

**О.М. Писарева, В.А. Перекальский**

## **СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРАКТИКЕ ОТРАСЛЕВОГО СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**O.M. Pisareva, V.A. Perekalskiy**

## **SCENARIO MODELING IN THE PRACTICE OF INDUSTRIAL STRATEGIC PLANNING**

---

Дальнейшее развитие экономики Российской Федерации невозможно без трансформации ее производственно-экономической политики, ориентации на формирование производственного аппарата и культуры потребления в экономике возобновляемых и техногенных ресурсов развития. Сегодня этот процесс осуществляется при активном государственном участии. В частности, начиная с 2014 г. реализуются программы утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств (ВЭТС). Имеющийся здесь опыт не очень успешен: программа не стимулирует участников к активизации обновления транспортных средств, внедрению новых технологий, соблюдению договорных обязательств и пр. Это косвенно свидетельствует о непродуманности механизмов ее стимулирования. Для обоснования эффективных и результативных мер и механизмов программы предлагается воспользоваться методологией сценарного моделирования. Исходя из общей парадигмы сценарного подхода, предложен и реализован модельный комплекс на основе имитационной модели, поддерживаемой в среде AnyLogic. Процессорный блок комплекса содержит библиотеки функций, обеспечивающих: планирование и организацию сценарного эксперимента; реализацию моделей системы сценарного моделирования; генерацию сценариев развития; обработку и сохранение результатов вычислительных экспериментов; анализ и кластеризацию сценарного пространства; формирование прогнозного набора управляющих параметров проектирования и управления будущим; подготовку и оформление отчета о задачах, этапах и цикле сценарного исследования, и т. п. Исследование модели позволяет определять диапазоны допустимых значений параметров программы утилизации ВЭТС, обеспечивающих ее эффективное функционирование, а также проводить оценку последствий государственного субсидирования системы утилизации в целом.

СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ; ПРОГРАММА УТИЛИЗАЦИИ ВЭТС; УТИЛИЗАЦИОННЫЙ СБОР.

The future development of the Russian economy is impossible without transforming its production and economical policy, without a focus on creating a production system and a consumption culture in the economy of technological and renewable resources. Currently this process is carried out with the active participation of the government. In particular, starting from 2014, recycling programs for end-of-life vehicles (ELV) are implemented. Available experience here cannot be called very successful: the program does not encourage its members to actively modernize the vehicles, introduce new technologies, comply with contractual obligations and so on. Indirectly this indicates the immaturity of the incentive mechanisms of the program. In this regard, we suggest using the scenario-modeling methodology to substantiate efficient and effective program measures and mechanisms. Based on the general scenario paradigm, a system of mathematical models was proposed and implemented. It is implemented based on the simulation model supported in AnyLogic environment. The processing unit contains a set of library functions that provide the planning of the scenario experiment; implementing the scenario-modeling system; generating scenarios; processing and storing the results of computational experiments; analyzing and clustering the scenarios, creating the prospect sets of control parameters; making reports and etc. The model study allows determining the ranges of acceptable values of the ELV recycling program parameters to ensure its effective functioning as well as to assess the effects of government subsidies to the ELV recycling system in general.

SCENARIO MODELING; SIMULATION; SUSTAINABLE DEVELOPMENT; ELV RECYCLING PROGRAM; RECYCLING FEE.



*Введение.* Реструктуризация российской экономики и технологическое перевооружение ее базовых отраслей — ключевые задачи по реализации стратегии инновационного и социально ориентированного развития нашей страны. основополагающие институциональные основы концепции управляемого социально-экономического развития Российской Федерации заложены в двух важнейших документах, принятых в последнее время, — Федеральном законе «О стратегическом планировании в Российской Федерации» № 172-ФЗ от 28.06.2014 г. и Федеральном законе «О промышленной политике в Российской Федерации» № 488-ФЗ от 31.12.2014 г. Содержание этих документов, качество исходного представления и масштабность охвата предмета рассмотрения породили каскад сопряженных нормативно-правовых актов, что не могло не найти отражения в научно-практической деятельности организаций, имеющих отношение к вопросам стратегического управления отраслевым развитием.

Центром фокусировки экономической теории и практики в этих условиях становятся проблемы организации и управления производством в базовых отраслях промышленности, обеспечения их интегральной эффективности. С одной стороны, в ходе реформирования экономики крайне важно учитывать передовые инновационные установки технологического развития страны, а с другой — одновременно внедрять соответствующие высокотехнологичные инструменты обоснования механизмов управления развитием, связанные с понятием «организационные инновации».

Цель данного исследования — оценка диапазона возможностей применения в практике управления технологии сценарного моделирования как комплексной основы анализа среды функционирования и отраслевого стратегического планирования на примере подотрасли сферы переработки техногенных ресурсов — в части разработки и реализации программы утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств (ВЭТС).

*Методика исследования.* Один из внутренних резервов повышения эффективности российской экономики связан с интенсивным развитием экономики техногенных ресурсов, в частности на основе максимально возможного и экономически оправданного рециклинга вторичного сырья (в том числе

за счет ВЭТС), что позволяет одновременно достигать трех основных целей парадигмы устойчивого развития: защиты окружающей среды, сбережения природных ресурсов и снижения совокупных издержек производства общественного продукта.

Начиная с 1 января 2014 г. все транспортные средства (ТС), выпускаемые на территории Российской Федерации, облагаются в обязательном порядке утилизационным сбором (Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» № 89-ФЗ от 25.11.2013 г.), кроме этого проводится программа утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств. Тем не менее, имеющийся опыт реализации программы не позволяет говорить о комплексной, законодательно, организационно и экономически оформившейся системе утилизации ВЭТС. К настоящему моменту отсутствуют задокументированные базовые механизмы взаимодействия участников программы, не ясны до конца механизмы управления перераспределением средств утилизационного фонда [6, 14, 16]. Все это не позволяет ожидать мотивированной вовлеченности в программу ее непосредственных участников (прежде всего, автовладельцев, автопроизводителей, утилизаторов, потребителей продуктов переработки ВЭТС, производителей оборудования для утилизации, операторов программы) и, следовательно, делает непредсказуемыми результативность и эффективность итогов программы для государства. Таким образом, задача отработки конкретного механизма реализации программы и ее успешного функционирования остается пока не решенной.

В то же время мировой опыт формирования инфраструктуры утилизации ВЭТС показывает, что на практике могут быть весьма успешно реализованы различные механизмы оплаты и сбора денежных средств для формирования национальной системы утилизации ВЭТС: одноразовая оплата сбора последним владельцем при сдаче отслужившего ТС компании-утилизатору; одноразовая оплата первым владельцем при покупке нового ТС, перечисляемая автопроизводителю (АП) или в специальный фонд; ежегодный сбор с владельца за утилизацию дополнительно к оплачиваемому налогу за владение ТС; одноразовая оплата сбора, отчисляемая АП или импортером при первой продаже нового ТС;

текущие обременения, возлагаемые на АП по участию в системе утилизации ВЭТС (организация сбора, оплата переработки определенных компонентов, предоставление специальной документации по утилизации и пр.); комбинация различных механизмов формирования фонда утилизации [20, 22, 23 и др.]. Отметим, что ключевые инструменты управления программами утилизации сегодня — это: размер ставки утилизационного сбора, а также механизм его взимания; механизм распределения средств утилизационного фонда; налоговая нагрузка каждого субъекта системы утилизации; меры и механизмы стимулирования каждого элемента системы (дотации, субсидии, налоговые преференции, таможенное регулирование и др.); меры и механизмы стимулирования системы сбора ВЭТС, их передачи на утилизацию.

Таким образом, состав и глубина задач, решаемых в рамках проблематики обоснования параметров программы развития указанной сферы экономической деятельности, а также исходные условия функционирования российской экономики, позволяют характеризовать объект управления, как сложную многоуровневую мезосистему, функционирующую в условиях крайней нестабильности ее внешнего окружения и динамичной внутренней структуры. Очевидно, что оценка параметров такой системы невозможна без активного и комплексного использования адекватных методов экономико-математического моделирования.

Опыт экономико-математического моделирования в рассматриваемой сфере в России весьма скромна [13], еще более экзотичны для исследователей возможности здесь в области компьютерной симуляции. Применение имитационного моделирования для решения задач такого рода не так часто используется и за рубежом. К наиболее значимым работам по этой тематике можно причислить труды ряда ученых из США, например, А. Бандивадекара, К. Гюнтера, В. Кумара, Дж. Сутнерланда [20], а также коллектива ученых факультета промышленной инженерии университета Майами во главе с Н. Целик [22, 23].

Тем не менее, в стране имеется весьма солидный научно-практический задел в области имитационного моделирования, ассоциируемый, прежде всего, с работами таких ученых, как В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, В.В. Девятков, А.А. Емельянов, Д.Ю. Ката-

левский, В.Л. Шульц [1–3, 5, 7, 8, 19 и др.]. За рубежом основные принципы системно-динамической парадигмы имитационного моделирования развивались, прежде всего, в работах Д. Форрестера, Д. и Д. Медоузова, У. Беренса, М. Гудмана, Й. Рандерса, К. Ван дер Хайдена, Дж. Стермана [9–11, 18, 24, 26–31 и др.]. Специальные научно-практические решения по внедрению инструментария имитационного моделирования в среде AnyLogic и на языке программирования Java можно найти в работах В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина, М.Р. Фаттахова, А.В. Борщева, П. Ноутона, Г. Шилдта [1, 7, 8, 21, 26 и др.]. Основные теоретические и практические положения теории планирования эксперимента, необходимой для эффективного решения прикладных задач с помощью компьютерной симуляции, изложены в трудах К. Уилсона, С.М. Ермакова, Р. Фишера, А.А. Емельянова, В.Б. Тихомирова, А.С. Кочкина, Ю.П. Грачева, Ю.М. Плаксина, Дж. Бокса [4, 21, 26–30 и др.].

Анализ учеными опыта применения экономико-математических методов и моделей в сфере управления обращением с отходами и, в частности, в сфере утилизации ВЭТС показал [12–14, 16], что в зависимости от наличия исходных данных, принимаемых гипотез, сложности и неоднородности моделируемой системы утилизации отходов применяется широкий спектр моделей и методов. Это очень динамично развивающаяся область предметно-ориентированных исследований. Учитывая специфику объекта и предмета изучения, а также требования, предъявляемые к современному исследовательскому инструментарию, считаем необходимым и оправданным применение в практике отраслевого стратегического планирования технологии сценарного моделирования, в том числе на основе парадигмы имитационного моделирования [12, 14–16].

Сценарный подход как самостоятельное научное направление социально-экономических исследований постепенно обретает четко сформулированную собственную проблематику, методологию и теоретический аппарат. Общая концепция сценарного моделирования подробно изложена в [16, 17]. На рис. 1 представлена концептуальная схема системы сценарного моделирования многоуровневых организационных систем (МУОС), которую в целом можно характеризовать как сценарно-ориентированную технику прогнозирования.

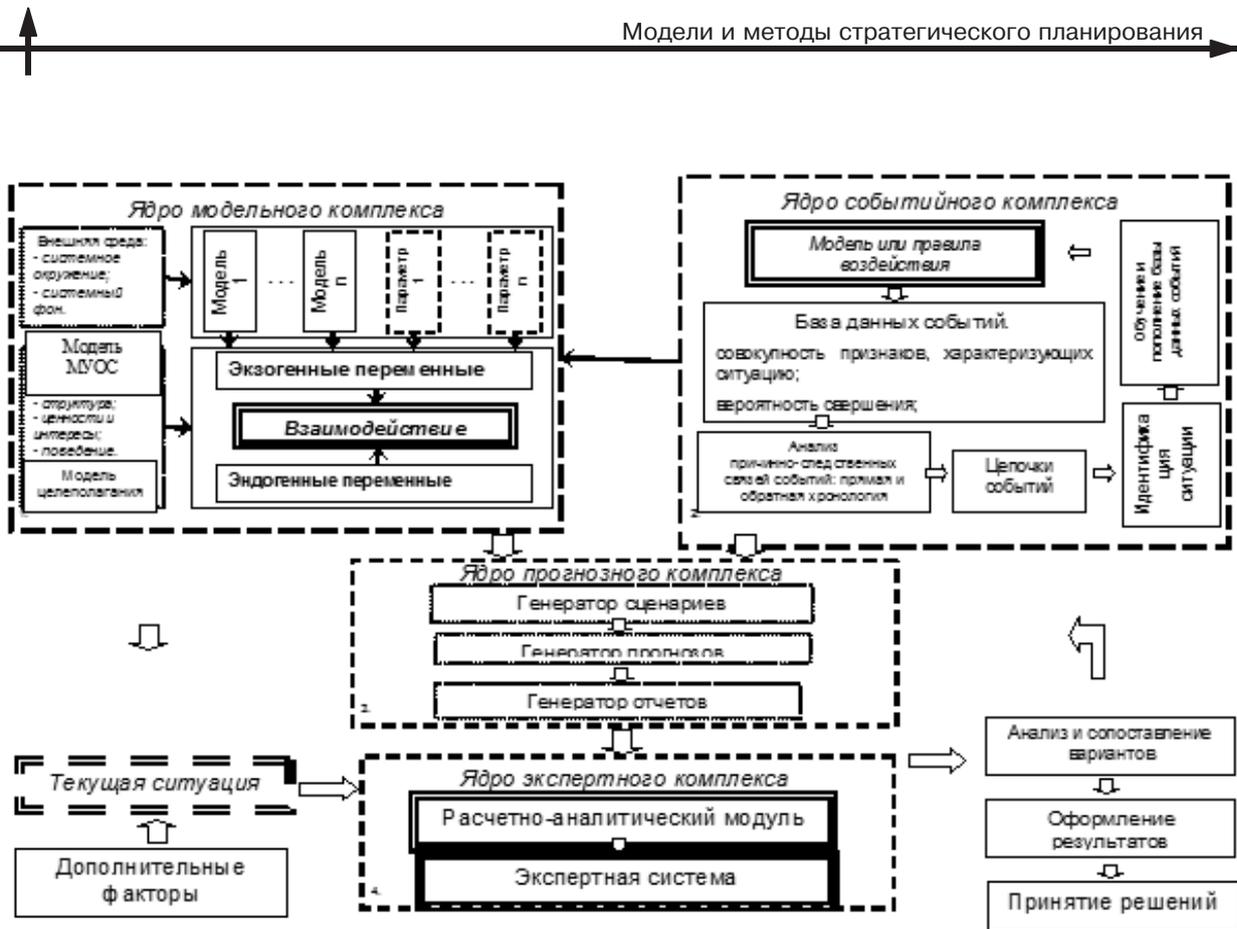


Рис. 1. Концептуальная схема системы сценарного моделирования МУОС

Особенности реализации сценарной модели позволяют предполагать широкий спектр возможных направлений ее использования для поддержки прогнозно-аналитической деятельности в управлении МУОС. В этой связи, общая архитектура адекватного разрабатываемого компьютерного инструментария должна обеспечивать комплексную поддержку различных операций на всех технологических этапах сценарного моделирования. Основные вычислительные компоненты компьютерного инструментария сценарного моделирования в рамках автоматизированной системы сценарного моделирования (ACCM; SMIS – от англ. «Scenario Modeling Information System») представлены следующими комплексами: модельный, событийный, прогнозный и экспертный [15].

Очевидными требованиями реализации укрупненных элементов компьютерного комплекса, поддерживающего основные алгоритмические процедуры вариантного проектирования состояния МУОС на основе синтеза и анализа сценарных вариантов развития, являются:

- модульное построение программного обеспечения с гибким интерфейсом интеграции с корпоративной информационной системой (EIS) и специализированными аналитическими программными продуктами;
- единая информационная среда функциональных модулей ACCM.

Базовый состав функциональных модулей ACCM, обеспечивающий реализацию комплекса прогнозно-аналитических задач в разрезе ее основных блоков – интерфейсного (SMIS IDE), процессорного (SMIS API), служебного (SMIS ADM) – представлен на рис. 2 [15].

Интерфейсный блок (SMIS IDE) представляет собой набор программных и информационных компонентов поддержки доступа пользователей и внутренних системных процессов к библиотеке ACCM, внутренним базам данных и знаний (предикативная информация и формализованные знания о будущем), внешним информационным ресурсам и процессорам решения отдельных задач в процедуре сценарного моделирования и т. п.

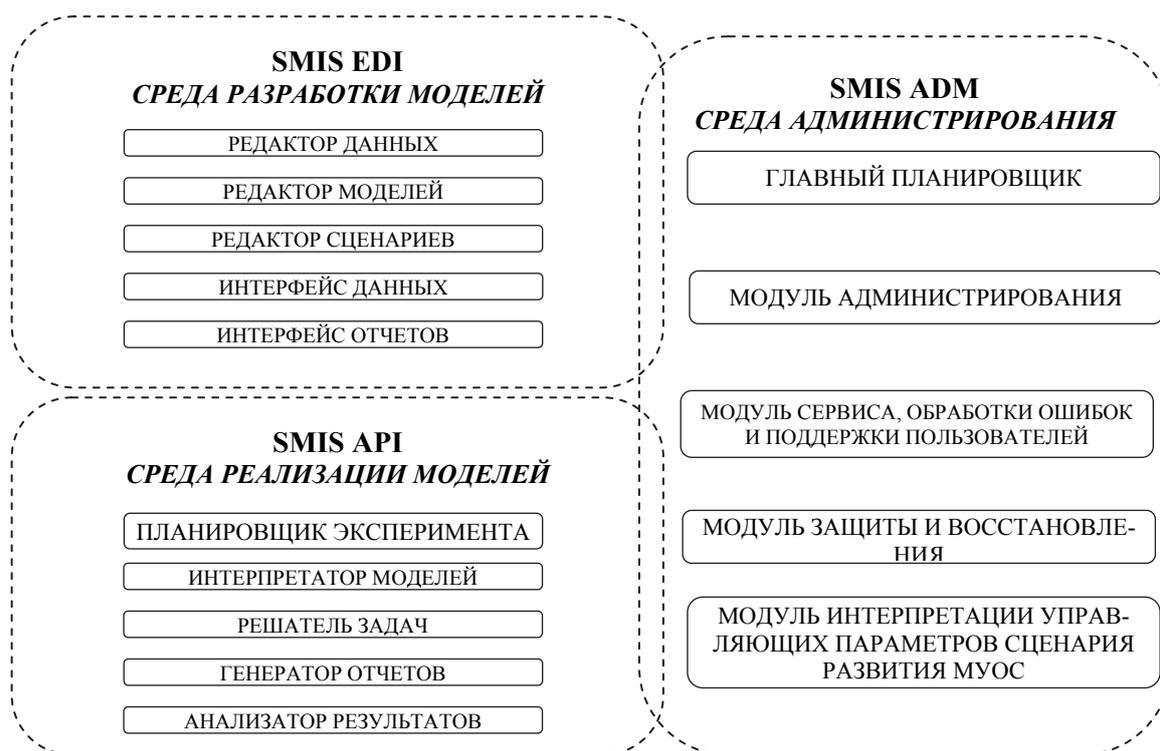


Рис. 2. Функциональные блоки компьютерного инструментария АССМ

Процессорный блок (SMIS API) содержит библиотеки функций АССМ, обеспечивающих: планирование и организацию сценарного эксперимента; реализацию моделей системы сценарного моделирования; генерацию сценариев развития; обработку и сохранение результатов вычислительных экспериментов; анализ и кластеризацию сценарного пространства; формирование прогнозного набора управляющих параметров проектирования и управления будущим; подготовку и оформление отчета о задачах, этапах и цикле сценарного исследования, и т. п.

Служебный блок (SMIS ADM) поддерживает функции администрирования АССМ, управляя: доступом и полномочиями групп пользователей; организацией их параллельной работы; работой внутренних системных процессов реализации задач моделирования; распределенной обработкой данных по взаимосвязанным и автономным моделям в соответствии с планом сценарного эксперимента; сервисом интерпретации и преобразования набора управляющих параметров сценария в поддерживаемые форматы распорядительных контрактных документов управления разви-

тием интегрированной хозяйственной организацией, и т. п.

На основании методологии сценарного моделирования предложено разработать модельный комплекс, позволяющий повышать эффективность программы и системы утилизации ВЭС за счет комплексного обоснования их финансово-экономических параметров. Ядром такого комплекса стала имитационная модель, сконструированная в рамках парадигмы системной динамики. Этот выбор обусловлен, в том числе, необходимостью моделирования экономического поведения большого числа разнородных субъектов и факторов, изменяющейся внешней средой (в том числе нормативно-правовой), комплексностью моделируемых решений, повышенными требованиями к гибкости и адаптивности модельного комплекса, мезоэкономическим масштабом задачи, наличием определенных ограничений (в первую очередь, информационного характера).

Схема поступления данных из блоков модельного комплекса в имитационную модель представлена на рис. 3.

В блоках 1, 2, 3 собирается, обрабатывается и подготавливается к подаче в имитаци-

онную модель информация о текущем состоянии среды. В блоках 4, 6, 8 дополнительно осуществляется моделирование и прогнозирование, исходящая из них информация формирует внешнее для имитационной модели влияние, которое обуславливает динамику системы. В блоках 5, 7, 9 обрабатывается информация и формируются наборы сценариев и их конкретные характеристики для проведения имитационных экспериментов. Для конструирования и оценки имитационной модели и других моделей, составивших комплекс, а также для анализа результатов моделирования использовались такие методы, как, например, метод аналогий, эвристические методы, традиционные методы обработки информации, агрегации/деагрегации данных, методы прогнозирования на основе моделей временных рядов, факторных регрессионных моделей и пр.

На рис. 4 представлена структурная схема функционирования имитационной модели. Всего модель содержит 12 переменных-уровней (накопителей), 28 потоков, 14 динамических переменных, 38 нетривиальных функций. Общее количество параметров, подающихся на вход модели, – 42. Многие из названных элементов модели являются многомерными, в связи с учетом различных видов

материалов, входящих в состав транспортных средств (ТС), различных видов самих ТС, инвестиционных проектов, динамическим характером модели. С исчерпывающей математической постановкой задачи и формальным описанием разработанной имитационной модели можно ознакомиться в [12].

Вычисления проводились на основе официальных данных, представленных на сайтах Федеральной службы государственной статистики РФ (<http://www.gks.ru>), Министерства экономического развития РФ (<http://www.economy.gov.ru>), статистической службы Европейского союза, ряда международных организаций – United Nations Environment Programme (UNEP), Bureau of International Recycling (BIR, <http://www.bir.org>), Automotive Recyclers Association (ARA) и др., аналитических данных консалтинговых агентств (Russian Automotive Market Research, Автостат, АСМ-холдинг, маркетинговый автомобильный журнал «Автобизнес» и др.), исторических данных котировок London Metal Exchange (LME) и др. Программная реализация имитационной модели осуществлена в среде AnyLogic и поддерживает тесную интеграцию с MS Excel. В качестве языков программирования при разработке использованы Java и VBScript.

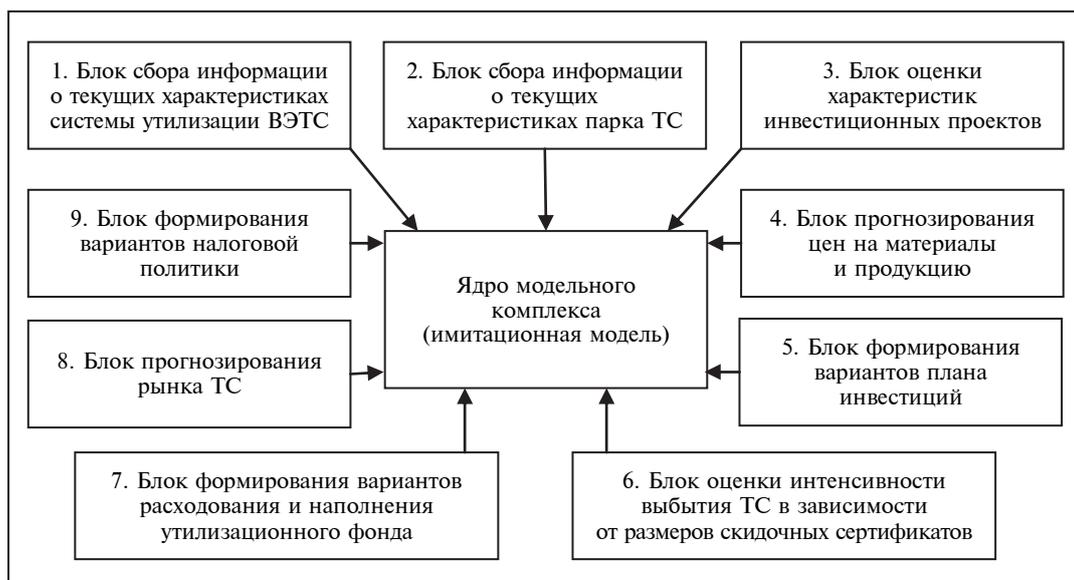


Рис. 3. Схема поступления данных из блоков модельного комплекса в имитационную модель

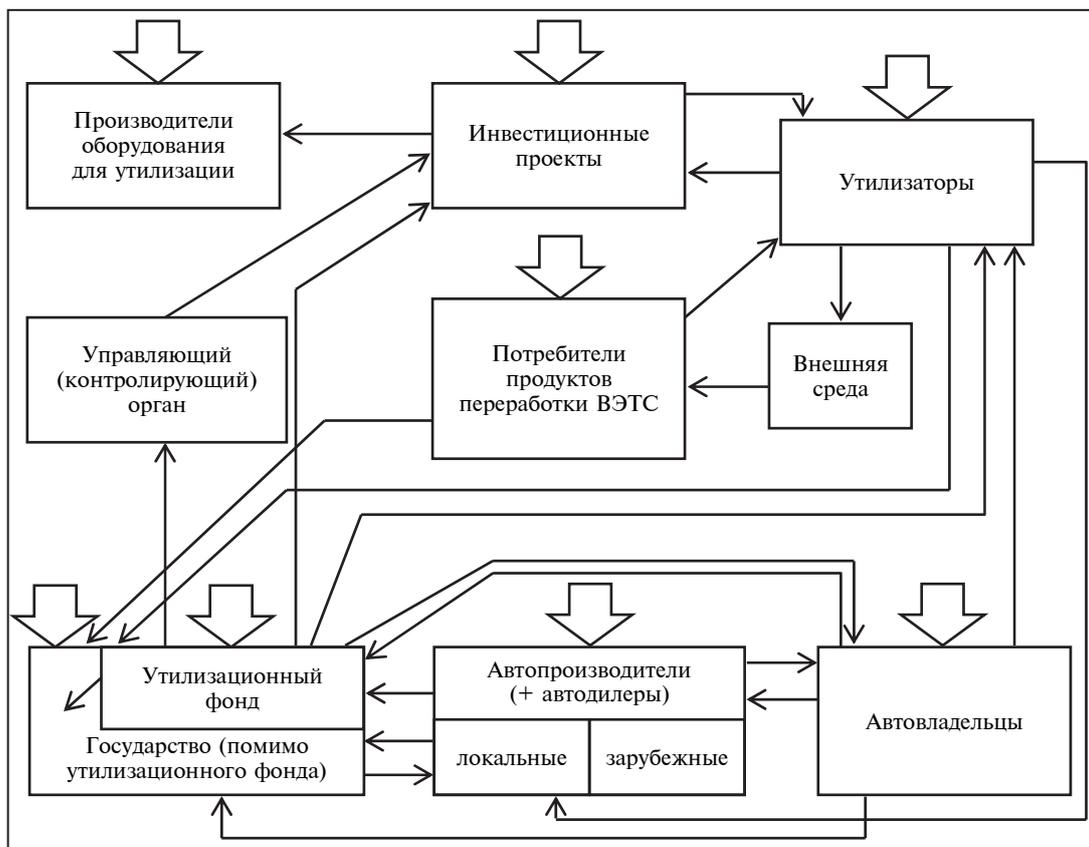


Рис. 4. Укрупненная структурная схема функционирования имитационной модели  
 (↓) – внешняя информация; (→) – внутренняя информация

Представим состав и содержание серий экспериментальных расчетов, осуществленных в ходе проведения моделирования. В качестве критериев оценки эффективности программы и системы утилизации ВЭТС предложены следующие показатели:

- масса отходов, подлежащих захоронению;
- отношение массы отходов, подлежащих захоронению, к суммарной массе утилизированных ВЭТС;
- численность накопленных (не утилизированных) ВЭТС;
- коэффициенты переработки различных материалов, входящих в состав ТС;
- объем и перечень материалов, возвращенных в хозяйственный оборот вследствие утилизации ВЭТС (как в стоимостном, так и в натуральном выражении);
- численность занятых непосредственной утилизацией ВЭТС;

- средняя заработная плата занятых непосредственной утилизацией ВЭТС;
- доля выбытия транспортных средств (от общего парка);
- количество дополнительно реализованных (вследствие утилизации ВЭТС) локально произведенных ТС;
- совокупность налоговых поступлений от всех экономических субъектов, задействованных в системе утилизации ВЭТС;
- отношение суммы налогов к расходам из утилизационного фонда;
- прибыль утилизаторов от деятельности, непосредственно связанной с утилизацией ВЭТС, после налогообложения;
- выгоды автопроизводителей и автодилеров, производителей оборудования для утилизации, потребителей продуктов переработки ВЭТС (по различным материалам, входящим в состав ТС), владельцев ТС.

В результате определены основные направления государственных субсидий, необходимые для эффективного функционирования системы утилизации ВЭТС в России и проведения успешной программы утилизации – это компенсации утилизаторам за непосредственную утилизацию ВЭТС, субсидии на создание/модернизацию производственных мощностей и инфраструктуры утилизации, компенсации автопроизводителям скидок для физических и юридических лиц на приобретение новых ТС взамен утилизированных.

Общей целью проводимых экспериментов стало определение таких финансово-экономических параметров программы утилизации транспортных средств, при которых система утилизации ВЭТС более эффективна.

В экспериментах изменялся план реализации инвестиционных проектов по созданию инфраструктуры утилизации (новых мощностей). Проведена масштабная работа по анализу отечественного и зарубежного опыта, анализу опыта уже функционирующих предприятий и передовых мировых технологий, итогом которой стало обоснование конкретных значений переменных модели, отражающих характеристики инвестиционных проектов. Сочетание размера дисконтного сертификата на покупку нового ТС (различных видов: легковой автомобиль, грузовой автомобиль, автобус) взамен утилизированного и плана реализации инвестиционных проектов формируют набор сценариев (20 вариантов), в рамках которых проводились серии экспериментов. В разных сериях экспериментов варьировались дополнительные параметры.

В ходе реализации серии экспериментов для каждого из рассматриваемых сценариев определялись диапазоны допустимых значений государственных компенсаций утилизаторам в виде субсидий за утилизацию ТС различных видов и долей субсидирования инвестиционных проектов по созданию новых мощностей утилизации, которые обеспечивают эффективное функционирование системы утилизации ВЭТС, подразумевающее соблюдение условия наличия стимула последних владельцев ТС передавать их на

утилизацию, безубыточности переработки ВЭТС с точки зрения утилизаторов. Прочие входящие параметры в этой серии экспериментов были зафиксированы. Далее было проведено сопоставление прибыли утилизаторов в разных сценариях при варьировании значений компенсаций утилизаторам. При сценариях, в которых подразумевается комплексная и наиболее полная переработка ВЭТС (включающая не только металлы, но и стекло, резину, пластики), утилизаторам не требуются субсидии, они не несут убытки. В прочих сценариях государство должно компенсировать до 21% затрат на утилизацию ВЭТС. Для легкового автомобиля это составляет порядка 180 USD (по данным Автостата на 2015 г.).

В сценариях, в которых присутствуют инвестиции в создание новых производственных мощностей, дополнительно варьировалась доля финансирования инвестиционных проектов из фонда. Эксперименты планировались как факторные ортогональные. В каждом из них проводились опыты, после чего удавалось построить регрессионную зависимость прибыли утилизаторов за весь период моделирования от варьируемых параметров.

Общий объем государственных субсидий, необходимый для эффективного функционирования системы утилизации ВЭТС в России, составляет 0,7–5,2 млрд долл. ежегодно для разных сценариев.

Дополнительно, с целью анализа соблюдения интересов автопроизводителей и автодилеров, аналогичным образом проведена серия экспериментов, в которой варьировались доля размера дисконтного сертификата, компенсируемая из фонда, и сокращение совокупной ставки налогов, уплачиваемых автопроизводителями и автодилерами за одно реализованное ТС, как государственная поддержка локальных автопроизводителей. На основе полученной экспериментальной информации сделан вывод о том, что даже при наименее благоприятных для автопроизводителей и автодилеров параметрах (государство не сокращает совокупную ставку налогов для автопроизводителей и автодилеров, и они компенсируют половину скидки на приобретение новых ТС взамен ути-

лизированных) их совокупная выгода за весь период моделирования не уменьшается более чем на 1 %, по сравнению с базовым сценарием (который в наибольшей степени соответствует сегодняшнему положению дел).

Была проведена итоговая серия экспериментов (для каждого сценария по одному эксперименту) при фиксированных допустимых значениях параметров (наиболее благоприятных для государства): доля размера дисконтного сертификата, компенсируемая из фонда, — 0,5; доля финансирования инвестиционных проектов из фонда — 0; сокращение совокупной ставки налогов, уплачиваемых автопроизводителями и автодилерами за одно реализованное ТС, как государственная поддержка локальных автопроизводителей — 0. При этом принято, что в каждом из сценариев государство будет компенсировать необходимый для безубыточности утилизаторов процент стоимости утилизации плюс 10 %. А в сценариях, в которых утилизаторы прибыльны и без государственной поддержки, доля компенсации принята за 10 %.

Было установлено, что наибольший возврат в виде налоговых поступлений на затраченные средства из утилизационного фонда достигается при меньших размерах дисконтных сертификатов. Значительное влияние на рассматриваемый показатель оказывает техническая и технологическая оснащенность утилизаторов — при равных размерах скидки, отдача на затраты государства выше при более производительных и современных технологиях утилизации ВЭТС.

Следующая серия экспериментов показала: при ограниченных ресурсах государству достаточно вкладывать незначительные средства в систему утилизации ВЭТС для поддержки ее функционирования — отдача от этих вложений в относительном выражении в виде налоговых поступлений будет максимальной. Обладая большими ресурсами, государство может активнее поддерживать систему, ожидая большего в абсолютном выражении потока налоговых поступлений. При любом из сценариев основными налогоплательщиками являются автопроизводители. Наибольший вклад утилизаторов достигается

при сценариях, где они инвестируют в создание новых мощностей. Отмечено, что чем выше размеры дисконтных сертификатов (а значит, и поток ВЭТС), поступающих утилизаторам, тем выше их вклад в общие налоговые поступления. С точки зрения экологической и экономической политики также наиболее предпочтительны сценарии, при которых утилизаторы перерабатывают ВЭТС комплексно.

Резюмируя результаты проведенного сценарного моделирования финансово-экономических параметров программы утилизации ВЭТС, можно сделать вывод, что по отношению к базовому сценарию увеличение размеров дисконтных сертификатов и создание/модернизация производственных мощностей по комплексной утилизации ВЭТС позволит на период до 2020 г. по разным сценариям достичь широкого спектра разнообразных эффектов. Их сопоставление в лучших сценариях представлено в таблице (в скобках указан ранг сценария по приоритетности: 1 — наиболее приоритетный, 5 — наименее приоритетный; эффекты, имеющие денежное выражение, рассчитаны по средневзвешенному курсу доллара за 2013 г.).

Следует отметить, что со всех точек зрения наиболее эффективна модернизация производственных мощностей, позволяющих проводить комплексную утилизацию ВЭТС либо на разных производственных площадках, либо на одной — по технологии постсреддерной переработки.

Наиболее приемлемым компромиссным сценарием (и с точки зрения участников системы утилизации ВЭТС, и налоговых поступлений, и с точки зрения экологии) для нас представляется 20-й сценарий. Он предполагает постепенное повышение значений дисконтных сертификатов и введение в строй инновационных предприятий по переработке отходов шредерного производства, гарантирующих снижение объемов захоронения отходов и наиболее полное вовлечение вторичных ресурсов в экономический оборот. Возможную некоторую неудовлетворенность утилизаторов подобным сценарием можно нивелировать незначительным увеличением субсидий, предоставляемых им из утилизационного фонда.

**Сопоставление эффектов государственного субсидирования системы утилизации ВЭТС в лучших сценариях**

Эффект	Сценарий				
	4	11	15	16	20
Увеличение прибыли утилизаторов ВЭТС, млн USD	858 (1)	282 (4)	350 (2)	345 (3)	179 (5)
Увеличение суммы налоговых поступлений, млрд USD	0,338 (5)	11,736 (3)	18,923 (1)	15,057 (2)	7,859 (4)
Увеличение суммы налоговых поступлений за вычетом необходимых субсидий, млрд USD	0,922 (3)	3,923 (1)	-1,066 (4)	-6,978 (5)	2,747 (2)
Увеличение количества дополнительно реализованных ТС, млн. шт.	0,00 (5)	1,73 (3)	2,80 (1)	2,57 (2)	1,02 (4)
Увеличение выгоды автопроизводителей, млрд USD	0 (5)	80,363 (3)	119,233 (1)	118,914 (2)	48,698 (4)
Увеличение коэффициентов переработки металлов, п.п.	5 (до 77%) (5)	7 (до 79%) (4)	8 (до 80%) (3)	11 (до 83%) (1)	9 (до 81%) (2)
Увеличение коэффициентов переработки пластиков и резины, п.п.	56 (до 86%) (3)	47 (до 77%) (5)	48 (до 78%) (4)	63 (до 93%) (1)	61 (до 91%) (2)
Увеличение коэффициентов переработки стекла, п.п.	97 (до 97%) (2)	93 (до 93%) (4,5)	93 (до 93%) (4,5)	97 (до 97%) (2)	97 (до 97%) (2)
Увеличение численности занятых непосредственной утилизацией ВЭТС, чел.	1 360 (5)	2 095 (4)	2 530 (3)	4 080 (1)	3 120 (2)
Увеличение средней заработной платы по отрасли, USD	34 (5)	34 (4)	40 (3)	94 (1)	74 (2)
Увеличение выручки производителей оборудования для утилизации, млн USD	699 (3)	218 (5)	256 (4)	2 097 (1)	1 604 (2)
Увеличение выгоды потребителей продуктов переработки ВЭТС, млн USD	14 (5)	10 671 (3)	16 459 (2)	16 486 (1)	6 959 (4)
Уменьшение отношения массы отходов, подлежащих захоронению, к суммарной массе утилизированных ВЭТС, п.п.	12 (до 28%) (5)	14 (до 25%) (3)	14 (до 25%) (4)	15 (до 25%) (2)	16 (до 24%) (1)

Дополнительно проведенное сценарное моделирование позволило также оценить коэффициенты дуговой эластичности основных критериев эффективности программы утилизации ВЭТС по размерам дисконтных сертификатов на различные виды транспортных средств. Эти результаты могут быть полезны для эффективного управления параметрами программы и выявления тех из них, которые оказывают наиболее существенное влияние на критерии эффективности. В ходе проведения имитационного моделирования установлено,

что лица, принимающие решения, могут эффективно и гибко перераспределять выгоды от функционирования системы утилизации ВЭТС между основными субъектами программы при реализации любого из рассмотренных сценариев, управляя основными параметрами системы, варьируемыми в ходе экспериментов. Причем за счет использования коэффициентов эластичности такое управление может осуществляться весьма оперативно, без необходимости проведения дополнительных сложных модельных расчетов.

*Результаты исследования.* Результаты исследования могут быть кратко охарактеризованы следующим образом.

1. Доказано, что специфика прогнозно-аналитической деятельности по обоснованию параметров программы утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств требует адекватной технологии ее реализации в рамках сценарного подхода к моделированию многоуровневых организационных систем.

2. Анализ опыта применения экономико-математических методов и моделей в сфере управления обращением с отходами и, в частности, в сфере утилизации ВЭТС, выявление и формализация закономерностей взаимодействия субъектов системы утилизации ВЭТС в России позволили в рамках сценарного моделирования сформировать адаптированный к российской специфике комплекс экономико-математических моделей системы утилизации ВЭТС, обеспечивающий комплексное обоснование и уточнение значений ее финансово-экономических параметров.

3. Разработан и формализован в системно-динамической парадигме механизм функционирования ядра модельного комплекса на основе имитационной модели, программная реализация которой осуществлена в среде AnyLogic.

4. Сценарное моделирование параметров программы утилизации ВЭТС позволило комплексно оценить эффекты государственного субсидирования и дать рекомендации по преодолению сдерживающих факторов развития этой сферы хозяйственной деятельности.

*Выводы.* Разработанный в рамках концепции сценарного моделирования инструментарий обоснования и сопровождения программы утилизации ВЭТС позволяет, в том числе, решать задачи отраслевого стратегического планирования, формализации и сценарного анализа вариантов программы утилизации ВЭТС, обосновывать рекомендации по комплексному совершенствованию программы. Результаты проведенного исследования могут быть полезны как операторам программы утилизации ВЭТС, так и крупным отраслевым объединениям, саморегулируемым отраслевым организациям в сфере автомобилестроения, продаж транспортных

средств, утилизации отходов производства и потребления и т. п.

Моделирование показало, что наиболее значимыми препятствиями на пути развития системы утилизации ВЭТС в России являются: законодательное несовершенство в этой области; отсутствие контроля за ВЭТС (они даже в рамках утилизационной программы попадают к разборщикам, перекупщикам, на черный рынок или остаются «на земле», загрязняя окружающую среду); отсутствие и недолгосрочность стимула последнего владельца сдавать ВЭТС законопослушному утилизатору; недостаточность спроса на продукты переработки ВЭТС; ряд технических и технологических ограничений, не позволяющих комплексно перерабатывать ВЭТС.

В целом использование в практике разработки и адаптации параметров программ отраслевого развития инструментария сценарного моделирования позволяет системно оценивать характеристики тех или иных механизмов и мер по их разработке, сопровождению и реализации, повысить обоснованность и надежность принимаемых решений, комплексно оценивать их последствия, заблаговременно снижая негативные риски, а также существенно увеличить производительность разработчиков программ стратегического развития.

Предложенные методологические основы сценарного моделирования системы и программы утилизации ВЭТС в Российской Федерации, а также разработанный комплекс экономико-математических моделей, включающий имитационную системно-динамическую модель, и программный продукт обеспечивают повышение качества математического и информационно-технологического сопровождения исследований, связанных с подготовкой отраслевых концепций, стратегий и программ. Следует отметить, что подобная работа приобретает существенную значимость и востребованность по мере воссоздания в Российской Федерации регулярной деятельности по обоснованию документов стратегического планирования на уровне макро- и мезоэкономики.

В свете того, что согласно п. 8 ст. 12 Федерального закона № 89-ФЗ от 24.06.1998 г. (ред. от 05.04.2016 г.) «Об отходах производства и потребления» с 1 января 2017 г. «захо-



ронение отходов, в состав которых входят полезные компоненты, подлежащие утилизации, запрещается», а также того, что созданный модельный комплекс и программный продукт обладают существенными возможностями быстрой и удобной адаптации и масштабирования, результаты проведенного исследования могут быть в дальнейшем использованы при обосновании других, помимо ВЭТС, систем и программ утилизации отходов производства и потребления, особенно по группам товаров, состоящих из различных видов материалов. Полученные наработки в области теории и практики сценарного моделирования могут использоваться при формировании планов и программ,

способствующих созданию в России полноценной системы утилизации всех видов отходов, иначе говоря, развитию экономики техногенных ресурсов. Некоторая ограниченность на сегодняшний день возможности широкого внедрения представленной технологии в практику отраслевого планирования связана, в первую очередь, с высоким уровнем требований к квалификации разработчиков такого рода систем, достаточной временной затратностью на начальном этапе построения комплекса сценарного моделирования, а также необходимостью постоянной подпитки модельного комплекса надежной релевантной информацией.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008. 248 с.
2. Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: моногр. М.: Инфра-М, 2013. 448 с.
3. Емельянов А.А. и др. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
4. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента. М.: Наука, 1983. 392 с.
5. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. 304 с.
6. Корнилов А.М., Пазюк К.Т. Экономико-математическое моделирование рециклинга твердых бытовых отходов и использование вторичного материального сырья // Вестник ТОГУ. 2008. № 2(9).
7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакшин С.С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007. 304 с.
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013. 295 с.
9. Медоуз Д. Азбука системного мышления. М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2011. 343 с.
10. Медоуз Д. За пределами роста // Вестн. МГУ. Сер. 12. Политические науки. 1995. № 5. С. 80–86.
11. Медоуз Д. Рандерс Й., Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: Академкнига, 2007. 342 с.
12. Перекальский В.А. Разработка имитационной модели развития экономической системы утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств // Вестник университета (Государственный университет управления). 2014. № 20. С. 136–145.
13. Перекальский В.А. Опыт применения экономико-математического моделирования в задаче обоснования финансово-экономических параметров программ утилизации транспортных средств // Вестник университета (Государственный университет управления). 2014. № 9. С. 142–148.
14. Перекальский В.А., Писарева О.М. Сценарный анализ параметров программы утилизации ВЭТС на основе комплекса имитационного моделирования // Стратегическое планирование и развитие предприятий : матер. шестнадцатого всерос. симпозиума. М.: ЦЭМИ РАН, 2015. С. 96–98.
15. Писарева О.М. Проектирование инструментария сценарных исследований в задачах управления развитием многоуровневых организационных систем // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2014: сб. науч. тр. / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 213–223.
16. Писарева О.М. Оценка перспектив развития национальной системы рециклинга металлов на основе сценарного моделирования // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2014. № 3(197), 2014. С. 75–89.
17. Писарева О.М. Сценарное моделирование в управлении: развитие методологии прогнозных-аналитических исследований сложных организационных систем // Вестник экономической интеграции. 2011. № 7(39). С. 19–26.
18. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: АСТ, 2003. 379 с.
19. Шульц В.Л. и др. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем: в 2 кн. / Российская акад.

наук, Центр исслед. проблем безопасности, Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова. М.: Наука, 2012.

20. **Bandivadekar A., Gunter K., Kumar V., Sutherland J.** A model for material flows and economic exchanges within the U.S. automotive life cycle chain // *Journal of manufacturing system*, 2004, vol. 23, no. 1.

21. **Borshchev A.** The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with Anylogic 6. AnyLogic North America, 2013.

22. **Celik N., Antmann E., Shi X., Hayton B.** Simulation-based optimization for planning of effective waste reduction, diversion, and recycling programs // Department of industrial engineering, university of Miami, 2012.

23. **Celik N., Antmann E., Shi X., Dai Y.** Continuous-Discrete Simulation-based Decision Making Framework for Solid Waste Management and Recycling Programs // *Computers and Industrial Engineering*, 2013, vol. 65, no. 3, pp. 438–454.

24. **Clark J.S., Gelfand A.E.** Hierarchical Modeling for the Environmental Sciences. Statistical Methods and Applications – Oxford University Press, 2006.

25. **Furch J.** Mathematical model for vehicles life cycle costs determination // *Machines, technologies, materials*, 2008, no. 4–5.

26. **Goodman M.** Study Notes in System Dynamics. Pegasus Communications, 1989.

27. **Goti A.** Discrete Event Simulations. Sciyo, 2010.

28. **Popper R.** How are foresight methods selected? // *Foresight*, 2008, vol. 10, no. 6, pp. 62–89.

29. **Porter A.L.** et al. Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods // *Technological Forecasting & Social Change*, 2004, no. 71, pp. 287–303.

30. **Van der Heijden K.** Scenarios: The art of Strategic Conversation. NY: John Wiley&Sons, 1996.

31. **Sterman J.** Business Dynamics. McGraw-Hill Higher Education, 2000.

## REFERENCES

1. **Bakhtizin A.R.** Agent-orientirovannye modeli ekonomiki. M.: Ekonomika, 2008. 248 s. (rus)

2. **Deviatkov V.V.** Metodologiya i tekhnologiya imitatsionnykh issledovaniy slozhnykh sistem: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiia: monogr. M.: Infra-M, 2013. 448 s. (rus)

3. **Emel'ianov A.A.** i dr. Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov: ucheb. posobie. M.: Finansy i statistika, 2002. 368 s. (rus)

4. **Ermakov S.M.** Matematicheskaya teoriya planirovaniya eksperimenta. M.: Nauka, 1983. 392 s. (rus)

5. **Katalevskii D.Iu.** Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii: ucheb. posobie. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2011. 304 s. (rus)

6. **Kornilov A.M., Paziuk K.T.** Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie retsiklinga tverdykh bytovykh otkhodov i ispol'zovanie vtorichnogo material'nogo syr'ya. Vestnik TOGU. 2008. № 2(9). (rus)

7. **Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sulakshin S.S.** Primenenie vychislimykh modelei v gosudarstvennom upravlenii. M.: Nauchnyi ekspert, 2007. 304 s. (rus)

8. **Makarov V.L., Bakhtizin A.R.** Sotsial'noe modelirovanie – novyi komp'iuternyi proryv (agent-orientirovannye modeli). M.: Ekonomika, 2013. 295 s. (rus)

9. **Medouz D.** Azbuka sistemnogo myshleniya. M.: BINOM; Laboratoriya znaniy, 2011. 343 s. (rus)

10. **Medouz D.** Za predelami rosta. *Vestn. MGU. Ser. 12. Politicheskie nauki*. 1995. № 5. S. 80–86. (rus)

11. **Medouz D., Randers I., Medouz D.** Predely rosta. 30 let spustia. M.: Akademkniga, 2007. 342 s. (rus)

12. **Perekal'skii V.A.** Razrabotka imitatsionnoi modeli razvitiia ekonomicheskoi sistemy utilizatsii vyshedshikh iz ekspluatatsii transportnykh sredstv.

*Vestnik universiteta (Gosudarstvennyi universitet upravleniya)*. 2014. № 20. S. 136–145. (rus)

13. **Perekal'skii V.A.** Opyt primeneniya ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya v zadache obosnovaniya finansovo-ekonomicheskikh parametrov programm utilizatsii transportnykh sredstv. *Vestnik universiteta (Gosudarstvennyi universitet upravleniya)*. 2014. № 9. S. 142–148. (rus)

14. **Perekal'skii V.A., Pisareva O.M.** Stsenarnyi analiz parametrov programmy utilizatsii VETS na osnove kompleksa imitatsionnogo modelirovaniya. *Strategicheskoe planirovanie i razvitiye predpriyatii : mater. shestnadsyatogo vseros. simpoziuma*. M.: TsEMI RAN, 2015. S. 96–98. (rus)

15. **Pisareva O.M.** Proektirovanie instrumentariya stsenarnykh issledovaniy v zadachakh upravleniya razvitiem mnogourovnevnykh organizatsionnykh sistem. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem MLS'D'2014*: sb. nauch. tr. Pod obshch. red. S.N. Vasil'eva, A.D. Tsvirkuna. M.: In-t problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014. S. 213–223. (rus)

16. **Pisareva O.M.** Evaluation of development prospects for the national metal recycling system based on scenario modeling. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2014, no. 3(197), pp. 75–89. (rus)

17. **Pisareva O.M.** Stsenarnoe modelirovanie v upravlenii: razvitiye metodologii prognozno-analiticheskikh issledovaniy slozhnykh organizatsionnykh sistem // *Vestnik ekonomicheskoi integratsii*. 2011. № 7(39). S. 19–26.

18. **Forrester Dzh.** Mirovaia dinamika. M.: AST, 2003. 379 s.



19. Shul'ts V.L. i dr. Modeli i metody analiza i sinteza stsenaiev razvitiia sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: v 2 kn. / Rossiiskaia akad. nauk, Tsentr issled. problem bezopasnosti, In-t problem upr. im. V.A. Trapeznikova. M.: Nauka, 2012.
20. **Bandivadekar A., Gunter K., Kumar V., Sutherland J.** A model for material flows and economic exchanges within the U.S. automotive life cycle chain. *Journal of manufacturing system*, 2004, vol. 23, no. 1.
21. **Borshchev A.** The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with Anylogic 6. AnyLogic North America, 2013.
22. **Celik N., Antmann E., Shi X., Hayton B.** Simulation-based optimization for planning of effective waste reduction, diversion, and recycling programs. *Department of industrial engineering, university of Miami*, 2012.
23. **Celik N., Antmann E., Shi X., Dai Y.** Continuous-Discrete Simulation-based Decision Making Framework for Solid Waste Management and Recycling Programs. *Computers and Industrial Engineering*, 2013, vol. 65, no. 3, pp. 438–454.
24. **Clark J.S., Gelfand A.E.** Hierarchical Modelling for the Environmental Sciences. Statistical Methods and Applications – Oxford University Press, 2006.
25. **Furch J.** Mathematical model for vehicles life cycle costs determination. *Machines, technologies, materials*, 2008, no. 4–5.
26. **Goodman M.** Study Notes in System Dynamics. Pegasus Communications, 1989.
27. **Goti A.** Discrete Event Simulations. Sciyo. 2010.
28. **Popper R.** How are foresight methods selected? *Foresight*, 2008, vol. 10, no. 6, pp. 62–89.
29. **Porter A.L.** at al. Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting & Social Change*, 2004, no. 71, pp. 287–303.
30. **Van der Heijden K.** Scenarios: The art of Strategic Conversation. NY: John Wiley&Sons, 1996.
31. **Sterman J.** Business Dynamics. McGraw-Hill Higher Education, 2000.

---

**ПИСАРЕВА Ольга Михайловна** – заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», кандидат экономических наук, доцент.

109542, Рязанский пр., д. 99, г. Москва, Россия. E-mail: o.m.pisareva@gmail.com

**PISAREVA Ol'ga M.** – State University of Management.

109542. Ryazanskij av. 99. Moscow. Russia. E-mail: o.m.pisareva@gmail.com

**ПЕРЕКАЛЬСКИЙ Владимир Андреевич** – аспирант ФГБОУ ВО «Государственный университет управления».

109542, Рязанский пр., д. 99, г. Москва, Россия. E-mail: v.perkalskiy@gmail.com

**PEREKALSKIY Vladimir A.** – State University of Management.

109542. Ryazanskij av. 99. Moscow. Russia. E-mail: v.perkalskiy@gmail.com

---