

УДК 004.94

**ПРОГНОЗНАЯ ПЛАТФОРМА УПРАВЛЕНИЯ ALINA GPSS –  
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ГОСУДАРСТВЕННОМ  
И МУНИЦИПАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ**

*Девятков Т.В., к.т.н., зам. директора ООО «Элина – Компьютер»;*

*ORCID: 0000-0002-6419-0208;*

*Минниханов Р.Р., руководитель;*

*ORCID: 0000-0002-6539-6806;*

*Шестюк В.М., зам. руководителя;*

*ORCID: 0000-0003-0850-779X;*

*Девятков В.В., д.э.н., г.н.с.;*

*ORCID: 0000-0003-1570-8004;*

*Хайруллин И.Р., н.с. Центра циркулярной экономики ИПИ Академии наук Республики  
Татарстан, г. Казань, Россия;*

*ORCID: 0000-0002-3003-2754*

**PREDICTIVE MANAGEMENT PLATFORM ALINA GPSS – APPLICATION  
POSSIBILITIES IN STATE AND MUNICIPAL MANAGEMENT**

*Devyatkov T.V., Candidate of Technical Sciences, Deputy Directors of Elina – Computer LLC;*

*ORCID: 0000-0002-6419-0208;*

*Minnikhanov R.R., Head of the Center;*

*ORCID: 0000-0002-6539-6806;*

*Sherstyuk V.M., Deputy Head;*

*ORCID: 0000-0003-0850-779X;*

*Devyatkov V.V., Doctor of Economics, Chief Scientific Officer;*

*ORCID: 0000-0003-1570-8004;*

*Khairullin I.R., researcher Center for the Circular Economy of the IPI Academy of Sciences  
of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia;*

*ORCID: 0000-0002-3003-2754*

**Аннотация**

В статье описывается распределенная платформа управления сложными системами ALINA GPSS, которая, помимо традиционной аналитики и визуализации данных о текущем состоянии системы, обеспечивает прогнозирование поведения системы при тех или иных управляющих решениях на различные горизонты планирования. Алгоритмы и программные инструменты платформы позволяют осуществлять многопараметрическую оптимизацию показателей функционирования системы, находить и формировать оптимальные управляющие решения. Продемонстрированы возможности практического использования платформы в различных отраслях экономики. Особый акцент сделан на потенциал применения имитационных моделей в сфере государственного и муниципального управления. Представлены планы дальнейшего повышения производительности вычислений посредством разработки и обучения нейронной сети моделируемой системы на основе имитационной модели. В случае необходимости и возможности организации автономного управления, предлагается технология создания специального нейрочипа этой сети.

**Abstract**

The article describes the distributed management platform for complex systems ALINA GPSS, which, in addition to traditional analytics and visualization of data on the current state of the system, provides forecasting of the behavior of the system with certain control decisions for various planning

horizons. The algorithms and software tools of the platform allow multiparametric optimization of system performance indicators, finding and forming optimal control solutions. The possibilities of practical use of the platform in various sectors of the economy are demonstrated. Special emphasis is placed on the potential of using simulation models in the field of public and municipal administration. The plans for further improvement of computing performance through the development and training of the neural network of the simulated system based on the simulation model are presented. If necessary and the possibility of organizing autonomous control, a technology for creating a special neurochip of this network is proposed.

**Ключевые слова:** программная платформа, система, аналитика данных, интуитивное управление, имитационное моделирование, нейросеть, нейрочип

**Keywords:** software platform, system, data analytics, intuitive control, simulation modeling, neural network, neural chip

### Введение

В связи с проблемой усложнения окружающих нас систем, вопросы организации, планирования и управления ими выходят на первый план. Волонтаристические методы управления системами давно позади. Без научно обоснованной подсказки и программных инструментов анализа и планирования сейчас невозможно управлять предприятиями, проектами и в целом сложными системами. В полной мере это относится также к сфере государственного и муниципального управления, так как масштаб и сложность управляемых систем в этом случае не ограничивается отдельным предприятием, а необходимо комплексно оценивать отрасль, регион или страну.

В связи с этим любому руководителю важно иметь оперативный, точный и понятный в применении инструмент управления. Обычно, при создании таких прогнозных инструментов используют самые различные теоретические подходы и методы: автоматический мониторинг или сбор данных о системе, анализ закономерностей и взаимосвязей в больших данных, построение расчетных, аналитических моделей, визуализация результатов расчетов на карте, представление отчетов в графическом или текстовом виде. Примеры наиболее часто используемых в управлении моделей приведены на рис. 1.

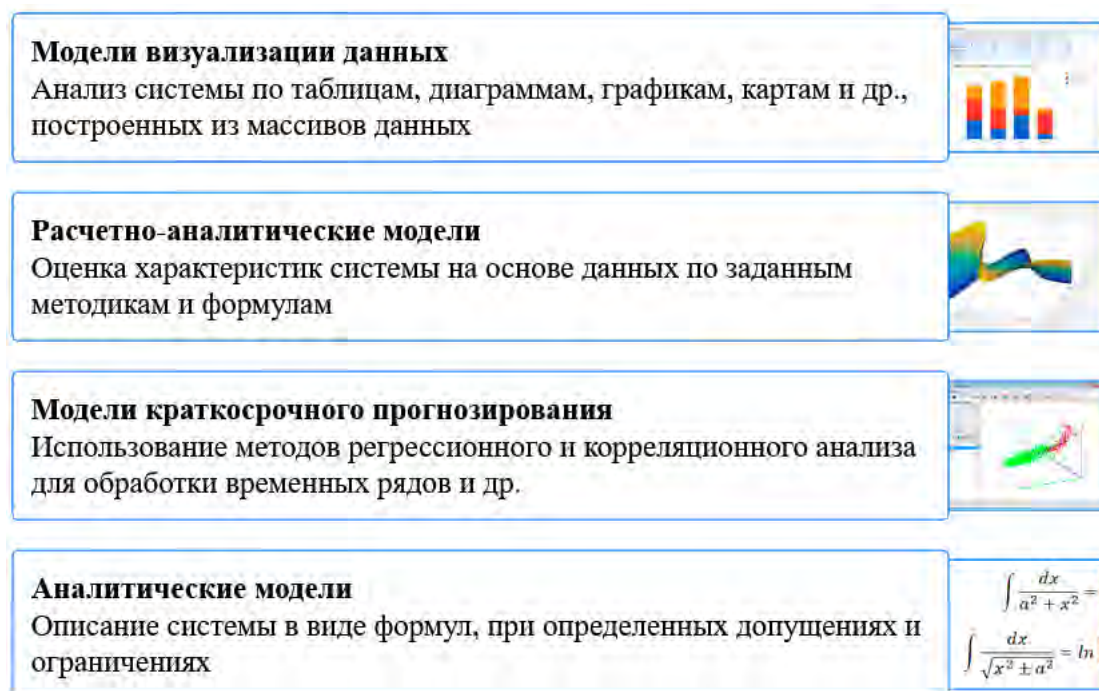


Рис. 1. Традиционные программные модели в инструментах управления

Практика управления показала, что такие модели, как правило, – отдельный аспект или элемент системы. Чаще всего они статичны, глубина прогнозирования с помощью их не велика, а точность получаемого ими решения чаще всего содержит существенную погрешность. Из перечисленных методов, аналитические модели дают более комплексный результат, но пользователю очень важно видеть динамику функционирования системы в период проведения расчета (эксперимента). Кроме того, имеется и погрешность результата, связанная с тем, что в любом аналитическом методе, перед его применением необходимо выполнить ряд ограничений. Например, в системах массового обслуживания расчеты производятся только при условии использования строго определенного закона распределения случайной величины, в частности, при равномерном, экспоненциальном или распределении Эрланга. А в жизни эта случайная величина может быть достаточно далека от любой формульной зависимости. И таких ограничений может быть множество – чем сложнее система, тем большее число ограничений на нее накладывается. В совокупности все эти ограничения могут привести к значительному искажению результата.

Достаточно давно в управлении стали использовать и имитационные модели [1], которые позволяют снять большинство ограничений, связанных с детализацией модели, анализом динамики и точностью результатов. Имитационную модель ограничивают лишь время ее разработки и имеющаяся вычислительная мощность. Существует много примеров использования имитационного моделирования в управлении – в транспортном планировании и управлении транспортными средствами [2], производственном управлении на предприятии [3], управлении боевыми действиями [4], государственном и муниципальном управлении [5].

Диалектика развития такова, что даже самое совершенное устаревает и требует модернизации. В области управления системами также происходят изменения: непрерывно увеличивается сложность систем; ритм принятия управляющих решений ускоряется; совершенствуются формы представления; в управление системами вовлекается все больше людей, далеких от математики, программирования и моделирования, а управляющие решения нужно принимать быстро и точно.

Поэтому методология и технология управления также существенно меняются. Если в последние годы в основе всех систем лежал принцип «Data driven» – управление на основе больших данных [6], то сейчас на первые роли выходит принцип «Insight Driven» – интуитивное управление на основе метода искусственного интеллекта и имитационных моделей. Все это явно отслеживается в трендах и перспективных направлениях развития технологий, которые дает Gartner [7].

#### *Интеграция решений на основе платформы*

Параллельно развивалось и само имитационное моделирование. Сначала, методически, теоретически и технологически был обоснован новый термин – имитационное исследование, объединяющее в едином программном комплексе инструменты исполнения всех классических этапов имитационного моделирования, необходимые для этого исходные данные моделей и результаты моделирования [8]. Затем, постепенно были добавлены возможности включения в единое исследовательское пространство различных информационных, аналитических и расчетных моделей. Для ускорения вычислений, обеспечения коллективного доступа к разработкам создавались технологии облачного моделирования.

В итоге, нами была создана программная платформа прогнозного планирования и управления ALINA GPSS. В качестве ядра имитационного моделирования на платформе используется общецелевая система имитационного моделирования GPSS World Core [9]. Инструментом разработки моделей является среда имитационного моделирования GPSS Studio [10], сервисы облачного моделирования реализуются с помощью GPSS Server [11]. Все эти программы являются отечественными программными продуктами, зарегистрированы в Роспатенте, а среда GPSS Studio включена в реестр отечественного программного обеспечения.

Концептуально предлагаемый в GPSS Studio подход к имитационному исследованию теоретически и практически доработан. Например, используется иерархический подход создания моделей, который известен достаточно давно [12, 13], но в полном объеме и без ограничений реализован впервые, что позволило быстро разрабатывать и отлаживать модели. Существенно, в сотни раз увеличен размер моделей, который может создать и осознать разработчик. Кроме этого, используя новый инструмент промышленного тестирования моделей, можно гарантировать их адекватность. За счет этого, рамки использования метода ИМ в виде количества доступных для исследования и управления систем существенно расширились. Достигнутый потенциал создания детальнейших моделей позволил создавать цифровые двойники систем. Под цифровым двойником будем понимать цифровую (виртуальную) модель Системы. Она точно воспроизводит форму и действие оригинала (или его части), синхронизирована с ним и реагирует на программное и субъектное управления. Цифровой двойник Системы в рамках Платформы нужен для создания цифровой копии, ориентированной на управление, чтобы анализировать настоящее, отслеживать прошлое и предсказывать будущее Системы. В качестве цифрового двойника может выступать любая основанная на данных модель – информационная, аналитическая или расчетная модель, но наиболее детальным и точным цифровым двойником является имитационная модель. В платформе реализованы принципы управления, описанные Соколовым Б.В. в [14], и представлены на рис. 2.

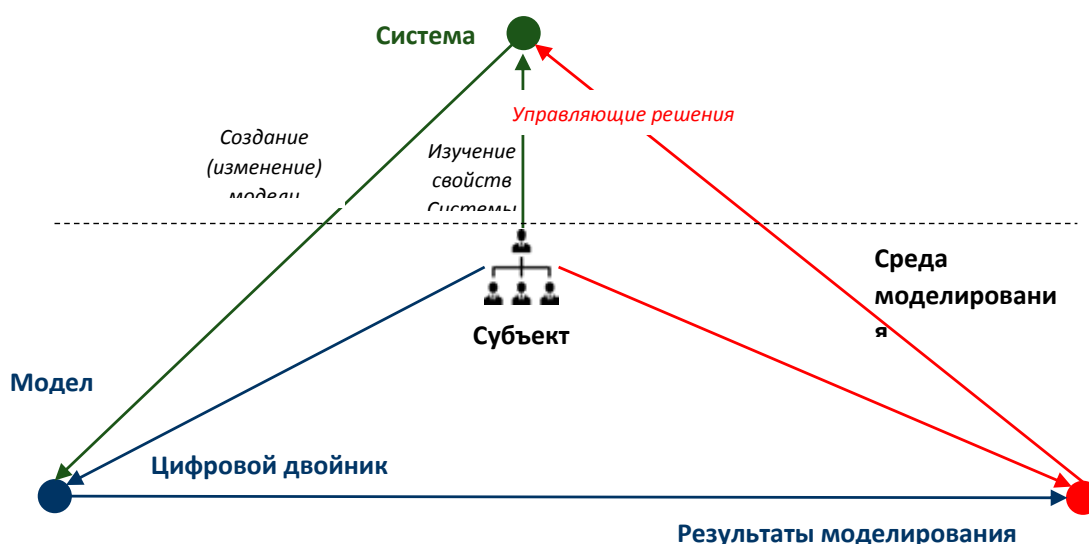


Рис. 2. Моделирование и управление в ALINA GPSS

Преимуществом платформы является то, что она может управлять множеством различных процессов и объектов управления. Одновременно, в рамках Платформы их может быть много. Далее, учитывая повышенную сложность задач управления и принятую в методологии системного анализа формализацию, введем следующие обозначения:

- объект управления – Система ( $S_1$ ); все множество Систем от 1 до  $n$ , которые могут управляться платформой ( $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ );
- цифровой двойник Системы  $S_1 \rightarrow S_d$

Основным результатом применения платформы по отношению к Системе можно считать следующее преобразование  $f(1)$ :

$$f: S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\} \rightarrow S_d = \{S_{d_1}, S_{d_2}, \dots, S_{d_n}\} \quad \text{где, } i = \overline{1, n} \quad (1)$$

В самом общем виде функциональную структуру платформы можно представить следующим образом (рис. 3).



Рис. 3. Функциональная структура платформы ALINA GPSS

Любая система  $S_i$  синтезируется и управляется в рамках Платформы посредством использования ее цифрового двойника  $S_{(d_i)}$  и субъекта, которым используется данный двойник. Цифровые двойники должны быть созданы и протестированы заранее, а пользователи (субъекты) выбирают необходимый двойник для использования.

В состав платформы в виде черного ящика «Black box», входит модуль оптимизации IOSO, разработанный российской компанией «Сигма-Технологии» [15]. Данную программу может использовать любой цифровой двойник, созданный на основе имитационной модели, разработанной в GPSS Studio. Единственным условием является то, что подсистемой планирования экспериментов среды должен быть запрограммирован автоматический (или автоматизированный) сценарий поиска оптимального решения по запросу пользователя. Каждый такой запрос формально представляет собой задачу многопараметрической оптимизации (2).

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= F(X_1^1, X_2^1, \dots, X_n^1) \\ Y_2 &= F(X_1^2, X_2^2, \dots, X_n^2) \\ &\dots \\ Y_m &= F(X_1^m, X_2^m, \dots, X_n^m) \end{aligned} \right\} \rightarrow \min(\max) \quad (2)$$

$\{Y_i\}$  – множество оптимизируемых показателей модели, где  $i = \overline{1, m}$ ;

$\{X_j\}$  – множество варьируемых факторов модели, где  $j = \overline{1, n}$ ;

$\{F(X_j)\}$  – множество функциональных зависимостей показателей от факторов.

При этом должны быть соблюдены ограничения для некоторых определенных пользователем факторов и показателей

$$a_l < X_l < b_l \quad \text{где } l = \overline{1, n_1} \text{ и } c_k < Y_k < d_k \quad \text{где } k = \overline{1, n_2}$$

При настройке оптимизирующего эксперимента пользователь, в форме планирования экспериментов цифрового двойника должен выбрать оптимизирующий эксперимент и задать:

- факторы – варьируемые параметры системы и существующие структурные, технологические, экономические и т.д. изменения в определенных вами интервалах вариации;
- ограничения – перечень показателей функционирования системы – длины очередей, время реакции, производительность и т.д. с заданными диапазонами допустимых изменений;
- критерии – показатели функционирования системы, которые необходимо минимизировать или максимизировать.

По результатам, полученным в оптимизирующем эксперименте, цифровой двойник формирует управляющее решение для передачи пользователю в автоматизированном режиме, либо передает управляющее воздействие непосредственно в систему в автоматическом режиме.

#### *Примеры использования платформы ALINA GPSS*

Платформа ALINA GPSS, особенно ее ядро и среда моделирования в настоящее время уже активно используются. Приведем два практических применения платформы.

Во-первых, в управлении промышленным предприятием. Это созданная совместно с Центром технологии судостроения автоматизированная система «Сириус» [16]. Средствами системы можно описать технологические процессы судостроительного предприятия, начиная с поступления на склады материалов и комплектующих, процессов изготовления сборочных единиц с постепенным их расширением, наполнением и доведения их до стапельной сборки и спуска готового судна на воду. Кроме этого, для проведения экспериментов с моделью разрабатывается (или корректируется) производственная программа со сроками строительства судов, которая привязывается к необходимой технологии, материалам, комплектующим и трудовым ресурсам. Затем по подготовленным данным автоматически создается цифровой двойник (модель) и проводится эксперимент, серия экспериментов или оптимизирующий эксперимент, по которым принимается то или иное управляющее решение. Пример автоматического формирования критически важного для управления предприятием стапельного расписания приведен на рис. 4.

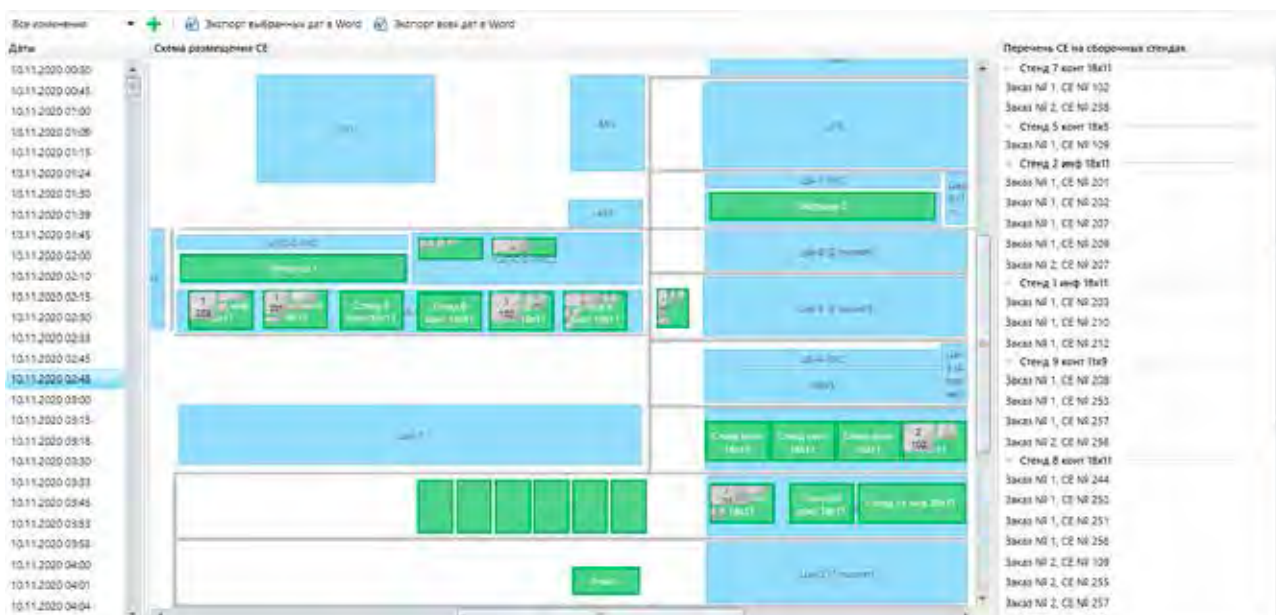


Рис. 4. Сформированное в модели стапельное расписание

В результате работы системы руководители и аналитики предприятия могут решать задачи стратегического и тактического управления производственными процессами, находить «узкие места», проверять возможности и варианты модернизации производства.

Во-вторых, анализ строительных проектов с целью выявления проблем и предложения способов их устранения. Совместно со строительной компанией БРИО была выполнена работа по оценке проектных решений и технологий в строящемся Национальном космическом центре. Удалось провести анализ пропускной способности здания и проверки возможности обеспечить: утром вход на работу, а вечером – выход с работы, свыше 20 тыс. работников. При этом необходимо было найти такой вариант организации технологии пропуска, чтобы обеспечить минимум формирования очередей и возможности прихода на работу без опозданий, при условии соблюдения расписания прихода по организациям. Управляющее решение по выбо-

ру вариантов формировалось и на основе анализа 3D анимации процесса. Пример анимации приведен на рис. 5.



Рис. 5. Анимация процесса выхода работников из центра после работы

Так же, как и в случае судостроения, в контуре формирования решения присутствует пользователь, так как анимацию необходимо тщательно посмотреть и оценить. В любом случае, это не оперативный, а тактический уровень.

#### *Развитие платформы*

Если задачи стратегического и тактического уровня управления успешно решаются на платформе, то использование имитационной модели для задач оперативного управления не всегда возможно. Связано это с недостаточной скоростью исполнения имитационной модели, и чем сложнее модель, тем выше вероятность превышения времени исполнения модели по сравнению с максимально возможным временем реакции для принятия управляющего решения в реальном контуре управления. Поэтому, первоочередными планами развития платформы являются работы по повышению быстродействия исполнения моделей для более массового задействования ИМ в задачах оперативного управления.

Основным способом использования ИМ в оперативном управлении является использование цифрового двойника как решателя, т.е. имеется какой-то автоматизированный контур оперативного управления системой и в случае возникновения конкретного вопроса типа «А что будет, если...?», идет обращение к соответствующему двойнику и после эксперимента с моделью система получает конкретное управляющее решение. Непременным условием практической возможности применения такого подхода является:

- полностью отлаженная и верифицированная модель;
- время формирования управляющего решения моделью должно быть меньше максимально допустимого темпа принятия решения в контуре управления системой.

В большинстве случаев, второе условие бывает затруднительным в силу сложности системы. Поэтому, необходимо использовать простое и эффективное решение. И таким решением стал метод искусственного интеллекта – построение нейронных сетей систем и машинное обучение. Действительно для любой системы, зная все возможные комбинации ее входов и результирующих выходов, можно построить нейронную сеть. Для этого уже появились

достаточно точно проверенные и мощные средства, например, построение и обучения нейронных сетей с помощью алгоритма YOLO.

Но большим недостатком при использовании нейронных сетей являются проблемы их обучения. Чем более глубоко и качественно будет проведено обучение, тем более правильный и точный результат может дать нейронная сеть. И здесь, имея детальную и проверенную имитационную модель, можно получить неисчерпаемый источник данных для обучения нейронной сети. Таким образом, нейронная сеть, описывающая функционирование системы, может быть обучена с помощью имитационной модели этой системы. Пусть это и займет много времени, но можно сгенерировать огромное количество доверенных данных для обучения. В итоге, нейронная сеть будет работать существенно быстрее, чем имитационная модель, а точность и достоверность результата будут те же.

Чтобы кратко ускорить исполнение нейронной сети необходимо перейти на использование нейрочипов. Промышленная технология проектирования, изготовления и программирования нейрочипов уже существует, в том числе и в России, и она может быть использована на практике.



Рис. 6. Архитектура технологии «ИМ – нейронная сеть – нейрочип»

### Заключение

Реализованные в последние годы новые подходы и методы в имитационном моделировании позволили практически полностью обеспечить решение задач на стратегическом и тактическом уровнях управления сложными системами, в том числе и в области государственного и муниципального управления. Новые направления повышения производительности имитационных моделей, представленные в данной статье, позволяют начать успешное и массовое практическое решение задач оперативного управления любого уровня.

### Список литературы

1. Цвиркун, А. Д. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем: Оптимизационно-имитационный подход / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев, В. А. Филиппов; Отв. ред. В. Н. Бурков. – Москва : Наука, 1985. – 173 с.
2. Свистунова, А. Ю. Сравнительный анализ программного обеспечения для транспортного моделирования / А. Ю. Свистунова, И. Е. Агуреев // Современные материалы, технологии. – 2019. – № 4 (25). – С. 52–56.
3. Бабина, О. И. Имитационное моделирование процессов планирования на промышленном предприятии / О. И. Бабина, Л. И. Мошкович. – Красноярск : СФУ, 2014. – 152 с.
4. Шумов, В. В. Математические модели боевых и военных действий / В. В. Шумов, В. О. Корепанов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – Том 12. – № 1. – С. 217–242.
5. Лычкина, Н. Н. Стратегическое планирование и имитационное моделирование развивающихся социально-экономических систем // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2017. – Том 7 (68). – С. 116–122.



6. ДАМА-DMBOK : Свод знаний по управлению данными / Dama International [пер. с англ. Г. Агафонова]. – 2-е изд. – Москва : Олимп-Бизнес, 2020. – 828 с.
7. Gartner Top Strategic Technology Trends for 2022. – URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-technologytrends> (accessed: 02.08.2022). – Text: electronic.
8. Девятков, В. В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем : современное состояние и перспективы развития: монография / В. В. Девятков – Москва : ИНФРА-М, 2013. – 448 с.
9. Девятков В. В., Девятков Т. В., Федотов М. В., Хайбуллин Ш. Д. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ GPSS World Core 2022660098, 25.05.2022. Заявка № 202619474 от 30.05.2022.
10. Девятков, В. В., Девятков, Т. В., Федотов, М. В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ GPSS Studio 2021680076, 07.12.2021. Заявка № 2021669832 от 07.12.2021.
11. Девятков, В. В., Девятков, Т. В., Федотов, М. В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ GPSS Server 2022660756, 08.06.2022. Заявка № 2022619585 от 25.05.2022.
12. Месарович, М. Общая теория систем : математические основы / М. Месарович, И. Такахага. – Москва : Мир, 1978. – 311 с.
13. Кобелев, Н. Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем / Н. Б. Кобелев. – Москва : Дело, 2003. – 235 с.
14. Микони, С. В. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов : монография / С. В. Микони, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – Москва : РАН, 2018. – 314 с.
15. Egorov, I. N. Robust design optimization strategy of IOSO technology / I. N. Egorov, G. V. Kretinin, I. A. Leshchenko // Proc. Fifth World Congress on Computational Mechanics. – Vienna, Austria. 2002. – P. 1–8.
16. Долматов, М. А. Особенности разработки и внедрения имитационных моделей функционирования производственных систем судостроительных предприятий / М. А. Долматов, А. М. Плотников // Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021). Труды конференции (электронное издание), 20–22 октября 2021 г. – Санкт-Петербург: АО «ЦТСС», 2021. – 694 с. – С. 183–186.