



## УПРАВЛЕНИЕ

УДК 656.13

### Моделирование инновационных процессов на городском транспорте с использованием методов системной динамики

В. Н. Трегубов, Л. В. Славнецкова

Трегубов Владимир Николаевич, доктор экономических наук, профессор кафедры коммерции и инжиниринга бизнес-процессов, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., [tregubovvn@outlook.com](mailto:tregubovvn@outlook.com)

Славнецкова Людмила Владимировна, кандидат экономических наук, заведующий кафедрой коммерции и инжиниринга бизнес-процессов, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., [lvsla@mail.ru](mailto:lvsla@mail.ru)

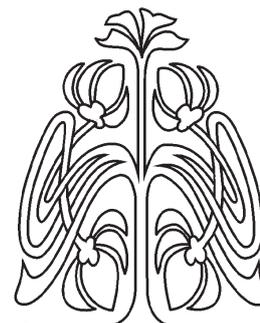
**Введение.** Авторами выполнен анализ существующих подходов к изучению инновационных систем, в результате которого было показано, что глубокое и всестороннее исследование механизмов их формирования и функционирования может быть выполнено с использованием методов имитационного моделирования. В процессе разработки модели существующие связи между участниками инновационной системы должны быть систематизированы, а затем количественно и качественно оценены и верифицированы. **Теоретический анализ.** Построение чистых математических моделей для инновационных процессов достаточно сложно, поэтому в мировой исследовательской практике большое внимание уделяется разработке имитационных моделей, которые позволяют разработать различные сценарии продвижения инновационных технологий, сравнить эти сценарии между собой и выбрать лучший вариант. Авторами систематизированы основные подходы к системно-динамическому моделированию инновационных систем. **Эмпирический анализ.** На практике разработка системно-динамической модели выполняется последовательно. На первом этапе система или изучаемый процесс точно идентифицируются, чтобы определить их потенциальные границы. Модель формируется в виде объектов, связанных друг с другом в рамках установленных границ, и описывает реальное поведение системы. Заключительным шагом является построение графа влияния, который позволяет отразить связи между элементами и определить степень их влияния друг на друга. **Результаты.** Разработанная авторами концепция системно-динамической модели ориентирована на исследование процесса трансфера инноваций в транспортном секторе. Модель учитывает государственное влияние, размеры и характер инвестиций из различных источников и механизмы формирования информационных связей между участниками транспортного процесса. Практическая реализация модели позволит усовершенствовать механизмы инвестирования, а также исследовать вовлечение университетов в инновационную транспортную систему.

**Ключевые слова:** национальная инновационная система, инвестиции в инновации, системно-динамическое моделирование, городской транспорт, инновационный цикл.

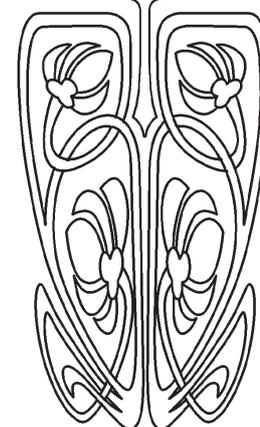
DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-1-29-37>

#### Введение

В современных условиях глобализации мировой экономики национальная инновационная система (НИС) играет важную роль в повышении экономической эффективности производственного процесса и обеспечении конкурентоспособности отдельной страны на мировом рынке. Развитые страны прикладывают большие усилия для



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





обеспечения эффективного функционирования своих НИС и вкладывают в их развитие значительные финансовые средства. Развивающиеся страны также создают НИС и пытаются активно развивать инновационную деятельность мирового уровня.

Механизмы возникновения, формирования и функционирования НИС уже длительное время являются объектом научного осмысления в различных странах. Цель подобных исследований связана с поиском максимально эффективной структуры НИС, совершенствованием механизмов взаимодействия стейкхолдеров, оптимизацией расходования финансовых средств на инвестиции. Особое внимание уделяется совершенствованию информационного обмена между участниками инновационного процесса. Исследователи отмечают, что эффективность функционирования НИС в большей мере зависит от того, как различные стейкхолдеры, к которым относят правительство, производственные и исследовательские компании, университеты и других участников, взаимодействуют друг с другом в вопросах разработки и расширения инновационного знания [1].

Один из подходов к оценке эффективности основан на использовании методов, разработанных и применяемых в корпоративных системах для оценки эффективности функционирования корпораций (корпоративного бенчмаркинга) [2]. Результаты исследований указывают на прямую корреляцию между уровнем развития инноваций в стране и эффективностью ее экономической системы. Поэтому многие развивающиеся страны ориентируются на приоритетность инновационного развития при формировании экономической политики. С другой стороны, описательный характер данных исследований и отсутствие формализованных методологий по формированию национальных инновационных систем побуждает исследовательский интерес к дальнейшему изучению данной тематики для формализации механизмов возникновения и функционирования НИС, а также для разработки аналитических или компьютерных моделей, которые позволяют изучить различные сценарии формирования и развития НИС.

Специфика инвестиционной поддержки инновационной деятельности в последние годы активно исследуется и в России. Так, Л. М. Гохберг и И. А. Кузнецова [3] указывают, что инновационная деятельность существенно затруднена недостаточными финансовыми возможностями компании, а инвестиции в инновационное развитие могут быть осуществлены только путем использования бюджетных средств. По мнению авторов, наличие государственной поддержки, а также размер компании и текущее финансовое положение являются ключевыми факторами, обуславливающими инновационное развитие компании.

Авторы других исследований расходятся в выводах о влиянии конкурентной среды или структуры собственности компаний на результаты инвестирования в инновационные проекты, указывая в качестве приоритетных факторы, обеспечивающие производство новых знаний, а также оценивают экономическую эффективность инноваций. Исследователи пытаются определить приоритетные факторы производства, которые обуславливают эффективность внедрения и разработки инноваций. Например, в [4] показано, что для НИОКР железнодорожных компаний важными факторами являются размер компании, доля работников с высшим образованием, ориентация компании на международный рынок. Интенсивность расходов на НИОКР положительно коррелирует с внедрением процессных инноваций и наличием бюджетного финансирования.

Таким образом, инновационное развитие имеет стратегически важное значение для государства, при этом оно затрагивает все уровни экономики, начиная с малых предприятий и до глобальных отраслевых систем. Исследования инновационной активности также должны выполняться как на микро-, так и на макроуровнях. Отдельного изучения требуют связи, которые возникают между субъектами реализации инноваций. Также в современных условиях недостаточно внимания уделяется изучению структурных отношений между уровнями инновационной активности. Поэтому разработка моделей, которые бы описывали взаимосвязи между различными уровнями инновационной активности, является актуальной проблемой, требуется дополнительный анализ структурных отношений элементов инновационных систем.

### **Теоретический анализ**

В экономике для количественного исследования инновационных процессов наибольшее распространение получили следующие методы: математическая статистика, экономическая кибернетика, экономическая математика, оптимизационные и имитационные методы.

Ключевые подходы и методы исследований применительно к инновационным системам различного иерархического уровня систематизированы в работе [5]. Авторы использовали статистические методы факторного и кластерного анализа для изучения сущности инновационных систем. Другие исследователи отмечают, что хотя математические методы и позволяют описать динамику инновационного процесса и изучить влияние инновационной политики на экономическую систему государства, но в сложных системах всегда имеется ряд нелинейных факторов, которые сложно представить в математическом виде и поэтому невоз-



можно включить в математическое представление модели. Для подобных случаев более эффективным будет использование методов имитационного моделирования, в частности системной динамики.

Системная динамика как самостоятельное направление моделирования возникла в конце 50-х гг. прошлого века. Она позиционируется как эффективный метод изучения сложных систем, включающих в себя большое количество субъектов, взаимодействующих друг с другом [6]. Для сложных социально-экономических систем почти невозможно построить адекватную математическую модель без существенных упрощений, которые искажают сущность моделируемого процесса. Методы системной динамики стали существенным прорывом в описании и моделировании сложных систем, поскольку позволяли описывать их естественным образом, минимизируя математические расчеты [7]. Одним из первых реальных применений системной динамики была разработка моделей для описания системы управления цепями поставок [8].

Теоретическим базисом для системной динамики является системный подход к описанию сложных систем и процессов. Под сложными системами понимаются такие, в которых друг с другом взаимодействует большое количество ограничено рациональных агентов. Эти агенты формируют положительные и отрицательные обратные связи и могут находиться в различных состояниях. Обмен информацией между агентами происходит не мгновенно, а с временными задержками, что соответствует поведению агентов в реальных социоэкономических системах.

Системная динамика для своего времени явилась эффективным методом исследования сложных систем. Затем методы системной динамики существенно усовершенствовались, были созданы эффективные компьютерные программы для системно-динамического моделирования [9]. Подобные программы предоставляют удобный интерфейс и позволяют даже неподготовленному человеку, слабо владеющему методами имитационного моделирования, самостоятельно разрабатывать модели сложных систем, отражающие их ключевые особенности. В настоящее время системная динамика широко распространена, а ее методы применяются в различных сферах для моделирования: экологической политики, городского планирования, экономической политики, транспортных технологий и др.

Разработка системно-динамической модели включает в себя несколько последовательных этапов. На первом этапе система или изучаемый процесс точно идентифицируется, чтобы определить потенциальные границы моделируемого объекта (процесса). Затем модель формируется в виде объектов, связанных друг с другом в рамках

установленных границ и отражает существенное поведение системы.

Для описания модели используется два различных по внутреннему содержанию, но взаимодополняющих подхода.

Первый подход обеспечивает качественную характеристику системы и основан на построении диаграммы причинных связей. Эта диаграмма позволяет отобразить основные циклы прямых и обратных связей в модели, а также определить условия достижения равновесия системы. Второй подход является количественным, он основан на построении диаграмм потоков и фондов. Эти диаграммы используются для построения формализованной имитационной модели, которая будет использоваться для исследования различных сценариев поведения системы.

Системная динамика неоднократно использовалась для описания инновационных процессов [10], однако следует отметить, что в большинстве публикаций по этой теме системно-динамические модели носят концептуальный характер. Представленные модели не решают конкретную проблему, а дают исследовательское описание системы [11]. Однако даже подобные модели позволяют получить значительную пользу, они дают возможность точно описать систему, а также исследовать различные гипотезы о динамике инновационных процессов в различных условиях. С использованием моделей можно сравнивать результаты применения различных вариантов инновационной политики.

### **Эмпирический анализ**

В нашем исследовании методы системно-динамического моделирования были использованы для исследования инноваций в транспортной сфере. В течение последних двадцати лет рынок городских пассажирских перевозок пополнился большим количеством малых предприятий, частных и индивидуальных предпринимателей. Данный рынок развивается довольно стремительно, с увеличением количества участников управляемость системы усложнилась, а прозрачность снизилась. Часто организатор перевозок – городская администрация – не обладает точными (как оперативными, так и аналитическими) сведениями о функционировании транспорта общего пользования на маршрутах. Плохо организована работа с претензиями пассажиров, взаимодействие происходит довольно сложно и неэффективно. Многие проблемы обусловлены отсутствием единого диспетчерского макроуправления и непрерывного контроля за организацией перевозочного процесса [12].

Низкая управляемость системы увеличивает финансовые риски и снижает инвестиционную привлекательность городского транспорта особен-



но для внедрения инновационных технологий, хотя сами технологии активно развиваются научным сообществом. Выбор системно-динамического подхода к моделированию инноваций в транспортном секторе обусловлен тем, что он позволяет эффективно представить многомерный транспортный процесс, который формируется через взаимодействие множества активных субъектов. Основными стейкхолдерами в транспортной сфере являются: транспортные компании, городские власти, пассажиры, ученые и научные исследовательские центры в области транспорта, урбанисты, менеджеры транспортных проектов, руководители транспортных компаний, инженеры-градостроители, транспортные планировщики и т.д.

На предварительном этапе разработки системно-динамической модели процесса инновационного развития транспорта нами был выполнен анализ существующих исследований по теме создания национальных инновационных систем в сфере транспорта, что позволило выявить текущие проблемы инновационного развития транспортных систем, определить цель и структурировать проблематику исследования для обеспечения возможности использования результатов в практических условиях. Также был выполнен сбор статистической информации как на локальном, так и на глобальном уровнях. На глобальном уровне международные статистические организации формируют различные виды национальных инновационных индексов, которые позволяют определить степень инновационного потенциала отдельной страны и

сравнивать страны друг с другом. Например, организация экономического сотрудничества и развития публикует статистический анализ данных по науке, технологиям, промышленности каждые два года. В этом отчете представлено более 200 показателей, которые позволяют оценить степень инновационного развития отдельной страны и сравнить страны в разрезе различных отраслей и регионов. Всемирный экономический форум (ВЭФ) публикует ежегодный индекс глобальной конкурентоспособности [13], который охватывает более 140 стран и описывает движущие факторы их конкурентоспособности и процветания.

Первый этап моделирования включает в себя концептуализацию системно-динамической модели и направлен на структурирование существующей в реальности проблемы и установление ее границ. Этот этап является принципиально важным для исследования: так, определяется, какие участники будут включены в модель, и устанавливаются их функции. К ключевым стейкхолдерам относятся: транспортные компании, правительственные организации, научно-исследовательские компании, университеты и другие заинтересованные лица, участвующие в инновационной деятельности по развитию инновационных транспортных систем.

Слишком большое количество участников существенно усложняет выявление причинно-следственных связей, возникающих между переменными, входящими в модель. Концептуальная модель нашей системы представлена на рис. 1.



Рис. 1. Модель взаимодействия ключевых стейкхолдеров  
Fig. 1. The model of interaction between key stakeholders



Модель позволяет выполнить сравнение различных сценариев распространения инноваций, а также провести углубленное исследование взаимодействия стейкхолдеров.

На втором этапе анализа был выполнен отбор переменных, которые описывают динамику системы. Каждая переменная проходит процедуру классификации для того, чтобы быть отнесенной к определенной категории:

- независимые переменные представляют собой параметры модели, которые оказывают влияние как на отдельные элементы системы, так и на систему в целом. Эти переменные не зависят друг от друга, поэтому они используются как влияющие, что требует их особого учета в процессе анализа сценариев работы модели;

- зависимые переменные представляют собой внутренние переменные, которые имеют низкий уровень самостоятельного влияния на модель, но сами они зависят от независимых переменных системы и внешних факторов;

- промежуточные переменные относятся одновременно как к независимым, так и к зависимым, они описывают состояние системы

и условия их динамического изменения. Эти переменные могут изменяться в зависимости от значений входных и выходных параметров;

- автономные переменные, в свою очередь, не относятся ни к независимым, ни к зависимым переменным, так как они оказывают слабое влияние на систему, другими словами, это параметры, которые существуют внутри системы, но не связаны с динамикой процессов в ней.

После того как роль каждой переменной определена, необходимо описать систему в целом, чтобы выяснить, как переменные взаимосвязаны друг с другом. Результатом этого шага является построение графа влияния, который позволяет показать связи между элементами и определить степень их влияния друг на друга. Существующие взаимосвязи между переменными описываются стрелками, которые представляют различные степени воздействия переменных – от слабого к сильному влиянию. В рамках системно-динамического моделирования эти стрелки описывают динамическое поведение системы в виде диаграммы причинно-следственных связей (рис. 2).

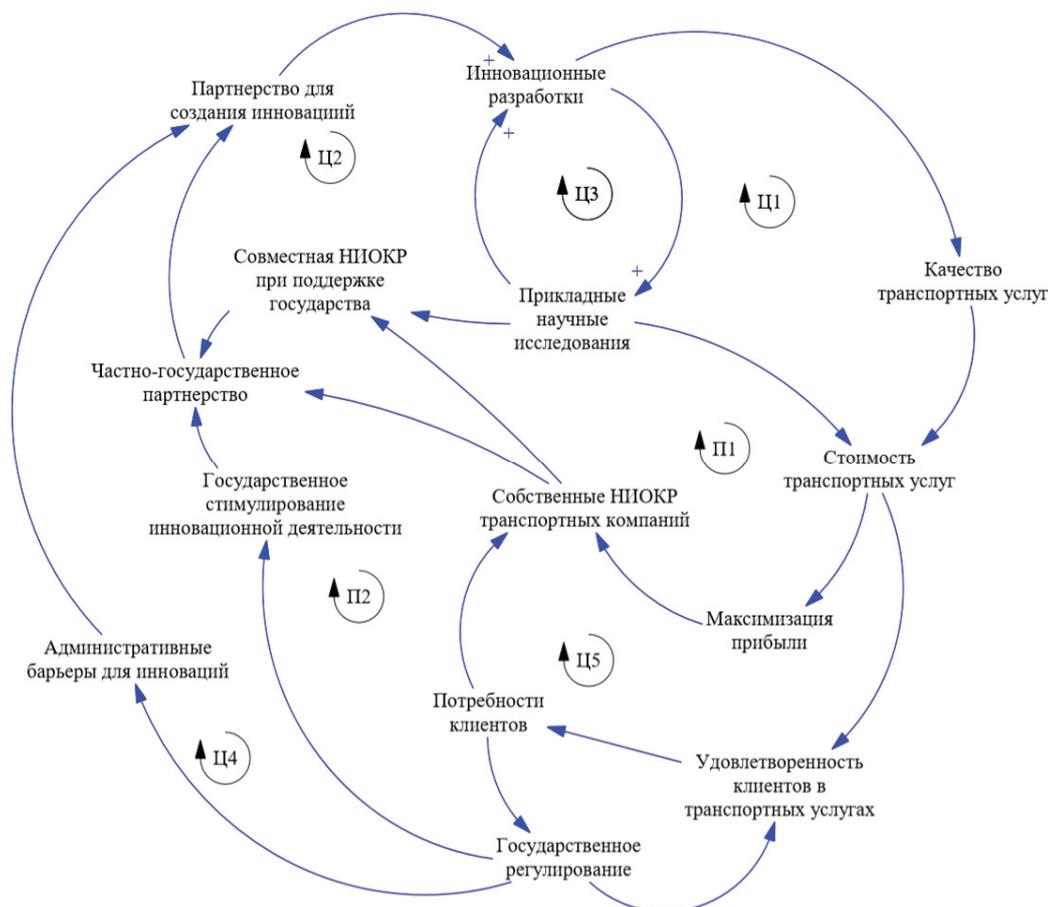


Рис. 2. Диаграмма причинно-следственных связей в модели  
Fig. 2. Diagram of causal relationships in the model



В результате построения системно-динамической модели транспортной системы нами было выделено шесть основных циклов положительных и отрицательных обратных связей между стейкхолдерами. Положительная обратная связь определяет усиливающий эффект от воздействий на систему, а отрицательная обратная связь обеспечивает стабилизацию системы. При этом усиливающие

эффекты могут иметь положительный и отрицательный эффект. Их полезность проявляется в том, что они способствуют росту эффективности системы, ориентируют ее на инновационное развитие, но, с другой стороны, положительные обратные связи снижают устойчивость системы как целостного и сложного объекта. В таблице рассмотрены основные циклы и обратные связи модели.

**Краткая характеристика циклов модели**  
**Brief description of cycles in the model**

Обозначение	Название цикла	Описание
Ц1	Внедрение инноваций	Увеличение количества инноваций в практической деятельности увеличивает производительность транспортной системы
Ц2	Административное регулирование	Правительство и другие органы государственной власти играют важную роль на всех уровнях инновационной системы
Ц3	Практическое приложение инновационных разработок	Результаты инновационных исследований должны быть обязательно внедрены в практическую деятельность
Ц4	Уменьшение административных барьеров	Институциональная система государства, ее законодательная система должны содействовать инновационному развитию
Ц5	Потребность в инновациях	Государство должно выявлять и даже формировать в обществе потребность в изменениях транспортных систем и инвестировать средства в реализацию данной потребности
П1	Получение прибыли в короткий срок	Транспортные компании минимизируют свое участие в инновационных проектах, так как не имеют возможности инвестировать средства в долгосрочную перспективу
П2	Инвестиционная поддержка	Государство выделяет финансовые средства на реализацию долгосрочных программ в транспортной сфере

Цикл Ц1 описывает процесс внедрения инноваций, связанных с повышением качества транспортных услуг, он содействует увеличению активности НИОКР в транспортных компаниях, что ведет к росту качества транспортных услуг и обеспечивает увеличение удовлетворенности клиентов. Повышение удовлетворенности клиентов является индикатором, который обуславливает необходимость внедрения инновации в транспортном секторе. Активное участие транспортных компаний в НИОКР способствует увеличению объема научных исследований и повышению количества инноваций.

Цикл Ц2 описывает процессы административного регулирования со стороны федеральной или региональной власти. Обладая административными полномочиями и существенными финансовыми ресурсами, правительство, в рамках региональной инновационной системы, имеет возможность стать посредником и обеспечить эффективное сотрудничество транспортных компаний с научными учреждениями. В общем случае это позволяет обеспечить

государственные инвестиции в инновационные проекты, что является хорошей поддержкой для активизации процессов НИОКР. Таким образом, роль государственных структур в инновационном процессе должна обеспечивать более эффективное сотрудничество всех участников инновационной системы, а также содействовать формированию стратегических инновационных проектов, которые направлены на привлечение всех потенциальных участников.

Цикл Ц3 – практическая реализация разработанных инноваций. Применительно к инновациям в транспортной сфере необходимо перенести разработанные в научных лабораториях концепции и идеи совершенствования транспорта в практическую среду, например, в виде пилотных проектов. Пилотные проекты, в свою очередь, дают дополнительные возможности по изучению реальных транспортных процессов, сбору дополнительной информации, их модернизации и реализации на новом технологическом уровне в полном масштабе.

Цикл Ц4 направлен на уменьшение административных барьеров. Правительство России



в своих программных документах отмечает, что их деятельность направлена на развитие отечественных инноваций в транспортной сфере. Поэтому для поддержания инновационного развития должна обеспечиваться непрерывность процесса совершенствования законодательной базы в сфере транспорта. Изменения в законодательстве должны быть направлены на совершенствование правил перевозки пассажиров, повышение качества региональных и муниципальных нормативных документов в транспортной сфере и содействовать упрощению административных процедур.

Цикл Ц5 описывает обеспечение потребности транспортного сектора в инновациях. Как основной бенефициар, правительство может оказывать существенное влияние на инновационный процесс и стимулировать транспортные компании к участию в нем. Имеются различные подходы к осуществлению подобного стимулирования, однако в любом случае реализация инноваций должна приводить к увеличению спроса на современные логистические услуги, также необходимо вовлекать в процесс формирования инновационных технологий отечественных ученых, это позволит обеспечить развитие транспортной отрасли и повысить качество транспортных услуг.

Помимо пяти циклов с положительной связью, которые направлены на стимулирование инноваций в транспортном секторе, в модели также формируются балансирующие петли, которые хотя и сдерживают инновационный процесс, но позволяют стабилизировать систему и согласовать экономические интересы участников инновационных процессов.

Петля обратной связи П1 учитывает необходимость долгосрочных инвестиций в инновационный процесс. Любое инновационное решение требует долгосрочных инвестиций, что идет вразрез с бизнес-интересами транспортных компаний, увеличивая их издержки, поэтому они не хотят внедрять инновации в своей деятельности, поскольку это может привести к низкой прибыли в краткосрочном периоде.

Петля обратной связи П2 описывает механизмы привлечения инвестиций для реализации инновационных решений. Рост издержек на внедрение инновационных решений снижает конкурентоспособность компании, которая занимается инновационной деятельностью. Поэтому органы власти должны использовать различные механизмы стимулирования развития инновационной деятельности и принимать меры (налоговое, инвестиционное и другое стимулирование) для повышения привлекательности

инвестиций в НИОКР, чтобы стимулировать компании, которые ориентированы на внедрение инноваций в свою деятельность.

### Результаты

Инвестиционные решения в сфере городского транспорта должны приниматься на основе качественных и количественных исследований, в которые входит анализ имеющейся информации о существующей организации транспортной системы, прогнозы ее перспективного развития, сравнение различных вариантов внедрения инновационных решений и т.д. Так как функционирование транспортных систем осуществляется в условиях влияния множества воздействующих факторов, включая и случайные, то осуществление глубокого анализа является процессом трудоемким, для которого требуются значительные временные, финансовые и интеллектуальные затраты. Использование представленных моделей позволяет упростить анализ инновационных и инвестиционных процессов, с их помощью можно описать и сравнить различные варианты инвестиций в инновационные технологии и выбрать лучшее решение.

Дальнейшие исследования по представленной в статье проблеме будут сфокусированы на практическом использовании предложенной концепции системно-динамической модели для отыскания потенциальных возможностей развития инноваций в транспортном секторе, а также на выработке рекомендаций по совершенствованию законодательной практики для формирования механизмов инвестиционной поддержки. Моделирование будет проводиться с учетом различных сценариев перспективного развития транспортной отрасли, в условиях внедрения новых технологий перевозки, которые могут существенно изменить транспортные предпочтения жителей и сформировать новые потребности в инновациях на транспорте. Также, по нашему мнению, независимо от состояния макроэкономической среды, любые сценарии внедрения инноваций должны быть ориентированы на повышение роли региональной транспортной администрации в развитии транспортного сектора.

### Список литературы

1. *Castellacci F., Natera J. M.* The dynamics of national innovation systems : A panel cointegration analysis of the coevolution between innovative capability and absorptive capacity // *Research Policy*. 2013. Vol. 42, iss. 3. P. 579–594, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.10.006>
2. *Bergek A., Jacobsson S., Carlsson B., Lindmark S., Rickne A.* Analyzing the functional dynamics of tech-



- nological innovation systems : A scheme of analysis // *Research Policy*. 2008. Vol. 37, iss. 3. P. 407–429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003>
3. Гохберг Л. М., Кузнецова И. А. Инновации в российской экономике : стагнация в преддверии кризиса? // *Форсайт*. 2009. № 2 (10). С. 28–46.
  4. Зудин Н. Н., Мухлисов П. П. Корпоративные инновационные системы в железнодорожной отрасли : страновая специфика и место в основных отраслевых моделях // *Инновации*. 2017. № 4 (222). С. 93–102.
  5. Rodríguez J. C., Gómez M. Anchor tenants, technology transfer and regional innovation systems in emerging economies : A system dynamics approach // *Int. J. Transitions Innovation Systems*. 2012. Vol. 2, № 1. P. 14–37.
  6. Shepherd S. P. A review of system dynamics models applied in transportation // *Transportmetrica B : Transport Dynamics*. 2014. Vol. 2, № 2. P. 83–105. DOI: <https://doi.org/10.1080/21680566.2014.916236>
  7. Uriona-Maldonado M., Grobbelaar S. S. Innovation system policy analysis through system dynamics modelling : A systematic review // *Science and Public Policy*. 2019. Vol. 46, iss. 1. P. 28–44. DOI: <https://doi.org/10.1093/scipol/scy034>
  8. Crespo Márquez A. *Dynamic Modelling for Supply Chain Management*. L. : Springer, 2010. 297 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-681-6>
  9. Si Y., Yang W., Zhou H. A simulation analysis on regional logistics development based on system dynamics : The case of Yunnan province // 2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). Singapore, 2018. P. 560–564. DOI: 10.1109/IEA.2018.8387163
  10. Uriona-Maldonado M., Grobbelaar S. S. System Dynamics modelling in the Innovation Systems literature. URL: <http://liee.ntua.gr/wp-content/uploads/2018/02/913-System-Dynamics-modelling-in-the-Innovation-Systems-literature-.pdf> (дата обращения: 10.10.2019).
  11. Uriona-Maldonado M., Pietrobon R., Bittencourt P. F., Varvakis G. J. Simulating Sectoral Innovation Dynamics with Differential Equation Models // 13th Globelics International Conference, At Havana, Cuba. URL: [https://www.researchgate.net/publication/293832838\\_Simulating\\_Sectoral\\_Innovation\\_Dynamics\\_with\\_Differential\\_Equation\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/293832838_Simulating_Sectoral_Innovation_Dynamics_with_Differential_Equation_Models) (дата обращения: 10.10.2019).
  12. *Transport Systems of Russian Cities : Ongoing Transformations* / Blinkin M., Koncheva E. (eds.). Cham : Springer, 2016. 221 p.
  13. *Global Competitiveness Report 2019 : How to end a lost decade of productivity growth* // World Economic Forum : [site]. URL: <https://www.weforum.org/reports/how-to-end-a-decade-of-lost-productivity-growth> (дата обращения: 10.10.2019).

#### Образец для цитирования:

Трегубов В. Н., Славнецкова Л. В. Моделирование инновационных процессов на городском транспорте с использованием методов системной динамики // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право*. 2020. Т. 20, вып. 1. С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-1-29-37>

#### Modelling of Innovation Process on Urban Public Transport by System Dynamics

V. N. Tregubov, L. V. Slavnetskova

Vladimir N. Tregubov, <http://orcid.org/0000-0002-7793-3605>, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St., Saratov 410054, Russia, [tregubovvn@outlook.com](mailto:tregubovvn@outlook.com)

Ludmila V. Slavnetskova, <https://orcid.org/0000-0001-8676-210X>, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St., Saratov 410054, Russia, [lvsla@mail.ru](mailto:lvsla@mail.ru)

**Introduction.** The authors analyzed the existing approaches to the study of innovative systems. It was shown that a deep and comprehensive study of their formation and functioning mechanisms can be performed by using simulation technologies. In the process of model development, the existing links between the participants of the innovation system must be systematized, and then quantitatively and qualitatively evaluated and verified. **Theoretical analysis.** Building pure mathematical models of innovation processes is quite difficult, so in world research practice much attention is paid to the development of simulation models, which allow to describe different scenarios of innovative technologies promotion. The authors compared these scenarios and chose the best option, then they systematized the basic approaches to innovative systems modeling.

**Empirical analysis.** In practice, the development of the system-dynamic model is carried out sequentially. In the first step, the system or process under study is precisely identified to determine the potential boundaries of the modelled process. The model is presented as objects connected to each other within the established boundaries and existing behavior of the system. The final step is to build an influence graph, which allows to show the connections between all elements and determine the degree of their influence on each other. **Results.** The concept of the system-dynamic model developed by the authors is focused on the study of the innovation transfer process in the transport sector. The model considers the state influence, the size and nature of investments from various sources and mechanisms of information links formation between the participants of the transport process. Practical realization of the model will improve the investment mechanisms and study the involvement of universities into the innovational transport system. **Keywords:** national innovation system, investment in innovation, system dynamics, urban transport, innovation cycle.

#### References

1. Castellacci F., Natera J.M. The dynamics of national innovation systems: A panel cointegration analysis of the coevolution between innovative capability and absorptive capacity. *Research Policy*, 2013, vol. 42, iss. 3, pp. 579–594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.10.006>



2. Bergek A., Jacobsson S., Carlsson B., Lindmark S., Rickne A. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 2008, vol. 37, iss. 3, pp. 407–429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003>
3. Gokhberg L., Kouznetsova I. Innovation in the Russian Economy: Stagnation before Crisis? *Forsait* [Foresight], 2009, no. 2 (10), pp. 28–46 (in Russian).
4. Zudin N. N., Mukhlisov R. R. Corporate innovation systems in the rail industry: Country specifics and position in the main industry models. *Innovatsii* [Innovations], 2017, no. 4 (222), pp. 93–102 (in Russian).
5. Rodríguez J. C., Gómez M. Anchor tenants, technology transfer and regional innovation systems in emerging economies: A system dynamics approach. *Int. J. Transitions Innovation Systems*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 14–37.
6. Shepherd S. P. A review of system dynamics models applied in transportation. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 83–105. DOI: <https://doi.org/10.1080/21680566.2014.916236>
7. Uriona-Maldonado M., (Saartjie) Grobbelaar S.S. Innovation system policy analysis through system dynamics modelling: A systematic review. *Science and Public Policy*, 2019, vol. 46, iss. 1, pp. 28–44. DOI: <https://doi.org/10.1093/scipol/scy034>
8. Crespo Márquez A. *Dynamic Modelling for Supply Chain Management*. London, Springer, 2010. 297 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-681-6>.
9. Si Y., Yang W., Zhou H. A simulation analysis on regional logistics development based on system dynamics: The case of Yunnan province. *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*. Singapore, 2018, pp. 560–564. DOI: 10.1109/IEA.2018.8387163
10. Uriona-Maldonado M., Grobbelaar S. S. *System Dynamics modelling in the Innovation Systems literature*. Available at: <http://liee.ntua.gr/wp-content/uploads/2018/02/913-System-Dynamics-modelling-in-the-Innovation-Systems-literature.pdf> (accessed 10 October 2019).
11. Uriona-Maldonado M., Pietrobon R., Bittencourt P. F., Varvakis G. J. Simulating Sectoral Innovation Dynamics with Differential Equation Models. *13th Globelics International Conference, At Havana, Cuba*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/293832838\\_Simulating\\_Sectoral\\_Innovation\\_Dynamics\\_with\\_Differential\\_Equation\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/293832838_Simulating_Sectoral_Innovation_Dynamics_with_Differential_Equation_Models) (accessed 10 October 2019).
12. Blinkin M., Koncheva E., eds. *Transport Systems of Russian Cities: Ongoing Transformations*. Cham, Springer, 2016. 221 p.
13. Global Competitiveness Report 2019: How to end a lost decade of productivity growth. *World Economic Forum Site*. Available at: <https://www.weforum.org/reports/how-to-end-a-decade-of-lost-productivity-growth> (accessed 10 October 2019).

**Cite this article as:**

Tregubov V. N., Slavnetskova L. V. Modelling of Innovation Process on Urban Public Transport by System Dynamics. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2020, vol. 20, iss. 1, pp. 29–37 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-1-29-37>