

ИНТЕЛЛЕКТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ РЕГИОНА¹

И.В. Бычков, А.Л. Казаков, А.А. Лемперт, Д.С. Бухаров, А.Б. Столбов

Описана интеллектуальная система, реализованная на основе онтологий и формализованных знаний экспертов, математических моделей и численных методов. Разработан комплексный подход к исследованию транспортно-логистических систем, основанный на предложенной авторами концепции многоуровневого моделирования. Приведены краткие описания построенных математических моделей и интегрированных в систему программных модулей. Для организации взаимодействия между модулями и при обработке неполных статистических данных применены современные средства интеллектуализации. Описаны некоторые из решенных с помощью разработанной системы модельные и прикладные задачи.

Ключевые слова: интеллектуальная система, продукционные правила, база знаний, онтология, интеграция, многоуровневое моделирование, транспорт, логистика.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортно-логистическая инфраструктура определяется как комплекс взаимосвязанных элементов, обеспечивающих движение материальных потоков [1]. В число ее ключевых функций входят повышение уровня социально-экономического развития региона благодаря эффективному функционированию различных видов транспорта и формированию сбалансированной транспортной сети, удовлетворение потребности экономических субъектов в транспортных и логистических объектах и совершенствование работы складской системы.

Как отмечают многие специалисты [2], в последние годы назрела необходимость комплексного исследования проблем транспорта и логистики, а именно рассмотрения процессов и объектов транспортно-логистической инфраструктуры с точки зрения их взаимодействия как сложной системы.

Для учета сложной иерархической структуры транспортных систем и особенностей транспортных процессов необходимы адекватные математические модели и методы и обработка разнородной

и сложно организованной информации. В зависимости от целей конкретного исследования могут применяться дискретные или непрерывные, детерминированные или стохастические описания. К настоящему времени разработано большое число моделей и методов, предназначенных для решения конкретных задач транспорта и логистики, среди которых можно отметить динамические модели на транспорте, применение теории и методов дискретной оптимизации и целочисленного программирования для оптимального размещения объектов инфраструктуры [2, 3], методы двухуровневой оптимизации [4], вероятностный подход к моделированию транспортных систем [5] и др.

Разработано и реализовано достаточно много программных систем, автоматизирующих решение различных задач, возникающих при исследованиях в области транспортной логистики. Так, в рамках общего исследования проблем территориального развития регионов России Отделом территориальных систем Института экономики и организации промышленного производства СО РАН разработан программно-модельный комплекс RTA. Основная задача комплекса состоит в оценке изменения показателей транспортной доступности при освоении новых регионов и оценке различных сценариев развития транспортной инфраструкту-

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 12-07-13116-ОФИ-РЖД, 14-07-00222).

ры. В состав комплекса входят различные средства визуализации эффекта от прокладки железнодорожных путей и автодорог. По заказу Минтранса РФ консалтинговая компания «Геограком» разработала одноименную систему (на базе геоинформационной системы (ГИС) «Панорама») [6], предназначенную для диагностики «узких мест» транспортной системы и ее мониторинга, построения основных стратегий и сценариев развития дорожного хозяйства при разных налоговых схемах, оценки внешней окупаемости сетевых проектов. Система способна генерировать альтернативные инвестиционные программы. Система OLSIM позволяет визуализировать загруженность дорожной сети на основе информации, поступающей с детекторов движения, а также прогнозировать развитие дорожной ситуации на период до 60 мин с помощью имитационной модели, базирующейся на идеологии клеточных автоматов [7]. Система ГАММА (геометрические алгоритмы моделирования) предназначена для моделирования дорожного движения, основываясь на моделях сплошной среды и разбивая ее на ячейки с целью уменьшения вычислительных затрат путем применения массового параллелизма. В качестве модели среды используется сжимаемая вязкая жидкость [8]. В Институте динамики систем и теории управления СО РАН [9] выполнен анализ региональной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры (на примере Иркутской области), предложен ряд ГИС и информационно-аналитических систем для органов государственной власти и местного самоуправления, включая ГИС «Мониторинг социально-экономического положения», в которой имеется раздел «Транспорт» (железнодорожный, воздушный, автомобильный, речной). Также существует ряд систем, программный инструментарий которых предназначен для обработки информации, поступающей в режиме реального времени на центральный сервер с различных датчиков, установленных на автомобильных дорогах: «Project Prometheus», «Project AMTICS and RACS», EMME/2, MVA, HDM-IV.

Отметим, что все упомянутые системы ориентированы на решение отдельных задач и не позволяют проводить комплексные исследования, направленные на решение проблем развития транспортно-логистической инфраструктуры региона как целостной системы. В частности, отсутствует возможность совместного использования моделей различных (макро-, мезо- и микро-) уровней.

В данной статье представлены результаты, позволяющие решить указанную проблему, описан комплексный подход к многоуровневому моделированию транспортных систем, разработана онтологическая модель предметной области и система представления обработки знаний экспертами в ви-

де продукции. На их основе создана интеллектуальная система управления развитием транспортно-логистической инфраструктуры региона (ИСУ).

1. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ

Комплексное исследование транспортно-логистической инфраструктуры осуществляется на трех уровнях: на верхнем уровне разрабатывается качественный прогноз развития отраслей на основе экономических и эколого-экономических моделей; на среднем уровне с учетом прогноза, полученного на верхнем уровне, определяется качественный и количественный состав необходимых инфраструктурных объектов и производится их размещение на территории региона; на нижнем уровне моделируется работа отдельных объектов и анализируются экологические последствия полученного варианта, делаются выводы и уточняются модели верхнего и среднего уровней и формируются дополнительные ограничения (рис. 1).

Программным ядром ИСУ служит экспертная система (ЭС), позволяющая исследователям в интерактивном режиме выбирать методы и средства, подходящие для решения конкретной задачи развития инфраструктуры региона. Для используемых в рамках ИСУ моделей, методов и программных средств, реализующих необходимые вычисления, созданы формализованные описания, представленные в базе знаний фреймового типа.

Для удобства разработки и поддержки в актуальном состоянии база знаний ЭС разбита на три части:

— МПО — онтологические модели предметных областей; здесь задаются понятия (отрасль, реги-

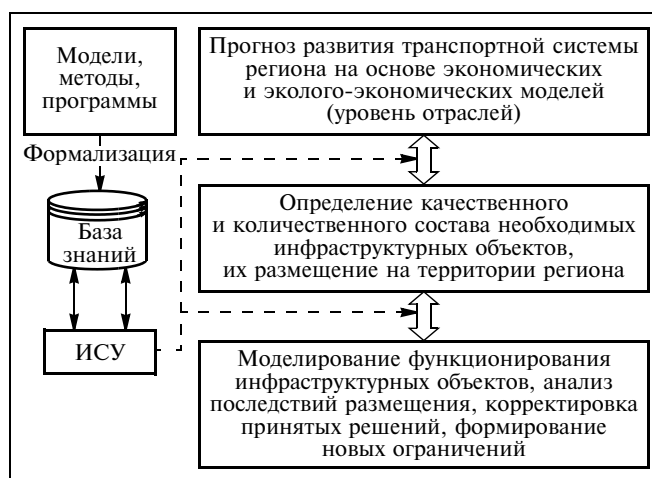


Рис. 1. Методология исследования транспортно-логистической инфраструктуры



Рис. 2. Типы ресурсов транспортно-логистической инфраструктуры

он, запасы, ресурсы, концентрация загрязняющих веществ и др.);

— МУМ — логическое описание взаимодействия уровней моделирования, оно включает такие термины, как модель, метод, прогноз развития отрасли, инфраструктурный объект, экологическое состояние территории, территориальное ограничение, схема корректировки параметров модели;

— МПМ — спецификация программных модулей и их взаимодействия; примерами используемых в ней понятий служат модель, метод, входные и выходные данные, настраиваемые параметры модуля, расчетная функция, файл данных и др.

Онтология МПО представляет собой оригинальную онтологию транспортно-логистической инфраструктуры региона. В ней используются существующие онтологии [10, 11], применяемые для описания различных частных проблем, возникающих в исследуемой предметной области. На рис. 2 представлена одна из ее основных частей — онтология типов ресурсов транспортно-логистической инфраструктуры.

Логическое описание взаимодействия уровней моделирования используется для представления связей между представлением инфраструктуры исследуемого объекта и поставленных пользователем задач, описанных в предметных терминах, с процедурами их решения. Эти связи формализованы в виде набора продукционных правил, используемых ЭС.

Спецификации программных модулей представляются в виде фреймов ЭС. Спецификация модуля включает в себя названия моделей и мето-

дов, реализованных в модуле; задачи (в терминах МУМ), которые он может решать; описания входных и выходных данных; настраиваемые параметры, режимы работы и т. п.

Примеры решаемых ИСУ задач: определение «узких мест» в транспортной системе региона, формирование рекомендаций по прокладке новых и изменению существующих маршрутов, определение местоположения терминалов и их количественного состава в условиях реализации различных сценариев развития региона. Возможные варианты изменений в транспортно-логистической инфраструктуре могут быть исследованы на уровне региональных многоотраслевых моделей.

Фрагмент онтологии логического описания взаимодействия уровней моделирования представлен на рис. 3.

2. АРХИТЕКТУРА ИСУ

В ИСУ вычислительный процесс планируется на основе интеграции модулей по данным: результаты работы каждого модуля служат исходными данными для другого модуля. В процессе передачи данных между модулями осуществляется преобразование их форматов. Для организации вычислительного процесса каждый включаемый в ИСУ модуль сопровождается спецификацией. В качестве основы представления данных, передаваемых между модулями, выбран формат XML, так как он поддерживается стандартными технологиями его обработки (трансляции, верификации, порождения и т. п.).

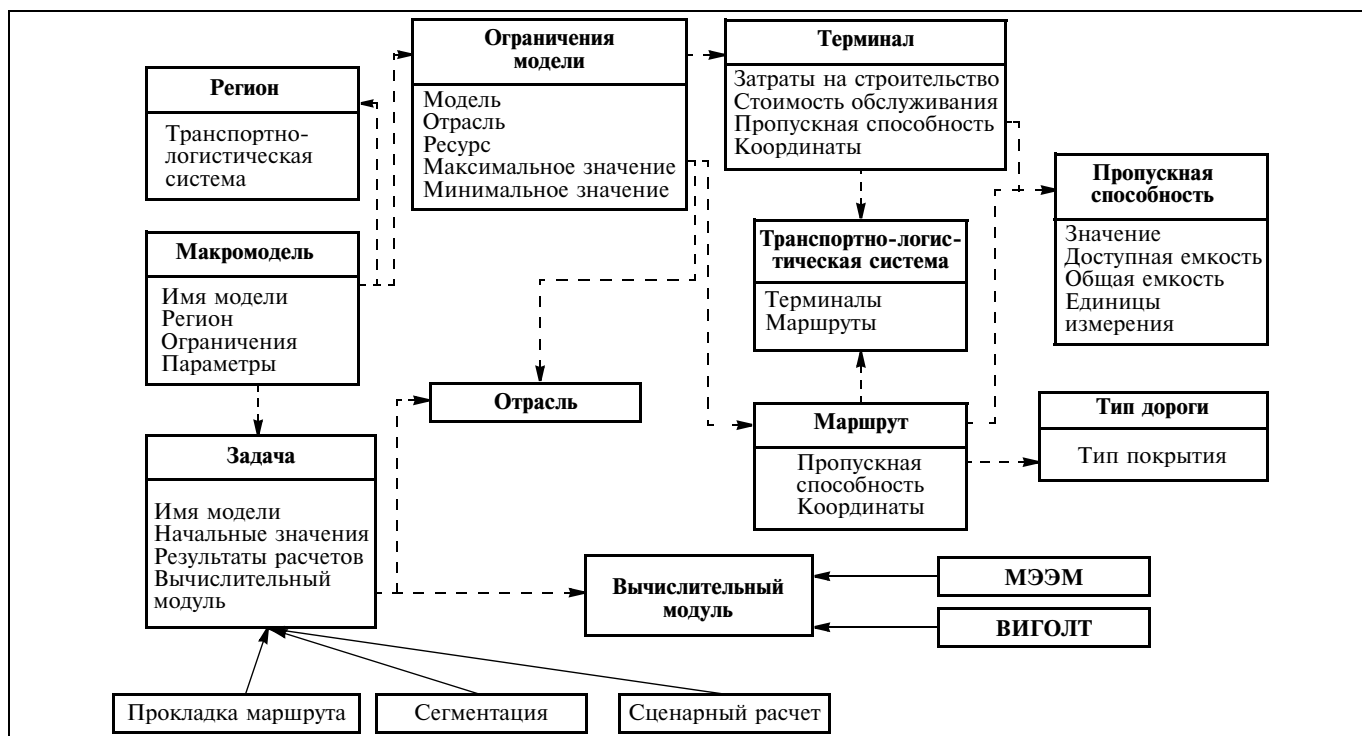


Рис. 3. Пример онтологии логического описания взаимодействия уровней моделирования: МЭЭМ, ВИГОЛТ — вычислительные модули (см. далее)

Проектирование и реализация ИСУ выполнены с помощью современных технологий и средств разработки программного обеспечения. Онтология предметной области разрабатывается в программной системе Protege [12]. База знаний ИСУ представлена в виде комбинации продукционных правил и фреймов. Обработка базы знаний осуществляется средствами механизма логического вывода системы CLIPS [13]. Продукционные правила сгруппированы по разделам, ЭС обрабатывает эти разделы независимо, осуществляя взаимодействие между ними через общее информационное пространство [14].

Функционирование ИСУ описывается последовательностью операций, обозначенных на рис. 4 цифрами: 1 — осуществляется выбор исследуемого региона и формулировка задач моделирования в терминах МПО и МУМ, запрос на вычисление от клиентского программного обеспечения к управляющему модулю ИСУ; 2 — запускается ЭС и выполняется логический вывод интерпретации задачи моделирования в терминах последовательности действий (плана), которую необходимо выполнить, чтобы получить решение задачи; 3 — в процессе вывода выполняется обмен служебной информацией между ЭС и УМ и вызов необходимых программных процедур; 4 — выбор вычислительных модулей, реализующих каждый этап синтезированного плана, при этом логический вывод

останавливается и текущее состояние сохраняется в рабочей памяти; на основе значений фреймов МПМ формируются входные данные для вычислительных модулей в формате xml; 5 — запускается полученная последовательность модулей, данные передаются между модулями в виде xml-файлов; 6 — передача результатов вычисления в управляющий модуль, который на их основе добавляет в БЗ новые факты в формате соответствующих фреймов МПМ и МУМ; 7 — запуск ЭС с обновленной базой знаний и передача результатов решения на анализ и выработку конкретных рекомендаций; 8 — формируется результат комплексного анализа в терминах МПО; 9 — результаты решений передаются от управляющего модуля к клиентскому программному обеспечению в терминах МПО.

Для иллюстрации возможностей применения разработанной ИСУ для комплексного изучения и управления транспортно-логистической инфраструктурой региона выбраны определенные вычислительные модули. В качестве средства моделирования на первом уровне исследования используется программный комплекс МЭЭМ (медико-эколого-экономическое моделирование) [15], предназначенный для анализа и прогнозирования экономического развития региона с учетом экологических и медицинских факторов, таких как загрязнение окружающей среды и его влияние на здоровье населения. В качестве математического аппарата взят

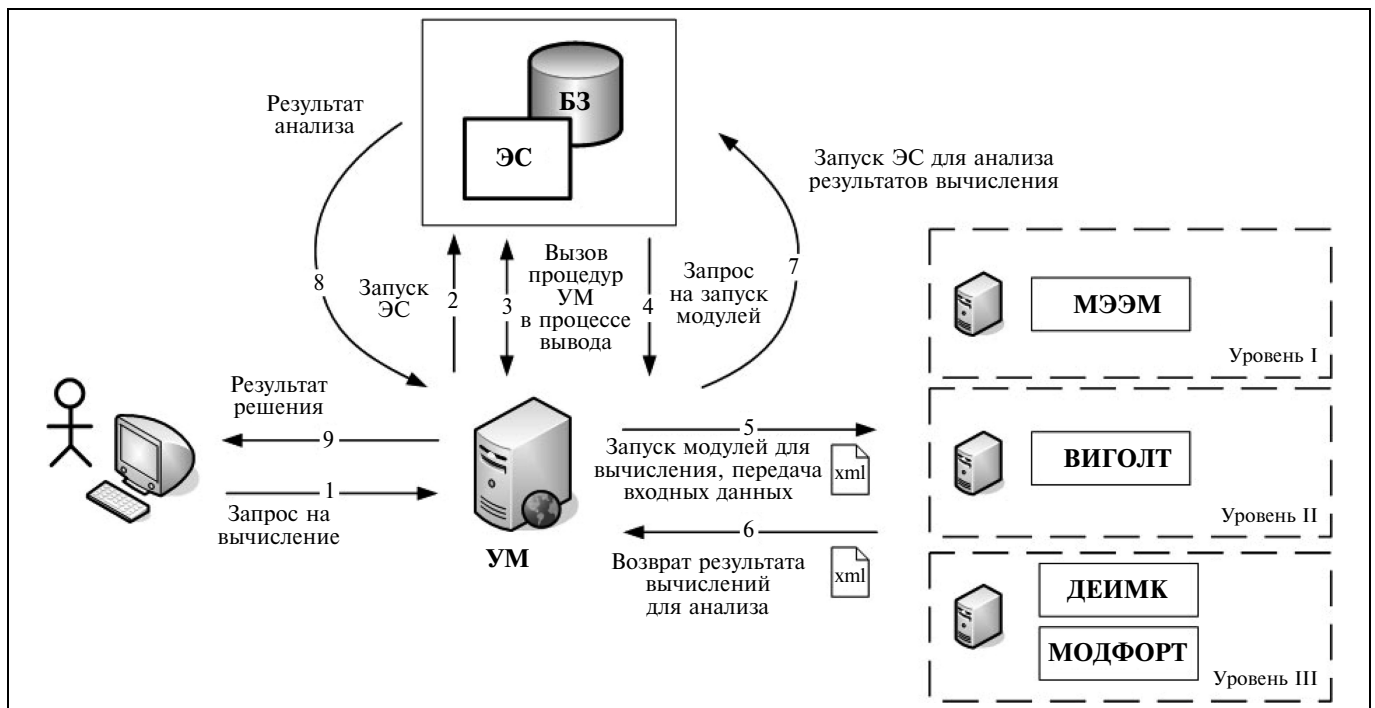


Рис. 4. Архитектура ИСУ: БЗ — база знаний; УМ — управляющий модуль; ДЕИМК, МОДФОРТ — вычислительные модули (см. далее)

ты динамические балансовые модели типа «Регион», предложена процедура исследования модели с применением магистральных решений.

Для второго уровня применяется система ВИГОЛТ (вариационное исчисление, геометрическая оптика, логистика, транспорт) [16, 17–20], предназначенная для решения задач построения оптимальных маршрутов прокладки коммуникаций, оптимального размещения логистических объектов и сегментации зон обслуживания. Применяется математический аппарат бесконечномерной оптимизации (вариационного исчисления) и оригинальные численные методы, в основе которых лежит аналогия между минимизацией интегрального функционала и распространением света в оптически неоднородной среде.

Для третьего уровня применяются программные комплексы МОДФОРТ (ModForT: Modeling, Forecasting, Transport) ДЕИМК (DEIMC: Differential Equations Inventory Management Computing) [21]. Первый предназначен для моделирования и прогнозирования работы грузовых терминалов железнодорожного транспорта. Предполагается, что грузы доставляются железнодорожным транспортом, а вывозятся автомобильным, причем входящий и исходящий транспортные потоки могут носить случайный или детерминированный характер, обслуженные заявки (принятые грузы) покидают терминал не напрямую, а через склад. В качестве математической модели применяется немарковская система массового обслуживания,

которая исследуется методами статистического моделирования (Монте-Карло). Более подробно данная модель описана далее. Программный комплекс ДЕИМК применяется для моделирования работы системы управления запасами (поставками), в которой поставки предполагаются непрерывными; учитывается наличие временного промежутка между принятием управленческого решения и его практической реализацией. В качестве математического аппарата использованы дифференциальные уравнения с отклоняющимся аргументом, при решении которых применяется авторский алгоритм, основанный на классическом методе шагов [22–24].

Рассмотрим пример спецификации модуля ВИГОЛТ. Он предназначен для решения ряда задач: прокладка оптимального маршрута (модель оптимальной организации коммуникаций); сегментация зон обслуживания (модель сегментации логистических зон обслуживания); размещение терминалов (модель оптимального размещения логистических объектов, модель сегментации логистических зон обслуживания); определение оптимального количества терминалов (модель оптимального размещения логистических объектов, модель сегментации логистических зон обслуживания); прокладка кратчайшей сети дорог (модель оптимальной организации коммуникаций).

Представим описание входных данных, используемых модулем ВИГОЛТ при решении каждой транспортно-логистической задачи.

— Прокладка оптимального маршрута: (x, y, p) , где p — некоторый исследуемый показатель (например, численность/плотность населения в точке (x, y) , стоимость прокладки маршрута, стоимость строительства инфраструктурного объекта); $A(x, y)$ — начальная точка искомого маршрута; $B(x, y)$ — конечная точка искомого маршрута.

— Сегментация зон обслуживания: (x, y, p) ; $A_i(x, y)$ — координаты расположения логистического объекта, $i = 1, \dots, k$, где k — число логистических объектов.

— Размещение терминалов: (x, y, p) ; $B_j(x, y)$ — координаты расположения потребителя, $j = 1, \dots, s$, где s — число потребителей.

— Прокладка кратчайшей сети дорог: (x, y, p) ; $A_i(x, y)$ — координаты расположения логистического объекта, $i = 1, \dots, k$, где k — число логистических объектов.

— Определение оптимального количества терминалов: (x, y, p) ; $B_j(x, y)$ — координаты расположения потребителя, $j = 1, \dots, s$, где s — число потребителей; C_i — стоимость открытия i -го терминала, $i = 1, \dots, k$.

Для того чтобы ЭС имела возможность оперировать описанными вычислительными модулями, они должны быть соответствующим образом описаны в терминах МПМ. Необходимо указать как технические данные (место хранения исполняемого файла, папки для загрузки исходных данных для вычислений и т. п.), так и содержательную информацию (список решаемых задач, поддерживаемых методов и моделей в терминах МУМ). После того, как закончен подготовительный этап по описанию программных модулей, начинается непосредственный процесс исследования транспортно-логистической инфраструктуры региона.

На *первом* этапе работы производится настройка ИСУ для конкретного региона: на основе предложенной онтологии предметной области необходимо ввести данные о состоянии региона и его транспортно-логистической инфраструктуры. Тем самым производится заполнение МПО.

Второй этап, согласно методологии исследования, состоит в постановке задач для макромоделей, где транспорт рассматривается как одна или несколько отраслей во взаимодействии с другими секторами экономики региона. На этом этапе у исследователя существует возможность многовариантного сценарного анализа, в ходе которого могут быть выявлены ситуации, когда экономическое развитие ограничивается возможностями транспортной отрасли. В этом случае ИСУ на третьем этапе должна предложить рекомендации по изменению транспортно-логистической инфраструктуры.

В зависимости от ситуации, экспертной системой пользователю будут предложены такие мероприятия, как прокладка новых и изменения существующих маршрутов, определение местоположения терминалов и их численности и т. п. Реализация рекомендаций основана на использовании моделей и методов, относящихся к среднему уровню комплексного исследования (см. рис. 1). Какие именно действия предпринять для реализации рекомендаций и с помощью каких средств эти действия осуществить, определяет ЭС. Основным источником информации для принятия решений ЭС на этом, *третьем*, этапе служит МУМ, но также организован диалог с пользователем, позволяющий получать дополнительную информацию для ЭС и влиять на процесс исследования. Результат третьего этапа — новая транспортно-логистическая инфраструктура, соответствующая некоторому заданному сценарию развития региона.

На *четвертом* этапе анализируются отдельные объекты транспортно-логистической инфраструктуры. Подробный пример моделирования работы такого объекта — грузового железнодорожного терминала — рассмотрен в § 3.

Для иллюстрации работы ЭС рассмотрим более подробно переход между вторым и третьим этапами исследования и приведем примеры производственных правил, применяемых для анализа результатов первого уровня и последующего формулирования задач для второго уровня. Применение описанных далее правил реализует рекомендацию «если существуют ограничения по транспортной отрасли, то необходимо увеличить пропускную способность транспортной системы». Экспертная система предлагает несколько вариантов действий для выполнения этой рекомендации, формирует соответствующие постановки задач, определяет программные модули, способные решить эти задачи, устанавливает исходные данные и запускает модули на вычисление.

Первая группа правил в рассматриваемом примере применяется для анализа сценарных расчетов, проведенных на основе эколого-экономической модели с помощью программного комплекса МЭЭМ. Экспертная система должна определить, существуют ли на уровне отраслей региона ограничения по транспортной отрасли, которые не позволяют в полной мере реализовать инвестиционные проекты, заложенные в рассматриваемый сценарий. Получение ограничений осуществляется путем запуска программной процедуры, реализованной в управляющем модуле. Эта процедура должна получить результаты расчетов от соответствующего вычислительного модуля (в данном случае МЭЭМ) и представить их в формате фрейма «Ограничения модели» (см. рис. 3). В результате этой операции база знаний ЭС будет обновлена и



активированы правила, отвечающие за поиск инфраструктурных объектов, изменение которых может привести к устранению выявленных ограничений. Например, для такого элемента транспортно-логистической системы, как «Маршрут» (см. рис. 2 и 3), могут применяться правила:

ЕСЛИ выявленные ограничения связаны с *автотранспортом*,

ТО выбрать для анализа объекты типа «*Маршрут*» в моделируемом регионе,

ЕСЛИ для анализа выбран объект типа «*Маршрут*»,

ТО использовать рекомендацию «*Увеличение пропускной способности*» объекта.

На следующем шаге исследования ЭС определяет действия для инфраструктурных объектов (в данном случае «*Маршрут*»), связанные с рекомендацией «*Увеличение пропускной способности*»:

ЕСЛИ поставлена задача увеличения пропускной способности маршрута,

ТО задать следующие варианты действий для соответствующего объекта: «*Улучшение типа дорожного покрытия*», «*Прокладка новой полосы существующей дороги*», «*Прокладка нового маршрута*».

После этого будут активированы правила, осуществляющие подбор конкретных вычислительных модулей, предназначенных для реализации выбранных действий:

ЕСЛИ для объекта инфраструктуры региона установлено действие «*Прокладка нового маршрута*» **И** существуют модули, предназначенные для решения задачи «*Размещение*»,

ТО сформировать список вычислительных модулей.

При этом в правилах могут вызваться дополнительные процедуры, реализующие интерактивное взаимодействие с пользователем. Для описанного правила на экран будет выведен список модулей и предложено пользователю сделать выбор.

Пусть пользователем из предложенных вариантов выбран модуль ВИГОЛТ, тогда ЭС должна сформировать исходные данные для решения поставленной задачи с помощью процедуры *SetModuleData*, указав в качестве параметров: имя модуля, имя инструкции, объект с данными. Запуск модуля осуществляется процедурой *LaunchModule* с указанием его имени. Вызываемые процедуры реализованы в управляющем модуле. В общем виде правило запуска модуля представлено в следующем образом:

ЕСЛИ для решения выбран модуль ВИГОЛТ **И** типом выбранного объекта является «*Маршрут*» **И** существует карта моделируемого региона **И** известны затраты на строительство объекта,

ТО *SetModuleData* (ВИГОЛТ, «Карта», данные о карте моделируемого региона), *SetModuleData* (ВИГОЛТ, «Затраты по пространственным коор-

динатам», данные о затратах на строительство объекта по пространственным координатам), *SetModuleData* (ВИГОЛТ, «Режим работы», «Размещение»), *SetModuleData* (ВИГОЛТ, «Объект», выбранный объект типа «Маршрут»), *LaunchModule* (ВИГОЛТ).

Таким образом, приведенный пример иллюстрирует реализацию упомянутой рекомендации «если существуют ограничения по транспортной отрасли, то необходимо увеличить пропускную способность транспортной системы».

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГРУЗОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТЕРМИНАЛА

В качестве примера построенной математической модели и численного метода ее исследования для решения задач третьего уровня рассмотрим математическую и имитационную модели функционирования грузового железнодорожного терминала.

Под грузовым терминалом обычно понимается комплекс сооружений, технологических и технических устройств, которые предназначены для обработки и хранения различных грузов. Предполагается, что доставка грузов осуществляется железнодорожным транспортом, а вывоз — автомобильным. Поскольку входящий и исходящий транспортные потоки носят, как правило, случайный характер, наиболее адекватное математическое описание работы грузового терминала можно выполнить с помощью многоуровневой стохастической модели на основе применения математического аппарата немарковских систем массового обслуживания (СМО).

Система массового обслуживания характеризуется, как известно, наличием потока заявок, имеющего случайный характер, а также обслуживающих заявки каналов, время нахождения заявок в которых также, как правило, является случайным. В случае, если все каналы заняты, поступившая заявка может быть направлена в очередь либо отклонена. Мы будем дополнительно предполагать, что на вход поступают сложные заявки, состоящие из нескольких простых (мультизаявки); обработанная заявка покидает систему не мгновенно, а через склад, что, вообще говоря, служит чертой, отличающей движение материальных потоков в СМО от схожих по свойствам информационных.

Таким образом предполагается, что заявки могут находиться в четырех разных фазах: во входящем потоке, в очереди, в каналах и в выходящем потоке через склад. Поэтому построенную модель может разделить на уровни:

- потока, где задаются параметры заявок;
- очереди (входа), где задаются параметры очереди;

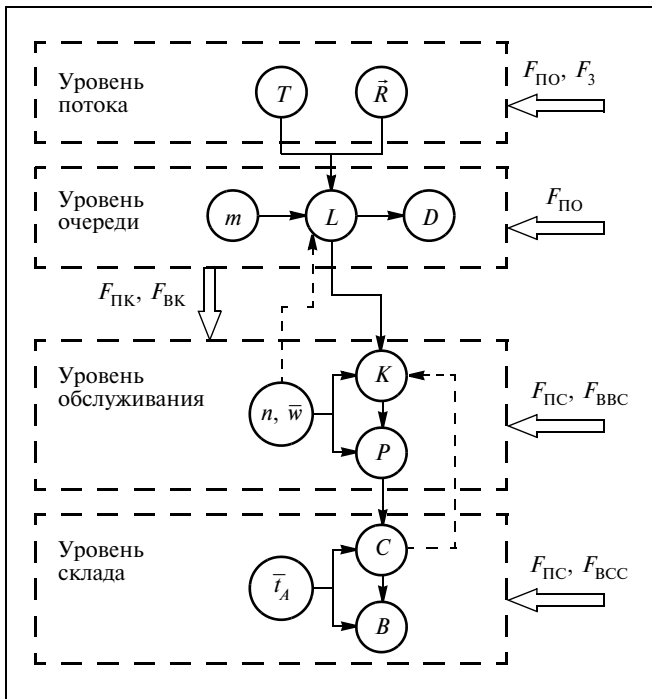


Рис. 5. Структура математической и управляющие функции имитационной модели

— канала (обслуживания), где задаются параметры обслуживания;

— выхода (склада), где задаются параметры склада и выходящего потока.

Поскольку аналитически исследовать подобного рода математические модели не представляется возможным, авторами была разработана и реализована имитационная модель, схема которой приведена на рис. 5.

В математической модели T — время поступления мультизаявки; $\vec{R} = (R_1, \dots, R_l)$ — вектор количества заявок в мультизаявке, l — количество типов заявок в мультизаявке; m — число мест в очереди; $L = L(t, T, \vec{R}, \vec{w}, m, n)$ — количество заявок в очереди; $D = D(t, L)$ — количество заявок, получивших отказ; n — число каналов обслуживания; $\vec{w} = (w_1, \dots, w_l)$ — вектор интенсивности обслуживания; $K = K(t, L, \vec{w}, C)$ — количество заявок в каналах (обслуживаемых); $P = P(t, K, \vec{w})$ — количество принятых заявок; \vec{i}_A — средний интервал выгрузки; $C = C(t, P, \vec{i}_A, V)$ — состояние склада; $B = B(t, C, \vec{i}_A)$ — число выгруженных заявок.

В имитационной модели $F_{\text{Во}}$ — функция генерирования времени поступления; F_3 — функция генерирования числа заявок в мультизаявке; $F_{\text{По}}$ — функция проверки состояния очереди; $F_{\text{Пк}}$ — функ-

ция проверки состояния каналов; $F_{\text{Вк}}$ — функция управления поступлением заявок в канал; $F_{\text{Пс}}$ — функция проверки состояния склада; $F_{\text{Ввс}}$ — функция генерирования времени обслуживания в каналах; $F_{\text{Всс}}$ — функция генерирования времени выгрузки грузов со склада.

Имитационная модель, в частности, позволяет определять параметры эффективности работы грузового терминала: вероятность отказа, среднее время ожидания обслуживания, среднюю длину очереди, среднее число занятых каналов обслуживания, время простоя и др. Выполнена программная реализация имитационной модели в рамках программного комплекса МОДФОРТ.

4. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ

С помощью построенных моделей и разработанных программных комплексов был решен ряд прикладных задач. Отметим две из них.

Выполнены численные расчеты для проектируемого участка железнодорожной высокоскоростной магистрали (ВСМ) между городами Иркутск и Красноярск. В качестве исходных данных использовалась информация о высоте над уровнем моря для каждой точки местности, о расположении населенных пунктов, болот, о речной сети и сети дорог. Как известно, при прокладке маршрута ВСМ большое значение имеют ограничения на кривизну маршрута (радиус кривизны — не менее 4 км) и перепад высот (не более 10 м на один километр) [25]. В необходимые допуски в основном удалось уложиться. Полученный маршрут ВСМ обладает большей гладкостью, чем маршрут существующей железной дороги. Тем не менее, на участке вблизи г. Тайшет имеется два «перехода» через горный хребет, в которых, по всей видимости, потребуется сооружение туннелей [26].

Выполнены расчеты для задачи о сегментации логистических зон обслуживания в регионе на примере Иркутской области. В случае, когда территория заселена равномерно, решение данной задачи не представляет особой сложности. Однако в случае неравномерной заселенности, как в большинстве регионов Сибири и Дальнего Востока, возникает противоречие между требованием равномоности логистических центров, что удобно с технологической точки зрения, если речь, например, идет о зонах утилизации (или, скажем, о предоставлении государственных услуг) и условием обеспечения равной доступности для граждан. Авторам представляется, что им удалось найти разумный компромисс между этими двумя требованиями. Более подробное описание методики можно найти в работе [18].



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлено описание архитектуры интеллектуальной системы управления, включающей в себя управляющий модуль, экспертную систему, базу знаний и разработанные авторами ранее вычислительные модули (МЭЭМ, ВИГОЛТ, МОДФОРТ, ДЕИМК). Разработана оригинальная онтология транспортно-логистической инфраструктуры региона, формализующая взаимодействие и взаимосвязь различных ресурсов (вид и тип транспорта, ресурса, терминалов обслуживания и др.). Представлен пример продукционных правил, составляющих основу базы знаний, посредством которой осуществляется принятие решений экспертной системой. Разработанная интеллектуальная система управления позволит частично заменить эксперта-человека в процессе исследований, сняв необходимость проведения рутинных вычислений, обеспечит оперативный анализ и интеграцию результатов решения задачи и принятие решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юданов А.Ю. Логистика: учебник для вузов. — М.: Тандем, 2005. — 400 с.
2. Модели и методы теории логистики / Под ред. В.С. Лукинско. — СПб.: Питер, 2007. — 448 с.
3. Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. Математические методы и модели для менеджмента. — СПб.: Лань, 2005. — 528 с.
4. Strekalovsky A.S., Orlov A.V., Malyshev A.V. On computational search for optimistic solution in bilevel problems // Journal of Global Optimization. — 2010. — Vol. 48, N 1. — P. 159–172.
5. Казаков А.Л., Маслов А.М. Построение модели неравномерного транспортного потока на примере железнодорожной грузовой станции // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2009. — № 3. — С. 27–32.
6. Bougromenko V. Defending local interests in project management: from team to decision making level // International Journal of Project Management. — 1999. — Vol. 17, N 2. — P. 131–135.
7. Schreckenberg M., Chrobok R.Y., Hafstein S.F., Pottmeier A. OLSIM — Traffic Forecast and Planning using Simulations // 17 Symposium «Simulationstechnik» ASIM 2003, Magdeburg, 16.09 bis 19.09.2003. — SCS—Europe, 2003. — P. 11–18.
8. Traffic simulation, reconstruction, and route planning. — URL: <http://gamma.cs.unc.edu/research/traffic/> (дата обращения: 21.11.2013).
9. Бычков И.В., Ружников Г.М., Хмельнов А.Е. и др. Интеграция информационно-аналитических ресурсов и обработка пространственных данных в задачах управления территориальным развитием. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. — 369 с.
10. Smith S., Lassila O., Becker M. Configurable, mixed-initiative systems for planning and scheduling. In: Tate A. (ed): Advanced Planning Technology: Technological Achievements of the ARPA. — Menlo Park: AAAI Press, — 1996. — P. 235–241.
11. Becker M., Smith S. An Ontology for Multi-Modal Transportation Planning and Scheduling. Tech. report CMU—RI—TR—98—15. — The Robotics Institute, Carnegie Mellon University Pittsburgh, 1997. — 85 p.
12. Protege is a free, open source ontology editor and knowledge—base framework. — URL: <http://protege.stanford.edu/> (дата обращения 10.12.2013).
13. CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. — URL: <http://clipsrules.sourceforge.net/>(дата обращения 10.12.2013).
14. Craig I. Blackboard Systems. — Norwood: Ablex Pub. Corp., 1995. — 241 p.
15. Павлов А.И., Столбов А.Б. Программный комплекс для поддержки моделирования медико-эколого-экономических систем // Программные продукты и системы. — 2011. — № 1. — С. 137–140.
16. Бухаров Д.С., Казаков А.Л. Программная система «ВИГОЛТ» для решения задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Вычислительные методы и программирование. — 2012. — Раздел 2. — С. 65–74.
17. Казаков А.Л., Лемперт А.А. Об одном подходе к решению задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Автоматика и телемеханика. — 2011. — № 7. — С. 50–57.
18. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Бухаров Д.С. Об одном численном методе решения некоторых задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Вестник ИрГТУ. — 2011. — Т. 53, № 6. — С. 6–12.
19. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Бухаров Д.С. Математическая модель и программная система для решения задачи размещения логистических объектов // Управление большими системами. — 2013. — Вып. 41. — С. 270–284.
20. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Бухаров Д.С. К вопросу о сегментации логистических зон для обслуживания непрерывно распределенных потребителей // Автоматика и телемеханика. — 2013. — № 6. — С. 87–100.
21. Фу Ф.Г., Казаков А.Л. Имитационное моделирование работы грузовых транспортных терминалов // Вестник ИрГТУ. — 2013. — № 9 (80). — С. 37–43.
22. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Фунг Т.Б. Математическая модель управления запасами (поставками) с учетом запаздывания // Вестник ИрГТУ. — 2012. — № 4. — С. 131–137.
23. Лемперт А.А., Фунг Т.Б. Исследование устойчивости модели управления запасами в непрерывной постановке // Вестник ВСГУТУ. — 2013. — № 4 (43). — С. 5–14.
24. Фунг Т.Б., Лемперт А.А. О моделировании процесса управления запасами с учетом запаздывания для двух видов товаров народного потребления // Вестник ИрГТУ. — 2013. — № 9 (80). — С. 43–52.
25. Журавская М.А., Казаков А.Л., Лемперт А.А. и др. О методе решения задачи оптимальной прокладки высокоскоростных железнодорожных магистралей с учетом региональных особенностей // Транспорт: наука, техника, управление. — 2012. — № 2. — С. 41–44.
26. Бухаров Д.С., Казаков А.Л. Трассировка на цифровой карте: математическая модель и численный метод // Транспорт Урала. — 2013. — № 3. — С. 7–12.

Статья представлена к публикации членом редколлегии академиком РАН С.Н. Васильевым.

Бычков Игорь Вячеславович — академик РАН, директор, ☎ (3952) 42-71-00, ✉ bychkov@icc.ru,

Казаков Александр Леонидович — д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник, ☎ (3952) 45-30-33, ✉ kazakov@icc.ru,

Лемперт Анна Ананьевна — канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией, ☎ (3952) 45-30-30, ✉ lempert@icc.ru,

Бухаров Дмитрий Сергеевич — программист, ☎ (3952) 45-30-30, ✉ bukharovds@gmail.com,

Столбов Александр Борисович — мл. науч. сотрудник, ☎ (3952) 45-30-30, ✉ stolboff@icc.ru,

Институт динамики систем и теории управления СО РАН, г. Иркутск.