

# Концепция модели оперативного мышления для интеллектуального управления энергоснабжением в трубопроводных системах

В статье рассмотрены принципы построения систем человеко-машинного управления энергосистемами в нефтепроводном транспорте. Определены понятия модели оперативного мышления диспетчера как средства автоматизации процессов интеллектуальной информационной поддержки принятия решений. Выделены и описаны функции диспетчерского персонала при управлении. Определён подход к построению систем интеллектуальной информационной поддержки принятия управляющих решений.

Сегодня оперативное управление сложными технологическими процессами и локальными энергосистемами в трубопроводном транспорте нефти осуществляется в рамках автоматизированных систем диспетчерского контроля и управления (СДКУ). При оценке процессов оперативного управления управляющая деятельность лиц оперативно-диспетчерского персонала может быть представлена в виде совокупности работ, логически связанных между собой и имеющих определенную целостность. Содержание этой деятельности может быть описано в виде совокупности функций оперативно-диспетчерского управления. Каждая из этих функций обладает в известном смысле самостоятельностью, и всякая предшествующая функция в перечне есть необходимая предпосылка для выполнения последующей.

В данной статье приводятся результаты анализа и обобщения функций оперативно-диспетчерского управления, а также методы формального описания процессов получения информации для выполнения этих функций.

На этой основе обсуждается целенаправленное поведение лиц оперативно-диспетчерского персонала. Выполнение каждой функции управления рассматри-

вается с точки зрения принятия управляющих решений.

Целенаправленное поведение диспетчера энергосистемы как лица, принимающего решение (ЛПР), представлено в виде множества фаз и этапов управления. При этом достижение общей цели управления энергосистемой обеспечивается достижением частных целей.

## Функции оперативного персонала при принятии управляющих решений

Специфика энергосистем как сложных (больших) систем [1, 2] не может не оказывать существенного влияния на деятельность человека, управляющего ими. Для обеспечения оптимального (или приемлемого) функционирования энергосистемы, а также правильного ответа системы на различные возникающие возмущения, человеку, выполняющему функции регулятора в этой системе, необходимо решать задачи [3, 4].

Эта деятельность проявляется тогда, когда возникает рассогласование между требуемым и реальными режимами работы локальной энергосистемы. При этом у ЛПР может отсутствовать необходимый



**А.А. Башлыков**  
Кандидат технических наук, главный инженер проектов ООО «Трансэнергострой», Москва

### ► Ключевые слова / Keywords:

- интеллектуальная информационная поддержка принятия решений, модель оперативного мышления, функции оперативного мышления, система диспетчерского контроля и управления, принятие управляющих решений, процесс решения задач, этапы и фазы принятия управляющих решений, система интеллектуальной информационной поддержки принятия решений;
- intellectual information support of decision-making, model of operative thinking, functions of operative thinking, system of dispatching control and management, acceptance of operating decisions, process of the decision of problems, stages and phases of acceptance of operating decisions, system of intellectual information support of decision-making

для устранения рассогласования набор регулирующих воздействий. В результате его деятельности, направленной на устранение такого положения, может возникать и складываться новая, не применявшаяся ранее последовательность управляющих действий. Реализация ее и приводит к устранению возникших рассогласований.

Процесс решения задач, который осуществляется человеком при диспетчер-

ском управлении, был назван В.Н. Пушкиным оперативным мышлением [5]. Он показал, что оперативное мышление ЛПР является основным звеном переработки информации в управляющей системе. В этой связи ЛПР выполняет следующие функции: планирование, контроль и разработку регулировочных мероприятий, решение задач по устранению резких нарушений в производственном процессе, диагностику технологического оборудования. Рассмотрим эти функции подробнее.

Планирование – это мыслительная деятельность по созданию плана функционирования управляемого объекта на определенный отрезок времени. Основой всей деятельности ЛПР является общий план, который складывается обычно в начале смены на основе знания режима работы системы и учёта тех его изменений, которые сообщаются ЛПР до начала работы. В продолжение смены ЛПР планирует свою деятельность на определенный временной интервал. Это планирование осуществляется на основе оценки складывающегося динамического состояния объекта (ситуации) и соотношения результатов этой оценки с информацией о реальном ходе технологического процесса.

Существенной чертой оперативного планирования является выбор ЛПР оптимального варианта регулировочных мероприятий из имеющихся в его распоряжении вариантов с учётом ограничений, заложенных в инструкции. Такое планирование можно охарактеризовать как комбинаторное. Оно является важной составляющей диспетчерского оперативного мышления.

Контроль и регулирование, как специальная деятельность, реализуются ЛПР при выполнении выработанного плана и при наблюдении за всей совокупностью управляемых объектов. В процессе контроля ЛПР контролирует различные динамические характеристики управляемых объектов энергосистемы и соотносит их с планом. Во многих видах диспетчерской службы контроль выступает как анализ различной по средствам представления информации о состоянии управляемой системы или процесса.

Контрольная деятельность ЛПР предполагает высокую степень готовности в любой момент времени вмешаться в течение технологического процесса для ликвидации возможных его отклонений от программы. Вероятность отклонения функционирования управляемого объекта от запланированного, возникновение различного рода возмущений в системе обычно достаточно велики. Они могут приводить к необходимости изменения

планового режима работы системы. Внешение таких изменений – существенная черта диспетчерского контроля. При оперативном управлении у ЛПР всегда должно быть несколько запасных вариантов плана (это ему обеспечивает служба режимов) и регулировочных мероприятий для возможно более быстрой ликвидации возникших возмущений.

Рассмотрим задачу по устранению резких отклонений в управляемых процессах. В оперативно-диспетчерской деятельности при управлении сложной системой довольно часто возникают ситуации, в которых, с одной стороны, обнаруживается резкое противоречие между запланированным и реальным ходом технологического процесса, а с другой – у ЛПР отсутствует чёткое представление о том, что нужно сделать для ликвидации возмущения в системе (т.е. отсутствует способ действия). При этом возможны два случая отклонения. В первом случае ЛПР 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 регулировки, комбинация которых дает возможность решить задачу.

Деятельность ЛПР в ситуациях такого рода приводит (в случае, если задача успешно решена) или к открытию нового способа управления, или к созданию комбинации известных приемов, которая не использовалась ранее. Последний результат является наиболее частым.

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 [2, 5].

Возникновению проблемных ситуаций часто способствуют условия, специфичные для диспетчерского труда, и прежде всего эмоциональный фон, порожденный огромной ответственностью за результаты деятельности и острый дефицит времени, в условиях которого обычно протекает работа ЛПР.

Эти условия могут создать проблемные ситуации и там, где деятельность по своей структуре представляется отнюдь не простой. Под влиянием эмоционального состояния (отрицательные эмоции), а также высокого темпа принятия решений у ЛПР иногда выпадают из памяти известные ему, содержащиеся в инструкциях, способы решения аналогичных задач, и он вынужден открывать как бы заново.

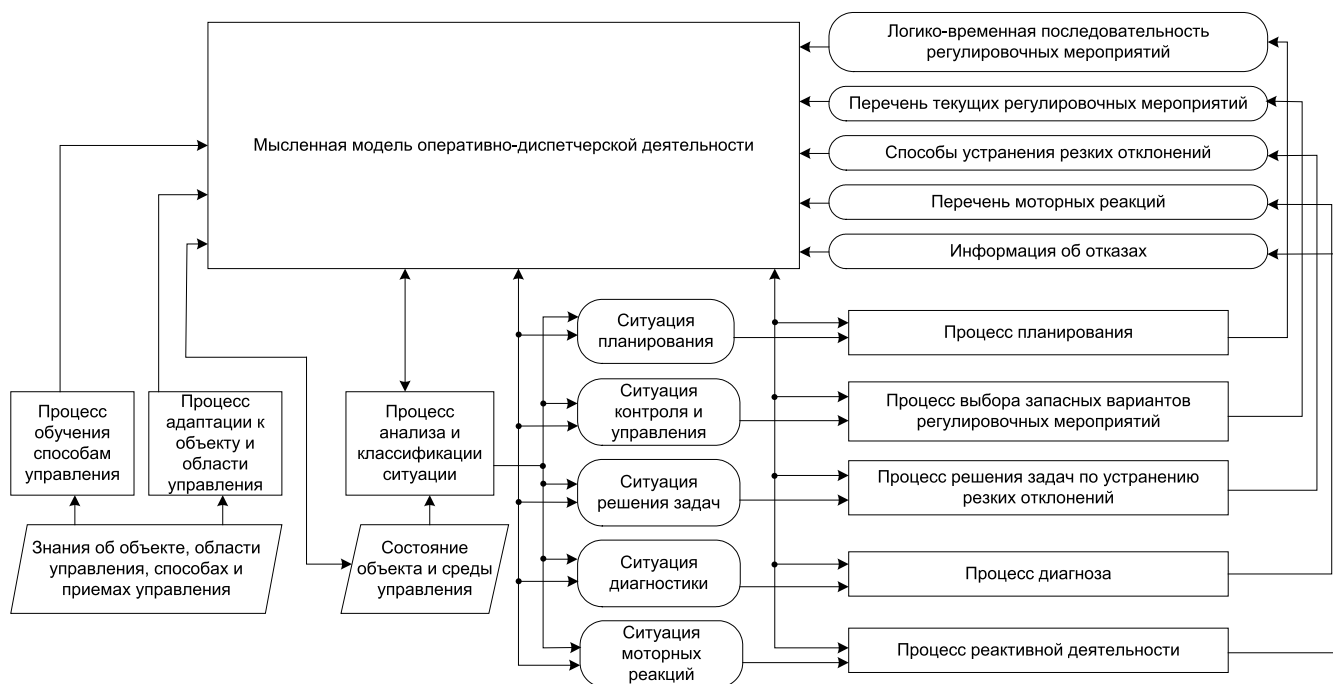
Диагностика (как разновидность деятельности ЛПР) особенно характерна для дистанционных форм управления. Как известно, диагностическая деятельность ЛПР развертывается при возникновении специфических аварийных или предаварийных ситуаций, когда возникает необходимость в устранении причин неисправности. Процесс диагноза идет по линии последовательной проверки составных частей управляемого объекта.

## **Модели оперативного мышления как средства автоматизации процессов интеллектуальной поддержки принятия оперативных решений при управлении энергосистемами**

Структура деятельности диспетчера как ЛПР дает все основания считать, что в ее основе лежит оперативное мышление. Если, прежде чем отреагировать на ту или иную проблемную ситуацию, ЛПР необходимо отразить (мысленно воссоздать), представить элементы, из которых складывается эта ситуация, затем привести в движение 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 действия, такого рода деятельность можно назвать реактивной. Таким образом, различие между реакциями и интеллектуальными процессами состоит в структуре психической деятельности при решении задач, вплетенных в процесс операторской деятельности.

В этой связи необходимо подчеркнуть значение моделирующей деятельности мозга ЛПР в оперативном мышлении. Анализ функций оперативного мышления позволяет построить структуру процессов оперативного мышления, базирующуюся на понятии модели оперативного мышления для диспетчерского управления, приведенную на [рисунке 1](#).

Понятие модели оперативного мышления для представления управляемого объекта и способов управления им необходимо не только для того, чтобы выделить характерную для такой деятельности реактивную составляющую, но и показать «модельность» оперативно-диспетчерской деятельности с присущими ей процессами оперативного мышления.



**рисунк 1.**  
Структура мысленной модели оперативной деятельности диспетчера энергосистемы

Модель оперативного мышления содержит всю информацию о данных, характеризующих объект управления, и об операторах, преобразующих эти данные. Для целенаправленной обработки информации с помощью механизмов мышления, организуется логическая последовательность процессов, характеризующих оперативное мышление.

Индуктивные механизмы – это процессы обучения и адаптации. Дедуктивные механизмы – это процессы анализа и классификации ситуаций, планирования, выбора, решения задач, диагноза, реактивной деятельности.

В качестве исходных элементов для индуктивных механизмов выступают: знания об объекте и области управления, которые зафиксированы документально, могут быть переданы от человека к человеку устно или накоплены ЛПР.

Знания об объекте и области управления, которые используются дедуктивными механизмами – сведения о состоянии объекта управления, получаемые ЛПР от средств операторского интерфейса СДКУ.

Анализ функций и процессов, характерных для оперативного мышления дает возможность представить лишь качественную картину оперативно-диспетчерского управления сложной системой, но даже эта качественная картина позволяет представить ту сложную работу, которую должен выполнять диспетчер, обеспечивая оптимальный режим работы системы.

## Этапы и фазы принятия управляющих решений

Любая система в процессе своей деятельности переходит из одного состояния в другое. При этом рассогласование между действительным и желаемым состояниями системы трактуется как проблема. В человеко-машинных системах особенно важно изучение классов проблем, связанных с выработкой и принятием решения.

Проблема принятия решений связана с решением задачи достижения цели. Но она же понимается как проблема, связанная с определением ЛПР конкретной альтернативы (из имеющейся совокупности) при наличии информации о состоянии объекта и системы управления, критериев, решающих правил и с учетом собственных знаний, опыта и интуиции ЛПР.

Решение этой проблемы может трактоваться как логическая последовательность этапов, т.е. рассматриваться как процесс, протекающий во времени (**рисунк 2**) [4, 6, 7].

Начальным этапом является оценка состояния проблемной области, в которой находится ЛПР. В общем случае можно говорить о накоплении системой управления определенного объема данных о состоянии управляемой системы и внешней среды управления. Этот этап предшествует выработке решения. На нем выявляется наличие рассогласования между желаемым и действительным со-

стояниями системы. В случае отсутствия рассогласования считается, что проблемы принятия решения не существует, если не считать тривиального решения – не принимать никаких решений. В противном случае такая проблема остается. Кроме того, необходимо и принятие решений, направленных на сохранение существующего удовлетворительного, с точки зрения ЛПР, состояния системы.

На втором этапе определяется необходимость изменения (или сохранения) существующего состояния системы, т.е. устанавливается некоторая цель, которую необходимо достичь. Это выполняется на основе анализа недостатков существующего режима функционирования, причин их появления. В результате формируется представление о некотором ином режиме, в который желательно перевести систему. Этот новый режим является целью для выработки и принятия решений человеком или системой управления.

Третий этап – этап выработки решений состоит в определении всех возможных способов или путей достижения цели, перехода в желаемое состояние. Здесь важно в максимальной степени обеспечить полноту множества возможных решений, допуская и избыточные решения. Последнее является оправданным, т.к. 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 или даже единственно приемлемым.

Четвертый этап – этап собственно принятия решения – заключается в выборе из множества возможных решений наилучшего – в смысле эффективности достижения цели. Результатом этого этапа является единственное принятое управляющее решение.

Пятый этап – этап реализации принятого решения. Его назначением является замыкание цикла управления, т.е. приведение системы в целевое состояние. В результате принятого решения происходит изменение текущего состояния. Информация о новом состоянии опять попадает на вход системы управления, что приводит к включению в работу этапа оценки полученного состояния.

Шестой этап – этап оценки полученных результатов позволяет при необходимости (если управляемая система не перешла в требуемое состояние) корректировать определение цели, критерии эффективности или модель проблемной области.

Сбор данных о текущем состоянии энергосистемы осуществляется как от автоматических источников, так и от источников ручного ввода. Собранные данные запоминаются в базе данных системы и используются всеми процессами обработки информации.

Для обеспечения поиска возможных решений для всех состояний управляемой системы создается модель проблемной

области, включающая модели управляющей и управляемой систем. Эта модель имеет связь с блоком оценки состояний, базой данных, блоком выработки множества возможных решений, блоком оценки полученных результатов. Данная модель является аналогом модели оперативного мышления. Заложенные в ней механизмы позволяют этой модели перестраиваться в зависимости от оценки результатов реализации решений, тем самым, повышая эффективность принимаемых решений. Основное назначение модели – быть областью поиска решений процессами блока выработки множества возможных решений. Эта область поиска является настраиваемой процессами блока оценки состояний. 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 системы, проверки реакции на предполагаемые решения используется модель управляемой системы. Эта модель имеет связь с блоками выработки и принятия решений, определения целей и критериев эффективности, оценки результатов реализации решений и базой данных. Результаты, полученные в этой модели, вместе с оценкой полученных результатов используются для определения целей и критериев эффективности.

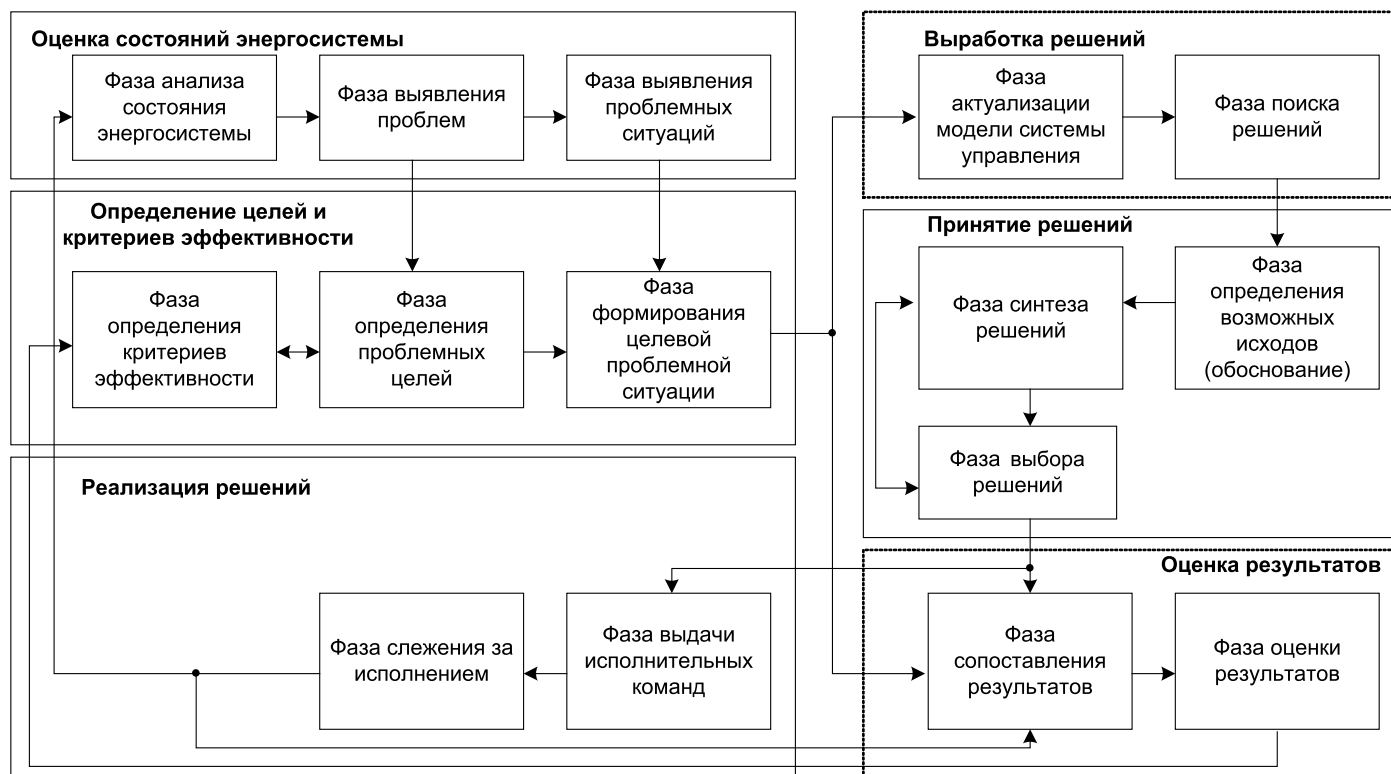
В свою очередь цели и критерии эффективности вместе с информацией из

моделей управляемой и управляющей систем и необходимыми данными из баз данных позволяют выработать множество возможных решений. На основе этого множества, зная цели и критерии эффективности и используя модель управляемой системы, осуществляется принятие решения. Полученное решение затем реализуется, а результаты реализации оцениваются. Наличие памяти и моделей позволяет анализировать поведение системы за длительный период времени. Этот анализ позволяет уточнять определение целей и критериев эффективности, облегчает выработку множества возможных решений и создает условия для корректировки и самокорректировки моделей.

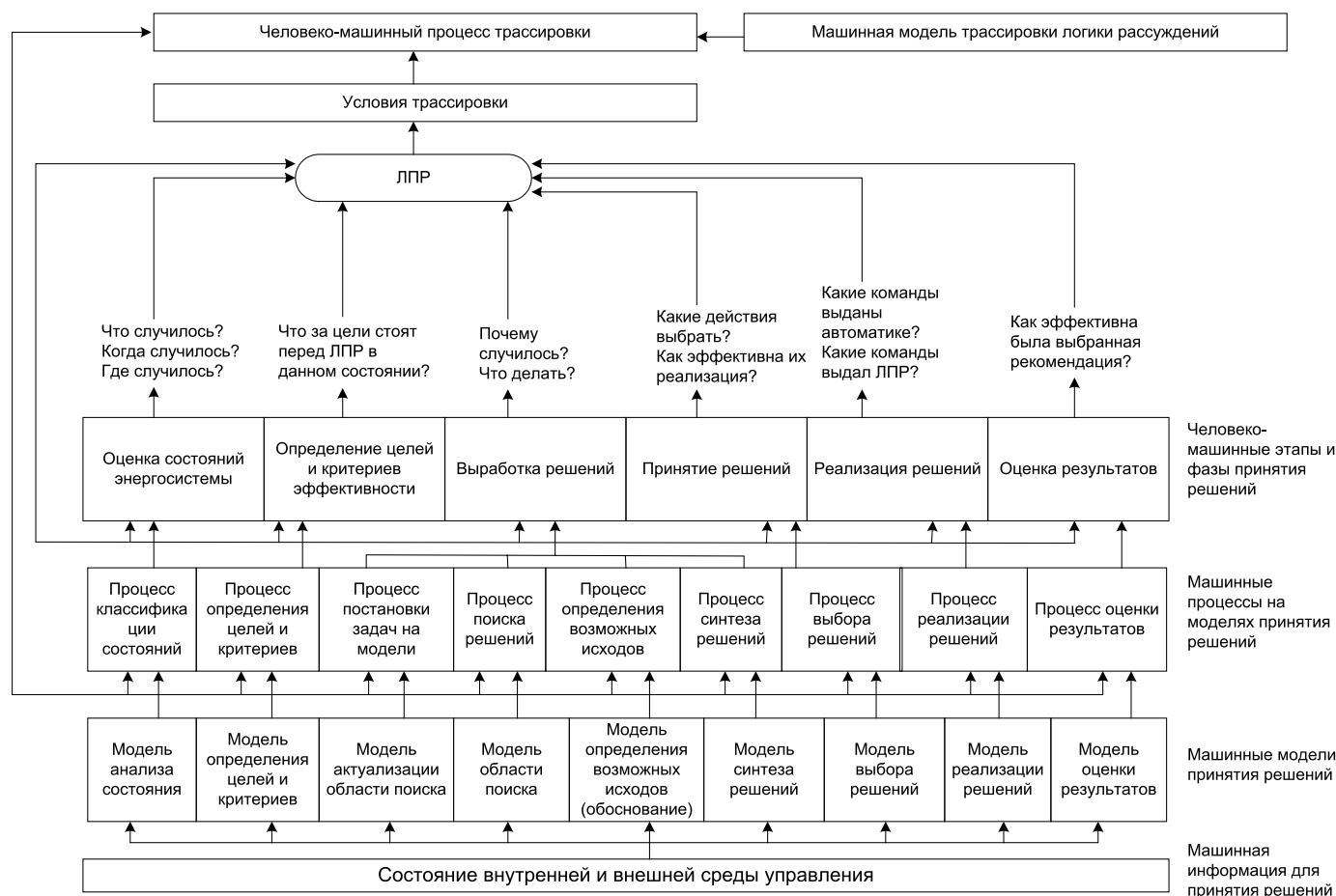
Рассмотренная логическая структура отражает процесс принятия решений, как системой управления, так и отдельным диспетчером или позволяет распределить задачи между человеком и машиной оптимальным образом.

### Подход к построению систем интеллектуальной поддержки диспетчера при принятии управляющих решений

Для разумного сочетания и распределения функций между человеком и машиной следует учитывать, что с ростом слож-



рисунк 2. Этапы и фазы выработки, принятия и реализации управляющих решений



**рисунок 3.**  
Структура машинных моделей и процессов интеллектуальной поддержки принятия оперативных решений

ности объектов управления человеческая способность делать точные выводы о поведении этих объектов уменьшается. Во многих случаях она уже достигла предела, за которым сложность объекта управления, точность в оценке его состояний (ситуаций) и практическая ценность управляющих решений стали несовместимыми [4, 7]. Такой вывод становится понятным, если учесть мало повторяемость ситуаций принятия решений (проблемных ситуаций), неопределенность 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 и критериев, а также альтернативностью возможных действий и их последствий.

Вместе с тем следует отметить, что современный диспетчер, принимая решения при управлении, может учитывать большое количество взаимосвязанных, а иногда и противоречивых факторов. Он умеет выявлять проблемные ситуации, искать, находить и принимать правильные управляющие решения. Причем, все это человек может производить в

условиях, когда отсутствует ряд данных о состоянии объекта управления и нет четких критериев выбора альтернатив, т.е. принимать решения в условиях риска и неопределенности.

Рассматриваемый подход к построению человеко-машинных систем интеллектуальной информационной поддержки принятия решений (СИИППР) в рамках средств СДКУ базируется на разработке и применении таких методов, которые позволили бы эволюционно пройти следующие стадии развития [4, 6, 7].

1. *Информационная стадия.* СИИППР берет на себя в контуре диспетчерского управления только информационные функции. По данным, полученным автоматически и от ЛПР, система выдает информацию в преобразованном виде, удобном для восприятия человеком.

2. *Информационно-советующая стадия.* СИИППР по данным, получаемым, как и на 1-й стадии, выполняет информационно-советующие функции, т.е. умеет оценить состояние объекта управления и найти перечень управляющих рекомендаций. Свои оценки и рекомендации система отображает ЛПР вместе с информацией, полученной на стадии 1 в виде, удобном для восприятия.

3. *Стадия автоматизированного управления.* В этой стадии СИИППР, 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 на регуляторы и исполнительные механизмы. Человек и машина на этой стадии работают совместно, причем человек, используя свои знания, опыт и интуицию, корректирует управляющие функции машины. При этом возможен и режим самообучения машины.

4. *Стадия полного автоматического управления.* СИИППР работает в условиях автоматического получения всей информации от системы и выдачи всех команд управления. При этом человеку отводится роль не только наблюдателя за ходом управляющего процесса, о и оставляется возможность вмешательства в процесс с целью проверки правильности его исполнения и внесения корректив.

Рассматривая вышеприведенные стадии, следует учитывать, что в первой из этих стадий исследуются логический и психологический аспекты проблемы, которые позволяют получить экспертные модели поиска и принятия решений,

характерные для классов действий диспетчеров в нормальных, утяжеленных и послеаварийных режимах работы энергосистемы. Особенности второй стадии являются исследование психологических, семиотических и правовых аспектов проблемы и разработка формальных методов их реализации. Третья стадия 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. Последняя стадия базируется на достижениях трех предыдущих, результаты которых используются для создания математической, алгоритмической и программной среды в компьютере, адаптирующейся с объектом управления и позволяющей оставлять человеку только функции наблюдения и коррекции.

Изложенная структура процесса принятия решений является общей. Приведенное ее описание позволяет изложить и принципы, которые положены в основу структуризации:

– **Принцип модельности процессов выработки и принятия решений**, базирующийся на гипотезе модельности процессов мыслительной деятельности при принятии решений (т.е. при анализе текущего состояния управляемой системы или процесса и соотношении его с требуемым состоянием). ЛПР не просто собирает необходимую информацию для принятия решений, а строит структурированную модель проблемной ситуации, вычлняя в текущем состоянии наиболее важные элементы и существенные отношения. Эти отношения играют основную роль в осмысливании текущего состояния и последующем принятии решений;

– **Принцип логической последовательности этапов оперативно-диспетчерского управления**, говорящий о том, что из всех возникающих состояний, ЛПР путем анализа выделяет множество состояний, достойных внимания, с точки зрения управления. В найденном множестве он в первую очередь пытается выделить те состояния, которые требуют его вмешательства в процесс управления – проблемные ситуации. Для каждой проблемной ситуации ЛПР, проведя анализ причин ее возникновения, ставит цели и ищет множество управляющих решений, реализация которых на объекте управления позволила бы устранить данную проблемную ситуацию. Каждое из найденных решений ЛПР пытается оценить с точки зрения его эффективности. Имея решения вместе с оценками их эффективности, ЛПР принимает одно из них, которое и реализует на объекте. Каждая такая реализация

обязательно контролируется в смысле оценки ее результативности;

– **Принцип «шести слуг»** [4, 8, 9] – принцип, основанный на исследовании множества вопросов, возникающих перед ЛПР, на которые он ищет ответ на каждом из этапов принятия решений.

На этапе оценки состояния управляемой системы, можно утверждать, что ЛПР ищет ответы на вопросы:

- Что случилось?
- Когда случилось?
- Где случилось?
- Для этапа определения целей:
- Что за цели стоят в данном состоянии?
- Для этапов выработки и принятия решений:
- Почему случилось? Что делать?
- Насколько эффективны эти действия?
- Что будет, если?

Если рассмотреть эту же последовательность этапов с точки зрения прогнозирования состояний системы, то в этом случае ищутся ответы на вопросы:

- Что может случиться?
- Когда может случиться?
- Где может случиться?
- Почему может случиться?
- Что можно сделать?

и Кто, Что, Когда, Где, Как и Почему могут служить образами реальных вычислительных процессов выработки и принятия решений;

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

Рассмотренный набор принципов позволяет унифицировать множество процессов, лежащих в основе механизмов оперативной деятельности ЛПР и построить аналог такой модели в компьютере. Если удастся перенести в компьютер все знания ЛПР, то, обеспечив ему возможность связи с компьютером, а модели – с объектом управления, можно получить необходимую управляющую структуру, представленную на **рисунке 3**.

Принцип модельности трактуется как наличие моделей для каждого из этапов принятия решений, образующих в совокупности модель проблемной области. Существенным при этом является требование возможности построения для каждой модели или любой их совокупности вычислительного процесса, реализующего любой из этапов или их совокупность.

Принцип наблюдаемости характеризует введение процесса объяснения, позволяющего ЛПР наблюдать логику машинных рассуждений при решении всех классов решаемых задач и вмешиваться в процесс выработки и принятия решений. При таком вмешательстве человек может менять как логику машинных рассуждений, так и используемую ею информацию.

Рассматриваемая структура позволяет представлять компьютер и человека как двух партнеров, одновременно участвующих в принятии решений. Существенным при этом является то, что функции и полномочия могут перераспределяться между партнерами в зависимости от стадии развития человеко-машинного управления.

## Заключение

Сейчас подавляющее большинство человеко-машинных систем управления находится на первой стадии человеко-машинного управления. Для того чтобы перейти на вторую и последующие стадии, необходимо построить модели оперативного мышления, найти подходящие формализмы для их описания, определить классы задач интеллектуальной поддержки принятия решений и методы автоматического поиска управляющих решений для этих классов в формальной модели оперативного мышления.

1. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления – М.: Энергоиздат. 1991. – 231 с.
2. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: СИНТЕГ, 1998.
3. Башлыков А.А. Система принятия решения для оперативно-диспетчерского управления сложными объектами. – Изв.АН СССР. Техническая кибернетика, 1983, 5, с.87-180.: Наука, Москва, 1983.
4. Башлыков А.А. Проектирование систем принятия решений в энергетике. – Энергоатомиздат, 1986.
5. Пушкин В.Н. Оперативное мышление в больших системах. М.: Энергия, 1965.
6. Башлыков А.А., Еремеев А.П. Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. М. Издательство МЭИ. 1994, 213 с.

7. Башлыков А.А., Гвишиани В.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. – М., издательство «Эдиториал УРСС», 2001, 303 с.
8. Башлыков А.А. Система управления базами знаний как ядро средств интеллектуальной поддержки принятия решений. М.: Трубопроводный транспорт: теория и практика, № 1 (17), 2010, стр. 28-32.
9. Башлыков А.А. Концепция построения перспективных корпоративных информационных систем поддержки принятия решений в управлении и бизнесе. – М.: Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. ВНИОЭНГ. № 3/2010, стр. 11-21.