

УДК 004.94

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ  
РЕГИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

**SIMULATION IN TASKS OF REGIONAL SECURITY MANAGEMENT**

В.В. Быстров<sup>1</sup>, С.Н. Малыгина<sup>2</sup>, Д.Н. Халиуллина<sup>1</sup>  
V.V. Bystrov<sup>1</sup>, S.N. Malygina<sup>2</sup>, D.N. Khaliullina<sup>1</sup>

- 1) Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского НЦ РАН, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24А
- 2) Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г.

Апатиты,  
184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Лесная, д. 29

- 1) Institute for Informatics and Mathematical Modelling of Technological Processes of the Kola Science Center Russian Academy of Sciences, Fersman St. 24A, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209

2) Apatity branch of Murmansk Arctic State University,  
Lesnaya St. 29, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209

E-mail: bystrov@iimm.ru; malygina@iimm.ru; khaliullina@iimm.ru

**Аннотация**

Статья посвящена вопросам применения компьютерного моделирования для исследования проблем обеспечения региональной безопасности. В работе региональная безопасность представляется как совокупность шести взаимосвязанных составляющих. Изучение факторов, влияющих на выделенные составляющие, проводится с помощью методов имитационного моделирования. В работе особое внимание уделяется реализации системно-динамических и агентных моделей, являющихся компонентами разработанного полимодельного комплекса. Приводятся результаты верификации отдельных моделей и прогнозы определенных показателей региональной безопасности.

**Abstract**

Issues of national security are the urgent task, because geopolitical tension in the world grows. From the point of view of national security it is necessary to consider issues of safe development of country regions.

Regional security is understood as the research direction, whose main task is the creation of administrative and organizational measures and means of information. These measures have to ensure the rational management of available resources in the region. Such management is oriented on preventing potential threats that have a negative impact on various processes of region development.

Regional security is considered as a system of interrelated component, such as population and demographic processes; community and socio-cultural aspects; economy branches; education and training; environment and pollution; financial regional system.

To understand the relationships between the components it is used the widely adopted approach of cognitive modeling. This approach is oriented on creation of causal loop diagrams.

Using of created cognitive model and empirical and statistical data, the complex of simulation models of regional security is developed. The complex allows us to carry out computational experiments to obtain forecasts of regional sub-systems state. The forecasts are used to subsequent evaluation of regional security.

A characteristic feature of the complex is a joint use of agent-based simulation and method of system dynamics. Agent-based simulation allows us to work with private indicators. System dynamics works mainly with aggregate and macroeconomic indicators. Joint use of these approaches gives an opportunity to obtain integrated indicators that reflects the state of whole regional security and of its separate components.

The verification procedure was carried out to check the adequacy of the developed models. This procedure represents the comparison of model results with sets of retrospective data.

Analyzing the forecasts, it is possible to conclude that the number of employees varies slightly despite the increasing importance of GRP by economy branches. This fact can be explained by the introduction of new production technologies which does not require increasing staff.

The developed complex of simulation models allows us to obtain different forecasts in operative mode. Such forecasts provide a more detailed and visual information on various safety indicators, that results to improve the quality of decisions in the sphere of regional security.

Ключевые слова: региональная безопасность, имитационное моделирование, системная динамика, когнитивная модель.

Keywords: regional security, simulation, system dynamics, cognitive model.

---

## Введение

Проблемы развития региона всегда волновали общество, которое в нем проживало. Как улучшить условия проживания? Как снизить негативные эффекты от производств? Как обеспечить рабочими местами экономически активное население региона? Как добиться минимальных затрат на производство? Эти и многие другие порой взаимно противоречивые вопросы встают перед руководителями предприятий и организаций, муниципальных и областных органов власти. Поиск ответов на данные вопросы осложняется наличием разнообразных факторов, которые характеризуются такими свойствами как: стохастическая природа протекающих процессов, скрытые (неявные) взаимосвязи между явлениями, задержки по времени и элементы неопределенности в получении информации, отсутствие однозначных алгоритмов принятия решений и другие. На протяжении десятилетий многие исследовательские коллективы из разных научных отраслей занимаются решением выше озвученных проблем, рассматривая их как по отдельности, так и в совокупности, применяя различные методы и технологии [Forrester, 1971; Vonabeau, 2002; Кульба и др., 2004; Аникиев, Чяснавичюс, 2008; Белецкая, 2011; Бритков и др., 2013; Смирнов, 2016; Звягинцева, 2017].

Изучение проблем региональной безопасности является одним из актуальных направлений в области рационального управления развитием административных образований. Основной задачей обеспечения региональной безопасности является создание административно-организационных мер и информационных средств, направленных на рациональное управление доступными ресурсами региона с целью предотвращения потенциальных угроз, оказывающих негативное воздействие на различные процессы развития региона. В этом ключе ведутся научные работы в Институте информатики и математического моделирования КНЦ РАН. В первую очередь, они связаны с разработкой методов, технологий и средств информационной поддержки принятия решений в области управления развитием региональных систем [Путилов, Горохов, 2002; Емельянов и др., 2004; Маслобоев, Путилов, 2011].

### 1. Модели региональной безопасности

Региональную безопасность (РБ) предлагается рассматривать как систему отдельных составляющих региональной безопасности: экономической, экологической,

технологической, информационной и других. Формально региональная безопасность может быть представлена в виде кортежа компонент (1), каждая из которых определяется набором показателей и описывает соответствующую составляющую региональной безопасности:

$$RS = \langle Demos, Soc, Econ, Educ, Ecol, Fin \rangle, \quad (1)$$

где

$Demos = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  – население и демографические процессы;

$Soc = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  – общество и социо-культурные аспекты;

$Econ = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$  – набор показателей отраслей экономики;

$Educ = \{ed_1, ed_2, \dots, ed_l\}$  – система образования и подготовки кадров;

$Ecol = \{ec_1, ec_2, \dots, ec_p\}$  – экология и загрязнение окружающей среды;

$Fin = \{f_1, f_2, \dots, f_r\}$  – финансовая региональная система.

На данном этапе исследования авторский коллектив уделяет внимание лишь шести основным составляющим региональной безопасности, но в дальнейшем их список планируется расширить за счет включения других компонент.

Для выявления взаимосвязей между рассматриваемыми компонентами используется широко распространенный в когнитивном моделировании подход, заключающийся в построении диаграмм причинно-следственных связей [Richardson, 1986]. Данные диаграммы являются одним из видов когнитивных моделей, которые позволяют производить структуризацию знаний экспертов о предметной области на основе их представлений и накопленных ретроспективных данных. На рисунке 1 представлен фрагмент диаграммы причинно-следственных связей разрабатываемой модели региональной безопасности ( $RS$ ), отражающий часть взаимосвязей между социальной ( $Soc$ ), экономической ( $Econ$ ) и финансовой ( $Fin$ ) составляющими.

Формальное описание диаграммы представляется в виде ориентированного графа следующего вида [Горелова и др., 2005]:

$$RS_G = \langle G, F \rangle, \quad (2)$$

где  $G = \langle V, E \rangle$  – ориентированный граф (когнитивная карта),  $V = \{v_i \mid v_i \in V, i = 1, 2, \dots, k\}$  – множество вершин (представляют элементы изучаемой системы),

$E = \{e_i \mid e_i \in E, i = 1, 2, \dots, k\}$  – множество дуг (отражают взаимосвязь между вершинами),

$F = F(v_i, v_j, e_{ij})$  – функционал преобразования дуг, ставящий в соответствие каждой дуге

знак ("+", "-"), причем

$$F(v_i, v_j, e_{ij}) = \begin{cases} +1, & \text{если увеличение (уменьшение) } v_i \\ & \text{приводит к увеличению (уменьшению) } v_j \\ -1, & \text{если увеличение (уменьшение) } v_i \\ & \text{приводит к уменьшению (увеличению) } v_j \end{cases}, \quad i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j \quad (3)$$

Приведенное формальное описание позволяет провести синтез структуры непараметризованной системно-динамической (СД) модели. Процедура синтеза модели на основе когнитивной карты более подробно представлена в работе Халиуллиной [2016].

На основе построенной когнитивной модели, применяя разработанную технологию к формированию СД модели с привлечением эмпирических и статистических данных, строится комплекс имитационных моделей региональной безопасности. Комплекс позволяет проводить вычислительные эксперименты с целью получения прогнозов о состоянии региональных подсистем для последующей оценки региональной безопасности. Для оценки РБ предлагается использовать матрицу региональной безопасности, которая



лет, трудоспособного возраста 16–55 лет, старше трудоспособного возраста 56 лет и старше).

Население региона является важнейшим фактором развития региона, влияющим на все аспекты его безопасности. Данный факт отражается в модели в виде получения прогнозных значений таких показателей как: распределение по возрастным категориям, количественная оценка миграционных процессов и другие. Результаты работы рассматриваемой модели являются входными параметрами для других моделей разрабатываемого комплекса.

Блок «Система образования и подготовки кадров»

Одним из показателей стабильного развития региона является его высокий трудовой потенциал, который определяется сбалансированным распределением трудовых ресурсов по основным отраслям и наличием гибкой системы подготовки и переподготовки кадров. Разрабатываемая модель "Система образования и подготовки кадров" позволяет выявить возможные проблемы размещения трудовых ресурсов, безработицы, регулирования занятости населения, демографические аспекты занятости, молодежные проблемы на региональном рынке труда.

Для получения информации о вакантных рабочих местах, о безработных в соответствующей отрасли и других показателях были разработаны модели кадровой обеспеченности каждой из отраслей региона. С точки зрения имитационного моделирования отрасль экономики представляется в виде агента моделирования, который, в свою очередь, может включать в себя другие агенты. В частном случае агент моделирования является шаблоном СД модели или непосредственно системно-динамической моделью.

В составе модели каждой отрасли реализован шаблон, предназначенный для прогнозирования количества предприятий (создаваемых, ликвидированных, действующих), рабочих мест (занятых, вакантных), потребностей в кадрах по уровню образования и по категориям (рис.2):

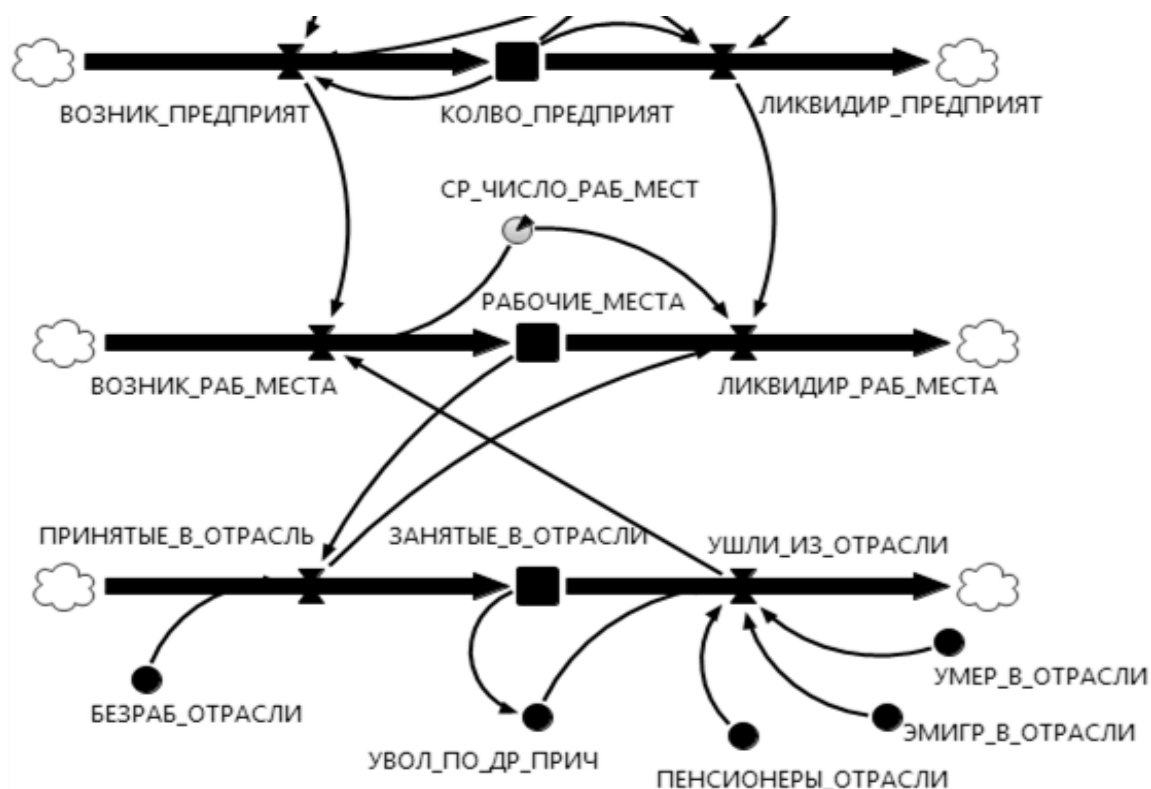


Рис. 2. Шаблон системно-динамической модели для прогнозирования количества предприятий и рабочих мест отрасли экономики

Fig. 2. The pattern of system dynamics model to forecast the number of enterprises and workplaces of economy branches

В основу математического описания шаблона положены следующие дифференциальные уравнения:

– количества имеющихся предприятий в отрасли экономики:

$$\frac{dN_{ENT}(t)}{dt} = Cr_{ENT}(N_{ENT}(t), VRP_{EB}(t), Inv_{EB}(t), t) - Liq_{ENT}(N_{ENT}(t), VRP_{EB}(t), Out_{EB}(t), t),$$

где  $Cr_{ENT}(N_{ENT}(t), VRP_{EB}(t), Inv_{EB}(t), t)$  – количество возникших предприятий в отрасли экономики;

$Liq_{ENT}(N_{ENT}(t), VRP_{EB}(t), Out_{EB}(t), t)$  – количество ликвидированных предприятий в отрасли экономики;

$VRP_{EB}(t)$  – часть валового регионального продукта, приходящаяся на отрасль экономики;

$Inv_{EB}(t)$  – сумма инвестиций в отрасль экономики;

$Out_{EB}(t)$  – количество людей, покинувших отрасль экономики.

– количества вакантных рабочих мест:

$$\frac{dWP_{EB}(t)}{dt} = Cr_{WP_{EB}}(Cr_{ENT}(t), Out_{EB}(t), WP_{Avr}(t), t) - Liq_{WP}(Liq_{ENT}(t), In_{EB}(t), WP_{Avr}(t), t),$$

где

$Cr_{WP_{EB}}(Cr_{ENT}(t), Out_{EB}(t), WP_{Avr}(t), t)$  – число возникших рабочих мест в отрасли экономики;

$Liq_{WP}(Liq_{ENT}(t), In_{EB}(t), WP_{Avr}(t), t)$  – число ликвидированных рабочих мест в отрасли экономики;

$WP_{Avr}(t)$  – среднее количество рабочих мест предприятия отрасли экономики;

$In_{EB}(t)$  – количество прибывших работников в отрасль экономики.

– количества людей, занятых в отрасли экономики:

$$\frac{dN_{EMP}(t)}{dt} = In_{EB}(WP_{EB}(t), UnEmp_{EB}(t), t) - Out_{EB}(O_{EB}(t), Ret_{EB}(t), Em_{EB}(t), D_{EB}(t), t),$$

где  $In_{EB}(WP_{EB}(t), UnEmp_{EB}(t), t)$  – количество людей, принятых на работу в отрасль экономики;

$Out_{EB}(O_{EB}(t), Ret_{EB}(t), Em_{EB}(t), D_{EB}(t), t)$  – число уволенных людей из отрасли экономики по разным причинам;

$UnEmp_{EB}(t)$  – количество безработных, способных трудоустроиться в отрасли;

$Ret_{EB}(t)$  – количество уволенных с связи с выходом на пенсию;

$Em_{EB}(t)$  – количество уволенных по причине эмиграции из региона;

$D_{EB}(t)$  – количество уволенных по причине смерти;

$O_{EB}(t)$  – количество уволенных по прочим причинам.

Шаблоны моделирования количества предприятий и рабочих мест используются для определения показателей, характеризующих кадровые потребности каждой отрасли региональной экономики.

Важнейшим условием стабильного развития региона является обеспечение региональной экономики квалифицированными кадрами. Подмодель «Система образования» позволяет получить данные по выпускникам вузов и ссузов региона.

В работе для вузов было рассмотрено 19 укрупненных групп специальностей, для ссузов – 16 групп [Халиуллина и др., 2014]. Для моделирования каждого направления подготовки

использовались соответствующие шаблоны СД модели вузов и ссузов. На рисунке 3 приводится структура шаблона системно-динамической модели для высшего образования.

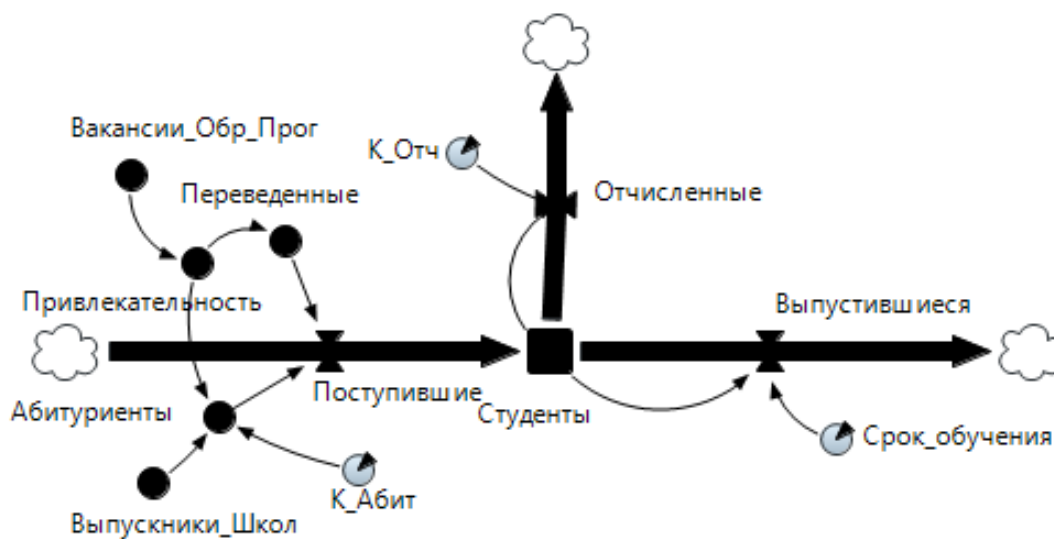


Рис.3. Шаблон СД модели по образовательной программе в вузе или ссузе  
Fig.3. The pattern of system dynamics model of educational program at university or college

Одним из основных показателей построенных шаблонов является численность студентов, обучающихся по образовательной программе. В качестве таких программ используются направления подготовки высшего образования разных уровней (бакалавриат, специалитет, магистратура), а также два уровня подготовки специалистов среднего профессионального образования. Изменение численности студентов конкретной образовательной программы осуществляется отдельным экземпляром шаблона, реализуемым в виде агента моделирования. Математически динамику данного показателя можно представить в виде следующего дифференциального уравнения:

$$\frac{dSt_i(t)}{dt} = Inc_i(Tr_i(t), App_i(t), t) - Exp_i(St_i(t), K\_Exp_i(t), t) - Gr_i(St_i(t), TP_i(t), t),$$

где  $Inc_i(Tr_i(t), App_i(t), t)$  – количество принятых на  $i$ -ую образовательную программу;

$Exp_i(St_i(t), K\_Exp_i(t), t)$  – количество отчисленных студентов  $i$ -ой образовательной программы;

$Gr_i(St_i(t), TP_i(t), t)$  – количество студентов, успешно завершивших обучение по  $i$ -ой образовательной программе;

$Tr_i(t)$  – количество переведенных на  $i$ -ую образовательную программу;

$App_i(t)$  – количество абитуриентов;

$K\_Exp_i(t)$  – средний коэффициент отчисления студентов  $i$ -ой образовательной программы;

$TP_i(t)$  – срок реализации  $i$ -ой образовательной программы;

$i$  – индекс образовательной программы.

Блок "Система образования и подготовки кадров" позволяет получить прогнозы обеспеченности и наличия кадровых ресурсов для каждой из отраслей экономики региона. Результаты работы данного блока используются в других подмоделях комплекса.

Блок «Экология и загрязнение окружающей среды»

Несмотря на развитие современных производственных технологий невозможно полностью избежать негативного влияния промышленности на экологическую обстановку региона. В

свою очередь, состояние региональной биоэкологической системы непосредственно влияет на показатели социальной сферы, например, такие как: качество и продолжительность жизни, состояние здоровья, экологическая привлекательность региона и другие. Разработанная модель "Экология и загрязнение окружающей среды" опирается на опыт исследований прошлых лет ИИММ КНЦ РАН в данной области [Путилов, Горохов, 2002; Маслобоев, 2015].

Данная модель учитывает различные показатели человеческой деятельности, прямо или косвенно влияющих на экологическую обстановку, а также позволяет оценить возможные изменения ее состояния и последующее влияние таких изменений на здоровье человека. Она состоит из агентов моделирования, каждый из которых отражает отдельный аспект экологического состояния региона: загрязнение окружающей среды, изменение природных ресурсов (минеральные, водные, растительные, почвенные, земельные, животного мира). Различные виды загрязнений окружающей среды, такие как загрязнение воздуха, воды, почвы, можно представить в виде шаблона СД модели (рис.4).



Рис. 4. Шаблон системно-динамической модели загрязнения окружающей среды  
 Fig. 4. The pattern of system dynamics model of environmental pollution

При разработке шаблона определенного вида загрязнения окружающей среды введены два основных параметра: фактическое загрязнение и воспринимаемое человеком загрязнение. Второе понятие введено вследствие того, что практически любое загрязнение окружающей среды, в которой находится человек, носит накопительный характер, отражающийся на здоровье с течением времени. Источниками загрязнения могут выступать: транспорт, промышленные объекты, различные виды отходов.

В разработанном шаблоне для расчета параметров используются следующие дифференциальные уравнения:

– реальное загрязнение  $j$ -ого вида:

$$\frac{dAP_j(t)}{dt} = IncP_j(S_j(t), AvrP_j(t), t) - DecP_j(AP_j(t), K\_DecP_j(t), TA_j(t), t),$$

где  $IncP_j(S_j(t), AvrP_j(t), t)$  – увеличение реального загрязнения  $j$ -ого вида;

$DecP_j(AP_j(t), K\_DecP_j(t), TA_j(t), t)$  – уменьшение реального загрязнения  $j$ -ого вида (очистение вод происходит только естественным путем);

$S_j(t)$  – количество источников загрязнения  $j$ -ого вида;



$AvrP_j(t)$  – удельный объем загрязнения j-ого вида;

$K_{DecP_j}(t)$  – средний коэффициент уменьшения фактического загрязнения j-ого вида;

$TA_j(t)$  – период ассимиляции для j-ого вида загрязнения;

j – индекс вида загрязнения окружающей среды.

– загрязнение j-ого вида, воспринимаемое человеком:

$$\frac{dPP_j(t)}{dt} = VPP_j(AP(t), TPer_j(t), K_{P_j}(t), t) - NC_j(PP_j(t), K_{Cl_j}(t), TC_j(t), t),$$

где  $VPP_j(AP(t), TPer_j(t), K_{P_j}(t), t)$  – объем воспринимаемого человеком загрязнения j-ого вида;

$NC_j(PP_j(t), K_{Cl_j}(t), TC_j(t), t)$  – естественное очищение организма человека от загрязнения j-ого вида;

$TPer_j(t)$  – период восприятия человеком j-ого вида загрязнения;

$K_{P_j}(t)$  – коэффициент восприятия человеком j-ого вида загрязнения;

$K_{Cl_j}(t)$  – коэффициент естественного очищения организма человека от j-ого загрязнения;

$TC_j(t)$  – период естественного очищения организма человека от j-ого вида загрязнения.

Блок комплекса "Экология и загрязнение окружающей среды" позволяет получить прогноз о состоянии окружающей среды региона, включая изменение его ресурсной базы и возможные антропогенные воздействия.

Обобщая приведенный выше материал, необходимо отметить, что в работе приведена лишь часть моделей, входящих в состав полимодельного комплекса. Авторами продолжается работа по расширению перечня учитываемых факторов в моделях комплекса для более адекватного описания моделируемых процессов и объектов.

### 3. Результаты

Для проверки адекватности разработанных моделей проводилась процедура верификации, в процессе которой осуществлялось сравнение результатов моделирования с наборами ретроспективных данных. Данная процедура сопровождалась оценением средней погрешности результатов моделирования, которая вычислялась как среднее арифметическое отклонений по каждому временному срезу. Стоит отметить, что полимодельный комплекс проходил процедуры настройки и верификации на основе данных официальной статистики Мурманской области с учетом мнения экспертов.

Результаты верификации модели "Система образования и подготовки кадров", представленные в виде значений средней погрешности по некоторым параметрам приведены в таблицах 1–2.

Таблица 1

Table 1

Результаты верификации по отраслям экономики Мурманской области

The results of verification by branch of economy in the Murmansk region

Параметры /Названия отраслей	Рыбная	Торговая	Строительная
	Отклонение		
Количество возникших предприятий	7.1%	3.1%	3.8%
Общее количество предприятий	2.7%	3.5%	5.7%
Количество ликвидированных предприятий	13.2%	9.8%	4.2%
Количество занятых в отрасли	2.6%	2.7%	6.4%

Таблица 2

Table 2

Результаты верификации по выпускникам вузов и ссузов Мурманской области

The results of verification for graduates of universities and colleges in Murmansk region

Направление (вузы)	Отклонение	Направление (ссузы)	Отклонение
«Экономика и управление»	7%	«Экономика и управление»	15%
«Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника»	4%	«Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника»	11%
«Информатика и вычислительная техника»	5%	«Технология продовольственных продуктов и потребительских товаров»	13%
«Социальные науки»	7%	«Культура и искусство»	13%
«Гуманитарные науки»	6%		
«Естественные науки»	4%	«Здравоохранение»	8%
«Физико-математические науки»	14%		

На рисунке 5 представлены результаты прогнозирования объема валового регионального продукта Мурманской области по таким отраслям, как рыбопромышленная, строительная, горнопромышленная, торговая. Данный параметр (объем ВРП) является одним из важнейших макропоказателей, влияющих на все составляющие полимодельного комплекса.

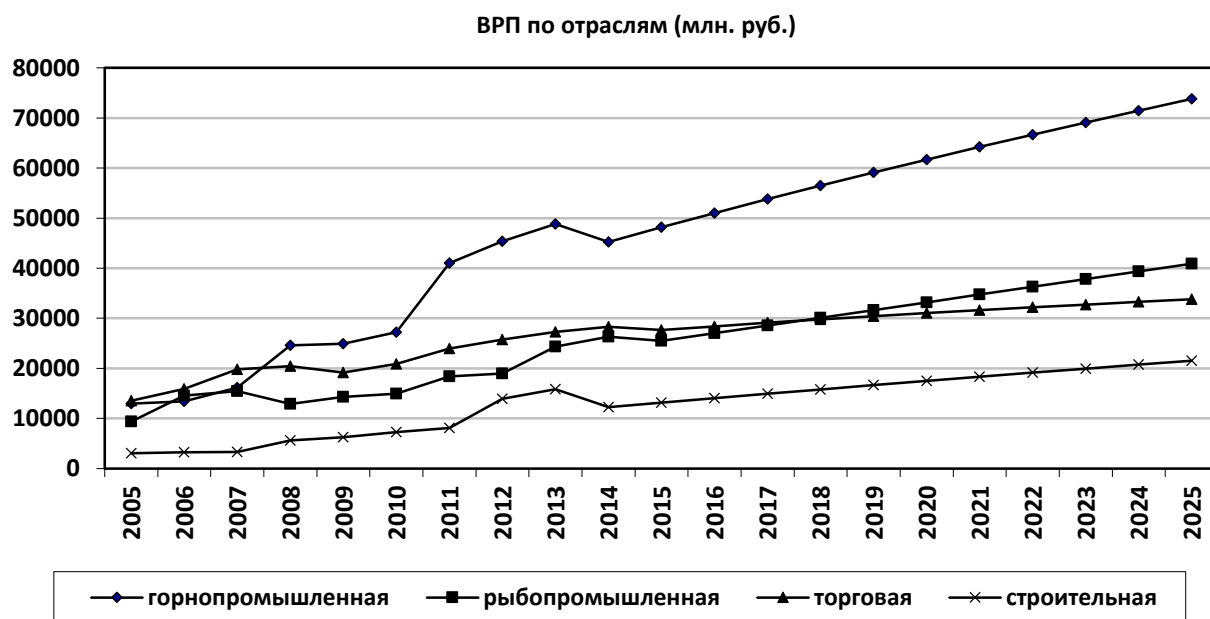


Рис. 5. Прогноз ВРП по соответствующим отраслям экономики Мурманской области

Fig. 5. Forecast of GRP in the relevant economy branches in Murmansk region

Для сравнения приводятся как ретроспективные данные, взятые из официальной статистики, так и результаты прогноза с 2016 по 2025 гг. Анализ тенденции изменения ВРП по горнопромышленной отрасли показывает значительный рост в связи с разработкой новых месторождений и запуском новых структурных подразделений предприятий данной отрасли. Остальные отрасли по данному показателю характеризуются небольшим изменением объемов.

В ходе работы необходимо было провести исследование экономической составляющей региональной безопасности. В частности, особое внимание уделялось вопросам кадрового обеспечения. Одним из основных показателей кадровой безопасности является количество занятых людей в каждой отрасли экономики. На рисунке 6 представлены результаты моделирования данного параметра с помощью полимодельного комплекса.



Рис.6. Прогноз количества занятых по соответствующим отраслям экономики Мурманской области

Fig.6. Forecast of number of employed in the relevant economy branches in Murmansk region

Несмотря на рост значения ВРП по рассматриваемым отраслям, количество занятых меняется незначительно. Данный факт можно объяснить внедрением новых производственных технологий, не требующих увеличения обслуживающего персонала.

#### Заключение

Задача управления региональной безопасностью затрагивает различные аспекты развития региона, что приводит к необходимости разрабатывать технологии информационной поддержки принятия решений в данной области. В качестве фундамента подобного рода технологий может применяться достаточно гибкий аппарат имитационного моделирования. В рамках решения данной задачи разрабатывается полимодельный комплекс, который позволяет проводить вычислительные эксперименты с использованием статистических данных и экспертной информации для оценки будущего состояния региональной безопасности. Получаемые при этом результаты моделирования могут применяться для формирования рекомендаций по изменению текущей или ожидаемой ситуации в регионе. Прогнозы, полученные с помощью разработанного комплекса имитационных моделей, позволяют повысить качество принимаемых решений в сфере региональной безопасности за счет предоставления более детальной и наглядной информации по разным показателям безопасности.

#### Список литературы

##### References

Аникиев В.В., Чяснавичюс Ю.К. 2008. Экологическая безопасность как условие устойчивого развития северных регионов России. В кн.: Материалы научно-практической конференции Обеспечение комплексной безопасности северных регионов Российской федерации. МЧС России: 75-96.

Anikiev V.V., Chjasnavichjus Ju.K. 2008. Environmental security as a condition for sustainable development of Northern regions of Russia. In.: Obespechenie kompleksnoj bezopasnosti

severnyh regionov Rossijskoj federacii. Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii [The comprehensive security of the Northern regions of Russian Federation. Materials of scientific-practical conference.]. EMERCOM of Russia: 75-96. (In Russian)

Белецкая И.Ю. 2011. Методика сценарного прогнозирования при принятии решений о стратегии развития региона. В кн.: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. Вып. 17/1. №1 (96). Белгород, НИУ «БелГУ»: 5-10.

Beletskaya I.Y. 2011. Procedure script of forecasting at decision-making about strategy of progress of region. In: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 17/1. №1 (96) [Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political science. Economics. Information technologies. Vol. 17/1. №1 (96)]. Belgorod, Belgorod State National Research University: 5-10. (In Russian)

Бритков В.Б., Геловани В.А., Голубков В.В. 2013. Демографическая модель как инструмент управления безопасностью сложных систем. В кн.: Проблемы управления безопасностью сложных систем. Труды XXI Международной конференции (Россия, Москва, декабрь 2013 г.). М., РГГУ: 30-33.

Britkov V.B., Gelovani V.A., Golubkov V.V. 2013. The demographic model as a tool for safety management of complex systems. In: Problemy upravlenija bezopasnost'ju slozhnyh sistem. Trudy XXI Mezhdunarodnoj konferencii [Problems of safety management of complex systems. Proceedings of the XXI International conference (Russia, Moscow, December 2013)] (Rossija, Moskva, dekabr' 2013 g.). М., RSUH: 30-33. (In Russian)

Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Гинис Л.А. 2005. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем. Ростов-на-Дону, Изд-во Ростовского университета, 288.

Gorelova G.V., Zaharova E.N., Ginis L.A. 2005. Cognitive analysis and modeling of sustainable development of socio-economic systems. Rostov-on-don, Rostov University Publishing House, 288. (In Russian)

Горохов В.А., Путилов А.В. 2005. Системная динамика в задачах регионального планирования. Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 137.

Gorohov V.A., Putilov A.V. 2005. System dynamics in tasks of regional planning. Apatity, KSC RAS Publishing House, 137. (In Russian)

Емельянов С.В. и др. 2004. Информационные технологии регионального управления. М., Едиториал УРСС, 400.

Emel'janov S.V. et al. 2004. Information technology of regional management. М., Editorial URSS, 400. (In Russian)

Звягинцева А.В. 2017. Событийная оценка состояния городов России по комплексу социально-экономических показателей. В кн.: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. Вып. 42. № 9 (258). Белгород, НИУ «БелГУ»: 122-132.

Zviagintseva A.V. 2017. Event assessment of Russian cities' condition on a complex of social and economic indexes. In: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 42. №9 (258) [Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. Vol. 42. №9 (258)]. Belgorod, Belgorod State National Research University: 122-132. (In Russian)

Кульба В.В. и др. 2004. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. М., СИНТЕГ, 296.

Kul'ba V.V. et al. 2004. Methods of formation of scenarios of socioeconomic systems development. М., SINTEG, 296. (In Russian)

Маслобоев А.В., Путилов В.А. 2011. Информационно-аналитическая поддержка управления безопасностью Арктических регионов России: задачи, методы, технологии. В кн.: Научно-технический Вестник информационных технологий, механики и оптики. 3 (73).

- Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики: 143-145.
- Masloboev A.V., Putilov V.A. 2011. Informational and analytical support of safety management in the Arctic regions of Russia: tasks, methods, technologies. In: Nauchno-tehnicheskij Vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki. 3 (73) [Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics. 3 (73)]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg national research University of information technologies, mechanics and optics: 143-145. (In Russian)
- Маслобоев А.В. 2015. Модели и методы информационного управления экологической безопасностью арктических коммуникаций. В кн.: Наука и образование в Арктическом регионе: материалы междунар. научн.-прак. конф. (Мурманск, 6-9 апреля 2015 г.). Мурманск, Изд-во МГТУ: 175-179.
- Masloboev A.V. 2015. Models and methods for information management of environmental safety of the Arctic communications. In.: Nauka i obrazovanie v Arkticheskom regione. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Science and education in the Arctic. Proceedings of the international scientific-practice conference (Murmansk, 6-9 April, 2015)]. Murmansk, MSTU Publishing House: 175-179. (In Russian)
- Путилов В.А., Горохов А.В. 2002. Системная динамика регионального развития. Мурманск, НИЦ «Пазори». 306.
- Putilov V.A., Gorokhov A.V. 2002. System dynamics of regional development. Murmansk, Research centre «Pazori». 306. (In Russian)
- Смирнов А.В. 2016. Методологические вопросы демографического прогнозирования: характеристики населения и уровни прогноза. В кн.: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. Вып. 38. № 9 (230). Белгород, НИУ «БелГУ»: 95-102.
- Smirnov A.V. 2016. Methodological issues of population projections: population characteristics and forecasting levels. In: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 38. №9 (230) [Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. Vol. 38. №9 (230)]. Belgorod, Belgorod State National Research University: 95-102. (In Russian)
- Халиуллина Д.Н., Малыгина С.Н., Менькова А.А. 2014. Разработка имитационной модели для оценки количества выпускников вузов и ссузов Мурманской области. В кн.: Труды Кольского научного центра. Информационные технологии. Вып. 5 (24). Апатиты, Изд-во КНЦ РАН: 196-203.
- Khaliullina D.N., Malygina S.N., Men'kova A.A. 2014. Developing simulation model for evaluating quantity of graduates from higher educational establishments and secondary specialized colleges in Murmansk region. In: Trudy Kol'skogo nauchnogo centra. Informacionnye tehnologii. Vyp. 5 (24) [Proceedings of the Kola science centre. Information technology. Vol. 5 (24)]. Apatity, KSC RAS Publishing House: 196-203. (In Russian)
- Халиуллина Д.Н. 2016. Проблемно-ориентированный программный комплекс поддержки стратегического планирования развития малых инновационных предприятий. В кн.: Труды СПИИРАН. Вып. 1(44): 190-211.
- Khaliullina D.N. 2016. Problem-oriented program complex to support strategic planning of development of small innovative enterprises. In: SPIIRAS Proceedings. Vol. 1 (44): 190-211. (In Russian)
- Bonabeau E. 2002. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. In: Procedures National Academy of Sciences. Vol. 99 (3): 7280-7287.
- Bystrov V.V., Malygina S.N., Khaliullina D.N. 2016. The Information Technology of Multi-model Forecasting of the Regional Comprehensive Security. In: Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 466. Proceedings of the 5th Computer Science On-line Conference: Automation Control Theory Perspectives in Intelligent Systems Vol 3. Springer: 475-482.

- Forrester J. 1971. Counterintuitive behavior of social systems. In: *Technology Review*. Vol. 73 (3): 52–68.
- Lutz W., Sanderson W., Scherbov S. 2001. The end of world population growth. In: *Nature*. Vol. 412: 543 - 545.
- Richardson G.P. 1986. Problems with causal-loop diagrams. In: *System Dynamics Review*. Vol. 2 (2): 158–170.
- Sun R. 2006. *Cognition and Multi-Agent Interaction*. Cambridge University Press, 449.