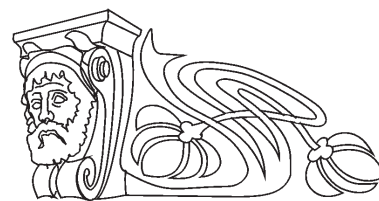




УДК 519.876.5

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ОСНОВЕ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА



В. Н. Трегубов

доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономическая безопасность и управление инновациями», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. E-mail: tregubovvn@outlook.com

Э. В. Морозов

аспирант кафедры «Экономическая безопасность и управление инновациями», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. E-mail: morozov2013@yandex.ru

Введение. Методологически важным для совершенствования теории организации городского общественного транспорта является исследование особенностей транспортного поведения пассажиров. В статье с позиций институциональной теории рассматриваются подходы к объяснению побудительных мотивов выбора типа транспортных средств и маршрутов передвижения пассажирами, выполняющими внутригородские перемещения, и описана методология моделирования транспортного поведения методами агентного моделирования. **Теоретический анализ.** «Транспортное поведение» как понятие принципиально отличается от часто используемого исследователями понятия «транспортная подвижность», так как представляет собой интегральную характеристику побудительных мотивов использования городского общественного транспорта пассажиром. Проведенный с позиций институционального подхода анализ показал, что выбор вида транспорта и маршрута перемещения обусловлен не только минимизацией стоимости поездки, но и другими факторами, которые необходимо учитывать при описании системы общественных городских перевозок. **Эмпирический анализ.** Для моделирования был выбран мультиагентный подход. В моделируемой системе были выделены четыре типа агентов (агент пассажира, агент транспортного средства, агент транспортного узла, агент транспортной сети). Для описания жизненного цикла отдельного агента предложена графовая модель перехода состояний агента. **Результаты.** Разработана концепция многоагентной модели транспортного поведения пассажиров, выделены четыре основных типа агентов, приведено их описание, представлены механизмы их взаимодействия и резервирования. Полученные в ходе моделирования результаты можно использовать для сравнения различных стратегий выбора оптимальных маршрутов для отдельных пассажиров, а также поиска рациональных транспортных маршрутов для городского общественного транспорта.

Ключевые слова: институциональный подход, городская логистика, транспортное поведение, мультиагентное моделирование.

DOI: 10.18500/1994-2540-2017-17-2-197-204

Введение

Непрерывный рост городского населения ведет к росту городского трафика, что, в свою очередь, приводит к проблемам с загрязнением

городской среды, снижению скорости движения транспортных потоков, дорожным заторам и проблемам с безопасностью движения. Проблемы из этого перечня могут быть эффективно решены с использованием методов городской логистики. К сожалению, интерес к исследованиям в сфере городской логистики или логистики общественного транспорта в российском сегменте низкий, из крупных исследований можно упомянуть только ставшие уже классическими работы Л. Б. Миротина [1–3]. Это можно объяснить тем, что традиционно проблемы городского транспорта относились к инженерной сфере организации перевозок и управлению на транспорте, а логистика выступает как экономическая наука. Хотя проблемы эффективного управления потоками различного рода, а именно это составляет объект исследования логистики, стоят перед многими городами очень остро и требуют своего решения. За рубежом спектр исследований в сфере городской логистики гораздо более широкий [4–9], подробный анализ перспективных тем исследований в сфере urban logistics (городская логистика) и city logistics (логистика города) приведен в [10].

Теоретический анализ

Важным аспектом анализа функционирования рынка транспортных услуг является нахождение исходных посылов, определяющих поведение ключевой категории агентов на транспортном рынке – отдельных пассажиров. Транспортное поведение пассажиров выступает первичным фактором, определяющим деятельность транспортных компаний и других субъектов рынка, участвующих в производстве транспортных услуг. Предоставление транспортных услуг результативно только в случае, когда потребитель покупает производимый для него набор рыночных услуг и своевременно его оплачивает по текущей рыночной цене. Сама категория «транспортное поведение» требует теоретического описания и обоснования, так как принципиально отличается от часто используемых в теории городских общественных перевозок понятий «транспортная подвижность», «мобильность» и т.д. Большое исследование по теме соотношения ключевых терминов транспортной



сферы приведено в [11]. Автор справедливо отмечает, что изучение транспортного поведения направлено на поиск ответа на вопрос, зачем людям перемещаться конкретным видом транспорта или по конкретному маршруту. При этом само событие передвижения возникает вслед за событием, которое инициирует возникновение цели перемещения. Иерархия последовательности подобных событий и может быть представлена как транспортное поведение [11].

Многочисленные экономические исследования показывают, что люди в ряде случаев не способны принимать оптимальные решения в своем экономическом поведении. Одним из первых исследователей нерационального поведения индивидов был автор теории ограниченной рациональности американский ученый Г. Саймон [12], который указал на существующую нерациональность поведения индивидов и сделал попытку объяснения данного явления. По его мнению, люди как экономические агенты используют эвристический анализ, а не формальную оптимизацию. Большинство ситуаций экономического выбора являются сложными, и невозможно точно учесть полезность каждого действия, поэтому принимаемые решения могут быть нерациональными. В настоящее время теория поведения потребителей изучается экономистами, придерживающимися институционализма и неинституционализма [13]. Широкое распространение институциональная теория получила в области товарного маркетинга, но в сфере транспортных услуг, по нашему мнению, проводимых исследований недостаточно. Нами выполнено сравнение различных подходов к описанию экономических стимулов и моделей поведения пассажиров на городском общественном транспорте в рамках сравнения классического и институционального подходов.

В классической экономической теории предполагается, что товары и услуги обмениваются прямо или с использованием денег только при равенстве их стоимости, и покупатель всегда пытается минимизировать свои издержки. Для городских передвижений пассажиров это означает, что пассажир должен использовать тот способ перемещения, который имеет минимальную стоимость поездки на требуемое ему расстояние при обеспечении желаемого комфорта поездки и качества транспортного обслуживания.

В реальности такого выбора обычно не происходит, пассажиры часто используют услуги такси или личного автомобиля, хотя стоимость поездки в данном случае может в десятки раз превышать стоимость аналогичной поездки в общественном транспорте. Таким образом, в

рамках классической теории ключевым противоречием для сферы общественных перевозок является существенный разрыв между стоимостью транспортной услуги и ее полезностью для конкретного индивида, в настоящее время отсутствуют теоретические объяснения, как можно преодолеть это противоречие.

Институциональная экономическая теория, которая получила значительное распространение в настоящее время, предлагает другое объяснение поведения пассажиров. Ключевые идеи институционализма были высказаны Т. Вебленом более 100 лет назад [14]. Развитие институциональная теория приобрела в трудах Коммонса, Митчела, Пирса и т.д. Базисным посылом концепции институционализма считается то, что функционирование индивидов протекает в специфической среде, сформированной институтами. Под отдельным институтом подразумевается набор правил, определяющих и регламентирующих действия отдельных экономических субъектов [14]. Подобные правила возникают из организационных, национальных, социальных, культурных свойств, качеств, форм и механизмов общества.

Любое общество создает собственную институциональную среду, в которой происходит взаимодействие экономических агентов друг с другом. Взаимодействие проявляется в виде усвоения привычек, рекомендаций, правил и стандартов поведения в выработавшихся экономических условиях. В отличие от классического подхода, институционализм не подразумевает, что отдельный индивид пытается достичь максимальной рациональности своего поведения. Экономика институционализма основывается на допущении возможной адекватности оптимизационного подхода к исследованию человеческого поведения, хотя в большинстве ситуаций это не так. Во многих случаях субъект не осуществляет точного расчета для обеспечения максимальной эффективности своего выбора, а полагается на существующие традиции, свой опыт или поступает на основании приобретенных привычек. Способность полагаться на институциональные правила упрощает поведение индивидов, даже если они сталкиваются с задачами оптимизации. Повсеместное применение привычек и законов трансформирует задачу рационализации поведения индивида в задачу выбора одной из возможных альтернатив.

Привычки могут быть предустановленными или благоприобретенными, а правила – условными или безусловными. Следование правилам формирует привычку. Правила обычно нарушаются легче, чем привычки, так как привычки



укореняются на уровне подсознания и обычно не поддаются рациональному анализу. В этих моментах институционализм перекликается с биологическими теориями экономического поведения, когда отдельный индивид ориентирован на оптимизацию своего выбора. При известном наборе альтернатив и возобновляющейся ситуации выбора возможно использование простых процедур поиска оптимума путем применения уже готовых решений. В результате подобное поведение может быть даже более выгодным, чем точно вычисленное оптимальное, так как оно экономит время и энергию индивида, принимающего решения.

Например, в сфере общественного транспорта, принимая решение о выборе вида транспорта и маршрута для поездок на работу, пассажир должен предварительно рассчитывать эффективность альтернатив различных способов перемещения и только затем сделать выбор. Более естественным способом принятия решения в подобной ситуации является следование привычкам, например, пользование видом транспорта, который рядом с местом проживания. Подобная привычка прививается субъекту через многократное повторение первоначально сделанного выбора. Пассажир продолжит использовать выбранный способ перемещения, пока такой выбор обеспечивает удовлетворительную, с его точки зрения, эффективность.

В условиях ограниченного времени индивид не может обработать всю необходимую информацию, требуемую для выбора способа передвижения. Принятие оптимального решения в такой ситуации является достаточно сложным, в связи с этим пассажир прибегает к интуитивным решениям. Существует также возможность использования готовых решений, принятых остальными пассажирами в ходе похожего выбора. Проблема рациональности выбора возникает у индивида, если сложность обрабатываемой информации или ее неопределенность превышает его когнитивные способности.

Сложность информации часто приводит к ее непониманию и формирует неопределенность. Возникновение неопределенности связано с недостатком информации или наличием противоречивости в ней и также сопряжено с неспособностью автономного агента обработать информацию в полном объеме. В таком случае индивид выделяет часть информации, наиболее важную, с его точки зрения, для принятия конкретного решения.

В муниципальном образовании существует многообразие выбора вариантов перемещения, а пассажир выбирает допустимый, по его мне-

нию, способ. Это может быть не самый лучший способ, но именно такой подход характерен для разовых перемещений в новых для автономного агента условиях. Обобщая такое поведение, институциональные экономисты указывают: сам факт того, что индивиды вырабатывают правила и следуют им, не означает, что они не ведут себя рационально. Ожидается только, что правила формируются из разумности, а следовательно, использование правил повышает полезность.

Когда правило создается в результате множества повторов выбора решения в близких ситуациях, то такое правило может быть получено только в результате рационального исхода большинства таких повторов. В противоположном варианте поведение субъекта может быть изменено и новое правило не будет сформировано. Также имеются примеры выработки нерациональных правил. Например, исследования подвижности городского жителя показывают, что перемещения на личных автомобилях имеют непропорционально большую долю, чем это вытекало бы из экономических соображений. При этом лишние издержки, по сравнению с общественным транспортом, часто перевешивают удобство, престижность и комфорт таких перемещений, хотя подобная «рациональность» может объясняться не только экономическими причинами. Соблюдение правил и экономическая рациональность обычно не вступают в противоречие с механизмами выбора рационального потребительского поведения, которое вырабатывается путем естественного отбора среди рациональных и иррациональных решений при многократном повторении.

Рациональность на рынке транспортных услуг следует понимать в обобщенном смысле. В рамках институциональной теории такое обобщение означает, что минимизируются не только прямые затраты субъекта, но и его транзакционные издержки. Под транзакционными издержками понимают потери субъекта, связанные с самим процессом совершения выбора. Это дополнительные затраты на приобретение услуги. В обобщенном смысле можно считать, что транзакционные издержки – это дополнительная услуга, которую покупает потребитель, чтобы получить основную услугу.

Таким образом, транзакционные издержки в системе общественного транспорта связаны с потерями времени и прямыми финансовыми затратами индивида на совершение выбора того или иного решения. Например, если сравнивать издержки перемещения на личном автомобиле и пешего перемещения, то можно считать, что субъект экономит время, используя автомобиль,



но при этом несет дополнительные финансовые затраты по использованию автомобиля. Отношение этих финансовых затрат к финансовой оценке экономии времени и будет выражать транзакционные издержки выбора автомобиля. Акцент в использовании теории транзакционных издержек для системы общественного транспорта должен быть направлен на использование сравнительного подхода, когда транзакционные издержки рассматриваются только в их соотношении друг с другом.

Эмпирический анализ

Нами разработана концепция модели, описывающей транспортное поведение пассажиров в транспортной системе муниципалитета на основе институционального подхода. Модель позволяет исследовать процессы оптимизации управления в такой системе. Использование оптимального управления транспортными потоками для узлов транспортной сети, особенно в часы повышенной интенсивности пассажиропотоков, является актуальной в современных условиях логистической задачей. Поскольку решение такой задачи существенно осложняет именно наличие большого объема априорной информации и неопределенности в поведении отдельных пассажиров, наиболее эффективными здесь будут модели и методы системной динамики и эвристики.

С учетом приведенных выше теоретических рассуждений нами предлагается использовать институциональный подход к моделированию поведения пассажиров как автономных агентов. Модель использует критерии минимизации количества транспортных задержек и повышения средней скорости передвижения пассажиров.

Предлагается разрабатывать модель на основе агентного подхода [15–19]. В отличие от классического подхода, агентный не требует использовать проектирование сверху вниз и позволяет определять поведение модели непосредственно в процессе взаимодействия составляющих ее автономных агентов. При этом возможно достижение локального синергетического эффекта, когда агенты самоорганизуются для осуществления оптимального и рационального поведения. Выбор многоагентных систем в качестве средства моделирования обоснован эффективностью их применения для построения моделей коллективного поведения и описания функционирования транспортных и логистических систем.

Существует несколько распространенных подходов построения моделей агентов, используемых для динамического определения маршрутов в транспортных системах [16]:

- формирование единой базы знаний о транспортной системе на основании анализа входных и выходных данных;
- определение логики и целей поведения интеллектуальных агентов;
- построение регрессионных зависимостей для определения логики взаимодействия множеств агентов;
- выбор целевых функций описания логики поведения агентов.

Использование единой базы агентов обеспечивает возможность построения моделей, которые описывают логику поведения не отдельного агента, а группы однотипных агентов. Такой подход основан на предположении, что агенты имеют сходный набор характеристик и, попадая в похожие условия, будут вести себя одинаковым образом. В результате такой группировки существенно улучшаются результаты моделирования за счет прогнозирования динамики движения отдельных групп агентов. Это дает возможность использовать в качестве исходных данных только информацию за предшествующий период, что уменьшает вычислительную сложность построенной модели.

В нашей модели в качестве моделируемого объекта (отдельного пассажира) выступает программный агент, который принимает решения о своем поведении и сам выбирает траекторию перемещений по транспортной сети. В базовый вариант моделируемой системы входят: планировщик маршрута отдельного пассажира; модуль транспортного моделирования, который описывает план маршрута; загруженность потока, а также дополнительные модули, реализующие обратные связи и взаимодействия между отдельными агентами.

Функционирование такой модели реализуется с использованием обмена событиями между отдельными агентами; обмен событиями происходит посредством окружающей среды. В отличие от централизованных моделей с единым центром планирования и управления, выбранный нами подход позволяет отдельным агентам адаптироваться к внешним условиям и изменять свое поведение с учетом текущего состояния окружающей среды.

Для разработки маршрута используется подход на основе применения иерархической системы маршрутизации. В его рамках моделируемая сеть разбивается на отдельные участки с установлением их иерархической структуры. Затем для сети используются алгоритмы динамической маршрутизации, например муравьиный алгоритм. Муравьиный алгоритм позволяет представить взаимодействие агентов различного



вида на основе механизмов функционирования муравьиной колонии. При этом агенты разделяются на три группы: локальные агенты, которые формируют и используют локальные маршруты; агенты обратной связи, формирующие маршруты возвратов; агенты-исследователи, которые обеспечивают взаимодействие между различными секторами транспортной модели. Муравьиные алгоритмы показывают высокую степень адекватности функционирования в реальных условиях и в сложных транспортных сетях. Подобные алгоритмы относятся к категории децентрализованных и не требуют наличия единого управляющего центра, что существенно повышает эффективность моделирования.

В рассматриваемой нами задаче выделим четыре основных типа агентов: агент пассажира, агент транспортного средства, агент транспортного узла, агент транспортной сети:

- агент пассажира владеет полной информацией о пунктах назначения и текущем состоянии отдельного пассажира. Эта информация включает текущее положение пассажира, направление его движения и скорость;

- агент транспортного средства описывает маршрутное транспортное средство, движущееся по установленному маршруту и по расписанию;

- агент транспортного узла описывает основные элементы дорожной инфраструктуры (перекрестки, участки дорог, остановочные пункты и т.д.). Также этот агент описывает текущее состояние связанных с ним транспортных узлов. Он получает от активных агентов транспортных единиц и агентов пассажиров информацию о планируемых перемещениях транспорта и пассажиров в зону своей ответственности;

- агент транспортной сети предоставляет информацию об отношениях элементов внутри системы транспортных узлов.

Агент любого типа в модели может иметь только частичное представление о задаче в целом и способен решить только отдельную подзадачу, направленную на достижение локальной цели.

На каждой итерации расчета модели агент пассажира оценивает по личным критериям каждый из возможных маршрутов и выбирает наиболее предпочтительный. Затем он информирует агентов транспортных средств о своем выборе. Агенты транспортных средств, в свою очередь, информируют агентов транспортных узлов, входящих в элементы маршрута. Укрупненно именно агенты транспортных единиц и агенты транспортных узлов отвечают за координацию трафика.

Взаимодействие в сегменте транспортных единиц формирует обобщенная информация о на-

правлении своего движения, что позволяет агентам транспортных узлов обобщить информацию, передаваемую агентом пассажира, чтобы они использовали ее при планировании собственных маршрутов. Организация взаимодействия между всеми видами агентов строится на применении модели так называемого интеллектуального агента. Интеллектуальный агент осуществляет две основные функциональные возможности: проведение разведки маршрута и информирование о намерениях.

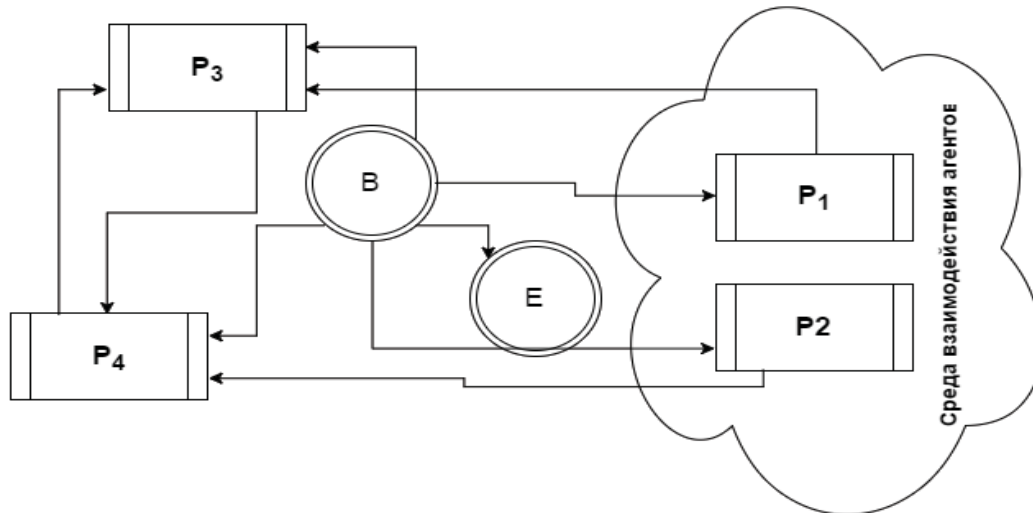
Механизмы взаимодействия агентов основаны на применении модели кругооборота ресурсов. Каждый агент функционирует в соответствии с заложенными в нем паттернами поведения, которые могут изменяться в процессе жизненного цикла агента

Для обеспечения синхронизации в поведении агентов могут быть использованы механизмы резервирования. Резервирование заключается в том, что агенты транспортных единиц запрашивают временные слоты у агентов транспортного узла. В рамках выделенного временного слота агент транспортной единицы должен попасть в данный транспортный узел. В такой модели транспортный узел представляет собой набор отдельных ячеек, каждая из которых может вместить одно транспортное средство в один момент времени. Такой подход позволяет обеспечить непосредственное взаимодействие между агентами различных уровней иерархии, в частности между агентом транспортных средств и агентом транспортной сети.

Жизненный цикл отдельного агента может быть представлен в виде дискретной системы, описываемой с помощью графа переходов [16]. Точки переходов представляют собой ассоциации между отдельными решениями агента и обуславливают процесс функционирования всей системы (рисунок).

Для выявления устойчивых зависимостей между входными параметрами и результатами функционирования агентов необходим сбор статистики как априорной информации, которая станет основой построения имитационной модели. Определение маршрута отдельной поездки осуществляется путем формирования разведочных агентов, которые последовательно исследуют различные возможные пути между текущим местонахождением агента и местом его назначения.

Находясь в отдельном узле транспортной сети, в ходе своего перемещения агент транспортного средства запрашивает агента транспортного узла о прогнозируемом времени перемещения по следующему участку маршрута с



Графовая модель переходов для агента пассажиров: В – точка старта агента; Е – завершение функционирования агента; P₁, P₂, P₃, P₄ – континуум процедур процессов агента; U – переходы между отдельными состояниями агента

учетом планируемого времени прибытия. Затем агент выбирает участок с наименьшими временными затратами и переходит к следующему узлу, в котором подобным же образом определяет следующий участок движения. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнут пункт назначения. В результате получается прогнозная оценка временных затрат на передвижение по всему маршруту. Полученная оценка времени перемещения выступает в качестве характеристики маршрута. Затем производится сравнение всех оценок альтернативных маршрутов для агента пассажира.

Агент пассажира на основе оценок сравнивает различные альтернативные маршруты и, выбрав минимальное время, начинает реализовывать функцию своего движения. С определенной временной периодичностью агент информирует о своих намерениях других участников движения, передавая им информацию о времени своего прибытия и убытия для каждого узла транспортной сети.

Работа промежуточных агентов продолжается в каждом из транспортных узлов, что позволяет обеспечить актуальность текущей информации для всех агентов транспортных узлов. В случае отсутствия подтверждения информации о прибытии агентов пассажиров в промежуточный транспортный узел текущее состояние агента транспортного узла перестает быть актуальным и удаляется из базы данных агента.

Первоначальная процедура анализа альтернативных маршрутов обеспечивает наполнение базы знаний исходного состояния системы. В дальнейшем реализуется процесс обучения

агентов, в результате которого осуществляется переход от исходной модели базы знаний к модели, характеризующей конкретное временное состояние транспортной сети с учетом индивидуальных параметров агентов и их распределения по транспортной сети.

Результаты

Таким образом, основанная на многоагентном моделировании разработка маршрутов позволяет осуществить проверку исходных теоретических результатов, выработать практические предложения по формированию управленческих стратегий в ходе оптимизаций транспортных потоков сети пассажирского транспорта.

Полученные в ходе моделирования результаты можно использовать для сравнения различных стратегий выбора оптимальных маршрутов для отдельных пассажиров, а также для поиска системы рациональных транспортных маршрутов для городского общественного транспорта.

Динамическое моделирование на основе принципа децентрализованного формирования маршрутов представляет собой комплексный инструмент анализа и прогноза эффективности эксплуатации транспортных сетей. Системно-динамический подход и многоагентное имитационное моделирование являются наиболее подходящими инструментами, так как большой класс задач по прогнозированию и разработке вариантов организации пассажирских потоков могут быть решены только при максимально подробном описании мотивов и паттернов поведения отдельных пассажиров.



Обобщая результаты исследования, можно сказать, что нами выработаны теоретические основания поведения отдельных пассажиров при выборе вида транспорта и маршрута своего передвижения на основе институционального подхода. Была предложена модель описания поведения пассажиров и разработана структура многоагентной системы пассажиропотока на концептуальном уровне. В завершение приведено описание взаимодействия агентов в ходе их перемещений по транспортным узлам транспортной сети и предложены рекомендации по повышению эффективности использования агентного подхода при моделировании транспортных систем.

Список литературы

1. Логистика : общественный пассажирский транспорт / под общ. ред. Л. Б. Миротина. М., 2003. 224 с.
2. Пассажиры автомобильные перевозки / под общ. ред. Л. Б. Миротина. М., 2006. 448 с.
3. Миротин Л., Иенатенко А., Марунич В. Логистический взгляд на пассажирские перевозки // Логистика. 1998. № 4. С. 31–33.
4. Vuchic V. R. Urban transit systems and technology. Hoboken, N.J., 2007. 614 p.
5. Didier van de Velde [et al.]. Contracting in urban public transport. Amsterdam, 2008. 123 p.
6. Beck A. E. Understanding Urban Sustainability and Quality of Life : A System Dynamics Approach // Bachelor of Science University of Illinois, Urbana-Champaign, 2006. P. 8–10.
7. Lerner J. Urban Acupuncture : Celebrating Pinpricks of Change that Enrich City Life. Washington, DC, 2014. 160 p.
8. Jonkers E., Gorris T. Intelligent Transport Systems for Urban Areas. URL: http://www.civitas.eu/sites/default/files/Results%20and%20Publications/civ_pol-not6_its_web.pdf (дата обращения: 05.12.2016).
9. Serna M., Uribe K. Collaborative autonomous systems in models of urban logistics // Dyna. 2012. Vol. 79. № 172. P. 171–179.
10. Lagorio A., Pinto R., Golini R. Research in urban logistics: a systematic literature review // Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag. 2016. Vol. 46, № 10. P. 908–931.
11. Мулев Е. Ю. «Транспортное поведение», «подвижность» и «мобильность» : к вопросу о концептуализации терминов // Социологический журнал. 2014. Т. 21, № 3. С. 8–28.
12. Саймон Г. А. Рациональность как процесс и продукт мышления // Thesis. 1993. Вып. 3. С. 16–38.
13. Вольчик В. В. Институциональная и эволюционная экономика : учеб. пособие. Ростов н/Д, 2011. 228 с.
14. Нуреев Р. М. Очерки по истории институционализма. Ростов н/Д, 2010. 415 с.
15. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с Any Logic 5. СПб., 2009. 390 с.
16. Ручкин К. А., Данилов А. В. Разработка многоагентной системы для прогнозирования поведения динамической системы в режиме реального времени // Штучный интеллект. 2011. № 4. С. 449–460.
17. Кравченко Ю. А., Гладков Л. А., Заруба Д. В. Перспективы использования многоагентного моделирования при создании интеллектуальных транспортных систем // Вестн. РГУПС. 2013. № 4. С. 68–73.
18. Padgham L. [ets.]. Agent Based Modelling of Urban Systems : First International Workshop, ABMUS 2016, Held in Conjunction with AAMAS, Singapore, Singapore, May 10, 2016, Revised, Selected, and Invited Papers. 2016. 224 p.
19. Duijn J. H. R. [ets.]. Towards an Agent-Based Modelling Approach for the Evaluation of Dynamic Usage of Urban Distribution Centers // Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2012. № 39. P. 333–348.

Образец для цитирования:

Трегубов В. Н., Морозов Э. В. Мультиагентное моделирование транспортного поведения пассажиров на основе институционального подхода // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2017. Т. 17, вып. 2. С. 197–204. DOI: 10.18500/1994-2540-2017-17-2-197-204.

Multiagent-based Modeling Transport Behavior of Passengers Through Institutional Theory

V. N. Tregubov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russia
E-mail: tregubovvn@outlook.com

E. V. Morozov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russia
E-mail: morozov2013@yandex.ru

Introduction. The study of passenger's behavior is crucial to improve theory of urban public transport organization. We compared the different approaches for explaining the motivations choosing

of vehicles type and movement routes by passengers from the perspective of institutional theory. We simulated the passenger behavior by agent-based models. **Theoretical analysis.** Transport behavior as a concept is fundamentally different from the commonly used concept of "transport mobility", because 'transport behavior' is an integral characteristic of passengers' motivation for using urban public transport. The analysis with institutional approach shown that the choice of transport mode and route of move made by not only minimizing the cost of the trip, but also there are many other factors that must be considered when describing public urban transport system. **Empirical analysis.** We used the agent-based modeling. We described four types of agents (passenger agent, vehicle agent, transport hub agent, transport network agent) in urban transport system. We developed the state transition graph for modeling the life cycle of the individual agent. **Results.** We made the concept of a multi-agent model of passengers' behavior, we



described four main types of agents, and presented their interactions and redundancy. The simulation results may be applying for compare different strategies choice of optimal routes for individual passengers, as well as to search for rational transportation routes for urban transport.

Key words: Institutional approach, city logistics, transport behaviors, multiagent based modelling.

References

1. *Logistika: obschestvennyi passazhirskii transport* [Logistics: public passenger transport. By total. ed. L. B. Mirotin]. Moscow, 2003. 224 p. (in Russian).
2. *Passazhirskie avtomobil'nye perevozki* [Passenger road transport. By total. ed. L. B. Mirotin]. Moscow, 2006. 448 p. (in Russian).
3. Mirotin L., Ignatenko A., Marunich V. Logisticheskiy vzgliad na passazhirskie perevozki [Logistic look at passenger transportation]. *Logistika* [Logistics], 1998, no. 4, pp. 31–33 (in Russian).
4. Vuchic V. R. *Urban transit systems and technology*. Hoboken, NJ, 2007. 614 p.
5. Didier van de Velde [et al.]. *Contracting in urban public transport*. Amsterdam, 2008. 123 p.
6. Beck A. E. Understanding Urban Sustainability and Quality of Life: A System Dynamics Approach. *Bachelor of Science University of Illinois*, Urbana-Champaign, 2006, pp. 8–10.
7. Lerner J. *Urban Acupuncture: Celebrating Pinpricks of Change that Enrich City Life*. Washington, DC, 2014. 160 p.
8. Jonkers E., Gorris T. *Intelligent Transport Systems for Urban Areas*. Available at: http://www.civitas.eu/sites/default/files/Results%20and%20Publications/civ_pol-not6_its_web.pdf (accessed 5 December 2016).
9. Serna M., Uribe K. Collaborative autonomous systems in models of urban logistics. *Dyna*, 2012, vol. 79, no. 172, pp. 171–179.
10. Lagorio A., Pinto R., Golini R. Research in urban logistics: a systematic literature review. *Inter. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, 2016, vol. 46, no. 10, pp. 908–931.
11. Muleev E. Yu. «Transportnoe povedenie», «podvizhnost'» i «mobil'nost'»: k voprosu o kontseptualizatsii terminov [«Vehicle behavior», «mobility» and «mobility»: the question of the conceptualization of terms]. *Sotsiologicheskii zhurnal* [Sociological magazine], 2014, vol. 21, no. 3, pp. 8–28 (in Russian).
12. Herbert A. Simon. Rationality as Process and as Product of Thought. Richard T. Ely Lecture. *American Economic Review*, May 1978, vol. 68, no. 2, pp. 1–16 (Russ. ed.: Saimon G. A. Ratsional'nost' kak protsess i produkt myshleniya. *Thesis*, 1993, iss. 3, pp. 16–38).
13. Vol'chik V. V. *Institutsional'naya i evoliutsionnaya ekonomika* [Institutional and evolutionary economics]. Rostov on Don, 2011. 228 p. (in Russian).
14. Nureev R. M. *Ocherki po istorii institutsionalizma* [Essays on the history of institutionalism]. Rostov on Don, 2010. 415 p. (in Russian).
15. Karpov Yu. G. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5* [Simulation system. Introduction to modeling with AnyLogic 5]. St. Petersburg, 2009. 390 p. (in Russian).
16. Ruchkin K. A., Danilov A. V. Razrabotka mnogoagentnoi sistemy dlia prognozirovaniya povedeniya dinamicheskoi sistemy v rezhime real'nogo vremeni [The development of multi-agent systems to predict the behavior of dynamic systems in real time]. *Shtuchnyi intellekt*, 2011, no. 4, pp. 449–460 (in Russian).
17. Kravchenko Yu. A., Gladkov L. A., Zaruba D. V. Perspektivy ispol'zovaniya mnogoagentnogo modelirovaniya pri sozdanii intellektual'nykh transportnykh sistem [Prospects for the use of multi-agent simulation to create intelligent transport systems]. *Vestnik RGUPS*, 2013, no. 4, pp. 68–73 (in Russian).
18. Padgham L. [ets.]. *Agent Based Modelling of Urban Systems: First International Workshop, ABMUS 2016, Held in Conjunction with AAMAS, Singapore, Singapore, May 10, 2016, Revised, Selected, and Invited Papers*. 2016. 224 p.
19. Duin J. H. R. [ets.]. Towards an Agent-Based Modelling Approach for the Evaluation of Dynamic Usage of Urban Distribution Centers. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, no. 39, pp. 333–348.

Cite this article as:

Tregubov V. N., Morozov E. V. Multiagent-based Modeling Transport Behavior of Passengers Through Institutional Theory. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2017, vol. 17, iss. 2, pp. 197–204 (in Russian). DOI: 10.18500/1994-2540-2017-17-2-197-204.