

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривается система поддержки принятия решений (СППР) для оперативного планирования и управления в нечетких ситуациях. К задачам такого типа относится задача синтеза оперативного графика движения поездов. На данной задаче в работе проводится апробация предлагаемого подхода.

Основные причины, порождающие управленческую неопределенность, связаны с неустранимостью человека из процесса выработки решения. Основным средством решения проблем данного типа является создание мощных СППР. Главная особенность этих систем состоит в том, что они не пытаются заменить лицо, принимающее решение (ЛПР), а оказывают ему всестороннюю помощь на этапах выработки и анализа различных вариантов решения.

Рост мощности вычислительных систем создает предпосылки для автоматизации решения все более сложных задач оперативного планирования и управления. Препятствием является нехватка математического обеспечения адекватной сложности этих задач. Поэтому проработка перспективных направлений в этой области и создание соответствующего математического обеспечения являются актуальной задачей.

Кроме того, результаты данного диссертационного исследования применены к решению насущной проблемы железнодорожного транспорта — синтезу оперативного графика движения поездов. Эта проблема имеет самостоятельную значимость в управлении процессом перевозок. По результатам известных исследований, одно только внедрение принципов энергетически оптимального управления оперативным планированием движения поездов обеспечит 5–10%-ную экономию электроэнергии. Существенный эффект дадут повышение оперативности решений, сокращение и облегчение труда персонала.

Традиционный подход к решению задач оперативного планирования и управления рассматривает их как хорошо структурированные проблемы. Основное внимание при этом уделяется предметной области и ее адекватному описанию. На современном этапе на передний план вышла проблема получения знаний о самом лице, принимающем решение. Наиболее продуктивным при этом является лингвистический подход в описании модели предпочтений ЛПР.

В то же время большое распространение получили методы, основанные на имитационном моделировании и экспертных системах. При этом использование экспертных систем без аппарата методов оптимизации оказывается малоуспешным.

Перспективным подходом к решению задач оперативного планирования и управления можно считать объединение нечетко-лингвистических моделей принятия решений с оптимизационными и имитационными методами в рамках единой системы поддержки принятия решений, нацеленной на решение задач конкретной предметной области.

Поставленная цель определила необходимость решения следующих задач:

- разработать и адаптировать математические модели движения поездов и сопутствующих технологических процессов, существенных при синтезе оперативного графика движения поездов;

- разработать модель предпочтений ЛПР на основе системы нечеткого вывода;
- разработать приближенный оптимизационный алгоритм на основе метода поиска с запретами с применением групповых технологий теории расписаний;
- разработать эвристический и точный алгоритмы решения задачи синтеза оперативного графика движения поездов, оценить на их основе приближенный алгоритм;
- применить разработанную СППР на железнодорожном транспорте, оценить экономический эффект.

Для решения поставленных задач использовались следующие разделы исследования операций: теория поддержки принятия решений, нечетко-лингвистические системы и модели, методы решения многокритериальных и дискретных экстремальных проблем, имитационное моделирование, а также методы проверки статистических гипотез, теория графов.

Достоверность результатов подтверждается экспериментальной проверкой адекватности разработанной базы имитационных моделей (БИМ), внедрением СППР в опытную эксплуатацию на участке Архара — Облучье ДВЖД для синтеза вариантных графиков движения поездов.

Практическая ценность результатов исследования заключается в разработке и внедрении СППР по синтезу оперативного графика движения поездов.

Кроме того, модульная структура СППР позволяет использовать программный комплекс как основу при решении смежных задач по управлению движением поездов. Разработанные методики по построению системы нечеткого вывода для описания модели предпочтений ЛПР и применению групповых технологий в методе поиска с запретами могут быть применены отдельно для решения задач в различных предметных областях.

ГЛАВА 1.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1. Исследование подходов к решению задач оперативного планирования и управления в нечетких ситуациях

Традиционный подход [35–37] к решению задач оперативного планирования и управления рассматривает их как хорошо структурированные проблемы. Основное внимание при этом уделяется предметной области и ее адекватному описанию. На современном этапе на передний план вышла проблема получения знаний о самом ЛПР [38].

Это обусловлено следующими причинами, порождающими нечеткость проблемы оперативного планирования и управления [39].

1. Изучение мотивации ЛПР показывает [40], что они не принимают к исполнению решений, которые вырабатываются без их участия. Кроме того, в оперативном режиме принятия решений ЛПР часто бывает единственным источником информации о контексте принимаемого решения и, соответственно, о возможном изменении цели управления. Лучшим вариантом организации процесса получения решения с этой точки зрения является самостоятельная выработка решения с последующим принятием ответственности за его реализацию. Однако это не всегда возможно в силу различных причин, в том числе из-за того, что ЛПР не успевает полноценно проанализировать ситуацию за отведенное на принятие решения время.

Таким образом, практически невозможно достичь полной структурируемости проблемы и свести ее к чисто математической задаче. Принципиальная неустранимость человека из процесса выработки решения вносит самую большую неопределенность в формулировку проблемы. Нечеткость, вносимая ЛПР, порождает многокритериальность оценок, субъективность предпочтений.

2. Вторым существенным источником нечеткости постановок задач является влияние случайных величин, воздействующих на управляемые процессы, и протекающие в объекте управления [41, 42].

3. Третья группа причин связана со сложностью математического моделирования процессов оперативного планирования и управления. Большое количество переменных и ограничений, дискретность, сложность аналитической записи заставляют исследователей отказаться от формирования строгих математических моделей и оставаться на словесном или полуформальном уровне формулировки проблем [43–46].

Наличие этих факторов неопределенности позволяет отнести задачи оперативного планирования и управления к разряду слабоструктурированных задач.

Анализ, проведенный в [40, 47], показал, что методы решения, основанные на концепции хорошей структурированности задач календарного планирования, не нашли применения в производственной практике. Наибольшее распространение получают методы, основанные на имитационном моделировании

[37, 47, 48] и экспертных системах [49, 50]. При этом использование экспертных систем без аппарата методов оптимизации и исследования операций также оказалось малоуспешным [39]. Реальные шансы на успех имеют методы решения, которые по своей мощности приближаются к системам поддержки принятия решений (СППР) [51–53].

В работе [54] показано, что происходит процесс сближения экспертных систем (ЭС) и систем поддержки принятия решений, а также проанализированы основные направления сращивания этих двух типов систем. При этом практические результаты применения ЭС и СППР часто неудовлетворительны [55] в силу того, что не принимаются во внимание интересы самого ЛПР.

Таким образом, для обзора состояния исследований выбраны следующие направления:

- системы поддержки принятия решений;
- методы решения многокритериальных задач;
- нечетко-лингвистические системы и модели;
- методы оптимизации, в частности методы решения дискретных экстремальных проблем.

Каждое из перечисленных направлений является самостоятельной областью исследований и описано в огромном количестве публикаций. Для того чтобы сузить область поиска, сконцентрируемся на особенностях конкретной проблемы. В данной работе предлагаемые методики используются в СППР по синтезу оперативного графика движения поездов. Рассмотрим эту задачу и то, какое место она занимает среди задач оперативного планирования движения поездов.

1.2. Анализ задач оперативного планирования движения поездов

В управлении процессами перевозок на железнодорожном транспорте существует широкий круг задач по планированию эксплуатационной работы [56, 81]. Решение этих задач (рассматривались железные дороги России, Польши, КНР) производится в несколько этапов: определение экономических параметров отрасли; создание плана формирования поездов; построение графика движения поездов (ГДП), включающего в себя графики оборота локомотивов, локомотивных и кондукторских бригад. Кроме этого, решение данных задач осуществляется несколько раз на разные периоды планирования. Формируются вариантные графики движения поездов на период полгода, квартал, месяц. Если речь идет о меньших периодах планирования, то говорят о прогнозном графике движения поездов. Результаты решения задач каждого этапа являются исходными данными для задач следующего этапа. Такая декомпозиция позволяет существенно упростить постановку задач каждого этапа.

В процессе уменьшения периода планирования происходит уточнение уже составленных графиков движения и доведение их до уровня оперативного управления. Свое полное выражение этот процесс находит в задаче построения прогнозного графика движения поездов (задача ПГДП). При решении задачи ПГДП учитываются две цели — точная реализация существующего ГДП и обеспечение

эффективного оперативного управления. Именно на этом уровне решается задача эффективной увязки результатов планирования с оперативным управлением.

Рассмотрим более подробно задачу ПГДП. В соответствии с методологией системного подхода [2] начнем исследование с анализа связей задачи ПГДП с другими задачами управления движением поездов. Задача ПГДП входит в состав задач автоматизированной системы обработки информации и управления (АСОИУ) на железнодорожном транспорте.

На рисунке 1.1 показана АСОИУ, находящаяся в центре информационных потоков процессов управления на железнодорожном транспорте. Это обосновано современными тенденциями по автоматизации всех производственно-технологических, административных и финансовых процессов на железнодорожном транспорте, а также стратегиями развития железных дорог, включающими переход на безбумажную технологию работы, что можно проиллюстрировать на примере Приволжской железной дороги [3].

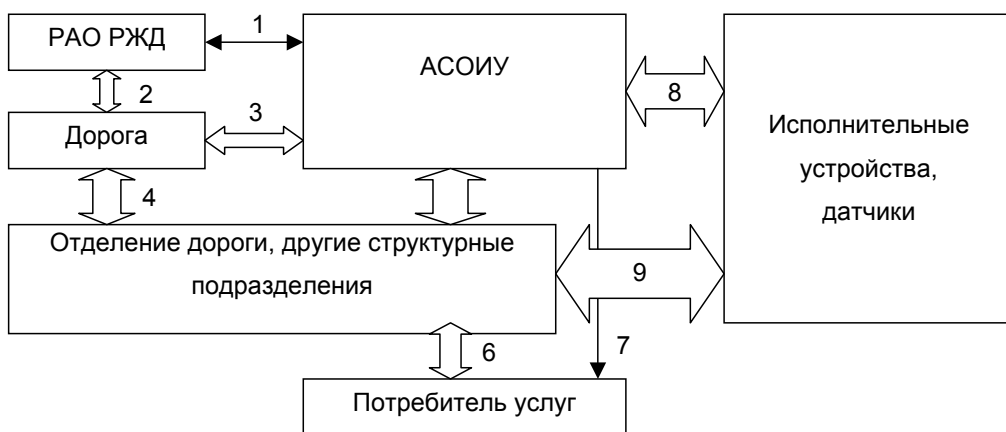


Рис. 1.1

АСОИУ на железнодорожном транспорте

Блоком «Исполнительные устройства, датчики» на рисунке 1.1 обозначаются в первую очередь устройства телеуправления и телесигнализации диспетчерской централизации, а также остальные технические средства дороги. Толщиной связей 1–9 на рисунке 1.1 обозначается относительная интенсивность информационных взаимодействий, происходящих по этому направлению.

Функции, относящиеся к планированию перевозок, которые в указанных условиях выполняет АСОИУ, классифицируем по уровням управления:

- макроуровень («РАО РЖД»). На этом уровне необходима информация об области варьирования эксплуатационных характеристик технологического комплекса в зависимости от выбора стратегии его развития. На основе этой информации производятся экономический прогноз и планирование транспортных потоков (на рис. 1.1 связи 1, 2);

- управленческий уровень («РАО РЖД» — «Дорога»). На основе принятых на предыдущем уровне решений формируется прогноз технологической

нагрузки. С использованием статистических методов выполняется оценка эксплуатационных параметров элементов технологического комплекса (перерабатывающая, провозная, пропускная способность). После чего прогнозный объем работы рационально распределяется по исполнительным устройствам. Задача этого уровня — получить план формирования поездов и график движения поездов на будущий год (на рис. 1.1 связи 2, 3);

- уровень оперативного планирования и управления («Дорога»). Операции по уточнению графиков движения поездов и доведению их до стадии реализации относятся к этому уровню. Из упоминавшихся в начале параграфа задач это задачи составления вариантных, прогнозных графиков движения поездов на различные периоды планирования. В процессе решения этих задач происходит принятие и обоснование решений о мероприятиях и о наилучшем моменте проведения мероприятий по производству ремонтных и реконструктивных работ (на рис. 1.1 связи 3, 4, 5, 8, 9);

- потребительский уровень. Потребителю услуг и служащим дороги, непосредственно участвующим в заключении договоров и сервисном обслуживании, необходима информация об уровне гарантий по доставке грузов, который может обеспечить дорога (на рис. 1.1 связь 6). Информационное обеспечение сервисного обслуживания — задача АСОИУ. В случае сбоя в ГДП необходим также прогноз фактического времени доставки груза с учетом реальной ситуации на дороге. Дополнительной задачей АСОИУ на этом уровне можно считать установление прямого информационного канала «АСОИУ» — «Потребитель» (на рис. 1.1 связь 7). Такая возможность предоставляется современным уровнем развития информационных сетей. Предоставление услуги по прямому авторизованному доступу к информации о местоположении груза и прогнозу времени его доставки увеличивает качество обслуживания потребителей и уменьшает издержки на это обслуживание.

С увеличением роли информационных технологий будет происходить перераспределение информационных потоков. Роль АСОИУ как концентратора и маршрутизатора информации будет возрастать, в то время как прямые информационные взаимодействия между структурными подразделениями будут уменьшаться. На рисунке 1.1 это можно проиллюстрировать увеличением роли связей 1, 3, 5, 7, 8 и уменьшением роли связей 2, 4. Таким образом, связи 2, 4 в процессе развития информационных технологий будут дублироваться и замещаться внутренними связями АСОИУ. В дальнейшем будем считать, что основные процессы по планированию перевозок происходят в рамках единой информационной системы — АСОИУ на железнодорожном транспорте.

На рисунке 1.2 собраны отмеченные выше задачи в их логической последовательности внутри АСОИУ. Из рисунка видно, что задача ПГДП является, по существу, задачей построения ГДП, но с учетом дополнительного фактора — фактического состояния перевозочного процесса. В качестве конкретной задачи оперативного планирования и управления используется задача ПГДП, которая отмечена штриховкой на рисунке 1.2.

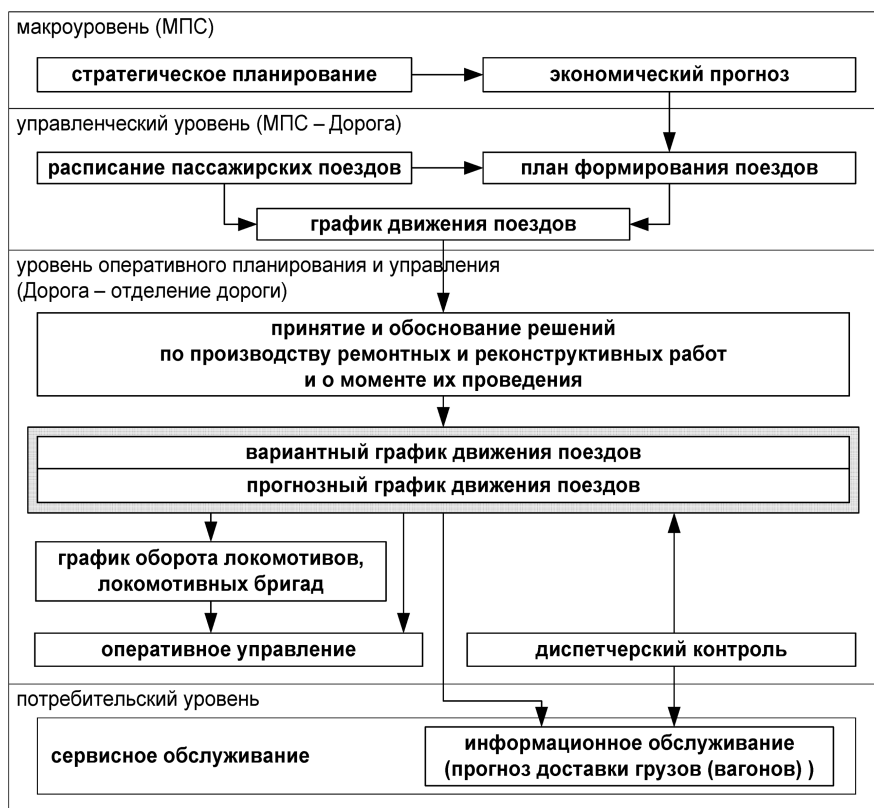


Рис. 1.2

Классификация задач по управлению движением поездов по уровням управления

Следует отметить, что на уровне оперативного планирования и управления кроме прямых связей, указанных на рисунке 1.2, значительную роль играют обратные связи, на рисунке 1.2 не указанные. Так, при построении графика оборота локомотивов необходимо учитывать соображения эффективности работы локомотивных бригад. При построении прогнозного и вариантного графиков надо обеспечить оптимальный режим использования локомотивов [4]. Принятие решений по производству ремонтных и реконструктивных работ осуществляется на основании выбора наилучшего вариантного графика движения поездов. Эти и другие особенности отражают сложную структуру внутренних и внешних взаимосвязей задачи ПГДП.

Анализ обратных связей для процесса построения ГДП сделан в работах [5, 6]. В данной работе необходимо учесть специфику задачи ПГДП. Для этого перечислим наиболее существенные в исследуемой проблеме подзадачи.

– Оптимизация планового графика движения поездов (ГДП) в зависимости от выбора лица, принимающего решение (ЛПР), по различным критериям оптимальности: по максимуму пропускной способности участка железной дороги, по минимуму эксплуатационных затрат (энергетические затраты, оплата труда, амортизационные издержки и др.).

– Взаимное согласование графика движения поездов, графика оборота локомотивов и графика оборота локомотивных бригад при оптимальном использовании ресурсов.

– Учет действительных параметров технологического комплекса (введение временных ограничений на скорость движения по участкам железной дороги, более точная оценка весовых и ходовых свойств составов, локомотивов).

– Учет действительного состояния перевозочного процесса, т. е. увязка в реальном времени с информацией из диспетчерских центров управления.

На рисунке 1.3 приведена структурная модель задачи ПГДП, прямые и обратные связи между ее элементами.

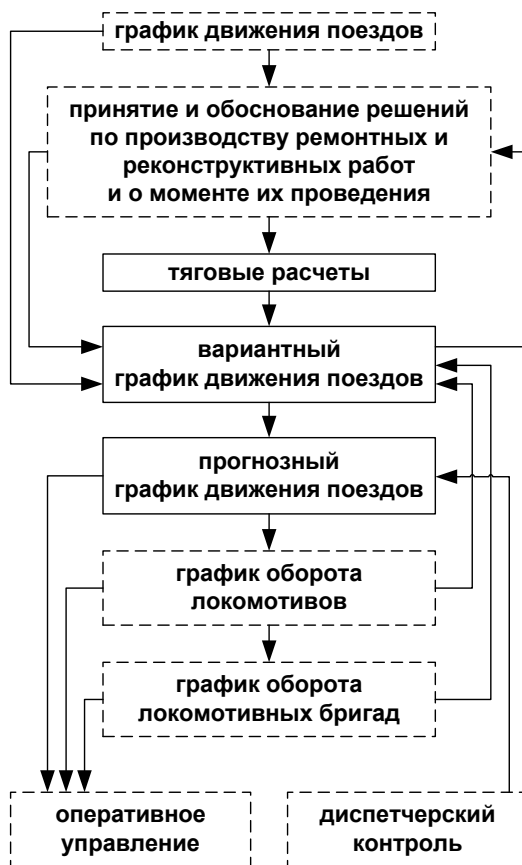


Рис. 1.3
Структурная модель задачи ПГДП

Сплошными линиями очерчены задачи, решение которых непосредственно рассматривается в данной работе, пунктирными линиями обозначены смежные с ними вопросы. С учетом вышесказанного перейдем к обзору состояния исследований по выбранным направлениям. Модель задачи может рассматриваться как четкая, так и нечеткая — недетерминированная. Так как еще не решили четкую, то начнем с нее.

1.3. Математические методы построения СППР

В соответствии с [51] системы поддержки принятия решений классифицируются по следующим признакам:

- концептуальные модели;
- пользователи;
- задачи принятия решений;
- программные средства;
- области применения;
- временной горизонт.

Классификация по концептуальным моделям определяет основные цели СППР, такие как использование знаний, информационный и инструментальный подходы. Позиция «пользователи» учитывает следующие моменты: уровень иерархии принимаемого решения, способ взаимодействия пользователя с ЭВМ, зависимость ЛПР от других лиц в процессе выработки решения. Характер решаемых задач состоит в уточнении следующих параметров: уникальная или повторяющаяся проблема, многокритериальная или целостная задача выбора, объективная или субъективная исходная информация. Характеристика программных средств включает их ориентацию на данные или на модели. Область применения классифицируется по самому широкому спектру направлений: макроэкономика, конторская деятельность, медицина и т. д. Временной горизонт имеет три градации: стратегическое планирование, среднесрочные решения и оперативное управление. Конкретизация всех вышеперечисленных параметров позволяет определить основные функции, выполняемые СППР, внутреннюю структуру программного обеспечения и основные позиции диалога с пользователем [39]. Для задачи синтеза оперативного графика движения поездов, рассмотренной в предыдущем параграфе, справедливы следующие положения.

Исходя из различных параметров, характеризующих СППР, формировались основные программные модели этих систем [1, 60, 61]. Для рассматриваемой задачи по приведенной совокупности характеристик наиболее подходит архитектура СППР, предложенная в [1] (рис. 1.4).

В соответствии с этой классификацией задача синтеза оперативного графика движения поездов относится к задаче оптимизации. Поэтому для решения этой задачи необходима разработка следующих блоков СППР: раздел базы знаний, хранящий субъективное мнение ЛПР о важности показателей эффективности в многокритериальной оптимизационной задаче; математический раздел базы знаний, хранящий субъективное мнение ЛПР о важности показателей эффективности в многокритериальной оптимизационной задаче; математическое обеспечение СППР со специализированными алгоритмами оптимизации и база имитационных моделей (БИМ), содержащая модели предметной области.

Кроме этого, согласно [62], для успешного функционирования СППР и экспертных систем они должны удовлетворять следующим требованиям:

- следить за непротиворечивостью базы знаний;
- обладать четкой процедурой формирования базы знаний;

- предоставлять информацию в виде, удобном для пользователя;
- выдавать информацию за приемлемое время;
- четко разъяснять все используемые параметры и переменные;
- обеспечить удобный режим пользователю;
- давать полное представление о возможностях системы;
- обеспечить возможность взаимодействия нескольких взаимосвязанных систем;
- обеспечить возможность модификации и перестройки системы в соответствии с новыми условиями функционирования.

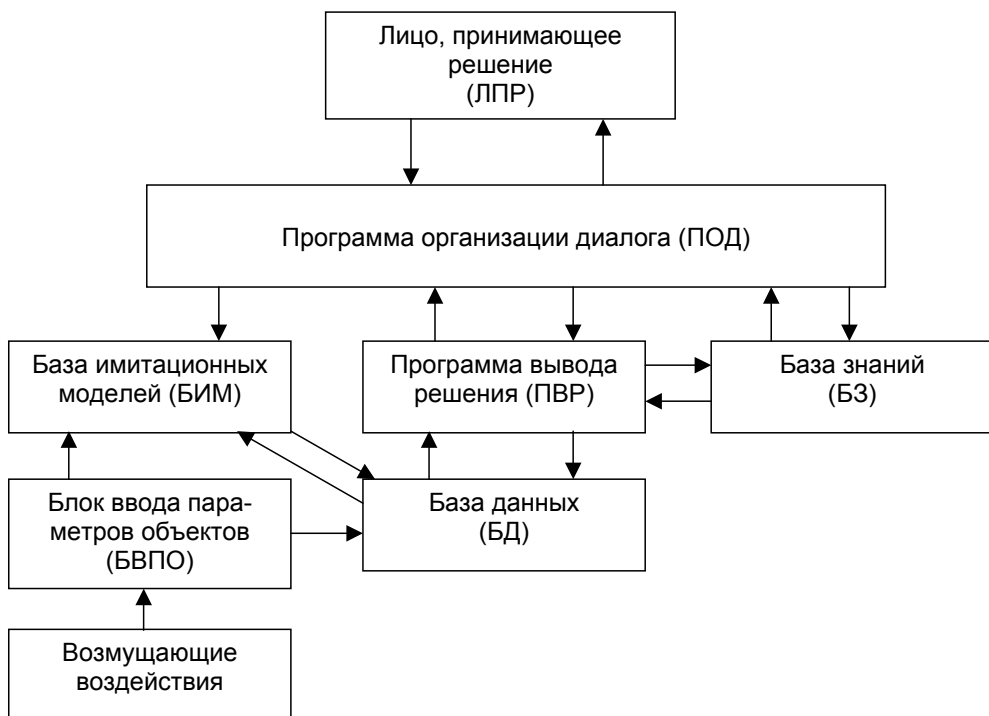


Рис. 1.4
Архитектура СППР

Рассмотрим методы решения многокритериальных задач. Исходя из классификации, выдвинутой в [57], существуют три обобщенных класса многокритериальных моделей оптимизации:

- априорные;
- апостериорные;
- адаптивные.

В априорных моделях многокритериальной оптимизации требуемой дополнительной информацией является принцип оптимальности, представленный в явном виде, либо формульным соотношением между частными свойствами альтернативы, либо понятием лучшего решения, определение которого становится возможным на основе бинарного отношения доминирования на множестве

оценок. В этом случае вводимое соотношение интегрирует сочетание оценок альтернативы в скалярную характеристику качества. Таким образом, здесь многокритериальная задача сводится к задаче скалярной оптимизации.

В основе апостериорных многокритериальных моделей оптимизации лежит предположение о том, что формальная модель задачи не содержит достаточной информации, по которой ЛПР может сформулировать соответствующий целевой установке принцип оптимальности в таком виде, как того требуют априорные модели.

Поэтому здесь ставится задача полного восстановления принципа оптимальности в явном виде по частичной дополнительной информации о нем. В качестве дополнительной информации используются предположения о свойствах принципа оптимальности, соответствующие физической сущности конкретной задачи принятия решения, и выявляемая определенными процедурами частичная информация, характеризующая предпочтения ЛПР на множестве оценок. Восстанавливаемый принцип оптимальности задает формальную модель описания системы предпочтений ЛПР. Данная модель используется в качестве целевой функции для решения общей задачи оптимизации.

Наконец, в адаптивных многокритериальных моделях оптимизации не предполагается введение или полное восстановление принципа оптимальности в явном виде. Здесь правдоподобные предположения о свойствах принципа оптимальности, свойствах системы предпочтений ЛПР и частичная информация о предпочтениях ЛПР используются непосредственно в процедурах поиска лучшей альтернативы. Таким образом, в адаптивных моделях решается общая задача оптимизации по неявно заданному принципу оптимальности.

Учитывая, что принцип оптимальности задачи оперативного планирования и управления зависит от контекста принимаемого решения, то эта задача не может быть решена при помощи априорных моделей многокритериальной оптимизации. Таким образом, для ее решения возможно применение апостериорных и адаптивных моделей, причем более предпочтительными являются апостериорные модели, так как адаптивные модели выдвигают дополнительные требования к оптимизационным алгоритмам и усложняют их разработку [58].

Большую теоретическую и практическую значимость имеет модель векторной оптимизации. Данный принцип оптимальности формулируется на основе отношения доминирования по Парето. Согласно этому отношению, альтернатива $x_1 \in X$ предпочтительнее альтернативы $x_2 \in X$, если $f_i(x_1) \geq f_i(x_2)$ для всех $i = 1, \dots, m$ и хотя бы для одного i выполняется неравенство $f_i(x_1) > f_i(x_2)$, где X — пространство решений; x_1, x_2 — альтернативы; f_i — i -й показатель эффективности; m — количество показателей эффективности, характеризующих альтернативы. Модели векторной оптимизации дают полный ответ на вопрос, чего можно достичь в решении задач на основе лишь информации, содержащейся в их формальных моделях. Кроме того, понятие парето-оптимальности альтернативы позволяет сформулировать одно из необходимых регуляризирующих рациональных требований к принципу оптимальности в любой задаче. Требование заключается в том, что выбираемая альтернатива при любой используемой модели многокритериальной оптимизации должна быть парето-оптимальной. Не-

достаток моделей векторной оптимизации в том, что они по самой постановке задачи не обеспечивают в общем случае нахождения лучшей альтернативы, а предлагают в качестве решения множество альтернатив [58]. Это неприемлемо с вычислительной точки зрения для задач оперативного планирования и управления, для которых количество парето-оптимальных решений может быть очень большим [39].

К априорным моделям многокритериальной оптимизации относятся также: модели целевого программирования (метод целевой точки, метод «идеальной» точки), ряд моделей скаляризации векторного критерия, в частности метод скаляризации на основе свертки-суммы (по принципу равномерной оптимальности), свертки-произведения (по принципу справедливого компромисса), максимизационной свертки, свертки Кобба — Дугласа (по принципу гарантированного результата) [40, 59, 71].

Модели скаляризации векторного критерия, относящиеся к классу апостериорных, рассматриваются в теории полезности, задача которой формулируется следующим образом [59]: найти функцию $\varphi(f(x))$, $x \in X$, связанную с системой предпочтений ЛПР так, что $x_1 \succ x_2 \vee x_1 \sim x_2 \Leftrightarrow \varphi(f(x_1)) \geq \varphi(f(x_2)) \forall x_1, x_2 \in X$.

Можно выделить аксиоматические методы построения функции полезности, прямые методы, методы компенсаций, методы порогов несравнимости [35, 40, 51, 59, 71].

Отметим те особенности задач оперативного планирования и управления в нечетких ситуациях, которые препятствуют применению вышеперечисленных подходов.

Во-первых, в процессе работы с вариантами решений мнение эксперта о значимости критериев может сильно измениться.

Во-вторых, для оценки предпочтительности одного варианта по сравнению с другими в задачах оперативного управления недостаточно знать только значение оценочных показателей. В большинстве случаев требуется развернутое представление изучаемого варианта в виде план-графиков или в другой наглядной форме.

В-третьих, методы решения многокритериальных задач, предлагаемые ранее, апробировались на многокритериальных задачах линейного программирования [15, 40]. Это связано с тем, что решение однокритериальных задач линейного программирования сравнительно просто с вычислительной точки зрения и часто используется для получения промежуточных результатов. Совсем другая ситуация складывается при решении задач оперативного планирования и управления. Их математические модели существенно нелинейны, дискретны и имеют большую размерность. В силу этого точное решение даже однокритериальных задач данного класса представляет большие трудности с вычислительной точки зрения [53].

Поэтому методы решения многокритериальных задач, которые для своей реализации требуют точного решения промежуточных однокритериальных задач, либо полностью неприемлемы, либо требуют существенной переработки.

В последнее время наиболее широкое распространение для решения многокритериальных задач получили апостериорные многокритериальные модели, основанные на интерактивных человеко-машинных процедурах и алгоритмах [42, 63–65, 70]. При построении таких процедур большое значение имеют требования комфортности и корректности [40, 51]. Большинство замечаний, сделанных выше, справедливы и для этих человеко-машинных процедур. В работе [39] разработан подход, учитывающий указанные особенности задач оперативного планирования и управления и позволяющий на базе нечетких понятий формализовать функцию предпочтения эксперта, т. е. сформировать математическую модель самого ЛПР. Такой же подход используется в работе [15] при рассмотрении общих задач нечеткого программирования.

Он заключается в представлении показателей эффективности в виде нечетких и лингвистических переменных, а затем в решении соответствующей задачи нечеткого программирования.

На основании [15, 39] можно сделать вывод, что лингвистический подход в описании модели предпочтений ЛПР является наиболее универсальным методом из рассмотренных моделей многокритериальной оптимизации.

Рассмотрим лингвистический подход более подробно. В его основе лежит понятие нечеткой и лингвистической переменных, введенное Л. Заде [66] в 1976 г.

Нечеткой переменной называется кортеж $\langle \alpha, X, C \rangle$, где α — наименование нечеткой переменной; $X = \{x\}$ — область ее определения; $C = \bigcup_{x \in X} \mu_{\alpha}(x)$ — нечеткое множество на X , описывающее ограничения на возможные значения нечеткой переменной α ; $\mu_{\alpha}: X \rightarrow [0...1]$ — функция принадлежности (ФП) нечеткого множества.

Лингвистической переменной называется кортеж $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β — наименование лингвистической переменной; T — множество ее значений (или термов), представляющих собой наименования нечетких переменных, областью определения каждой из которых является множество X .

Множество T будем называть базовым терм-множеством лингвистической переменной, G — синтаксической процедурой (в частности формальная грамматика), описывающей процесс образования новых, осмысленных для данной задачи управления значений лингвистической переменной исходя из ее терм-множества. Множество $T^0 = T \cup G(T)$ назовем расширенным терм-множеством лингвистической переменной, M — семантической процедурой, позволяющей превратить каждое новое значение лингвистической переменной, образуемое процедурой G , в нечеткую переменную, т. е. приписать ему некоторую семантику путем формирования соответствующего нечеткого множества [15].

Важную роль в задании нечетких функций вида $f: X \rightarrow Y$ играет принцип обобщения Л. Заде, позволяющий расширить определение обычных четких функций на случай нечетких аргументов.

Пусть $f: X \rightarrow Y$, $g: X \times Y \rightarrow Z$ — обычные функции, A — нечеткое множество в X с ФП $\mu_A(x)$, B — нечеткое множество в Y с ФП $\mu_B(y)$, $y \in Y$. Согласно

принципу обобщения, $f(A)$ имеет ФП $\mu_A(x)|f(x)$, $g(A, B)$ — функцию принадлежности:

$$\mu_g(x, y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\} | g(x, y).$$

Любой оператор, содержащий в своей формулировке по крайней мере одну нечеткую или лингвистическую переменную, нечеткую функцию или нечеткое отношение, будем называть нечетким оператором [66, 67].

Последовательность нечетких операторов, приводящую к приближительному нечеткому решению поставленной задачи, назовем нечетким алгоритмом. Впервые понятие нечеткого алгоритма было введено в работе Л. Заде [68].

Адаптация нечеткого алгоритма для систем автоматического управления привела к появлению систем нечеткого вывода [68]. Эти системы дополняют нечеткий алгоритм двумя преобразованиями: на входе алгоритма они преобразуют четкие переменные в соответствующие нечеткие (фазификация), на выходе производят обратное преобразование (дефазификация). Это позволяет использовать нечетко-лингвистические алгоритмы и системы для управления объектами, требующими обычных управляющих воздействий.

Нечетким программированием называется задача математического программирования, содержащая нечеткие переменные, целевые функции или ограничения [15].

Выделяются следующие типы задач нечеткого программирования [15]:

1. Максимизация заданной обычной функции на заданном нечетком множестве допустимых альтернатив.
2. Максимизация заданной нечеткой функции при нечетких ограничениях на заданном четком множестве допустимых альтернатив.
3. Максимизация заданной нечеткой функции на заданном нечетком множестве допустимых альтернатив.
4. Максимизация заданной обычной функции при нечетких ограничениях на заданном нечетком множестве допустимых альтернатив. Сводится к задачам типа 1 или 2.
5. Максимизация заданной нечеткой функции при нечетких ограничениях на заданном нечетком множестве допустимых альтернатив. Сводится к задаче типа 3.

Рассматриваемая задача не содержит нечетких параметров в модели предметной области, поэтому множество допустимых альтернатив задано четко. Соответственно, она относится ко второму типу задач нечеткого программирования.

Для второго типа задач при дискретной или нелинейной модели в [15] предлагаются методы решения, основанные на понятии парето-оптимальности α -уровня. Эти методы не могут быть применены для решения задач оперативного планирования и управления из-за большой вычислительной сложности. В программировании [39] рассматриваются задачи 3-го типа, т. е. предусматривается наличие нечетких переменных не только в модели предпочтений ЛПР, но и в параметрах оптимизируемой модели. Это ведет к необходимости нечетких оптимизационных алгоритмов, аппарат которых значительно менее проработан, чем аппарат методов классической, четкой оптимизации.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru