

А. Л. Казаков, М. Б. Петров, А. М. Маслов

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ ЕЕ ГИПЕРГРАФА¹

В статье представлены некоторые результаты моделирования региональной транспортной сети на основе модели ее гиперграфа, позволяющего формализовать большой объем разнородных данных в условиях их неполноты и выступающего ключевым фактором постановки и решения транспортно-логистических задач на пространстве целого региона. Методика многокритериальной оптимизации, реализованная по принципу дуального управления на базе гиперграфа и его кластеризации, дает возможность обоснования и ранжирования сегментов сети как по критерию соответствия состояния инфраструктуры целевым показателям реализуемой стратегии развития региона, так и с учетом обратного влияния транспортной инфраструктуры на развитие экономики региона. Обычно для транспортных задач, решаемых с помощью теории графов, используется статичная постановка, применяемый авторами алгоритм дуального управления позволяет решать задачу оптимизации сети в динамике исходной информации. Апробация предложенной методики проведена на примере Свердловской области. Сеть проанализирована на соответствие наиболее вероятному сценарию, заложенному в программно-стратегические документы. По результатам сделаны выводы о приоритетных осях развития, связывающих полюсы развития и соответствующие им кластеры транспортной сети.

Ключевые слова: транспортная сеть, гиперграф, дуальность управления, многокритериальная оптимизация

Введение

Региональная транспортная инфраструктура представляет собой весьма сложную иерархическую систему сетевой структуры, развитие которой предполагает поэтапную модернизацию сети с учетом перспективы и наличия соответствующего экономического обоснования. В подобной ситуации не обойтись без построения адекватных математических моделей, позволяющих принимать оптимальные управленческие решения. В числе таких моделей можно выделить структурные на основе теории графов, задачи иерархической

оптимизации и динамические модели транспортных потоков.

Ранее авторами было проведено исследование транспортной сети Свердловской области [1]. Был построен ее гиперграф, первичный анализ которого показал, в частности, что транспортная система региона развита сравнительно хорошо по отношению к средним по России показателям. Однако такие выводы были сделаны только на основании анализа связности и плотности сетей транспортных сообщений. Оценка по этим критериям является общеупотребительной, однако дает лишь поверхностное представление о состоянии транспортной инфраструктуры и ее влиянии на экономический рост региона, а потому нуждается в уточнении.

¹ © Казаков А. Л., Петров М. Б., Маслов А. М. Текст. 2014.

Предложенный в [1] для изучения региональных транспортных сетей подход состоит из шести этапов: 1) сбор данных; 2) прогнозирование транспортных потоков, основанное на сценариях развития территории; 3) определение целей (необходимость удовлетворить спрос на перевозки, порождаемый прогнозируемым развитием территории и смежные с ней задачи); 4) формирование предложений по развитию транспортной сети; 5) тестирование предложений на основе анализа влияния одних компонент сети на другие; 6) оценка предложений с помощью предложенных критериев эффективности. Их осуществление позволяет получить качественно новый анализ функционирования транспортной сети в контексте реализации тех или иных сценариев развития региональной экономики.

Настоящая работа продолжает исследование, начатое в [1]. Авторы проводят дополнительный анализ транспортной системы региона с учетом приоритетов экономического развития и предлагают методы и алгоритмы реализации предложенного ранее подхода.

1. Постановка задачи

Для реализации предлагаемой методики необходимо формализовать большой объем разнородных данных в условиях их неполноты. Анализ исходных данных служит основой для формирования параметров управляющего воздействия на конфигурацию транспортной системы с целью обеспечения ею прогнозных сценариев развития региона. Общий случай построения формализованной модели в постановке, предложенной авторами ранее [1], предполагает нанесение на гиперграф транспортной сети региона всех возможных элементов графа и привязку к ним компонентов векторов всех рассматриваемых критериев оптимальности. С одной стороны, такой подход позволяет получить адекватную и универсальную модель, с другой — он сопряжен со сбором и обработкой больших массивов данных, что, в свою очередь, порождает несоответствие между объемом и сложностью обработки данных и улучшением качества модели. Кроме того, как справедливо отмечает Б. Т. Поляк в обзоре истории развития теории автоматического управления [2], для сложных систем неизбежна неопределенность параметров и характера динамики системы управления. В связи с чем в подобной ситуации естественным шагом является применение концепции дуального управления для построения адаптивных и обучающихся систем управления.

Основы дуального управления заложены А. А. Фельдбаумом в 50-х гг. прошлого века [3, 4]. Согласно его концепции, управление имеет двойственную природу: с одной стороны, оно является пробным воздействием, предназначенным для изучения управляемой системы, а с другой — решает некоторую задачу оптимизации [2]. В нашем случае такой подход хорош тем, что оптимизация производится как по критерию соответствия состояния инфраструктуры целевым показателям реализуемой стратегии развития региона, так и с учетом влияния имеющейся транспортной инфраструктуры на стратегию ее развития и экологию региона.

2. Исходные положения прогнозного сценария

Следуя [1], каркас транспортной системы строим вдоль осей регионального развития, соединяя в сеть экономические кластеры. Для того чтобы нанести на гиперграф оси развития и кластеры, необходимо определить и оценить факторы, определяющие их расположение. При этом целесообразно выделить два вида факторов: внешние, возникающие по внешним для региона причинам, и внутренние, имеющие экономические и транспортные первопричины внутри региона.

На первом этапе определяются внешние факторы, примерами которых являются параметры и ограничения, налагаемые различными программами, проектами и соглашениями по развитию региона, принятыми на уровнях выше регионального (федеральном и международном). Они, очевидно, имеют приоритет над региональными. В частности, такие факторы сформулированы в Схеме территориального планирования Российской Федерации, Государственной программе Российской Федерации «Развитие транспортной системы», соглашениях о международных транспортных коридорах и др. В основном такие факторы влияют на ориентацию осей развития и проложенных вдоль них транспортных магистралей, а также расположение стыковых транспортных узлов на границе области, служащих для корреспонденции потоков с соседними регионами и транзита.

На следующем этапе определяются факторы, вытекающие из местных особенностей региона. Они формируются аналогично внешним, но на основании программ и мероприятий регионального уровня. Региональные факторы в большей степени определяют структуру дополнительных осей и корректируют откло-

нения основных осей развития, а также расположение кластеров.

На завершающем этапе учитывается поправка на смещение осей от расположения, полученного по экономическим факторам, на величину, зависящую от транспортно-технологических и логистических факторов.

Апробация предложенной методики проводится на примере одного из крупнейших по территории (17-е место), населению (5-е место) и экономическому потенциалу (по ВРП — 6-е место) регионов России — Свердловской области.

Транспортные преимущества географического положения Свердловской области. Рассмотрим транспортные магистрали и транспортные системы, создающие для Свердловской области условия успешной межрегиональной и международной интеграции (рис. 1).

Ключевыми автомобильными дорогами являются трассы федерального значения Е-30 с выходом на трассу М5 Урал и европейский автомобильный маршрут (трасса Е-22) Холихед — Ишим. Основной железнодорожной магистралью на территории области является Транссибирская магистраль, вдоль которой формируется широтный транспортный коридор, обеспечивающий связь Европа — Азия. Важное транспортное значение имеет магистраль Москва — Казань — Екатеринбург с перспективой организации на этом направлении высокоскоростного движения.

Территория Свердловской области через указанные выше существующие магистрали потенциально тяготеет к Международному транспортному коридору №2 Берлин — Нижний Новгород (МТК №2). МТК №2 обслуживает широтные потоки грузов. Включение транспортной сети Свердловской области в МТК №2 является одной из приоритетных задач для повышения конкурентоспособности региональной экономики.

В последнее время все более актуальной становится задача организации через территорию Свердловской области меридиональных транспортных систем. В связи с этим намечены программы «Урал промышленный — Урал Полярный» и «Уральский полярный транспортный коридор» (УПТК). В настоящее время функционируют автомобильная и железная дороги, связывающие Свердловскую область с перспективными нефтегазовыми месторождениями Ямала. Хорошие перспективы у Свердловской области и в отношении формирования меридионального коридора в южном направлении, обслуживающего потоки, идущие

на Среднюю Азию, с перспективой подключения к ТРАСЕКА.

Приоритеты развития Свердловской области. Рассмотренные выше особенности транспортной сети региона создают благоприятные условия для ее включения в экономическую интеграцию на федеральном и международном уровне. Эти обстоятельства накладывают существенные ограничения на параметры и конфигурацию региональной транспортной сети, но для успешного развития региона и его транспортных систем не менее важно определить требования и ограничения, налагаемые местными логистическими потоками. Для этого, помимо структуры транспортной сети, необходимо проанализировать и нанести на карту существующие и потенциальные точки роста региона, а затем скорректировать конфигурацию транспортной системы с учетом связей между этими точками.

Актуализировавшийся поиск точек роста регионов РФ рождает повышенный интерес к теории пространственной экономики. Подобный интерес объясняется тем, что ни государство, ни частные инвесторы в настоящих экономических условиях РФ не в состоянии поднимать экономику целыми отраслями, как этого требует назревшая реиндустриализация. Ставка делается на то, что инвестиции в развитие ключевых объектов инфраструктуры и региональных точек роста дадут мультипликативный эффект и послужат импульсом для развития территорий, попадающих в область влияния полюсов развития.

Ограниченность ресурсов ведет к повышению требований к эффективности их использования. В контексте рассматриваемой задачи это обстоятельство предъявляет новые требования к качеству государственно-частного партнерства. Частные инвесторы в условиях многочисленных неопределенностей и высоких рисков ищут возможности точечных инвестиций с быстрым возвратом вложений. Такая мотивация ограничивает перспективы их участия в процессе формирования регионального транспортного каркаса. Тем не менее, необходимо создавать условия для повышения доли их прямого и косвенного участия в инфраструктурных и социально значимых проектах. Главную роль в этом процессе играют долгосрочные государственные программы, в рамках которых фиксируются территориальные приоритеты экономического развития и выделяется финансирование обеспечивающего их транспортного каркаса. В таких условиях повышенная мотивация частного капитала будет

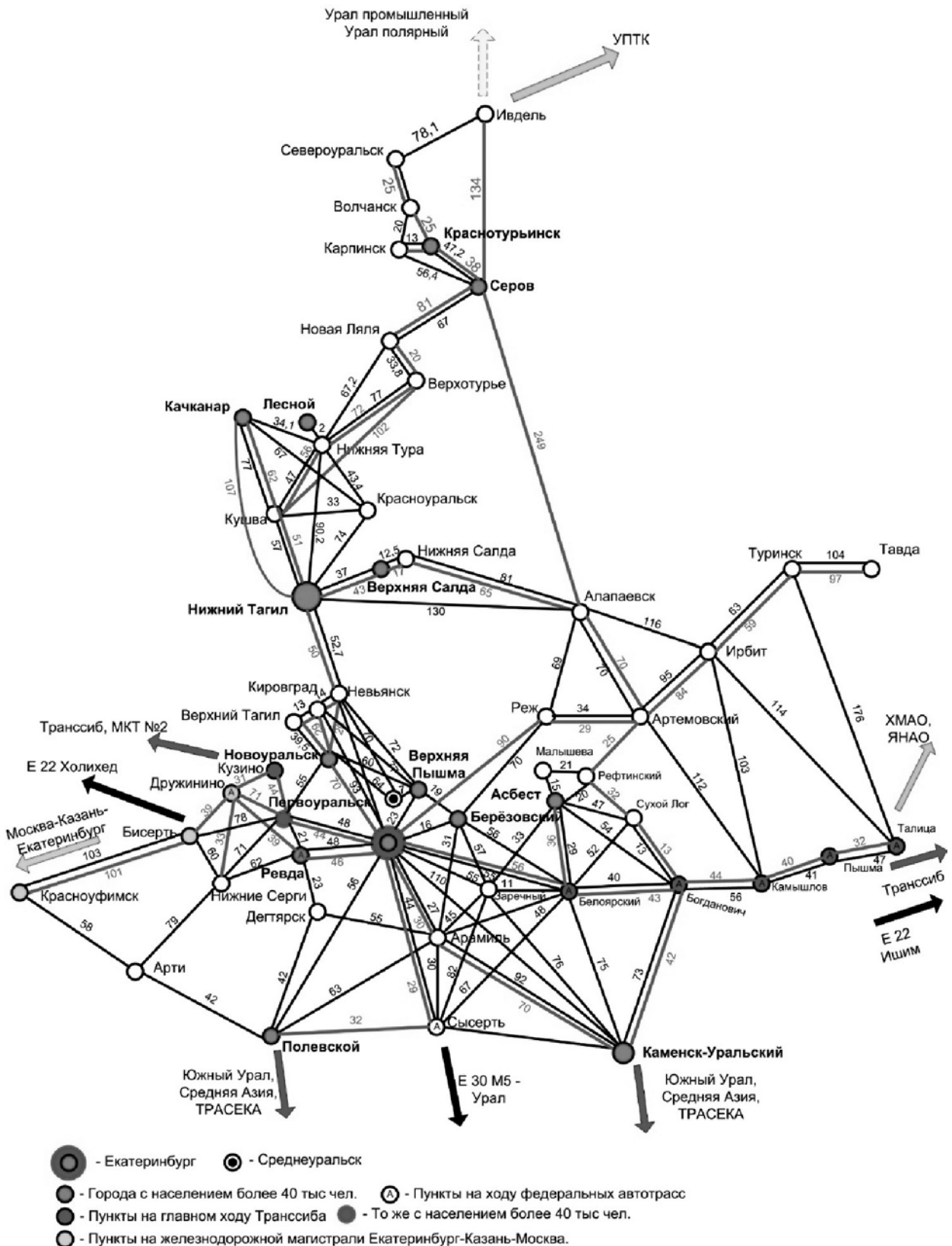


Рис. 1. Гиперграф транспортной системы Свердловской области с основными межрегиональными транспортными связями

подкреплена не только возможностью направить инвестиции во вновь сформированные точки регионального роста, но и гарантиями того, что государство (вследствие крупных соб-

ственных вложений) будет нацелено на долгосрочную поддержку приоритетных отраслей экономики и созданной обеспечивающей инфраструктуры.



Рис. 2. Конфигурация транспортной системы Свердловской области при «традиционном» сценарии развития

В качестве базиса прогнозного сценария примем программу областного правительства «Схема территориального планирования Свердловской области» [2]. Один из вариантов прогноза по программе — «традиционный» — предусматривает наиболее правдоподобный (по мнению авторов) сценарий развития области в ближайшей перспективе. Согласно этому варианту, прирост населения составит 0,3 млн чел. Распределение прироста придется на центр области в объеме 80 %, срединный — 10 %, периферийный — 0 %. Будет доминировать развитие традиционных отраслей промышленности: металлургии и тяжелого машиностроения, наукоемких производств, а также развитие лесной и деревообрабатывающей промышленности, агропромышленного комплекса. Произойдет усиление транспортных связей восток — запад и север — юг. В программе [5] приведена схема развития территории при таком сценарии (рис. 2).

Далее мы исследуем такой сценарий по разработанной методике и сопоставим конфигурацию транспортного каркаса Свердловской области, предложенного в программе и полученного в ходе моделирования. Данные для расчета взяты из программы [5].

3. Формализация модели и численный эксперимент

Исследования, в которых постановка и решение транспортно-логистических задач осуществляются в масштабах региона, как пра-

вило, имеют общую черту: они так или иначе связаны с построением информативного графа [6], описывающего транспортный каркас [7] исследуемого региона. Таким образом, для решения этого круга задач построение графа или, как в настоящем исследовании, гиперграфа и нанесение на него всего объема необходимой информации является ключевым фактором. Отметим также и другую общую характерную особенность: исследования, посвященные транспортным системам региона, как правило, оперируют информацией в узком контексте рассматриваемой проблемы. Вместе с тем, такой подход может быть эффективен при решении локальных транспортных задач, но не вполне удовлетворяет требованиям, которые возникают при решении задач взаимоувязанного моделирования транспортной системы и экономического развития региона [8] (в частности потому, что задача становится существенно нестационарной). Эти проблемы могут быть устранены за счет использования многокритериальной оптимизации, осуществляемой с использованием построенного гиперграфа и применения динамических моделей транспортных потоков. При этом критерии оптимизации могут находиться в иерархических зависимостях различного вида. Иерархия будет наблюдаться как внутри транспортных систем, так и между транспортными и экономическими параметрами. Таким образом, для достижения цели оптимизации транспортной системы в увязке с экономической моделью необходимо применять иерархическую (многоуровневую) модель транспортно-логистической системы [9] с учетом критериев территориального планирования.

Для взаимоувязанной оценки сценариев развития экономики и транспортной системы региона в рамках предложенного подхода необходимо нанести полюса роста, произвести кластеризацию графа и наметить оси развития. При кластеризации перспективным представляется применение оптико-геометрического подхода, ранее разработанного авторами для решения задач региональной логистики [10, 11].

Для взаимоувязанной оценки сценариев развития экономики и транспортной системы региона в рамках предложенного подхода необходимо учесть несколько критериев.

Каждой вершине гиперграфа соответствует некоторая числовая матрица, содержащая информацию по каждому критерию на всех слоях (см. рис. 3).

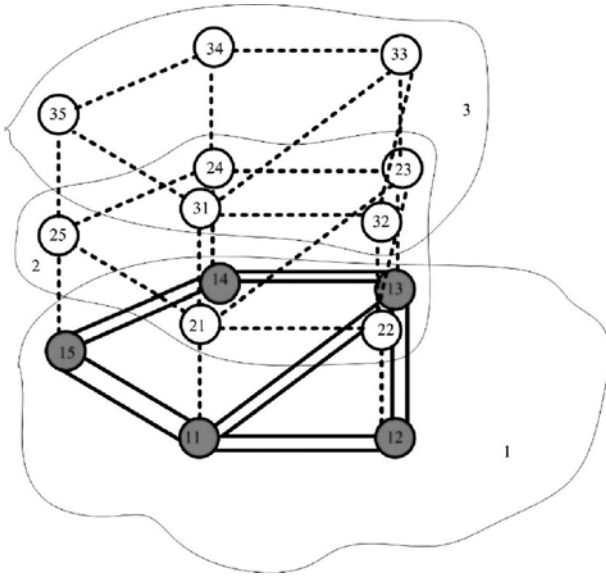


Рис. 3. Схема разложения гиперграфа в плоскостях

В настоящем исследовании указанная матрица имеет следующий вид:

$$D^k(m) = \begin{pmatrix} A_{k1}(m) & \dots & A_{kn}(m) \\ B_{k1}(m) & \dots & B_{kn}(m) \\ C_{k1}(m) & \dots & C_{kn}(m) \end{pmatrix}, j = 1, \dots, n,$$

где m — номер вершины гиперграфа; k — номер слоя; $A_{kj}(m)$ — компоненты вектора $\vec{a}(m)$ — транспортного критерия в вершине гиперграфа; $B_{kj}(m)$ — компоненты вектора $\vec{b}(m)$ — ресурсного критерия в вершине гиперграфа; $C_{kj}(m)$ — компоненты вектора $\vec{c}(m)$ — рекреационного критерия в вершине. При этом в разных слоях k гиперграфа может учитываться необхо-

димое количество компонент векторов $\vec{a}(m)$, $\vec{b}(m)$, $\vec{c}(m)$ а также в разных слоях между компонентами устанавливаются различные иерархические связи. Компоненты вычисляются как абсолютные значения параметров (например, численность населения) либо в виде рейтингов (ресурсам и условиям, являющимся благоприятными факторами для экономического роста, присваивается тем более высокий рейтинг, чем выше их потенциальная стоимость).

После чего задаются условия выделения областей в кластеры, вокруг полюсов и намечаются оси развития. При кластеризации хорошие перспективы имеет волновой метод, который зарекомендовал себя как универсальный метод для наиболее широкой трактовки критериев кластеризации [10] и при решении прикладной задачи логистики — от оптимального размещения пунктов утилизации автомобилей на территории региона [11] до прокладки маршрута высокоскоростной железнодорожной магистрали [12].

Как отмечалось выше, оптимизация транспортной сети осуществляется в дуальной постановке. Обычно транспортные задачи, решаемые с помощью теории графов, рассматриваются в статической постановке, когда рассматривается одно или в лучшем случае несколько устоявшихся распределений источников, стоков и корреспондирующих их потоков. Классический алгоритм дуального управления (рис. 4) позволяет, кроме указанных ранее преимуществ, также решать задачу оптимизации в динамике. При этом понимается динамика

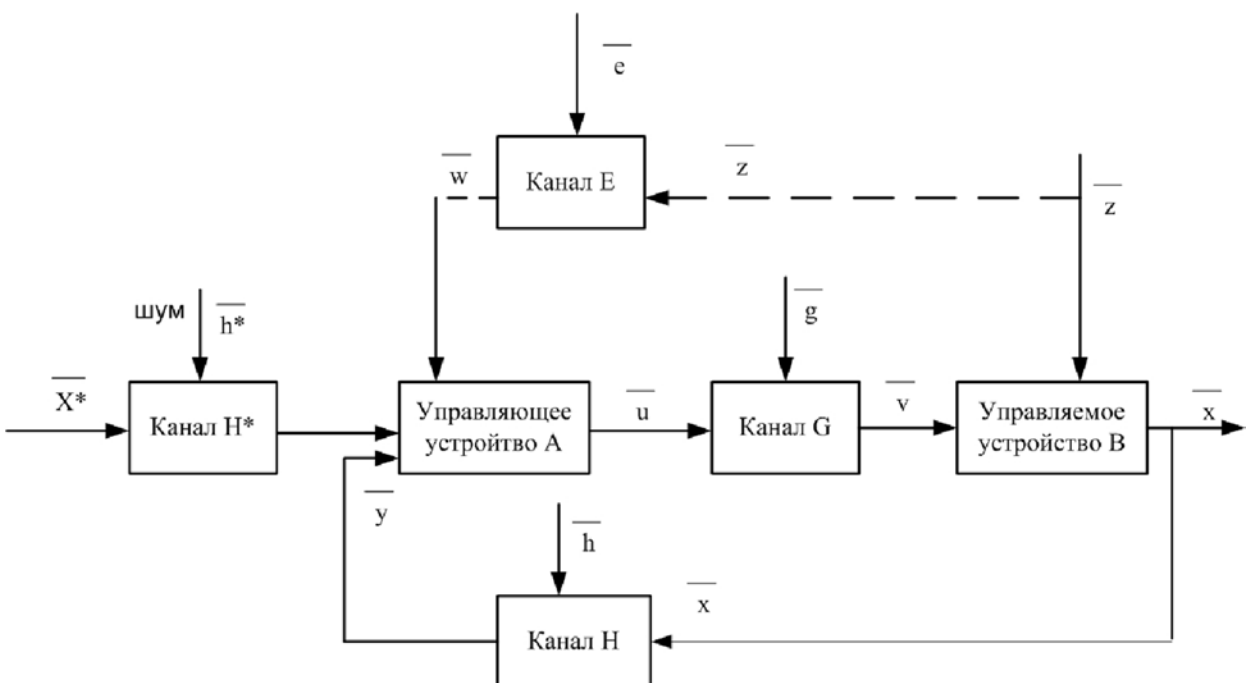


Рис. 4. Схема алгоритма дуального управления

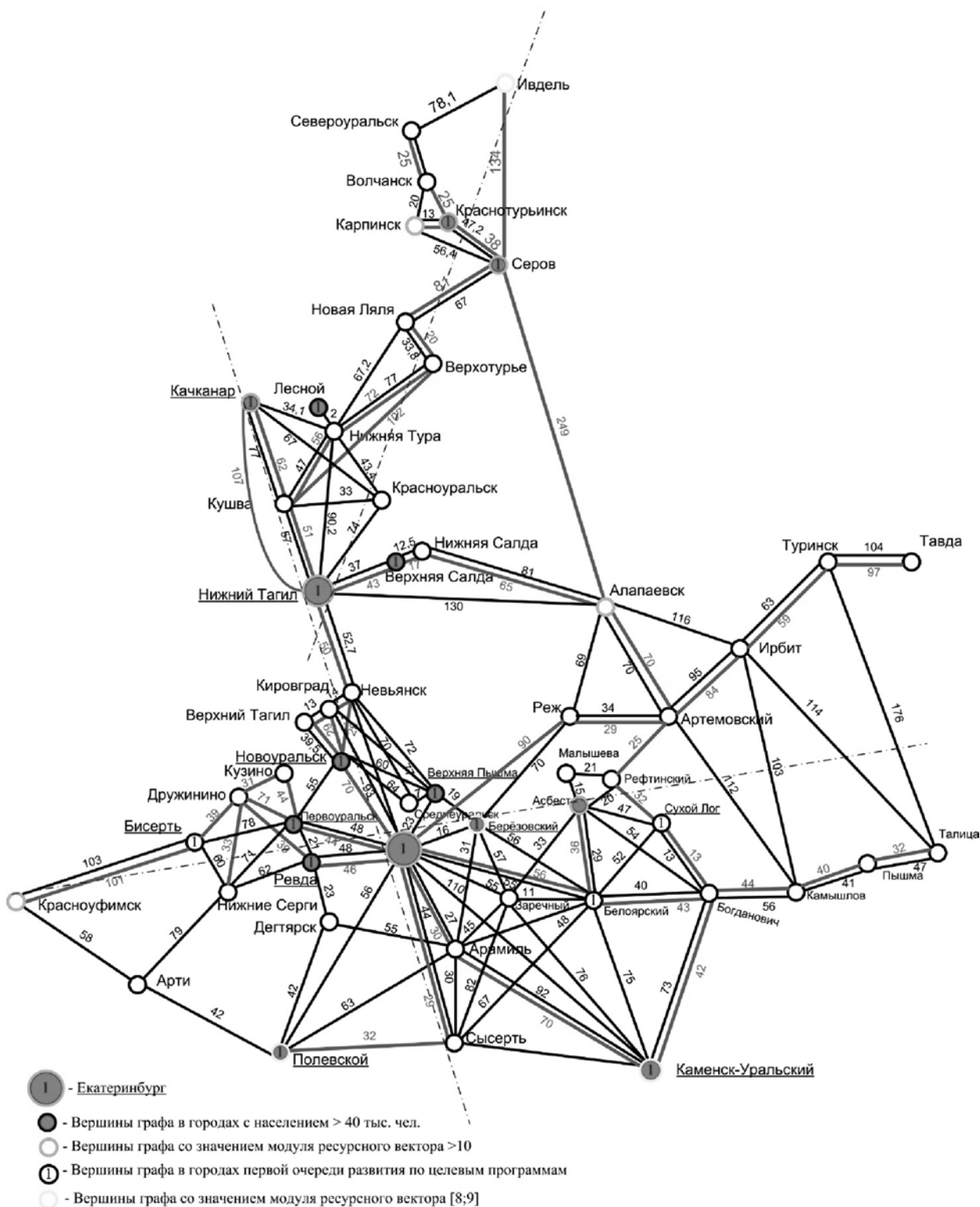


Рис. 5. Результаты расчетов по модели

следующего характера: переменные критерии оценки эффективности, переменные распределения и направления потоков, изменение параметров через характерные промежутки времени (помесячно, поквартально, ежегодно и т. д.).

Рассмотрим, какое значение имеют блоки алгоритма при решении нашей задачи. Под управляемым устройством В понимается исследуемый гиперграф. Управляющее устройство А — это специалист, выполняющий расчеты и математическая модель критериев оп-

тимальности. Канал H^* — блок, в котором формируются критерии оптимизации. В нашем случае — это отыскание расположения полюсов и осей экономического роста. Шумы, воздействующие на каналы, — это неполнота и (или) недостоверность имеющихся статистических данных. В канале G производится расчет значений векторов \vec{x} , \vec{y} , \vec{z} , и значения компонент векторов фиксируются на графе B . Информация о состоянии гиперграфа после расчета векторов критериев накапливается в канале H и возвращается на управляющее устройство. При этом происходит анализ информации: как по отдельным векторам \vec{x} , \vec{y} , \vec{z} в плоскостях 1, 2, 3, так и по их суммарному значению. Полюсы соединяются осями экономического роста. Обратная связь \vec{z} проверяет наличие и характеристики транспортных связей между полюсами и вдоль осей и возвращает эту информацию на управляющее устройство. Одновременно в канале E производится оценка наиболее мощных транспортных связей и с помощью пробного воздействия \vec{z} проверяется наличие полюсов роста вдоль осей основных транспортных магистралей.

По результатам проведенных расчетов были определены полюсы и оси, показанные на рисунке 5.

Очевидно, что два главных полюса развития — это Екатеринбург и Нижний Тагил. Расчеты показали, что полюсы экономического роста практически совпадают с городами, которые входят в первую очередь развития по целевой программе с незначительными оговорками. Такие вершины, как Каменск-Уральский, Полевской, Березовский и Ивдель, попали в указанную группу только после снижения порогового значения модуля вектора оптимизации. В то же время, города Белоярский, Бисерть и Сухой Лог отнесены к городам первой очереди развития по программе, но не попали в эту категорию полюсов роста по результатам расчетов. Это объясняется тем, что при составлении программы могли учитываться другие критерии, в том числе неэкономического характера. В целом же можно отметить, что полюсы и оси развития Свердловской области находятся в сильной зависимости от расположения существующих транспортных коридоров. В то же время горизонтальная ось незначительно отклонена от хода транспортного ко-

ридора Европа — Азия. Мы видим, что города, расположенные на ходу Транссибирской магистрали, недостаточно эффективно пользуются логистическим потенциалом своего расположения. Кроме того, существует резерв транспортных мощностей на направлении Екатеринбург — Тавда.

Заключение

Подводя итог проведенного исследования, отметим следующее.

1. Анализ сценария развития показал, что расположение главных осей, полученное по результатам моделирования, совпадает с прогнозом по программе (рис. 1), причем они пересекаются практически под прямым углом в региональном центре — Екатеринбурге. Это объясняется тем, что данные оси сформированы вдоль основных транспортных магистралей и формируют меридиональный и широтный коридоры.

2. Широтный коридор, сформированный вдоль Транссиба, является главной транспортной артерией для обслуживания федеральных и международных потоков Европа — Азия. Его роль будет оставаться неизменно высокой при любом сценарии экономического развития региона. Меридиональная ось на данном этапе развития транспортной системы области имеет региональное значение и обеспечивает связь с ресурсной базой северных районов. Однако здесь следует отметить, что уровень этой оси имеет потенциал к росту при условии ее выхода к Северному морскому пути.

3. В случае дефицитного финансирования инфраструктурных проектов основные ресурсы, очевидно, будут направлены на поддержание и развитие двух главных осей. Однако целесообразно наметить дополнительные оси развития регионального значения. При появлении дополнительных ресурсов инвестирования целесообразно направить их на развитие инфраструктуры именно вдоль этих осей. В частности, такую ось следует предусмотреть в направлении с юго-запада на северо-восток через Екатеринбург. Дальнейшее развитие транспортной сети необходимо осуществлять путем соединения магистралей, которые расположены вдоль осей развития, с использованием транспортно-технологических и логистических критериев.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ, код проекта 13-06-00653.

Список источников

1. Казаков А. Л., Петров М. Б., Маслов А. М. Исследование региональной транспортной системы с использованием ги-персетей // Транспорт Урала. — №4. — 2013. — С. 22-29.

2. Поляк Б. Т. Развитие теории автоматического управления // Проблемы управления. Специальный выпуск. — 2009. — №3.1. — С. 13-19.
3. Фельдбаум А. А. Теория дуального управления I // Автоматика и телемеханика. — 1960. — № 9. — С. 1240-1249.
4. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. — М: Физматгиз, 1963. — 552 с.
5. Схема территориального планирования Свердловской области / Министерство регионального развития Российской Федерации // Федеральная государственная информационная система территориального планирования. [Электронный ресурс]. URL: <http://fgis.minregion.ru/fgis/> (дата обращения 18.08.2014)
6. Брусянин Д. А., Казаков А. Л., Маслов А. М. Оптимизация региональной маршрутной сети междугородных и пригородных пассажирских перевозок с использованием логистических принципов // Транспорт Урала. — 2012. — №1. — С. 106-110.
7. Казаков А. Л., Петров М. Б., Маслов А. М. Особенности формирования грузо- и вагонопотоков в региональной транспортной системе // Экономика региона. — 2011. — № 3. — С. 184-193.
8. Стенбрик П. А. Оптимизация транспортных сетей : пер. с англ. Е. М. Васильевой и В. В. Космина; под ред. В. Н. Лившица. — М: Транспорт, 1981. — 320 с.
9. Казаков А. Л., Маслов А. М. Моделирование входящего транспортного потока на грузовую станцию с учетом его суточной неравномерности // Транспорт Урала. — 2008. — № 2. — С. 65-71.
10. 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.
11. Журавская М. А., Казаков А. Л., Парсюрова П. А. Вопросы сегментации логистических платформ в условиях становления региональной логистики // Транспорт Урала. — 2010. — №4. — С. 17-21.
12. О методе решения задачи оптимальной прокладки высокоскоростных железнодорожных магистралей с учетом региональных особенностей / Журавская М. А., Казаков А. Л., Лемперт А. А., Бухаров Д. С. // Транспорт. Наука, техника, управление. — 2012. — № 2. — С. 41-44.

Информация об авторах

Казаков Александр Леонидович (Иркутск, Россия) — доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией математических методов анализа свойств динамических систем, Институт динамики систем и теории управления СО РАН (664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, e-mail: kazakov@icc.ru).

Петров Михаил Борисович (Екатеринбург, Россия) — доктор технических наук, доцент, руководитель центра, Институт экономики УрО РАН (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29, e-mail: michpetrov@mail.ru).

Маслов Александр Михайлович (Екатеринбург, Россия) — кандидат технических наук, ассистент, Уральский государственный университет путей сообщения (620042, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, e-mail: maslove@yandex.ru).

A. L. Kazakov, M. B. Petrov, A. M. Maslov

Multiobjective Optimization Of The Region's Transport System On The Basis Of Its Hypergraph

In the article, some results of modeling of regional transport network on the basis of the model of its hypergraph are presented. That allows to formalize the large volume of diverse data in the conditions of their incompleteness and stand as an allocation and solution of transport and logistic tasks for space of the whole region. The method of multiobjective optimization, realized according to the principle of dual management on the basis of the hypergraph and its clustering, gives the option to reason and range the segments of network according to both the criterion of fitting of infrastructure condition to the target indicators of the realized strategy of region's development, and the return influence of transport infrastructure on development of region's economy. Usually, for the transport tasks solved by the hypergraph theory, the static statement is used, the algorithm of dual management applied by the authors allows to solve a problem of the network optimization in dynamics of initial information. Approbation of the offered method is carried out on the example of Sverdlovsk region. The network is analyzed on the compliance with the most probable scenario set in the program and strategic documents. The conclusion according to the results made about the priority development paths connecting development areas and the transport network clusters corresponding to them.

Keywords: transport network, hypergraph, duality of management, multicriteria optimization

The article has been prepared with the partial support of RFBR, project code 13-06-00653.

References

1. Kazakov, A. L., Petrov, M. B. & Maslov, A. M. (2013). Issledovanie regionalnoy transportnoy sistemy s ispolzovaniem giperseley [Investigation of the regional transport system with the use of hyper networks]. *Transport Urala [Transport of Ural]*, 4, 22-29.
2. Polyak, B. T. (2009). Razvitie teorii avtomaticheskogo upravleniya [Development of the automatic control theory]. *Problemy upravleniya. Spetsialnyy vypusk [Problem of management. Special issue]*, 31, 13-19.
3. Feldbaum, A. A. (1960). Teoriya dualnogo upravleniya [Theory of dual management]. *Avtomatika i telemekhanika [Automation and telemechanics]*, 9, 1240-1249.
4. Feldbaum, A. A. (1963). *Osnovy teorii optimalnykh avtomaticheskikh sistem [Theoretical framework of optimum automatic systems]*. Moscow, Fizmatgiz, 552.
5. Skhema territorialnogo planirovaniya Sverdlovskoy blasti [Scheme of territorial planning of Sverdlovsk region] Ministerstvo regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii [Ministry of Regional Development of the Russian Federation]. *Federalnaya*

gosudarstvennaya informatsionnaya sistema territorialnogo planirovaniya [Federal state information system of territorial planning]. Available at: <http://fgis.minregion.ru/fgis/> (date of access: 18.08.2014).

6. Brusyanin, D. A., Kazakov, A. L. & Maslov, A. M. (2012). Optimizatsiya regionalnoy marshrutnoy seti mezhdugorodnykh i prigorodnykh passazhirskikh perevozk s ispolzovaniem logisticheskikh printsipov [Optimization of regional route network of long-distance and suburban passenger traffic with use of the logistic principles]. *Transport Urala* [Transport of Ural], 1, 106-110.

7. Kazakov, A. L., Petrov, M. B. & Maslov, A. M. (2011). Osobennosti formirovaniya gruzo- i vagonopotokov v regionalnoy transportnoy sisteme [Peculiarities of cargo and carriage traffic in regional transport system]. *Ekonomika regiona* [Economy of Regiona], 3, 184-193.

8. Stenbrik, P. A., Livshits, V. N. (Ed.) (1981). *Optimizatsiya transportnykh setey* [Optimization of the transport networks]. Translated from English by Vasilyeva, Ye.M. & Kosmin. Moscow, Transport, 320.

9. Kazakov, A. L. & Maslov, A. M. (2008). Modelirovanie vkhodyashchego transportnogo potoka na gruzovuyu stantsiyu s uchytom yego sutochnoy neravnomernosti [Modeling of the entering traffic on cargo station taking into account its daily unevenness]. *Transport Urala* [Transport of Ural], 2, 65-71.

10. Kazakov, A. L., Lempert, A. A. & Bukharov, D. S. (2013). K voprosu o segmentatsii logisticheskikh zon dlya obsluzhivaniya nepreryvno raspredelyonykh potrebiteley [To a question of segmentation of logistic zones for service of continuously distributed consumers]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and telemechanics], 6, 87-100.

11. Zhuravskaya, M. A., Kazakov, A. L. & Parsyurova, P. A. (2010). Voprosy segmentatsii logisticheskikh platform v usloviyakh stanovleniya regionalnoy logistiki [Questions of segmentation of logistic platforms in the conditions of the regional logistic development]. *Transport Urala* [Transport of Ural], 4, 17-21.

12. Zhuravskaya, M. A., Kazakov, A. L., Lempert, A. A. & Bukharov, D. S. (2012). O metode resheniya zadachi optimalnoy prokladki vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralei s uchytom regionalnykh osobennostey [On the problem-solving method of optimal building of the high-speed railway lines taking into account regional features]. *Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport. Science, equipment, management], 2, 41-44.

Information about the authors

Kazakov Aleksandr Leonidovich (Irkutsk, Russia) — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory for the Mathematical Methods of Analysis of Properties in Dynamical Systems, the Institute for System Dynamics and Control Theory of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (134, Lermontov str., Irkutsk, 664033, Russia, e-mail: kazakov@icc.ru).

Petrov Mikhail Borisovich (Yekaterinburg, Russia) — Doctor of Technical Science, Associate Professor, Head of the Centre, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (29, Moskovskaya str., Yekaterinburg, 620014, Russia, e-mail: michpetrov@mail.ru).

Maslov Aleksandr Mikhaylovich (Yekaterinburg, Russia) — PhD in Technical Science, Assistant, Ural State University of Railway Engineering (66, Kolmogorova str., Yekaterinburg, 620042, Russia, e-mail: maslove@yandex.ru).