

Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д.

# Ситуационное моделирование — эффективный инструмент для стратегического планирования и управления\*

## Макаров Валерий Леонидович

Центральный экономико-математический институт РАН (Москва)  
 Директор  
 Академик РАН  
 Доктор физико-математических наук, кандидат экономических наук, профессор  
 makarov@cemi.rssi.ru

## Бахтизин Альберт Рауфович

Центральный экономико-математический институт РАН (Москва)  
 Заместитель директора по научной работе  
 Доктор экономических наук, профессор РАН  
 albert.bakhtizin@gmail.com

## Сушко Елена Давидовна

Центральный экономико-математический институт РАН (Москва)  
 Ведущий научный сотрудник  
 Кандидат экономических наук  
 sushko\_e@mail.ru

### РЕФЕРАТ

В статье дается краткое описание двух агент-ориентированных моделей, входящих в прогнозный комплекс ситуационной комнаты ЦЭМИ РАН — мощного инструмента поддержки стратегического планирования и управления.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ситуационное моделирование, стратегическое планирование, компьютерное моделирование, агент-ориентированные модели

Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Sushko E. D.

## Situational Modeling — the Effective Tool for Strategic Planning and Management

### Makarov Valery Leonidovich

The Central economic-mathematical institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)  
 Director  
 Academician of Russian Academy of Sciences  
 Doctor of Physical and mathematical sciences, PhD in Economics, professor  
 makarov@cemi.rssi.ru

### Bakhtizin Albert Raufovich

The Central economic-mathematical institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)  
 Deputy Director for science  
 Doctor of Science (Economics)  
 Professor of the Russian Academy of Sciences,  
 albert.bakhtizin@gmail.com

### Sushko Elena Davidovna

The Central economic-mathematical institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)  
 Leading researcher  
 PhD in Economics  
 sushko\_e@mail.ru

\* Работа выполнена при поддержке грантов РГНФ № 14-02-00431 и № 15-02-00276.

**ABSTRACT**

In the article the short description of two agent — oriented models entering an expected complex of the situational room of CEMI of the Russian Academy of Sciences — the powerful instrument of support of strategic planning and management is given.

**KEYWORDS**

situational modeling, strategic planning, computer modeling, the agent — oriented models

---

Термин «ситуационный центр» все чаще используется для обозначения сосредоточенных в одном месте различных инструментов в основном компьютерного типа. В России такие ситуационные центры имеются в Министерстве обороны, МЧС, Звездном городке, Администрации Президента, Федеральной налоговой службе и в ряде других мест. Главное там — это связь, в том числе визуальная, с другими центрами управления, с руководителями различных уровней, с базами данных. То есть принимающий решение использует ситуационный центр для быстрого получения информации о том, что происходит в той или иной области, чтобы произвести оценку ситуации и далее принять решение. В настоящее время создаются, кое-где уже созданы региональные ситуационные центры, завязанные в единую сеть с общей координацией.

Система государственного управления базируется на иерархии должностей, набора инструкций, регламентов, приказов и многого другого, составляющего работающую сеть процедур управления. Благодаря современным информационным технологиям происходят революционные изменения в собственно управленческих технологиях. Термины «электронное правительство», «электронный бюджет», «электронный документооборот», «электронная подпись» и др. становятся привычными и за ними стоят реальные изменения в системе государственного управления. Современный управленец любого уровня имеет на столе компьютер, выход в интернет, электронную связь с коллегами и пр.

Казалось бы, все это должно приводить к существенному повышению эффективности работы госслужащих. Однако ожидания во многом так и остаются ожиданиями. Наше объяснение этого положения состоит в том, что наблюдаемое тотальное использование информационных технологий в управленческом деле сводится в основном к копированию действий, выполняемых раньше вручную. Машинистке легче печатать на компьютере, исправляющем ошибки. Ксерокс в долю секунды копирует, электронная почта передает и т. д. Бухгалтерские дела также заметно легче осуществлять. По скайпу можно распекать подчиненных, находящихся на расстоянии. Любую справку получить проще, чем раньше. Библиотеки содержат все больше оцифрованных книг. Одним словом, набор действий работников тот же самый, что и раньше, только их (действия) стало осуществлять проще и быстрее. Кстати, часто такое облегчение приводит к увеличению бюрократических процедур, что мы и наблюдаем на практике.

Революционный прорыв в управлении произойдет только тогда, когда можно будет производить принципиально новые действия, которые невозможно было осуществлять ранее. Речь идет об «электронных советниках», новом явлении в использовании информационных технологий. Советники были во все времена. Это были и есть люди, наиболее квалифицированные в конкретных областях. В том числе люди, умеющие предвидеть будущее лучше других.

Современное компьютерное моделирование идет в направлении создания искусственных (электронных, цифровых) изделий самого разнообразного типа. Есть цифровые модели турбины, автомобиля, самолета и других сложных изделий. Эти модели столь близки к физическим оригиналам, что на них можно проводить различные эксперименты, заменяющие натурные эксперименты, что обеспечивает новые возможности и большую экономию.

В настоящее время компьютерная наука позволяет строить искусственное (цифровое) общество по аналогии с упомянутыми цифровыми изделиями. Такое направление активно развивается. Уже около 20 лет выпускается международный журнал JASSS<sup>1</sup>. Его русское название «Журнал искусственных обществ и социального моделирования». ЦЭМИ РАН выпускает свой журнал «Искусственные общества»<sup>2</sup>.

Таким образом, имеется реальная возможность сконструировать цифровую модель Российского общества, в том числе цифровую экономику, на которой можно будет проводить самые разнообразные эксперименты. При этом следует иметь в виду, что разработчики моделей предлагают варианты с разным уровнем детализации, разным наполнением информацией, разными способами пользования и пр. Поэтому эксперты и люди, принимающие решения, могут получить широкий спектр инструментов для работы. Итак, мы подошли к описанию основного предмета статьи — ситуационной комнаты, по замыслу органической части создаваемой сети ситуационных центров.

### *Ситуационная комната*

Старшее поколение помнит движение 70-х годов прошлого века по созданию и внедрению АСУ (Автоматизированных Систем Управления), его вершины ОГАС, во главе которого стоял академик В. М. Глушков. Там был и такой кусочек под названием АРМ (Автоматизированное Рабочее Место). АРМы были тогда созданы в ряде мест, даже в Совете министров у Председателя Правительства. К сожалению, АРМы в их задуманном первоначально виде не прижились по многим причинам, в том числе из-за неудобства пользования, а главное, из-за не встроенности в действующую тогда систему управления.

Ситуационная комната предназначена для прямого использования лицом, принимающим решения, а не техническим помощником, секретаршей или тем более программистом. Поэтому определенная простота в работе является принципиальным требованием. Другое важное требование — способность к быстрым изменениям по мере надобности. При появлении новых проблем, которые стоят перед руководителями и которые в ситуационной комнате не могут проигрываться, дополнительная цифровая модель легко должна встраиваться.

Работа начинается с открытия меню. Меню представляет собой иерархически устроенную директорию всех разделов, в которых работает комната. Ниже, в качестве наглядных примеров, описываются некоторые из моделей, реализованных в ЦЭМИ РАН и установленных в ситуационной комнате института.

## **1. Общее описание демографической модели Санкт-Петербурга — Social Petersburg**

В Санкт-Петербурге разработана и принята к реализации Стратегия экономического и социального развития города на период до 2030 г. Генеральная цель Стратегии — «обеспечение стабильного улучшения качества жизни горожан и повышение глобальной конкурентоспособности Санкт-Петербурга на основе реализации национальных приоритетов развития, обеспечения устойчивого экономического роста и использования результатов инновационно-технологической деятельности»<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Сайт журнала: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk>

<sup>2</sup> Сайт журнала: <http://abm.center/magazine/>

<sup>3</sup> Стратегия экономического и социального развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <http://spbstrategy2030.ru> (дата обращения: 17.04.2016).

Одним из основных факторов роста экономики города и одновременно основным мерилем успешности социально-экономической политики властей является человеческий капитал, накопленный жителями города, поэтому первым направлением Стратегии указывается «Развитие человеческого капитала».

Нашей целью была разработка агент-ориентированной модели Санкт-Петербурга, которая может быть использована в качестве одного из инструментов планирования реализации Стратегии для апробации различных вариантов управляющих воздействий в ходе компьютерных экспериментов. Агент-ориентированный подход [3; 4] (т. е. построение модели социально-экономической системы «снизу вверх») был выбран не случайно. Так, в мировой практике есть примеры успешного применения подобного подхода при моделировании развития реальных городских агломераций как результата взаимодействия агентов, соответствующих различным типам заинтересованных экономических акторов<sup>1</sup>.

Первым этапом работы по созданию агент-ориентированной модели Санкт-Петербурга (разрабатываемой совместно со специалистами кафедры стратегии, территориального развития и качества жизни Северо-Западного института управления РАНХиГС) было создание демографической модели, которая должна была не только точно воспроизводить возрастную-половую структуру населения города в выбранный начальный момент времени, но и адекватно имитировать процессы естественного движения этого населения. Такая модель может быть использована как для получения средне- и долгосрочных прогнозов демографической ситуации в городе, так и в качестве инструмента повышения эффективности управления социально-экономическим развитием города с учетом возрастной структуры его населения. Эффективность в модели оценивается на примере одного из критериев, являющихся целевым показателем прописанной в Стратегии программы: «Повышение уровня образованности, качества и доступности образования для всех слоев населения». Речь идет о показателе обеспеченности населения местами в дошкольных образовательных учреждениях (ДОУ).

Модель Social Petersburg разработана в среде AnyLogic<sup>2</sup> и представляет собой автономное приложение, обладающее интерфейсом пользователя, который позволяет ему в процессе диалога управлять ходом компьютерного эксперимента, инициируя новые проекты строительства ДОУ. Приложение работает со своей информационной базой — комплексом Excel-таблиц, из которых считываются исходные данные, необходимые для создания популяции агентов и среды их обитания, а также для имитации поведения агентов. Для создания модели использовались доступные данные официальной статистики по городу Санкт-Петербург.

Язык программирования Java, на котором написано это приложение, является объектно-ориентированным. При таком подходе объекты реального мира заменяются их моделями, т. е. определенными формальными конструкциями («классами»), представляющими их в программной системе. Эти модели включают не только характеристики объектов реального мира, важные для поставленной в модели за-

<sup>1</sup> См.: [6]; Rui Y., Ban Y. Multi-agent Simulation for Modeling Urban Sprawl In the Greater Toronto Area. Proc. of the 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Guimarães (Portugal), 2010. [Электронный ресурс]. URL: [http://plone.itc.nl/agile\\_old/Conference/2010-guimaraes/ShortPapers\\_PDF%5C124\\_DOC.pdf](http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/2010-guimaraes/ShortPapers_PDF%5C124_DOC.pdf) (дата обращения: 17.04.2016); Monticino M.G., Brooks E., Cogdill T., Acevedo M. and Callicott B. Applying a Multi-Agent Model to Evaluate Effects of Development Proposals and Growth Management Policies on Suburban Sprawl. Proc. of the International Environmental Modelling and Software Society, Summit on Environmental Modelling and Software. Burlington (USA), 2006. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.math.unt.edu/~monticino/papers/multi-agent\\_development.pdf](http://www.math.unt.edu/~monticino/papers/multi-agent_development.pdf) (дата обращения: 17.04.2016).

<sup>2</sup> XJ Technologies. Simulation Software and Services. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.xjtek.com/> (дата обращения: 17.04.2016).

дачи, но и программные модули, реализующие присущие данным объектам функции («методы»). Поэтому основой архитектуры модели служит система Java-классов:

- Главный класс обеспечивает ввод исходной информации; создание популяции агентов; установку стартового состояния системы, соответствующего базовому году имитации; отображение состояния популяции на экране, включающем карту-схему города; организацию диалога с пользователем; а также организацию процесса имитации на каждом шаге.
- Класс муниципальных округов Санкт-Петербурга (МО). МО характеризуется индивидуальным номером, названием, границей расположения на карте-схеме территории города и номером муниципального района, к которому он относится. МО включает коллекцию (список) агентов-людей — его жителей, а также коллекцию детских садов (ДОУ) на его территории. Характеристиками МО являются также обобщающие показатели для этих коллекций — это численность населения и его возрастная структура; численность женщин репродуктивного возраста; численность детей дошкольного возраста; число ДОУ; общее число мест в них; обеспеченность местами агентов-детей, а также соотношение довольных и недовольных взрослых агентов. Для получения этих обобщающих характеристик класс содержит метод, обеспечивающий сбор соответствующей статистики.
- Класс муниципальных районов Санкт-Петербурга. Район характеризуется индивидуальным номером и названием. Район также включает коллекцию муниципальных округов, расположенных на его территории. Характеристиками района являются обобщающие показатели для этой коллекции, для получения которых класс содержит метод, обеспечивающий сбор соответствующей статистики и ее отображение в собственном окне интерфейса пользователя.
- Класс агентов-людей. Характеристики: индивидуальный номер; возраст; пол; место жительства (код МО) и состояние (доволен/недоволен). Содержит метод, обеспечивающий имитацию основных демографических процессов, в которых участвуют люди, а также их переход в состояние недовольства, которое вероятностным образом зависит от уровня обеспеченности местами в детских садах в округе-месте жительства агента.
- Класс проектов. Характеризуется порядковым номером, названием, типом (в данном случае — строительством ДОУ), местом локализации (кодом МО), периодом реализации, годом начала и годом окончания проекта, а также ожидаемым результатом его реализации (числом мест в ДОУ). Кроме того, содержит признак завершения проекта.
- Класс детских образовательных учреждений. Характеристики: код МО; индивидуальный номер; городской адрес; число мест для детей.

### *Работа модели*

В начале работы модели из базы данных считываются массивы исходной информации: характеристики МО и МР Санкт-Петербурга в базовом 2014 г., данные о ДОУ и их расположении на территории города, а также демографические данные, к которым относятся возрастно-половая пирамида, распределение населения по МО, показатели смертности, дифференцированные по полу и возрасту, суммарный коэффициент рождаемости (среднее число детей, рождаемых женщиной в течение репродуктивного периода), а также распределение рождений по возрасту матери.

Затем создается популяция агентов (50 000), которым присваиваются индивидуальные характеристики — пол и возраст таким образом, чтобы половозрастная структура создаваемой популяции точно воспроизводила рассчитанную на основе исходных данных. Созданные агенты расселяются по МО, причем предполагается, что возрастная структура одинакова на всей территории города. Кроме того, создается популяция ДОУ (1029) с привязкой их к МО. Таким образом, устанавлива-

ется стартовое состояние системы, соответствующее состоянию моделируемой реальности в базовом году.

Далее выполняется пошаговая имитация процессов естественного движения населения города — смертности и рождаемости (один шаг модельного времени соответствует одному году в реальной действительности).

На основе дифференцированных по полу и возрасту коэффициентов смертности рассчитывается вероятность умереть для каждого агента популяции, после чего вероятностным образом определяется его судьба, часть агентов удаляется, а оставшиеся становятся на год старше (коэффициенты смертности приняты постоянными на протяжении всего периода симуляции).

Затем на основе данных о численности женщин репродуктивного возраста, суммарном коэффициенте рождаемости, а также распределении рождений по возрасту матери рассчитываются вероятности родить ребенка для женщин каждого возраста. После чего вероятностным образом для каждого агента-женщины репродуктивного возраста определяется, родит ли она ребенка в текущем году. При получении положительного ответа в МО — месте жительства матери создается новый агент нулевого возраста, пол которому присваивается мужской или женский с вероятностью  $0,512/0,488$  [5]. Таким образом, в модели фактически имитируется метод передвижки возрастов [1].

Кроме того, в ходе работы модели пользователь может инициировать новый проект строительства ДОО, выбрав какой-либо типовой вариант ДОО, а также указав муниципальный округ и дату начала строительства.

При выполнении следующих шагов имитации в модели просматриваются все активные проекты и проверяется, совпадает ли срок их окончания с текущим годом. Если да, то в соответствующем МО создается новый агент ДОО с указанным в проекте числом мест для детей.

### *Интерфейс модели*

Для анализа текущего состояния и принятия пользователем решений о необходимости каких-то управляющих воздействий, ему на каждом шаге имитации демонстрируются на экранах интерфейса модели все основные оцениваемые в модели показатели состояния населения: численность, доля довольных жителей и обеспеченность местами в ДОО в целом по городу.

Вид главного окна интерфейса модели представлен на рис. 1.

Главное окно также содержит карту-схему города, на которой показана прогнозируемая в текущем году группировка муниципальных округов по показателю обеспеченности населения местами в ДОО.

Кроме того, на экране представлены диаграммы: динамика численности населения относительно базового года (также один из целевых показателей Стратегии развития Санкт-Петербурга) и динамика структуры населения по основным возрастным группам — трудоспособное население, моложе и старше трудоспособного.

Пользователь также может выбрать на карте-схеме (кликнуть мышкой) любой округ и перейти к окну соответствующего муниципального района, пример которого показан на рис. 2.

Управляемым параметром модели является индекс суммарного коэффициента рождаемости, который пользователь может варьировать в ходе работы модели.

### *Пример эксперимента*

Условный эксперимент проводился на примере реализации программы строительства новых детских образовательных учреждений для повышения обеспеченности детей местами в ДОО. На рис. 1 в главном окне модели на карте-схеме города показана группировка муниципальных округов по этому показателю.

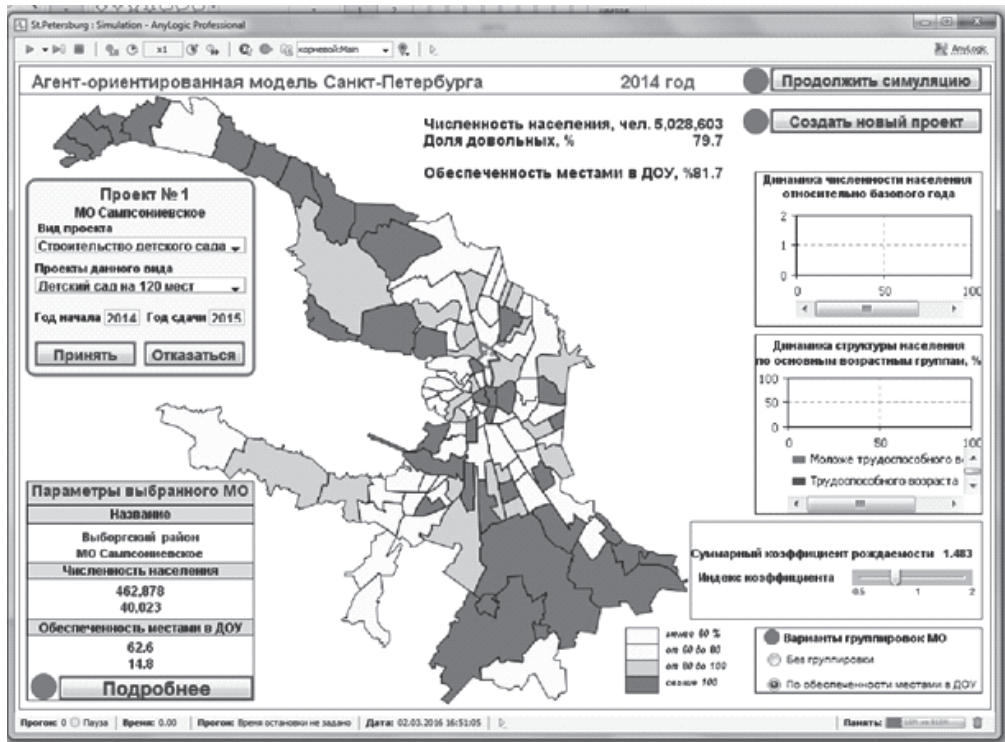


Рис. 1. Главное рабочее окно модели Social Petersburg с открытым диалогом создания проекта

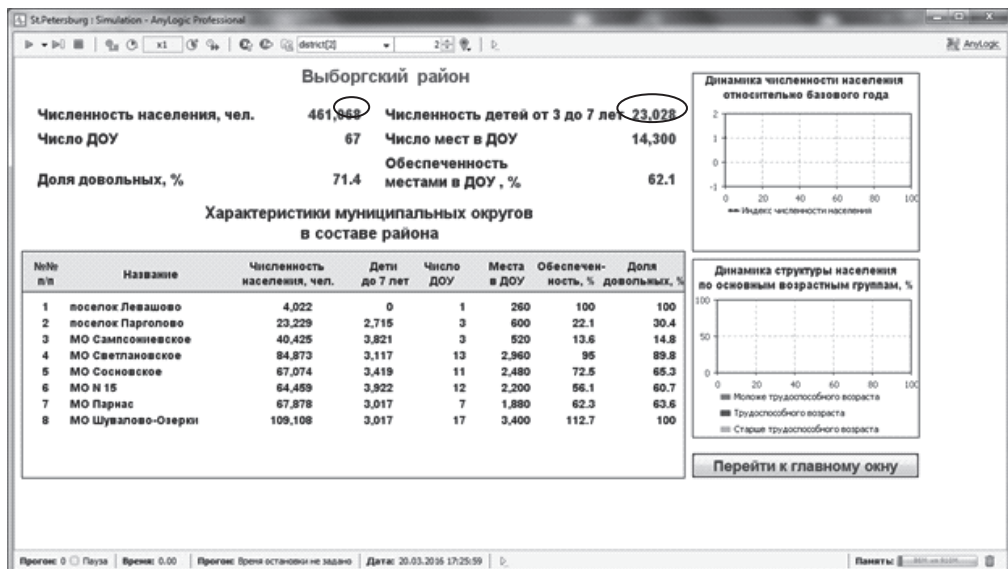


Рис. 2. Окно Выборгского района г. Санкт-Петербурга, год 2014

Анализ показал, что наиболее проблемным округом является МО Сампсониевское в Выборгском районе (обеспеченность 13,6%). Этот округ и был выбран для реализации проектов строительства ДОУ на его территории. Были созданы три проекта, представленные в табл. 1.

Таблица 1

**Состав программы строительства детских дошкольных учреждений**

Округ	Название проекта	Год начала	Год окончания	Результат — число мест в ДОУ
1. Сампсониевское	Детский сад на 120 мест	2014	2015	120
2. Сампсониевское	Детский сад на 120 мест	2015	2016	120
3. Сампсониевское	Детский сад на 120 мест	2016	2017	120
<b>Всего по программе строительства</b>	<b>3</b>	—	—	<b>360</b>

Результат выполнения программы строительства будет виден в 2018 г. после реализации всех проектов, входящих в программу: в выбранном округе увеличивается на три число ДОУ, на 360 — общее число мест в них, а также растет обеспеченность, несмотря на прогнозируемое увеличение численности детей дошкольного возраста. Кроме того, изменяются и соответствующие общие статистические показатели для Выборгского района в целом.

## 2. Общее описание модели ракетно-космической отрасли — «RussianSpace»

Ракетно-космическая промышленность — высокотехнологичный сектор, в котором конечный результат достигается консолидацией усилий многих предприятий, выполняющих разные роли в технологической цепочке от создания отдельных конструктивных элементов и их испытаний до организации эксплуатации космодромов и «уборки» полей падения (территорий, на которые падают отделяемые части ракет-носителей после запуска). Важно то, что «конечный продукт» является комплексом неважнозаменимых компонент, получение которых должно быть достигнуто в определенный момент времени.

Предприятия в модели отвечают за различные компоненты подготовки и запуска космических аппаратов (КА), такие как средства выведения (например, Протон-М), полезная нагрузка (спутники связи), наземная инфраструктура, средства управления, топливо, охрана окружающей среды (утилизация упавших отделяемых частей и рекультивация земель). Недостаток ресурсов (в том числе квалификация персонала) для штатного выполнения предприятиями работ может отражаться на их результатах и вызывать различные сбои: аварийный запуск с потерей КА, падение отделяемых частей за пределами заданных полей падения, снижение нормативного срока службы КА.

Технологические цепочки, обеспечивающие подготовку отдельных компонент, сильно различаются по длительности во времени и затратам, при этом часть компонент являются высокоспецифическими, уникальными и не производятся серийно, т. е., нужна синхронизация процессов их разработки и производства (закупки) на всех этапах. Поэтому особенно важно стратегическое управление отраслью и организация планомерной работы по реализации долгосрочных и дорогостоящих отраслевых программ.

Из перечисленных выше особенностей отрасли следует то, что высока зависимость от доступа на внешние рынки комплектующих, а значит, высоки риски при



ограничении этого доступа, поскольку импортозамещение потребует как вложения больших средств, так и затрат времени. С другой стороны, реализация собственной готовой продукции (например, коммерческие запуски космических аппаратов зарубежного производства) также подвержена риску ограничения доступа на соответствующие рынки, и вследствие уникальности этой продукции и ее высокой себестоимости финансовые потери в случае наступления подобных рисков случаев ложатся тяжким бременем на все предприятия, участвовавшие в подготовке этой продукции.

В соответствии со всеми этими особенностями была разработана концепция агент-ориентированной системы, имитирующей деятельность предприятий Роскосмоса. Система представляет собой платформу, базирующуюся на общем подходе, общей информационной базе и единой архитектуре, построенной по блочному методу. Каждый отдельный блок является самостоятельной моделью, настроенной на имитацию того или иного присущего отрасли процесса, разрабатывается самостоятельно, а затем подключается к общей платформе, что позволяет разрабатывать единую отраслевую систему поэтапно, постепенно делая имитацию поведения отрасли и ее предприятий все более реалистичной.

Были разработаны и реализованы два блока.

**Блок 1.** Модель, имитирующая сотрудничество предприятий отрасли, осуществляющих работы разного типа в рамках реализации общего проекта — программы запусков КА, в том числе зарубежных. Выполнение программы запусков и ее экономические результаты зависят от ограничений на доступ Роскосмоса на международный рынок этих услуг.

**Блок 2.** Модель, имитирующая запуски космических аппаратов и последствия этих запусков для экологии полей падения. Степень экологического ущерба в модели зависит от размеров государственного финансирования предприятий Роскосмоса, ответственных за уборку этих территорий.

Модель разработана как инструмент, позволяющий оценить последствия указанных средовых параметров при различных сценариях их изменения для поиска вариантов управляющих решений, снижающих общий ущерб от недостатка ресурсов, в частности, финансовых.

Модель «RussianSpace» также разработана в среде AnyLogic и представляет собой автономное приложение, информационную базу которого составили данные официального сайта госкорпорации «Роскосмос»<sup>1</sup>.

Основой архитектуры модели «RussianSpace» служит система Java-классов:

1. **Главный класс** обеспечивает ввод исходной информации; создание популяции агентов; установку стартового состояния системы, соответствующего базовому году имитации; отображение состояния популяции на экране; организацию диалога с пользователем; организацию процесса имитации на каждом шаге.
2. **Класс регионов — субъектов РФ.** Регион имеет название и порядковый номер, а также объект, представляющий его на карте-схеме РФ. Характеристиками региона являются: величина прожиточного минимума, средняя заработная плата занятых в экономике и уровень безработицы. Регион также содержит список (коллекцию) *предприятий отрасли*, находящихся на его территории.
3. **Класс предприятий (организаций).** Предприятие имеет название и порядковый номер. Характеристиками предприятия являются: индекс *региона* — места расположения; индекс *направления деятельности*, которым занимается предприятие; численность занятых *агентов-людей* и объем производства.

<sup>1</sup> Официальный сайт государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.roscosmos.ru/> (дата обращения: 17.04.2016).

4. Класс *направлений деятельности*. Направление деятельности имеет порядковый номер и название (космические аппараты, средства выведения, наземная инфраструктура, средства управления, охрана окружающей среды). Характеризуется зависимостью результата от располагаемых ресурсов, таких как объем финансирования и суммарный производственный потенциал занятых в этом направлении *агентов-людей*.
5. Класс *космодромов*. Космодром имеет название и порядковый номер. Содержит перечень *предприятий*, обеспечивающих инфраструктуру; перечень *полей падения* для каждой из отделяемых частей *ракет-носителей*; а также перечень *проектов*, реализуемых на космодроме.
6. Класс *полей падения*. Имеет порядковый номер и индивидуальный шифр. Характеризуется индексом *региона*, на территории которого находится; индексом *ракеты-носителя* и частотой падения.
7. Класс *ракет-носителей*. Ракета-носитель имеет название и порядковый номер. Характеризуется уровнем экологической опасности. Содержит перечень *предприятий-изготовителей*, и для каждого предприятия из списка указывается доля неудачных запусков.
8. Класс *космических аппаратов*. КА имеет название и порядковый номер. Характеризуется категорией (спутник связи, КА для дистанционного зондирования Земли, для гидрометеорологического наблюдения, для экологического мониторинга и контроля чрезвычайных ситуаций и т. д.) и содержит перечень *предприятий-изготовителей*.
9. Класс *проектов*. Проект имеет порядковый номер и название. Характеризуется индексом *ракеты-носителя*, индексом выводимого на орбиту *КА*, годом начала реализации и продолжительностью, а для каждого года реализации — число запусков.
10. Класс *агентов-людей*. Характеристиками агента-человека являются: индивидуальный номер; пол; возраст; индекс *региона*-места жительства; индекс *предприятия*-места работы; заработная плата; состояние (удовлетворен работой, недоволен, готов к перемене). Кроме того, агент обладает процедурой обработки информации о внешней среде, принятия решения и реализации доступного ему действия — смены места работы.

#### Блок 1. Описание работы модели реализации программы запусков КА

В начале работы симулятора считывается исходная информация из базы данных, создаются популяции агентов и устанавливается стартовое состояние модели, воспроизводящее социально-экономическое положение субъектов РФ, а также предприятий моделируемой отрасли в базовом году. В этот момент для всех агентов-предприятий отрасли производится расчет фонда заработной платы работников как доли от объема производства в базовом году, а оставшаяся часть считается необходимыми постоянными расходами.

Затем собирается статистика по популяциям агентов, и в рабочем окне модели отображается «фактическое» состояние среды и агентов на начало базового года. После чего работа модели (симуляция) приостанавливается в ожидании реакции пользователя. Интерфейс модели предназначен для мониторинга состояния предприятий отрасли и статистики запусков КА в текущем году и демонстрирует на карте-схеме Российской Федерации распределение предприятий по отдельным регионам. В окне интерфейса отображаются характеристики выбранного субъекта РФ, а также состояния предприятий отрасли, находящихся на его территории.

На рис. 3 представлен скриншот главного рабочего окна модели.

Управляемыми параметрами модели являются средняя заработная плата в регионах и в отрасли, а также уровень безработицы. Другую группу управляемых



Рис. 3. Главное рабочее окно модели «RussianSpace». Блок 1

параметров образуют ограничения зарубежных заказчиков на сотрудничество в части запусков их космических аппаратов. Эти параметры вводятся в виде долей от общего запланированного заказа — отдельно для разных стран.

После корректировки плана запусков космических аппаратов на текущий год в модели имитируются запуски с космодромов в соответствии с действующими программами. При каждом запуске случайным образом (в соответствии со статистикой для данного вида ракеты-носителя) устанавливается его удачный или неудачный исход.

Ограничения на выполнение запланированных ранее коммерческих запусков оказывают воздействие на состояние предприятий отрасли, участвующих в данных программах: снижаются общие поступления денежных средств, а постоянные затраты остаются прежними; отсюда уменьшается сумма, направляемая в фонд заработной платы для агентов-работников, и вслед за ней снижается средняя зарплата по отрасли в регионе.

В конце года опять собирается статистика по популяциям агентов, и в рабочем окне модели отображается уже «фактическое» состояние среды и популяции агентов на конец года.

На следующем шаге работы модели имитируется смертность агентов-работников, выход их на пенсию или смену вида деятельности. После чего освобождаются рабочие места, которые могут быть заполнены новыми агентами. Однако, если соотношение средних зарплат в регионе и в отрасли не в пользу последней, а безработица невысока, то появляется вероятность того, что молодежь на эту работу не пойдет, и место останется вакантным. После «приема на работу» всех желающих агентов производится расчет агрегированных трудовых потенциалов групп агентов, занятых на разных предприятиях. Затем на основе агрегированных потенциалов агентов-работников как факторов труда рассчитываются результаты деятельности агентов-предприятий.

Апробация модели проводилась на примере имитации запусков КА с космодрома Байконур, осуществляемых с помощью ракеты-носителя Протон-М. Были использованы данные о двух группах предприятий Роскосмоса — тех, которые

участвуют в производстве ракеты-носителя, и тех, которые поддерживают инфраструктуру космодрома и осуществляют запуски. При моделировании денежных поступлений, а также при распределении этих поступлений между указанными группами предприятий (и между предприятиями внутри групп) использовались условные данные. Варьирование управляемых параметров модели в ходе проведенных компьютерных экспериментов позволило наблюдать ее адекватную реакцию на введение ограничений на коммерческие запуски по заказу со стороны США и/или стран ЕС (санкций). Так, себестоимость одного запуска по сравнению с планируемой (в базовом варианте) росла при введении санкций как показано в табл. 2. Расчеты проводились в предположении равной платы за запуски КА разных заказчиков и без учета возможности аварийных запусков.

Таблица 2

**Сопоставление себестоимости запусков КА при различных вариантах ограничений на коммерческие запуски**

Варианты	Число запусков КА в базовом году			Индекс себестоимости относительно базового варианта
	Отечественные	По заказу ЕС	По заказу США	
Базовый	4	2	2	1,00
1	4	2	1	1,06
2	4	2	0	1,14
3	4	1	0	1,25
4	4	0	0	1,42

*Блок 2. Описание работы модели влияния запусков КА на экологию*

Управляемыми параметрами этого блока является средняя заработная плата в регионе и в отрасли, а также уровень безработицы. Варьирование этих параметров в ходе проведенных компьютерных экспериментов позволило наблюдать адекватную реакцию работников предприятий отрасли на относительное изменение своего благополучия [2].

Другую группу управляемых параметров образуют объемы государственного финансирования различных направлений деятельности. Так, снижая в ходе экспериментов финансирование природоохранной деятельности (уборка полей падения), удалось наблюдать соответствующее ухудшение состояния территорий, на которые в результате произведенных запусков попадали отделяемые части ракет. На рис. 4 представлен скриншот главного рабочего окна этого блока модели «RussianSpace», на котором показаны экологические последствия запусков при пятидесятипроцентном снижении расходов на охрану окружающей среды. На карте-схеме видны затемненные зоны падения, причем степень затемнения зависит от числа упавших на территорию зон частей ракет-носителей, указанного в центре каждой зоны (два запуска оказались неудачными, и ракеты целиком упали вблизи космодрома Байконур).

Помимо описанных моделей, в ситуационной комнате ЦЭМИ РАН реализованы агент-ориентированные модели нескольких субъектов РФ, стран СНГ, а также крупномасштабная модель Евразийского континента, детализированная до уровня отдельных индивидуумов, позволяющая оценивать изменение демографической ситуации в странах, находящихся на данной территории, в частности, в зависимости от внутренних установок агентов, связанных с их приверженностью традиционной или современной стратегии репродуктивного поведения (с высокой или низкой рождаемостью). С ее помощью, в том числе, возможно прогнозирование развития



Рис. 4. Главное рабочее окно модели «RussianSpace». Блок 2, 2014 год

демографической ситуации в Евросоюзе на ближайшие десятилетия с учетом возникшего миграционного кризиса.

## Литература

1. Бахметова Г. Ш. Методы демографического прогнозирования. М. : Финансы и статистика, 1982.
2. Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Моделирование деятельности отрасли и ее влияния на экологическое благополучие территорий / Доклады XVI Междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества : В 4 кн. Кн. 4. Отв. ред. Е. Г. Ясин. М. : НИУ ВШЭ, 2016. С. 657–664.
3. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М. : Экономика, 2013.
4. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002.
5. Шахотько Л. П., Терещенко С. М. Компьютерное решение задачи построения демографических прогнозов // Вопросы статистики. 1999. № 10. С. 57–65.
6. Semboloni F., Assfalg J., Armeni S., Gianassi R. and Marsoni F. CityDev, an interactive multi-agents urban model on the web // Computers, Environment and Urban Systems. 2004. Vol. 28. N 1. P. 45–64.

## References

1. Bakhmetova G. Sh. *Methods of demographic forecasting* [Metody demograficheskogo prognozirovaniya]. M. : Finance and statistics [Finansy i statistika], 1982. (rus)
2. Bakhtizin A. R., Sushko E. D. *Modeling of activity of branch and its influence on ecological well-being of the territories* [Modelirovanie deyatel'nosti otrasli i ee vliyanie na ekologicheskoe blagopoluchie territorii] / Reports of the XVI International scientific conference on problems of development of economy and society [Doklady XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii po

- problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva]. In 4 books. B. 4. Ex. ed. E. G. Yasin. M. : National Research University Higher School of Economics [NIU VShE], 2016. P. 657–664. (rus)
3. Makarov V.L., Bakhtizin A.R. *Social modeling – new computer break (the agent – oriented models)* [Sotsial'noe modelirovanie — novyi komp'yuternyi proryv (agent-orientirovannye modeli)]. M. : Economy [Ekonomika], 2013. (rus)
  4. Tarasov V. B. *From the multiagent systems to the intellectual organizations: philosophy, psychology, informatics* [Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika]. M. : Editorial URSS, 2002. (rus)
  5. Shakhotko L.P., Tereshchenko S.M. *Computer solution of a problem of creation of demographic forecasts* [Komp'yuternoe reshenie zadachi postroeniya demograficheskikh prognozov] // Questions of statistics [Voprosy statistiki]. 1999. N 10. P. 57–65. (rus)
  6. Semboloni F., Assfalg J., Armeni S., Gianassi R. and Marsoni F. *CityDev, an interactive multi-agents urban model on the web* // Computers, Environment and Urban Systems, 2004. Vol. 28. N 1. P. 45–64.