

УДК 004.422.8

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ПОЗИЦИИ ИХ ПОТЕНЦИАЛА СНИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДИСКРИМИНАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ¹

Есикова Т.Н., Визир В.А. (Новосибирск)

Введение

Вопросы транспортной доступности и транспортной дискриминации населения регионов, приобрели особую актуальность в связи с последними событиями вокруг нашей страны. В настоящее время наблюдается знаковое усиление роли и значения транспортной инфраструктуры для сохранения независимости экономической системы, построения и налаживания новых механизмов взаимодействия со странами. Это позволит повысить продуктивность функционирования хозяйственного комплекса в сложных и противоречивых геополитических и геоэкономических условиях, складывающихся в последнее время.

Транспортная система России подвержена наиболее сильному давлению внешнеэкономических и внешнеполитических факторов в связи со своим экономико-географическим положением, выстроенной системой хозяйственных взаимосвязей, которые ограничивают наши возможности для маневрирования и сохранения темпов развития при достижении поставленных целей развития не только страны в целом, но и ее макрорегионов и отдаленных ключевых территорий.

Можно констатировать, что на протяжении уже нескольких десятилетий в стране наблюдается снижение транспортной доступности отдаленных регионов по самым разным причинам. Это и отказ от субсидирования перевозок, периодически возникающий рост транспортных тарифов, физическое устаревание и выбытие из строя транспортных средств и ориентация при их пополнении на внешние рынки. С другой стороны, довольно долгий промежуток времени восстановлению транспортных мощностей, обновлению парка оборудования не уделялось достаточного внимания, что приводило к деградации ряда транспортных систем (локальных и региональных). Это не могло не сказаться на качестве транспортного сообщения, а также ослаблении связности удаленных регионов с «основной» частью территорий страны.

Все вышесказанное объясняет необходимость разработки специального аппарата и инструментария для оперативной оценки влияния внедрения различных транспортных технологий и транспортных средств с позиции разрешения проблем транспортной дискриминации населения удаленных регионов страны и стабилизацию их экономического развития.

Материалы и методы

Теоретическая основа исследования опирается, с одной стороны, на теорию развития размещения производительных сил, которая определяет основные закономерности развития и размещения производительных сил в территориальном разрезе и влияние транспортного фактора на стабилизацию экономического развития и формирование задела для комплексного и сбалансированного развития территорий. С другой стороны, теоретико-методологической основой проводимого исследования

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №13.1902.21.001

является аппарат экономико-математического моделирования и подходы к изучению и симуляции поведения сложных экономических систем разного типа (территориальных, производственных, социальных и т.п.) [1].

Направлением данного исследования является разработка методического подхода и инструментария для оценки транспортной дискриминации населения, доступности регионов страны в целом. Это позволит качественно дополнить традиционные направления исследований в этой области, а именно: моделирование движения, как отдельных транспортных средств, так и движения транспортных потоков в пределах той или иной территориальной транспортной системы (городской, межгородской, районной, макрорегиональной и др.).

Выбор мультиагентного подхода был обусловлен его наибольшим соответствием функционированию экономических систем любой природы (производственной, территориальной и т.п.). При этом динамика мультиагентной системы формируется в результате взаимодействий агентов, которые происходят с учетом алгоритмов поведения, свойственных только той или иной группе агентов.

Это полностью соответствует реальной логике развития событий в экономических системах и схемам взаимодействия участников экономических процессов.

Традиционно выделяются следующие этапы при построении мультиагентной системы:

1) экономическая постановка задачи и формализация ее общих контуров с выделением основных сущностей (перечень основных участников-агентов экономических и хозяйственных процессов, элементов окружающей среды в рамках которой они существуют),

2) содержательное описание с последующей формализацией закономерностей функционирования отдельных сущностей и правил их взаимодействия друг с другом в терминах мультиагентного моделирования,

3) спецификация особенностей поведения, свойственных той или иной группе участников или их отдельным представителям, а также логическое описание механизмов функционирования отдельных агентов (или их групп) и принципов их взаимодействия друг с другом для наиболее полного их описания в модели,

4) анализ среды функционирования агентов, присущих им правил поведения с параллельным формированием элементов окружающей среды, в рамках которой функционируют агенты и которая оказывает влияние на их поведение, а также выявление правил и закономерностей преобразования окружающей среды,

5) формализация мультиагентной системы в формальных терминах математического аппарата.

В качестве преимуществ разработки систем такого типа отмечают отсутствие необходимости и потребности иметь глубокое понимание взаимодействия различных механизмов моделируемого экономического мира. Достаточно ограничиться выделением и формализацией множеств основных агентов, содержательно описать и формализовать индивидуальную логику поведения для всех групп агентов и индивидуальных агентов, не входящих в группы агентов. Это позволяет максимально сосредоточиться на разработке схем и элементов поведения агентов в окружающей среде, а не на внешних процессах изменения самой среды в соответствии с их физическими и математическими законами, слабо поддающимися описанию и корректной формализации.

Проведенный анализ имеющихся подходов и инструментария, программных комплексов в этой области исследования показал, что в основном это мультиагентные системы и отвечающий им программный инструментарий, ориентированные на:

а) решение традиционных транспортных задач, которые востребованы внутри любых территориальных систем (например, перемещение внутри городов или городских агломераций, поселков и т.п.),

б) оперативное удовлетворение традиционных запросов населения (продажа/покупка транспортных средств, отслеживание местонахождения того или иного транспортного средства, поиск попутчиков дорожного движения, приобретение билетов в кассах и т.п.).

Вопросы же стратегического характера развития территориальных транспортных систем, особенно актуальные для нашей страны, как правило, не лежат в поле зрения исследователей из стран Запада по вполне понятным причинам (высокая плотность населения, развитая транспортная сеть в пределах довольно компактных регионов, благоприятные природно-климатические условия и т.п.). Для нашей страны корректное разрешение проблемы транспортной дискриминации населения – это ключевой момент для обеспечения поступательного развития как страны в целом, так и отдаленных слаборазвитых регионов [22].

Анализ возможностей инструментария разного типа, с ориентацией только на модельные наработки транспортных задач в их классической постановке [1-5] и программные продукты [5-7] интересны и полезны для получения представлений об идеальном ходе развития событий.

В современных же рыночных условиях, в которых функционирует масса участников со своими индивидуальными линиями поведения, наибольший интерес вызывают безусловно мультиагентные постановки, которые позволяют учесть и как-то согласовать всю гамму интересов экономических агентов разной природы. Среди этих агентов безусловно существуют агенты с разными полномочиями, в том числе и группы агентов, самостоятельно принимающих решения (акторы описываемого процесса).

Имеются и другие довольно интересные программные продукты транспортной тематики широкого назначения, но они тоже не в плоскости нашего исследования, так как не отвечают его задачам. Как правило, это инструментарий для моделирования и изучения процессов движение отдельных участников транспортного процесса, транспортных средств и объектов с позиции предотвращения формирования критических ситуаций в пределах территориальных систем разного уровня иерархии.

Особенно представительны наработки для городских транспортных систем [10-15] по оптимизации движения:

- внутри самих «потоков транспортных средств» на внутригородских дорогах (функционирование проблемных участков дорог и перекрестков) [6, 7],
- разных вариантах работы светофоров и их систем [8, 9, 10],
- направлений перемещений потоков граждан при проведении массовых мероприятий в ограниченных территориальных пространствах (спортсменов или зрителей)) [9, 14] и др.

При этом практически не уделяется внимание вопросам транспортной недоступности и транспортной дискриминации населения удаленных регионов, которые как не решались, так и практически не решаются за прошедшие более чем три десятилетия. Более того, ситуация усугубилась за это время, так как инфраструктура имеет тенденцию к устареванию.

С другой стороны, в нашей стране имеются и еще сохранились как транспортные технологии, так и разные типы транспортных средств, благодаря которым возможно не только своевременно разрешать вопросы транспортной недоступности и транспортной дискриминации населения, но и занять особую нишу на мировых и региональных рынках.

Представляется, что на базе использования классического аппарата экономико-математических моделей транспортной природы (оптимизационных моделей, имитационных моделей, сетевых моделей), эти проблемы не разрешимы. В рамках этих инструментариев сложно корректно и во всем многообразии отразить особую роль и проследить влияние именно человеческого фактора при выборе тех или иных ключевых решений в любой экономической сфере. И практически невозможно моделировать сам процесс принятия решений по производству тех или иных транспортных средств, встраивание их в транспортные системы разного уровня иерархии (городские, областные, макро- или мега-региональных уровней и т.п.).

Этим и объясняется особый интерес к развитию экономико-математического инструментария на базе аппарата мультиагентного моделирования [11-21], в рамках которого возможен не только косвенный учет влияния человеческого фактора, но и моделирование самого процесса принятия этих решений с учетом состояния среды в целом (экономической, социальной ситуации) и возможных последствий от этих решений.

Мультиагентное моделирование представляется и наиболее продуктивным в текущих постоянно трансформирующихся условиях внешней среды, когда меняются не только внешние и внутренние условия, но и набор полномочий и степень влияния того или иного участника хозяйственного или управленческого процесса.

Средства этого инструментария также позволяют моделировать сам процесс принятия решения агентами разной природы (чиновниками-управленцами, собственниками производств, владельцами патентов на необходимые транспортные технологии и др.) при различном сочетании условий (степени значимости и влияния того или иного агента, сложившегося соотношения сил по судьбе того или иного транспортного проекта и т.д.). А также моделировать влияние конфликтов интересов на ход реализации транспортных проектов в целом и изменения ситуации с транспортной дискриминацией населения страны.

Все вышесказанное позволяет произвести комплексную оценку ситуаций с учета взаимодействия агентов разной природы (хозяйственных, управленческих, общеэкономических и др.) с весьма противоречивыми интересами.

Использование мультиагентного подхода позволяет:

- учесть и спрогнозировать влияние или конфликт интересов разных групп участников проектов,
- оценить достаточность властных полномочий основных акторов (отдельные группы пользователей, строительные компании, производители транспортных систем, компании-эксплуатанты транспортных средств и транспортных технологий, частники-предприниматели и др.) и их воздействия на сам ход принятия решений (законодательных, запретительных, лоббистских и др.) и управления последствиями.

Отметим также, что в настоящее время имеется и активно используется довольно большой спектр программных продуктов (агентной природы и не только), которые ориентированы на задачи в транспортной сфере. Среди таких программных продуктов особое место занимают, такие как AnyLogic (имитационного моделирования), TRAN-SIMS (анализ региональных транспортных систем), PT Vissim/PT Visum (моделирование транспортных потоков) и др.

Среди известных продуктов в этой области можно выделить также инструментарии, посвященные международным перевозкам грузов. Отметим следующие из этих продуктов: CUBE из Великобритании, PT Vissim / PT Visum и AIMSUN из Германии и Испании соответственно, PARAMICS из Великобритании и

TransCAD из США. Можно отметить также программные комплексы из России ("Дорожный менеджер" и ПКМ МАДИ), которые предназначены для моделирования городских агломераций и общественных транспортных перевозок внутри городского пространства.

Актуализация задач такого типа в настоящее время требует и разработку инструментария транспортной природы, который позволит не только генерировать и анализировать разные варианты транспортной сети, но и моделировать поведение хозяйствующих субъектов самого разного уровня с учетом возможности возникновения конфликтов интересов участников этих процессов. Как показывает опыт реализации различных проектов, недоучет интересов отдельных хозяйствующих и управленческих субъектов является одной из главных причин нарушений и сбоев в процессе их реализации.

В целом, можно предложить следующие этапы при построении математической модели:

- выделение основных сущностей и агентов (участников экономического процесса) и определение их основных целей в рамках моделируемого процесса;
- формализация алгоритмов и механизмов взаимодействия между сущностями и агентами системы;
- формирование последовательности процесса моделирования.

Результаты

В настоящее время предложено и апробировано несколько прототипов мультиагентной модели, в общем виде которую можно описать следующим образом:

$$M = (W_n, E_m, P_l, R_s, I_k),$$

$$I_k = I_field_p \cup I_flow_q,$$

$$E \subset W \times W,$$

$$P_l \subset W \times I, A_j \subset P_l,$$

$R_s \subset I \times W$, где: W^{\sim} , W и W^{\wedge} это подмножество агентов, которые выполняют узкоспециализированные функции.

Подмножество агентов ($w_j^{\sim} \in W^{\sim}, [W^{\sim}] = n_1$) включает в себя подгруппы классических агентов (агенты-управленцы), функционирующих в экономическом пространстве. Среди них можно выделить следующие подгруппы: руководители территориальных структур, администрация проекта сооружения транспортной магистрали, инвесторы, представители населения и общественных движений и т.п.

A – общее множество групп агентов мультиагентной системы, которое включает в себя подгруппы агентов разной природы.

E – множество видов отношений между агентами или их группами (например, итерации по согласованию отдельных проектов или их этапов, поиск участников проектов, проведение тендеров и т.п.).

I_k – окружающая информационная среда (среда функционирования агентов), которая состоит из информационных полей (I_field_p) и информационных потоков (I_flow_q), отличия которых подробнее описаны ниже. В свою очередь, множества как самих полей, так и потоков состоят из компонент: $I_field_p = (I_{clim}, I_{dir}, I_{stand}, I_{laws})$, $I_flow_q = (I_{pr}, I_{ext_s}, I_{soc_mem}, I_{curr}, I_{ec_pred})$, P_l – множество взаимосвязей агентов и внешней среды, в рамках которой они функционируют (восприятие агентами преобразований среды, формирование изменений в информационных потоках).

A_j – подмножество взаимосвязей окружающей среды и агентов, позволяющее описать и учесть эмоциональную (качественно иную) реакцию агентов при принятии решений на все те изменения, которые происходят в окружающей их среде.

R_s – множество взаимосвязей среды и агентов (оповещение агентов информационной средой о каком-либо событии, изменение атрибутов агентов и т.д.).

Отметим, что между агентами разных групп ($W^{\sim}, W^{\approx}, W^{\Delta}$) осуществляются взаимодействия в различных направлениях. Представляется, что концепция взаимосвязей и взаимодействия по принципу «многие-ко-многим» наилучшим образом отражает суть процессов, которые свойственны схемам взаимодействия агентов разной природы в реальном мире. Технически взаимодействие агентов (агентов друг с другом, агента с окружающей средой) осуществляется через передачу потоков сообщений между участниками процессов разного уровня иерархии.

Для каждой группы агентов разрабатываются алгоритмы поведения, которые присущи и свойственны только агентам данной группы.

Рассмотрим более подробно некоторые из них на примере обозначенных выше агентных подмножеств.

Первое подмножество агентов ($w_j^{\sim} \in W^{\sim}, [W^{\sim}] = n_1$) включает в себя классических агентов (агенты-управленцы), которые активно функционируют практически в любой экономической среде. Среди них можно выделить следующие группы: руководителей территориальных структур (областей, административных районов, населенных пунктов и т.п.), администрацию проекта сооружения транспортной магистрали или ее отдельных участков, потенциальных инвесторов и соинвесторов проекта в целом или конкретных подпроектов, представителей населения и общественных движений той или иной территориальной единицы и т.д.

Функции большинства агентов этого подмножества (агентов-управленцев) интуитивно понятны, ибо они формально совпадают с их управленческими функциями в реальной экономике. При этом функции агентов-населения и агентов-общественных организаций могут пересекаться с функциями анти-лоббистов проекта, в частности, в их компетенции может входить подача заявок на проведение независимой экспертизы проекта, работа с населением, сбор и обобщения мнений по поводу обсуждаемых проектов и т.д. Технически это можно обеспечить не только через учет результатов опросов населения, но и через парсинг комментариев в обсуждениях статей, новостей и других материалов в интернет-пространстве интересующей проблематики и т.п.

Второе подмножество агентов ($w_j^{\approx} \in W^{\approx}, [W^{\approx}] = n_2$) это агенты-лоббисты разного уровня иерархии, которые обеспечивают продвижение лоббируемых проектов на разных уровнях принятия решений. Наличие такой группы агентов это не исключение в реальной жизни, а традиционные процессы для любого крупного инвестиционного проекта транспортной природы, да и не только. Лоббирование могут проводить как отдельные агенты-лоббисты, так и организации-лоббисты того или иного транспортного проекта. Отметим, особую роль и положение этой группы агентов ($w_j^{\approx} \in W^{\approx}$) среди всех других групп агентов и специфику их моделирования.

Во-первых, агенты-лоббисты и организации-лоббисты являются активными участниками самого процесса принятия решения на разных уровнях иерархии. Другое дело, что в реальной жизни они нередко остаются в тени и не стремятся выходить на передний план при обсуждении проектов или отдельных решений. В качестве агентов-лоббистов традиционно выступают лица (участники процессов) или организации (компании), претендующие на получение заказа для своих транспортных компаний или компаний-партнеров. Среди организаций-лоббистов также довольно часто встречаются: а) широко известные аналитические организации, мозговые-центры (think tanks) и сопряженные с ними структуры, б) специализированные проектные и научно-

исследовательские организации, в) управленческие структуры разного уровня иерархии (областные, муниципальные, региональные и др.) и т.п.

Во-вторых, это единственная группа агентов, для которой характерно волевое поведение в его чистом виде. Они всегда принимают решения, которые предопределены исключительно их собственными интересами и личными намерениями в рамках той роли, которая им предписана в данном процессе. Этот тот самый тип поведения, который в рамках уже широко известной теории К. Левина [8], предпочитает полностью исходить из примата собственных интересов, в том числе и из частных намерений отдельного конкретного человека.

При этом агенты-лоббисты и агенты-организаторы могут быть хорошо осведомлены о потенциальных «подводных камнях» и наиболее вероятных узких местах продвигаемых ими проектов. Естественно, что их не останавливают сопряженные с этим проектом последствия, за которые они и не отвечают с учетом своей базовой функциональности. В их личностных интересах, это обеспечить как можно дольше актуальность проекта, привлекая к нему внимание лиц, организаций, от которых зависит принятие решений по нему на более высоком уровне. Если проект окажется успешным, то это только создает дополнительный гешефт от лоббирования этого проекта в связи с премиальными бонусами.

Отметим, что возможность моделирования этого типа экономических субъектов (лоббистов) вряд ли возможно другими средствами и вне рамок этого аппарата моделирования.

Третье подмножество агентов ($w_j^A \in W^A, [W^A] = n_3$) это довольно представительная группа агентов информационного сопровождения проектов, которая редко попадает в поле зрения и внимания стороннему наблюдателю процессов принятия решений по тому или иному проекту. Она включает в себя как отдельные подмножества агентов, так и узкоспециализированных агентов, таких как агенты-интерпретаторы сообщений и т.п.

Подавляющее большинство агентов этого типа обеспечивают синхронизацию состояния окружающей среды, в которой функционируют агенты, с накопившимися в системе изменениями при том или ином ходе развития событий. В частности, это может осуществляться за счет оперативного мониторинга информационного пространства самой разной тематики в зависимости от нюансов конкретной постановки задачи.

Второй прототип мультиагентной системы отвечает за симуляцию транспортно-логистической системы и тоже имеет довольно сложную внутреннюю структуру: $M = (V, K, L)$. В рамках этой постановки задачи также предусмотрено несколько «специализированных» групп агентов и агентов, отвечающих за работу всей мультиагентной системы в целом. В группе специализированных агентов $V=(RMA,AMS,DF)$, наряду с двумя довольно традиционными группами агентов для ряда постановок задач (AMS – агенты самой мультиагентной системы, RMA – агенты-управления мультиагентной системой в целом), предусмотрена особая группа агентов (DF), отвечающая за симуляцию самой транспортно-логистической системы.

В данной модельной поставке предусмотрены два специфицированных класса агентов («класс заказов» и «класс ресурсов») и два варианта передвижения: на общественном транспорте (по фиксированным маршрутам) и на индивидуальном транспорте (гибкие маршруты). Соответственно, каждый вариант передвижения характеризуется своим набором параметров. В отличие, от индивидуального транспорта (в качестве которого может выступать и такси), маршрутный транспорт характеризуется довольно большим спектром параметров (перечнем остановок, временем ожидания на промежуточных пунктах, временем посадки на каждой

остановке и временем прибытия в пункт следования на данном этапе маршрута). Считается, что для индивидуального транспорта достаточно только одной характеристики – указание средней скорости движения данного индивидуального транспорта. Введение этих групп агентов позволило получить более точные и реалистичные результаты анализа в процессе модельных экспериментов.

При постановке задачи в качестве объекта исследования были выбраны регионы Дальнего Востока и Сибири. Именно для этих регионов, с одной стороны, наиболее актуальна проблема транспортной доступности и дискриминации населения, а с другой стороны, возможно использование довольно широко спектра транспортных средств и технологий, слабо используемых на остальной территории страны по разным причинам (высокая заселенность территории, ограниченность пространства для свободного перемещения транспортных средств и др.).

Кроме того, это потребовало при разработке интерфейса учесть разные схемы функционирования общественного и индивидуального транспорта, от которых зависят количественные характеристики этих видов транспорта. Это было учтено и при выборе типа базы данных и ее структуры. Как известно, маршрутный транспорт, в отличие от индивидуального, характеризуется также временем ожидания на промежуточных пунктах, временем посадки в общественный транспорт и временем прибытия в пункт следования на данном этапе маршрута. В то время как для индивидуального транспорта можно ограничиться только указанием средней скорости движения практически на большинстве потенциальных маршрутов для передвижения транспортных средств.

В рамках данной постановки задачи по оценке транспортной дискриминации населения, в модели были предусмотрены следующие основные типы агентов, функционирующих в программной среде и отвечающих за симуляцию транспортно-логистической системы:

- агенты-заказа. Целью агента является достижение точки назначения путем нахождения некоторого маршрута и поиска агентов, способных предоставить им необходимый сервис. Соответственно, агентам этого класса необходимо знать перечень всех узлов транспортной системы, по которым они могут перемещаться, а также расстояние между ними.
- агенты-ресурсов. Целью данной группы агентов является предоставления «агентам-заказа» транспорта, необходимого им для достижения определенной точки маршрута движения. В этом классе было предусмотрено два типа агентов, отвечающих двум вариантам предоставления населению этой транспортной услуги, а именно, общественный и маршрутный транспорт.

Агенты, отвечающие за маршрутный транспорт, обладают полной информацией, как обо всех узлах маршрутов (наименование населенных пунктов или остановок), так и о расписании движения транспорта. Агенты, отвечающие за индивидуальный транспорт, обладают всей полнотой информации не только обо всех узлах, по которым они могут перемещаться, но и о расстояниях между ними.

Этих двух групп специфицированных агентов достаточно для моделирования и учета экономической специфики рассматриваемой задачи по оценке транспортной доступности и транспортной дискриминации населения удаленных регионов страны. Однако, помимо вышеупомянутых агентов, задействована также большая группа специальных агентов, обеспечивающих адекватное функционирование и выход на конечное решение интересующей нас задачи.

Вышеуказанные агенты дополняются агентами системной природы. Например, важное место занимают следующие «системные» агенты, а именно, агент AMS (система управления агентами), агент менеджер директорий (DF), агент управления MAC (RMA). К функциям данной группы относятся действия широкого круга, среди

которых следующие системные агенты: а) агент создания и удаления агентов; агент, обеспечивающий поддержку пространства имен агентов; б) агент, обеспечивающий поддержку обмена сообщениями и др.; в) менеджер директорий и др.

Особое функциональное назначение имеет группа «встроенных агентов», отвечающих за просмотр потока сообщений между агентами, отслеживание внутреннего состояния, контроль за активными заданиями и оценка выполненных работ (поведения системы, за симуляцию системы в целом. Эти функции выполняют следующие встроенные агенты: Dummy agent, Sniffer agent, Introspector agent, Log Manager agent, ResourceAgent, OrderAgent, RouteAgent и другие. В функции этих агентов также входят ключевые операции транспортного процесса: прием заказов, поиск и выбор необходимого транспорта, создание маршрута, отслеживание процессов перемещения. Для обеспечения взаимосвязной и согласованной работы всех агентов введена группа служебных и вспомогательных агентов. Основное функциональное назначение которых поддержка традиционных функций по администрированию мультиагентной системы в целом, а также обеспечение корректной работы агентов-симуляции. Отметим некоторые дополнительные возможности, которые предоставляют встроенные служебные и вспомогательные агенты.

Например, для эффективной работы приложения «агентам-заказа» необходимо быстро находить свободных и нужных на данном этапе «агентов-ресурсов». Для этого JADE предоставляет сервис «yellow pages». В связи с этим была предусмотрена группа таких «служебных» агентов, как, например, агент Directory Facilitator (DF). Этот агент является менеджером директорий и обеспечивает в работоспособном состоянии службу «желтых страниц» в соответствии со спецификацией FIPA. Введение этого служебного агента позволяет агентам обмениваться информацией о своих возможностях (сервисах), а также находить других агентов, которые могут выполнить необходимые для них работы.

Основные агенты данной группы выполняют следующие функции: агент системы управления агентами (агент AMS), менеджер директорий (агент DF), агент управления MAC (RMA). К функциям данной группы относятся следующие действия: а) обеспечение создания и удаления агентов, поддержка пространства имен агентов, поддержка обмена сообщениями, б) поддержка обмена сообщениями с ним агента ACL и др. при использовании специального языка-сообщений.

Особый интерес, в рамках данной постановки задачи, вызывает такой тип агентов, как агент «желтых страниц» Directory Facilitator (DF). Именно этот агент обеспечивает связь практически между всеми агентами системы. Он предоставляет возможность обмениваться с ним сообщениями (типа ACL) средствами соответствующего языка, публиковать информацию о перечне своих услуг, обеспечивать поиск и нахождение других служебных агентов, предоставляющих необходимые сервисы (услуги), необходимые для решения задачи.

Кроме того, в мультиагентной системе предусмотрены следующие группы агентов, уже классические для мультиагентных систем транспортной природы:

1. вспомогательные агенты, которые отвечают за просмотр потока сообщений между агентами (Dummy agent, Sniffer agent, Introspector agent, Log Manager agent). Они отслеживают сам поток сообщений между агентами, внутренние состояния самой системы и активные (на данный момент) задания;
2. агенты, отвечающие за симуляцию самой системы (ResourceAgent, OrderAgent, RouteAgent);
3. агенты, отвечающие за моделирование непосредственно транспортно-логистической системы. В данном классе агентов были предусмотрены следующие

подгруппы агентов: агенты-заказа, агенты-ресурсов и агенты-маршрутов, каждая из которых имеет свое функциональное назначение.

Последняя группа агентов, отвечающая за транспортно-логистическую систему, является основополагающей при постановке мультиагентной задачи пользователями.

- Агенты-заказов уведомляют о том, что произведена генерация маршрута с выделением отдельных пунктов (остановочных) маршрута, своевременно подают информацию об изменениях в маршруте и перечень конкретных агентов-ресурсов, к которым следует обратиться для выполнения заказа.
- Агенты-ресурсов, в свою очередь, предоставляют агентам-заказов транспорт, информируя обо всех транспортных узлах по маршруту движения, имеющемся в доступе расписании движения и предоставляют информацию об индивидуальном транспорте, о всех транспортных узлах по пути и расстоянии между ними.
- Агент-маршрут осуществляет поиск пути, отвечающего заданным критериям, которые указаны заказчиком или участником транспортного процесса. В информационном потоке, сопряженном со сгенерированным маршрутом, также содержатся следующие ключевые характеристики, важные для отдельных участников транспортного процесса: время ожидания маршрутного транспорта, время ожидания освобождения/создания новых агентов-ресурсов, а также информация об итоговом времени пути (с учетом времени ожидания транспортного средства).

В рамках этого варианта постановки задачи можно менять количество пассажиров в заявке, вид транспорта, предпочитаемый ресурс и даже конечное место прибытия. При поступлении изменений, агент перестраивает ранее построенный план по достижению конечной цели. При разработке данного типа приложения были задействованы такие возможности инструментария, как фиксировать происходящие изменения в маршруте через специальное окно для отслеживания деятельности агентов, а также предусмотрена возможность добавления или удаления новых агентов и поддержка в системе общих сведений о самой модели.

На данном этапе исследований проведены экспериментальные расчеты, в которых рассматривались два разных варианта поставки грузов в удаленные населенные пункты и регионы Севера (например, населенных пунктов Батагай и Жиганск). Один из вариантов разрешения этой задачи основывался на использовании традиционных транспортных технологий и средств передвижения. Второй вариант предусматривал расширение возможностей транспортной сети за счет подключения относительно «новых» видов транспорта, а именно таких, как суда на воздушной подушке, вездеходы, экранопланы и др. Проведенные экспериментальные расчеты показали, что при использовании этих транспортных средств имеется потенциал в снижении затрат времени на перевозку, как грузов, так и населения, примерно в три раза (рис.1).

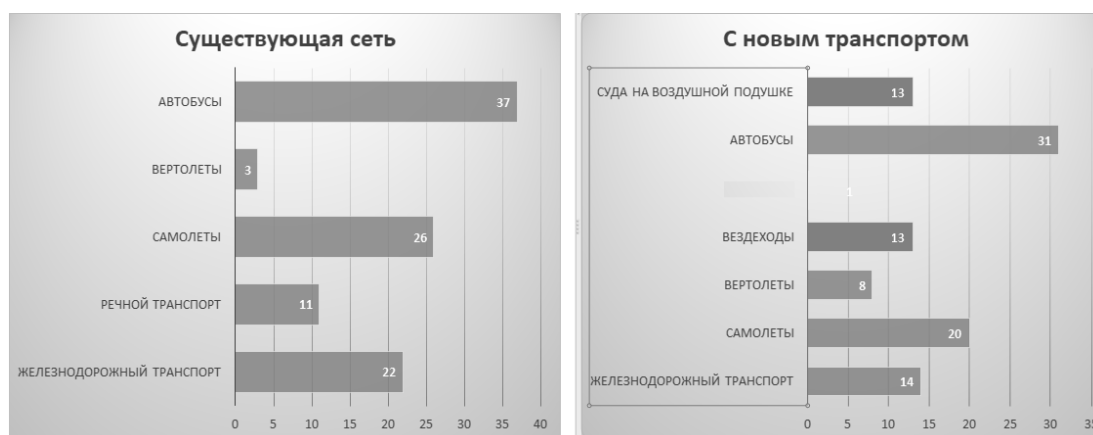


Рис. 1 Результаты экспериментальных по затратам времени на транспортировку в северные районы на базе использования разных типов транспортных средств

Обсуждение полученных результатов и сопоставление их с ранее известными

Предложенная мультиагентная система была апробирована на примере условной задачи по перевозкам населения и поставкам грузов в удаленные населенные пункты регионов Севера. Предусмотрены два варианта функционирования транспортной сети: «традиционный» и «транспортная сеть с подключением новых видов транспорта». В качестве транспортных средств рассматривались не только такие транспортные средства, как автодорожные транспортные средства (автобусы), речной транспорт, железнодорожный транспорт, самолеты, вертолеты и др., с добавлением таких «новых» видов транспортных средств, как суда на воздушной подушке, вездеходы, экранопланы и др.

Проведенные экспериментальные расчеты в целом показали правомерность принятых посылок и ограничений и подтвердили работоспособность инструментария. При более широком задействовании транспортных средств (рис.1), не привязанных жестко к транспортным магистралям, возможно заметное сокращение временных затрат (практически в три раза).

Предложенная и опробованная схема разработки мультиагентной системы транспортной природы, которая включает в себя следующие этапы:

- анализ проектов строительства новых транспортных магистралей и формирования на этой базе потенциальных вариантов транспортной системы страны в будущем, а также поиск в информационном пространстве альтернативных предложений и изучение их с позиции применимости для целей исследования;
- выделение акторов разной сущностной природы (экономической, хозяйственной, управленческой, ресурсной и др.), влияющих на процессы формирования, развития и функционирования транспортной системы;
- анализ логики и процедур принятия решений акторами разной в процессе развития и функционирования транспортной системы;
- формирование агрегированных типов агентов, соответствующих выделенным акторам транспортно-экономических процессов с прописыванием их функций и правил взаимодействия с другими агентами на основе проведенного анализа;
- спецификаций для каждой группы агентов, присущих им свойств и атрибутов, формирование правил поведения агентов и схем взаимодействия как с элементами окружающей среды, так и друг с другом;
- выявление основных компонентов окружающей среды, которые являются значимыми для всех акторов (участников) транспортных мегапроектов и механизмов их влияния на ход процессов;

– проведение экспериментальных расчетов и анализ результатов.

Заключение (выводы и рекомендации)

По результатам тестовых исследования на контрольном примере, предложенная постановка мультиагентной задачи и разработанный прототип инструментария подтвердили свою работоспособность и продуктивность. Представляется, что это направление исследования весьма продуктивно в современных условиях, когда на глазах происходит знаковое изменение мирохозяйственной системы, которое переформирует и транспортные системы разных уровней иерархии (международной, региональной и др.).

Все это делает необходимым не только интенсивно развивать нашу транспортную систему, гибко переориентируя на другие рынки сбыта и задействовав возможности всех наработанных в стране транспортных технологий, для того, чтобы корректно встроиться в новые контуры мирохозяйственной системы, которые сейчас формируются. В свою очередь это может придать дополнительный импульс развития экономики в условиях наблюдаемой дестабилизация процессов экономического сотрудничества в различных уголках мирохозяйственной системы.

Проведено тестирование разрабатываемого инструментария на условном примере, сформированном на базе реальных данных по разным видам транспортных средств и транспортных технологий, подтвердило работоспособность данного инструментария. Кроме того, этот инструментарий позволяет довольно легко моделировать «необычные» или малоизвестные транспортные технологии (экранопланы, экранолеты, вездеходы и др.) и транспортные системы, которыми исторически обладает страна. Эти транспортные технологии специально разрабатывались с учетом особенностей нашей географической среды и условий, которые она предъявляет к транспортной технике и технологиям. Представляется, что этот научный и технологический задел может оказаться в ближайшие годы востребованным и продуктивным для снижения проблемы транспортной недоступности удаленных регионов нашей страны, да и в других регионах мирохозяйственной системы. Это позволит получить стране дополнительный импульс для экономического развития.

В дальнейшем целесообразно расширение инструментария оценки транспортной доступности территорий и дискриминации населения посредством реализации новых методов и возможностей, которые появляются при задействовании новых технологий анализа экономической и транспортной ситуации в стране.

Литература

1. Программа для моделирования “AIMSUN” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.aimsun.com/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
2. Программа для моделирования “PARAMICS” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.paramics.co.uk/en/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
3. Программа для моделирования “SATURN” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://saturnsoftware2.co.uk/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
4. Программа для моделирования “PT Vissim” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
5. Программа для моделирования “TRANSNET” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.transnet.net/Pages/Home.aspx>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
6. Программа для моделирования “CUBE Land” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/mobility-simulation-and->

- analytics/cube-cargo. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
7. Программа для моделирования “TransCAD” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.caliper.com/tcovu.htm>. [Дата обращения: 24 Февраля 2022].
 8. **Малыханов А.А.** Имитационная модель агента для низкоуровневого исследования транспортных систем: специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Малыханов Андрей Анатольевич; Ульяновский государственный университет. – Ульяновск, 2011. – 24 с.
 9. **Grether D.** Agent-based Modelling and Simulation of Air Transport Technology / D. Grether, S. Furbas, K. Nagel // *Procedia Computer Science*. – 2013. – № 19. – С.821-828.
 10. **Патракеев И.М., Толстохатко В.А. Красильник Ю.Ю.** Агентная модель движения транспорта на перекрестке / И.М. Патракеев, // *Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Верданского*. – 2012. – № 1. – С.167-176.
 11. **Шибарева Е.К.** Имитационное моделирование транспортной развязки ул.Кубовая-ул.Кедровая города Новосибирска / *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2019. – № 7. – С.99-106.
 12. **Torabi B.** A collaborative agent-based traffic signal system for highly dynamic traffic conditions / B. Torabi, R. Zalila-Wenkstern, R. Saylor // *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. – 2020. – № 34. – С.1-24. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/338568494>
 13. **Horni A.** The Multi-Agent Transport Simulation MATSim / A. Horni, K. Nagel, K.W. Axhausen. – London: Ubiquity Press Ltd., 2016. – 620 с.
 14. Инструмент агентного моделирования “MATSIM” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.matsim.org/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
 15. Инструмент агентного моделирования “POLARIS” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.anl.gov/es/polaris-transportation-system-simulation-tool>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
 16. Инструмент агентного моделирования “MaDKit-5” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <http://www.madkit.net/madkit/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
 17. Инструмент агентного моделирования “JADE” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://jade-project.gitlab.io/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
 18. Инструмент агентного моделирования “NetLogo” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
 19. Инструмент агентного моделирования “MASON” [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].