрывает ту сложную работу, которую должен выполнять диспетчер, ведя оптимальный режим работы энергосистемы.

Как оперативное управление не может существовать без объекта и системы управления, так и оперативное мышление не может существовать без организации моторного воздействия на объект управления через систему управления. Таким образом, от сенсорного восприятия через мысленную модель к моторным воздействиям — вот контур диспетчерского человеко-машинного управления в сложной системе вообще и в АСДУ в частности. Возникающая при этом проблема симбиоза человека и машины (ЭВМ) требует оптимального сочетания и распределения функций оперативно-диспетчерского управления между партнерами.

Понятие управления в таких системах обычно сводят к процедуре человеко-машинного принятия решений [2, 24, 37, 43, 63]. Особенность этой процедуры состоит в том, что она должна учитывать наличие человека, моделирующего поведение энергосистемы. Модель при этом может включать в себя как объективную, так и субъективную информацию.

Для оптимального сочетания и распределения функций между человеком и машиной всегда следует учитывать, что с ростом сложности систем управления человеческая способность делать точные и в то же время содержательные для практики выводы о поведении этих систем уменьшается [33, 54, 56, 61]. Во многих случаях она уже сейчас достигла предела, за которым сложность объекта управления, точность в оценке его состояний (ситуаций) и практическая ценность управляющих решений стали несовместимыми [36, 37, 52, 57]. Такой вывод становится более справедливым и понятным, если учесть практическую малоповторяемость ситуаций принятия решений (проблемных ситуаций), неопределенность состояний сложного объекта, временные ограничения, накладываемые на принятие даже самых ответственных и масштабных решений.

Неопределенность состояний связана как со случайным характером управляемых процессов, так и с неоднозначностью целей, критериев, альтернатив действий и их последствий.

Вместе со всем вышесказанным не следует и забывать, что современный диспетчер энергосистемы при управлении может учитывать большое количество взаимосвязанных, а иногда и противоречивых факторов, умеет выявлять проблемные ситуации, искать, находить и принимать правильные управляющие решения, причем все это человек может производить в условиях, когда отсутствует ряд компонентов информации и нет четких критериев.

Рассматриваемый подход к построению систем человеко-машинного управления базируется на разработке таких методов, которые позволили бы эволюционно пройти следующие стадии развития [17, 21, 26, 65]:

Информационная стадия. В контуре диспетчерского управления ЭВМ берет не себя только информационные функции. По данным, частично полученным автоматически и частично от ручного ввода, система выдает информацию в преобразованном виде, удобном для восприятия человеком.

Информационно-советующая стадия. ЭВМ, по данным, получаемым как и на информационной стадии, выполняет информационно-советующие функции, т. е. умеет оценить состояние объекта управления и найти перечень управляющих рекомендаций. Свои оценки состояния и рекомендации система отображает оператору вместе с информацией, полученной на предыдущей стадии в виде, удобном для восприятия.

Стадия полуавтоматического управления. ЭВМ, получая полностью или частично информацию непосредственно от объекта управления, не только выдает рекомендации диспетчерскому персоналу, но частично осуществляет и прямое воздействие в виде выдачи команд исполнительным механизмам и коммутационным устройствам. Человек и машина в этой стадии работают совместно, причем человек, используя свой опыт и интуицию, корректирует управляющие функции машины. При этом возможен и режим самообучения машины.

Стадия полного автоматического управления. Эта стадия предусматривает получение всей информации от системы (автоматическое получение и выдачу всех команд управления). При этом человеку отводится не только роль наблюдателя за ходом управляющего процесса, но оставляется возможность вмешательства в процесс с целью проверки правильности его исполнения и внесения корректив. На сегодня развитие человеко-машинных систем управления находится на первой стадии. Для того чтобы перейти на вторую и последующие стадии, необходимо рассмотреть методы принятия решений и информационный базис этих методов. Эти вопросы будут рассмотрены в дальнейшем изложении.

2.2. Этапы и фазы принятия управляющих решений

Энергосистема в процессе своей деятельности переходит из одного состояния в другое, при этом рассогласование между действительным и желаемым состояниями энергосистемы в оперативном мышлении трактуется как проблема. В человеко-машинных системах особенно важно изучить проблемы анализа состояний, выработки (решение проблемы, поиск решения [2, 3, 16, 28]) и принятия решений.

Под проблемами анализа состояний понимаются проблемы, связанные с решением задач выявления таких состояний, которые определяют проблемы выработки решений.

Под проблемами выработки решения понимаются проблемы, связанные с решением задач достижения цели путем поиска альтернатив — действий.

Под *проблемами принятия решений* понимаются проблемы, связанные с определением ЛПР конкретной альтернативы (из предложенной совокупности) при наличии информации о состоянии объекта и системы управления, критериев, решающих правил и с учетом собственных характеристик.

Каждая из этих проблем может трактоваться как логическая последовательность этапов, т. е. рассматриваться как процесс, протекающий во времени (рис. 2.2) [22, 24, 55].

Этап оценки состояний энергосистемы. В общем случае можно говорить о накоплении системой управления определенного объема данных о состоянии энергосистемы и внешней среды управления. Этот этап как бы предшествует этапу выработки решения. На этом этапе выявляются несогласования между желаемым и действительным состояниями энергосистемы. В случае отсутствия несогласований считается, что проблемы выработки и принятия решения не существует, если не считать за решение — не принимать никаких решений. В противном случае такая проблема остается.

Этап определения целей и критериев эффективности. На этом этапе определяется необходимость изменения (или сохранения) существующего состояния энергосистемы, т. е. устанавливается некоторая цель, которую необходимо достичь. Это выполняется на основе анализа недостатков существующего режима энергосистемы, причин их появления. В результате формируется представление о некотором режиме, в который желательно привести энергосистему. Этот новый режим и является целью. Для выработки и принятия решений человеком или системой управления необходимо желание осуществить какие-то действия для достижения поставленной цели [53, 59, 61, 62, 63].

Этап выработки решения. На этом этапе определяются все возможные способы или пути достижения цели, переходы в желаемые состояния. Здесь важно в максимальной степени обеспечить полноту множества возможных решений, включая и избыточные. Последнее является оправданным, так как потери, связанные с анализом большого числа решений, чаще всего несоизмеримо меньше возможных потерь системы управления в результате случайного исключения решения, которое на самом деле является наилучшим [36, 51, 56].

Этап принятия решений. Заключается в выборе из множества возможных решений наилучшего в смысле эффективности достижения цели. Результатом этого этапа будет единственное принятое управляющее решение.

Этап реализации решения. Его назначение — замыкание цикла управления, т. е. приведение энергосистемы в целевое состояние. В результате реализации принятого решения изменяется состояние энергосистемы. Информация о новом состоянии опять попадает на вход системы управления, что приводит к включению в работу этапа оценки состояния энергосистемы [65, 66].

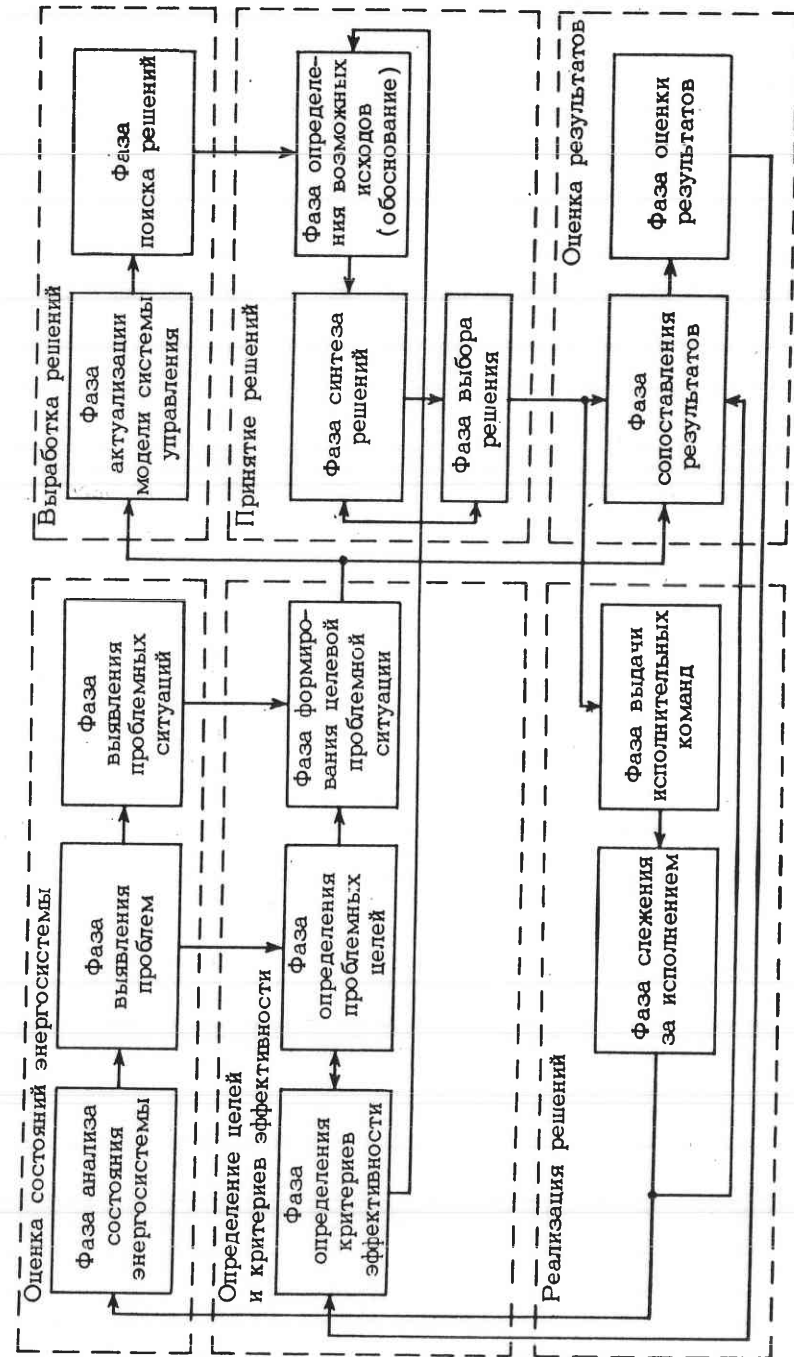


Рис. 2.2.

Этап оценки результатов. Оценив результаты реализации решений, можно скорректировать методы определения целей, критерии эффективности, модели управляемой и управляющей систем, состав (банк) информации.

Для обеспечения поиска возможных решений для всех состояний энергосистемы создается модель управляющей системы. Модель имеет связь с блоком оценки состояния энергосистемы, банком информации, блоком выработки множества возможных решений, блоком оценки результатов реализации решений. Данная модель может быть аналогом модели оперативного мышления. Заложенные в ней механизмы позволяют модели перестраиваться в зависимости от оценки результатов реализации решений и тем самым улучшать работу блока выработки решений. Основное назначение этой модели — быть областью поиска множества возможных решений. Область поиска является настраиваемой процессами блока оценкой состояний. Эта настройка заключается в актуализации тех или иных подобластей поиска в зависимости от ситуации, сложившейся на объекте, тем самым сокращается область поиска решений.

Для анализа поведения энергосистемы, проверки реакции на предполагаемые решения создается модель управляемой системы. Эта модель имеет связь с блоками выработки множества возможных решений, принятия решений, определения целей и критериев эффективности, оценки результатов реализации решений и информационным банком. Результаты, полученные в этой модели, вместе с оценкой результатов реализации предыдущих решений используются для определения целей и критериев эффективности. В свою очередь цели и критерии эффективности вместе с информацией из моделей управляемой и управляющей систем и необходимыми данными из банка информации позволяют выработать множество возможных решений и на их основе осуществить выбор решения. Полученное решение затем реализуют, а результаты оценивают. Наличие памяти и моделей позволяет анализировать поведение системы за длительный период времени. При анализе уточняют определение целей и критериев эффективности, вырабатывают множество возможных решений и создают условия для корректировки и самокорректировки моделей.

Разобранная логическая структура отражает процесс выработки и принятия решений как системой управления, так и отдельным человеком и позволяет распределить задачи между ними.

В данном изложении мы рассматриваем распределение задач этих этапов между человеком и ЭВМ в направлениях *принятия решений человеком, человеком с помощью рекомендаций ЭВМ, в диалоге человек — ЭВМ, ЭВМ.*

В первом из этих направлений исследуются логический и психологический аспекты проблемы, которые позволяют получить экспертные модели поиска и принятия решений, характерных для классов действий диспетчеров в нормальных, утяжеленных и послеаварийных режимах

работы энергосистемы. Особенности второго направления являются исследование психологических, семиотических и правовых аспектов проблемы и разработка формальных методов их реализации. Третье направление решает задачи разработки методов и средств организации человеко-машинного диалога с целью получения нужной для принятия решений информации в нужные сроки, в удобной для человека форме. Последнее направление базируется на достижениях трех предыдущих, результаты которых используются для создания математической, алгоритмической и программной среды в ЭВМ, адаптирующейся с объектом управления и позволяющей оставлять человеку только функции наблюдения и коррекции.

Рассмотренная логическая структура процесса выработки и принятия решений является общей. Она построена и описана так, чтобы помочь читателю сконцентрировать свое внимание на основных этапах и фазах процессов принятия решений, и вместе с тем позволяет изложить основные принципы, которые положены в основу структуризации процессов выработки и принятия решений:

Принцип модельности процессов выработки и принятия решений основан на том, что в основу теории систем человеко-машинного взаимодействия положена гипотеза модельности процессов мыслительной деятельности при принятии решений, т. е. при анализе текущего состояния энергосистемы и соотношении его с требуемым состоянием человек не просто собирает необходимую информацию для принятия решений, но и строит модель проблемной ситуации, выделяя в текущем состоянии наиболее важные элементы и отношения между ними. Эти отношения играют основную роль в осмысливании текущего состояния энергосистемы, создании модели и мысленной работе с этой моделью.

Принцип логической последовательности этапов оперативно-диспетчерского управления заключается в том, что из всех состояний, возникающих на энергосистеме, человек выделяет множество проблем, достойных внимания, с точки зрения управления. В найденном множестве он в первую очередь выделяет те проблемы, которые требуют его вмешательства в процесс управления — проблемные ситуации. Для каждой проблемной ситуации человек, проведя анализ причин ее возникновения, ставит цели и ищет множество управляющих решений, реализация которых на объекте управления позволила бы ее устранить. Каждое из найденных решений диспетчер оценивает с точки зрения его эффективности. И, уже имея решения вместе с оценками их эффективности, принимает одно, которое и реализует на объекте. Каждая такая реализация обязательно контролируется.

*Принцип "шести слуг"*¹. Он основан на исследовании вопросов, для которых человек ищет ответ на каждом из этапов принятия решения.

¹ Данный принцип введен автором по ассоциации со стихотворением Р. Киплинга "Есть у меня шестерка слуг..."



Рис.

Можно утверждать, что диспетчер ищет ответы на вопросы: *Что случилось? Когда случилось? Где случилось?* — для этапа оценки состояния энергосистемы. *Что за цели стоят в данном состоянии?* — для этапа определения целей. *Почему случилось? Что делать?* — для этапа выработки решений. *Как эффективны эти действия?* — для этапа принятия решений.

Если рассмотреть эту же последовательность этапов с точки зрения прогнозирования состояний энергосистемы, то там ищутся ответы на вопросы: *Что может случиться? Когда может случиться? Где может случиться? Почему может случиться? Что можно сделать?* Другими словами, все "шесть слуг" — Кто? Что? Когда? Где? Как? и Почему? — могут служить образами реальных процессов выработки и принятия решений.



2.3.

Принцип наблюдаемости основан на том, что в процессе выработки и принятия решений всегда должен оставаться след, по которому можно понять как логику рассуждений человека в процессе выработки и принятия решений, так и информацию, на основе которой строились эти рассуждения. Каждый такой след будем называть трассой, а процесс его составления — *трассировкой*.

Описанный набор принципов помогает унифицировать множество процессов, лежащих в основе механизмов поиска в мысленной модели управляющей деятельности и соотнести их с логикой работы человека. Все это позволяет построить аналог мысленной модели на ЭВМ и описать множество процессов на такой модели. Если удастся перенести в ЭВМ

знания человека, из области управления режимами работы энергосистем, то, обеспечив ему возможность связи с ЭВМ, а модели — с объектом управления, можно получить структуру, изображенную на рис. 2.3.

Принцип модельности на этой структуре трактуется как множество моделей для каждого из этапов и фаз принятия решений. Существенным при этом является требование возможности построения на каждой модели либо на любой их совокупности вычислительного процесса, реализующего как любой из этапов, так и их совокупность (принципы "шести слуг" и логической последовательности этапов). Принцип наблюдаемости характеризуется введением процесса трассировки, позволяющего как наблюдать логику машинных рассуждений, так и вмешиваться в процесс выработки и принятия решений. При таком вмешательстве человек может менять как логику, так и информацию.

Рассматриваемая структура позволяет представлять ЭВМ и человека как двух партнеров, одновременно участвующих в решении задачи управления. Существенно при этом то, что функции и полномочия могут перераспределяться между партнерами в зависимости от эволюционной стадии развития человеко-машинного управления.

Часть вторая

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫРАБОТКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Глава третья

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Как показали предыдущие рассуждения, в энергетике оперативное взаимодействие диспетчера со средствами машинной обработки и представление информации при управлении составляют одну из главных технологических операций всего производственного цикла выработки электроэнергии энергосистемой. Вместе с этим характеристики человека как элемента контура управления все чаще становятся узким местом в оперативно-диспетчерском управлении при сложившейся структуре средств и методов человеко-машинного управления.

Выходом из этого положения является создание новой структуры системы человеко-машинного управления, позволяющей осуществлять: сбор и комплексирование информации об объекте и среде управления; обработку и хранение этой информации с приемлемыми степенями агрегации; автоматическую и(или) человеко-машинную оценку состояний объекта и среды управления с прогнозированием возможной смены состояний; автоматический и(или) человеко-машинный поиск решений по управлению, инициируемый оценками состояний объекта и среды управления или неблагоприятными прогнозами тенденций развития управляемых процессов; автоматическую и(или) человеко-машинную оптимизацию найденных и рекомендуемых инстанциям, человеку, коллективу людей решений; человеко-машинное принятие решений с возможностями вызова для анализа как данных, лежавших в основе поиска рекомендуемых решений, так и используемой логики и математических методов, на которых базировался поиск предлагаемых решений.

Существующие в настоящее время подходы к автоматизации процессов принятия человеко-машинных решений при управлении сложными объектами основываются на теоретико-игровом, семиотическом принципах и методах теории идентификации и планирования эксперимента [52, 54]. При первом исследуется схема, в которой органу управления Y всегда известно множество взаимоисключающих решений $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$. Одно из них ему необходимо принять; среда и объект управления находятся в одном из взаимоисключающих состояний $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, когда Y в момент принятия решений известна не вся

информация; всегда имеется в наличии оценочный функционал $F = \{f_{jk}\}$, характеризующий оценку степени приемлемости принятых решений в терминах "выигрыша" или "проигрыша" Y в случае выбора им решения $r_k \in R$ для состояния $z_j \in Z$. При реализации такой схемы количественную сторону процедуры принятия решений в условиях, когда объект и среда "ведут себя" антагонистически по отношению к выбору решений органом управления, реализуют методы теории игр [54].

В случае "пассивных" объекта и среды управления, о которых органу управления известно распределение вероятностей $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ на $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, реализуют методы теории статистических решений [54]. Недостатком такого подхода применительно к системам принятия решений является трудоемкость априорного исследования всех вариантов отношений с учетом мощности их множеств, определяемых динамическим миром сложных объектов управления. Возникающая при этом переборная задача трудно реализуема на современных ЭВМ, особенно для процессов управления "в реальном времени".

В семиотическом подходе исследуется схема, в которой органу управления известно: не всегда определенное множество параметров $\{x\}$, характеризующих текущее состояние объекта и среды управления; множество способов разбиения $\{x\}$ на классы состояний $K = \{k_1, \dots, k_z\}$, требующих принятия решений; множество моделей поиска решений $\{M\}$; множество механизмов поиска решений на моделях $\{\varphi\}$. При реализации такой схемы динамически формируются множества $\{k\}$ и $\{M\}$, из возможности позволяют получать необходимые решения в приемлемые сроки, однако характер получаемых решений — качественный.

Методы теории идентификации и планирования эксперимента могут быть применены лишь в той мере, в которой можно собирать статистику по реакциям объекта управления на управляющие воздействия в режиме его функционирования. Это затрудняет их прямое использование в рассматриваемых системах.

Учитывая множество функций, возлагаемых на систему, существующие подходы к автоматизации процессов принятия решений, а также наличие лиц, принимающих решения, необходимо разработать концепцию человеко-машинного управления.

Такие системы, обладающие "собственными знаниями" и позволяющие автоматически или путем общения с человеком находить управляющие решения или вырабатывать и обосновывать логические факты, не заложенные априори, вести диалог с ЛПР, будем относить в дальнейшем к классу систем принятия решений с интеллектуальными механизмами автоматического поиска (СПРИНТ).

3.1. Концепция системы принятия решений с интеллектуальными механизмами автоматического поиска решений

В настоящее время не существует законченной общей теории систем подобного класса, поэтому и нет общей модели таких систем, обладающих знаниями в области управления и способных его использовать для организации целенаправленного поведения системы управления с целью достижения заданных критериев качества.

Вместе с тем анализ задач, которые должны решаться в системах принятия решений с интеллектуальными механизмами автоматического поиска СПРИНТ, показывает, что:

формальный аппарат, описывающий процессы распознавания ситуаций, выработки и принятия решений в быстромеменяющейся обстановке с элементами неопределенности, должен быть чрезвычайно гибким;

процессы выработки и принятия решений базируются не только на количественных характеристиках, но и на факторах, не всегда имеющих количественные меры (психологические, моральные и т. д.). Поэтому подготовку информации для принятия решений следует рассматривать как творческий акт выбора из совокупности возможных решений, в котором количественные факторы сочетаются с эвристическими способностями, заложенными в ЭВМ, формирующей решения, т. е. решения формируются на основе двух составляющих сторон выработки и принятия решений (формальной и творческой);

особое внимание нужно уделить самой процедуре принятия решений, т. е. важно знать, какие составляющие процесса выработки и принятия решений должны контролироваться ЛПР и какие могут быть выполнены ЭВМ;

важное место занимает проблема коммуникации человека и машины. Эта проблема имеет две стороны — удовлетворение информационных потребностей по имеющейся в системе информации и участие в процедуре выработки и принятия решений. Естественным требованием к средствам представления информации является их информативность и удобовоспринимаемость к языку общения — приближенность к языку профессиональной лексики и его слэнгам. Форма общения должна быть диалоговой;

проблема обучения или адаптации разработанной системы к предметной области управления требует разработки специальной процедуры, позволяющей выдавать информацию, представленную формально (алгоритмически) и неформально (экспертно). Такая процедура должна носить человеко-машинный характер и быть применимой для большого класса объектов;

проблема проектирования и генерации разных версий программного обеспечения систем принятия решений требует разработки специальной человеко-машинной технологии проектирования в рамках этого класса систем.

Учитывая характер деятельности систем типа СПРИНТ, основанный на способности адаптации и построении целенаправленного поведения, будем различать в системе два вида информации:

1) информацию, которая осуществляет целенаправленное поведение системы СПРИНТ путем организации процессов распознавания, поиска и принятия решений;

2) информацию, которая является элементами переработки со стороны вышеназванных процессов.

Первый вид информации назовем *знаниями системы о предметной области управления* — модели, задачи, алгоритмы.

Второй вид информации назовем *данными о состоянии системы, объекта и среды управления* — параметры системы, объекта и среды управления и области определения этих параметров.

Анализ, проведенный в предыдущих главах, позволил положить в основу концепции систем типа СПРИНТ следующие понятия:

глобальная логическая модель знаний как коллектив задач, моделей и способов их использования для организации процессов целенаправленного распознавания ситуаций, выработки и принятия управляющих решений;

область интерпретации глобальной логической модели знаний как структуризованное и упорядоченное динамическое множество атрибутов, характеризующее параметры системы, объекта и среды управления;

коллектив системных аналитиков, экспертов, которые, используя средства коммуникации, могут определить и описать элементы глобальной логической модели знаний и область ее интерпретации в объеме, достаточном для решения задач, которые могут быть поставлены в любой проблемной ситуации.

Отношения коммутации и интерпретации между этими понятиями позволили построить концептуальную модель системы СПРИНТ (рис. 3.1). Эта модель по способу описания и представления информации о проблемной области управления сходна с моделью многоуровневого представления в системах управления базами данных [17, 27], что дает возможность определить направление реализации системы в целом. При этом на учет были взяты следующие характеристики модели:

Экспертность — как основа для формирования целей управления, моделей, являющихся областью поиска решений, правил поиска и принятия решений.

Ассоциативность — как основа для автоматического накопления, обобщения информации и адаптации системы на предметную область управления.

Многоальтернативность — как основа для отображения всех возможных путей поиска решений.

Семиотичность — как основа для разработки механизмов интеграции разнородной информации об объекте и среде управления.

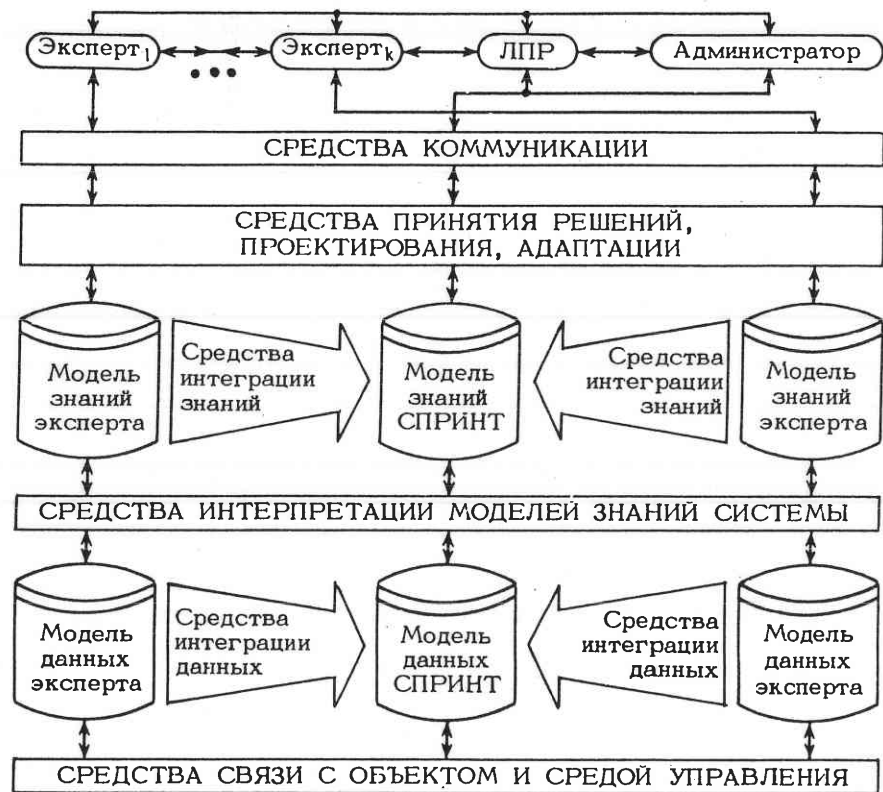


Рис. 3.1.

Коммуникабельность — как основа для реализации диалоговых средств общения системы с ЛПР.

Виртуальность — как основа для отражения глобальности информации, которая характеризуется территориальной разобщенностью и многоуровневостью источников получения, хранения и потребления информации.

Результативность — как основа для реализации модели СПРИНТ в вычислительных средах — средств вычислительной техники.

Полученная модель обладает рядом новых свойств, например, это одновременно и средство решения возникающих перед системой задач, и методология конструирования и реализации таких систем. Коллектив экспертов в СПРИНТ обладает как формальными, так и неформальными знаниями о предметной области управления. При этом каждый эксперт выполняет в коллективе определенную обучающую функцию. Это позволяет ему легко конструировать и наполнять модель знаний, выделять определенную локальную логическую модель знаний и иметь до-

ступ к глобальным моделям знаний и данных. Наличие экспертов позволяет помимо процедур распознавания, выработки и принятия решений также строить: процедуры выявления непротиворечивых знаний, используя динамически меняющиеся группы экспертов; создавать экспертные модели выработки решений для разных классов проблемных ситуаций; моделировать любые комбинации централизованного и децентрализованного принятия решений; достигать большей общности, что позволяет реализовать различные методы решения задач. Кроме того, в таком коллективе есть возможность формализации связи между экспертами и построения на этой основе стандартных средств коммуникации. С помощью этих средств организуются различные режимы взаимодействия — от явного обращения одного эксперта к другому до неявного обращения, когда адресат определяется по реализуемой им функции.

Наличие множества задач, моделей и знание способа их использования в тех или иных ситуациях выработки и принятия решений позволяет разработать единые средства описания такой информации и организацию их автоматического использования системой. В качестве таких средств применяются средства лингвистической и программной поддержки: языки определения логической модели знаний (ЯОЗ) и манипулирования элементами логической модели знаний (ЯМЗ) и их программные процессоры. Определение знаний предполагает введение новых типов информации, таких, как модель, задача. Манипулирование знаниями основывается на планировании процессов поиска решений в глобальной модели знаний путем использования механизма целеполагания [15, 17, 18, 20, 23, 24, 27].

Многообразие логических моделей данных (МД) в системах управления базами данных (СУБД) является объективной закономерностью развития теории и практики информационных систем, отражает разнообразие элементов данных и их свойств и отношений в реальных предметных областях. Это предопределено шестнадцатилетним развитием языков и методов программирования задач анализа и обработки сложноструктуризованных данных, а также существованием различных формальных методов определения множеств объектов, их свойств и операций над ними. Каждая МД зависит от семантики языка определения данных (ЯОД) и языка манипулирования данными (ЯМД). Принято различать иерархические, сетевые, реляционные МД, а также МД, основанные на бинарных отношениях, семантических сетях, на понятии расширенных множеств и т. д. [42]. Классы моделей данных существенно различаются выразительностью средств представления свойств и отношений элементов глобальной логической модели знаний, уровнем предусмотренных операций над базой данных (БД) и эффективностью реализаций таких операций при существующих средствах обработки данных. Различие МД обычно оказывается принципиальным, так что выбор той или иной МД при создании БД и решении конкретных задач может дать решающие преимущества. Существование различных МД привело к разработке многоуровневой архитектуры СУБД, сочетающей единственную концептуальную модель с произвольным числом внутренних и внешних МД [42]. Все это порождает проблему отображения одной модели в другой. В случае системы СПРИНТ это — отображение глобальной логической модели знаний в логической модели данных и создание средств интерпретации логической модели данных в модели знаний.

Рассмотренная концепция хорошо согласуется с природой сложных человеко-машинных систем принятия решений и позволяет, используя знания:

1) экспертов-управленцев — строить модели распознавания состояний объекта и среды управления, классификации состояния, целеполагания, выработки и принятия управляющих решений;

2) экспертов-постановщиков локальных задач управления — строить функционально полный коллектив вычислительных алгоритмов, характеризующий конкретную область управления;

3) экспертов — программистов вычислительных алгоритмов, — “наполнить” программную систему конкретным содержанием;

4) экспертов — конструкторов систем принятия решений проектировать и генерировать программное обеспечение системы и организовывать ее проблемную ориентацию.

Резюмируя сказанное, можно заключить, что рассмотренная концепция полностью отвечает проблемам человеко-машинного управления сложными технологическими объектами, методами и теории построения больших управляющих программных комплексов.

3.2. Процедуры принятия решений

В настоящее время в теории систем процессы изменения оцениваемых величин различных объектов, включая и энергосистемы, понимаются как процессы эволюции состояния некоторой абстрактной динамической системы, математическая модель которой отражает внутренние причинно-следственные связи объекта. *Состоянием энергосистемы* будем называть совокупность параметров, которые в каждый рассматриваемый момент времени отражают наиболее существенные, с точки зрения управления, стороны ее поведения.

Понятие состояния играет главную роль в описании изменений, происходящих в энергосистеме во времени. *Изменение состояния* будем рассматривать как некоторый процесс, носящий технологический характер. Систему, состояния которой изменяются во времени под действием взаимосвязанных и взаимно обусловленных внутренних и внешних причин, будем называть *динамической системой*. Энергосистема относится к классу динамических систем, которые в каждый момент времени t находятся в одном из возможных состояний z и способны переходить из одного в другое под действием внутренних и внешних причин.

Определение состояния энергосистемы по данным измерений входных и выходных сигналов называется *наблюдением состояния* [54]. Будем всякое состояние системы Z рассматривать как точку в векторном пространстве. Выделим в этом пространстве некоторую замкнутую область Z_0 , ограничивающую возможные перемещения точки z в процессе функционирования системы. Таким образом, любая точка z , изображающая текущее состояние системы, будет внутренней точкой области Z_0 .

Для энергосистемы область Z_0 интерпретируется как область допустимых режимов энергосистемы. Уравнение границы области Z_0 запишем в виде

$$\Gamma(z_0) = 0. \quad (3.1)$$

Состояние энергосистемы в момент $t \in T$ обозначим через $z(t) \in Z$, входные и выходные сигналы – соответственно через $x(t) \in X$, $y(t) \in Y$. Переход системы из состояния $Z(t_1)$ в состояние $Z(t_2)$, $t_2 > t_1$, определяется динамическими свойствами системы и возмущающими воздействиями. Все возможные возмущения, действующие на систему, будем подразделять на внешние (параметры объекта и входные управляющие сигналы) и внутренние возмущения (все остальные).

Рассмотрим изменения состояний системы под действием внутренних и внешних причин. При непрерывном изменении состояния оператор перехода обозначим P_n , при изменении состояний, характеризуемых отказами оборудования, – P_0 .

Пусть в начальный момент времени t_0 система находится в состоянии $Z(t_0) \in Z_0$. Полагаем, что входные сигналы отсутствуют и изменение состояния обусловлено влиянием внутренних причин, тогда опишем это уравнением

$$Z(t) = P_n[t, t_0, Z(t_0)], \quad t > t_0. \quad (3.2)$$

Причины, вызвавшие изменение состояния системы, не меняются до $t = t^*$ – момента выхода точки $z \in Z$ за границу области Z_0 . Чтобы найти этот момент, нужно совместно решить уравнения (3.1) и (3.2).

Предположим, что в момент t^* в системе происходит отказ оборудования, тогда ее состояние в момент $t^* + 0$ определяется уравнением

$$Z(t^* + 0) = P_0[t^*, Z(t^*)]. \quad (3.3)$$

Момент отказа находится совместным решением уравнений (3.1) и (3.3).

Каждое изменение состояния системы приводит к тому, что на выходе формируется сигнал, фиксирующий это изменение в соответствии с уравнением

$$Y(t^*) = L[t^*, Z(t^*)], \quad (3.4)$$

т. е. формируется сообщение, по которому можно наблюдать изменение состояний системы.

Рассмотрим изменение состояния системы под действием внешних причин. Пусть в момент $t' \in T$, когда система находилась в состоянии $Z(t')$, на ее вход подается сигнал $x(t') \in X$. При этом система переходит в состояние

$$Z(t' + 0) = P_n[t', Z(t')], \quad (3.5)$$

где P_n – оператор перехода.

Если (3.1) и (3.5) имеют совместное решение, то в системе наблюдается событие выхода за границы управляемой области и система выдает

наблюдаемый сигнал

$$Y(t') = L'[t', Z(t'), X(t')]. \quad (3.6)$$

Таким образом, поведение системы можно описать в виде последовательной смены состояний под действием внутренних и внешних причин. Наблюдения за нарушением системой ограничений, определяющих область управления, осуществляются с помощью событий, которые описываются выражениями (3.4) и (3.6).

При описании энергосистемы необходимо решить ряд задач: первая – определение и описание элементов, являющихся информационной моделью объекта и среды управления; вторая – определение и описание операторов переходов и выходов системы; третья – организация связи объекта с внешним миром, с целью наполнения конкретным содержанием информационной модели и интерпретирующих ее операторов.

Получаемая решением этих задач динамическая модель энергосистемы позволяет определить на ней весь набор состояний, рассматриваемых как набор переменных, описывающих энергосистему. Однако сами по себе они не дают ответ на вопрос: нужно ли вмешательство человека в процесс управления? Для получения такого ответа необходимо задать виды технологических состояний объекта, указав соответствующие граничные условия и проверив выполнение этих условий по каждой переменной состояния.

Пусть, например, условие нормальной работоспособности энергосистемы по некоторой переменной $f_i \in Z$ (f_i – частота) задается в виде неравенства

$$f_{iн} \leq f_i \leq f_{iв},$$

где $f_{iн}$, $f_{iв}$ – нижнее и верхнее допустимые значения частоты в энергосистеме.

Выход f_i за пределы интервала $[f_{iн}, f_{iв}]$ фиксируется как проблемная ситуация, а соответствующее данной ситуации состояние энергосистемы – как требующее принятия решений по управлению.

Таким образом, общая проблема анализа состояния выработки и принятия решений в системе СПРИНТ заключается в последовательном решении следующих задач: определения состояния объекта и среды управления (задача наблюдения состояния); отнесения каждого из состояний к одному из заданных видов состояний (задача классификации состояний); постановки задач поиска решений в соответствии с целями, достижимость которых необходимо обеспечить в каждом из классов состояний (задача формирования стратегий цели поиска решений); выбора области поиска решений (задача модельной классификации); поиска решений для каждого из классов состояний (задача поиска решений); определения достижимости целей управления при реализации управляющих решений (задача определения возможных исходов); оценки качества решений, определяемых достижимыми результатами при их реали-

защиты на объекте управления (*задача обоснования решений*); сужения множества управляющих рекомендаций (*задача синтеза решений*); слежения за логикой "машинных" рассуждений при поиске решений (*задача трассировки решений*); организации человеко-машинного взаимодействия при решении задачи на системе (*задача информационного диалога*).

Рассмотрим подробнее эти задачи и определим набор процедур, реализующих их в системе СПРИНТ. Пусть I — информационная модель, отражающая состояния объекта и среды управления; S — ситуация, требующая принятия решений, определенная на элементах I . В соответствии с гипотезой модельности процессов оперативно-диспетчерского управления [55], человек-оператор использует свою мысленную модель решения M_2 для понятия важных и оценочных аспектов ситуации. Иными словами, он работает с помощью M_2 как для исследования ситуации S , так и для получения связанных оценок и решений о действиях, которые необходимо предпринять в данной ситуации S . При этом логическая последовательность этапов работы человека можно отобразить схемой, изображенной на рис. 2.2. Принципиальным компонентом модели принятия решений M_2 является процедура поиска и принятия решений как процесс φ и структура G вида "ситуация — цель — модель — решение — предпочтение". Эта структура обеспечивает реализацию описательных свойств ситуации S , целей C и оценочных стандартов O , связанных с S , различных альтернатив поиска решений, которые допустимы для S и для ее контроля. В состав G входят представление или модель M_S ситуации S ; пространство стратегий $C_S(M_S)$, дающее в рамках M_S варианты выбора моделей принятия решений $\{M_2\}$ в соответствии с целями решений; пространство стратегий $C_M(M_2)$, дающее в рамках M_2 варианты выбора путей поиска решений на элементах M_2 ; пространство предпочтения выбора решений π , зависящее от событий в системе S и состояний моделей I , M_2 , M_S . Процесс φ дает средство поиска в M_2 различных решений, оценки и выбора среди них элементов R в соответствии с отношением предпочтения (π). Модель M_S используется для описания, дифференциации и предсказания S в терминах атрибутов S и их возможных связей. Часть описания связана с классификацией состояний S на некоторое число различных категорий, именуемых в дальнейшем классами ситуаций K_S . Часть других описаний связана с определением пространства стратегий поиска моделей принятия решений $\{M_2\}$ для каждого из классов ситуаций K_S . Множество M_2 используется для описания, структуризации знаний о всех путях поиска решений R для каждого из элементов множества возможных ситуаций S_i в классе ситуаций K_{Si} .

Таким образом, управление сложными объектами с использованием систем данного класса будем рассматривать как человеко-машинную деятельность по определению состояний объекта управления, требующих принятия решений, поиску и выбору решений путем целенаправленного согласования моделей управляющей деятельности, заложенной в ЭВМ — M_1 и существующей у человека — M_2 . Такое модельное пред-

ставление определяется накопленными знаниями об области управления, целями управления, ограничениями, присущими как объекту, так и органу управления, множеством объективных и субъективных предпочтений по выбору путей поиска решений и оценки степени их применимости. Интерактивность взаимодействия человека с системой организуется путем введения понятия человеко-машинной ситуации, требующей принятия решений S_u и определяющего это понятие множества атрибутов. Характер этой деятельности, с одной стороны, задается человеком путем управления процессами постановки задачи слежения за ходом ее решения. С другой стороны, система уточняет корректность поставленных задач, предлагает альтернативные пути их решения, используя "знания и опыт" поиска решений, отраженный в своей модели. Таким образом, человек и система взаимодействуют как партнеры, согласующие свои методы решения задач управления с целью получения удовлетворительного для человека результата. Симбиоз будет оптимальным лишь тогда, когда работа системы организуется в режиме "интеллектуального" советчика человека, осуществляя рутинные функции автоматического распознавания ситуаций, требующих принятия решений, поиска решений на основе информации, полученной как от партнера, так и с использованием системных знаний. Эти знания существуют в системе в виде двух видов структурированных множеств { вычислительных [40] и теоретико-множественных [67] }, { диалоговых [27] и экспертных (логико-алгебраических [8] и логико-лингвистических [52]) } моделей оценки ситуации и поиска решений [27]. Первый вид моделей определен на ситуациях, для которых может быть найден алгоритм, связывающий искомые параметры с заданными, и перебор вариантов не очень велик. Второй вид моделей служит для поиска решений, в сильной степени зависящих от ситуаций и где перебор чрезвычайно велик. Можно сказать, что вычислительные и теоретико-множественные модели являются аналогами расчетных операций при поиске решений, а диалоговые и экспертные — аналогами методов поиска решений.

Исходя из сказанного, концепция систем типа СПРИНТ включает в себя как собственно систему принятия решений, так и ЛПР со своими возможностями по распознаванию и оценке ситуаций, а также поиску решений. Возможности каждой из взаимодействующих сторон определяются полнотой моделей управляющей деятельности, процедурами принятия решений и модельным базисом процедур принятия решений.

При этом процессы принятия решений и мышления рассматриваются как семиотические (знаковые). Используемая при этом последовательность шагов (связанных причинно-следственными, временными, пространственными и другими отношениями) нахождения управляющих решений на каждую проблемную ситуацию рассматривается как логика поиска решений.

Следовательно, на каждом шаге взаимодействия человека и СПРИНТ одной из сторон формируется запрос в виде проблемной ситуации и (или)

подмножества алгебраических операций модели в соответствии с логикой поиска решений. Задача СПР состоит в отыскании интерпретации этих операций в терминах своей модели, их выполнении и в ответном формировании запроса (здесь искомый результат трактуется как запрос).

Модель управляющей деятельности при оперативном принятии решений задается выражением

$$M_1 = \langle TUD, MD, IT \rangle, \quad (3.7)$$

где

$$TUD = \langle L_{TUD}, AKS, \Theta \rangle \quad (3.8)$$

— теория управляющей деятельности (модель знаний системы) при оперативно-диспетчерском управлении режимами работы энергосистемы;

$$MD = \langle x^z, b^z, f^z, p^z \rangle \quad (3.9)$$

— информационная модель данных, описывающая энергосистему;

$$IT = \langle IT_1, IT_2 \rangle \quad (3.10)$$

— интерпретация TUD в MD . Здесь $L_{TUD} = L_{ЯОЗ} U L_{ЯОД}$ — язык описания теории, являющийся объединением языков определения знаний и данных; AKS — аксиомы теории; Θ — правила вывода утверждений в теории; x^z, b^z — множество переменных и констант состояния; $f^z p^z$ — множество функциональных и предикатных переменных состояния; IT_1 — пользовательская интерпретация элементов модели знаний системы, задающая экспертно соответствие правила установления соответствия между синтаксической структурой элементов языка L_{TUD} и их смыслом в области управления режимами работы энергосистемы (семантика пользователя); IT_2 — машинная интерпретация элементов, задающая экспертно алгоритм установления соответствия между семантической структурой элементов языка L_{TUD} и их истинностью в каждый текущий момент поиска решений (прагматика области управления).

Теория управляющей деятельности в зависимости от ограничений, накладываемых на правила вывода утверждений Θ , может быть описана средствами логики предикатов первого порядка, продукционных и алгоритмических систем [52]. Действительно, в логике предикатов нет ограничений на применение правил вывода. К любому уже выведенному утверждению подходит любое правило вывода, если данное утверждение допускает его использование. В продукционных системах, базирующихся в СПРИНТ также на логике предикатов, имеются дополнительные условия на применимость того или иного правила вывода. Эти условия могут меняться в процессе функционирования продукционной системы в зависимости от получения той или иной информации в процессе вывода. В алгоритмических системах последовательность применения правил определена однозначно. В СПРИНТ в качестве языка описания теории управляющей деятельности применен язык логики предикатов первого

порядка [47] и язык алгоритмов обработки информации [40]. В качестве правил вывода утверждений в теории выбраны правила вывода в логике предикатов, их модификации в системе продукций и алгоритмические правила.

Связь теории управляющей деятельности с проблемными ситуациями и возникающими при их появлении задачами поиска решений достигается путем учета логической последовательности этапов работы человека при управлении энергосистемой и выделения множества процедур принятия решений, характерных для ЛПП и реализуемых в СПРИНТ. Упорядочив это множество, представим его в виде следующей последовательности процедур, задаваемых коротежами:

процедура ситуативной классификации

$$\varphi_1 = \langle S, J, K_p, K_s \rangle, \quad (3.11)$$

где S — ситуация, задаваемая некоторым отношением на множестве элементов I ; J — множество экспертных предпочтений по выбору правил классификации, заданное на множестве $\{S \times K_s\}$; K_p — множество правил классификации — решающих процедур; K_s — множество классов ситуаций, для которых существуют модели поиска решений;

процедура модельной классификации позволяет определить то множество моделей принятия решений, организовав вычисления на которых можно найти требуемые решения:

$$\varphi_2 = \langle S, K_s, A_1, M_1 \rangle, \quad (3.12)$$

где A_1 — множество альтернатив выбора моделей поиска решений, весовые коэффициенты которых зависят от S и K_s , может задаваться человеком в интерактивном режиме работы с системой; M_1 — множество моделей поиска решений;

процедура формирования стратегий цели поиска решений позволяет определить множество локальных и (или) глобальных целей управления, которые необходимо достичь с помощью решений, найденных в данном классе ситуаций:

$$\varphi_3 = \langle S, K_s, C, K^p, C \rangle, \quad (3.13)$$

где C — множество текущих целей, стоящих перед управляющей системой; K^p — множество критериев достижения целей (и цели, и критерии могут варьироваться человеком и меняться с течением времени, например при управлении энергосистемой цели и критерии меняются в зависимости от времени года, суток, погодных условий и др., что связано с оптимизацией расхода топлива и планированием его доставки к месту использования); C — множество стратегий цели поиска решений (например, при цели стабилизации параметров энергосистемы, в случае их отклонения, формируется стратегия поиска такого решения, реализация которого привела бы энергосистему в заданный режим работы);

процедура поиска целевых управляющих решений позволяет организовывать поиск решений для каждой из проблемных ситуаций в соответствии с целями и критериями управления:

$$\varphi_4 = \langle S, C, M_1, R_{ц} \rangle, \quad (3.14)$$

где $R_{ц}$ — множество целевых управляющих решений, которые могут быть найдены в модели поиска решений (базе знаний) M_1 , настроенной на текущую ситуацию $s_i \in S$ при использовании стратегии $c_i \in C$. Данная процедура выполняет две функции — планировщика вычислительной последовательности поиска решений и решателя. Первая функция заключается в формировании решающей последовательности программ, вторая — в организации выполнения этих программ и получения управляющих рекомендаций в конкретной вычислительной среде;

процедура определения возможных исходов реализации решений позволяет задать достижимость локальных и (или) глобальных целей управления при реализации тех или иных управляющих решений. Это выполняется путем организации вычислений на модели допустимой области принятия управляющих решений — $M_{ДОУ}$, определении этой области — $O_{ДОУ}$, в соответствии с целями Π и критериями — K^p , характерными для данного уровня принятия решений. Данная процедура задается

$$\varphi_5 = \langle S, R_{ц}, \Pi, K^p, M_{ДОУ}, O_{ДОУ}, R_{ц1} \rangle, \quad (3.15)$$

где $R_{ц1}$ — множество тех управляющих решений, которые являются удовлетворительными исходами, т. е. исходами, при реализации которых могут быть достигнуты локальные и (или) глобальные цели управления;

процедура обоснования решений позволяет оценить качество решений (их оптимальность) путем организации вычислений на модели определения оптимальной области принятия управляющих решений ($M_{ООУ}$) для выбора области оптимальных управляющих решений ($O_{ООУ}$) в соответствии с целями и критериями. Элемент кортежа $R_{ц1}$ является множеством тех управляющих решений, которые удовлетворяют $O_{ООУ}$ и могут быть в первую очередь рекомендованы для реализации на энергосистеме. Данная процедура

$$\varphi_6 = \langle S, R_{ц1}, \Pi, K^p, M_{ООУ}, O_{ООУ}, R_{ц2} \rangle; \quad (3.16)$$

процедура синтеза решений позволяет уменьшить количество одновременно рекомендуемых системой ЛПР управляющих решений вне зависимости от того, сколько ситуаций одновременно было на входе системы. Кроме того, процедура ранжирует выдаваемые человеку управляющие решения как по информации, полученной от процедур φ_5, φ_6 , так и пользуясь множеством предпочтений по "сужению" множества $R_{ц}$. Эти предпочтения могут задаваться экспертно. Процедура задается в виде

$$\varphi_7 = \langle S, R_{ц2}, O_{ДОУ}, O_{ООУ}, R \rangle. \quad (3.17)$$

Информация для ЛПР после работы этой процедуры выдается в виде $\langle \{S\} = \{R, O_{ДОУ}, O_{ООУ} \}$. Человек может связать текущую ситуацию с необходимыми решениями с учетом их принадлежности к $O_{ДОУ}$ или $O_{ООУ}$, задавая $R_{ц2}$;

процедура выбора решений позволяет организовать процесс человеко-машинного взаимодействия с целью принятия одного решения, подлежащего реализации. При этом ЛПР может выбрать одно из рекомендуемых системой решений или принять свое, отличное от рекомендуемых, $R_{ц}$, о чем он должен сообщить системе. Если $R_{ц} \cap \bar{R} = \emptyset$, то это решение может быть реализовано. Здесь $\bar{R} = R_{ц} \cap R_{ц1} \cap R_{ц2}$ — запрещенное множество решений. Формально эта процедура

$$\varphi_8 = \langle S, R, \bar{R}, R_{ц} \rangle; \quad (3.18)$$

процедура оценки результатов реализации решений на энергосистеме позволяет оценивать эффективность принятых и реализованных решений с целью коррекции (в режиме обучения или самообучения) модели знаний системы и перевода части информации вида $\{ \langle \text{ситуация} \rangle - - - \langle \text{решение} \rangle \}$ из сферы системы в сферу локальной автоматики. Эта процедура

$$\varphi_9 = \langle S, R \cup R_{ц}, M_1, \varphi_{13} \rangle, \quad (3.19)$$

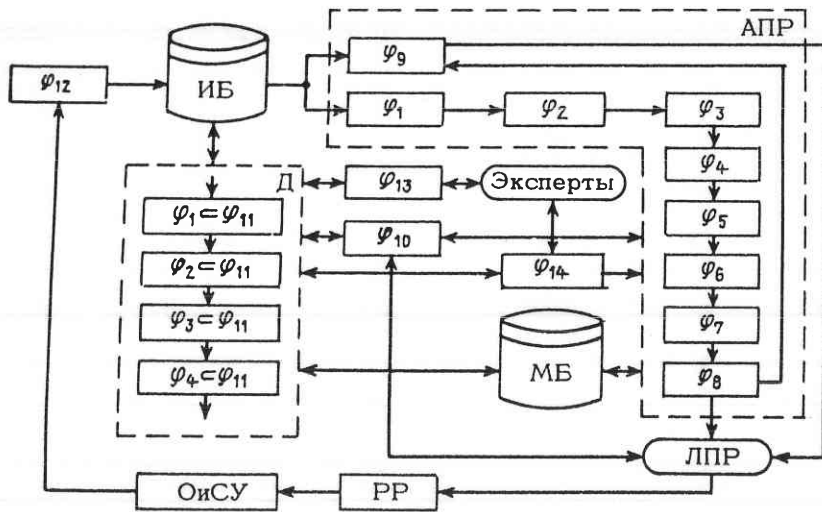
где φ_{13} — процедура обучения (самообучения) системы и коррекции ее модели знаний M_1 ;

процедура трассировки решений позволяет организовать слежение за логикой машинных рассуждений при поиске решений и используемом при этом информационном базисе. Эта процедура возвращает ЛПР свойство наблюдаемости, т. е. возможность установления любых отношений на элементах процедур принятия решений. Процедура трассировки строится на основе модификации упорядоченной последовательности $\varphi_1 - \varphi_9$ -процедур. Модификация заключается во введении в каждую процедуру φ_i утверждения о правильности получения с ее помощью результатов. Формально эта процедура

$$\varphi_{10} = \langle \mu_1 : \varphi_1, \mu_2 : \varphi_2, \dots, \mu_9 : \varphi_9, CO \rangle, \quad (3.20)$$

где $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_9$ — условия выполнения (утверждения о правильности) процедур $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_9$ соответственно, записанные в виде $\mu_i : \varphi_i$. С помощью элементов этого кортежа человек имеет возможность путем взаимодействия с системой психологически поверить в правильность найденных решений. Утверждения, принадлежащие CO , определяют согласованность логики СПРИНТ и ЛПР, т. е. они позволяют системе сообщать ЛПР о том, что очередной цикл поиска и принятия решений завершен;

процедура информационного диалога организует человеко-машинное взаимодействие ЛПР с системой с целью получения необходимой ему



Р и с. 3.2.

информации. Эта процедура

$$\varphi_{11} = \langle \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 \rangle, \quad (3.21)$$

где $\varphi_1 - \varphi_4$ — уже рассмотренные процедуры, в которых произведены следующие подстановки: $S/\Phi_A, M_1/M_A, C/C_D, \Pi/\Pi_D, R/\Phi_0$; Φ_D — множество запросов, поступающих от ЛПР; $M_A \subset M_1$ — множество моделей поиска ответа по областям определения запросов; C_D — множество стратегий цели поиска решений, ранжированных по множеству M_A ; Π_D — множество текущих целей; Φ_0 — множество ответов, выдаваемых ЛПР при реакции системы на запрос;

процедура определения информационного базиса для принятия решений осуществляет связь с системой телесбора информации с целью организации обработки этой информации и записи ее в информационную модель (базу данных) систем. Формально эта процедура:

$$\varphi_{12} = \langle S, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, M_1, M_D \rangle, \quad (3.22)$$

где M_D — информационная модель, хранящая текущее состояние объекта;

процедура адаптации/обучения позволяет организовать автоматизированную настройку СПУРИНТ на область управления. Эта процедура

$$\varphi_{13} = \langle L_\pi, E_3, E_D \rangle, \quad (3.23)$$

где L_π — механизм коррекции моделей баз знаний и данных (средства ЯОЗ и ЯОД), позволяющий связывать информацию в ее машинном пред-

ставлении; E_3, E_D — множество элементов уровня модели знаний и данных;

процедура автоматизированного проектирования СПУРИНТ, или, иначе, диалоговая система автоматизированного проектирования (ДИСА). Для ЛПР и системных аналитиков-проектировщиков СПУРИНТ это процедура

$$\varphi_{14} = \langle S, L_{\text{ЯОЗ}}, L_{\text{ЯОД}}, M_1^{\text{ЭВМ}} \rangle, \quad (3.24)$$

где S — проектная ситуация из класса ситуаций человеко-машинного проектирования, отражающая предметно-ориентированную постановку задачи построения информационно-модельного базиса. (ИМБ); $L_{\text{ЯОЗ}}, L_{\text{ЯОД}}$ — языковые средства описания элементов модельного базиса знаний и данных; $M_1^{\text{ЭВМ}}$ — машинное представление ИМБ.

В соответствии с вышеизложенным, логическая последовательность процедур человеко-машинного управления энергосистемой в СПУРИНТ представлена схемой, изображенной на рис. 3.2, где АПР — автоматический поиск решений; Д — человеко-машинный диалог; РР — реализация решений; ОиСУ — объект и среда управления; ИБ — информационный базис; МБ — модельный базис.

3.3. Логика поиска решений

Логика поиска решений (ЛР) является удобной метафорой, позволяющей показать, что характер взаимодействия ЛПР с системой определяется последовательностью шагов, интерактивно связанных с процедурами множества $\{\varphi\}$. Связь между этими шагами всегда имеет смысл, подкрепленный логикой рассуждений, т. е. некоторым набором утверждений, истинность которых может быть установлена последовательно. Наиболее наглядно ЛР в СПУРИНТ проявляется в процедуре трассировки решения, когда пользователь может формулировать в диалоге условия, достижение которых должна обеспечить ему система в процессе поиска управляющих решений. Эти условия пользователь формулирует для каждой из процедур множества $\{\varphi\}$. Иными словами, ЛР позволяет создать в системе средства, с помощью которых свойства разрешимости или неразрешимости множества $\{\varphi\}$ в информационно-модельном базисе относительно ситуаций, требующих принятия решений, могут быть формально доказаны как для отдельных моделей, так и для любой их проблемной композиции. Мультиформальность области поиска решений потребовала представления всех возможных (имеющих смысл в данной области) утверждений ЛР на двух уровнях: уровне утверждений для каждого из возможных типов моделей ЛРТ_i и уровне утверждений для междумодельного взаимодействия — ЛРБ [27, 37]. Для формализации дальнейших рассуждений дадим ряд определений.

Определение 3.1. Логическая теория процедур человеко-машинного управления называется *разрешимой*, если существует хотя бы одна эффек-

тивная композиция этих процедур $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$, позволяющая узнать

для любого утверждения теории, существует ли его вывод в этой теории.

Среди утверждений ЛР выделим подмножества $\{\mu_i\}, \{\bar{\mu}_i\}$, которые назовем утверждениями о реализуемости процедур множества $\{\varphi_i\}$ и правильности полученных решений $\{\mu_i\}$ для каждой из моделей или любой их совокупности. При этом μ_i будем рассматривать как условия, определяющие применимость процедур к вычислениям в моделях $\{M_i\}$, что зададим выражением вида $\langle \mu_i : \varphi_i | M_i \rangle$.

Определение 3.2. Выводом в теории ЛР назовем последовательность $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, в которой любое μ_i есть либо аксиома ЛР, либо следствие каких-то предыдущих утверждений по одной из разрешимых композиций процедур множества $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$.

Вычислительные процессы, осуществляющие реализацию эффективных композиций процедур в СПРИНТ, будем задавать отображением вида

$$\prod_{i=1}^n (\varphi_i) : A \times E \times \mu \rightarrow \mu. \quad (3.25)$$

Здесь $A \subset G$ — множество утверждений, описывающих свойства ситуаций принятия решений; $E = E_3 \cup E_d$ — множество элементов ИМБ.

Данное отображение кортежу $\langle A_i, E_i, \mu_i \rangle$ всегда ставит в соответствие μ_i утверждение правильности полученных результатов-решений. Понятие правильности поясним определениями [6, 27].

Определение 3.3. Пусть $A \subset G$ — некоторое утверждение, описывающее предполагаемые свойства элементов ситуации принятия решений S_i ; μ_i — утверждение о реализуемости процесса вывода (поиска решений) $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$ по ИМБ; $\bar{\mu}_i$ — утверждение, описывающее то, что мы по предположению должны получить в результате выполнения процесса $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$.

Будем считать, что процесс, задаваемый $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$, *частично правилен* (по отношению к $\langle A_i, \mu_i, \bar{\mu}_i \rangle$), если при каждом выполнении его с элементами S_i , удовлетворяющими A_i , существует реализация этого процесса, которая удовлетворяет μ_i и для которой справедливо утверждение $\bar{\mu}_i$, при условии, что процесс $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$ закончится.

Определение 3.4. Процесс $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$ будет *полностью правильным* (по отношению к $\langle A_i, \mu, \bar{\mu}_i \rangle$), если он частично правилен (по отно-

шению к $\langle A_i, \mu_i, \bar{\mu}_i \rangle$) и заканчивается при всех возможных значениях элементов S_i .

Рассматривая процесс $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$ как программу, реализуемую на

ЭВМ, можно считать, что если программа удовлетворяет условиям, заданным $\{\mu, \bar{\mu}\}$, то при достижении любой из точек программы, с которыми связаны определенные $\{\mu_i, \bar{\mu}_i\}$, соответствующие $\{\mu_i, \bar{\mu}_i\}$ будут справедливы. Следовательно, если достигнута конечная точка программы, то справедливо утверждение о правильности (достижимости), связанное с этой точкой, т. е. построенная программа будет частично правильной. Для доказательства полноты правильности построенной программы вначале необходимо доказать ее частичную правильность, а затем уже доказать, что требуемый результат будет получен. Интерпретация процедур множества $\{\varphi_i\}$ в области их программной реализации позволяет описывать их взаимосвязь с ИМБ и автоматизировать процесс построения программ, осуществляющих поиск необходимых управляющих решений. Именно эта взаимосвязь и описывается утверждениями ЛР.

3.4. Модельный базис принятия решений

Выбор модельного базиса и методов поиска решений основывается на потребности практического приложения с учетом назначения системы и множества процедур принятия решений. Множество моделей в СПРИНТ строится на основе методов вычислительной математики, логики и теории множеств [5, 12, 40, 49]. Действительно, все задачи, решаемые в настоящее время на ЭВМ, представляют собой множество программ с развитой логикой поиска решающего пути от исходной информации к целевой. Целевое объединение этих программ в рамках множества процедур $\{\varphi_i\}$ позволяет с использованием утверждений ЛР автоматизировать процессы поиска решений в модельном базисе. Данный базис в СПРИНТ содержит четыре типа моделей: вычислительные (ЛРТ₁), логико-алгебраические и логико-лингвистические (ЛРТ₂), теоретико-множественные (ЛРТ₃) и диалоговые (ЛРТ₄) модели. В качестве правил вывода для этих моделей применяют множество алгоритмов (программ) планирования вычислений на этих моделях, определенных в процедурах множества $\{\varphi_i\}$. Каждый из алгоритмов планирования, основываясь на утверждениях ЛР, ищет ответы на вопросы: Какие процессы разрешимы на модели (полностью правильны)? Существует ли локальная (для одного типа моделей) композиция процедур $\prod_{a=1}^m (\varphi_a)$, строящая для любого

разрешимого процесса на модели алгоритм (программу) его выполнения? Существует ли глобальная (для разных типов моделей) композиция

процедур $\bigcup_{\alpha=1}^m K(\varphi_\alpha)$, строящая для любого разрешимого процесса на множестве моделей алгоритм (программу) его выполнения? Существует ли алгоритм, позволяющий для любого процесса на модели или их совокупности указать, будет ли он полностью правильным (разрешимым)?

Соответственно для каждого типа моделей в системе имеется множество (открытое для пополнения) методов планирования вычислений: для вычислительных моделей — метод транзитивного замыкания графа [39], методы прямой и обратной волны [40]; для логико-алгебраических и логико-лингвистических моделей, описанных языком логики предикатов первого порядка — метод резолюций, основанный на выявлении логического следования некоторого утверждения из модели [47]; для диалоговых моделей — метод поиска в сетях Петри [32]. При организации планирования в мультимодельной области поиска используется принцип резолюций и утверждения ЛР [25, 26, 27].

Резюмируя сказанное, логика поиска решений в СПРИНТ для всего модельного базиса определяется выражением

$$ЛРБ = \langle A, E, \mu, \mu, \bigcup_{\alpha=1}^m K(\varphi_\alpha) \rangle, \quad (3.26)$$

для каждой типовой модели

$$ЛРТ_i = \langle A_i, E_i, \mu_i, \mu_i, \bigcup_{i=1}^n K(\varphi_i) \rangle. \quad (3.27)$$

Здесь $\bigcup_{\alpha=1}^m K(\varphi_\alpha) \subset \Theta$, $\bigcup_{i=1}^n K(\varphi_i) \subset \Theta_i$ трактуются как правила вывода в мультимодельной среде и в каждой из типовых моделей системы.

Организация этих логик в СПРИНТ приведена на рис. 3.3. При этом эксперты СПРИНТ могут влиять как на определение утверждений множеств $\{\mu\}$, $\{\bar{\mu}\}$, так и на элементы модельного и информационного базиса, путем ведения диалога с системой через специальный вход. Он связан с процедурой φ_1 , которая осуществляет декомпозицию входной ситуации на множество ситуаций принятия решений, а также взаимосвязь с процедурами поиска решений в соответствии с ЛР.

Модельный базис, включающий в себя утверждения ЛР, строится на основе средств человеко-машинного семиотического описания модели управляющей деятельности [14, 31, 53]. При этом дедуктивная составляющая модельного базиса

$$\Delta^D = \langle T, H, \Psi, \Theta \rangle. \quad (3.28)$$

Здесь T — множество терминальных символов; H — множество синтаксических правил, при помощи которых из элементов T строятся выражения Ψ ; Ψ — множество правильных выражений, в число которых

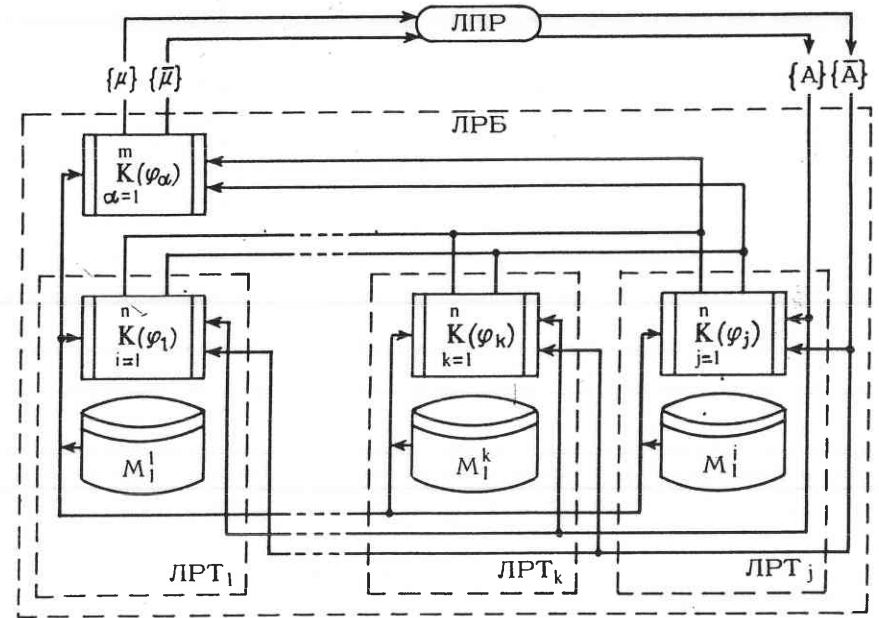


Рис. 3.3.

входят элементы множества T ; Θ — множество правил вывода, определенное на элементах Ψ .

Индуктивная составляющая модельного базиса

$$\Delta^U = \langle \Omega, \chi, \Xi \rangle. \quad (3.29)$$

Здесь Ω — множество правил, позволяющих изменять H ; χ — множество правил, позволяющих изменять Ψ ; Ξ — множество правил, позволяющих изменять Θ .

Все эти составляющие, правила и элементы вместе со способами их описания положены в основу построения языков определения модели знаний и манипулирования ее составляющими.

3.5. Архитектура СПРИНТ и принципы организации вычислительного процесса

В соответствии с концепцией, положенной в основу системы СПРИНТ, архитектура системы будет интерпретироваться в двух аспектах: функциональном, с точки зрения декомпозиции системы на функционально независимые подсистемы; пользовательском, имея в виду состав и возможность реализации средств программной поддержки.

Такой подход позволяет оценить все составляющие системы и разработать основные принципы организации вычислительного процесса.

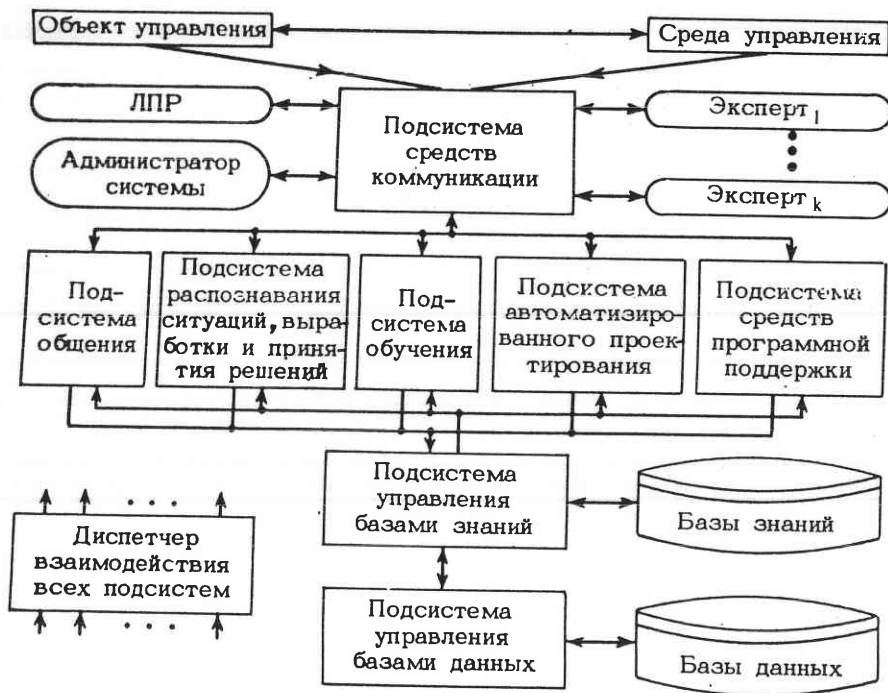


Рис. 3.4.

Функциональная интерпретация архитектуры. Анализ функций, реализуемых системами типа СПРИНТ, позволил интерпретировать архитектуру системы в виде иерархической композиции следующих подсистем (рис. 3.4):

Подсистема средств коммуникации. Подсистема является ведущей подсистемой в смысле организации обработки информации, поступающей от объекта и среды управления, ЛПР, экспертов. Для этого нужны услуги подсистем: общения — в целях распознавания и "понимания" входного запроса от ЛПР, эксперта и администратора; управления и принятия решений — в целях построения информационной модели по текущему состоянию объекта управления, организации выработки принятия и реализации управляющих решений, или удовлетворения информационных запросов человека; обучения (адаптации) — в целях ориентации системы на область применения; проектирования — в целях человеко-машинного конструирования управляющего программного комплекса; средств программной поддержки — в целях наиболее полного удовлетворения пользователей человеко-машинными возможностями системы; управления базами знаний и данных — для организации хранения информационно-модельного базиса системы.

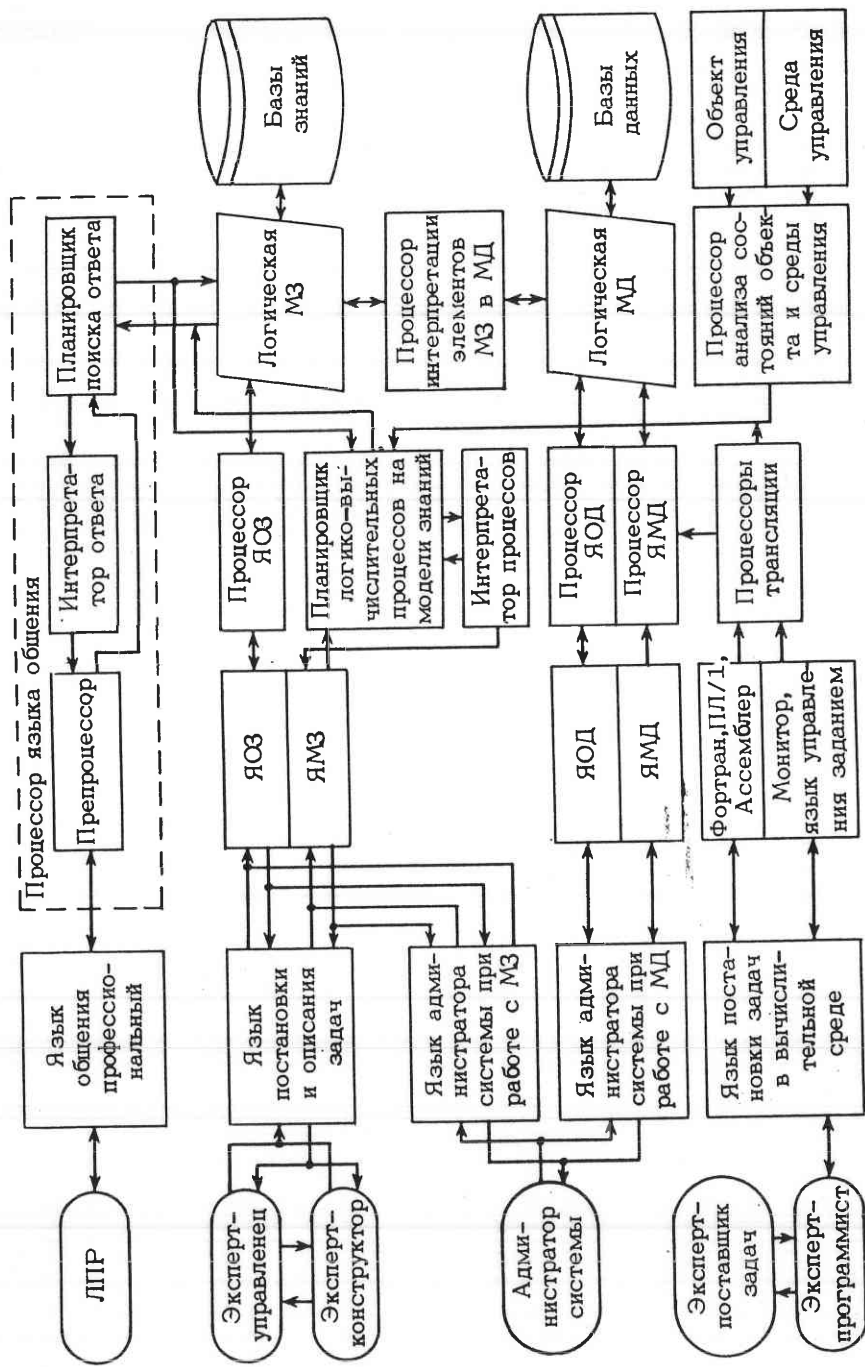
Подсистема общения. Подсистема является средством поддержки диалогового взаимодействия пользователя с системой, позволяет организовывать человеко-машинное взаимодействие на языке профессиональной лексики или его слэнгах. Это достигается средствами разработки сценариев диалога и организацией связи между сценариями и областью информационных запросов. Такая идеология построения подсистемы служит надежной гарантией получения ответа в приемлемые сроки для удовлетворения потребностей по уже имеющейся в ЭВМ информации и удовлетворительные сроки для получения информации, априори не заложенной в ЭВМ и получаемой путем дедуктивного вывода.

Подсистема распознавания ситуаций, выработки и принятия решений. Подсистема является решателем задач. В ее функции входят: распознавание входных сообщений, их классификация, формирование целей принятия решений, проверка достижимости целей, организация выработки ответа, соответствующего (релевантного) входному запросу, обоснование возможных исходов, синтез решений. Целенаправленная обработка информации в этой системе достигается путем использования дедуктивных механизмов поиска в базах знаний и данных.

Подсистема обучения. Подсистема является элементом системы, позволяющим организовывать ориентацию всей системы на ту или иную область управления путем пополнения базы знаний и данных. Для этой цели имеется набор человеко-машинных процедур облучения, позволяющих организовать доступ к базам данных и базам знаний. В первом случае эти процедуры позволяют организовать работу по наполнению базы данных элементами, описывающими предметную область, во втором случае — наполнить базу знаний методами распознавания, классификации, поиска, т. е. той информацией, которая необходима для выработки и принятия решений.

Подсистема автоматизированного проектирования, отладки и испытаний программного комплекса типа СПРИНТ. Подсистема является инструментальным средством, позволяющим создавать программное обеспечение систем принятия решений. Основой для создания программного обеспечения является логическая модель знаний, в которой индуктивно-дедуктивные механизмы поиска вариантов генерации программного обеспечения с оценкой их эффективности позволяют проектировать программную систему. В качестве средств человеко-машинного взаимодействия с подсистемой имеется язык постановки и описания задач проектирования.

Подсистема средств программной поддержки. Подсистема содержит в себе все компоненты (языки, программные процессоры, операционные системы, пакеты прикладных программ электроэнергетических расчетов режимов энергосистем), входящие в состав каждой из выше- и нижеперечисленных подсистем. Компоненты являются средой, в которой функционирует СПРИНТ во всех режимах своей рабо-



Р и с. 3.5.

ты. Основное назначение такой подсистемы – генерация программной среды для обеспечения функционирования всех подсистем. Генерация ведется в соответствии с заданной конфигурацией комплекса технических средств и функциональными характеристиками всей системы.

Подсистема управления базами знаний. Подсистема является основным информационно-образующим элементом системы, содержит в себе информацию, используемую всеми подсистемами, т. е. отражает в своем представлении способы и приемы организации диалога, распознавания ситуаций, выработки и принятия решений, обучения, генерации программного обеспечения, методы доступа к базам данных. В представлении этой подсистемы в памяти ЭВМ нашла свое отражение логическая модель знаний.

Подсистема управления базами данных. Подсистема является организатором хранения всей информации, присущей предметной области управления.

Пользовательская интерпретация архитектуры системы в области средств программной поддержки. Данная интерпретация архитектуры возникает, исходя из требований реального представления всей номенклатуры элементов средств программной поддержки с целью их реализации, определения межпроцессорных интерфейсов и возможности их увязки в единую систему, позволяющую создать и организовать процессы принятия решений. Рассматриваемая интерпретация архитектуры организации транслирующей системы, человеко-машинного диалога и функций системы. В соответствии с этим пользователям системы представляется следующий набор лингвистических средств:

Язык общения профессиональный. Данный язык и его слэнги позволяют ЛПР формулировать любые необходимые запросы к системе с целью удовлетворения своих информационных потребностей.

Язык имеет свой преппроцессор, который организует взаимодействие пользователя с системой в соответствии со сценарием диалога, осуществляет обработку входного сообщения, его семантико-синтаксический контроль, вычленяет релевантные объекты и формирует внутреннее представление запроса. Планировщик поиска релевантного ответа работает только в случае полного понимания запроса преппроцессором. Вычлененные релевантные объекты пропускаются через модель знаний в модель данных, формируя при этом цель поиска, план поиска, затем производится поиск. Найденная информация передается интерпретатору ответа, который формирует выходное сообщение.

Язык постановки и описания задач. Данный язык предоставляет эксперту диалоговые возможности по описанию элементов задач и способов их использования с целью автоматизации процессов подготовки информации для принятия решений, представляет собой композицию двух системных языков – языка определения знаний (ЯОЗ)

и языка манипулирования знаниями (ЯМЗ). Средства первого языка описывают и определяют синтаксическую структуру (отношения между элементами) области знаний и реализуются процессором ЯОЗ. Выходной информацией такого процессора является логическая схема (граф) модели знаний. Средства второго языка осуществляют привязку определенных элементов базы знаний во время планирования и выполнения процедуры поиска на модели. Эти действия выполняет планировщик процесса выработки и принятия решений. Результат работы планировщика передается интерпретатору процесса выработки и принятия решений. Интерпретатор выясняет пути и методы планирования в тупиковых и многоальтернативных состояниях модели знаний, получает "подсказки" от человека и требует, если это необходимо, перепланирования. Эти средства позволяют строить локальные модели знаний и проверять их непротиворечивость и полноту с глобальной моделью знаний.

Язык администратора системы при работе с моделью знаний (МЗ). Данный язык является расширением языков ЯОЗ и ЯМЗ в части организации диалога и обеспечения основной функции администратора — слежения за целостностью и непротиворечивостью модели знаний, реализуется теми же процессорами, что и язык постановки и описания задач.

Язык общения с вычислительной средой. Данный язык определен на наборе операторов, позволяющих организовывать диалоговую постановку задачи на любом из языков программирования (Фортран, ПЛ/1, Алгол и др.) вычислительной среды, ее запуск и визуализацию хода выполнения и получения ответа. Интерпретатор включения информации в модель знаний осуществляет контрольный диалог с пользователем на предмет устранения ошибок последнего.

Язык администратора системы при работе с моделью данных (МД). Данный язык является расширением ЯОД и ЯМД в части организации диалога и обеспечения слежения за целостностью и непротиворечивостью модели данных. Средства процессора ЯОД позволяют создать представление модели данных в памяти ЭВМ. Средства процессора ЯМД интерпретируют операторы ЯМД с целью организации доступа к информации, заложенной в модели. Интерпретатор ЯМД осуществляет диалог с пользователем.

Каждый из рассмотренных языков реализуется системой программных процессоров [15, 18, 19, 20, 22, 27], приведенных на рис. 3.5.

Принцип организации вычислительного процесса. В соответствии с концепцией системы будем различать следующие вычислительные процессы: выработки и принятия решений; проектирования программного обеспечения; адаптации/обучения; администрирования системы.

Каждый из этих процессов организуется для определения группы пользователей, образуя четыре контура (режима) работы СПРИНТ.

В контуре выработки и принятия решений система получает информацию только от энергосистемы и ЛПР. Основная функция этого контура —

удовлетворить потребности ЛПР за счет информации, заложенной в систему, и организовать подготовку информации для управления и принятия решений за счет организации индуктивно-дедуктивного вывода управляющих решений с целью реализации человеко-машинного управления.

В контуре проектирования программного обеспечения СПРИНТ имеет связь только с экспертами — управленцами, конструкторами процедур управления, алгоритмистами — постановщиками задач, программистами. Основная функция этого контура — организация человеко-машинного проектирования СПРИНТ с заданными свойствами. Это достигается путем формализации экспертных знаний, построения соответствующих процедур выработки и принятия решений, алгоритмизации и программирования этих процедур, "вложения" в их логическую модель знаний, организации взаимосвязей вновь построенных процедур с процедурами или их фрагментами, уже имеющимися в БЗ, моделирования процессов выработки и принятия решений для определения их корректности и оптимальности.

В контуре адаптации/обучения СПРИНТ имеет связь с экспертами-управленцами. В случае необходимости могут быть привлечены постановщики задач и конструкторы СПРИНТ. Основная функция контура — настройка модели знаний на предметную область управления энергосистемой и проверка ее непротиворечивости и полноты. Это делается всегда экспертно путем изменения элементов модели знаний и их взаимосвязей (постройка новых моделей принятия решений) с соответствующей проверкой или специальными алгоритмами и средствами самообучения, которые могут быть включены в базу знаний.

В контуре администрирования система имеет связь только с лицом, именуемым администратором системы. Администратор несет ответственность за работоспособность системы в целом, соответствие логических моделей знаний и данных области их использования, доступ к системе разных категорий пользователей, т. е. организует вычислительные процессы в системе в зависимости от ее специализации, потребностей и возможностей.

В соответствии с вышеизложенным система может одновременно работать в одном из четырех контуров. В каком именно — определяет администратор системы. Рассмотрим организацию каждого из них.

Организация вычислительного процесса выработки и принятия решений. В данном контуре системы два входа (от объекта, среды управления и ЛПР) и два выхода (на ЛПР и средства локальной автоматике), поэтому вычислительный процесс осуществляют процессор связи с объектом и средой управления, процессор языка общения и планировщик процессов выработки и принятия решений.

Первый из них организует обработку информации, поступающей от системы телесбора информации, с целью установления динамического соответствия модели объекта и среды управления в памяти ЭВМ самому

объекту и среде управления, выдает исполнительные команды на средства локальной автоматики, работает циклически с интервалом времени, определяемым системой телесбора и телеуправления.

Процессор языка общения организует обработку информации, поступающей от ЛПР в любые непредсказуемые моменты времени.

Планировщик процесса выработки и принятия решений работает в режиме собственного цикла, постоянно анализируя модель объекта и среды управления, с целью выявления отклонений режима работы от запланированного и организации выработки в этом случае управляющих решений ЛПР.

При своей постоянной работе как процессор языка общения, так и планировщик процесса выработки и принятия решений пользуются услугами процессора интерпретации глобальной логической модели знаний. Этот процессор организует и осуществляет взаимосвязь процедур МЗ с элементами модели данных, представляющих модель объекта и среды управления. Так как к одной и той же модели данных могут обращаться два процессора, то такая модель объявляется при создании и инициализации как разделяемая модель данных. В этом случае механизм доступа к модели будет определяться механизмом, заложенным в операционной среде. То же самое относится и к логической модели знаний, которая должна быть разделена между тремя процессорами.

Все процессоры в системе работают в режиме циклического сканирования входных сообщений. Интерпретатором выработки и принятия решений сканируется проблемная ситуация, для процессора языка общения — сигнал прерывания от пользовательского терминала, для процессора связи с объектом и средой управления — сигнал прерывания от системы телесбора. Процессор интерпретации глобальной логической модели знаний работает в режиме бесконечного задания, характеризующегося постоянной готовностью к обслуживанию сообщений планировщика процесса выработки и принятия решений.

Организация вычислительного процесса проектирования программного обеспечения системы. В данном контуре система обеспечивает диалоговый режим работы двум категориям пользователей — конструктору и постановщику задач — программисту. Их основная задача — определение элементов модели знаний и их взаимосвязей, а также элементов модели данных и их взаимосвязей с моделью знаний. Это позволит проверить полноту и непротиворечивость моделей для выполнения конкретного класса задач человеко-машинного принятия решений и получить вариант системы, ориентированный на выполнение функций человеко-машинного управления. Для реализации функций проектирования пользуются языками ЯОЗ, ЯМД, ЯОД постановки задач и общения с вычислительной средой. Правильность и оптимальность работы системы проверяют на работающей версии программы с применением имитатора объекта и среды управления.

Организация вычислительного процесса адаптации/обучения системы. В данном контуре система имеет четыре входа, соответствующие классам экспертов—управленцу, конструктору, постановщику задач и процессу оценки результатов реализации решений на объекте управления. Первые три входа позволяют, используя экспертов, организовать человеко-машинное взаимодействие для определения модели области управления (модели знаний), проверки ее на непротиворечивость и полноту. С помощью четвертого входа организуют режим самообучения системы под наблюдением экспертов.

Организация вычислительного процесса администрирования системы. Этот контур системы позволяет следить за непротиворечивостью и полнотой БЗ и БД, а также разрешать допуск пользователей к системе. Последнее достигается путем установления контроля за пользователями и их действиями в системе. Данный вычислительный процесс имеет в системе высший приоритет.

Принцип организации транслирующей системы СПРИНТ. Транслирующая система (ТС) строится с учетом того, что для описания предметной области, ее процедурной составляющей должны быть использованы стандартные языки программирования и готовые программные модули. Для этого в СПРИНТ существует система стандартов на оформление программ и их представления в виде исходных, объектных и загрузочных модулей в библиотеках программ МЗ системы. В качестве стандартов выбраны представления модулей в операционной системе ОС ЕС. Транслирующую систему строят на основе средств претрансляции в языке программирования ПЛ/1, а использование стандартов на модули и средства редактирования связей в модулях позволяет строить любые программные процессоры.

Рассмотрим кратко режимы работы транслирующей системы СПРИНТ и принципы ее организации. Пользователям системы предоставлен набор языковых средств, определения и манипулирования информацией, методика проектирования систем принятия решений. Формулируя задание на проектирование системы (ее адаптацию или изменение МЗ и данных), человек ставит задачу и с помощью средств диалога доводит ее содержание до ТС. Претранслятор, получая на вход последовательность операторов, описывающих, например, задание на проектирование модели предметной области, используя семантический редактор модели знаний системы, строит логическую схему связи элементов модели, окончательный вариант которой помещается в объектную библиотеку МЗ. Описания процедурных составляющих объектной модели знаний поступают на вход транслятора ПЛ/1, а затем (в случае правильной трансляции) в библиотеку объективных модулей ПЛ/1. Однако не все процедурные составляющие описываются языком ПЛ/1. Есть составляющие, которые описаны средствами языков Фортран, Ассемблер и описания диалога. В этом случае информация о составляющих через претранслятор с помощью семантического редактора МЗ попадает в логическую схему связи эле-

ментов модели, а сами составляющие транслируются отдельно. Их объектные модули заносятся в соответствующие библиотеки, которые связываются с объектной библиотекой МЗ редактором связей и уже объединенные записываются в загрузочную библиотеку модели знаний системы СПРИНТ.

Непроцедурные составляющие объектной МЗ (утверждения, высказывания и т. п.) выявляются претранслятором, и для них строятся логические схемы связи понятий предметной области. Множество таких логических схем связи понятий, описывающих способы решения определенных классов задач управления, образуют класс экспертных моделей. Последние являются подсхемами МЗ системы.

Множество процедурных элементов объектной МЗ, описывающих способы решения определенных классов задач управления, образуют классы вычислительных моделей, которые также являются подсхемами МЗ системы.

Объединение всех подсхем объектной модели знаний средствами редактора связей ОС ЕС позволяет получить библиотеку загрузочной модели знаний, на которой можно ставить задачи распознавания ситуаций и поиска управляющих решений.

Глава четвертая

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Одним из направлений повышения эффективности оперативно-диспетчерского управления режимами работы энергосистем является создание программно-аппаратных систем принятия решений, автоматизирующих процессы распознавания ситуаций и поиска управляющих решений. В качестве области поиска решений в таких системах используется МЗ, интегрирующая в себе все аспекты, характеризующие работу энергосистем, методы, приемы и алгоритмы управления энергосистемами. Построение такой области поиска требует разработки средств формирования соответствующих моделей среды и объекта управления, распознавания и классификации ситуаций, поиска и выработки решений и другого, т. е. всей информации, присущей области управления энергосистемами.

Вместе с тем область поиска должна быть конструктивна, т. е. позволять автоматизировать процессы человеко-машинного принятия решений с учетом управления энергосистемой в реальном масштабе времени.

Рассматриваемая область применения СПРИНТ характеризуется наличием в ней большого количества алгоритмов, целевое объединение которых в вычислительные и диалоговые модели позволяет находить управляющие решения. Вместе с тем для этой области характерны и описания

54

процессов поиска решений, представленные в виде некоторых множеств утверждений (экспертные и теоретико-множественные модели). Вся информация (модель управляющей деятельности при оперативном принятии решений), вернее ее представление, базируется на понятии формальной системы, это позволяет построить единое представление разнотипной информации, согласованное в рамках единого формализма.

Учитывая то, что информация, характеризующая область управления, может обрабатываться четырьмя типами моделей, определим покрытие этой области каждым типом моделей. *Вычислительные модели* покрывают область задач оперативно-диспетчерского управления, описываемую методами вычислительной математики. *Экспертные модели* покрывают область задач выработки и принятия управляющих решений. *Диалоговые модели* покрывают область задач человеко-машинного взаимодействия при управлении, обучении и проектировании. *Теоретико-множественные модели* покрывают область описания элементов данных, характеризующих область управления.

Анализ применения разного типа моделей показал, что их совместное использование не просто возможно, но и необходимо. Следовательно, в СПРИНТ должен быть механизм, позволяющий представлять множество моделей в некоторой связанной композиции и иметь механизм доступа к моделям и любым их элементам.

Создание механизма представления множества моделей в памяти ЭВМ имеет под собой реальную основу, потому что формальная система служит для создания средств интегрального описания и представления информации о всех типах моделей системы.

Единый механизм доступа рассматривается в двух аспектах — доступа с целью автоматизированного или автоматического поиска и принятия решений и доступа с целью определения модельного базиса.

4.1. Сети Петри как средство представления информации

В последние годы сети Петри [41, 42] завоевали широкое признание как удобный и наглядный инструмент описания моделей и процессов преобразования информации. В отличие от традиционных автоматов, сети Петри позволяют описывать множество разнотипных моделей и происходящие в них процессы путем установления локальных отношений между компонентами и отслеживания локальных изменений состояний всей системы моделей.

Определение 4.1. Сеть Петри — это набор $N = \langle P, T, F, H, M_0 \rangle$, где P — конечное непустое множество символов, именуемых местами; T — конечное непустое множество символов, именуемых переходами;

$$\left. \begin{aligned} F : P \times T &\rightarrow \{0, 1\} \\ H : T \times P &\rightarrow \{0, 1\} \end{aligned} \right\} - \text{функции инцидентности;}$$
$$M_0 : P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\} - \text{начальная разметка.}$$

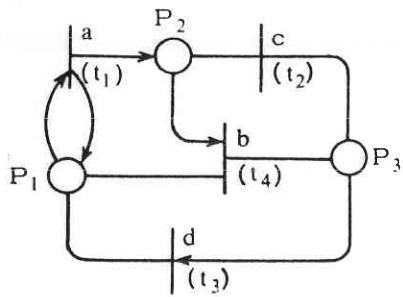


Рис. 4.1.

Сеть Петри представляют размеченным ориентированным графом со множеством вершин $P \cup T$. Вершины места изображаются кружками, вершины-переходы — барьерами. Из вершины-места p в вершину-переход t ведет дуга, если и только если $F(t, p) = 1$. Из вершины-перехода t в вершину-место p ведет дуга, если и только если $H(t, p) = 1$. Вершины-места помечаются целыми неотрицательными числами (разметка места, маркировка), которые в графическом

изображении сети размещаются внутри места-кружка или изображаются соответствующим числом точек (фишек) в месте-кружке.

На рис. 4.1 показана следующая сеть Петри: $P = \{p_1, p_2, p_3\}$, $T = \{a, b, c, d\}$, $M_0 = \begin{matrix} p_1 & p_2 & p_3 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$.

Так как функции инцидентности принимают лишь два значения: 0 и 1, их можно представить как множество пар (p, t) или (t, p) таких, что $F(p, t) = 1$ или соответственно $H(t, p) = 1$. Такое представление функций инцидентности необходимо для того, чтобы применять к ним теоретико-множественные операции. Кроме того, через $F(p)$ будем обозначать множество $\{t \in T \mid F(p, t) = 1\}$, и через $H(p)$ — множество $\{t \in T \mid H(t, p) = 1\}$. Сеть Петри функционирует, переходя от разметки к разметке. Каждая разметка — это функция $M : P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$; сеть начинает функционировать при начальной разметке M_0 . Смена разметок происходит в результате срабатывания одного из переходов:

Переход t может сработать при разметке M , если $\forall p \in P, M(p) - F(p, t) \geq 0$. Это условие означает, что все входные места перехода t [т. е. все места p такие, что $F(p, t) = 1$], содержат хотя бы по одной фишке.

В результате срабатывания перехода t при разметке M последняя сменяется разметкой M' по следующему правилу: $\forall p \in P, M'(p) = M(p) - F(p, t) + H(t, p)$. Другими словами, переход t изымает по одной фишке из каждого своего входного места и добавляет по одной фишке в каждое свое выходное место, т. е. в каждое место p , такое что $H(t, p) = 1$. Будем считать, что разметка M' следует за разметкой M , а M , предшествует M' и обозначать этот факт: $M \xrightarrow{t} M'$.

Переходы срабатывают последовательно, но недетерминированно: если несколько переходов может сработать, то срабатывает один, любой из них. Сеть останавливается, если при некоторой разметке ни один из переходов не может сработать (тупиковая разметка).

Данное определение относится к простым сетям Петри. В общем случае сеть Петри представляет собой мультиграф, причем в условиях срабатывания требуется, чтобы число фишек в каждом входном месте p перехода t было больше или равно числу дуг, соединяющих p и t . Переход t при этом добавляет после срабатывания в каждое свое входное место столько фишек, сколько в него идет дуг из t . Однако это обобщение несущественно, так как любую такую сеть можно преобразовать в простую, сохраняющую основные свойства обобщенной [32, 41, 48].

Рассмотрим некоторые свойства сетей Петри. Если множество мест сети упорядочено каким-либо образом, например $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, то разметку M удобно представлять в виде вектора чисел длины n : $M = (M(p_1), M(p_2), \dots, M(p_n))$. При этом вводят отношения: равные разметки $M = M'$, разметка M , покрывающая разметку M' ($M \geq M'$), строго покрывающая $M > M'$, и т. п. Например, $M \geq M'$, если $\forall p \in P, M(p) \geq M'(p)$.

Разметка M' достижима в сети от разметки M в результате последовательности срабатываний $\tau = t_1, t_2, \dots, t_l$, если существует последовательность разметок $M \xrightarrow{t_1} M_1 \xrightarrow{t_2} M_2 \xrightarrow{t_3} \dots \xrightarrow{t_l} M'$. Здесь τ — слово из множества T^* всех слов в алфавите T .

Разметка M достижима в сети N , если $M_0 \xrightarrow{\tau} M$. Через $R(N)$ будем обозначать множество всех достижимых в N разметок.

Множество слов $L(N) = \{\tau \in T^* \mid M_0 \xrightarrow{\tau} M\}$ будем называть в соответствии с [41] языком сети Петри N .

Переход t достижим от разметки M в сети N , если в $R(N)$ существует разметка M' такая, что $M \xrightarrow{t} M'$ и переход t может сработать при M' . Переход достижим в сети N , если он достижим от M_0 .

Переход — живой, если он достижим от любой разметки из $R(N)$. Сеть Петри — живая, если все ее переходы живы.

Место k — ограничено, если существует такое число K , что $M(p) \leq K$ для любой разметки M из $R(N)$. Сеть N — ограничена, если все ее места ограничены.

Сети Петри N_1 и N_2 эквивалентны, если $L(N_1) = L(N_2)$.

Пусть сети Петри N_1 и N_2 имеют один и тот же набор мест или изоморфные наборы мест. Тогда считаем, что сети Петри N_1 и N_2 будут R — равны, если $R(N_1) = R(N_2)$.

Динамика функционирования сети Петри N полностью характеризуется графом ее разметки. Множество вершин этого графа — множество $R(N)$: из вершины M в вершину M' ведет дуга, помещенная символом перехода t , если и только если $M \xrightarrow{t} M'$. Множество всех слов, полученных выписыванием символов переходов при движении по путям в графе разметок, начинающихся в начальной вершине M_0 , образует язык сети $L(N)$. Однако в общем случае граф разметок не является конструктивным объектом, так как он бесконечен, если сеть неограничена и множество $R(N)$ бесконечно. В этом случае динамику функционирования можно описать лишь "приблизительно" с помощью конечных, но менее информативных конструкций. Сеть на рис. 4.1 не является ограниченной, поэтому ее граф разметок бесконечен и на рис. 4.2 показан лишь его "начальный фрагмент". Неформальный анализ этого графа дает представление о функционировании сети: неограниченным местом является место P_2 ; тупиковыми разметками будут все разметки $(0, n, 0)$, $n \geq 1$; все тоже не жива.

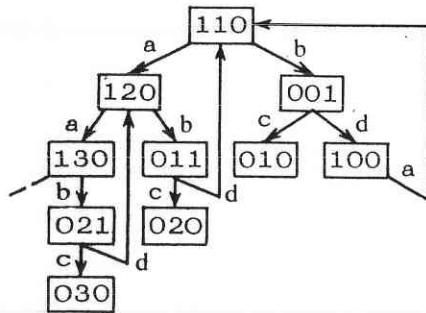


Рис. 4.2.

Отметим некоторые основные для последующего изложения факты, относящиеся к свойствам сетей Петри [41, 42]. Существуют алгоритмы, позволяющие: для любой сети Петри установить, является ли она ограниченной; для любого перехода сети установить, является ли он достижимым в ней; для любой разметки в сети установить, является ли она достижимой в N , т. е. принадлежит ли она множеству $R(N)$; для любой сети установить, является ли она живой, а также доказано, что проблема эквивалентности для сетей Петри разрешима.

Графовое представление сетей Петри позволяет наглядно изображать их структурные особенности и динамику функционирования. Но для создания средств представления информации нужна такая форма, которая позволяла бы осуществлять автоматическое или автоматизированное преобразование сетей, их конструирование из других сетей. При этом правила преобразования и конструирования сетей, а также сами сети должны быть "хорошо структурированными". В настоящей работе используются нормальное представление подкласса сетей Петри (регулярные сети) и их обобщения (структурированные сети), которое основано на алгебре регулярных сетей, разработанных В. Е. Котовым [41]. Регулярные и структурированные сети применяются в настоящей работе как модели реально существующих логических структур, а алгебра этих сетей служит основой для разработки механизма определения и конструирования базы знаний.

4.2. Представление вычислительных моделей для описания алгоритмов оперативного управления режимами работы энергосистемы

Алгоритмы оперативного управления помогают диспетчеру в решении задач, связанных с управлением текущим режимом энергосистемы. В результате работы этих алгоритмов диспетчер должен получать информацию о последствиях имеющихся или ожидаемых изменений схемы и отклонений параметров режима за допустимые пределы, а также указания о мерах улучшения режима. В зависимости от обстановки в энергосистеме диспетчер может располагать различным временем для получения ответа на ту или иную проблемную ситуацию. Для этого алгоритмы строятся так, чтобы их можно было упрощать в зависимости от потребного времени реакции. В качестве такого средства описания алгоритмов, настраиваемых в зависимости от проблемной ситуации, предлагается их модельное описание [1, 4], т. е. описание в виде множества параметров и их преобразований.

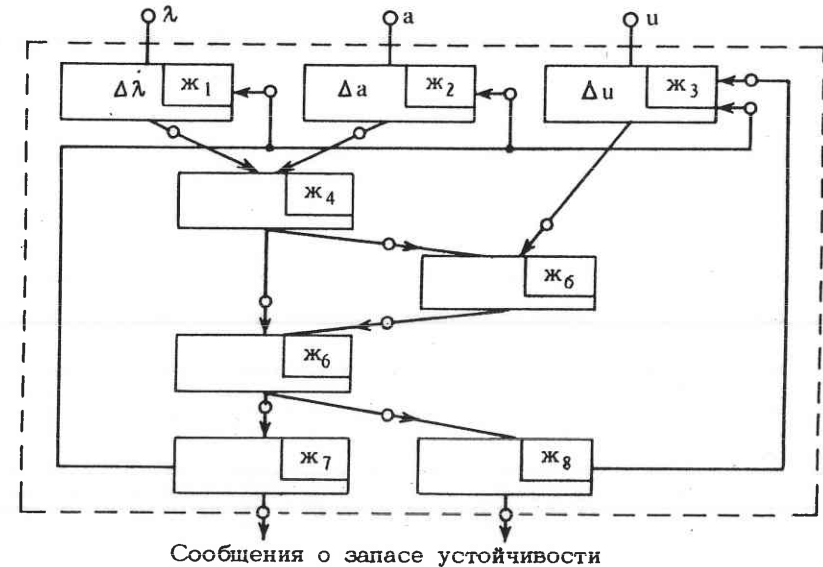


Рис. 4.3.

Запись упрощенной модели оперативного решения задач устойчивости энергосистемы приведена на рис. 4.3. Оценка устойчивости энергосистемы состоит в решении вопроса о принадлежности заданного вектора параметров режима и схемы энергосистемы или вектора аварийных ситуаций $\gamma(\lambda, a, u)$ области множества устойчивых состояний в пространстве параметров $\lambda - Y_\lambda$ или $\gamma - Y_\gamma$. Здесь a — вектор возмущений; u — вектор управляющих решений; Y_λ, Y_γ — векторы граничных значений параметров для нормальной и аварийной ситуации; $ж_1$ — изменение λ ; $ж_2$ — изменение a ; $ж_3$ — изменение u ; $ж_4$ — расчет установившегося режима; $ж_5$ — расчет переходного процесса; $ж_6$ — проверка $\gamma \in Y_\gamma$; $ж_7$ — проверка $\lambda \in Y_\lambda$; $ж_8$ — проверка $\gamma \in Y_\gamma$.

Для неупрощенного расчета устойчивости строится совокупность моделей, в которой рассчитываются дополнительные сведения для диспетчера.

Исследования многих авторов [1, 4, 8, 12, 44, 57] показывают, что все задачи диспетчерского управления представимы в виде моделей, на которых можно организовывать решения (вычисления). Такие модели, предложенные Э. Х. Тытугу, называют вычислительными [38, 40].

Определение 4.2. Простой вычислительной моделью будем называть пару $\langle x, A \rangle$, где x — набор переменных; A — конечное множество отношений, связывающих эти переменные. Отношения содержат сведения о взаимной зависимости переменных и используются для вычисления значений последних. Понятие "отношения" конкретизируется таким путем, что определяются частичные отношения, задаваемые набором переменных и множеством операторов, входами и выходами которых являются переменные из этого набора.

Граф, вершинами которого являются переменные и отношения модели и ребра которого соединяют отношения с их связанными переменными, будем называть *логической схемой модели*. Модель является такой структурой информации, элементы которой могут иметь и неопределенные значения.

Из операторов, порождаемых отношениями модели, создаются *вычислительные процессы*, меняющие ее состояние после каждого завершения оператора. *Состоянием модели* назовем пару $\langle W, \bar{W} \rangle$, где W — произвольный набор элементов модели, называемый *схемой состояния*; \bar{W} — значение набора W . Для определения множества допустимых вычислительных процессов на модели зададим *стратегию управления* или просто управление, являющееся совокупностью правил. Управление может задаваться: предикатами на множестве всех вычислительных процессов модели, грамматиками над алфавитами, состоящими из операторов, операторной схемой программы.

Вычислительные модели с управлением рассматриваются как средство представления процессов поиска решений. В отличие от алгоритмов вычислительные модели с управлением являются недетерминированными описаниями процессов (в общем случае процесс не определен на модели однозначно исходными данными). Но подходящим выбором управления можно ограничить множество допустимых вычислительных процессов так, что модель вместе с управлением представляет процессы так же однозначно, как некоторый алгоритм.

Задачей на вычислительной модели будем называть тройку $\langle U, \bar{U}, V \rangle$, где U и V — наборы переменных модели (U, V — вход и выход модели); \bar{U} — значение набора U (исходные данные); $\langle U, V \rangle$ — схема задачи. Вычислительный процесс, переводящий модель из начального состояния (W_0, \bar{W}_0) в целевое (W_n, \bar{W}_n) , решает задачу, если $W_0 = U_0, V \subset W_n$. Значение $\bar{V} \subset \bar{W}_n$ выхода задачи будем называть *ответом*.

Задача является *разрешимой на модели* при некотором управлении, если существует *эффективная композиция процедур*, которая ее решает.

Каждая вычислительная модель позволяет в терминах переменных и их значений определять задачи оперативно-диспетчерского управления. Все эти задачи можно разбить на классы эквивалентности, состоящие из задач с одинаковой схемой (U, V) . Для каждого такого класса задач ищут алгоритм со входом U и выходом V , решающий задачи данного класса. Если такой алгоритм существует на модели, то он решает задачу тогда и только тогда, когда он применим к исходным данным \bar{U} . Задачи на модели решаются в два этапа: планирование решения, т. е. составление алгоритма, решающего задачу; интерпретация алгоритма и получение результата.

Множество разнотипных задач оперативно-диспетчерского управления будем представлять множеством моделей, на которых эти задачи разрешимы. Однако многие из задач, а следовательно, и моделей взаимоувязаны, т. е. существует синхронность и асинхронность в их выполнении.

Для описания такого случая введем в вычислительную модель и в любую совокупность вычислительных моделей понятие *управления на модели С*. При этом вычислительную модель запишем в виде $P(G, C)$, где $G = (X, A)$ определяет ее информационную структуру; C — управляющая структура или все возможные цепочки операторов, которые могут составить вычислительный процесс решения задачи. Для представления G будем использовать простые вычислительные модели, для представления C — сети Петри.

Вычислительную модель рассматриваем в виде двудольного графа, состоящего из переменных и связывающих их операторов. При построении мультимодельного представления для задач оперативно-диспетчерского управления вначале строим информационную структуру каждой из моделей, а затем только управляющую структуру.

Получим управляющую структуру в виде сети Петри. Для этого в соответствии с [32, 41, 48] введем ряд определений.

Определение 4.3. S -сетью назовем сеть Петри, в которой каждое событие может появляться только один раз и запуск перехода не влечет за собой уменьшения маркировки в его входных позициях.

Определение 4.4. Управляющей структурой S для вычислительной модели является S -сеть, которая получается из модели при однозначной замене всех операторов переходами и переменных — позициями.

Для полного определения модели необходимо выбрать начальную маркировку, т. е. задать начальное состояние управляющей структуре. Для этого некоторым позициям присваивают точки, т. е. помещают их во всех позициях, соответствующих входным переменным модели. Задача может решаться на модели тогда, когда все позиции, соответствующие выходным переменным задачи, будут промаркированы.

Введем определения, характеризующие управляющую структуру моделей.

Определение 4.5. Схемой состояний S -сети Петри будем называть двудольный граф $G(Q, \Phi)$, где вершинами $q_i \in Q$ будут состояния S -сети и дугами $\varphi_i \in \Phi$ — события (операторы). Состояние S -сети будем однозначно определять логическим вектором маркировки $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, где n — число позиций;

$$v_i = \begin{cases} 1, & \text{если } m_i \geq 1; \\ 0, & \text{если } m_i = 0, \end{cases} \quad (4.1)$$

m_i — количество маркеров в позиции p_i .

Дуга $\varphi_i \in \Phi$ исходит из состояния $q_l \in Q$ и приходит в состояние $q_k \in Q$, если событие φ_i может появляться в состоянии q_k , вследствие чего система переходит в q_l .

Среди состояний имеются начальное — $q_0 \in Q$, однозначно определяемое начальной маркировкой, и конечное — $q_F \in Q$, при котором все позиции пронумерованы.

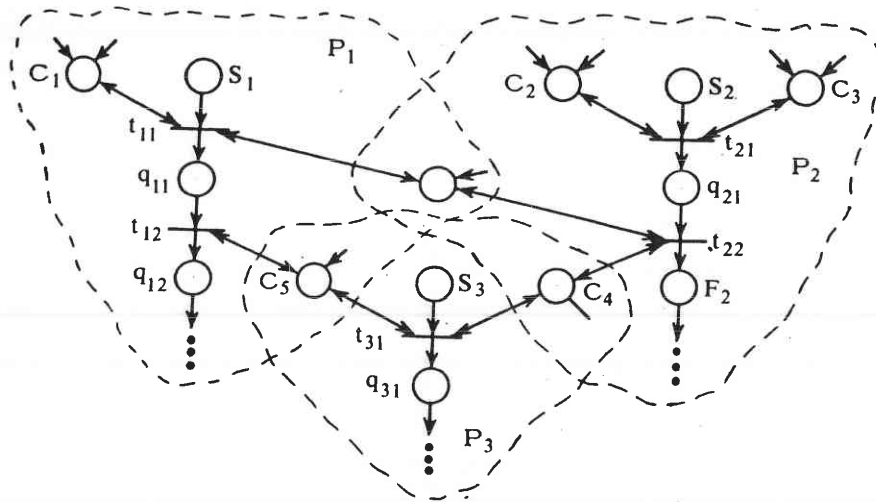


Рис. 4.4.

Определение 4.6. Вычислительным процессом на модели с управлением будем называть путь на схеме состояний, начинающийся состоянием q_0 и кончающийся q_F .

Каждая управляющая структура C порождает некоторое множество вычислительных процессов, однозначно определяемых схемой состояний. Рассматривая множество вычислительных моделей задач оперативно-диспетчерского управления, управляющая структура каждой из которых представлена сетью Петри, мы замечали, что они требуют для своего представления возможности обменов информацией, т. е. требуют организации асинхронного вычислительного процесса.

Выделим последовательный вычислительный процесс, при котором некоторая цепочка операторов (переходов) на сети Петри выполняется только последовательно. Для организации асинхронных процессов разделим все позиции сетей Петри на два множества: позиции синхронизации, являющиеся общими для нескольких моделей, при помощи которых синхронизируется взаимодействие процессов на моделях; позиции внутренних состояний моделей, имеющие по одной входной и одной выходной дуге. Каждая такая позиция принадлежит только одному процессу, одна из позиций состояний которого промаркирована, выражая тем самым текущее состояние процесса.

Если преобразовать теперь каждую из сетей Петри так, чтобы из позиций внутренних состояний исходили только однонаправленные дуги, а из позиций синхронизации — двунаправленные, то можно получить композицию моделей, на которых разрешимы асинхронные процессы. На рис. 4.4 для пояснения сказанного представлено три асинхронных процесса P_1 , P_2 , P_3 , каждый реализуется своей сетью Петри...

4.3. Представление экспертных моделей для описания управляющей деятельности диспетчера при управлении режимами энергосистемы

Анализ процессов выработки управляющих решений диспетчером показал, что все рассуждения строятся на основе знаний, накопленных в мысленной модели. Эти знания оказалось возможным представить множеством причинно-следственных отношений, которые можно описать в понятиях и отношениях информационно-модельного базиса. Чем опытнее человек, тем богаче у него набор отношений и тем шире и полнее информационно-модельный базис. Структуризация отношений в зависимости от целей и задач управления позволяет человеку решить проблему перебора при поиске решений методами классификации. Применяемые человеком рассуждения при поиске решений в классе систем типа СПРИНТ отвечают схеме "если A и из A следует B , то B ", что соответствует правилу "модус поненс" в логике [47, 49].

Все это дает возможность создать средства, позволяющие описывать экспертные мысленные модели диспетчерской деятельности языком логики предикатов первого порядка [47].

Экспертная модель — это набор утверждений, отражающий как субъективные знания экспертов о среде, объекте и процессах управления, так и объективные законы предметной области управления. Примером одного из утверждений модели может служить утверждение о том, что подъем нагрузки на приемной стороне или отключение некоторой мощности на передающей стороне влечет за собой снижение перетоков по ЛЭП.

В системе СПРИНТ для описания таких экспертных моделей используются логико-алгебраические модели (ЛАМ) [8, 14], позволяющие описать все множество экспертных утверждений. Последовательность действий эксперта — системного аналитика при таком описании приведена на рис. 4.5.

Определение 4.7. Логико-алгебраическая модель определяется выражением

$$LAM = \langle T_L, H_L, \Psi_L, \Theta_L, \rho(\Psi_L, \Theta_L) \rangle, \quad (4.2)$$



Рис. 4.5.

где T_L — термы модели; H_L — правила построения правильных выражений в LAM (синтаксис LAM); Ψ_L — аксиомы, описывающие законы области управления (истинно интерпретируемые правильно построенные выражения); Θ_L — правила вывода; $\rho(\Psi_L, \Theta_L)$ — область интерпретации.

При заданной начальной интерпретации в виде аксиом правила Θ_L позволяют вывести все истинные в LAM выражения (Ψ_L и Θ_L определяют семантику LAM). Эти модели, в отличие от формальных систем, допускают договорную интерпретацию, т. е. допускают изменение семантики LAM . Для этого используются две возможности: изменение системы аксиом $-\rho(\Psi_L)$ и изменение правил вывода $-\rho(\Theta_L)$.

Истинность некоторых выражений λ_f и LAM устанавливается двумя способами: либо λ_f найдено в результате логического вывода в LAM из имеющейся системы аксиом по правилам вывода, либо истинность λ_f получается путем ее интерпретации.

Аксиоматическая составляющая модели LAM либо любое подмножество ее элементов, определяемое путем разбиения Ψ_L на классы эквивалентности, соответствует понятию "экспертная модель принятия решений в данном классе проблемных ситуаций". Иными словами, экспертные модели являются множествами утверждений о способах и приемах поиска управляющих решений в некотором классе ситуаций и описываются языком логики предикатов первого порядка. Выбор такого языка описания не случаен, а определен наличием общей процедуры поиска решений, именуемой принципом резолюций [9, 47].

Для примера рассмотрим простейшую экспертную модель стабилизации напряжения в энергосистеме. В этой модели используются следующие отношения, отождествленные с предикатными символами: УВЛ — быть увеличенным; СДН — быть соединенным; ОПЕР — быть операцией; РЕЗ — иметь резерв; РЕАКТОР — определять состояние регулятора типа "Реактор". Термами являются составные понятия, такие, как: УВЛ $I(x)$ — увеличить напряжение I в пункте x ; СДН (x, y, R_0) — соединены пункты x и y на электрическом радиусе R_0 ; ОПЕР(ОТКЛ. РЕАКТОР (y)) — операция по отключению реактора в пункте y ; РЕЗ (z) — резерв управляющей операции по регулированию некоторым типом регуляторов; РЕШ (z) — тавтологический терм, определяющий способ описания запроса с целью получения ответа; РЕАКТОР $(y, ВКЛ)$ — регулятор типа "Реактор", размещенный в пункте y , включен.

Выражения экспертной модели, описанные языком логики предикатов первого порядка, будут иметь вид:

$$\begin{aligned} & (\forall x) (\forall y) (\text{ОПЕР} [\text{ОТКЛ. РЕАКТОР} (y)] \& \text{СДН} (x, y, R_0) \rightarrow \text{УВЛ} [I(x)]); \\ & (\forall z) (\text{РЕШ} (z) \& \text{РЕЗ} (z) \rightarrow \text{ОПЕР} (z)); \\ & (\forall y) (\text{РЕАКТОР} [y, \text{ВКЛ}] \rightarrow \text{РЕЗ} [\text{ОТКЛ. РЕАКТОР} (y)]). \end{aligned} \quad (4.3)$$

Каждое из выражений несет информацию, полученную от диспетчера: первое, если в пункте y существует возможность отключить регулятор типа "Реактор", а сам пункт y соединен с пунктом x на некотором электрическом расстоянии R_0 , то, реализуя эту операцию, можно поднять напряжение в пункте x ; второе, решение

по стабилизации напряжения существует, если имеется резерв управляющей операции; третье, если регулятор типа "Реактор" включен в пункте y , то существует резерв управляющей операции по его отключению в пункте y .

Рассматривая понятия модели (4.3) как элементы, имеющие информационную структуру, можно увидеть, что последняя совпадает с соответствующей структурой вычислительной модели. Это дает возможность использовать вычислительные модели в качестве функции интерпретации истинностных значений термов в каждом текущем состоянии энергосистемы. Для данного типа моделей истинность термов определяется не только набором переменных, но и их значениями.

Таким образом, из операторов, порождаемых отношениями модели, создаются логико-алгебраические процессы, меняющие истинностное значение элементов модели по завершении выполнения каждого оператора. Для определения множества допустимых процессов модели задается управление, являющееся совокупностью правил вывода. Эти правила основаны на правилах, реализующих принцип резолюции. Прежде чем применить правила к выражениям модели, последние преобразуем в бескванторную конъюнктивную нормальную форму и назовем формой предложений. С этой целью в (4.3) последовательно исключим кванторы всеобщности, импликации и конъюнкции по правилам, описанным в [47, 49]. В результате получим:

$$\begin{aligned} & \overline{\text{ОПЕР}} [\text{ОТКЛ. РЕАКТОР} (y)] \vee \overline{\text{СДН}} [x, y, R_0] \vee \text{УВЛ} [I(x)]; \\ & \overline{\text{РЕШ}} [z] \vee \overline{\text{РЕЗ}} [z] \vee \text{ОПЕР} [z]; \\ & \text{РЕАКТОР} [y, \text{ВКЛ}] \vee \overline{\text{РЕЗ}} [\text{ОТКЛ. РЕАКТОР} (y)]. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Связь модели с внешним миром осуществляется при помощи настройки на проблемную ситуацию. Пусть в некоторый момент времени параметр I в пункте x вышел за нижнюю границу контролируемой зоны, тогда решение ищут для операции, имеющей своим следствием увеличение I в пункте x в виде

$$(\exists z) \{ \text{РЕШ} [z] \rightarrow \text{УВЛ} [I(x_i)] \}, \quad (4.5)$$

где z — переменная, принимающая значения из множества операций управления. В соответствии с принципом резолюции логическое следование (4.5) из экспертной модели, настроенной на ситуацию, определяется противоречием между отрицанием (4.5) и моделью (4.4). Отрицание (4.5), приведенное к форме предложений, имеет вид

$$\text{РЕШ} [z], \overline{\text{УВЛ}} [I(x_i)]. \quad (4.6)$$

Если в процессе вывода установлено, что при некоторых значениях переменной z выражение (4.6) противоречит модели, настроенной на ситуацию, то это значит, что при тех же значениях z выражение (4.6) логически следует из модели.

Будем различать два вида настройки модели на ситуацию: предварительную, которая предшествует выводу решения, и актуальную, которая выполняется в процессе самого вывода и которая помогает сокращать исходное множество элементов экспертной модели, участвующих в выводе для конкретной ситуации. Вывод показан на рис. 4.6. Заметим, что истинностное значение формул переменной части модели, зависящее от ситуации, формируется вычислительными моделями — актуальная настройка. Примером может служить вычислительная модель с именем терма-понятия СДН (x, y, R_0) ; модель ищет множество пунктов $\{y\}$, с которыми соединен пункт x в текущем состоянии энергосистемы. Только на значениях этих переменных истинен предикат СДН (x, y, R_0) . Предварительная настройка модели осуществляется объединением подмножества переменной части модели с множеством причинно-следственных связей, выводом всех возможных резольвент (логических следствий), включением этих следствий в исходное множество предложений и поиском в нем новых резольвент. Эта процедура длится до тех пор, пока последняя резольвента не даст nil (пусто) после подстановки терма ОТКЛ. РЕАКТОР (y) вместо переменной z .

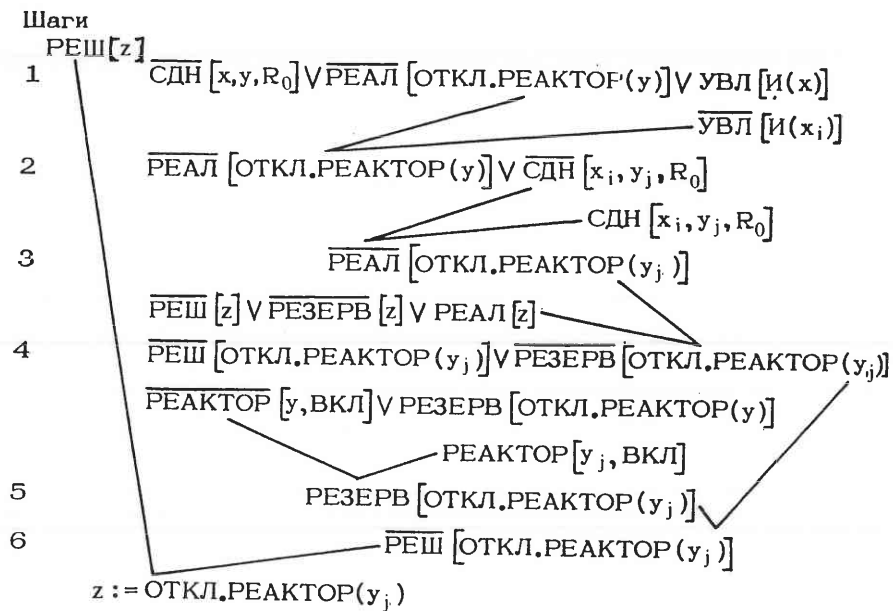


Рис. 4.6.

Таким образом, формулы $\overline{\text{РЕШ}}[z]$ и $\overline{\text{УВЛ}}[I(x_i)]$ из (4.6) при одновременном объединении с экспертной моделью дают nil при $z' = \text{ОТКЛ.РЕАКТОР}(y_j)$. Следовательно, их отрицание, т. е. выражение (4.6), логически следует из модели, настроенной на ситуацию. Управляющим решением, рекомендуемым диспетчеру, будет — "На ситуацию Ниже Нормы Напряжение в пункте x выполни операцию ОТКЛ.РЕАКТОР в пункте y_j ".

Логико-алгебраические модели с управлением можно рассматривать как средство представления процессов поиска управляющих рекомендаций лицам диспетчерского персонала. Эти модели, в отличие от алгоритмов, являются недетерминированными описаниями логических процессов: в общем случае процесс не определен на модели однозначно. Но подходящим выбором управления можно ограничить множество допустимых логических процессов.

Определение 4.8. Задачей на логико-алгебраической модели будем называть выражение $\langle \Psi_L, \Psi, t, \rho(\Psi_L, \Psi) \rangle$, где Ψ_L — множество утверждений модели; Ψ — утверждение, выводимость которого необходимо доказать; t — множество термов модели; $\rho(\Psi_L, \Psi)$ — интерпретация утверждений модели.

Схема задачи определяется выражением $\langle \Psi_L, \Psi \rangle$. Логический процесс, доказывающий выводимость Ψ из Ψ_L , решает задачу, если существует область интерпретации $\rho(\Psi_L, \Psi)$, в которой он доводит процесс

66

до nil. Значение терма, подстановка которого приводит задачу к nil, называется *ответом*. Задача является *разрешимой на модели* при некотором управлении, если существует *область интерпретации* модели и допустимый в ней *логический процесс*, позволяющий найти ответ.

Экспертные модели процессов управления режимами работы энергосистемы определяют задачи принятия решений при оперативно-диспетчерском управлении в терминах логических выражений и термов. Все эти задачи разбиваются на классы эквивалентности, состоящие из задач с одинаковой схемой, каждой из которых поставлена в соответствие некоторая логико-алгебраическая модель. Для любого класса задач можно искать алгоритм со входами Ψ_L, Ψ и выходами nil, t , решающий задачи данного класса. Если такой алгоритм существует, то он решает задачу тогда и только тогда, когда он применим к термам некоторой логико-алгебраической модели.

Поясняя по рис. 4.6 смысл вышесказанного, отметим, логико-алгебраическая модель стабилизации напряжения в энергосистеме (ее фрагмент) задана выражениями (4.3) и (4.4), утверждение, логическое следование которого из модели необходимо установить, задано выражением (4.6), терм ответа имеет значение ОТКЛ.РЕАКТОР(y_j). Интерпретацию рассматривают в двух смыслах: внешнем и внутреннем. Внешняя интерпретация задает пользовательский способ ее нахождения, внутренняя — машинный. Действительно, задавая, например, предикатный терм-понятие СДН(x, y, R_0), пользователь указывает и процедуру его вычисления, т. е. поиска всех точек сети, соединенных с точкой x . ЭВМ, по результатам этого поиска определяет истинность терма. С точки зрения вычислительного процесса внешняя интерпретация описывает связь логических рассуждений логико-алгебраической модели с вычислительными моделями (узлы синхронизации вычислений по рис. 4.4), внутренняя синхронизация — условия применения правил вывода при поиске ответа. Конкретно, например, на шаге 2 для логического утверждения СДН(x_i, y_j, R_0) вначале ищут процедуру (программа в терминах ЭВМ), определяющую множество истинности, затем делают вывод о существовании необходимых соединений в сети (определение истинности предиката) и лишь потом применяют правила вывода (резольвенция) [24, 47].

Из сказанного следует, что все задачи на экспертных моделях решаются в два этапа — планирование (поиск кандидатов на применение правила вывода) и интерпретация (применение правила вывода). В случае отсутствия истинностной интерпретации ищут новых кандидатов на применение правил вывода и процесс повторяется.

Анализируя процесс логического вывода в экспертной модели, можно увидеть, что в этом процессе участвуют два множества: утверждения экспертной модели и правила вывода. Эти множества не пересекаются, что позволяет описывать модель и процессы логического вывода на ней, используя аппарат двудольных графов [39]. Одновременно с этим на такой модели строят управление логическим выводом, основанное, на уже описанном в § 4.2 формализме S -сетей Петри.

Множество правил вывода в системе, в свою очередь, разбито на два подмножества: первое характеризуется отсутствием условий применения

каждого из правил; для второго — каждому правилу приписано условие его применения. Рассматриваемые примеры относятся к правилам второго подмножества. Фактически в условиях их применения содержалась информация об поисковом образце, для которого существовала вычислительная процедура интерпретации. Например, для поискового образца СДН осуществляется процедура поиска соединений в электрической сети при заданных параметрах. Обычно такое множество правил возникает в задачах, процессы логического вывода для которых хорошо изучены и структурированы.

Однако в системе возникают задачи, для которых интерпретация может задаваться вычислительным процессом, представляющим собой последовательность вычислительных процедур. Существенным при этом является то, что эта последовательность должна определиться в процессе логического вывода. Для таких задач в правилах вывода отсутствуют условия применения (интерпретации). Они работают путем поиска по образцу, но не в процедурах поиска, а во множестве утверждений модели. Пример такого правила приведен на рис. 4.6, шаг 4. Ситуация, сложившаяся на этом шаге, характерна тем, что для предиката РЕЗЕРВ нет правила, позволяющего процедурно интерпретировать — найти множество резервных регуляторов. Используемое системой правило утверждает о связи регулятора с его характеристикой резерва. Для этого утверждения существует правило вывода, в условиях применения которого записана процедура поиска резерва по регулированию. После этого хорошо правило вывода без условий применимости, которое путем поиска по образцу производит поиск кандидатов на применение и осуществляет интерпретацию, т. е. выполняет шаг 4.

Наличие в системе таких правил позволяет строить гибкий вычислительный процесс поиска управляющих рекомендаций и команд управления.

4.4. Представление диалоговых моделей для описания человеко-машинного взаимодействия

Одним из требований, предъявляемых к системам принятия решений, является обеспечение пользователей средствами диалогового взаимодействия. При этом, поскольку система имеет на входе несколько классов пользователей, разрабатывается аппарат описания, построенный на основе диалоговых моделей. В основе такого аппарата лежит предположение о том, что, осуществляя взаимодействие с системой, пользователь может выполнять вполне конкретный набор действий и ожидает вполне определенной реакции на них. Операции, выполняемые пользователем, производятся не произвольно, а в определенной взаимосвязи друг с другом, в зависимости от текущего состояния системы, от того, какой этап взаимодействия в данный момент выполняется. Описание структуры диалога, его сценария (человеко-машинных разговоров) должно явно выра-

жать взаимосвязь взаимодействия человека и машины. При этом можно абстрагироваться от конкретного содержания этих действий и сосредоточить внимание на структурных аспектах этого взаимодействия. Явно заданную взаимосвязь действий пользователя и машины, описываемую фразами естественного языка, будем называть *человеко-машинными разговорами* или *структурой сценария диалога*.

Такие структуры носят не "предписывающий" характер, свойственный алгоритмам, а "ограничивающий". Это определяется тем, что диалоговая подсистема включает в себя также существенную составляющую пользователя со свойственным ему неалгоритмизуемым поведением. "Ограничивающий" характер заключается в том, что не задает жесткие последовательности операций, а лишь устанавливает определенные правила их выполнения, ограничивая пользователя от совершения недопустимых действий в том или ином контексте его разговора с ЭВМ. С другой стороны, это не мешает задавать для машинной структуры предписания алгоритмического характера, поскольку множество ограничений может сузить набор допустимых альтернатив строго до одной на каждом шаге процесса диалога.

Пользователь в своем общении с машиной может применять операции различного характера — от тривиальных ("Напечатать слово ПУСК") до неформальных ("Какие ЛЭП Кировэнерго в ремонте?"). При этом получение ответа на последний вопрос является результатом решения сложной задачи выработки ответа. С точки зрения описания структуры диалога важен не способ их выполнения, а место таких операций у пользователя и машины, пути информационного обмена между ними.

Как показали исследования [19, 20, 22, 32], структуру сценария диалога можно представить в виде двудольного графа, содержащего вершины двух типов: условия и операторы. Условия вводятся в структуру для того, чтобы с их помощью определять возможность выполнения тех или иных операторов в различные моменты времени. Дуга, идущая от условия к оператору, означает, что оператор может выполняться только при выполнении данного условия. Дуга, идущая от оператора к условию, означает, что после всякого выполнения этого оператора может выполняться соответствующее условие. С каждым условием свяжем переменное неотрицательное целое число, характеризующее кратность его выполнения. При срабатывании оператора все исходящие из него условия считаются не просто наступившими, а наступившими еще раз. Это отмечается увеличением их кратности на единицу. Кроме того, будем считать, что для всех условий — предшественников сработавшего оператора кратность уменьшается на единицу. Обязательным условием срабатывания оператора является то, что у всех условий-предшественников кратность отлична от нуля. Рассмотренную структуру можно формально описать с помощью сети Петри.

Определение 4.9. Структуру сценария диалога определим выражением

$$D = \langle E, S, F, B, M_0 \rangle, \quad (4.7)$$

где E, S — конечное множество условий и операторов; F, B — множество дуг, задающих инциденции условий:

$$\begin{aligned} F &: E \circ S \rightarrow \{0, 1\}; \\ B &: S \circ E \rightarrow \{0, 1\}, \end{aligned} \quad (4.8)$$

и операторов; $M_0 : E \rightarrow \{0, 1, 2, 3, 4, \dots\}$ — начальная разметка кратностей событий.

Операторы, составляющие множество S , суть некоторые преобразователи. Оператор $s_i \in S$ готов к срабатыванию, если для него выполнено условие срабатывания: $(\forall e)M(e) - F(e, s_i) \geq 0$, где M — текущая разметка кратностей. Другими словами, оператор s_i может сработать, если все входные события имеют кратность, отличную от нуля. Срабатывает оператор $s_i \in S$ при выполнении связанного с ним преобразования текущего состояния, а также при изменении текущей разметки кратностей событий: $(\forall e)M'(e) = M(e) - F(e, s_i) + B(s_i, e)$.

Функционирование такой структуры заключается в последовательном срабатывании операторов, влекущем за собой соответствующее последовательное изменение разметки событий и текущего состояния процесса.

Сети описанного вида могут служить формальными моделями той деятельности, которая осуществляется пользователем и ЭВМ в их совместном диалоге. Диалог — это единая сеть, в которой выделяют две подсети, пересекающиеся только по множеству условий. Одна из подсетей является моделью деятельности СПРИНТ, другая — моделью деятельности пользователя в диалоге. Срабатывание оператора в сети в процессе ее функционирования символизирует выполнение того или иного действия одной из взаимодействующих сторон. Функционирование этих двух подсетей естественным образом связывается друг с другом через общие условия. Чередуя операторов обмена информацией между ЭВМ и человеком, которое предписывается полной сетью, задает формальную модель диалога, описываемую выражением $D = (G_D, C_D)$. Здесь G_D, C_D определяют информационную и управляющую структуры или все возможные цепочки операторов, которые могут составить вычислительный процесс.

Рассмотрим определение управляющей структуры модели в виде сети Петри. Для этого введем ряд определений.

Определение 4.10. Схемой состояний D -сети Петри (диалоговой сети Петри) будем называть двудольный граф $G(E, S)$, где вершинам $e_i \in E$ будут соответствовать состояния D -сети, дугам $s_i \in S$ — события (операторы). Состояние D -сети будем однозначно определять логическим вектором маркировок вида $\nu = (\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots, \nu_n)$, где n — чис-

ло позиций; $\nu_i = \begin{cases} 1, & \text{если } m_i \geq 1 \\ 0, & \text{если } m_i = 0 \end{cases}$; m_i — количество маркеров в позиции s_i . Дуга $s_i \in S$ исходит из состояния $e_k \in E$ и приходит в состоя-

ние $e_l \in E$; если событие s_i может появляться в состоянии e_k , то система переходит в e_l .

Среди состояний будем различать начальное $e_0 \in E$, однозначно определяемое начальной маркировкой, и конечное $e_F \in E$, при котором все позиции пронумерованы.

Определение 4.11. Вычислительным (поисковым) процессом на модели диалога с управлением будем называть путь на схеме состояний, начинающийся состоянием e_0 и кончающийся e_F .

Каждая управляющая структура диалога порождает некоторое множество процессов поиска ответа, однозначно определяемых схемой состояний. Для использования моделей диалога в СПРИНТ схема состояний задается заранее и определяется сценарием и классом ситуаций диалога.

4.5. Представление проблемных ситуаций в системе

Одной из основных задач, возникающих при создании систем типа СПРИНТ, является задача формирования классов состояний энергосистемы, для которых необходимо вырабатывать управляющие решения. Для энергосистем число возможных состояний существенно превышает число возможных управляющих воздействий (управляющих решений).

Задача выявления проблемных ситуаций и их классификации формулируется следующим образом. Имеется некоторое множество параметров $\{X\}$, характеризующих состояние энергосистемы, и известно, что классы проблемных ситуаций K_1, K_2, \dots, K_n являются подмножествами множества $\{X\}$. Заданы описание множества $\{X\}$, информация M , о классах проблемных ситуаций и описание некоторой совокупности параметров $\{x^*\} \subset \{X\}$. Требуется установить, к которым из классов K_1, K_2, \dots, K_n принадлежит совокупность параметров $\{x^*\}$.

Эта общая задача в системе рассматривается как совокупность двух задач:

1. Представление множества параметров, характеризующих состояние энергосистемы, и формирование решающего правила, предназначенного для вычисления принадлежности всех возможных совокупностей параметров к каждому из классов K_i . Эта задача называется задачей *представлений проблемных ситуаций*. Ее решают эксперты — системные аналитики.

2. Автоматическое определение принадлежности всех возможных совокупностей параметров, заданных на $\{X\}$, к классам проблемных ситуаций с использованием решающего правила.

Первая задача решается при проектировании системы или при ее адаптации к предметной области управления и ставится как задача обобщения на множестве $\{X\}$. Результатом такого обобщения являются обобщенные представления G классов проблемных ситуаций K_i . Вторая задача решается на этапе функционирования системы в автоматическом режиме.

Для представления проблемных ситуаций необходимо: 1) описать множество $\{X\}$; 2) на множестве $\{X\}$ задать (описать) классы эквивалентности, соответствующие классам проблемных ситуаций M_i ; 3) описать правила, позволяющие определять принадлежность некоторой совокупности параметров $\{x^*\}$ к классу K_i .

Все процедуры представления проблемных ситуаций в системе являются экспертными: в том смысле, что строятся они системными аналитиками в диалоговом режиме обучения и проектирования системы.

4.6. Представление теоретико-множественных моделей для описания состояний энергосистемы

Любое состояние энергосистемы всегда характеризуется множеством параметров, значения которых могут меняться в некоторых пределах. Это множество параметров является поименованным, и на нем можно строить любые отношения, полезные с точки зрения решения задач управления режимами энергосистемы, в частности отношения, описывающие топологию электрической сети, характеризующие состояния электростанций, подстанций, линий электропередач и т. д. Все отношения в системе задаются таблично и определяются именем отношения и списком атрибутов (поименованных параметров), на которых они определены.

Например, для понятия ЛЭП существует отношение с именем ЛЭП, заданное на атрибутах: номер ЛЭП, имя начала ЛЭП, имя конца ЛЭП, напряжение ЛЭП, состояние ЛЭП, допустимый переток по ЛЭП и т. д. Такие отношения существуют в базе данных для всех понятий, характеризующих область управления энергосистемами, и носят условно-постоянный характер, т. е. не меняются описательно на протяжении длительного периода времени. В это же время возникают и исчезают отношения, характеризующие процессы распознавания ситуаций, поиска и принятия решений. Например, в процессе поиска решения возникает потребность узнать по топологии электрической сети, какое множество пунктов сети $\{Y\}$ соединено с конкретным пунктом B . Такая потребность реализуется путем задания динамически (ситуативно) появляющегося отношения (соединения) СДН $\{Y\}$, B . Появление динамических отношений связано с наличием в СПРИНТ представления информации не только на уровне данных, но и на уровне знаний [17]. Именно на уровне знаний в процессе поиска решений возникают динамические отношения, для которых необходимо установить их текущую истинность путем интерпретации их на базе данных.

Все отношения строятся на атрибутах, определенных в БД. Существование условно-постоянных отношений в базе данных с точки зрения адекватности их состоянию энергосистемы поддерживается средствами СУБД в лице администратора системы. Динамические отношения существуют тогда, когда существует процедура, позволяющая установить наличие или отсутствие возможности установления такого отношения на атрибутах БД.

Рассмотренные отношения основываются на теоретико-множественной реляционной модели данных и поддерживаются стандартными СУБД [27, 45, 67].

4.7. Язык определения знаний как средство построения семиотической модели представления информации

Анализируя рассмотренный набор моделей, можно заметить, что язык формальной системы может служить как для описания теории управляющей деятельности при оперативном принятии решений (база знаний), так и для описания информации, на которой строится эта теория (база данных).

Рассмотрим теперь возможность расширения формальной системы с точки зрения использования ее для построения средств автоматизированного проектирования моделей и БЗ и БД. Попробуем найти ответ на вопрос — "Что необходимо добавить в формальную систему, чтобы уметь не только описывать ее составляющие, но и видоизменять с целью настройки на область управления?". Ответ будет таков — "Для этого необходимо ввести в формальную модель правила: D , позволяющие изменять алфавит модели T ; Ω , позволяющие изменять правила H , т. е. синтаксис модели; χ , позволяющие изменять множество Ψ путем модификации, т. е. введения или удаления законов, фактов, изменившихся следствий, отношений предметной области управления (введение этого правила расширяет Ψ не только за счет применения к нему правил Θ (получения из исходных посылок следствий), но и допускает в режимах проектирования, обучения и адаптации, как добавление новых аксиом, так и исключение устаревших. Правила Θ при этом могут относиться как к содержащимся в данный момент в Ψ выражениям, так и к отсутствующим); Ξ , определяющие изменять правила Θ . Задача, решаемая с помощью этих правил, называется *задачей адаптации*.

В результате таких дополнений выражение формальной системы принимает вид

$$A = \langle T, H, \Psi, \Theta, D, \Omega, \chi, \Xi \rangle \quad (4.9)$$

и является формальным определением семиотической модели [37, 51, 53].

Семиотическая модель имеет две составляющие: индуктивную и дедуктивную. Главной с точки зрения создания средств представления и описания информации является индуктивная составляющая. С ее помощью пользователи системы (эксперты) могут определять проблемные ситуации, описывать логику решения задач оперативного принятия решений и создавать алгоритмы.

В качестве единого средства описания и представления информации о теории управляющей деятельности в СПРИНТ используется язык определения знаний (ЯОЗ), основное назначение которого — описание всех атрибутов области управления, задание на них условно-постоянных и динамических отношений и построение аксиом теории управляющей деятельности при оперативном принятии решений.

Формально язык определен выражением вида

$$L_{\text{ЯОЗ}} = \langle L_T, L_N, L_P \rangle, \quad (4.10)$$

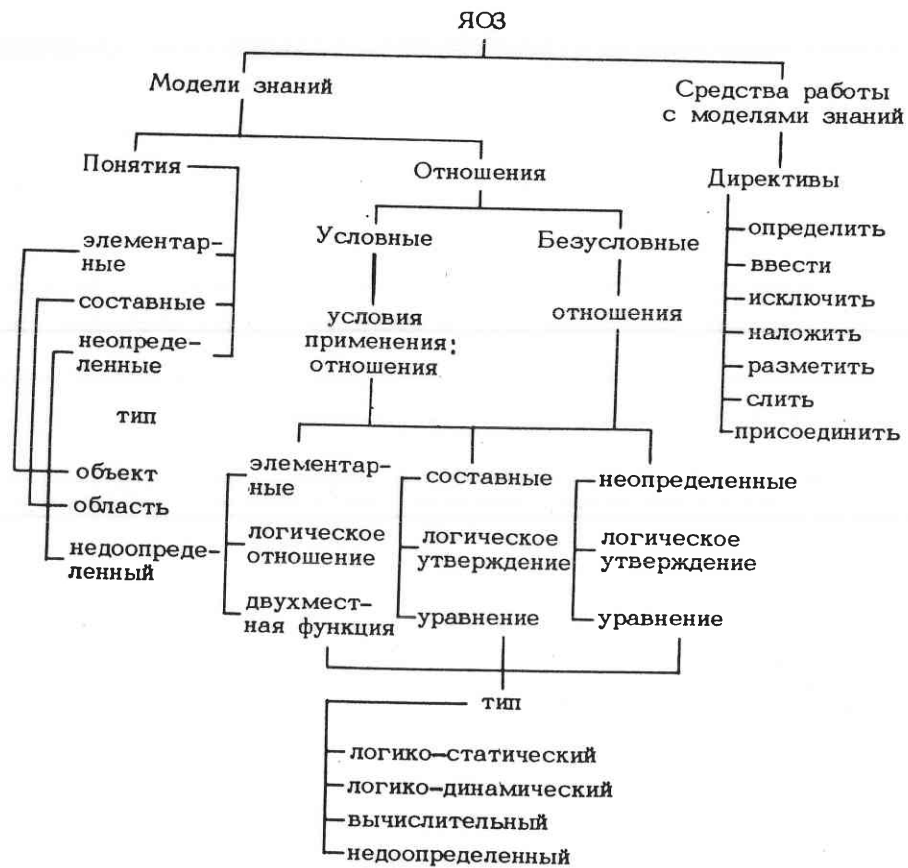


Рис. 4.7.

где L_T, L_N — множество терминальных и нетерминальных символов; L_P — множество правил, включающих директивы языка. Все терминальные и нетерминальные элементы языка имеют свои определенные типы.

Структура элементов языка приведена на рис. 4.7. Понятия и отношения позволяют описывать любые из моделей, включаемых в БЗ. Директивы — средства взаимодействия пользователя с системой.

Понятия определяются в широком диапазоне — от элементарных (например, ЛЭП (x, y)), составных (энергорайон Кировэнерго) до неопределенных, т. е. не имеющих смысла в конкретной области применения (Хмельницкая АЭС в описании энергосистемы Сибири). Тип понятий задает область их интерпретации, поэтому для всякого неопределенного понятия СПРИНТ будет требовать от эксперта его доопределения или исключения.

Отношения разделяются на условные и безусловные. Первые всегда носят конкретный характер, справедливый только для данной области применения (например, Условия включения ЛЭП (1, 2): ВКЛЮЧИТЬ ЛЭП (1, 2) в Районэнерго). Конкретность задается условием применения этого отношения. Безусловные отношения носят характер законов, всегда справедливых в электроэнергетике (например, законы Кирхгофа), другими словами, имеют общезначимый характер.

Все отношения и условия применения (также рассматриваются как отношения со своей областью интерпретации) могут быть элементарными (например, отношение соединения на сети СДН (x, y, R_0)), составными (например, РЕАЛИЗОВАТЬ [ОТКЛ. РЕАКТОР (y)] & СДН (x, y, R_0) → УВЛ $[I(x)]$) и неопределенными. При этом условия применения могут иметь только логико-статический или логико-динамический тип. Другие отношения могут иметь еще и вычислительный тип. Разница между этими типами (исключая недоопределенный) заключается в том, что вычислительный тип дает после интерпретации только числовые значения параметров. Другие типы дают логические значения истинности или ложности интерпретации в совокупности с числовыми значениями параметров, на которых установлена эта истинность или ложность. С отношениями недоопределенного типа СПРИНТ поступает как и с понятиями, т. е. требует либо их доопределения (задания области интерпретации), либо исключения.

Логико-статический тип отношений подразумевает наличие в БД таблицы, соответствующей каждому из определенных отношений данного типа [например, отношение РЕЗЕРВ (тип регулятора, место размещения, состояние) указано в таблице резервов по регулированию. Из этой таблицы всегда можно узнать о наличии или отсутствии резерва по задействованию каждого типа регуляторов в системе]. Логико-динамический тип отношений подразумевает наличие в БЗ процедуры с определенной для нее областью интерпретации в БД. Каждому отношению этого типа в БЗ должна соответствовать своя процедура, которая может в любой момент времени определить множество параметров, обеспечивающих истинность или ложность данного типа отношения (например, отношение соединения СДН (x, y, R_0) с помощью соответствующей процедуры, определенной на схеме электрической сети, можно вычислить множество u , соединенных с множеством x в пределах радиуса R_0).

Взаимодействие экспертов средствами ЯОЗ с системой показано на рис. 3.5. Каждую из вновь вводимых моделей или любое изменение эксперт описывает в терминах понятий и отношений на ЯОЗ. По соответствующим директивам эти описания поступают на вход процессора ЯОЗ, который обрабатывает описание задач, выделяет множество элементов и операторов и строит граф информационной модели. Полученный граф является входной информацией для статического планировщика, он строит управляющий граф БЗ, именуемый логической моделью базы

знаний (принцип формирования такой модели изложен в следующей главе). Таким образом, построив базу знаний в виде множеств моделей и данных и определив ЯОЗ как средство описания, рассмотрим средства поиска решений на моделях.

Глава пятая

ПОСТРОЕНИЕ СРЕДСТВ ПОИСКА РЕШЕНИЙ НА МОДЕЛЯХ

В системе СПРИНТ вся информация об энергосистеме представлена в модели знаний. Для организации автоматического или автоматизированного поиска команд управления в каждой из проблемных ситуаций необходимо разработать механизм решения задач на МЗ. Такая модель позволяет определять задачи в терминах своих элементов и их параметров. Множество задач на модели знаний разбивается на классы эквивалентности, состоящие из задач с одинаковой схемой. Основной проблемой поиска является нахождение алгоритма, решающего как отдельную задачу, так и любую их совокупность.

В СПРИНТ задачи на модели решаются в два этапа: планирование решения, т. е. составление алгоритма, решающего задачу; интерпретация алгоритма, решающего задачу, в результате чего выполняется вычислительный процесс и получается решение.

Поскольку область поиска решений представляет собой сложную мультимодельную среду, то, как уже отмечалось, необходимо строить сложную систему планирования как на каждом типе моделей, так и на любом их множестве.

Организация такого поиска основана на дедуктивной составляющей семиотической модели для которой строится специальный язык, называемый языком манипулирования знаниями (ЯМЗ). Операторы ЯМЗ описывают связь с внешней средой на языке событий и обеспечивают организацию поиска решений средствами планирования вычислений на моделях.

5.1. Планирование вычислений на вычислительной модели

Модель предметной области управления позволяет автоматизировать решение задач поиска решений. Для этого система должна уметь автоматически решать задачу планирования, т. е. строить по заданным начальным данным и цели расчета цепочки преобразований информации, интерпретация которых позволяет получить искомые расчетные данные. Иначе задача планирования формулируется как задача поиска пути в пространстве состояний модели энергосистемы.

В соответствии с [9, 10, 34, 35] планирующую систему для вычислительных моделей с управлением определим как композицию функций

φ_i , сопоставляющую некоторым четверкам $\langle M_B, C, U, V \rangle$ оператор $\prod_{i=1}^n (\varphi_i) [M_B, C, U, V]$ со входом U и выходом V , где M_B – вычислительная модель; C – управление на M_B ; U и V – наборы переменных на модели M_B .

Значение $\prod_{i=1}^n (\varphi_i) [M_B, C, U, V]$ определимо для тех четверок $\langle M_B, C, U, V \rangle$, для которых существуют задачи (U, \bar{U}, V) , разрешимые на модели M_B при заданном управлении C .

Планирование последовательных вычислительных процессов на одноступенчатой вычислительной модели. Предметная область модели состоит из перечня величин U и V , набора преобразований P , информационного графа G и множества ограничений $Z \in U \cup V$ и аварийных событий $K \in U \cup V$.

Соответствие между аргументами U и результатами их преобразований V зададим информационным графом, т. е. двудольным графом с вершинами двух типов и ребрами, соединяющими вершины только разных типов. Вершинам первого типа соответствуют стандартные переменные, вершинам второго типа – преобразователи (операторы). Ребра, исходящие из вершин – стандартных переменных, соединяют вершины – преобразователи, для которых они являются аргументами U . Ребра, исходящие из вершин – преобразователей, соединяют вершины – стандартные переменные, являющиеся результатами этих предметных преобразователей.

Ограничения носят априорный и апостериорный характер. Априорные ограничения задаются предикатом $Z(U)$, где U – множество значений аргументов. Этот тип ограничений задает условие применимости некоторого преобразования, т. е. преобразование может выполняться только при условии истинности $Z(U)$.

Апостериорные ограничения задаются предикатом $Z(V)$, где V – множество значений результатов преобразований, которое контролируется при планировании процессов поиска.

Аварийные события связаны с набором преобразователей, которые вне спланированной операторной схемы срабатывают при нарушении ограничений.

Задача планирования в настоящей постановке рассматривается двояко: как задача поиска операторной схемы вычисления множества результатов V по множеству аргументов U и как задача поиска операторной схемы для множества величин, значения которых известны в текущий момент [8, 35, 38, 40].

Выделим три вида планирования на модели: статическое, процедуры управления C_B и динамическое. Взаимодействие всех видов планирования вычислительных процессов на вычислительной модели представлено на рис. 5.1.

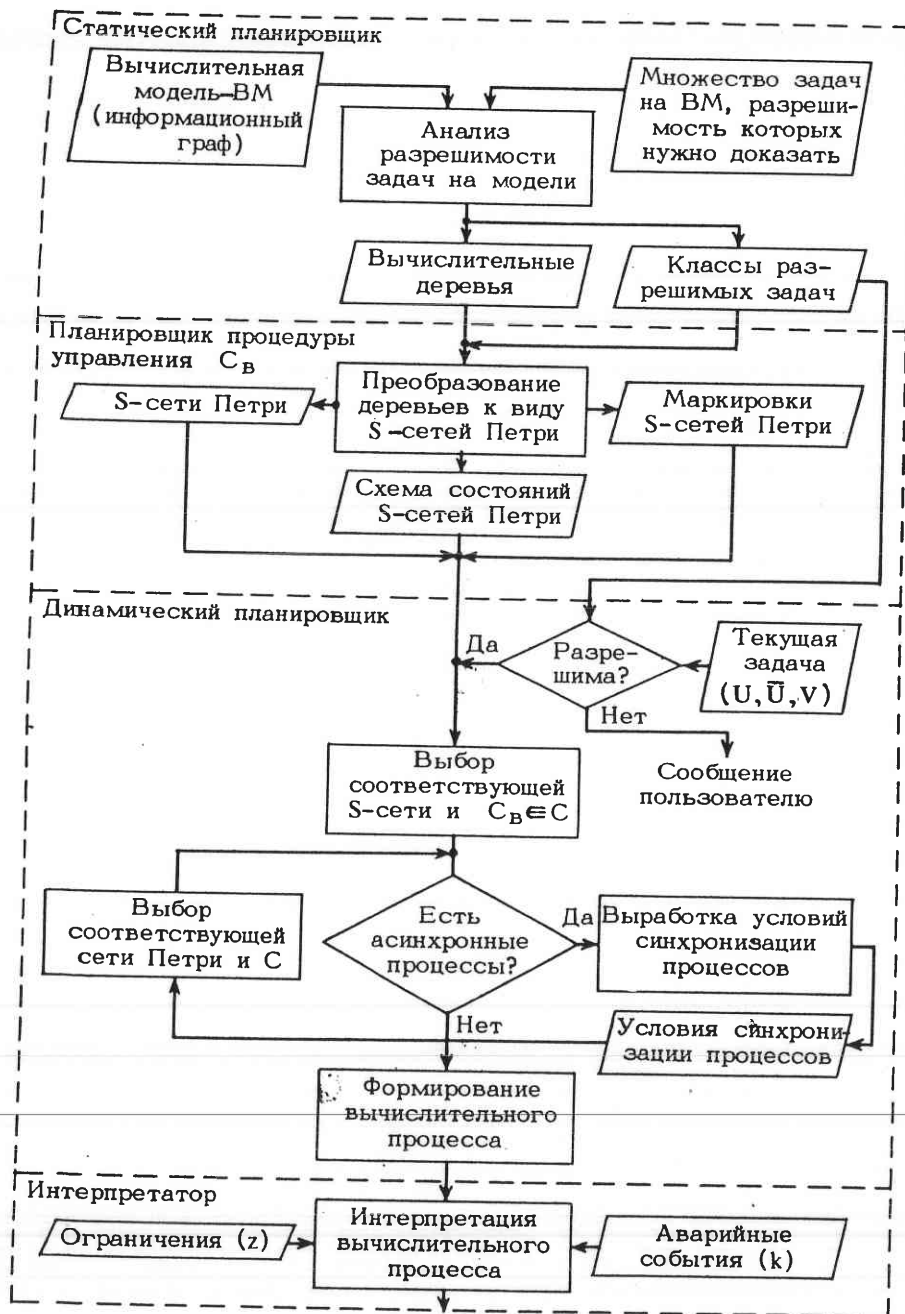


Рис. 5.1.

Вычислительная модель в таком планировщике представлена на этапе определения модели информационным графом G , на котором можно искать разрешимость некоторого множества задач (U, \bar{U}, V) . Разрешимость устанавливают в блоке анализа разрешимости задач на модели путем выяснения существования алгоритма поиска транзитивного замыкания информационного графа $T_2(U)$ [35, 38]. Если он существует, то в результате его применения к информационному графу получается граф, описывающий все допустимые для рассматриваемого множества задач пути их решения на модели. Алгоритм $T_2(U)$ позволяет определить множество переменных предметной области, значения которых могут быть вычислены из исходного состояния (U, \bar{U}) . Все это дает возможность установить принципиальную вычислимость или невычислимость некоторых величин $\{v\}$. Выходом блока анализа разрешимости задач будут два множества – вычислительные деревья и классы разрешимых задач. Рассмотренная последовательность работ выполняется процессором статического планирования.

Планировщик процедуры управления C_B осуществляет преобразование вычислительных деревьев к виду S -сетей Петри, строя как сами сети, так и их схемы состояний. Последние определяют маркировку S -сетей, что дает возможность для некоторой разрешимой задачи непосредственно формировать вычислительный процесс.

Динамический планировщик связан с общей системой решения задач в СПРИНТ, т. е. может получать запрос в виде текущей вычислительной задачи. Используя информацию о классе разрешимых задач на модели, планировщик "думает", можно ли решить текущую задачу. Если это невозможно, то пользователю выдается сообщение о неразрешимости, в противном случае осуществляется выбор соответствующей сети Петри и управления на ней. Это управление определяется множеством маркировок, характерных для данного класса задач. После планирования последовательных вычислительных процессов выполняется их формирование.

Интерпретатор осуществляет выполнение сформированной последовательности операторов с учетом ограничений и аварийных событий в системе.

Синхронизация вычислений. Как уже отмечалось при описании моделей базы знаний СПРИНТ, в системе всегда существуют асинхронные процессы. В нашем определении это процессы на моделях, переменные которых являются общими. Разница в определении этих переменных в разнотипных моделях заключается в том, что в одних моделях эти переменные – аргументы, в других – результаты вычислений. Для таких моделей в динамическом планировщике существует блок выработки условий синхронизации процессов. Множество условий синхронизации попадает снова на блок выбора, который выбирает соответствующие сети Петри, осуществляет их синхронизацию, применяя общую процедуру управления C . Далее в блоке формирования вырабатывается последователь-

ность операторов вычислительного процесса. Интерпретация этих операторов дает ответ решаемой задачи. Условия синхронизации выполняются только для моделей, уже представленных S -сетями, т. е. прошедших через статический планировщик и планировщик процедур управления.

5.2. Планирование вычислений на экспертной модели

Планирующую систему для экспертных моделей с управлением определим как композицию функций φ_i , сопоставляющую некоторым четверкам $\langle M_L, C_L, \Psi_L, \Psi_L \rangle$ оператор $\prod_{i=1}^L (\varphi_i) [M_L, C_L, \Psi_L, \Psi_L]$ со входами Ψ_L, Ψ_L и выходом nil, где M_L — экспертная модель; $C_L \in C$ — управление на экспертной модели; Ψ_L, Ψ_L — набор утверждений модели; nil — утверждение, говорящее об окончании процесса планирования, $nil \in \Psi_L$.

Значение $\prod_{i=1}^L (\varphi_i) [M_L, C_L, \Psi_L, \Psi_L]$ определено для тех четверок $(M_L, C_L, \Psi_L, \Psi_L)$, для которых существуют задачи (Ψ_L, Ψ_L, T) , разрешимые на модели M_L при заданном управлении C_L .

Данная композиция функций φ_i работает на множестве утверждений предметной области модели, описанных языком логики предикатов первого порядка, используя приемы дедукции. Задачу планирования (поиска решений) будем рассматривать как задачу доказательства теорем. Основная цель этой задачи — выяснение вопроса возможности логического следствия некоторого утверждения Ψ_1^* из заданного множества утверждений $\{\Psi_2, \Psi_3, \dots, \Psi_n\}$, т. е. выяснение общезначимости выражения $((\Psi_2 \wedge \dots \wedge \Psi_n) \rightarrow \Psi_1^*)$. На практике удобно определять не выполнимость, а не общезначимость. Для этого необходимо доказать, что не существует такой интерпретации, при которой каждое из выражений множества $\Psi_2, \Psi_3, \dots, \Psi_n, \Psi_1^*$ имеет значение "истина". Данный процесс называют процессом опровержения [47].

Для формализации дальнейших рассуждений введем определения. Пусть $\{\Psi_i\}$ и $\{\Psi_i^*\}$ — два правильно построенных выражения, составляющие их элементарные выражения, называемые далее атомными, соединены знаком дизъюнкции (логическое ИЛИ), т. е. $(\{\Psi_i\} \text{ и } \{\Psi_i^*\})$ — суть дизъюнкты. Будем считать, что все переменные, встречающиеся в $\{\Psi_i\}$, не встречаются в $\{\Psi_i^*\}$. Пусть $\{\alpha_i\}$ и $\{\alpha_i^*\}$ — такие два подмножества атомных выражений в $\{\Psi_i\}$ и $\{\Psi_i^*\}$, что для объединения $\{\alpha_i\}$ и $\{\alpha_i^*\}$ существует подстановка, которая превращает атомные формулы в унифицируемые, т. е. одно атомное выражение становится отрицанием другого. Тогда два дизъюнкта $\{\alpha_i\}$ и $\{\alpha_i^*\}$ разрешаются, а новый дизъюнкт $[\{\Psi_i\} - \{\alpha_i\}] \vee [\{\Psi_i^*\} - \{\alpha_i^*\}]$ является их резольвентой

(логическим следствием). Теперь если $\{\Psi\}$ множество дизъюнктов, то *резольвентой* называется правило вывода, генерирующее резольвенты из множества $\{\Psi\}$. Объединение множества $\{\Psi\}$ с множеством всех резольвент, которые могут быть образованы из дизъюнктов, входящих в $\{\Psi\}$, обозначим $Re(\Psi)$. Тогда справедлива теорема [47]: если $\{\Psi\}$ — произвольное множество дизъюнктов, то $\{\Psi\}$ невыполнимо тогда и только тогда, когда $Re(\Psi)$ содержит для некоторого $n \geq 0$ пустой дизъюнкт nil.

Поскольку существует множество путей вывода пустых дизъюнктов, то будем различать алгоритмы статического и динамического (ситуативного) планирования.

С помощью алгоритма статического планирования предварительно настраивают экспертную модель на решение задач некоторого класса и строят дерево вывода для всех задач данного класса (см. рис. 4.6), т. е. строят множество всех утверждений экспертной модели, включая и резольвенты, и пути достижения состояния nil для всех утверждений, выводимость которых необходимо установить.

Алгоритм ситуативного планирования выбирает из множества утверждений и путей вывода определенное подмножество и один путь вывода. Последнее достигается путем "вырезания" одного пути вывода и сопутствующего ему множества утверждений (актуальная настройка). Условием для такого "вырезания" является ситуативное маркирование соответствующей S -сети Петри, описывающей процесс логического вывода для утверждения, выводимость которого определена алгоритмом статического планирования, и остается только найти параметры, при которых этот вывод возможен. Такими параметрами являются управляющие рекомендации (см. рис. 4.6).

Общий алгоритм планирования вычислений на экспертных моделях функционально состоит из четырех частей: статического планировщика, планировщика процедуры управления S , ситуативного планировщика и интерпретатора.

Статический планировщик, используя утверждения экспертной модели и множество утверждений, которые нужно доказать в соответствии со схемами разрешимых задач, выявляет классы утверждений, выводимость которых может быть доказана, строит деревья вывода для доказуемых утверждений и создает множество утверждений, участвующих в доказательстве. Последнее множество объединяет в себе утверждения экспертной модели и множество резольвент. На этом статический планировщик работу заканчивает.

Планировщик процедуры управления S на основе выходной информации статического планировщика строит управляющую структуру в виде S -сети Петри для всех деревьев вывода каждого из классов утверждений, выводимость которых доказана. Кроме того, он строит схему состояния S -сети с выделением начального и nil-состояний. Для каждого из классов начальных состояний, соответствующих классам утвержде-

ний, выводимость которых доказана, планировщик строит логический вектор маркировки.

Ситуативный (динамический) планировщик имеет связь со средой управления. На вход поступают текущие ситуативные утверждения из класса выводимых утверждений, для которых необходимо установить, при каких значениях параметров энергосистем они выводимы. Например, можно ли повысить напряжение в пункте x_i энергосистемы (см. § 4.2). Для такого утверждения выбирается соответствующая S-сеть со своей схемой состояния, т. е. и с маркировкой. Так как для получения множества истинности переменных утверждений экспертной модели (интерпретации ее элементов) необходимо прибегнуть к услугам вычислительных моделей, то планировщик вырабатывает условия синхронизации с вычислительными моделями. В качестве примера связи логических утверждений с вычислительными укажем, что отрицание выражения $СДН(x, y, R_0)$ и его пара $СДН(x_i, y, R_0)$ могут дать резолювенту, если $СДН(x_i, y, R_0)$ истинно. Эта истинность определяется вычислительной моделью $СДН$, которая по топологии энергосети находит множество x_i, y , определяющее выполнимость этого отношения в данный момент времени, а следовательно, и его истинность.

Интерпретатор организует вычислительный процесс поиска подстановок в утверждения экспертной модели, участвующие в выводе, и находит унифицирующую подстановку, в которой содержатся сведения о возможных воздействиях на объект управления — управляющие решения.

Следует подчеркнуть, что управление $C_L \in C$ является средством сокращения перебора, так как определяет стратегии выбора дизъюнктов для резольвирования.

Такой алгоритм планирования позволяет статический планировщик и планировщик процедуры управления C использовать в контурах проектирования и адаптации СПРИНТ с целью предварительной настройки моделей на задачи. Ситуативный планировщик и интерпретатор применяются в контуре управления для выработки управляющих рекомендаций.

5.3. Планирование вычислений на диалоговой модели

Диалоговые модели в рассматриваемом классе систем являются носителями структур-сценариев человеко-машинного взаимодействия. Эти структуры описывают взаимосвязь между условиями запроса и средствами получения ответа. Одно из средств получения ответа — процедура планирования, которая определяет последовательность шагов поиска на всей модели предметной области. Вся модель предметной области — база знаний — описывается множеством вычислительных и экспертных моделей. При этом запросы представляются аргументами и результатами на всем протяжении поиска ответа.

Планирующую систему для диалоговых моделей с управлением будем представлять как композицию функций φ_i сопоставляющую некоторым четверкам $\langle M_D, C_D, U, V \rangle$ оператор $\prod_{i=1}^D (\varphi_i) [M_D, C_D, U, V]$ со входом U и выходом V . В частном случае $U \in \Psi, V \in \Psi$. Здесь M_D — модель знаний; $C_D \in C$ — управление на M_D ; U, V — множество переменных — условий поиска на M_D .

Значение $\prod_{i=1}^D (\varphi_i) [M_D, C_D, U, V]$ определено для тех четверок (M_D, C_D, U, V) , для которых существуют задачи (U, \bar{U}, V) , разрешимые на модели при заданном управлении C_D .

Предметная область модели состоит из перечня элементов U и V , множества моделей M_B, M_L , информационного графа G_D , связывающего элементы U, V и $M_B \cup M_L$ и множеств ограничений $Z \subset U \cup V$ и аварийных событий $K \in \bar{U} \cup \bar{V}$.

Информационный граф G_D является двудольным графом с вершинами двух типов и ребрами, соединяющими вершины только разных типов. Вершинам первого типа соответствуют диалоговые переменные U и V , вершинам второго типа — преобразователи этих переменных (вычислительные и экспертные модели). Ребра, исходящие из вершин — диалоговых переменных, соединяют вершины — преобразователи, для которых являются аргументами. Ребра, исходящие из вершин — преобразователей, соединяют вершины — диалоговые переменные, являющиеся результатом этих преобразователей.

Ограничения носят априорный и апостериорный характер и задаются точно так же, как и для вычислительной модели.

Общий алгоритм планирования вычислений на диалоговой модели состоит из четырех частей: статическое планирование, планирование процедуры управления C_D и ситуативное планирование и интерпретатор.

Статический планировщик, пользуясь информационным графом G_D , пытается получить информацию о том, какие из задач человеко-машинного общения можно отнести к классам разрешимых задач на G_D . Эта информация определяется в блоке анализа разрешимости задач на модели алгоритмом поиска транзитивного замыкания информационного графа $T_2(U)$. В результате применения $T_2(U)$ к информационному графу получается граф, описывающий все допустимые для рассматриваемого множества задач пути их решения на модели M , т. е. алгоритм $T_2(U)$ позволяет определить множество переменных предметной области, значения которых могут быть вычислены из исходного состояния (U, \bar{U}) . Все это дает возможность установить принципиальную вычислимость или невычислимость некоторых величин (V). Выходом блока анализа разрешимости задач на модели будут два множества — деревья вывода и классы разрешимых задач. Последние определяются схемой или сценарием диалога.

Планировщик процедуры управления $C_D \in C$ осуществляет преобразование деревьев вывода к виду D -сетей Петри. Для этого строит сети Петри и схемы их соединений для каждой вновь вводимой диалоговой модели. Схемы состояний определяют в себе и маркировку D -сетей, что дает возможность для некоторой разрешимой задачи по каждому появлению потребности в ее решении формировать вычислительный процесс.

Ситуативный (динамический) планировщик связан с общей системой решения задач и (как процессор) осуществляет общение с пользователями. Для каждого входного запроса к системе, представляемого задачей (U, \bar{U}, V) , планировщик вначале оценивает ее разрешимость на модели, затем передает блоку выбора соответствующей D -сети Петри и управления C_D . Этот блок находит D -сеть, соответствующую классу пришедшей задачи, и строит управление на сети. Последнее определяется множеством маркировок, характерных для данного класса задач. Так как диалоговая модель строится на множествах вычислительных и экспертных моделей, являющихся преобразователями информации, то в системе возникают асинхронные процессы. Это вызвано наличием общих параметров для множества моделей. Для объединения вычислительных процессов, определенных на всех моделях, в единый процесс решения диалоговой задачи существует блок выработки условий синхронизации процессов. Условия синхронизации из этого блока попадают на блок выбора соответствующих сетей Петри с управлением. Далее, если нет асинхронных процессов, в работу вступает блок формирования вычислительного процесса реализации диалога на основе схем состояний всех сетей Петри, участвующих в диалоге.

Интерпретатор диалога, используя информацию об организации вычислительного процесса, производит его выполнение, т. е. организует диалог с пользователем. При этом всегда контролируются ограничения на параметры и реализуется реакция на аварийные события.

5.4. Планирование вычислений на семиотической модели

Основная особенность семиотической модели – представимость в ней знаний о средствах достижения цели управления. Эти знания имеют вид упорядоченного множества процедур, моделей и способов их использования (управления на моделях) для решения возникающих задач. Структурно каждая из моделей состоит как бы из двух частей – собственно самой модели и элементов связи – синхронизации ее с другими моделями. Понятие связи – синхронизации отражает возможность установления взаимодействия между любыми моделями семиотической модели. Все это позволяет рассматривать весь набор элементов как некоторую обобщенную (семиотическую) структурированную модель потоков информации, способов и приемов ее обработки для поиска решений.

Планирование вычислений на такой модели также будем рассматривать как композицию функций φ_i , сопоставляющую некоторым чет-

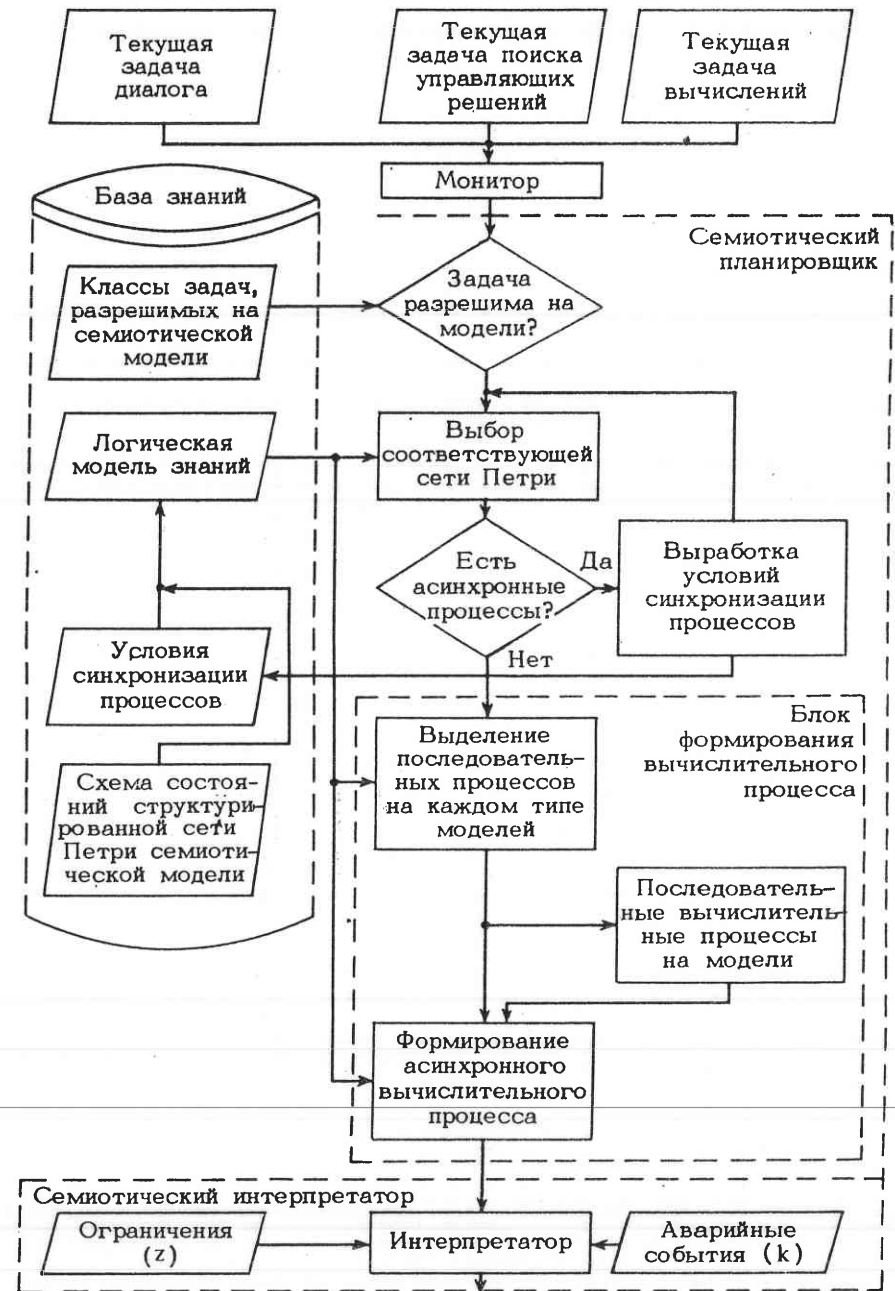


Рис. 5.2.

веркам $\langle M, C, U, V \rangle$ оператор $\prod_{i=1}^n K(\varphi_i) [M, C, U, V]$ со входом U и выходом V . При этом $(U_O \cup U_B \cup \Psi) \subset U$, $(V_D \cup V_B \cup \Psi^*) \subset V$, $(C_O \cup UC_B \cup CL) \subset C$, $(M_D \cup M_B \cup M_L) \subset M$. Здесь M – модель знаний системы; C – управление на модели M , U, V – множество переменных – условий поиска на M .

Значение $\prod_{i=1}^n K(\varphi_i) [M, C, U, V]$ определено для тех четверок (M, C, U, V) , для которых существуют задачи (U, \bar{U}, V) , разрешимые на модели при заданном управлении.

В качестве таких задач будем рассматривать задачи диалога, поиска управляющих решений для проблемной ситуации управления, вычислительные задачи. Все эти задачи могут возникать при реализации процессов выработки и принятия решений в системе СПРИНТ.

Структура семиотического планировщика приведена на рис. 5.2. Монитор – это внешний блок, устанавливающий дисциплину общения задач с планировщиком. Информация с выхода монитора поступает на блок установления разрешимости задач на модели. При этом запускается в работу блок выбора соответствующей задаче сети Петри, на которой устанавливается разрешимость задачи. Если задача неразрешима, то выдается сообщение пользователю. Блок выбора по информации из БЗ выбирает соответствующую сеть Петри. Для этой сети блок проверки наличия асинхронных процессов проверяет их наличие и передает управление блоку выработки условий синхронизации процессов. Последние три блока работают циклически до тех пор, пока не останутся асинхронных процессов. Далее запускается в работу блок выделения последовательных процессов на каждом типе моделей. Множество этих процессов поступает на блок формирования операторной схемы асинхронного вычислительного процесса. При работе этих блоков используется информация из БЗ. Такой информацией являются сведения о схеме состояний каждой сети Петри, условия синхронизации. Сформированная операторная схемы вычислительного процесса поступает на интерпретатор.

Интерпретатор является процессором, который выполняет вычислительный процесс с учетом ограничений, реагируя на аварийные события.

Семиотический планировщик обобщает в себе все планировщики рассмотренных типов моделей. Его двухуровневость, о которой говорилось в гл. 3, заключается в том, что динамический и ситуативный планировщики (их алгоритмы) используются при выделении последовательных вычислительных процессов на каждом типе моделей (первый уровень – планирование на модели). Для этого существует соответствующий блок выделения последовательных процессов. Второй уровень – планирование на множестве моделей – осуществляется в блоке формирования асинхронного вычислительного процесса.

5.5. Язык манипулирования знаниями как средство автоматизации планирования вычислений на семиотической модели

Рассмотренная при планировании функция $\prod_{i=1}^n K(\varphi_i) [M, C, U, V]$

дает решение для четверок (M, C, U, V) , на которых существуют задачи (U, \bar{U}, V) , разрешимые на модели M .

Основной целью построения СПРИНТ является создание средств, автоматически или автоматизированно реагирующих на изменения внешней и внутренней сред управления и осуществляющих управление.

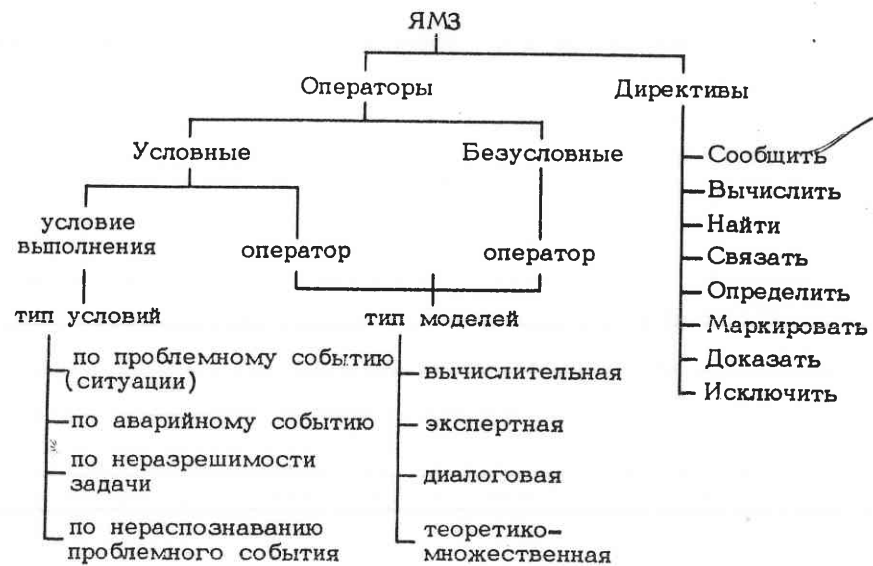
СПРИНТ имеет связь со средой управления как с точки зрения получения информации о ее состоянии, так и выдачи управляющих команд, изменяющих это состояние. Для этого между средой управления и функцией планирования необходимо установить связь, которая должна носить условно-событийный характер, определяемый схемой:

$\langle \text{Условия наступления события} \rangle \rightarrow \langle \text{Событие} \rangle$
 $\langle \text{Событие} \rangle \rightarrow \langle \text{Разрешимая задача на модели} \rangle$
 $\langle \text{Разрешимая задача на модели} \rangle \rightarrow \langle \text{Планирование и поиск решений} \rangle$
 $\langle \text{Планирование и поиск решений} \rangle \rightarrow \langle \text{Решение} \rangle$

Каждое событие трактуется в системе как проблемная ситуация. Для устранения последней необходимо найти и реализовать управляющее решение. В проблемной ситуации обязательно должны быть описаны условия наступления события. Это позволяет нам изменить схему и представить ее в виде

$\langle \text{Проблемная ситуация} \rangle \rightarrow \langle \text{Разрешимая задача на модели} \rangle$
 $\langle \text{Разрешимая задача на модели} \rangle \rightarrow \langle \text{Планирование и поиск решений} \rangle$
 $\langle \text{Планирование и поиск решений} \rangle \rightarrow \langle \text{Решение} \rangle$.

Рассмотренную цепочку преобразований можно описать на языке, основными понятиями которого будут проблемные ситуации, задачи на модели, параметры объекта и среды управления, преобразователи параметров, управление на модели. В качестве правил вывода можно использовать правила, задающие соответствие между проблемными ситуациями и задачами, и правила (алгоритмы) планирования на семиотической МЗ. Такой язык позволяет автоматизировать связь с пользователем и выполнять автоматически следующие функции: РАСПОЗНАВАНИЕ (*Какие события имеют место на данном шаге?*), УПРАВЛЕНИЕ (*Что необходимо сделать на следующем шаге?*), ПОИСК (*Какие знания необходимо использовать?*), СОГЛАСОВАНИЕ (*Применимы ли найденные знания? Каким образом?*), ЗАКЛЮЧЕНИЕ (*Какой вывод на данном шаге можно сделать?*).



Р и с. 5.3.

Функцию распознавания ситуаций можно описать с помощью языка L_1 , грамматика которого будет задана в виде

$$\Gamma_1 = \langle B, \pi, S, S_0 \rangle, \quad (5.1)$$

где B — множество терминальных символов, соответствующих переменным и предикатам; π — множество правил, связывающих терминальные и нетерминальные символы; S — множество нетерминальных символов, понятий предметной области; S_0 — начальный нетерминальный символ.

Пусть множество терминальных символов состоит из элементов $\{U, \bar{U}, V\}$, нетерминальных — из элементов $\{S_i, Z_i, S_0\}$. Здесь S_i — понятия, определяющие проблемные ситуации; Z_i — понятия, определяющие задачи. Тогда, задав правила

$$\{S_0 \rightarrow US_i, S_i \rightarrow \bar{U}Z_i, Z_i \rightarrow V\},$$

можно построить вывод вида

$$S_0 \rightarrow US_i, US_i \rightarrow \bar{U}Z_i, U\bar{U}Z_i \rightarrow U\bar{U}V,$$

т. е. данная грамматика позволяет описывать процессы связи системы с объектом и средой управления в терминах параметров, понятий и правил вывода.

Остальные функции определим языком L_2 , грамматика которого будет задана в виде

$$\Gamma_2 = \langle T, \prod_{i=1}^n (\varphi_i), N, C \rangle,$$

где T — множество терминальных символов, соответствующих параметрам и операторам двудольного графа; N — множество нетерминальных символов — путей вывода, порождаемых при планировании на графе; $\prod_{i=1}^n (\varphi_i)$ — алгоритм планирования на графе; C — управление при выводе (стратегия поиска).

Объединяя эти два языка, можно получить новый, позволяющий задавать автоматическую связь системы с внешним миром, который для системы представляется пользователями или объектом и средой управления. Такой язык называют языком манипулирования знаниями (ЯМЗ), так как он помогает автоматически реагировать на любые распознаваемые входные события путем автоматического поиска и выработки решений [15, 18, 19, 27]. Структура элементов языка приведена на рис. 5.3. Директивы позволяют организовать человеко-машинное взаимодействие пользователей с системой, а операторы — условия такого взаимодействия.

Примерами этого взаимодействия будут:

НАЙТИ ЛЭП РАЙОНЭНЕРГО, НАХОДЯЩИЕСЯ В РЕМОНТЕ

Здесь НАЙТИ — директива, по которой ставится задача нахождения теоретико-множественной модели ЛЭП. Среди параметров ЛЭП есть ее принадлежность к РАЙОНЭНЕРГО и условие поиска РЕМОНТ;

ВЫЧИСЛИТЬ СУММАРНУЮ АКТИВНУЮ МОЩНОСТЬ РАЙОНЭНЕРГО

В этом случае по директиве ВЫЧИСЛИТЬ ставится задача нахождения вычислительной модели расчета суммарной активной мощности. Единственным условием поиска для планировщика будет знание РАЙОНЭНЕРГО.
На каждый запрос система выдает ответ:

В РАЙОНЭНЕРГО В РЕМОНТЕ ЛЭП КИР-БОР
ДОР-МЕР
и СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ РАЙОНЭНЕРГО = 1000 МВт.

Операторы, задающие условия, позволяют организовать автоматическую связь с объектом управления через средства телесбора информации, фактически задающие события в системе. Безусловные операторы работают по директивам оператора. Взаимосвязь ЯМЗ со средствами автоматизации планирования на семиотической модели показана на рис. 3.5.

В системе СПРИНТ рассматриваются три категории пользователей. Эксперты, используя аппарат ЯМЗ, определяют проблемные ситуации, типы задач, разрешимых на модели для препроцессора, реализующего

функцию распознавания, и строят управление для процессоров планирования на моделях для семиотического процессора планировщика-интерпретатора.

Препроцессор распознавания проблемных ситуаций выполняет функцию выявления всех событий, определенных в системе, и в зависимости от их принадлежности определяет задачу, которую необходимо решить. Если эта задача пришла от ЛПР или объекта и среды управления, то в работу включается семиотический процессор планировщик-интерпретатор. Последний в соответствии с алгоритмом планирования-интерпретации ищет решения, обосновывает их и выдает ответ ЛПР или команду управления. Если эта задача пришла от эксперта, то в работу включается процессор ЯМЗ, реализующий алгоритмы статического планирования и планирование процедуры управления.

В процессе своей работы процессоры пользуются информацией, заложенной в базе знаний и определенной ее логической моделью.

Часть третья

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Глава шестая

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

Рассматриваемый класс систем предназначен для помощи диспетчеру энергосистемы в оперативном решении задач, связанных с управлением текущим режимом. Как отмечалось в гл. 1, энергосистема может находиться в одном из следующих режимов: нормальном, утяжеленном, аварийном, послеаварийном.

В нормальном режиме система СПРИНТ сообщает диспетчеру об отклонении условий работы энергосистемы от плановых и требует от него коррекции режима, фиксирует все оперативные переключения, изменения параметров настройки системной автоматики, вывод оборудования в ремонт и резерв, собирает, обрабатывает и хранит оперативную информацию о работе энергосистемы.

В утяжеленном режиме, когда существенно повышается опасность аварийных нарушений схемы «сети и режима, основная задача системы, используя принцип «шести слуг», определить автоматически Что?, Где?, Когда?, Почему? случилось и Что делать диспетчеру и Как будут эффективны эти действия. Вся информация сообщается диспетчеру на средства отображения. Диспетчер в диалоге с системой может уточнить любые, интересующие его подробности, в том числе и логику машинных рассуждений.

Аварийный режим ликвидируется действиями системной автоматики. Лишь в проблемных ситуациях, связанных с неотключенным коротким замыканием, длительным асинхронным режимом, резким отклонением от нормального значения частоты или напряжения, не устраненных действиями автоматических защит, система выдает диспетчеру информацию о причинах и действиях по их устранению.

Роль системы в послеаварийном режиме сводится к выработке решений по устранению опасных отклонений параметров режима, создающих угрозу дальнейших аварийных нарушений; восстановлению энергопитания потребителей, снабжение которых было нарушено в результате аварии; приведению к норме параметров режима по частоте и напряжению; восстановлению нормальной схемы сети; вводу в работу отключившихся неповрежденных элементов; выводу поврежденных ЛЭП и оборудования в ремонт.

Вычислительные модели, обеспечивающие в системе решение задач оперативного управления, разделим на три группы: подготовки информационного базиса для принятия решений, определения допустимой области принятия управляющих решений, оптимизации управляющих решений.

Специфические требования к данному классу моделей заключаются в том, что они должны быть полны и непротиворечивы. Это обусловлено тем, что диспетчер, получая результаты работы, должен быть уверен в достоверности оценки поведения энергосистемы при появлении ожидаемых событий, отклонений от условий работы, учтенных планом, и намечаемых действий.

Опыт и знания диспетчера по принятию управляющих решений в тех или иных проблемных ситуациях, а также информация из диспетчерских инструкций отражены в системе в виде множества экспертных моделей. Последние позволяют

системе определить, какие решения необходимо рекомендовать диспетчеру в тех или иных ситуациях, диктуемых изменениями режима; оценивать эффективность, пользуясь вычислительными моделями; находить ответы на поставленные диспетчером вопросы.

В результате работы СПРИНТ диспетчер должен получить информацию о последствиях имеющихся или ожидаемых изменений схемы и отклонений параметров режима за допустимые пределы, о необходимых управляющих решениях и результатах их реализации, а также указания о мерах улучшения степени оптимальности режима.

Вместе с тем система СПРИНТ обеспечивает, в зависимости от обстановки в энергосистеме, различное время реакций на каждую из возникающих проблемных ситуаций. Если ситуация не критична во времени, то для поиска решений применяются все сложные вычислительные модели. В противном случае, используются экспертные модели, позволяющие осуществить поиск качественных решений. Не исключен вариант смешанного поиска качественно-количественных решений, который основан на совместном использовании вычислительных и экспертных моделей. В последнем случае время реакции системы будет средним относительно вышеперассмотренных случаев.

6.1. Проектирование вычислительных моделей для постановки задач оперативного управления

Комплекс вычислительных моделей, которые должны описывать предметную область управления энергосистемами, будем рассматривать в виде иерархии подмножеств моделей. Такая иерархия позволяет различать модели долго- и краткосрочного планирования и оперативного управления. Каждое из подмножеств должно содержать модели, на которых можно ставить задачи, позволяющие: определить информационный базис для принятия решений, найти допустимую область принятия управляющих решений, произвести оптимизацию этих управляющих решений.

В настоящее время для определения допустимой и оптимальной областей управления режимами работы энергосистем используют множество моделей. Модельный базис системы СПРИНТ приведен ниже:

Долгосрочное и краткосрочное планирование

- Прогноз электрических нагрузок
- Прогноз располагаемой и рабочей мощности
- Прогноз показателей надежности оборудования
- Расчет установившегося и оптимального установившегося режима
- Анализ статической устойчивости
- Электротехнические расчеты
- Расчеты уставок автоматики и релейной защиты
- Комплексная оценка схем электрической сети
- Модели оптимизационных задач при долгосрочном планировании

- Краткосрочный прогноз нагрузок энергосистем и энергоузлов
- Распределение оперативных резервов мощности
- Расчет оптимального суточного режима энергосистемы по активной мощности
- Обработка оперативных заявок на ремонт оборудования
- Оперативное управление
 - Сбор и первичная обработка информации
 - Формирование модели режима работы сети
 - Оперативный прогноз нагрузок
 - Контроль исправности устройств телемеханики
 - Оперативный расчет установившегося режима
 - Оперативный расчет устойчивости
 - Анализ состояния автоматики и релейной защиты
 - Контроль допустимости режима сети
 - Анализ развития аварии
 - Оперативная корректировка мгновенного и суточного режимов
 - Выдача советов оператору в проблемных ситуациях
 - Оперативный диалог человека с системой

Как следует из гл. 4, для того чтобы эти модели могли быть включены в СПРИНТ, они должны быть описаны языком определения знаний и представлены в базе знаний (БЗ).

Схема проектирования таких моделей существенно не отличается от существующей в практике энергосистем. Модель, как и прежде, вначале описывается постановщиком задач в виде систем дифференциальных, алгебраических или других уравнений. Для получения результата решения задач на модели выбирают метод ее решения. СПРИНТ воспринимает систему уравнений как информационную составляющую модели, а метод решения как управляющую составляющую. Это позволяет представить такую модель сетью Петри с управлением.

Рассматривая каждый уровень иерархии моделей — от долгосрочного планирования до оперативного управления, можно увидеть, что все эти модели имеют область пересечения в информационной и преобразующей своих составляющих (данный комплекс моделей является некоторым коллективом, объединенным едиными целями, задачами и информационными связями). Это свойство коллективности вычислительных моделей, отмеченное в [1, 4, 9, 11, 44, 57], позволяет объединить их в единой модели планирования и управления, на которой можно ставить задачи.

Процедура проектирования такой модели, как отмечалось в гл. 3, реализуется средствами подсистемы ДИСА. Языковые средства этой подсистемы приведены на рис. 3.5, формальная сторона описана в гл. 3.4. Мы же рассмотрим содержательную сторону проектирования. Первый шаг — определение проблемных ситуаций, на которые должна реагировать система (см. табл.). Далее необходимо указать, к какому из классов проблемных ситуаций относится вновь вводимая ситуация. Для

каждого класса проблемных ситуаций в системе должна существовать модель решения задач.

Проблемные ситуации	Классы проблемных ситуаций	Цели и критерии поиска и принятия решений
Внезапное понижение частоты на 0,1–0,2 Гц и более	Стабилизация частоты	Стабилизировать частоту за минимальное время при минимальных регулирующих мероприятиях
Дальнейшее понижение частоты ниже 49,5 Гц	То же	То же
Резкое понижение частоты; несмотря на работу АЧР, частота остается на уровне ниже 49 Гц в течение 3–5 мин	Аварийная стабилизация частоты	Стабилизировать частоту за минимальное время за счет отключения потребителей
Понижение напряжения в контрольных точках объединенной энергосистемы ниже допустимых нормальных уровней	Стабилизация напряжения	Стабилизировать напряжение за минимальное время при минимальных регулирующих мероприятиях
Опасная перегрузка меж- и внутрисистемных связей	Стабилизация перетоков по ЛЭП	Устранить перегрузку связей за минимальное время при минимальных регулирующих мероприятиях
Нарушение режима из-за неотключавшегося короткого замыкания	Стабилизация режима при КЗ	Стабилизировать режим за минимальное время путем анализа действия защит
Асинхронный режим в энергосистеме	Стабилизация режима при асинхронном ходе	Стабилизировать режим за минимальное время при минимальных регулирующих мероприятиях
Аварийное разделение энергосистемы на несинхронно работающие части	Аварийная сборка энергосистемы	Восстановить работоспособность энергосистемы за минимальное время

Введя в систему определения целей и критериев эффективности достижения целей, можно ставить задачи на модели базы знаний. Если на существующей модели БЗ нет возможностей спланировать решающую последовательность операторов, т. е. нет решения задачи, то пользователь должен описать и ввести эту модель в базу знаний. Например, если мы хотим оперативно определить устойчивость энергосистемы, а в базе знаний нет модели оперативного определения устойчивости, то решение задачи невозможно и ДИСА сообщит эксперту причину неудачи и потребует доопределения БЗ.

Имея полный модельный базис поиска решений и модели определения возможных исходов реализации решений, для каждого из найденных ре-

шений можно вычислить, какие из этих решений удовлетворяют критериям эффективности. Рассматриваемый класс моделей принадлежит к имитационным моделям энергосистемы или каким-либо ее составляющим. Однако найденные эффективные решения могут приводить к тому, что энергосистема выйдет при их реализации за область допустимых решений. Это возможно потому, что при определении возможных исходов не всегда удается учесть планируемую фазовую траекторию системы и ее оптимальные режимы. Такую траекторию рассчитывают моделями нахождения допустимой и оптимальной областей принятия управляющих решений для каждого из временных интервалов управления. Поиск этих моделей и работа с ними в информационном режиме системы позволяет рассчитать как фазовую траекторию энергосистемы, так и область допустимых и оптимальных решений. Использование такой информации позволяет сузить множество управляющих решений.

В энергосистеме одновременно возможно наличие нескольких ситуаций, списки управляющих решений для которых могут носить противоречивый характер при реализации этих решений. Для исключения такого положения эксперты должны построить в системе множество моделей синтеза решений, которые бы помогли выявить и устранить возможные противоречия.

Таким образом, определив все множество моделей, можно в СПРИНТ организовать человеко-машинное управление энергосистемой. Теперь СПРИНТ может оценивать состояния энергосистемы и автоматически выработать множество управляющих решений, ранжированных по критериям эффективности и оптимальности. Диспетчеру только остается выбрать приемлемое решение путем его явного указания системе. Если диспетчер хочет принять решение, отличное от рекомендуемого системой, то обязан сообщить ей об этом. СПРИНТ, используя модели определения возможных исходов и синтеза решений, проверяет, нарушаются ли системные ограничения. Реализация решений – нарушителей ограничений – блокируется, остальные реализуются.

Для оценки результатов реализации принятых решений и с целью перевода пары (ситуация → решение) из сферы поиска в сферу реакции необходимо определить модели оценки результатов реализации решений. Эти модели могут быть обучаемыми или самообучающимися и основываться на методах статистики, эвристики и т. п.

6.2. Проектирование экспертных моделей для постановки задач принятия решений

Экспертные модели в системе СПРИНТ являются аналогами мысленной модели деятельности диспетчеров в том или ином классе проблемных ситуаций. Проектирование этих моделей осуществляется в три этапа.

На первом этапе производится экспертное определение и описание классов ситуаций, требующих принятия решений. В каждом из таких

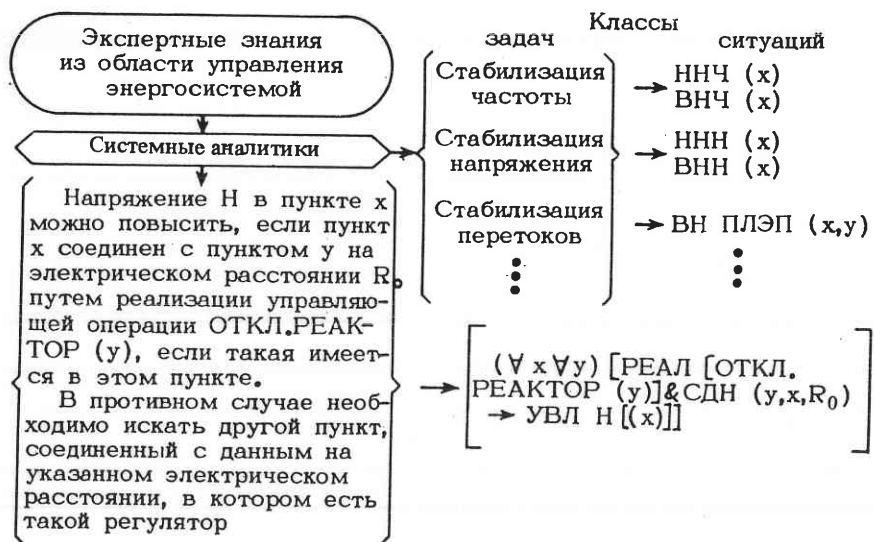


Рис. 6.1.

классов строится логика поиска решений диспетчера в виде последовательности шагов и присущих этим шагам рассуждений. Последние позволяют выявить набор основных и производных понятий, которыми пользуется диспетчер при поиске решений, т. е. строится словарь. Множество рассуждений, на основе которых можно найти управляющие решения для класса ситуаций, образуют экспертную модель принятия решений. Полнота и непротиворечивость этой модели зависит от того, сколько диспетчеров участвовало в формировании этой модели и каков стаж их работы на данном объекте управления. Как показывает опыт, количество опрашиваемых диспетчеров может доходить до нескольких десятков [8, 26]. Необходимое условие такой работы с диспетчерами – запись их рассуждений на естественном языке, что позволяет организовать совместную работу над моделью и глубже понять логику рассуждений. Кроме сведений, полученных от диспетчеров, в модель включаются все инструктивные материалы, имеющие юридическую силу в рассматриваемой энергосистеме, и законы, присущие энергосистеме, которые можно описать словесно. Полученное множество утверждений – модель принятия решений – проверяется на непротиворечивость и полноту путем организации совместно с диспетчерами игры по поиску и принятию решений на этой модели.

На втором этапе производится перевод множества утверждений модели с естественного языка на язык логики предикатов первого порядка. Пример такого перевода показан на рис. 6.1.

На третьем этапе множество утверждений, описанных языком логики предикатов первого порядка, пользователь вводит в систему, используя средства лингвистического обеспечения СПРИНТ – языки определения и манипулирования знаниями.

Схема выполнения работ по созданию, формализации и описанию экспертных моделей в системе приведена на рис. 4.5.

6.3. Проектирование диалоговых моделей для задач человеко-машинного общения

Данный класс моделей предназначен для обеспечения информационного комфорта человека при общении с системой в режиме управления и принятия решений. При этом в СПРИНТ заложены следующие структуры организаций сценариев диалога:

Вопрос–ответ. Такая форма сценария диалога применяется в системе в тех случаях, когда можно однозначно описать действия системы в многовариантных ситуациях. Именно эти описания система ждет в ответе человека. Примером такого диалога является выбор режима работы системы в описании диалога, приведенного ниже:

- ОТВ:** С вами работает СПРИНТ
Система СПРИНТ является помощником диспетчера при управлении энергосистемой. При этом СПРИНТ работает в следующих режимах:
автоматического анализа ситуации, сложившейся в энергосистеме, по данным, поступающим от системы телесбора информации;
тренажера, когда диспетчер может самостоятельно формулировать ситуации и получать рекомендации по их устранению;
обучения, когда СПРИНТ является обучаемой системой. Поэтому, если Вас огорчат выданные управляющие рекомендации, то, пожалуйста, возьмите на себя функции учителя СПРИНТ области энергетики и вы получите надежного помощника
- ВОПРО:** Укажите режим работы? А – анализ, Т – тренажер, О – обучение =Т
(мы указали системе режим – Т)
- ОТВ:** Система СПРИНТ к Вашим услугам
- ВОПРО:** Хотите ли Вы сформулировать проблемные ситуации? (Да/Нет) = Да
- ОТВ:** СПРИНТ распознает следующие ситуации:
ННН – ниже нормы напряжение в точках энергосистемы;
ВНН – выше нормы напряжение в точках энергосистемы;
ВНПЛЭП – выше нормы переток по ЛЭП;
ВНЧ – выше нормы частота
Вид ситуации: Код ситуации – имя объекта. Например, ВНН – Бугульма
- ВОПРО:** Задайте проблемную ситуацию:
ВНН – Южная
** / признак окончания задания списка возможных ситуаций / после ввода знака ** на экране дисплея загорается надпись /
- ОТВ:** На энергосистеме возникла следующая ситуация:
ВНН – ЮЖНАЯ
/ через 20 – 25 с на экране загорается надпись: / Диспетчер, вы можете принять следующие решения: ВКЛ. РЕАКТОР (Калино) – Ситуация (ВНН–ЮЖНАЯ)
- ВОПРО:** Удовлетворяют ли ВАС выданные рекомендации? (Да/Нет) = Нет

ВОПР: Листать (В – Вперед / Н – Назад)? = В

ОТВ: Диспетчер, Вы можете принять следующие решения: РАЗГРУЗИТЬ ГЕНЕРАТОР (Шагол) – Ситуация (ВНН – ЮЖНАЯ)

ВОПР: Удовлетворяют ли Вас выданные рекомендации? (Да/Нет) = Да

ВОПР: Хотите ли Вы еще работать с системой? (Да/Нет) = Нет

ОТВ: Сеанс окончен, СПРИНТ благодарит Вас за работу

Меню. Данная структура диалога предлагает человеку перечень альтернативных действий, которые могут быть в данный момент выполнены, а он имеет право выбрать любое из них. Такое взаимодействие может использоваться в качестве подструктуры структуре "вопрос—ответ": система задает вопрос, ответ на который определяет для нее альтернативный путь дальнейшей работы. Пример такого диалога приведен выше начиная от вопроса: "Система СПРИНТ к Вашим услугам" до "Задайте проблемную ситуацию".

Свободный диалог. В данной структуре диалога инициатива по организации общения принадлежит человеку. При этом СПРИНТ периодически приходит в состояние готовности к приему приказов пользователя и, получив ответ в виде того или иного приказа, осуществляет его выполнение. Примерами таких приказов являются задания на определение допустимой области управления, корректировки мгновенного и суточного режимов и т. д.

Глава седьмая

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

Современные сложные технологические объекты электроэнергетики предъявляют высокие требования к надежности и качеству управления режимами работы энергосистем. А это зависит, по крайней мере, от трех взаимосвязанных составляющих: человека-оператора (диспетчера энергосистемы), объекта и системы управления. При этом каждая составляющая способна выполнять вполне определенные функции. Успешная работа такой человеко-машинной системы в значительной мере зависит от того, как в ее структуре разделяются функции между человеком и системой управления и насколько полно технологический объект и способы его управления отражены в модели знаний системы управления.

Разделение функций в системе СПРИНТ сводится к выбору такого уровня автоматизации, при котором система управления работает одновременно в нескольких контурах управления, а человек осуществляет централизованный контроль и принимает необходимые решения. При этом в контуре автоматического регулирования система оценивает ситуацию, находит (вычисляет) и реализует управляющие команды. В контуре

оперативного принятия решений система автоматически оценивает ситуацию, находит необходимые управляющие команды и предоставляет человеку право их оценки, выбора и принятия решений.

Полнота отражения технологического объекта и способов его управления в МЗ системы сводится к разработке такого описания информации, по которому можно было бы решать задачи, возникающие в процессе управления.

Решение задач в системе связано с организацией автоматического распознавания ситуаций и планирования вычислений для каждой из них с целью нахождения команд управления, реализация которых может привести энергосистему к нормальному режиму функционирования.

7.1. Реализация аппаратного комплекса СПРИНТ

Аппаратная составляющая системы базируется на комплексе технических средств, имеющихся в службах АСДУ энергосистем. Данные технические средства базируются на телемеханических системах (ТМ512 или УВТК-501), оперативно-измерительном (ЭВМ серии ЕС1010) и оперативно-вычислительном (ЭВМ серии ЕС1040) комплексах [1]. Такая структура аппаратных средств позволяет распределить функции сбора информации о состоянии энергосистемы, ее первичной обработки и архивации, распознавания проблемных ситуаций, поиска и принятия управляющих решений по трем уровням. При этом функция распознавания, поиска и принятия решений реализуется на оперативно-вычислительном комплексе, функция сбора информации, ее первичной обработки и архивации — на оперативно-измерительном комплексе, функция телеизмерений и телесигнализации — в телемеханической системе. Такое распределение оправдано тем, что оперативно-измерительный комплекс помимо возложенных на него функций решает еще задачу обеспечения достоверности измерительной информации, полученной им от средств телемеханики.

Организация взаимодействия всех составляющих комплекса технических средств производится в следующем порядке. Телемеханическая система работает циклически, опрашивая датчики и передавая их показания в оперативно-измерительный комплекс. Полученный вектор телеизмерений и телесигналов обрабатывается в оперативно-измерительном комплексе за время следующего цикла телеизмерений и передается в оперативно-вычислительный комплекс. Полученная оперативно-вычислительным комплексом информация о процессах выработки и распределения электроэнергии на сети (телеизмерения) и положении органов коммутации элементов сети (телесигналы) записывается в базу информации системы СПРИНТ, размещенную в этом же комплексе.

7.2. Реализация программного комплекса СПРИНТ

Программная составляющая системы базируется на средствах общего и специального математического обеспечения ЕС ЭВМ (операционная среда ОС ЕС). Последнее оформлено в виде набора совместимых пакетов прикладных программ (ППП), представленного в МЗ системы (рис. 7.1). Такой подход позволяет включать в состав системы то множество программ, имеющих в каждой АСДУ, с целью их использования в системе. Лингвистические и программные средства для работы с элементами ППП описаны в гл. 3.

Организация работы системы СПРИНТ в режиме оперативного управления. В этом режиме с системой работают следующие категории пользователей (экспертов) — сотрудники службы режимов и оперативно-диспетчерский персонал. Первые ведут подготовку режима путем организации расчетов с использованием соответствующих ППП из модели знаний СПРИНТ. Результатами таких расчетов являются плановые и оптимальные режимы на планируемый период времени (в нашем случае на сутки), т. е. в соответствии с определением режима (см. гл. 1), имеем множество показателей, характеризующих допустимые режимы работы энергосистемы. Множество полученных показателей система запоминает в своей БД в области МД планового режима работы энергосистемы. На этом функция сотрудников службы режимов на данные сутки заканчивается. Далее система, используя свою связь со средствами телеизмерений и первичной обработки информации, формирует текущую МД режима работы сети, т. е. определяет циклически топологию энергосистемы и параметры текущего режима. Имея параметры планового и текущего режимов система автоматически следит за тем, чтобы эти параметры не выходили как за оптимальные, так и за допустимые значения. Для этого системе явно указывается, какой параметр с каким связан и каким отношением. Отношение определяет ситуацию, например ситуация НИЖЕ НОРМЫ (параметр). Множество ситуаций, задаваемых однотипными отношениями, определяют класс проблемных ситуаций. Примеры классов проблемных ситуаций приведены в табл. 6.1.

В результате автоматического ситуационного анализа и классификации ситуаций система может сообщить второй категории пользователей — лицам оперативно-диспетчерского персонала: **Что, Где, Когда случилось?** Далее система определяет цели управления, которые необходимо преследовать при попадании в некоторый класс проблемных ситуаций. Эти цели также указаны в базе знаний системы. Например, если ситуация — **НИЖЕ НОРМЫ НАПРЯЖЕНИЕ В БУГУЛЬМЕ**, то целью системы будет поиск такого регулирующего воздействия, которое приведет в *норму напряжение в Бугульме*.

Для организации такого поиска система обращается в базу знаний и ищет модель стабилизации напряжения в узловых точках энергосистемы. Если такая модель существует, то система организует поиск на этой модели. Описание алгоритма поиска приведено в гл. 4 и 5, элементарной 100



Рис. 7.1.

экспертной модели стабилизации напряжения в узловых точках энергосистемы — в гл. 4. В информационном плане поиск основывается на данных текущей МД режима работы сети. В результате такого поиска система находит множество регуляторов, воздействие которых может вернуть отклонившийся параметр в норму. Однако существует опасность, что воздействие регулятора хотя и может вернуть значение данного параметра в норму, но вместе с тем выведет значения других параметров за контролируемые границы. Для этого система автоматически включает программы расчета устойчивости энергосистемы и выявляет регуляторы, воздействия которых нежелательны (процедура определения возможных исходов, см. гл. 2).

Сократив список регулирующих воздействий, система ранжирует оставшиеся по признаку близости параметров к оптимальному или планируемому режиму. Всю вышеописанную работу система проводит для каждой из проблемных ситуаций, затем синтезирует управляющие рекомендации лицам оперативного персонала; т. е. находит ответы на вопросы: **Что делать?** и **Как эффективны эти действия?**

Рассмотрим в качестве примера решение проблемы регулирования перетока по ЛЭП. Будем считать, что значение перетока по линии снизу не ограничено, а верхняя граница устанавливается в обе стороны. Обозначим P (ЛЭП (x, y)) — переток по линии, соединяющей x и y , направленный от x к y . Ситуации, связанные с отклонением перетока от планируемого, система относит к классу стабилизации перетока по ЛЭП и обозначается $ВН P$ (ЛЭП (x, y)) — выше нормы переток по ЛЭП (x, y) . При этом у системы имеется четыре стратегии ликвидации отклонения.

Первая стратегия применима для ситуации, когда отклонение перетока связано с отключением параллельной ЛЭП и перегрузкой оставшейся. Выработка

решения при этом ведется по правилу:

$$(\forall x \forall y \forall m \forall n) (\text{ВНР (ЛЭП}(m, x, y)) \wedge \overline{\text{ВКЛ ЛЭП}}(n, x, y)) \rightarrow \\ \rightarrow \text{РЕШ (ВКЛ ЛЭП}(n, x, y)),$$

где m, n – номера параллельных ЛЭП.

Решение о включении ЛЭП (n_i, x_j, y_k) порождается системой, если нет ограничений на включение вида

$$\text{РЕШ (ВКЛ ЛЭП}(n_i, x_j, y_k)).$$

Такое ограничение ситуативно существует в базе знаний для описания случаев повреждения линии или вывода ее в ремонт.

Вторая стратегия ищет решение в виде увеличения генерируемой активной мощности на приемной стороне или уменьшения на передающей. Кроме того, переход к этой стратегии осуществляется для тех случаев, когда решение, сформулированное для первой стратегии, противоречит ограничениям.

В базе знаний поиск решения описывается:

$$(\forall x \forall y \forall z) (\text{РЕШ}(z) \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(x, y))).$$

В варианте для параллельных ЛЭП:

$$(\forall x \forall y \forall m \quad z) (\text{РЕШ}(z) \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(m, x, y))).$$

Для каждой конкретной ЛЭП (x_i, y_j) :

$$(\exists z) \text{РЕШ}(z) \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(x_i, y_j));$$

$$(\exists z) \text{РЕШ}(z) \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(m_k, x_i, y_j)).$$

Причинно-следственные связи в экспертной модели стабилизации потоков по ЛЭП имеют вид:

$$(\forall x \forall y \forall z) \text{ПРИЕМ} [z, P(\text{ЛЭП}(x, y))] \wedge \text{РЕАЛ ПОДНЯТЬ НАГРУЗКУ}(z) \rightarrow \\ \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(x, y));$$

$$(\forall z \forall x \forall y \forall m) \text{ПРИЕМ} [z, P(\text{ЛЭП}(m, x, y))] \wedge \text{РЕАЛ ПОДНЯТЬ НАГРУЗКУ}(z) \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(m, x, y));$$

$$(\forall x \forall y \forall z) \text{ПЕРЕД} [z, P(\text{ЛЭП}(x, y))] \wedge \text{РЕАЛ СНЯТЬ НАГРУЗКУ}(z) \rightarrow \\ \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(x, y));$$

$$(\forall x \forall y \forall z \forall m) \text{ПЕРЕД} [z, P(\text{ЛЭП}(m, x, y))] \wedge \text{РЕАЛ СНЯТЬ НАГРУЗКУ}(z) \rightarrow \\ \rightarrow \text{УМНР (ЛЭП}(m, x, y)).$$

Здесь ПРИЕМ $[z, P(\text{ЛЭП}(x, y))]$ – утверждение, что z находится на приемной стороне по отношению к потоку $P(\text{ЛЭП}(x, y))$, а ПЕРЕД $[z, P(\text{ЛЭП}(x, y))]$ – утверждение о том, что z находится на передающей стороне. Ситуативное топологическое отношение на электрической сети ПРИЕМ описано в экспертной модели выражением

$$(\forall x \forall y \forall z \forall v \forall w) \text{СДН}(y, z, v) \vee [\overline{\text{СДН}}(x, z, w) \vee \\ \vee \text{СДН}(x, z, w) \wedge \text{Б}(w, v)] \rightarrow \text{ПРИЕМ} [z, P(\text{ЛЭП}(x, y))].$$

Это утверждение о том, что объект z находится на приемной стороне по отношению к потоку, направленному от объекта x к объекту u , если z соединен с u и выполняется одно из двух условий: либо z совсем не соединен с x (в пределах радиуса поиска на сети), либо соединен, но "электрически ближе" к u , чем к x .

В варианте для параллельных ЛЭП выражение имеет вид

$$(\forall x \forall y \forall z \forall v \forall w) \text{СДН}(y, z, v) \wedge [\overline{\text{СДН}}(x, z, w) \vee \\ \vee \text{СДН}(x, z, w) \wedge \text{Б}(w, v)] \rightarrow \text{ПРИЕМ} [z, P(\text{ЛЭП}(m, x, y))].$$

Для нахождения z , удовлетворяющих ПРИЕМ $[z, P(\text{ЛЭП}(x_j, y_j))]$, включается в работу вычислительная модель ОБЗОР. Последняя рассматривает схему электрических сетей энергосистемы как граф, вершинами которого являются станции и подстанции, а ребрами – линии электропередач. Модель ОБЗОР сочетает в себе теорию графов с формальной логикой и лингвистическим механизмом понятий и отношений. Переменные модели – x, y, \dots принимают значения из множества имен станций и подстанций, например: Кармановская ГРЭС, Бекетово и т. д., ЛЭП (x, y) – ЛЭП (Бекетово, Бугульма). Состояние схемы сети описывается списком включенных ЛЭП. Это равносильно заданию графа путем перечисления всех его ребер. Для автоматизации процесса поиска решения на модели строится вычислительный алгоритм "восприятия" сети, заданной в таком виде. Кроме того, строится алгоритм "прослеживания сети", позволяющий решать следующую задачу. Пусть задан некоторый объект сети и требуется найти все объекты, которые с ним соединены в пределах радиуса R_0 , и указать для них кратчайшее расстояние до исходного объекта. Если, например, в некоторой точке сети наблюдается отклонение параметра, то СПРИНТ прежде всего проверит, есть ли в этой точке средства для ликвидации отклонения. Если нет, то СПРИНТ будет искать такие средства вблизи исходной точки, затем увеличит радиус поиска и т. д. Расстояние между объектами на сети определяется сопротивлением ЛЭП, соединяющих эти объекты. Если два смежных объекта соединены двумя или более параллельными линиями, то расстояние между ними находят как эквивалентное сопротивление параллельного соединения. Однако в более сложных случаях, когда имеется несколько путей, ведущих из исходной точки в данную вершину, расстояние определяют по кратчайшему пути. Алгоритм решения этой задачи состоит в следующем. Рассматривая сеть как граф, система организует многошаговый циклический процесс, при котором осуществляется поиск всех вершин, сначала – находящихся на расстоянии одного ребра от исходной, затем – на расстоянии двух ребер и т. д. Расстояние каждой вершины от исходной – это сумма сопротивлений ребер, составляющих пройденный путь. Если в процессе поиска выявляется новый путь, ведущий в обнаруженную ранее вершину, то для этой вершины фиксируется расстояние по более короткому пути. Поиск продолжается до тех пор, пока область поиска не выйдет за пределы радиуса R_0 . Если объект с нужными свойствами при этом не обнаружен, то можно увеличить радиус поиска.

В рассматриваемом случае процедура ОБЗОР включается дважды: ОБЗОР (x_i, R_0) и ОБЗОР (y_j, R_0) . Предварительно из набора включенных линий удаляется ЛЭП (x_i, y_j) , далее будут получены два списка раскрытых вершин. Первый начинается с $(x_i, 0)$, второй – с $(y_j, 0)$. Отношение ПРИЕМ имеет место для любой вершины, которая содержится во втором наборе и не содержится в первом; содержится в обоих списках, но ее расстояние до вершины в первом списке больше, чем во втором.

Аналогичным образом определяется отношение ПЕРЕД:

$$(\forall x \forall y \forall z \forall v \forall w) (\text{СДН}(x, z, v) \wedge [\overline{\text{СДН}}(y, z, w) \vee \\ \vee \text{СДН}(y, z, w) \wedge \text{Б}(w, v)] \rightarrow \text{ПЕРЕД} [z, P(\text{ЛЭП}(x, y))].$$

т. е. объект z находится на передающей стороне по отношению к потоку, направленному от объекта x к объекту u , если z соединен с x , и, либо z не соединен с u , либо соединен, но электрически ближе к x , чем к u .

Правило определения резерва операции СНЯТЬ НАГРУЗКУ имеет вид
 $(\forall x \forall y \forall z) (\text{РГЕНЕР}(z, x) \wedge \text{МИН. РГЕНЕР}(z, y) \wedge \text{Б}(x, y) \rightarrow$
 $\rightarrow \text{РЕЗ}(\text{СНЯТЬ НАГРУЗКУ}(z))),$

т. е. резерв для снижения нагрузки имеется, если генерируемая мощность на объекте z больше минимальной. Правило определения для операции ПОДНЯТЬ НАГРУЗКУ будет

$(\forall x \forall y \forall z) (\text{РГЕНЕР}(x, y) \wedge \text{МАКС. РГЕНЕР}(x, z) \wedge \text{Б}(z, y) \rightarrow$
 $\rightarrow \text{РЕЗ}(\text{ПОДНЯТЬ НАГРУЗКУ}(x))).$

Третья стратегия применяется системой, если не сработали две первых. Она инициирует поиск решения в виде увеличения напряжения на обоих концах линии. Такое решение не уменьшает перетоки по линии, но "отодвигает" верхнюю границу для доступных значений перетоков.

Поиск решения организуется так:

$(\forall x \exists z) (\text{РЕШ}(z) \rightarrow \text{УВЛ}(\text{Н}(x)))$

$(\forall y \exists u) (\text{РЕШ}(u) \rightarrow \text{УВЛ}(\text{Н}(y)))$

Эта стратегия применима, если нет ограничения $\overline{\text{УВЛ}}(\text{Н}(x_i))$ и (или) $\overline{\text{УВЛ}}(\text{Н}(y_j))$. Существенным является то, что решение должно быть найдено как для x_i , так и для y_j . Реализация этого решения на объекте заключается во временном передвижении границ контроля для перетоков в сторону увеличения.

Четвертая стратегия используется системой, если не сработали все предыдущие. Стратегия позволяет искать решение в виде ограничения потребителей.

Поиск ограничения потребителей основан на:

$(\forall x \forall y \exists z) \text{РЕШ}(\text{ОГРАНИЧИТЬ}(z)) \rightarrow \text{УМН}(P(\text{ЛЭП}(x, y)))$

$(\forall x \forall y \forall m \exists z) \text{РЕШ}(\text{ОГРАНИЧИТЬ}(z)) \rightarrow \text{УМН}(P(\text{ЛЭП}(m, x, y)))$

При этом используются следующие причинно-следственные связи:

$(\forall x \forall y \forall z) \text{ПРИЕМ}(z, P(\text{ЛЭП}(x, y))) \wedge \text{РЕАЛ}(\text{ОГРАНИЧИТЬ}(z)) \rightarrow$

$\rightarrow \text{УМН}(P(\text{ЛЭП}(x, y)))$

$(\forall x \forall y \forall z \forall m) \text{ПРИЕМ}(z, P(\text{ЛЭП}(m, x, y))) \wedge \text{РЕАЛ}(\text{ОГРАНИЧИТЬ}(z)) \rightarrow$

$\rightarrow \text{УМН}(P(\text{ЛЭП}(m, x, y)))$

Правило определения резерва для операции ОГРАНИЧИТЬ задается:

$(\forall x \forall y \forall z) \text{ПОТР}(y, x) \wedge \text{МИН. ПОТР}(y, z) \wedge \text{Б}(x, z) \rightarrow$

$\rightarrow \text{РЕЗ}(\text{ОГРАНИЧИТЬ}(z)).$

Если считать, что информационный базис для принятия решений подготовлен средствами телеизмерений и первичной обработки, а допустимая область плановых и оптимальных решений рассчитана экспертами службы режимов, то система использует их для сравнения с найденными решениями как для выявления прямых и косвенных запретов на реализацию управляющих операций, так и для ранжирования выдаваемых оператору рекомендаций. Учитываются ограничения следующим образом. После того как решение найдено, система проверяет, нет ли на это решение прямого или косвенного запрета.

Прямой запрет на выполнение операции z_i описывается выражением $\text{РЕШ}(z_i)$, включенной в БЗ как динамически меняющееся (ситуативное) ограничение, запрет на включение ЛЭП, находящейся в ремонте. Косвенный запрет обусловлен



Рис. 7.2.

тем, что операция, устраняющая отклонение данного параметра, может вызвать нежелательные изменения других параметров.

Нежелательные изменения носят ситуативный характер и задаются выражениями $\text{УВЛ}(y_j)$, $\text{УМН}(y_j)$ и т. п. Такие выражения автоматически формируются для всех отклонившихся параметров. Но возможны случаи, когда некоторый параметр больше или меньше нормы и нет возможности изменить его значение в нужную сторону. Система для таких параметров изменяет границу контроля и одновременно включает в БЗ ограничения вида $\text{УВЛ}(y_i)$, если параметр завышен, или $\text{УМН}(y_i)$, если параметр занижен. Последнее нужно для того, чтобы защитить параметры от нежелательных воздействий со стороны операций, предназначенных для ликвидации отклонений других параметров. Для обнаружения косвенного запрета система сопоставляет найденные решения с ограничениями через причинно-следственные связи. Дерево вывода приведено на рис. 7.2. Причинно-следственные связи имеют структуру:

$(\forall z \forall u) T(z, u) \wedge \text{РЕАЛ}(\text{ОПЕР}(z)) \rightarrow \text{ВАРИАЦИЯ}(\text{ПАРАМЕТР}(u)),$

где z и u — топологические переменные, обозначающие место на сети (объект, линию, сечение ЛЭП и т. п.); $T(z, u)$ — некоторое топологическое отношение (СДН, ПРИЕМ и т. д.); ОПЕР(z) — управляющая операция; ВАРИАЦИЯ — изменение параметра (увеличение, уменьшение).

Если ОПЕР(z_i) — операция, проверяемая на наличие косвенного запрета, то для выражения $\text{РЕАЛ}(\text{ОПЕР}(z_i))$ доказывается его выводимость из модели стабилизации перетоков по ЛЭП. При этом выводятся одна или более резольвент вида $\overline{T}(z_i, u)$ ВАРИАЦИЯ(ОПЕР(u)), каждая из которых, в свою очередь, сопоставляется с множеством ограничений. Например, если среди ограничений имеется выражение ВАРИАЦИЯ(ОПЕР(u_j)), то будет получена формула-резольвента $\overline{T}(z_i, u_j)$. Установление топологического отношения T между элементами z_i, u_j производится моделью ОБЗОР. Если $T(z_i, u_j)$ истинно, то выводится противоречие, указывающее на несовместимость операции и ограничения, т. е. операция исключается из списка рекомендуемых для ЛПР.

Рассмотрим составляющую функции синтеза — исключение дублирования в сфере действия операций, включаемых в список рекомендуемых решений. СПРИНТ сортирует произвольное число отклонений по типам параметров и упорядочивает их значения. Поиск решения всегда начинается с большего отклонения. Найденное для него решение через причинно-следственные отношения сопоставляется с другими. Пусть $\text{УМН}(y_j)$, $\text{УВЛ}(y_k)$ и т. д. — желательные (целевые) изменения отклонив-

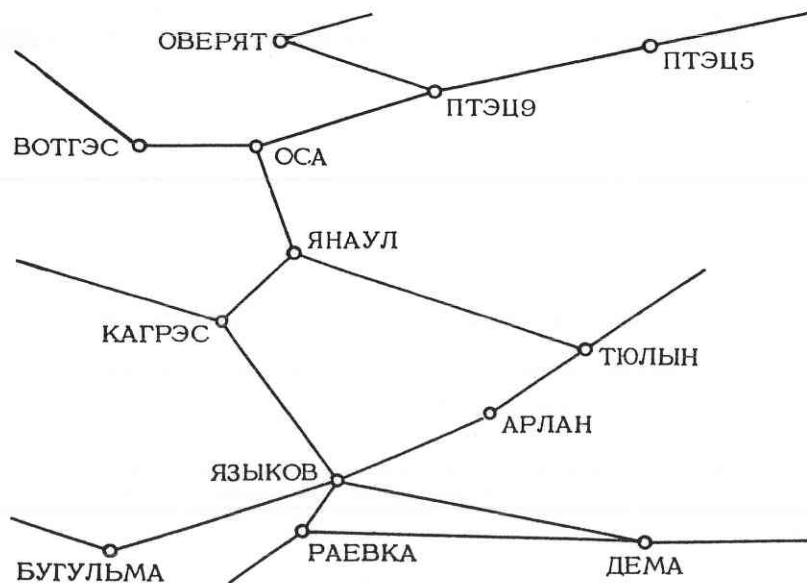


Рис. 7.3.

шихся параметров. Назовем сферой действия операции множества изменений, вызываемых этой операцией: $РЕШ(z_i) \rightarrow УМН(y_j) \wedge УВЛ(y_k)$. Если в сферу действия решения, найденного для первого в списке (наибольшего) отклонения, попадают некоторые из последующих отклонений, то последние исключают из списка, и, соответственно, решения не ищут. Затем переходят к следующему из оставшихся в списке отклонений, и все повторяется. Такое правило синтеза решений обеспечивает некоторый приоритет большим отклонениям. Но наряду с ним действует и второе правило синтеза: если некоторая очередная операция оказывается настолько "радикальной", что полностью перекрывает сферу действия ранее найденной, то последнюю исключают из решения. Например, если $РЕШ(z_m) \rightarrow УМН(y_n) \wedge УМН(y_j) \wedge УВЛ(y_k)$, то операция z_i исключается.

Для определения сферы действия операции ее через причинно-следственные связи сопоставляются со множеством выражений, задающих целевые изменения. Дерево логического вывода при этом такое же, как и при учете ограничений (рис. 7.2), но теперь это уже вывод от противного: каждое желательное изменение ВАРИАЦИЯ (ОПЕР(u_j)) заменяется своим отрицанием ВАРИАЦИЯ (ОПЕР(u_j)). Противоречие здесь означает, что данное целевое изменение находится в сфере действия данной операции.

Рассмотрим участок энергосистемы (рис. 7.3) на которой возникли ситуации: ВН ПЛЭП (ЯЗЫКОВ-АРЛАН) и ВН ПЛЭП (ЯНАУЛ-ОСА). Для этих ситуаций система выдает следующие рекомендации:

НА ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ВОЗНИКЛА СЛЕДУЮЩАЯ СИТУАЦИЯ:

ВН ПЛЭП ЯЗЫКОВ-АРЛАН

ВН ПЛЭП ЯНАУЛ-ОСА

(через 20 – 25 с СПРИНТ выдает сообщение)

ДИСПЕТЧЕР, ВЫ МОЖЕТЕ ПРИНЯТЬ СЛЕДУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ:

СНЯТЬ НАГРУЗКУ (КАГРЭС) – СИТУАЦИЯ (ВН ПЛЭП ЯЗЫКОВ-АРЛАН)

СНЯТЬ НАГРУЗКУ (ПТЭЦ9) – СИТУАЦИЯ (ВН ПЛЭП ЯНАУЛ-ОСА)

СНЯТЬ НАГРУЗКУ (ПТЭЦ5) – СИТУАЦИЯ (ВН ПЛЭП ЯНАУЛ-ОСА)

Все вышесказанное относится к "быстрому" контуру вывода рекомендаций в системе СПРИНТ. В этом контуре система использует метод поиска на экспертных моделях, описанных языком логики предикатов первого порядка, основанный на процедуре поиска резольвент. Последнюю в системе реализует дедуктивный решатель, входящий в состав планировщика-интерпретатора. Эта процедура позволяет быстро оценивать ситуации и выводить качественные решения.

Кроме "быстрого" контура в системе имеется еще и "медленный" контур, использующий в своей работе только вычислительные модели. Схема его работы приведена на рис. 7.4. Особенностью метода "медленного" контура является использование подхода, позволяющего сократить размерность решаемых СПРИНТ задач. Такой подход будем называть *декомпозиционным* [8, 60]. Действительно, существенные изменения нагрузок подстанций и графики вывода в ремонт сетевого оборудования, как правило, являются запланированными [1, 57]. В этом случае оптимальные режимы для каждого временного интервала можно рассчитать заранее. Незапланированные флюктуации нагрузки и отключения элементов сети могут привести к тому, что отдельные параметры режима выйдут за допустимые пределы, хотя, в основном, фактический режим не будет существенно отличаться от планового. В результате этого у диспетчера появляется необходимость в оперативной коррекции режима с целью его дооптимизации и введении ряда параметров в допустимую область.

Расчеты электрических сетей различного объема и конфигураций показали, что в каждой конкретной сети имеются свои "слабые" узлы, напряжения в которых выходят за допустимые пределы. Причем одна группа узлов характерна для режима наибольших нагрузок, и напряжения в этих узлах оказываются ниже допустимого уровня, а другая группа узлов в режиме наименьших нагрузок имеет напряжения выше допустимых. Следовательно, в качестве узла декомпозиции, вокруг которого строится вычленимый участок сети, следует брать узел с наибольшим отклонением напряжения. Сведение к нулю отклонения напряжения в этом узле, как правило, приводит к тому, что и во всех остальных близлежащих узлах (в пределах электрического радиуса [8, 9]) напряжения вводятся в допустимые пределы. Аналогичные закономерности наблюдаются и при регулировании перетоков по ЛЭП [1, 57].

Правомерность декомпозиционного подхода к оперативной коррекции режима энергосистемы подтверждается практикой диспетчерского управления, показывающей, что наиболее эффективными оказываются регуляторы, находящиеся "электрически" ближе к объекту, в котором

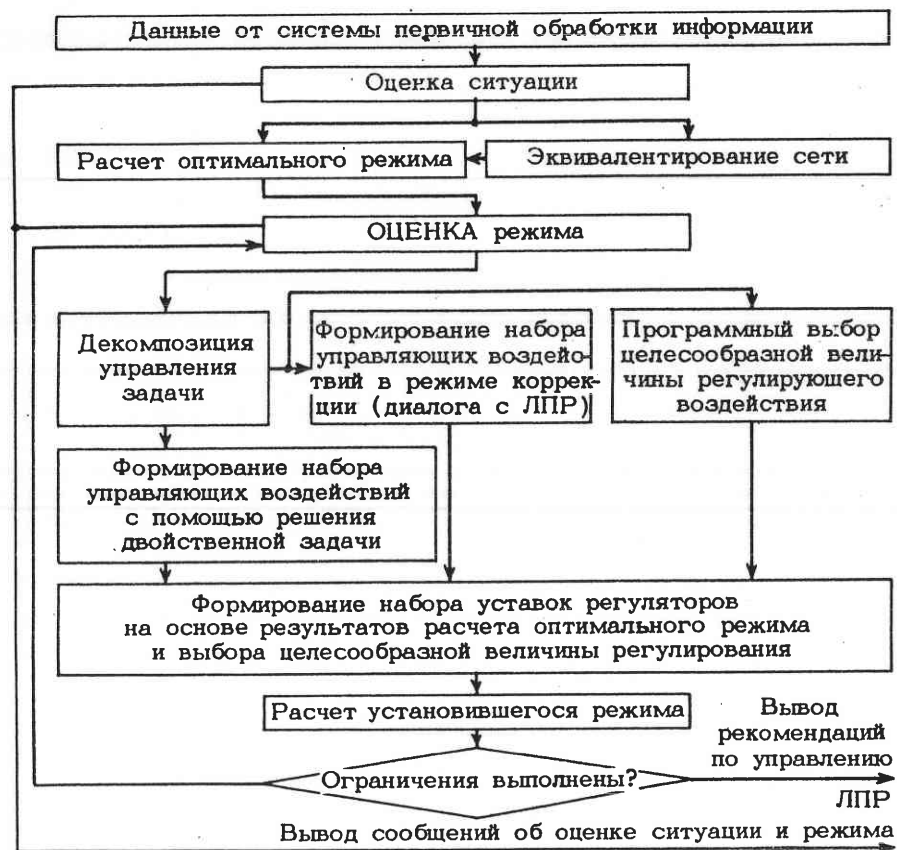


Рис. 7.4.

произошли недопустимые отклонения режима [9, 57]. Эти же регуляторы оказываются предпочтительней и исходя из критериальных соотношений, полученных в [7, 29, 31].

Одним из существенных ограничений для расширения возможностей местного регулирования с целью поддержания параметров режима в допустимых пределах является вопрос об учете его влияния на параметры режима в остальной части электрической сети, поскольку местное управление может привести к неудовлетворительному с системных позиций результату. В большинстве режимов этим влиянием можно пренебречь, так как, во-первых, при дооптимизации уставки устройств регулирования меняются незначительно, во-вторых, устранение недопустимого состояния одного из элементов сети обычно не приводит к нарушениям противоположного характера в соседних элементах. Например, если

уменьшалось вышедшее за допустимые пределы напряжение в i -м узле, то снизились напряжения и в соседних с ним узлах, а в остальных точках сети изменение напряжения было незначительным.

Однако при управлении режимами протяженных сетей, в состояниях, близких к предельным по статической или динамической устойчивости, ряде других ситуаций, осуществить выбор управляющего воздействия с учетом всех ограничений значительно сложнее. В этих условиях возрастает число итераций, необходимых для выбора наиболее целесообразного регулирующего воздействия, и ухудшается сходимость решения, ввиду жестких ограничений на параметры режима. Под *сходимостью* понимается сходимость итерационного процесса коррекции режима с целью выполнения всех ограничений.

При работе в реальном масштабе времени система СПРИНТ производит декомпозицию задачи управления и осуществляет расчеты лишь для выделенного наиболее неблагоприятного участка сети. Эту декомпозицию проводят как автоматически, так и в диалоге с диспетчером. При этом возникает вопрос о влиянии такого регулирования на параметры режима в остальной части сети. В наиболее тяжелых доаварийных и послеаварийных режимах неучет возмущения, вносимого местным регулированием в энергосистему, может привести к тяжелым последствиям [1, 57], избежать которые можно при соблюдении требований по поддержанию неизменными уровней напряжения и перетоков мощности на границе вычлняемой подсети.

Рассмотрим алгоритм декомпозиционного решения задачи управления. Исходной информацией для анализа и оценки состояния энергосистемы служат данные, поступающие от системы телеизмерений, после их прохождения через программу обработки контрольного замера [1]. Из этих данных алгоритм выявляет ситуации, требующие принятия решений. Далее строится очередь ситуаций, из которой выбирается наиболее критическая, т. е. узел электрической сети с параметрами, наиболее отклонившимися от допустимого режима. Вокруг этого узла, состояние параметров которого необходимо целенаправленно изменить, формируется подсеть. В состав последней входят узлы, которые "электрически ближе" к критическому, например регулирующие устройства, имеющие наибольшее влияние на режим интересующего диспетчера узла. Для узлов и ветвей, окаймляющих сформированную таким образом подсеть, определяют и фиксируют граничные условия [8, 9].

На следующем этапе рассчитывают число устройств регулирования, воздействием которых можно восстановить нормальный режим работы критического узла. Если таких устройств нет, то увеличивают объем вычлняемой подсети. В противном случае, определяют регулирующие воздействия на основе расчета потокораспределения вычлненной подсети. Если регулирующие воздействия не найдены, то возвращаются к шагу увеличения объема вычлняемой подсети, и все повторяется. Найденные управляющие рекомендации выдаются диспетчеру энергосисте-

мы, который всегда знает, что алгоритм учел граничные условия и в этом смысле команды местного управления не усугубят параметры режима в остальных узлах сети.

Достоинством алгоритма декомпозиционного управления, помимо сокращения размерности электротехнических задач, является еще и возможность использовать программный задел, имеющийся в энергосистемах, для решения этих задач практически без изменения, давая существенный выигрыш во времени получения результатов.

Архитектура решающей части программного комплекса СПРИНТ. В соответствии со всеми задачами, возложенными на СПРИНТ, архитектура решающей части программного комплекса представляет собой композицию следующих блоков (рис. 7.5):

Блок анализа входных сообщений (БАВС). Осуществляет связь с системой телеизмерений и средствами общения лиц диспетчерского персонала. Эта связь в первом случае поддерживается программой обработки контрольного замера, во втором – программой обработки сообщений оператора. По результатам обработки входных сообщений БАВС инициирует работу блока распознавания и классификации ситуаций.

Блок распознавания и классификации ситуаций (БРКС) имеет сложную внутреннюю структуру, так как состоит из блоков планирования процессов распознавания и классификации ситуаций (БППКРС), ранжирования ситуаций (БРС) по приоритетам, определенным в системе, и построения очереди ситуаций (БПОС). Получив управление от БРКС, БППКРС осуществляет наличие или отсутствие ситуаций во входной информации, пользуясь средствами модельного базиса и специально выделенными из состава информационного базиса средствами базиса ситуаций. Множество распознанных и классифицированных ситуаций объединяют в подмножестве классов ситуаций и ранжируют в БРС. Далее строят очередь ситуаций (в блоке БПОС), которая является основной для организации процессов поиска решений и выходом блока БРКС.

Блок планирования процессов пополнения и изменения информационного базиса (БППИИБ). Осуществляет запись текущего значения вектора телеизмерений и телесигналов в информационную МД, характеризующую состояние энергосистемы. БППИИБ осуществляет коррекцию информационной модели данных.

Блок планирования процессов поиска управляющих решений (БПППУР) осуществляет работу по планированию процессов поиска в модельном базисе, т. е. строит композицию процедур принятия решений (см. рис. 3.2) в соответствии с алгоритмами, изображенными на рис. 5.1 и 5.2. Выходом этого блока является список управляющих рекомендаций.

Блок планирования процессов диалога (БППД). В блоке планируются процессы поиска ответа в соответствии с типом (см. § 6.3) и сценарием диалога. Поиск ведется в информационном базисе с помощью постро-

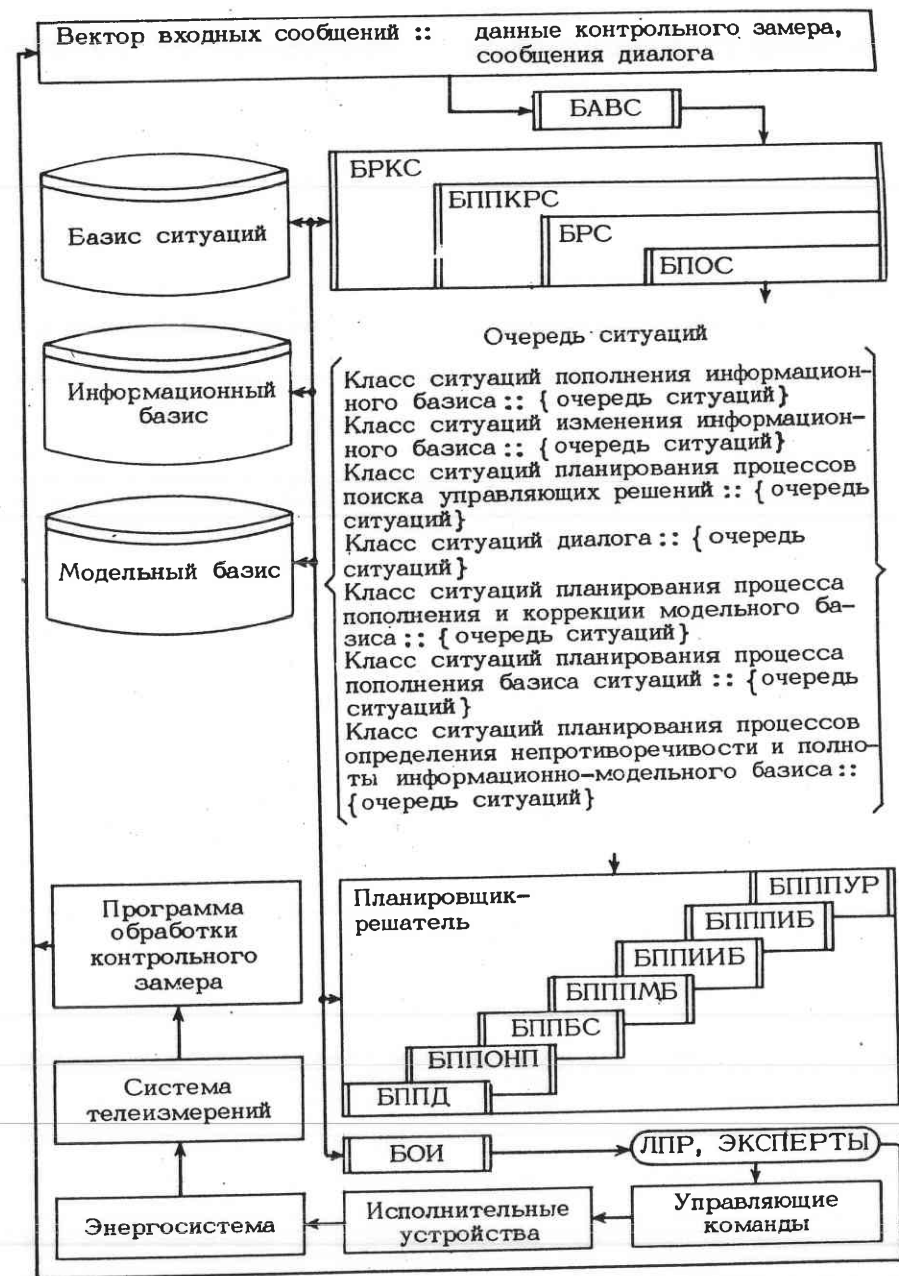


Рис. 7.5.

лице стандартов на оформление программных процедур и описаний моделей. Эти стандарты, именуемые соглашениями в связях, диктуются выбранными средствами операционной системы.

Такая технология позволяет моделировать в рамках системы СПРИНТ весь спектр технологических ситуаций, могущих возникнуть на объекте управления: проектных, аварийных и гипотетических. Во время моделирования система одновременно проверяет непротиворечивость и полноту баз знаний и данных, что позволяет оценить проектные решения и внести соответствующие коррективы.

Большое применение разработанный подход может найти не только в области автоматизации диспетчерских функций оперативного управления, но и при создании тренажеров для тренировки диспетчерского персонала. В режиме тренажера система СПРИНТ позволяет организовать два варианта человеко-машинного взаимодействия. В первом из них система формирует исходную ситуацию в выбранном фрагменте энергосистемы и список регуляторов, воспринимает от пользователя команды управления, изменяет состояние модели объекта и выдает текущую ситуацию пользователю, который в свою очередь выдает новую команду управления, и т. д. Это взаимодействие продолжается в течение заданного времени, когда система оценивает правильность действия пользователя. Во втором варианте взаимодействия система после каждой команды пользователя, изменяя состояние модели объекта, выдает ему не только текущую ситуацию, но и совет о том, как нужно было поступить. При желании пользователь может последовать совету и вернуться на шаг назад. Если такое происходит, то система восстанавливает предыдущее состояние модели объекта. В конце работы по промежутку времени система оценивает действия пользователя.

Применение разработанного подхода оказалось плодотворным для проектирования и внедрения экспертной диагностической системы принятия решений СПРИНТ-Д, позволяющей автоматически оценивать аномальные состояния агрегатов теплоэнергетического оборудования атомного энергоблока и по экспертным моделям выявлять причины появления этих аномалий [27].

Рассмотренный материал является только началом большой работы в области человеко-машинного управления сложными технологическими объектами, и автор надеется, что эта книга поможет привлечь в ряды исследователей новых представителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация управления энергообъединениями / В. В. Гончуков, В. М. Горнштейн, Л. А. Крумм и др.; Под ред. С. А. Савалова. М.: Энергия, 1979.
2. Александров Е. А. Основы теории эвристических решений. М.: Советское радио, 1975.
3. Акофф Р. Искусство решения проблем. М.: Мир, 1982.
4. Алгоритмизация задач управления режимами сложных систем в электроэнергетике. Минск: Наука и техника, 1977.
5. Арбиб М. Метафорический мозг: Пер. с англ. Э. Л. Наппельбаума / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Мир, 1976.
6. Андерсон Р. Доказательство правильности программ. М.: Мир, 1982.
7. Астахов Ю. Н., Лежнюк П. Д. Критериальные соотношения между параметрами режимов энергетических сетей // Тр. Моск. энерг. ин-та, 1979. Вып. 406. С. 14–18.
8. Башлыков А. А. Логико-алгебраические модели в АСУ энергообъединения // Типизация АСУ. Таллин: Бит, 1978. С. 37–38.
9. Башлыков А. А. Реализация "интеллектуальной" системы управления энергообъединением СПРИНТ. – Энергетика и электрификация. Сер. Средства и системы управления в энергетике. Экспресс-информация. М.: Информэнерго, 1978, № 11, С. 4–9.
10. Башлыков А. А., Зелендинова В. Х., Хазацкий В. Е. Архитектура системы выработки рекомендаций для принятия решений (СПРИНТ) при управлении энергообъединением // Информационно-программное обеспечение систем искусственного интеллекта. МДНТП, 1978. С. 95–102.
11. Башлыков А. А., Голубков В. В., Шрейбер Б. Т. Опыт реализации системы ситуационного управления технологическими процессами на базе ОС ЕС ЭВМ // Вопросы обработки данных на базе ЕС ЭВМ. М.: МДНТП, 1978. С. 89–96.
12. Башлыков А. А. Логико-модельный подход к построению пакетов прикладных программ САПР // Пакеты прикладных программ САПР. Таллин: ЦК КП Эстонии, 1978. С. 161–164.
13. Башлыков А. А. Реализация "интеллектуального" пакета прикладных программ САПР // Пакеты прикладных программ САПР. Таллин: ЦК КП Эстонии, 1978. С. 165–169.
14. Башлыков А. А. Логико-модельный подход к проектированию и построению АСУТП // Методы и модели в задачах управления производством. Таллин: Бит, 1979. С. 14–16.
15. Башлыков А. А. Языки определения и манипулирования знаниями семиотических моделей АСУТП // АСУ технологическими процессами. М.: МДНТП, 1980. С. 134–137.
16. Башлыков А. А., Вагин В. Н. Принципы организации дедуктивных процессов в системах принятия решений // Семиотические модели при управлении большими системами. М.: ВИНТИ, 1979. С. 66–69.
17. Башлыков А. А. Концепция банка знаний в АСУП // Методология проектирования АСУП. Таллин: Эстмедтехника, 1980. С. 134–137.
18. Башлыков А. А. Языки определения и манипулирования знаниями в интерактивных САПР // Интерактивная технология в САПР. Таллин: Бит, 1981. С. 30–32.

19. Башлыков А. А. Некоторые вопросы алгебраической теории интерактивного проектирования в САПР // Интерактивная технология в САПР. Таллин: Бит, 1981. С. 32 – 34.
20. Башлыков А. А., Бондаренко С. И. Об одном подходе к построению системы графического взаимодействия в САПР // Всесоюзное совещание по интерактивным системам проектирования. Тезисы докладов. М.: ИГУ, 1981. С. 69 – 70.
21. Башлыков А. А., Шипова М. В. Вопросы разработки и эксплуатации системы автоматизации процессов принятия решений при управлении сложным объектом // Материалы 9-го Всесоюзного симпозиума по кибернетике. Целеполагание и модели поведения. М.: ВИНТИ, 1981. С. 151 – 153.
22. Башлыков А. А. Вопросы теории диалоговых систем автоматизации процессов поиска решений при интерактивном проектировании // Интеграция пакетов и баз данных САПР электротехнических устройств. Таллин: Бит, 1982. С. 135–148.
23. Башлыков А. А. Программная реализация методов теории искусственного интеллекта в АСУ ТП // Опыт создания и внедрения АСУ технологическими процессами и производствами в энергетике, химии, металлургии. М.: ЦНИИКА, 1981. С. 221 – 222.
24. Башлыков А. А. Принципы построения системы автоматизации процессов поиска решений для оперативно-диспетчерского управления энергосистемой // В сб. научных трудов ЦНИИКА. Автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления. М.: Энергоиздат, 1982. С. 33 – 36.
25. Башлыков А. А. Процедуры интерактивного моделирования и оптимизации проектных решений в САПР // Моделирование и оптимизация проектных решений в САПР. Таллин: ЦК КП Эстонии, 1983. С. 62 – 64.
26. Башлыков А. А. Диалоговая автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления энергосистемой СПРИНТ // В сб. научных трудов ЦНИИКА. Диалоговые автоматизированные системы управления производством. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 13 – 16.
27. Башлыков А. А. Система принятия решений для оперативно-диспетчерского управления сложными объектами. Изв. АН СССР // Техническая кибернетика. 1983, № 5. С. 167 – 180.
28. Бенерджи Р. Теория решения задач (подход к созданию искусственного интеллекта): Пер. с англ. С. П. Чеботарева / Под ред. Ю. В. Буркина. – М.: Мир, 1972.
29. Богданов В. А. Формирование модели установившегося режима энергосистемы // Электричество, 1981, № 12. С. 9 – 13.
30. Васильев В. И. Распознающие системы. Справочник. Киев: Наукова Думка, 1983.
31. Веников В. А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1976.
32. Веселов Е. Н. Операционные структуры диалога. М.: ВЦ АН СССР, 1980.
33. Вилкас Э. Й., Майминас Е. З. Решения, теория, информация, моделирование. М.: Радио и связь, 1981.
34. Гладун В. П. Эвристический поиск в сложных средах. Киев: Наукова Думка, 1977.
35. Горлин А. И. О некоторых методах планирования вычислительного процесса // программирование, 1977, № 5. С. 49 – 55.
36. Емельянов С. В., Озерной В. М., Ларичев О. И. Проблемы и методы принятия решений. М.: МНТИЦ, 1973.
37. Ефимов Е. И. Решатели интеллектуальных задач. М.: Наука, 1982.
38. Загацкий Б. А., Савочкина О. А., Темноева Т. А. Организация вычислительного процесса в системе ФИХАР. Препринт НИИАР, П-63, Димитровград, 1974.
39. Зыков А. А. Теория конечных графов. Новосибирск: Наука, 1969.
40. Кахро М. И., Калья А. П., Тыугу Э. Х. Инструментальная система программирования ЕС ЭВМ (ПРИЗ). М.: Финансы и статистика, 1981.
41. Котов В. Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984.
42. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. М. В. Горбатовой, В. Л. Торхова, В. Н. Четверикова / Под ред. В. А. Горбатова. М.: Мир, 1984.
43. Мамиконов А. Г. Принятие решений и информация. М.: Наука, 1983.
44. Маркович И. М. Режимы электрических систем. М.: Госэнергоиздат, 1963.
45. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. М.: Мир, 1980.
46. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973.
47. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений: Пер. с англ. В. Л. Стефанюка / Под ред. С. В. Фомина. М.: Мир, 1973.
48. Плакс Т. П. Синтез параллельных программ на вычислительных моделях. Программирование, 1977, № 4. С. 55 – 63.
49. Попов Э. В., Фирдман Г. Р. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. М.: Наука, 1976.
50. Поспелов Д. А., Пушкин В. Н. Мышление и автоматы. М.: Советское радио, 1972.
51. Поспелов Д. А. Большие системы (ситуационное управление). М.: Знание, 1975.
52. Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981.
53. Поспелов Д. А. Семантические модели: Успехи и перспективы // Кибернетика, 1976, № 6. С. 114 – 122.
54. Проблемы программно-целевого планирования и управления / Под ред. Г. С. Поспелова. М.: Наука, 1981.
55. Пушкин В. Н. Оперативное мышление в больших системах. М.: Энергия, 1965.
56. Розен В. В. Цель – оптимальность – решение. М.: Радио и связь, 1982.
57. Савалов С. А. Режимы единой энергосистемы. М.: Энергоатомиздат, 1983.
58. Тихомиров О. К. Информационная и психологическая теория мышления // Вопросы психологии, 1974, № 1. С. 40 – 48.
59. Тихомиров О. К. Структура мыслительной деятельности человека. М.: МГУ, 1969.
60. Цурков В. И. Декомпозиция в задачах большой размерности. М.: Наука, 1981.
61. Шапиро Д. И. Принятие решений в системах организационного типа управления. Использование расплывчатых категорий. М.: Энергоатомиздат, 1983.
62. Шапиро С. И. Мышление человека и переработка информации ЭВМ. М.: Советское радио, 1980.
63. Федулов А. А., Федулов Ю. Г., Цыгичко В. Н. Введение в теорию статистически ненадежных решений. М.: Наука, 1979.
64. Хант Э. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1978.
65. Электрические системы. Кибернетика электрических систем / Под ред. В. А. Веникова. М.: Высшая школа, 1974.
66. Юсупов И. Ю. Автоматизированные системы принятия решений. М.: Наука, 1983.
67. Ульман Дж. Основы систем баз данных. М.: Финансы и статистика, 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Часть первая. Системы человеко-машинного управления энергосистемами и принятие решений	5
Глава первая. Системы оперативно-диспетчерского принятия решений при управлении в энергетике	5
1.1. Энергосистема как объект управления	5
1.2. Принятие решений и организация управления энергосистемами	7
1.3. Роль и место автоматизированных систем диспетчерского управления в управлении энергосистемами	8
Глава вторая. Человек в системе оперативно-диспетчерского управления и проблема принятия решений	10
2.1. Функции лиц оперативно-диспетчерского персонала при принятии управляющих решений	11
2.2. Этапы и фазы принятия управляющих решений	17
Часть вторая. Формализация процессов выработки и принятия решений	25
Глава третья. Разработка модели автоматизированной системы принятия решений	25
3.1. Концепция системы принятия решений с интеллектуальными механизмами автоматического поиска решений	27
3.2. Процедуры принятия решений	31
3.3. Логика поиска решений	41
3.4. Модельный базис принятия решений	43
3.5. Архитектура СПРИНТ и принципы организации вычислительного процесса	45
Глава четвертая. Проектирование моделей представления информации в системах принятия решений	54
4.1. Сети Петри как средство представления информации	55
4.2. Представление вычислительных моделей для описания алгоритмов оперативного управления режимами работы энергосистемы	58
4.3. Представление экспертных моделей для описания управляющей деятельности диспетчера при управлении режимами энергосистемы	63
4.4. Представление диалоговых моделей для описания человеко-машинного взаимодействия	68
4.5. Представление проблемных ситуаций в системе	71
4.6. Представление теоретико-множественных моделей для описания состояний энергосистемы	72
4.7. Язык определения знаний как средство построения семиотической модели представления информации	73
Глава пятая. Построение средств поиска решений на моделях	76
5.1. Планирование вычислений на вычислительной модели	76
5.2. Планирование вычислений на экспертной модели	80
5.3. Планирование вычислений на диалоговой модели	82
5.4. Планирование вычислений на семиотической модели	84
5.5. Язык манипулирования знаниями как средство автоматизации планирования вычислений на семиотической модели	87

Часть третья. Основы проектирования систем принятия решений в энергетике	91
Глава шестая. Проектирование систем принятия решений для оперативно-диспетчерского управления энергосистемами	91
6.1. Проектирование вычислительных моделей для постановки задач оперативного управления	92
6.2. Проектирование экспертных моделей для постановки задач принятия решений	95
6.3. Проектирование диалоговых моделей для задач человеко-машинного общения	97
Глава седьмая. Реализация систем принятия решений для оперативно-диспетчерского управления энергосистемами	98
7.1. Реализация аппаратного комплекса СПРИНТ	99
7.2. Реализация программного комплекса СПРИНТ	100
Заключение	113
Список литературы	115