

АННОТАЦИИ И КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Девятков Т.В., Девятков В.В., Шестюк В.М., Минниханов Р.Р. ALINA GPSS – от имитационных моделей к цифровым двойникам управления с элементами искусственного интеллекта.

Описывается эволюция общецелевой системы имитационного моделирования GPSS World от инструмента классической разработки моделей, к цифровому двойнику управления на основе имитационной модели. Формулируется понятие цифрового двойника управления сложной системой. Предлагается технология создания систем автоматизации имитационных исследований, использования алгоритмов искусственного интеллекта для ускорения поиска и принятия оптимальных решений в цифровом двойнике. Приводятся практические примеры использования платформы ALINA GPSS для управления в различных областях экономики, в частности, для создания адаптивной системы управления транспортными потоками на перекрестках. Формулируются основные тренды и ставятся задачи дальнейшего развития инструментов имитационного моделирования.

Ключевые слова: сложная система, имитационное моделирование, имитационное исследование, цифровой двойник управления, платформа ALINA GPSS, искусственный интеллект, адаптивный алгоритм управления.

Devyatkov T.V., Devyatkov V.V., Shestyuk V.M., Minnikhanov R.R. ALINA GPSS – from simulation models to digital twins of the control with artificial intelligence elements.

The evolution of the GPSS World general-purpose simulation system from a classical model development tool to a digital control twin based on a simulation model is described. The concept of a digital twin of the control of a complex system is formulated. The technology of creating automation systems for simulation studies, the use of artificial intelligence algorithms to accelerate the search and adoption of optimal solutions in the digital twin is proposed. Practical examples of using the ALINA GPSS platform for management in various areas of the economy are given, in particular, for creating an adaptive traffic flow management system at intersections. The main trends are formulated and the tasks of further development of simulation modeling tools are set.

Keywords: complex system, simulation modeling, simulation research, digital twin of the control, ALINA GPSS platform, artificial intelligence, adaptive control algorithm.

Лощева З.А., Ганиев Т.И., Дехтярев В.А., Магдеев М.Ш., Хисанов Р.М., Шайхутдинов Д.К. Центр моделирования ПАО «Татнефть» – история успеха и современные вызовы в нефтегазовом секторе.

Нефтегазовая промышленность во многих регионах мира сегодня переживает последнюю стадию разработки месторождений, когда запасы сохраняются локально, поиск которых порой требует бурения скважин и проведения других дорогостоящих мероприятий. Использование современных цифровых инструментов, таких как моделирование, позволяет оптимизировать объем инвестиций. В данной работе представляется реализованная концепция к выполнению работ по поиску и локализации остаточных запасов углеводородов, разработке мероприятий по их извлечению, созданию оптимального сценария по их реализации.

Ключевые слова: Гидродинамическое моделирование, интегрированное моделирование, экономика, цифровизация, информационные технологии.

Loscheva Z.A., Ganiev T.I., Dekhtyarev V.A., Magdeev M.Sh., Khisanov R.M., Shaikhutdinov D.K. Simulation Center of PJSC «TATNEFT» - success story and modern challenges in the oil and gas sector.

The oil and gas industry in most parts of the world is now in its final stage, where reserves are stored locally and sometimes require drilling wells and other expensive activities to find them. The use of modern digital tools, such as modeling, allows optimizing investment. This work presents an implemented concept for performing work on the search and localization of residual hydrocarbon reserves, developing measures for its extraction, and creating an optimal scenario for its implementation.

Keywords: Hydrodynamic modeling, integrated modeling, economics, digitalization, information technology.

Пискажова Т.В. Управление процессом получения алюминия с помощью имитационной модели «Виртуальный электролизер».

Целью статьи является демонстрация возможности повышения эффективности технологического процесса за счет использования имитационной модели. Задачами статьи являются обоснование необходимости применения модели для качественного управления процессом, описание концепции и математики модели «Виртуальный электролизер», перечисление разработанных управляющих программ на базе этой модели с указанием результатов их применения.

Ключевые слова: сложная система, имитационное моделирование, имитационное исследование.

Piskazhova T.V. Controlling the aluminum production process using the «Virtual Electrolyser» simulation model.

The purpose of the article is to demonstrate the possibility of increasing efficiency technological process through the use of a simulation model. Tasks articles are a substantiation of the need to use the model for qualitative process control, description of the concept and mathematics of the “Virtual electrolyzer», listing the developed control programs based on this models indicating the results of their application.

Keywords: complex system, simulation modeling, simulation research.

Роднищев Н.Е., Земляков А.С., Сомов Е.И., Опарин Г.А., Емалетдинова Л.Ю., Новикова С.В. Математическое и имитационное моделирование в проектировании и сопровождении вычислительных и управляющих систем аэрокосмической техники.

Кратко представляются достижения Института компьютерных технологий и защиты информации (ранее с 1972 г. – факультет Вычислительных и Управляющих Систем) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ), а также бывших сотрудников этого факультета, по методам и программным средствам математического и имитационного моделирования, реализованным в аэрокосмической технике.

Ключевые слова: математическое моделирование, имитация, методы и средства, аэрокосмическое применение.

Rodnischev N.E., Zemlyakov A.S., Somov E.I., Oparin G.A., Emaletdinova L.Yu., Novikova S.V. Mathematical modeling and simulation in the design and operation of computing and controlling systems for aerospace engineering.

We briefly present achievements of the Institute of Computer Technologies and Information Security (earlier since 1972 – the Faculty of Computing and Controlling Systems) of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (KNITU-KAI), as well as former employees of this faculty, on methods and software tools for mathematical modeling and simulation which were implemented in aerospace technology.

Keywords: mathematical modeling, simulation, methods and tools, aerospace applying.

Соколов Б.В., Юсупов Р.М., Охтилев М.Ю., Охтилев П.А. Комплексное моделирование, автоматизация и интеллектуализация проактивного управления жизненным циклом сложных объектов.

В докладе представлены научные основы решения проблемы комплексного моделирования, автоматизации и интеллектуализации проактивного управления жизненным циклом сложных объектов. Новизна представленных результатов состоит в создании принципиально новых подходов к проектированию и применению проактивного управления жизненным циклом сложных объектов (ЖЦ СЛО), базирующихся, во-первых, на полимодельном описании рассматриваемой предметной области, в рамках которого наряду с традиционными аналитико-имитационными моделями, используются модели, базирующиеся на логико-алгебраических и логико-лингвистических описаниях и их комбинациях. Во-вторых, в создании новых подходов, основанных на использовании киберфизических систем и цифровых их двойников, обеспечивающих, соответствующие процессы управления с обратной связью постоянно актуализируемой и обрабатываемой информацией, и, в-третьих, подходов, использующих интеллектуальные интерфейсы с элементами визуального программирования. Разработанные научные основы, включают в себя теорию проактивного управления ЖЦ СЛО, а также дополняющую ее теорию многокритериального оценивания и выбора наиболее предпочтительных моделей и полимодельных комплексов (ПМК), описывающих функционирование СЛО и соответствующих информационно-аналитических систем, в рамках которых осуществляется реализация проактивного управления СЛО на различных этапах их ЖЦ. Практическая значимость выполненных работ была подтверждена при выполнении ряда опытно-конструкторских работ (ОКР) и научно-исследовательских работ (НИР), связанных с созданием и вводом в эксплуатацию авиационных и ракетно-космических изделий.

Ключевые слова: комплексное моделирование, автоматизация и интеллектуализация, проактивное управление, жизненный цикл, сложный объект.

Sokolov B.V., Yusupov R.M., Okhtilev M.Yu., Okhtilev P.A. Integrated modeling, automation and intelligence for proactive life cycle control of complex objects.

The report presents the scientific basis for solving the problem of complex modeling, automation and intellectualization of proactive control of the life cycle of complex objects. The novelty of the presented results lies in the creation of fundamentally new approaches to the design and application of proactive control of the life cycle of complex objects (LC CO), based, firstly, on a multi-model description of the subject area under consideration, within which, along with traditional analytical and simulation models, models are used, based on logical-algebraic and logical-linguistic descriptions and their combinations. Secondly, in creating new approaches. based on the use of cyber-physical systems and digital and their counterparts, providing appropriate control processes with feedback of constantly updated and

processed information, and thirdly, approaches using intelligent interfaces with elements of visual programming. The developed scientific foundations include the theory of proactive management of the life cycle of the LC CO, as well as the complementary theory of multi-criteria assessment and selection of the most preferable models and multi-model complexes (MMC) that describe the functioning of the CO and the corresponding information and analytical systems, within the framework of which the implementation of proactive management of the CO is carried out at various stages of their life cycle. The practical significance of the work performed was confirmed during the implementation of a number of development work (DW) and scientific research work (SRW) related to the creation and commissioning of aviation and rocket-space products.

Keywords: complex modeling, automation and intellectualization, proactive management, life cycle, complex object.

СЕКЦИЯ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО И КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Алексеев А.В. Теория практики цифровых двойников в судостроении.

Цифровая трансформация общества привела к интенсивному развитию теории и практики моделирования, к созданию класса цифровых двойников (ЦД) объектов автоматизации (ОА). На основе анализа одной из практических структур ЦД типового ОА систематизированы теоретические положения развития ЦД, сформулированы преимущественные свойства, критерии и показатели их качества. Показано, что первоочередным требованием и критерием оптимизации ЦД следует считать показатели валидности, интеллектуализации и конкурентного превосходства развития ЦД.

Ключевые слова: комплексное моделирование, цифровой двойник, интеллектуализация управления, целеполагание.

Alekseev A.V. Theory of digital twin practice in shipbuilding.

The digital transformation of society led to the intensive development of the theory and primacy of modeling, to the creation of a class of digital twins (CD) of automation objects (OA). Based on the analysis of one of the practical structures of the CD of a typical OA, the theoretical provisions for the development of CD are determined, the advantageous properties, criteria and indicators of their quality are formulated. It has been shown that the primary requirement and criterion for CD optimization should be the indicators of validity, intellectualization and competitive superiority of CD development.

Keywords: complex modeling, digital twin, control intellectualization, goal setting.

Быков Н.В., Костров М.А. Имитационное моделирование как средство выявления социальных дилемм в гетерогенных транспортных потоках, состоящих из личного и общественного транспорта.

В статье рассматривается имитационная модель гетерогенного транспортного потока, состоящего из личных транспортных средств и автобусов. Движение транспортных средств описывается на основе модели Нагеля и Шреккенберга. Показано, что при внедрении автобусов в поток из личных транспортных средств возникают социальные дилеммы. Определены типы социальных дилемм и условия их возникновения. Предложен способ увеличения пропускной способности дороги.

Ключевые слова: социальные дилеммы, гетерогенный транспортный поток, клеточные автоматы.

Bykov N.V., Kostrov M.A. Social dilemma in a heterogeneous traffic flow consisting of personal and public transport: simulation modeling.

This paper proposes a computer simulation model of a heterogeneous traffic flow which consists of personal vehicles and buses. The time evolution of the system is based on Nagel-Schreckenberg cellular automata model. Simulations have shown that the incorporation of buses in the flow of personal vehicles produce social dilemmas. The type of social dilemmas and the conditions of occurrence are defined. The way to increase traffic flow is proposed.

Keywords: social dilemmas, heterogeneous traffic, cellular automata.

Есикова Т.Н., Визир В.А. Опыт разработки мультиагентной системы оценки вариантов развития транспортной сети с позиции их потенциала снижения транспортной дискриминации населения регионов.

Работа посвящена разработке программного инструментария для оценки уровня

транспортной дискриминации населения и транспортной доступности удаленных регионов страны. Предложена мультиагентная система для оценки последствий взаимодействия агентов разной природы при реализации транспортных проектов.

Ключевые слова: программный инструментарий, мультиагентные системы, транспортные системы, транспортные технологии, моделирование поведения, конфликты.

Esikova T.N., Vizir V.A. Experience in developing a multi-agent system for assessing transport network development options from the perspective of their potential to reduce transport discrimination against regional populations.

The work is devoted to the development of software tools for assessing the level of transport discrimination of the population and transport accessibility of remote regions of the country. A multi-agent system is proposed for assessing the consequences of interaction between agents of different natures during the implementation of transport projects.

Keywords: software tools, multi-agent systems, transport systems, transport technologies, behavior modeling, conflicts.

Жвалевский О.В. Обработка парных тензотремограмм и диагностика болезни Паркинсона.

Доклад посвящён автоматизации диагностики болезни Паркинсона, основанной на математическом анализе тензотремограмм. В докладе предлагается новый подход к диагностике, который заключается в анализе сходства/различия между собою парных тензотремограмм. В докладе приводится формальная постановка задачи и составляется методика обработки парных тензотремограмм. Структурный анализ парных тензотремограмм опирается на понятия матричного профиля и его разновидностей.

Ключевые слова: временной ряд, тензотремограмма, функция расстояния, матричный профиль, индексирование, кластеризация, классификация.

Zhvalevsky O.V. Paired Tenzotremogramms Processing and Parkinson Decease Diagnostics.

The paper is concern with Parkinson Decease Diagnostics automation based on tenzotremogramms mathematical processing. The paper represents a new approach to Parkinson Decease Diagnostics. The main issue is to analyze a similarity/dissimilarity of paired tenzotremogramms. The formulation of main problem is presented in the paper. Also, paper is devoted to development of paired tenzotremogramms processing technique based on time series structure analysis and the notion of matrix profile.

Keywords: time series, tenzotremogramma, distance function, matrix profile, indexing, clustering, classification.

Лисовенко А.С., Лимановская О.В., Гаврилов И.В., Мещанинов В.Н. Агентная система прогнозирования состояния пациента в персонализированной геронтологии.

Разработка цифрового инструмента для прогнозирования состояния здоровья человека является актуальной проблемой. Одним из способов решения этой проблемы является применение агентно-ориентированного подхода к моделированию здоровья пациента. В статье представлена агентная система прогнозирования состояния здоровья человека, которая способна учитывать индивидуальные показатели человека. Так как моделирование биологического возраста может служить основой для оценки состояния здоровья человека, в первую очередь агентная система направлена на прогнозирование

биовозраста и темпа старения человека на основе оказываемых на него геропрофилактических воздействий с целью профилактики будущих возможных заболеваний. Разработанная агентная система была апробирована для выявления эффективности проведенного геропрофилактического воздействия на 18 пациентов препаратом интерлейкин-2.

Ключевые слова: агентное моделирование, здоровье пациента, геропрофилактическое воздействие, прогнозирование эффективности лечения, биовозраст.

Lisovento A.S., Limanovskaya O.V., Gavrilov I.V., Meshchaninov V.N. Agent-based system for predicting the patient's condition in personalized gerontology.

The development of a digital tool for predicting human health is an urgent problem. One way to solve this problem is to use an agent-based approach to modeling patient health. The article presents an agent-based system for predicting the state of human health, which is capable of taking into account individual indicators of a person. Since modeling biological age can serve as a basis for assessing the state of human health, the agent system is primarily aimed at predicting the biological age and rate of aging of a person based on the geroprophylactic effects exerted on him in order to prevent future possible diseases. The developed agent system was tested to determine the effectiveness of the geroprophylactic treatment of 18 patients with the pharmaceutical drug interleukin-2.

Keywords: agent-based modeling, patient health, geroprophylactic effects, prediction of treatment effectiveness, bioage.

Логинов К.К., Перцев Н.В. Численное моделирование начального этапа развития ВИЧ-1 инфекции в лимфатическом узле на основе стадия-зависимой стохастической модели.

В работе рассмотрена стохастическая модель развития ВИЧ-1 инфекции в лимфатическом узле в начальный период времени после заражения здорового человека. Переменными модели являются целочисленные случайные величины, отражающие численности клеток и вирусных частиц, и совокупности уникальных типов клеток, учитывающие текущее состояние и предысторию пребывания клеток в различных стадиях своего развития. Законы распределения длительностей указанных стадий отличны от экспоненциального или геометрического. Разработан вычислительный алгоритм, основанный на методе Монте-Карло. Представлены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: непрерывно-дискретный случайный процесс, ВИЧ-1 инфекция, метод Монте-Карло, стадия-зависимая модель, вычислительный эксперимент.

Loginov K.K., Pertsev N.V. Numerical simulation of the initial stage of development of HIV-1 infection in the lymph node based on a stage-dependent stochastic model.

A stochastic model of the development of HIV-1 infection in the lymph node in the initial period after infection of a healthy person is considered. The variables of the model are integer random variables that denote the quantity of cells and viral particles, and sets of unique types of cells that take into account the current state and history of stay of cells in some stages of their development. The distribution laws of the durations of the mentioned stages are different from exponential or geometric. A computational algorithm based on the Monte Carlo method is given. The results of numerical simulation are presented.

Keywords: continuous-discrete random process, HIV-1 infection, Monte Carlo method, stage-dependent model, computational experiment.

Лычкина Н.Н., Павлов В.В. Концепция Цифрового двойника и роль имитационных моделей в архитектуре Цифрового двойника.

В статье представлен анализ научной литературы, уточняется содержание концепции, определение, базовые компоненты и архитектура цифрового двойника. Исследуется и уточняется роль динамической имитационной модели объекта в общей архитектуре цифрового двойника, воспроизводящей изменяющиеся свойства и состояния реальной системы на всем жизненном цикле существования трансформирующейся системы или развивающегося процесса. Рассматривается погружение цифровой модели объекта или системы в ландшафт цифрового двойника с применением методов архитектурного дизайна. Обозначены перспективные направления развития технологии цифровых двойников для сетевых форм организаций и цепей поставок.

Ключевые слова: цифровой двойник, архитектура, имитационная модель, компоненты цифрового двойника, имитационное моделирование.

Lychkina N.N., Pavlov V.V. Digital Twin concept, role of simulation models in DT architecture.

The article presents an analysis of scientific literature, clarifies the content of the concept, definition, basic components and architecture of a digital twin. We investigate and clarify the role of a dynamic simulation model of an object in the overall architecture of a digital data center, which reproduces the changing properties and states of a real system throughout the entire life cycle of the existence of a transforming system or developing process. The immersion of a digital model of an object or system into the landscape of a digital twin using architectural design methods is examined. Promising directions and applied aspects of the use of digital twins for network forms of organizations and supply chains are outlined.

Keywords: digital twin, architecture, simulation model, digital twin components, simulation modelling.

Малыханов А.А., Черненко М.Е. Использование гибкой архитектуры инструмента ИМ MineTwin для решения задач флюоритового рудника.

Имитационное моделирование (ИМ) активно используется при поддержке принятия решений на горнорудных предприятиях. В статье на примере проекта для флюоритового рудника показывается, как применение инструмента MineTwin позволяет сократить срок типового проекта с 4-12 до 2-3 месяцев по сравнению с использованием инструментов ИМ общего назначения. Сокращение срока создания моделей достигается за счет имеющейся в MineTwin базовой функциональности, общей для моделей большинства рудников. Также приводится пример результата применения модели – рассчитанная зависимость среднемесячного объема добычи флюоритовой руды от количества дополнительных автосамосвалов.

Ключевые слова: имитационная модель, горные работы, диспетчеризация горной техники.

Malykhanov A.A., Chernenko M.E. Harnessing the Flexible Architecture of MineTwin for Fluorite Mine Simulation.

Simulation modeling is actively used to support decision-making in mining companies. In this article, using a project example for a fluorite mine, we demonstrate how the application of the MineTwin tool can reduce the typical project duration from 4-12 months to 2-3 months, as compared to the use of general-purpose simulation tools. The reduction in model creation time is achieved through using the existing logic blocks of MineTwin, which are common for simulation models of most mines. An example of simulation project result is also provided in

the form of the calculated relationship between the number of additional haulage trucks and the average monthly fluorite ore production volume.

Keywords: simulation model, mining, dispatching of mining equipment.

Нечаев В.В. Задачная технология моделирования систем: деятельностный подход.

В докладе рассматриваются разработанный автором метод моделирования систем, в основу создания которого положены деятельностный подход и задачная технология. В рамках деятельностного подхода выделены четыре направления и два вида деятельности специалиста по моделированию (эксперта). К видам отнесены познавательная и созидательная деятельность (анализ и синтез). В рамках направлений рассматриваются: когнитивно-ментальная – мыслительная деятельность, основанная на эмпирических знаниях; теоретическая деятельность, направленная на использование известных и порождение новых знаний; экспериментальная деятельность, связанная с натурными и модельными экспериментами, а также объектная деятельность, направленная на исследование оригинала или создание нового объекта. Перечисленные выше направления и виды деятельности использованы как компоненты единой целостной системы, которая построена в форме комплексной диаграммы модельной деятельности эксперта по моделированию (КДМД-Э). Анализ диаграммы дал возможность определить совокупность, состоящую из восьми элементарных процессов. Для оформления каждого из таких процессов в форме соответствующей задачи использована разработанная автором концептуальная модель задачи. Таким образом получена полная базовая совокупность элементарных задач, на основе которых формируются задачные структуры технологии моделирования систем. Задачных структуры как целое, в свою очередь, порождаются в соответствии со стратегиями, органограммами или другими логическими схемами.

Ключевые слова: моделирование, модель, модельная деятельность, методы моделирования, технология моделирования, эксперт, диаграмма модельной деятельности, комплексная диаграмма, задача, концептуальная модель задачи, задачная технология.

Nechaev V.V. Task-based technology for system modeling: activity-based approach.

The report discusses the system modeling method developed by the author, the creation of which is based on the activity approach and task-solving technology. Within the framework of the activity approach, four areas and two types of activity of a modeling specialist (expert) are identified. The types include cognitive and creative activities (analysis and synthesis). The following areas are considered: cognitive-mental – mental activity based on empirical knowledge; theoretical activity aimed at using known knowledge and generating new knowledge; experimental activities related to full-scale and model experiments, as well as object activities aimed at studying the original or creating a new object. The areas and types of activities listed above are used as components of a single holistic system, which is built in the form of a comprehensive diagram of the modeling activity of a modeling expert (CDMA-E). Analysis of the diagram made it possible to determine a set of eight elementary processes. To formalize each of these processes in the form of a corresponding task, the conceptual model of the task developed by the author was used. In this way, a complete basic set of elementary tasks has been obtained, on the basis of which the task structures of the system modeling technology are formed. Task structures as a whole are, in turn, generated in accordance with strategies, organigrams or other logical schemes.

Keywords: modeling, model, modeling activity, modeling methods, modeling technology, expert, modeling activity diagram, complex diagram, task, conceptual model of the task, task technology.

Перцев Н.В., Логинов К.К. Численное моделирование динамики популяций на основе стохастической стадия-зависимой модели с немарковскими ограничениями для индивидуумов.

В работе рассматривается непрерывно-дискретная стадия-зависимая стохастическая модель динамики популяций. Переменными модели являются целочисленные случайные величины, отражающие численность индивидуумов, и совокупность уникальных типов индивидуумов, учитывающих текущее состояние и предысторию пребывания индивидуумов в одной из стадий своего развития. Закон распределения длительности указанной стадии отличен от экспоненциального или геометрического. Разработан алгоритм численного статистического моделирования динамики популяций на основе методе Монте-Карло. Модель дополнена детерминированным аналогом в форме интегрального уравнения. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: динамика популяций, непрерывно-дискретный случайный процесс, метод Монте-Карло, стадия-зависимая модель, немарковские ограничения для индивидуумов.

Pertsev N.V., Loginov K.K. Numerical simulation of population dynamics based on a stochastic stage-dependent model with non-markov constraints for individuals.

We study continuous-discrete stage-dependent stochastic model of population dynamics. The variables of the model are integer random variable that denote the quantity of individuals and the set of unique types of individuals that take into account the current state and history of stay of individuals in one stage of their development. The distribution law of the duration of the mentioned stage is different from exponential or geometric. A computational algorithm based on the Monte Carlo method is given. The model is complemented by a deterministic analogue in the form of integral equation. The results of numerical simulation are presented.

Keywords: population dynamics, continuous-discrete random process, Monte Carlo method, stage-dependent model, non-Markov constraints on individuals.

Смирнов С.В. Моделирование случайных потоков событий на основе эмпирических данных.

В сообщении представлены сведения, достаточные для рациональной компьютерной имитации различных реальных явлений, которые концептуально могут быть описаны как простые рекуррентные потоки событий. Моделирование распределения интервала времени между событиями в потоке предлагается производить на основе метода моментов, когда у эмпирического и моделирующего распределений совпадают средние и дисперсии, а аппроксимирующие функции распределения выбирать в семействе гиперэрланговских функций распределения, у которых число параметров не превышает двух.

Ключевые слова: рекуррентный поток событий, метод моментов, гиперэрланговское семейство распределений, коэффициент вариации, имитация.

Smirnov S.V. Simulation random event streams based on empirical data.

The note provides information sufficient for rational computer simulation of various real phenomena, which can be conceptually described as simple recurrent event streams. It is proposed to model the time interval distribution between events in a flow on the method of moments, when the empirical and modeling distributions have the same means and variances, and the approximating distribution functions are selected from the family of hyper-Erlang distribution functions, in which the number of parameters does not exceed two.

Keywords: recurrent event stream, method of moments, hyper-Erlang distribution family, coefficient of variation, simulation.

Степанцов М.Е. Имитационное моделирование системы «власть – общество» с переменным количеством регионов.

В работе рассматривается задача исследования системы «власть-общество» (модель А.П. Михайлова) для случая изменения числа входящих в нее регионов. Классическая непрерывная модель, основанная на дифференциальных уравнениях, не позволяет рассматривать такую трансформацию системы. Однако ранее разработанная автором дискретная модель, основанная на клеточном автомате, свободна от такого ограничения. На ее основе была построена имитационная система, при помощи которой был проведен ряд вычислительных экспериментов. В их ходе получены результаты, касающиеся как негативного влияния изменения числа регионов на социально-экономическую ситуацию в системе, так и возможных мер по предотвращению такого влияния.

Ключевые слова: математическое моделирование, имитационное моделирование, клеточные автоматы, модель «власть-общество», региональная динамика.

Stepantsov M.E. Simulation of the Power-Society system with variable number of regions.

The paper considers studying Mikhailov's power-society system, namely the case of variable the number of the regions. The classical continuous model based on differential equations does not allow such a transformation of the system. However, the cellular automaton-based discrete model previously developed by the author does not have such a limitation.

Using this model a simulation system was built and a number of computational experiments were carried out. We obtained results concerning the negative impact of the change in the number of regions on the socio-economic situation, as well as possible measures to prevent such an impact.

Keywords: mathematical modeling, simulation, cellular automata, Power-Society model, regional dynamics.

Щирый А.О. Использование опыта разработки отечественной САПР РЛС при создании цифровых двойников технических, природных и социальных систем как имитационных моделей многоагентного типа.

Обсуждается возможность применения опыта и наработок, полученных в ходе создания отечественной системы автоматизированного проектирования радиолокационных станций, к задачам разработки цифровых двойников различного вида. При этом имеется ввиду опыт и архитектура построения подсистемы имитационного моделирования, поскольку с точки зрения программной реализации, цифровой двойник представляет собой имитационную модель того или иного типа, и это справедливо для всего спектра разновидностей цифровых двойников – от имитационных моделей, работающих в своем модельном времени и не имеющих непосредственной связи с реальным физическим объектом, до «цифровых копий» физического объекта в реальном времени, получающих данные с объекта от многочисленных датчиков.

Ключевые слова: цифровой двойник, имитационное моделирование, мультиагентное моделирование, дискретно-событийная схема моделирования, пошаговая схема моделирования, полунатурные модели.

Schiriy A.O. Using the experience of the development of Russian CAD radar systems in the creation of digital twins of technical, natural and social systems as simulation models of multi-agent type.

The possibility of applying the experience and developments gained during the creation of a Russian CAD system of radar stations to the tasks of developing digital twins of various types is discussed. At the same time, we mean the experience and architecture of building a subsystem of simulation, since from the point of view of software implementation, a digital twin is a simulation model of one type or another, and this is true for the entire spectrum of varieties of digital twins – from simulation models operating in their model time and not having direct connection with a real physical object, to «digital copies» of a physical object in real time, receiving data from the object from sensors.

Keywords: digital twin, simulation, multi-agent simulation, discrete-event modeling scheme, step-by-step modeling scheme, semi-natural models.

Яковлев Д.Д., Петров Д.Ю., Большаков А.А. Разработка модели системной динамики конвейерного производства с использованием стратегической карты целей.

В работе рассматривается предлагаемая методика анализа целей управления автоматизированным производством коробок перемены передач (КПП) на базе сложной конвейерной системы. Объектом исследования является автоматизированное производство КПП. На основе системного анализа определены основные цели и показатели их достижения. В среде Business Studio разработана стратегическая карта целей, которая используется для общего контроля достижения целей. Для определения допустимых значений нормальных и аварийных границ разработана структура модели системной динамики в среде имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: системный анализ, Business Studio, стратегическая карта целей, AnyLogic, системная динамика.

Yakovlev D.D., Petrov D.Yu., Bolshakov A.A. Development of a system dynamics model for conveyor production using a strategic goal map.

In this paper a proposed methodology for analyzing management goals in the automated production of gearbox transmissions based on a complex conveyor system is examined. The object of research is the automated production of gearboxes. Through system analysis, the main goals and indicators for their achievement are identified. In the Business Studio environment a strategic goal map is developed, which is utilized for overall goal control. To determine the acceptable values of normal and emergency boundaries, a system dynamics model structure is developed within the simulation modeling environment of AnyLogic.

Keywords: system analysis, Business Studio, strategic goal map, AnyLogic, system dynamics.

СЕКЦИЯ 2 СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аксенов К.А. Гибридные системы имитационно-мультиагентного моделирования процессов преобразования ресурсов.

Представлены результаты разработки гибридных систем имитационного мультиагентного моделирования процессов преобразования ресурсов: комплекса BPsim и автоматизированной системы выпуска металлургической продукции (АС ВМП). Для анализа исследуемых производственных, логистических, технологических и бизнес-процессов разработана модель процессов преобразования ресурсов, которая программно реализована в подсистеме моделирования. Особенностью данных процессов является наличие узких мест, связанных с возникновением конфликтов на общих ресурсах и средствах. Предложен метод анализа и устранения узких мест основанный на мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов, методе критического пути и имитационном моделировании. Описан гибридный мультиагентно-имитационный метод принятия решений, реализованный в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции с целью совершенствования исследуемых процессов. В результате применения гибридного метода к задаче анализа логистики кислородно-конвертерного цеха получены практические рекомендации по формированию интервалов подачи плавок на конвертеры цеха с целью недопущения простоя машин непрерывного литья заготовок.

Ключевые слова: автоматизированная система, имитационное моделирование, логистические процессы, металлургическое предприятие, мультиагентный подход, узкие места процессов, конвертерный цех.

Aksyonov K.A. Hybrid simulation and multi agent system of resources conversion processes.

The results of development of hybrid simulation and multi agent systems of resources conversion processes are presented. Investigated processes are formalized by a model of resource conversion processes implemented in the modeling subsystem of the MEI-system and BPsim simulation system. Feature of these processes is presence of bottlenecks associated with the occurrence of conflicts on the shared resources and mechanisms. A method for analyzing and eliminating bottlenecks is proposed. A hybrid multi agent and simulation method for decision-making is described and based on multi agent resources conversion processes model, critical path method and simulation. The method is implemented in the MEI-system in order to improve the processes under study. As a result of applying the hybrid method to the problem of improving the logistic of the oxygen-converter shop, practical recommendations have been obtained on formation of intervals for supply of the melt to the shop's converters in order to prevent downtime of continuous casting machines.

Keywords: automated system, simulation, logistic processes, metallurgical enterprise, agent approach, processes bottlenecks, converter shop.

Беляева М.А., Никитчук С.С. Формирование интегрированной информационно - аналитической системы расчета экономических показателей деятельности компаний для принятия решений.

В статье приведен обзор современных средств и технологий имитационного моделирования для расчета экономических показателей, рассматривается деятельность компании на основе анализа финансовых показателей компании, разработана интегрированная информационно-аналитическая система по формированию анализа экономических показателей деятельности для принятия управленческих решений. В

статье показаны последовательность формирования системы расчета и статистического анализа финансовых данных компании включает в себя такие функции как: заполнение и расчет бухгалтерского баланса, заполнение и расчет агрегированного баланса, расчет финансовых результатов компании, заполнение отчета о прибыли и убытках, заполнение и расчет агрегированного баланса компании, расчет денежных потоков компании, анализ изменения финансовых результатов, анализ структуры финансовых результатов, расчет и анализ показателей ликвидности, расчет и анализ показателей финансовой устойчивости, расчет и анализ показателей оборачиваемости, расчет и анализ показателей рентабельности, сравнение темпов прироста прибыли, выручки и активов, формирование и анализ отчетности по финансовым данным компании. Для наглядного анализа результатов моделирования в модели разработана панель с визуализацией результатов прогонов. Для визуализации в модели используются графики, где по оси X выводятся названия экономических показателей, а по оси Y – значение переменных экономических показателей. Графики распределены по отдельным финансовым показателям имитационной модели.

Разработанную интегрированную систему можно расширять, дополнять новыми подсистемами, что показывает перспективу создания информационной поддержки деятельности предприятия. Система может быть предоставлена в помощь руководителю, технологу, экономисту и менеджеру в принятии оптимизационных управленческих решений с интенсификацией процесса обработки рутинной информации.

Ключевые слова: система управления финансовыми показателями, имитационные системы, анализ данных, эффективность, принятие решений.

Belyaeva M.A., Nikitchuk S.S. Formation of an integrated information and analytical system for calculating economic performance indicators of companies for decision-making.

The article provides an overview of modern simulation tools and technologies for calculating economic indicators, examines the company's activities based on the analysis of financial indicators of the company, developed an integrated information and analytical system for the formation of the analysis of economic performance indicators for management decision-making. The article shows the sequence of formation of the system of calculation and statistical analysis of financial data of the company includes such functions as: filling in and calculating the balance sheet, filling in and calculating the aggregated balance sheet, calculating the financial results of the company, filling out the profit and loss statement, filling in and calculating the aggregated balance sheet of the company, calculation of the company's cash flows, analysis of changes in financial results, analysis of the structure of financial results, calculation and analysis of liquidity indicators, calculation and analysis of financial stability indicators, calculation and analysis of turnover indicators, calculation and analysis of profitability indicators, comparison of profit growth rates, revenue and assets, formation and analysis of reporting on the company's financial data. For a visual analysis of the simulation results, a panel with visualization of the results of runs has been developed in the model. For visualization, the model uses graphs, where the names of economic indicators are displayed on the X axis, and the values of variable economic indicators are displayed on the Y axis. The graphs are distributed according to individual financial indicators of the simulation model. The developed integrated system can be expanded, supplemented with new subsystems, which shows the prospect of creating information support for the company's activities. The system can be provided to help the manager, technologist, economist and manager in making optimization management decisions with the intensification of the process of processing routine information.

Keywords: financial performance management system, simulation systems, data analysis, efficiency, decision-making.

Быков Н.В., Федулов В.А. Оптимизация пространственной структуры системы поражения малоразмерных беспилотных аппаратов с применением методов дискретно-событийного моделирования.

В статье содержится описание разработанной имитационной модели для оценки эффективности системы поражения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Показана возможность использования модели для решения задачи структурного синтеза системы противодействия. Оптимизация структуры системы выполнена с помощью генетического алгоритма с вещественным кодированием. В результате получена система поражения с наибольшей эффективностью при наименьшем числе элементов.

Ключевые слова: оптимизация, эффективность, генетический алгоритм, имитационное моделирование, поражение.

Bykov N.V., Fedulov V.A. Structural synthesis of a weapon system against small-sized unmanned aerial vehicles based on discrete-event modeling.

The article contains a description of the created simulation model for estimating the effectiveness of the weapon system against small-sized unmanned aerial vehicles. This model allows to solve the problem of structural synthesis of such systems. For this purpose, the real-coded genetic algorithm for a structural optimization is developed. The obtained result is the high-efficiency weapon system with the minimal number of components.

Keywords: optimization, efficacy, genetic algorithm, computer simulation, defeating.

Гостев В.М., Федотов М.В., Девятков Т.В. Сервер удаленного моделирования платформы ALINA GPSS.

Рассматривается архитектура распределенной системы имитационного моделирования на базе платформы ALINA GPSS. Представлено описание состава и структуры сервера удаленного имитационного моделирования. Приведен пример применения технологии удаленного имитационного моделирования при проведении исследований в области проектирования инфокоммуникационных сетей.

Ключевые слова: имитационное моделирование, распределенная система, ALINA GPSS, сервер, инфокоммуникационная сеть.

Gostev V.M., Fedotov M.V., Devyatkov T.V. Remote Simulation Server for ALINA GPSS platform.

The architecture of a distributed simulation system based on the ALINA GPSS platform is considered. A description of the structure of the remote simulation server is presented. An example of the use of remote simulation technology for research in the field of infocommunication networks design is given.

Keywords: simulation, distributed system, ALINA GPSS, server, infocommunication network.

Долматов М.А., Плотников А.М., Рындин А.А., Девятков Т.В. Визуализация результатов имитационного моделирования судостроительных производств.

В статье кратко представлен опыт в части применения возможностей среды виртуальной реальности и BIM-моделей при визуализации результатов имитационных исследований функционирования производственных систем судостроительных предприятий.

Ключевые слова: судостроение, предприятие, имитационная модель, визуализация, результаты моделирования, BIM-модель, программное обеспечение.

Dolmatov M.A., Plotnikov A.M., Ryndin A.A., Devyatkov T.V. Visualization of simulation results of shipbuilding industries.

The article briefly presents the experience in applying the capabilities of the virtual reality environment and BIM models in visualizing the results of simulation researches of the functioning of production systems of shipbuilding enterprises.

Keywords: shipbuilding, enterprise, simulation model, visualization, simulation results, BIM-model, software.

Киндинова В.В., Кузнецова Е.В. Системно-динамическое моделирование истощения запасов нефтяных полей.

Цель данной работы – системно-динамическое моделирование динамики истощения запасов нефтяных полей, а именно, исследование динамики количества действующих скважин, их производительности на фоне падения запасов нефтяного поля. Анализируется метод системной динамики имитационного моделирования, обосновывается его применение для рассматриваемой задачи. Показан процесс построения имитационной модели динамики истощения запасов нефтяных полей. Рассматривается вопрос достоверности имитационной модели. При разработке модели использовался системно-динамический инструментарий российской многофункциональной системы имитационного моделирования AnyLogic. Исследован процесс получения значений управляющих параметров, а также сами значения и диапазон значений управляющих параметров. Приведены задачи, решаемые на модели. Проанализированы результаты имитационных экспериментов. Выполнено сравнение разработанной модели с моделями других авторов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, нефтегазовая отрасль, динамика истощения нефтяных полей, причинно-следственная диаграмма, потоковая диаграмма, имитационный эксперимент.

Kindinova V.V., Kuznetsova E.V. System-dynamic modeling of depletion of oil fields.

The purpose of this work is system–dynamic modeling of the dynamics of depletion of oil field reserves, namely, the study of the dynamics of the number of operating wells, their productivity against the background of falling oil field reserves. The method of system dynamics of simulation modeling is analyzed, its application for the problem under consideration is justified. The process of constructing a simulation model of the dynamics of depletion of oil fields is shown. The question of the reliability of the simulation model is considered. When developing the model, the system-dynamic tools of the Russian multifunctional simulation system AnyLogic were used. The process of obtaining the values of the control parameters, as well as the values themselves and the range of values of the control parameters are investigated. The problems solved on the model are given. The results of simulation experiments are analyzed. The developed model is compared with the models of other authors.

Keywords: simulation modeling, oil and gas industry, dynamics of depletion of oil fields, causal diagram, flow diagram, simulation experiment.

Кузнецов А.В. Задача планирования пути покрытия с ограничениями на длину пути и время.

Исследуемая система состоит из агента — БПЛА или наземного робота, осуществляющего наблюдение за заданной областью, и мобильной платформы, с

которой агент имеет радиосвязь и к которой агент может вернуться для подзарядки, получения или загрузки полезной нагрузки. Далее мы изучаем следующую задачу планирования маршрута покрытия. Робот с ограниченным зарядом батареи и заданным радиусом обзора должен покрывать заданную область. Если вся область не может быть покрыта за один заряд батареи, то робот делит области на подобласти и возвращается в исходную точку на границе области для подзарядки перед тем, как покрыть следующую подобласть. Если всю область нельзя охватить таким образом, то робот минимально перемещает начальную точку, покрыв как можно большую часть области. Путь покрытия внутри каждой подобласти вычисляется с помощью решателя Concorde. **Ключевые слова:** мобильные агенты, задача коммивояжера, динамическая задача коммивояжера, оптимизация с ограничениями.

Kuznetsov A.V. The coverage path planning problem with constraints on the path length and time.

The system under study consists of an agent – an UAV or a ground robot that monitors a given domain, and a mobile platform with which the agent has radio communication and to which the agent can return to recharge, receive or load the payload. We further study the following coverage path planning problem. A robot with limited battery power and a given viewing radius must cover a given domain. If the entire domain cannot be covered in one battery charge, then the robot divides the domain into sub-domain and returns to the starting point on the boundary of the domain to recharge before covering the next sub-area. If the entire domain cannot be covered in this way, then the robot minimally moves the starting point after covering as much of the domain as possible. A coverage path inside each sub-domain are constructed with the Concorde solver.

Keywords: mobile agents, traveling salesman problem, dynamic traveling salesman problem, constrained optimisation.

Семенов И.П., Третьяков В.В. Подход к разработке программ контроля с использованием моделей состояния сложных технических систем.

В работе приведены характеристика сложных технических систем и функциональные схемы систем их контроля, формализован принцип работы программ контроля, использующих модель состояния проверяемой системы, сформулированы особенности их программной реализации. По результатам сравнения традиционного и предложенного подходов к разработке программ контроля выделены достоинства моделей состояния.

Ключевые слова: программа контроля, сложная техническая система, модель состояния, диагностика технического состояния

Semenov I.P., Tretyakov V.V. An approach to the development of control programs using complex technical systems state models.

The paper describes the characteristics of complex technical systems and functional schemes of their control systems, formalizes the principle of using the state model control programs operation and formalizes the features of their software implementation. Basing on the results of comparing the traditional and proposed approaches to the development of control programs, the advantages of state models are highlighted.

Keywords: control program, complex technical system, state model, diagnostics of technical condition.

Сениченков Ю.Б. Среда компьютерного моделирования сложных динамических систем: обучение, пропаганда.

Среды моделирования - стратегически важное программное обеспечение для любой страны, стремящейся поддерживать на высоком уровне отечественную науку, образование и производство. По мере того, как пользователями сред становятся научные коллективы, университеты, предприятия выбор среды или замена старой на более совершенную становится трудной задачей. В случае коллективных пользователей на первый план выходят экономические вопросы: стоимость лицензий и обучения персонала, затраты на разработку и поддержку моделей, планируемые доходы от продажи изделий, созданных с помощью компьютерного моделирования. Косвенным показателем востребованности компьютерного моделирования в обществе является количество университетов, готовящих специалистов в области моделирования. В нашей стране число специальностей, областей применения, количество выпускников, умеющих создавать и использовать модели, растет, и можно надеяться, что в ближайшие годы среды моделирования станут массовым инструментом исследования, обучения, и проектирования. Ускорить процесс внедрения новых технологий в практику можно традиционным способом – активно пропагандировать возможности компьютерного моделирования среди школьников, студентов, преподавателей, ученых и производственников.

Ключевые слова: сложные динамические системы, математическое и компьютерное моделирование, среды моделирования, обучение моделированию.

Senichenkov Yu.B. Tools for computer simulation of complex dynamical systems: training, propaganda.

Simulation environments are strategically important software for any country seeking to maintain a high level of domestic science, education and production. In the case of collective users, economic issues come to the fore: the cost of licenses and staff training, the cost of developing and maintaining models, and the planned income from the sale of products created using computer simulation. An indirect indicator of the demand for computer modeling in society is the number of universities that train specialists in the field of modeling. In our country, the number of specialties, areas of application, the number of graduates who can create and use models is growing, and it is hoped that in the coming years, modeling environments will become a massive tool for research, education, and design. The process of introducing new technologies into practice can be accelerated in the traditional way - by actively promoting the possibilities of computer modeling among schoolchildren, students, teachers, scientists and production workers.

Keywords: complex dynamic systems, mathematical and computer modeling, modeling environments, modeling training.

Шевцов С.Н., Жилияев И.В., Снежина Н.Г., Клейменов Н.Д. Моделирование вакуумно-инфузионного формования тонкостенных композитных конструкций с использованием пост-инфузионных выравнивающих давлений.

В статье представлена структура, функциональные возможности и результаты работы системы компьютерного моделирования сквозного цикла «вакуумно-инфузионное формование - постинфузионное выравнивание распределения армирующего компонента» при производстве полимерных композитных конструкций сложной геометрии с трансверсальной изотропией материала. На примере процесса формования обтекателя иллюстрируются средства управления режимами процесса для снижения пористости, разностенности для улучшения точности формы и механических свойств композитных конструкций авиационного применения.

Ключевые слова: моделирование нестационарных процессов, оптимизация распределенных систем, технологии композитов, вакуумно-инфузионное формование.

Shevtsov S.N., Zhilyaev I.V., Snezhina N.G., Kleymenov N.D. Modeling of vacuum-infusion molding of thin walled composite structures using post-infusion equalizing pressures.

The article presents the structure, functionality and results of the computer modeling system of the end-to-end cycle «vacuum-infusion molding - post-infusion leveling of the reinforcement distribution» in the production of polymer composite structures of complex geometry with transversal isotropy of the material. Using a molding of an aviation cowling as an example, the means of controlling process modes for reducing porosity, wall thickness variations to improve the shape accuracy and mechanical properties of produced composite structures are illustrated.

Keywords: transient processes simulation, distributed systems optimization, composites technologies, vacuum-assisted forming.

СЕКЦИЯ 3 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО И КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ануфренко А.В., Снятков М.А. Имитационная модель генератора трафика, учитывающая особенности реального сетевого трафика для машинного обучения элементов сети связи.

Использование механизмов машинного обучения в сети связи способствует повышению эффективности их работы. Однако для реализации обучения необходимо наличие больших массивов данных, соответствующих жёстким требованиям. Выполнить эти требования не всегда представляется возможным. Для решения данного вопроса в статье предложен подход по созданию имитационной модели генератора теле трафика, способного синтезировать массивы данных, подходящие для машинного обучения.

Ключевые слова: генератор трафика, имитационная модель, машинное обучение, GPSS Studio.

Anufrenko A.V., Snyatkov M.A. A simulation model of a traffic generator that takes into account the features of real network traffic for machine learning of communication network elements.

The use of machine learning mechanisms in the communication network contributes to the efficiency of their work. However, in order to implement training, it is necessary to have large arrays of data that meet strict requirements. It is not always possible to fulfill these requirements. To solve this issue, the article proposes an approach to create a simulation model of a tele-traffic generator capable of synthesizing data arrays suitable for machine learning.

Keywords: Traffic generator, simulation model, machine learning, GPSS Studio.

Галиуллин И.Г., Чикрин Д.Е., Пашин Д.М., Егорчев А.А. Моделирование системы беспилотного трактора тяжелого класса и проведение испытаний режимов управления системой на виртуальном полигоне.

В последние годы технологии беспилотных тракторов тяжелого класса привлекают все большее внимание и находят применение в сельском хозяйстве. Эти технологии позволяют автоматизировать операции, связанные с обработкой почвы, посевом и уборкой урожая. Беспилотные тракторы оснащены системами искусственного интеллекта, датчиками, GPS-навигацией и другими средствами, позволяющими им взаимодействовать с окружающей средой и выполнять задачи с минимальным участием человека. Это способствует повышению эффективности и точности работ, сокращению времени и затрат на выполнение задач, а также снижению рисков, связанных с человеческим фактором.

Виртуальная симуляция играет важную роль в разработке и испытаниях беспилотных тракторов тяжелого класса. Она позволяет создавать виртуальную среду, в которой можно моделировать различные сценарии и условия работы трактора, а также тестировать и отлаживать управляющие системы и алгоритмы без риска для физических объектов и среды. Виртуальная симуляция также позволяет проводить испытания в различных условиях, включая экстремальные и недоступные для физических испытаний, что дает возможность более полно и всесторонне оценить работу беспилотного трактора и его систем.

Ключевые слова: беспилотный трактор, моделирование, виртуальная симуляция, Gazebo, испытания режимов управления.

Galiullin I.G., Chikrin D.E., Pashin D.M., Egorchev A.A. Modeling of a heavy-duty autonomous tractor system and testing of control modes on a virtual testbed.

In recent years, the technologies of heavy-duty autonomous tractors have been attracting increasing attention and finding applications in agriculture. These technologies enable the automation of operations related to soil cultivation, seeding, and harvesting. Autonomous tractors are equipped with artificial intelligence systems, sensors, GPS navigation, and other means that allow them to interact with the environment and perform tasks with minimal human intervention. This contributes to the improvement of efficiency and accuracy of work, reduction of time and costs involved in task execution, as well as mitigation of risks associated with human factors.

Virtual simulation plays a crucial role in the development and testing of heavy-duty autonomous tractors. It enables the creation of a virtual environment where various scenarios and operating conditions of the tractor can be simulated. It also allows for testing and debugging of control systems and algorithms without any risk to physical objects and the environment. Virtual simulation further facilitates testing under different conditions, including extreme and inaccessible scenarios for physical testing, providing a comprehensive evaluation of the autonomous tractor's performance and its systems.

Keywords: autonomous tractor, modeling, virtual simulation, Gazebo, control mode testing.

Девятков В.В., Сердинская Ю.А. Исходные данные для имитационного моделирования транспортных систем: мониторинг и использование.

Описывается технология мониторинга, накопления и использования данных о потоках транспортных средств в имитационных моделях и системном анализе. Приводятся основные источники данных о потоке ТС. Подробно описывается процесс извлечения и использования в модели данных, накапливаемых АСУДД с помощью системы «умных перекрестков» и структурированных в специализированной БД «Поток». Приведены примеры дополнительного использования этих данных в обобщенной статистической аналитике транспортных систем.

Ключевые слова: транспортные системы, имитационное моделирование, АСУДД, база данных «Поток», видеонаблюдение, статистический анализ.

Devyatkov V.V., Serdinskaya Yu.A. Initial data for simulation of transport systems: monitoring and use

The technology for monitoring, accumulating and using data on vehicle flows in simulation models and system analysis is described. The main sources of data on vehicle flow are given. The process of extracting and using in the model the data accumulated by the automated traffic control system using the “smart intersections” system and structured in the specialized “Potok” database is described in detail. Examples of additional use of this data in generalized statistical analytics of transport systems are given.

Keywords: transport systems, simulation modeling, automated traffic control system, database «Potok», video surveillance, statistical analysis.

Девятков В.В., Федотов М.В., Маряшина Д.Н., Девятков Т.В., Шестюк В.М., Минниханов Р.Р. Автоматизированная система моделирования сегментов УДС.

В статье представлена отечественная автоматизированная система моделирования сегментов улично-дорожной сети, предназначенная для изучения особенностей функционирования сегментов УДС и повышения эффективности дорожного движения. Рассмотрены особенности системы и варианты её использования для принятия управляющих решений при различных сценариях изменения интенсивности потоков

транспортных средств, параметрах работы светофоров и организации дорожного движения в целом.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, имитационное моделирование, моделирование транспортных потоков, GPSS World Core, ALINA GPSS.

Devyatkov V.V., Fedotov M.V., Maryashina D.N., Devyatkov T.V., Shestyuk V.M., Minnikhanov R.R. Road network segments automated simulation system.

The article presents domestic automated system for road network segments simulation. It is designed to study road network segments work patterns and to improve traffic efficiency. The article describes features of the system and general use cases for making control decisions under various scenarios, which includes changes of vehicle flows intensity, traffic lights operating parameters and traffic management in general.

Keywords: intelligent transport system, simulation, traffic simulation, GPSS World Core, ALINA GPSS.

Девятков В.В., Федотов М.В., Андреянов Н.В., Маряшина Д.Н., Девятков Т.В., Шестюк В.М., Минниханов Р.Р. Адаптивное управление перекрестками с использованием имитационного моделирования и искусственного интеллекта.

В статье представлено описание программно-аппаратного комплекса по управлению дорожным движением на перекрестке с помощью методов имитационного моделирования и искусственного интеллекта. Предлагается новый подход в разработке адаптивного алгоритма управления дорожным движением на изолированных перекрестках с применением нейронных сетей, обученных на базе результатов имитационного моделирования.

Ключевые слова: адаптивное управление движением на перекрестке, имитационное моделирование, GPSS World Core, искусственный интеллект, нейронные сети.

Devyatkov V.V., Fedotov M.V., Andreyanov N.V., Maryashina D.N., Devyatkov T.V., Shestyuk V.M., Minnikhanov R.R., Adaptive crossroad traffic control using simulation and artificial intelligence

The article presents a description of the hardware and software complex that uses simulation and artificial intelligence methods for adaptive crossroad traffic control. Authors propose a new approach in development of an algorithm of local adaptive traffic control using neural networks trained based on the results of crossroad traffic simulation.

Keywords: adaptive crossroad traffic control, simulation, GPSS World Core, artificial intelligence, neural networks.

Зиновьев В.В., Кузнецов И.С., Николаев П.И. Имитационное моделирование функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса с роботизированными автосамосвалами.

Предложен подход, основанный на отображении функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса с роботизируемыми автосамосвалами, в виде сети систем массового обслуживания с ее последующей программной реализацией в среде GPSS Studio. Представлены фрагменты имитационной модели, позволяющей отображать динамику взаимодействия горных машин с учетом вероятностных аспектов технологических процессов. Приведены некоторые результаты имитационных экспериментов, по оценке влияния уровня роботизации процессов, количества автосамосвалов и операторов дистанционного управления на продолжительность отработки развала вскрышной породы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, система массового обслуживания, открытые горные работы, экскаваторно-автомобильный комплекс, роботизация.

Zinoviev V.V., Kuznetsov I.S., Nikolaev P.I. Simulation modeling of excavator and dump truck complex functioning with robotized dump trucks.

The approach based on depicting the excavator and dump truck complex functioning with robotized dump trucks in the form of the queuing system network and its further software implementation in GPSS Studio media is offered in the article. The parts of simulation model that allows depicting the dynamics of mining machines interaction taking into account the stochastic aspects of technological processes are introduced. A number of simulation experiment results on estimating the influence of the robotization processes level, the number of dump trucks and distance control operators on the period of developing the overburden rocks are given.

Keywords: simulation modelling, queuing system, open-pit mining, excavator and dump truck complex, robotization.

Игнатов А.А. Совершенствование процессов обслуживания грузовых автомобилей сервисной зоны с помощью имитационной модели.

В данной статье описаны сущность и основные преимущества имитационного моделирования. Имитационная модель процесса ремонта грузовых автомобилей может помочь, оценить ресурсозатраты предприятия в ходе обслуживания грузового автомобиля. Имитационный эксперимент постов и среднего времянахождения автомобиля в сервисе.

Ключевые слова: имитационное моделирование, автосервис, оптимизационный эксперимент.

Ignatov A.A. Improving the processes of servicing trucks in the service area with the help of a simulation model.

This article describes the essence and main advantages of simulation modeling. A simulation model of the truck repair process can help estimate the resource costs of an enterprise during truck maintenance. Simulation experiment of posts and the average time the car is in service.

Keywords: simulation, vehicle service, optimization experiment.

Карсаев О.В., Соколов Б.В. Имитационное моделирование многоспутниковых орбитальных группировок дистанционного зондирования Земли.

В статье приведено описание программного комплекса, предназначенного для верификации и демонстрации функциональных возможностей инновационной системы управления многоспутниковой ОГ КА ДЗЗ, и макета программного обеспечения для построения такой системы. Предлагаемый подход к построению системы управления предполагает наличие межспутниковой связи и использование информационного взаимодействия между КА, и реализацию на основе этого децентрализованного автономного варианта управления ОГ.

Ключевые слова: Имитационная модель, многоспутниковая группировка, система управления.

Karsaev O.V., Sokolov B.V. Simulation modeling of multi-satellite constellations of remote sensing of the Earth.

The article describes a software package designed to verify and demonstrate the functionalities of an innovative control system of a multi-satellite remote sensing constellations, and a software layout for building such a system. The proposed approach to the

construction of a control system assumes the presence of inter-satellite communication and the use of information interaction between spacecraft, and the implementation of a decentralized autonomous version of the control of the constellations on the basis of this.

Keywords: Simulation model, multi-satellite constellations, control system.

Клевцов С.И. Оценка качества испытаний датчика давления на основе метода нормированного размаха.

Характеристика преобразования датчика формируется на основе результатов градуировочных испытаний. Для оценки качества испытаний предложено использовать методы фрактального анализа. В процессе испытаний данные с датчика давления снимаются циклически при фиксированных значениях параметров среды. Результаты нескольких циклов испытаний при неизменных параметрах среды должны быть независимыми друг от друга и аналогичными по форме. Оценка степени повторяемости формы циклов испытаний и их взаимной независимости определяется с помощью показателя Херста.

Ключевые слова: характеристика преобразования, показатель Херста, датчик, давление, испытание, временной ряд.

Klevtsov S.I. Assessment of the quality of pressure sensor tests based on the normalized span method.

The sensor conversion characteristic is formed based on the results of calibration tests. To assess the quality of tests, it is proposed to use fractal analysis methods. During testing, data from the pressure sensor is taken cyclically at fixed values of the medium parameters. The results of several test cycles under constant environmental parameters must be independent of each other and similar in form. An assessment of the degree of repeatability of the form of test cycles and their mutual independence is determined using the Hurst index.

Keywords: conversion characteristic, Hurst index, sensor, pressure, test, time series.

Кривоногова А. Е., Ворошилов А. И. Оценка требуемого объема парковочного пространства с помощью имитационного моделирования.

В статье изложены основные преимущества использования имитационного моделирования с целью оптимизации парковочного пространства. В качестве инструмента для моделирования процесса поиска парковочного места было выбрано программное обеспечение Anylogic.

Ключевые слова: имитационное моделирование, парковка, система поддержки принятия решений, оптимизация, парковочное пространство.

Krivanogova A.E., Voroshilov A.I. Estimation of required parking space using simulation.

The article outlines the main advantages of using simulation modeling to optimize parking space. Anylogic software was chosen as a tool for modeling the process of searching for a parking space.

Keywords: simulation, parking, decision support system, optimization, parking space.

Кузнецов И.С., Зиновьев В.В., Стародубов А.Н., Николаев П.И. Исследование влияния внеплановых простоев горных машин на эффективность работы экскаваторно-автомобильного комплекса методом имитационного моделирования.

Предложен подход, основанный на отображении работы экскаваторно-автомобильного комплекса с учетом внеплановых простоев в виде сети систем массового обслуживания

с ее последующей программной реализацией в виде имитационной модели. Приведены некоторые результаты вычислительных экспериментов по оценке влияния периодичности и продолжительности внеплановых простоев на суточную эксплуатационную производительность экскаваторно-автомобильного комплекса для одного из разрезов Кузбасса.

Ключевые слова: имитационное моделирование, система массового обслуживания, вскрышные работы, экскаваторно-автомобильный комплекс, внеплановые простои.

Kuznetsov I.S., Zinoviev V.V., Starodubov A.N., Nikolaev P.I. Researching the influence of mining machines unplanned downtimes on excavator and dump truck complex effective operation applying simulation modelling method.

The approach based on depicting an excavator and dump truck complex taking into account unplanned downtimes in the form of queueing system network with its further software implementation as a simulation model is offered. A number of computational experiment results for estimating the influence of interval and length of unplanned downtimes on an excavator and dump truck complex daily working capacity for one of Kuzbass open-pit mines introduced.

Keywords: simulation modelling, queueing system, overburden excavation, excavator-dump truck complexes, unplanned downtime

Леоненко В.Н. Гибридный подход к моделированию динамики инфекционных заболеваний на основе совмещения популяционных и мультиагентных моделей.

В настоящей работе обсуждается подход к гибриднему моделированию распространения эпидемических ОРВИ в городской популяции, проблемы его реализации в условиях калибровки моделей на данные РФ и особенности применения подхода для моделирования распространения сезонного гриппа. Показаны проблемы, связанные с необходимостью гладкого перехода от подмодели к подмодели и с связанного с этим требованием корректного пересчёта параметров подмоделей. Обсуждены варианты решения проблем, связанные с изменением формул пересчёта и алгоритма переключения.

Ключевые слова: гибридные модели, мультиагентные модели, SEIR-модели, грипп, Python.

Leonenko V.N. Hybrid approach to modeling the dynamics of infectious diseases based on the combination of compartmental and multiagent models.

This paper discusses an approach to hybrid modeling of the spread of epidemic ARIs in the urban population, the problems of its implementation in the conditions of calibration of models on the data of the Russian Federation and the features of the application of the approach for modeling the spread of seasonal influenza. The problems associated with the need for a smooth transition from submodel to submodel and with the related requirement of correct recalculation of parameters of submodels are shown. Options for solving problems related to changing the conversion formulas and the switching algorithm are discussed.

Keywords: hybrid models, multiagent models, SEIR-models, influenza, Python

Малыханов А.А., Черненко М.Е., Морозов А.Л. Имитационное моделирование объединенного логистического комплекса по упаковке и отгрузке полимерных материалов.

В статье описывается имитационная модель логистического комплекса, воспроизводящая процессы упаковки, хранения и отгрузки полимерных материалов. Обсуждается структура имитационной модели, а также приводятся некоторые

результаты выполненного с ее помощью сравнения альтернативных сценариев работы логистического комплекса для определения достаточности оборудования и транспорта.

Ключевые слова: имитационная модель, логистический комплекс, автоматизированный склад, контейнерная площадка.

Malykhanov A.A., Chernenko M.E., Morozov A.L. Simulation Modeling of a Logistics Terminal for Packaging and Shipping of Bulk Polymer Materials.

The paper describes a simulation model of a logistics terminal that includes the processes of packaging, storage, and shipping of bulk polymer materials. We discuss the structure of the simulation model, and provide the key results of scenario comparison and sensitivity analysis experimentation that were carried out with the help of the model.

Keywords: simulation model, logistic complex, automated storage, container yard.

Мармыш Е.С., Стрекаловская Е.В., Сырвачева Е.Р., Замятина Е.Б. Исследование процесса распространения контента в социальных медиа в среде AnyLogic.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением параметров, влияющих на процесс распространения информации в социальных сетях. В качестве параметров выбраны направленные и ненаправленные связи между пользователями социальной сети, степень влиятельности пользователя и его публикационная активность. Исследование процесса распространения информации проводится с помощью методов имитационного моделирования. В качестве инструмента для проведения имитационных экспериментов выбран AnyLogic.

Ключевые слова: распространение информации, социальные сети, диффузионные модели, имитационное моделирование, AnyLogic, направленные и двунаправленные связи, публикационная активность.

Marmysh E.S., Strekalovskaya E.V., Syrvacheva E.R, Zamyatina E.B. The Study of the Process of Content Distribution in Social Media in AnyLogic Environment.

The paper examines issues related to determining parameters that affect the process of information propagation in social networks. The selected parameters include directed and undirected connections between users in the social network, the degree of user influence, and their publishing activity. The process of information propagation is studied using simulation modeling methods. AnyLogic is chosen as the tool for conducting simulation experiments.

Keywords: information distribution, social networks, diffusion models, simulation modeling, AnyLogic, directed and bidirectional links, publication activity.

Михайлов В.В. Совершенствование процессов капитального ремонта грузовых автомобилей с помощью имитационного моделирования.

В статье описаны суть и основные преимущества имитационного моделирования процесса капитального ремонта грузовых автомобилей. Данная имитационная модель может рассматриваться как интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений, которое позволяет анализировать технологический процесс капитального ремонта и оптимизировать параметры производственно-технической зоны. На основе имитационного эксперимента на имитационной модели возможно определить оптимальное количество ремонтных постов, минимизируя среднее время нахождения грузового автомобиля на предприятии автомобильного сервиса.

Ключевые слова: имитационная модель, автосервис, капитальный ремонт, имитационный эксперимент.

Mihailov V.V. Improving processes of overhaul of cargo vehicles with the help of simulation modeling.

The article describes the essence and main advantages of simulation modeling of the trucks overhaul process. This simulation model can be considered as the intellectual core of the decision support system, which allows to analyze the overhaul process and optimize the production parameters technical area. On the basis of an simulation experiment on a simulation model, it is possible to determine the optimal number of repair posts, minimizing the average time a truck spends at a vehicle service enterprise.

Keywords: simulation model, vehicle service, overhaul, simulation experiment.

Никищечкин П.А., Долгов Н.В., Акимов А.А. Разработка имитационной модели цеха литья по выплавляемым моделям при мелкосерийном позаказном типе производства.

В статье рассмотрены особенности технологического процесса литья по выплавляемым моделям. Проанализированы подходы к производству элементов модельных блоков и выявлены особенности каждого из них. Рассмотрены практические аспекты разработки имитационной модели цеха литья, позволяющей проанализировать влияние выбора метода изготовления восковых моделей на производственный цикл изготовления отливок и общее время выполнения производственного заказа.

Ключевые слова: машиностроение, литье по выплавляемым моделям, имитационное моделирование, позаказное производство, аддитивные технологии.

Nikishechkin P.A., Dolgov N.V., Akimov A.A. Development of a simulation model of a lost wax casting workshop for small-scale custom production

The article discusses the features of the technological process of investment casting. Approaches to the production of elements of model blocks are analyzed and the features of each of them are identified. The practical aspects of developing a simulation model of a casting shop are considered, which makes it possible to analyze the impact of the choice of method for making wax models on the production cycle of castings and the total time to complete a production order.

Keywords: mechanical engineering, lost wax casting, simulation modeling, custom production, additive technologies.

Патаракин Е.Д. Воздействие имитационных моделей на поле вычислительной дидактики.

В статье демонстрируется успешная интеграция различных форм совместного обучения на единой платформе Semantic MediaWiki. Используя расширения MediaWiki, мы преобразовали вики-страницы в исполняемые статьи, которые включали блок-схемы на языках Graviz, mermaid и plantUML, а также визуальные блоки программ в Scratch and Snap! языки. Кроме того, мы смогли встроить проекты на языках мультиагентного моделирования, таких как Scratch, Snap!, StarLogo Nowa и NetLogo Web, в исполняемые вики-страницы.

Ключевые слова: Agency, Semantic MediaWiki, Scratch, Snap!, NetLogo, StarLogo Nova.

Patarakin E.D. The impact of simulation models on the field of computational didactics.

The article showcases the successful integration of various forms of collaborative learning on a single platform, the Semantic MediaWiki. By leveraging MediaWiki extensions, we transformed wiki pages into executable articles, which included flowcharts in graphviz, mermaid, and plantUML languages, as well as visual blocks of programs in Scratch and Snap!

languages. Furthermore, we were able to embed projects in multi-agent modeling languages such as Scratch, Snap!, StarLogo Nowa, and NetLogo Web to executable wiki-pages.

Keywords: Agency, Semantic MediaWiki, Scratch, Snap!, NetLogo, StarLogo Nova

Пономарев Д.Ю., Демичева А.А. Разработка имитационной модели спутниковой сети связи.

Спутниковая сеть связи предоставляет абонентам возможности для обмена информацией вне зависимости от географического расположения. Имитационная модель спутниковой сети связи позволит провести ряд экспериментов при изменении различных характеристик системы и сократить затраты при разработке новых протоколов и алгоритмов обслуживания трафика. Целью работы является разработка имитационной модели спутниковой сети связи для оценки вероятностно-временных характеристик данной сети с учетом распределения частотного ресурса.

Ключевые слова: имитационная модель, GPSS, спутниковая сеть связи, вероятность потерь.

Ponomarev D.Yu., Demicheva A.A. Development of the simulation model of a satellite communication network.

The satellite communication network provides subscribers to possibilities of exchange information regardless of geographical location. The simulation model of the satellite communication network will allow to conduct a number of experiments when changing various characteristics of the system and reduce costs when developing new protocols and algorithms for traffic service. The aim of the work is to develop a simulation model of the satellite communication network to estimation of the probabilistic-temporal characteristics of this network with taking into account the distribution of the frequency resource.

Keywords: simulation model, GPSS, satellite communication network, loss probability.

Пуха Г.П., Пищальников С.М., Черноиванов С.А. Оценка показателей технической готовности системы приёма по радиолиниям различных приоритетов, имеющих разнотипные элементы в своем составе, с помощью имитационного моделирования.

В статье рассматривается вариант построения имитационной модели для решения задачи, связанной с количественной оценкой показателей технической готовности сложной системы, на примере системы приёма по радиолиниям различных приоритетов и различным набором типов элементов в составе используемых радиолиний.

Ключевые слова: надежность, техническая готовность, система приёма, радиолиния, приоритет, имитационная модель, программный комплекс GPSS Studio.

Pukha G.P., Pishchalnikov S.M., Chernoiivanov S.A. Evaluation of the indicators of technical readiness of the system of reception over radio links of various priorities, having different type elements in their composition, with the help of simulation modeling.

The article discusses the option of constructing a simulation model to solve the problem associated with the quantitative assessment of technical readiness indicators of a complex system, using the example of a receiving system over radio links of various priorities and a different set of types of elements in the composition of the radio links used.

Keywords: reliability, technical readiness, receiving system, radio link, priority, simulation model, GPSS Studio software package.

Россошанская Е. А., Дорошенко Т. А., Самсонова Н. А. Опыт разработки агент-ориентированной системы поддержки принятия решений в области стратегического управления социально-экономическим развитием территорий Дальнего Востока.

В статье даётся характеристика агент-ориентированной демографической модели Дальнего Востока, разработанной ФАНУ «Востокгосплан». Модель реализована в реальном масштабе 1:1 с детализацией по всем 11 субъектам и 230 муниципальным образованиям ДФО. Цель разработки – создание востребованного практикой инструмента, соответствующего по своим функциям реальным полномочиям органов власти, и обеспечение возможности его использования в качестве системы поддержки принятия решений в области стратегического управления социально-экономическим развитием регионов ДФО.

Ключевые слова: агент-ориентированное моделирование, демографический прогноз, стратегическое планирование, региональное управление, Дальний Восток.

Rosshanskaya E. A., Doroshenko T. A., Samsonova N. A. Experience in developing an agent-based decision support system in the field of strategic management of socio-economic development of the Far East territories.

The article describes the agent-based demographic model of the Far East, developed by Eastern State Planning Center. The model is implemented on a real scale 1:1 with detail for all 11 subjects and 230 municipalities of the Far Eastern Federal District. The goal of the development is to create a tool that is in demand in practice, corresponding in its functions to the real powers of government authorities, and to ensure the possibility of its use as a decision support system in the field of strategic management of socio-economic development of the regions of the Far Eastern Federal District.

Keywords: agent-based modeling, demographic forecast, artificial society, strategic planning, regional management, Far East.

Садыков С.М. Совершенствование процессов технического обслуживания и текущего ремонта газобаллонных автомобилей с помощью имитационной модели сервисного центра.

Имитационная модель сервисного центра, обслуживающего газобаллонную автомобильную технику, представляет собой компьютерное программное обеспечение, созданное для анализа и оптимизации работы сервисного центра, специализирующегося на обслуживании газобаллонной автомобильной техники. Модель разработана с целью помочь улучшить производительность сервисного центра, снизить время пребывания автомобиля в сервисном центре. Аналитик получает возможность оценить различные стратегии управления ресурсами и процессами обслуживания, варьируя такие параметры как число постов приемки, уборно-моечных работ, установки газобаллонного оборудования, технического обслуживания и текущего ремонта, капитального ремонта, исследований.

Ключевые слова: газобаллонные автомобили, имитационное моделирование, сервисный центр, оптимизационный эксперимент.

Sadykov S.M. Improving the maintenance and routine repair processes of gas-cylinder cars using a service simulation model.

The simulation model of a service center serving gas-cylinder automotive equipment is a computer software created to analyze and optimize the operation of a service center specializing in the maintenance of gas-cylinder automotive equipment. The model is designed to help improve the performance of the service center; reduce the time the vehicle stays in the

service center. The analyst gets the opportunity to evaluate various strategies for managing resources and maintenance processes, varying parameters such as the number of acceptance posts, cleaning and washing operations, installation of gas-cylinder equipment, maintenance and current repairs, overhauls, checking.

Keywords: gas-cylinder cars, simulation modeling, service center, optimization experiment.

Самойлова К.В., Замятина Е.Б. Применение многомодельного подхода к проектированию надежных бизнес-процессов.

Идентификация рисков и устранение этих рисков с целью повышения надежности бизнес-процессов актуальны для успешного ведения бизнеса компаний, для их конкурентоспособности. Под надежным бизнес-процессом понимают процесс, который, несмотря на некоторые негативные события и ситуации (риски) завершается, достигнув нужной цели. В статье для идентификации рисков представлен программный комплекс, позволяющий проектировать надежные бизнес-процессы с использованием средств имитационного моделирования, трансформации моделей на основе DSM технологий, онтологического и многомодельного подходов. При трансформации моделей использованы операции по валидации моделей на основе семантической близости их онтологий.

Ключевые слова: многомодельный подход, имитационное моделирование, системы массового обслуживания, сети Петри, онтологии, верификация, валидация.

Samoilova K.V., Zamyatina E.B. Design of robust business processes using multimodel approach.

Risk identification and elimination of these risks to improve the robustness of business processes are relevant for the successful business of companies and for their competitiveness. A robust business process is understood as a process that, despite some negative events and situations (risks) is completed, having achieved the goal. The article presents a software complex for risk identification, which allows designing robust business processes using simulation modeling tools, model transformation based on DSM technologies, ontological and multi-model approaches. When transforming models, model validation operations based on semantic proximity of their ontologies are used.

Keywords: multimodel approach, simulation, queuing systems, Petri nets, ontologies, verification, validation.

Самсонова Н.А., Пилунский Ф.И., Аюпов-Комиссаров Т.В. Динамическая имитационная модель грузоперевозок на Восточном полигоне железных дорог.

Для переоценки целевых показателей документов стратегического планирования и изменения мероприятий инвестиционных проектов, направленных на развитие транспортно-логистической инфраструктуры, необходимо систематизировать технические параметры работы транспортной сети Дальнего Востока, проанализировать возможные последствия мер внешнего санкционного давления и оценить изменение грузопотоков, реализуемых через Дальневосточный федеральный округ.

Динамическая имитационная модель разрабатывается для оценки пропускной способности и грузопотоков станций Восточного полигона; оценка потребностей в дополнительном увеличении пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта для обоснования инвестиционных проектов по строительству, модернизации и реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Динамическая имитационная модель грузоперевозок может стать стратегическим инструментом для:

- прогнозирования пропускной и провозной способности объектов Восточного полигона при разных сценариях;
- прогнозирования объемов грузопотоков транспортной сети Восточного полигона;
- выявления узких мест транспортной инфраструктуры;
- оценки использования альтернативных транспортных коридоров и маршрутов при транспортировке грузов;
- оценки социально-экономических эффектов, создаваемых при функционировании объектов Восточного полигона.

Ключевые слова: транспортно-логистическая система, Восточный полигон железных дорог, динамическая имитационная модель.

Samsonova N.A., Pilunskii F.I., Aiupov-Komissarov T.V. Dynamic Simulation Model of Cargo Transportation at the Far Eastern Rail System

To re-evaluate the targets of strategic planning documents and changes in the activities of investment projects aimed at the development of eastern transport and logistics infrastructure, it is necessary to systematize the technical parameters of the transport network of the Far East, analyze the possible consequences of external sanctions pressure measures and assess the change of cargo flows implemented through the Far Eastern Federal District.

A dynamic simulation model is being developed to assess the capacity and cargo flows of the stations of the Far Eastern Rail System; an assessment of the needs for an additional increase in the capacity and carrying capacity of the railway transport infrastructure to justify investment projects for the construction, modernization and reconstruction of railway infrastructure facilities.

Dynamic simulation model of cargo transportation can become a strategic tool for:

- forecasting the throughput and carrying capacity of the objects of the Far Eastern Rail System under different scenarios;
- forecasting the volume of cargo flows of the transport network of the Far Eastern Rail System;
- identification of transport infrastructure bottlenecks;
- assessment of the use of alternative transport corridors and routes in the transportation of goods;
- assessment of socio-economic effects created during the operation of the objects of the Far Eastern Rail System.

Keywords: transport and logistics system, Far Eastern railway system, dynamic simulation model.

Семенов А.И., Спесивцев А.В. Многомодельный подход к решению задачи планирования процесса заготовки кормов из трав.

На основании онтологического подхода предложен синтез двух подходов моделирования – логико-динамического и нечетко-возможностного – для создания и применения автоматизированных систем проактивного мониторинга состояния сложных агробиотехнических объектов сельскохозяйственного производства. Приведена алгоритмическо-модельная структура предлагаемого подхода на примере производства кормов из трав при заготовке силоса. Результатом синтеза этих подходов является возможность создания системы поддержки принятия решений, позволяющая составлять и корректировать в реальном масштабе времени план выполнения технологии производства кормов из трав

Ключевые слова: производство кормов из трав, онтологический подход, нечётко-возможностный подход, логико-динамическое моделирование.

Semenov A.I., Spesivtsev A.V. A Multi-Model Approach to Planning and Managing Grass Feed Production.

Based on the ontological proposal, a synthesis of the approaches of two studies - logical-dynamic and fuzzy-possibility - is proposed for the creation and application of automated systems for the proactive state of complex agro-biotechnical objects of agricultural production. An algorithmic-model structure of the predicted impact on the type of feed production from silage preparation is presented. The result of the synthesis of this approach is the possibility of creating a decision support system that allows you to adopt and adjust in the shortest possible time a plan for implementing the technology for producing grass feed.

Keywords: production of feed from grasses, ontological approach, fuzzy-possibility approach, logical-dynamic modeling.

Стародубов А.Н., Зиновьев В.В., Кадочигова А.Н., Каплун А.В. Система имитационного моделирования очистных горных работ.

Технология длинностолбовой выемки с использованием управляемого выпуска угля из подкровельной толщи при помощи механизированных крепей является наиболее эффективным и безопасным способ подземной добычи. Поскольку данная технология еще нуждается в усовершенствовании и тщательном тестировании, необходима разработка систем, которые могли бы ускорить данные процессы и снизить затраты. В статье описывается разработка системы имитационного моделирования очистных горных работ, состоящей из моделей, имитирующих процессы очистной выемки угля и управляемого выпуска подкровельной толщи. Модели разработаны в среде имитационного моделирования Rocky DEM, основанной на методе дискретных элементов. Продемонстрирован прототип клиентского приложения, позволяющего конечному пользователю взаимодействовать с моделями без знаний работы с Rocky DEM. Разрабатываемая система позволит в будущем повысить эффективность использования горного оборудования и оптимизировать режимы его работы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, метод дискретных элементов, очистные работы, Rocky DEM, очистной комбайн, механизированная крепь, подкровельный выпуск угля.

Starodubov A.N., Zinoviev V.V., Kadochigova A.N., Kaplun A.V. The system of simulation modeling of mining operations.

The technology of long pile mining using controlled release of coal from the ceiling with the help of powered supports is the most effective and safe method of underground mining. Due to the fact that this technology still needs to be improved and thoroughly tested, it is necessary to develop systems that could speed up these processes and reduce costs. The article describes the development of a system of simulation modeling of coal-face works, which consists of models simulating the processes of shearer mining and controlled release of coal from the ceiling. The models are developed in the Rocky DEM simulation environment based on the discrete element method. A prototype of a client application that allows the end user to interact with models without knowledge of working with Rocky DEM is demonstrated. The developed system will allow in the future to increase the efficiency of the use of mining equipment and optimize its operating modes.

Keywords: simulation modeling, discrete element method, coal-face works, Rocky DEM, shearer loader, powered support, under-roof coal output.

Топаж А.Г., Гиндин И.Б., Чеславский А.В. Имитационная модель как средство анализа и верификации системы планирования материальных потоков на производстве.

В работе описывается созданный авторами прототип прикладного программного решения – движок планирования материальных потоков одностадийного производства, управляющегося одновременно входным потоком поступающего сырья и выходным потоком пользовательских заказов. Для анализа, верификации и наглядного представления результатов работы данного решения создана специализированная имитационная модель, позволяющая отследить в динамике основные характеристики изучаемого производственного процесса (складские запасы сырья и выпускаемой номенклатуры, загруженность рабочих центров, степень выполнения заказов на отгрузку) при условии использования его в качестве инструмента диспетчеризации производственных заданий.

Ключевые слова: производственная логистика, вытягивающее/выталкивающее планирование, заказ, продукт, материал, рабочий центр, имитационная модель техпроцесса.

Topaj A.G., Gindin I.B., Czeslavsky A.V. Simulation model as a tool of analysis and verification of material flow planning system in manufacturing.

Presented paper describes the prototype of an applied software solution – an optimization solver of material flow planning for single-stage manufacturing, controlled both by the input flow of incoming raw materials and the output flow of sell orders. A specialized simulation model has been developed to analyze, verify and visualize the results of this solution. It makes it possible to track in dynamics the main characteristics of the production process under study (the stocks of raw materials and final products, work center loading, order fulfillment rate). Developed simulation/optimization software can be considered as a useful tool for dispatching the manufacturing process.

Keywords: manufacturing logistics, pull/push scheduling, order, product, raw material, work center, simulation model of technological process.

Труб И.И. Моделирование приоритезации нагрузки в пуле потоков для сервера баз данных.

В работе расширена объектная имитационная модель пула потоков, используемого в СУБД MySQL, предусматривающая разделение запросов по очередям в зависимости от его типа. Предназначение модели - исследование влияния на производительность пула потоков дисциплины выбора заявки на обслуживание из множества очередей с приоритетами и численных параметров выбранной дисциплины. Приведены результаты апробации модели, подтверждающие содержательность задачи оптимального управления пулом потоков с приоритетами.

Ключевые слова: пул потоков, имитационная модель, смешанная нагрузка, очереди с приоритетами, критерий производительности, наследование, полиморфизм.

Trub I.I. Simulation of workload with priorities in thread pool for database server.

The paper extends object-oriented simulation model of MySQL thread pool. This model provides separation of requests among priority queues depending on request's type (select, update, insert, delete). The model's main intention is the studying of chosen priority queue discipline and its numerical parameters on thread pool throughput in transactions or queries per second. Results of model's probation are presented, which confirm the validity of priority thread pool optimal control problem.

Keywords: thread pool, simulation, mixed workload, priority queues, performance criterion, inheritance, polymorphism.

Усманова А.Р., Маликов Р.Ф. Имитационное моделирование туристических маршрутов.

В данной работе проводится обсуждение тем и направлений разработки имитационных моделей в туристической отрасли. Представлена имитационная модель туристического маршрута по реке Белой. Целью разработок является оптимизация туристических маршрутов на основе компьютерного и имитационного моделирования в средах GPSS-Studio, AnyLogic.

Ключевые слова: туристические маршруты, дискретно-событийное моделирование, среда моделирования GPSS-Studio.

Usmanova A.R., Malikov R.F. Simulation modeling of tourist routes.

This paper discusses topics and directions for the development of simulation models in the tourism industry. A simulation model of a tourist route along the Belaya River is presented. The goal of the development is to optimize tourist routes based on computer and simulation modeling in the GPSS-Studio and AnyLogic environments.

Keywords: tourist routes, discrete event modeling, GPSS-Studio modeling environment.

Цебровская Е.А., Теплов В.М., Клюковкин К.С., Прасол Д.М., Багненко С.Ф. Практическое применение имитационного моделирования в компьютерной среде Flexsim HC для оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи в повседневной деятельности и при чрезвычайных ситуациях.

В докладе представлен опыт практического применения имитационного моделирования для оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи при чрезвычайных ситуациях различного характера, выполненный с помощью программы Flexsim HealthCare. На моделях были проведены организационные эксперименты, по результатам которого определены оптимальные условия труда в условиях массового поступления.

Ключевые слова: имитационное моделирование, здравоохранение, Flexsim HealthCare, стационарное отделение скорой медицинской помощи, чрезвычайные ситуации, массовое поступление пациентов.

Tsebrovskaya E.A., Teplov V.M., Klyukovkin K.S., Prasol D.M., Bagnenko S.F. Practical application of simulation modeling in the Flexsim HC computer environment to optimize the work of an inpatient emergency department in daily activities and in emergency situations.

The report presents experience in the practical application of simulation modeling to optimize the work of an inpatient emergency department during emergencies of various types, performed using Flexsim HealthCare. Organizational experiments were carried out on the models, based on the results of which optimal working conditions were determined in conditions of mass receipt.

Keywords: simulation modeling, healthcare, Flexsim HealthCare, Emergency Department, emergency situations, mass patient arrivals.

Чикрин Д.Е., Пашин Д.М., Егорчев А.А., Фахрутдинов А.Ф. Использование имитационных манекенов для построения системы биомониторинга состояния здоровья человека.

Дистанционная диагностика сегодня является актуальной задачей. Более того использование имитационных манекенов позволяет проводить испытания разрабатываемых систем без привлечения людей для проведения испытаний. В данной

работе представлено решение в виде программного комплекса централизованного дистанционного мониторинга основных показателей здоровья человека, испытания которого проводились на имитационных манекенах. Точность работы разработанной системы составила не менее 90%.

Ключевые слова: биомониторинг, имитационные манекены, смартфон в медицине, цифровая обработка сигналов, медицинские манекены.

Chikrin D.E., Pashin D.M., Egorchev A.A., Fakhrutdinov A.F. Using simulation mannequins to build a biomonitoring system of human health.

Remote diagnostics is a pressing task today. Moreover, the use of simulation mannequins allows testing of developed systems without involving people to conduct tests. This paper presents a solution in the form of a software package for centralized remote monitoring of key indicators of human health, tests of which were carried out on simulation mannequins. The accuracy of the developed system was no less than 90%.

Keywords: biomonitoring, simulation mannequins, smartphone in medicine, digital signal processing, medical mannequins.

Чикрин Д.Е., Пашин Д.М., Тимершин Б.А., Галиуллин И.Г., Егорчев А.А., Кокунин П.А. Имитационное моделирование всеповерхностного робота-гексапода. Роботы-гексаподы являются робототехническими системами высокой проходимости и устойчивости.

Одной из основных проблем в проектировании робототехнических систем является необходимость исследования их характеристик с учетом конструктивных особенностей. Она решается имитационным моделированием.

На основе расположения ног робота-гексапода выделяют две конструктивные модификации: радиально-симметричная, симметричная вдоль продольной оси.

В ходе работы была проведена разработка кинематической схемы робота-гексапода и имитационное моделирование трех типов передвижения.

Результаты моделирования: наибольшая скорость у треножного типа передвижения, наименьшая – у волнообразного.

Научными и практическими результатами исследования являются разработанная кинематическая схема и программный код сценариев передвижения.

Ключевые слова: робот-гексапод, имитационное моделирование, кинематическая схема.

Chikrin D.E., Pashin D.M., Timershin B.A., Galiullin I.G., Egorchev A.A., Kokunin P.A. Simulation of a surface hexapod robot.

Hexapod robots are robotic systems of high cross-country ability and stability.

One of the main problems in the design of robotic systems is the need to study their characteristics taking into account design features. It is solved by simulation modeling.

Based on the location of the legs of the hexapod robot, two design modifications are distinguished: radially symmetrical, symmetrical along the longitudinal axis.

In the course of the work, the kinematic scheme of the hexapod robot was developed and simulation modeling of three types of movement was carried out.

Simulation results: the tripod type of movement has the highest speed, the undulating type has the lowest.

The scientific and practical results of the study are the developed kinematic scheme and the program code of movement scenarios.

Keywords: hexapod robot, simulation modeling, kinematic scheme.

Шепель А.С. Применение адаптивной системы управления в имитационном моделировании объектов железнодорожной инфраструктуры.

Рассмотрено использование управляющих воздействий по решению конфликтов между операциями из-за занятости ресурсов. Приведены формализованные макро-алгоритмы распределения транзактов в транспортной системе, определены проблемы использования различных алгоритмов и их влияние на образование конфликтных ситуаций, дополнительных простоев операций на моделируемой инфраструктуре, общую загрузку инфраструктуры. Предложена уникальная адаптивная система управления на базе совокупности различных алгоритмов моделирования, приведен пример её использования.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, адаптивная система управления, алгоритмы моделирования, валидация имитационной модели.

Shepel A.S. Application of an adaptive control system in simulation modeling of railway infrastructure facilities.

The use of control actions to resolve conflicts between operations due to the employment of resources is considered. The formalized macro-algorithms for the distribution of transactions in the transport system are given, the problems of using various algorithms and their impact on the formation of conflict situations, additional downtime of operations on the simulated infrastructure, and the overall load of the infrastructure are determined. A unique adaptive control system based on a set of different modeling algorithms is proposed, an example of its use is given.

Keywords: railway infrastructure, adaptive control system, modeling algorithms, validation of the simulation model.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Акодит Е.В., Анциферов А.А., Мендуров С.А., Муравьева А.С., Павленко М.А. Агентный подход при проектировании моделирующих комплексов.

Развитие вычислительных средств позволяет сделать существенный сдвиг в разработке и описательных возможностях моделирующих комплексов. Использование агентного подхода к созданию моделирующих комплексов требует создания новых подходов к разработке архитектуры таких систем, разработки методов описания данных и новых подходов к обработке и анализу полученных результатов. Расширение описательных возможностей позволит повысить информативность моделей и улучшить качество принимаемых решений.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, интеллектуальный агент, моделирующий комплекс, принятие решений.

Akodit E.V., Antsiferov A.A., Mendurov S.A., Muravyova A.S., Pavlenko M.A. Agent-based approach in the design of modeling complexes.

The development of computing tools makes it possible to make a significant shift in the development and descriptive capabilities modeling complexes. The use of the agent-based approach to the creation of modeling complexes requires the creation of new approaches to the development of the architecture such systems, the development of methods for describing data and new approaches to processing and analyzing the results obtained. The expansion of descriptive capabilities will increase the information content of models and improve the quality of decision-making.

Keywords: simulation modeling, agent-based modeling, intelligent agent, modeling complex, decision-making.

Гордеев А.В. Многокритериальное планирование многоспутниковой орбитальной группировки малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли при обслуживании групповой наземной цели.

Приведена формальная постановка задачи многокритериального выбора планов целевого применения многоспутниковой орбитальной группировки (МОГ) малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (МКА ДЗЗ) при обслуживании групповой наземной цели. Критериями оптимальности выбора планов являются максимизация суммарной значимости полученной информации о снятых объектах наблюдения (ОН) групповой цели и минимизация ресурсных затрат. При формировании планов обслуживания учитываются интервалы видимости объектов наблюдения, условия съемки ОН (время суток, погодные условия, наличие облачного покрова), возможности ориентации оптической оси системой управления движением (СУД) МКА для осуществления съемки, а также ограничения, накладываемые спецификой целевого применения МКА ДЗЗ при выполнении обслуживания групповой цели. Рассмотрены результаты вычислительных экспериментов, проведенных с использованием методов комбинированного (аналитико-имитационного) моделирования.

Ключевые слова: комбинированное моделирование, многокритериальная задача, многоспутниковая орбитальная группировка.

Gordeev A.V. Multi-criteria planning of a multi-satellite orbital constellation of small spacecraft for remote sensing of the earth when servicing a group ground target.

A formal formulation of the problem of multi-criteria selection of plans for the target use of a multi-satellite orbital constellation (MSOG) of small Earth remote sensing spacecraft (SMSC)

when servicing a group ground target is given. The criteria for the optimal choice of plans are maximizing the total significance of the information received about the captured observation objects (OBs) of the group target and minimizing resource costs. When forming service plans, the visibility intervals of observation objects, the conditions for surveying objects (time of day, weather conditions, the presence of cloud cover), the possibility of orienting the optical axis by the motion control system (MCS) of the small spacecraft for surveying, as well as the restrictions imposed by the specifics of the target application of the remote sensing satellite are taken into account. when performing maintenance on a group goal. The results of computational experiments carried out using combined (analytical and simulation) modeling methods are considered.

Keywords: combined modeling, multi-criteria problem, multi-satellite orbital constellation.

Григорьева Д.Н., Фасхутдинова А.Р. Использование средств имитационного моделирования при оптимизации светофорного регулирования.

Статья рассматривает применение средств имитационного моделирования при оптимизации светофорного регулирования. В работе представлен обзор существующих методов оптимизации светофорных систем. Авторы исследуют различные сценарии работы светофоров и оценивают их эффективность с помощью имитационных моделей. Работа содержит полезные рекомендации для практического применения имитационного моделирования при решении задач оптимизации светофорных систем.

Ключевые слова: моделирование, оптимизация, светофорное регулирование, транспортный поток.

Grigorieva D.N., Faskhutdinova A.R. The use of simulation tools in optimizing traffic light regulation.

The article examines the use of simulation tools in optimizing traffic light regulation. The paper presents an overview of existing methods for optimizing traffic light systems. The authors examine various traffic light scenarios and evaluate their effectiveness using simulation models. The work contains useful recommendations for the practical application of simulation modeling in solving problems of optimization of traffic light systems.

Keywords: modeling, optimization, traffic light regulation, traffic flow.

Дёмин А.Г. Расчет достаточности оборудования подземного медно-цинкового месторождения.

Крупные рудники имеют сильную структурную и функциональную связность и параметры их работы трудно поддаются расчету. За последнее десятилетие накопился определенный опыт применения методологических подходов и моделей для расчета и оптимизации горнопроходческих систем. В работе описывается решение для оптимизации транспортных потоков в рудниках, оценки эффективности использования и определения оптимального количества техники, в том числе самоходного оборудования, рельсового транспорта и скиповых подъемников.

Ключевые слова: модель подземного месторождения, процессы в руднике, моделирование горнопроходческих систем, оптимизация транспортных потоков в руднике, эффективность использования оборудования.

Demin A.G. Assessment of equipment sufficiency for an underground copper-zinc mine.

Large mines have strong structural and functional connectivity and their parameters are difficult to assess. Over the last decade, a certain experience has been accumulated in the application of methodologies and models for the modeling and optimization of mining systems. The paper describes a solution for optimizing transportation flows in mines,

assessing the efficiency of equipment, and determining the optimal quantity of machinery, including self-propelled equipment, rail transport, and skip hoists.

Keywords: underground mine model, mining processes, mining systems modeling, transport flow optimization in mines, efficient equipment utilization.

Ильин Я.В., Аксенов К.А. Разработка имитационной модели сети автомобильных заправочных станций.

В работе рассматривается процесс работы сети автомобильных заправочных станций Свердловской области. Имитационная модель реализована в системе AnyLogic. В качестве исходных данных взята статистика работы сети АЗС «Башнефть» в Свердловской области. Актуальность разработки модели обусловлена тем, что модель помогает оценить эффективность работы сети автозаправочных станций, решать задачи, связанные с оптимизацией различных операций и процессов, с сокращением затрат, расходов и издержек, и позволяет анализировать загруженность системы.

Область применения потенциальной имитационной модели обширна, так как созданная модель может быть интегрирована в работу не только рассматриваемой сети АЗС, но и любой сети автозаправочных станций в любой точке страны и мира. Для использования полученных результатов работы имитационной модели не нужно иметь техническую, информационно-технологическую подготовку, что крайне эффективно с точки зрения скорости и выполнения работ со стороны бизнеса любого проекта.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, AnyLogic, логистика, сеть автозаправочных станций.

Ilin Y.V., Aksyonov K.A. Development of a simulation model for a network of car refueling stations.

The paper discusses the process of operation in the network of car refueling stations in the Sverdlovsk region. The simulation model is implemented in the AnyLogic software system. The statistics of the operation of the Bashneft gas station network in the Sverdlovsk region are taken as initial data. The relevance of the model development is due to the fact that the model helps to measure the efficiency of the network of gas stations, solve problems related with the optimization of various operations and processes, with a reduction in expenses, costs and outgoings, and allows you to analyze the workload of the system.

The scope of the potential simulation model is extensive, since the created model can be integrated into the operation of not only the gas station network in question, but also any network of gas stations anywhere in the country and the world. To use the obtained results of the simulation model, you do not need to have technical, information technology training, which is extremely effective in terms of speed and performance of work on the part of the business of any project.

Keywords: simulation modeling, agent modeling, AnyLogic, logistic, petrol stations network.

Искандеров Ю.М., Чумак А.С., Шахнов С.Ф. Особенности имитационного моделирования перевозки негабаритных грузов.

В статье рассмотрен подход, учитывающий при имитационном моделировании особенности перевозки негабаритных грузов. Изложены факторы технологического характера, оказывающие существенное влияние на указанную перевозку и, соответственно, ее имитационное моделирование. Представлена модель, учитывающая существующие особенности такой перевозки, релевантная информация о которой содержится в базе знаний.

Ключевые слова: имитационное моделирование; негабаритный груз; перевозка; база знаний.

Iskanderov Y.M., Chumak A.S., Shakhnov S.F. Features of simulation of oversized cargo transportation.

The article considers an approach that takes into account the features of oversized cargo transportation in simulation. The factors of a technological nature that have a significant impact on the specified transportation and, accordingly, its simulation are described. A model is presented that takes into account the existing features of such transportation, relevant information about which is contained in the knowledge base.

Keywords: simulation; oversized cargo; transportation; knowledge base.

Казаков Д.А., Аксенов К.А., Аксенова Е.К. Разработка имитационной модели работы службы доставки завода по производству напитков и бутилированной воды.

Имитационное моделирование достигло больших успехов в мире информационных технологий. Интерес к этому виду компьютерного моделирования напрямую связан с передовым технологическим развитием имитационных систем, которые сегодня представляют собой мощные аналитические инструменты, позволяющие целостно оценивать результаты моделирования. В статье решается задача анализа узких мест процессов завода по производству напитков и бутилированной воды.

Для того, чтобы понять потенциальный спрос на продукт на рынке и наглядно продемонстрировать существующие преимущества имитационного моделирования, было решено разработать имитационную модель в средстве разработки – AnyLogic.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, AnyLogic, логистика.

Kazakov D.A., Aksyonov K.A., Aksyonova E.K. Development of a simulation model of the delivery service of a plant for the production of beverages and bottled water.

Simulation modeling has made great strides in the world of information technology. Interest in this type of computer modeling is directly related to the advanced technological development of simulation systems, which today represent powerful analytical tools that allow a holistic assessment of modeling results.

In order to understand the potential demand for the product in the market and clearly demonstrate the existing advantages of simulation modeling, it was decided to develop a simulation model in the development tool – AnyLogic.

Keywords: simulation modeling, agent modeling, AnyLogic, logistic.

Кимяев И.Т. Концептуальный подход к синтезу архитектур жизнеспособных информационно - управляющих систем.

В статье предлагается рассмотреть обобщенную концептуальную схему, описывающую подход к решению проблемы создания интегрированных управляющих систем для принятия управленческих решений в общей структуре поддержания вертикально-интегрированными объектами хозяйственной деятельности в жизнеспособном состоянии. Предложенная концептуальная модель базируется на методологии управления сложностью, которая разрабатывается, в т.ч., автором статьи и положена в основу методического подхода, обосновывающего порядок планомерной и эволюционной замены на производственных объектах операторов – технологов как лиц, принимающих решения, на функционально эквивалентные информационно-управляющие программно- аппаратные комплексы.

Ключевые слова: объект управления, интегрированная система управления, нечётко-возможностный подход, управление сложностью, жизнеспособность, лицо принимающее решение, эвристические правила.

Kimyaev I.T. Conceptual approach to the synthesis for viable information control systems architectures.

The article proposes to consider a generalized conceptual scheme that describes an approach to solving the problem of synteZ integrated control systems, that making management decisions in the overall structure of maintaining vertically integrated buisiness unit in a viable state. The proposed conceptual model is based on the complexity management methodology, which is developed, among other things, by the article author and forms the methodological approach basis, that substantiates the order of systematic and evolutionary replacement decision makers at production facilities, with functionally equivalent software and hardware complex.

Keywords: control object, integrated control system, viability, fuzzy-possibility approach, complexity management, viability, decision maker, heuristic rules.

Красиков А.А., Аксенов К.А., Аксенова О.П. Разработка имитационной модели снабжение сети строительных магазинов.

В работе рассматриваются процесс снабжения строительных магазинов г. Екатеринбург и Свердловской области. Имитационная модель реализована в системе AnyLogic. Сбор исходных данных был осуществлен на основании существующей системы строительных магазинов «ДомСтрой». Разработка модели обусловлена тем, что модель помогает оценить эффективность работы системы поставок строительных товаров, так же с помощью такой модели можно проанализировать затрачиваемые ресурсы на ее поддержание, проанализировать загруженность системы, уменьшить время выполнения заказов, путем определения проблемных мест, в последствии чего появляется возможность составить план действий по их устранению.

Область применения результирующей имитационной модели обширна, так как созданная модель может быть интегрирована в работу не только компании г. Екатеринбург и Свердловской области, но и любой транспортно-логистической компании в любой точке страны и мира, специализирующуюся на любых товарах. Для ее использования не нужно иметь техническую, информационно-технологическую подготовку, что крайне эффективно с точки зрения скорости и выполнения работ со стороны бизнеса любого проекта.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, AnyLogic, логистика.

Krasikov A.A., Aksyonov K.A., Aksyonova O.P. Development of a simulation model: supply of a network of construction stores.

The paper discusses the process of supplying construction stores in Yekaterinburg and Sverdlovsk region in the AnyLogic software system by building a simulation model, conducting experiments on the created model and analyzing the results obtained. The collection of initial data was carried out on the basis of the existing system of construction shops «DomStroy». The scientific novelty of the developed model is due to the fact that the model helps to assess the efficiency of the system for the supply of construction goods, aswell as with the help of such a model, you can dynamically analyze the resources spent on its maintenance, analyze the workload of the system, reduce the time of order fulfillment by identifying problem areas, after which it becomes possible to draw up an action plan to eliminate them.

The scope of application of the resulting created simulation model of the dissertation is extensive, since the created model can be integrated into the work of not only a company in Yekaterinburg and the Sverdlovsk region, but also any transport and logistics company anywhere in the country and the world specializing in any goods. To use it, you do not need to have technical, information technology training, which is extremely effective in terms of speed and performance of work on the part of the business of any project.

Keywords: simulation modeling, agent modeling, AnyLogic, logistic.

Кудряшов А.Н., Алёшин Е.Н. Интерактивная модель имитации сбоев при оперативном управлении технологическими процессами на основе использования модифицированных стохастических сетей Петри.

Представляется модель проявления сбоев в ходе управления технологическими процессами различного рода, такими, где требуется участие человека-оператора, диспетчера, как правило, связанными с перемещением чего-либо в пространстве (функционирование перерабатывающих предприятий, конвейеров, организация движения железнодорожного, автотранспорта, судоходства, воздушных сообщений). Для конкретной системы управления модель динамично формируется из набора однотипных фрагментов стохастической сети Петри, модифицированной для поставленной задачи. Разработанную модель предполагается использовать как для подготовки соответствующих специалистов, так и для совершенствования технологии оперативного управления рассматриваемыми объектами.

Ключевые слова: диспетчер, технологический процесс, операция управления, сбой, неопределенность, сеть Петри.

Kudryashov A.N., Aleshin E.N. Interactive simulation model of failures in the operational management of technology processes based on the use of modified stochastic Petri nets.

A model is presented for the manifestation of failures in the course of managing various kinds of technological processes, such as those that require the participation of a human operator, a dispatcher, as a rule, associated with the movement of something in space (the functioning of processing enterprises, conveyors, the organization of the movement of railway, motor transport, shipping, air messages, ensuring the use of spacecraft, etc.). For a specific control system, the model is dynamically formed from a set of similar fragments of a stochastic Petri net, modified for the task. The developed model is supposed to be used both for training relevant specialists and for improving the technology of operational management of the objects under consideration.

Keywords: dispatcher, technological process, control operation, failure, uncertainty, Petri net.

Мартынова Л.А., Розенгауз М.Б. Имитационная система обработки сверхширокополосных сигналов для определения местоположения малоразмерного БВС в целях безопасности АНПА.

Для определения местоположения малоразмерного беспилотного воздушного судна при его несанкционированном пролете над морскими объектами разработана имитационная система определения его местоположения разностно-дальномерным методом по сигналу, излучаемому с его борта. Учтено затухание сигнала, сформирована зона устойчивого приема сверхширокополосного сигнала. Получены оценки влияния погрешности определения разности моментов прихода сигналов – на погрешность определения местоположения беспилотного воздушного судна.

Ключевые слова: малоразмерное беспилотное воздушное судно, определение местоположения, разностно-дальномерный метод, пространственно-разнесенные приемники, интерполяция кубическим сплайном.

Martynova L.A., Rosenghaus M.B. Simulation system for processing ultra-wideband signals to determine the location of a small-sized UAV for AUV safety purposes.

To determine the location of a small unmanned aerial vehicle during its unauthorized flight over maritime objects, a simulation system for determining its location using the difference-rangefinder method using a signal emitted from its side has been developed. Signal attenuation is taken into account, and a zone of stable reception of an ultra-wideband signal is formed. Estimates of the influence of the error in determining the difference in the moment of arrival of signals on the error in determining the location of an unmanned aircraft were obtained.

Keywords: small-sized unmanned aerial vehicle, location determination, difference-rangefinding method, spatially separated receivers, cubic spline interpolation.

Нгуен Минь Тьен Моделирование системы развития морских портов Республики.

В статье представлена модель системы развития морских портов Республики Вьетнам. Рассматриваются факторы, влияющие на спрос и на развития переработки системы морских портов. В данной статье построена имитационная модель с помощью программы Anylogic. Проведен анализ полученных результатов и выведен прогнозируемый объем перевозки морских портов Республики Вьетнама на 2030 год.

Ключевые слова: транспорт, транспортно-инфраструктурная система, транспортная технология, морской порт, имитационное моделирование, дискретно – событийное моделирование.

Nguyen Minh Tien Modeling the development system of sea ports of the Republic.

The article presents a model of the development system of seaports of the Republic of Vietnam. The factors influencing demand and the development of processing of the seaport system are considered. In this article, a simulation model was built using the Anylogic program. An analysis of the results obtained was carried out and the predicted volume of transportation of the sea ports of the Republic of Vietnam for 2030 was derived.

Keywords: transport, transport and infrastructure system, transport technology, seaport, simulation modeling, discrete event modeling.

Одоевский С.М., Рафальская М.И., Зизевский В.А., Анищенко Г.И. Оптимизация распределения мультимедийного трафика по нескольким маршрутам на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования работы узлов коммутации мультисервисной сети связи в виде систем массового обслуживания.

Рассматривается решение задачи оптимизации распределения мультимедийного трафика, описываемого распределениями вероятностей Вейбулла и Парето, по нескольким маршрутам при неизвестных аналитических зависимостях, которые предлагается получить путем предлагаемого способа аппроксимации результатов имитационного моделирования работы узлов коммутации мультисервисной сети в виде соответствующих систем массового обслуживания.

Ключевые слова: мультимедийный трафик, распределения Вейбулла и Парето, имитационное моделирование, аппроксимация, распределение трафика по нескольким маршрутам.

Odoevsky S.M., Rafalskaya M.I., Zizevsky V.A., Anishchenko G.I. Optimization of the distribution of multimedia traffic along several routes based on approximation of the results of simulation modeling of the operation of switching nodes of a multiservice communication network in the form of queuing systems.

The solution of the problem of optimizing the distribution of multimedia traffic, described by the probability distributions of Weibull and Pareto, along several routes with unknown analytical dependencies, which are proposed to be obtained by the proposed method of approximating the results of simulation of the operation of switching nodes of a multiservice network in the form of appropriate queuing systems, is considered.

Keywords: multimedia traffic, Weibull and Pareto distributions, simulation modeling, approximation, traffic distribution over several routes.

Окольнішников В.В., Рудометов С.В., Журавлев С.С. Возможности распределенного имитационного моделирования в системе MTSS.

В системе имитационного моделирования MTSS реализована возможность распределенного имитационного моделирования. Для реализации этой возможности использован стандарт High Level Architecture. Для реализации транспортного уровня HLA использована технология WebSocket. В качестве примера применения распределенного имитационного моделирования представлена федерация, состоящая из двух федератов: имитационной модели очистного забоя угольной шахты и имитационной модели конвейерной сети угольной шахты.

Ключевые слова: распределенное имитационное моделирование, HLA, WebSocket, угольная шахта, очистной забой, конвейерная сеть.

Okolnishnikov V.V., Rudometov S.V., Zhuravlev S.S. Distributed simulation possibilities in the MTSS system.

The MTSS simulation system implements the possibility of distributed simulation. To implement this feature, the High Level Architecture standard was used. WebSocket technology is used to implement the HLA transport layer. As an example of the use of distributed simulation, a federation presented, it consists of two federates: a simulation model of a coalmine working face and a simulation model of a coalmine conveyor network.

Keywords: distributed simulation, HLA, WebSocket, coalmine, working face, conveyor network.

Павлов А.Н., Алёшин Е.Н., Воротягин В.Н, Серегин Г.Г. Исследование путей продления сроков активного функционирования малых космических аппаратов в условиях деструктивных воздействий на основе многокритериального аналитико-имитационного моделирования.

При решении задачи многокритериального структурно-функционального синтеза вариантов конфигурации бортовой системы малого космического аппарата следует учитывать воздействия деструктивных факторов космического пространства на радиоэлектронную аппаратуру. В данной статье рассмотрен комплексный (аналитико-имитационный) подход к моделированию эффективных вариантов бортовой системы малого космического аппарата с целью повышения сроков его активного функционирования. Для оценивания структурно-функциональной живучести и выбора вариантов бортовой системы малого космического аппарата с учетом деструктивных воздействий разработана аналитико-имитационная модель и представлен пример практической реализации предложенного комплексного подхода.

Ключевые слова: аналитико-имитационное моделирование; структурно-функциональная живучесть; многокритериальный синтез.

Pavlov A.N., Aleshin E.N., Vorotyagin V.N., Seregin H.G. Investigation of ways to extend the active functioning of small spacecraft in conditions of destructive impacts on the basis of multi-criteria analytical and simulation modeling.

When solving the problem of multi-criteria structural and functional synthesis of configuration options for the on-board system of a small spacecraft, one should take into account the effects of destructive factors of outer space on radio-electronic equipment. This article discusses an integrated (analytical and simulation) approach to modeling effective options for the on-board system of a small spacecraft in order to increase the duration of its active operation. To assess the structural and functional survivability and select options for the on-board system of a small spacecraft, taking into account destructive impacts, an analytical and simulation model is developed and an example of the practical implementation of the proposed integrated approach is presented.

Keywords: analytical and simulation modeling; structural and functional survivability; multicriteria synthesis.

Павлов А.Н., Алёшин Е.Н., Воротягин В.Н., Серегин Г.Г. Моделирование комбинированной системы управления стабилизацией углового положения космического аппарата с активным координатно-параметрическим демпфированием упругих элементов конструкции.

Организация управления движением космическим аппаратом с присоединенными упругими элементами на основе принципа квазизатвердевания в соответствии с концепцией многоконтурности предполагает решение вопроса о рациональной увязке централизованного и локального управлений в единой системе. Для решения этой проблемы специально был разработан комбинационный подход к обеспечению прецизионной компенсационно-параметрической стабилизации углового движения космического аппарата с присоединёнными упругими элементами конструкции.

Ключевые слова: угловое движение; демпфирование; упругие элементы конструкции; система стабилизации.

Pavlov A.N., Aleshin E.N., Vorotyagin V.N., Seregin H.G. Simulation of a combined control system for stabilizing the angular position of a spacecraft with active coordinate-parametric damping of elastic structural elements.

The organization of motion control of a spacecraft with blocked elastic elements based on the principle of quasi-hardening in accordance with the concept of multiloop includes the solution of questions about the quantum decoupling of centralized and local control in a single system. To solve this problem, a combinational approach was specially developed to ensure a precision compensatory-parametric value of the angular movement of a device with attached elastic structural elements.

Keywords: angular motion; damping; elastic structural elements; stabilization system.

Раменская А.В., Фот Н.П., Яркова О.Н. Агентная модель распространения банковской паники.

Банковская паника негативное явление, подрывающее устойчивость всей финансовой системы. Мировой опыт показывает, что зачастую явления «набегов на банк» не имеет экономически обоснованных оснований. Цель настоящего исследования – разработка имитационной модели процесса банковской паники, позволяющей оценить финансовые показатели банка. В работе предложена имитационная модель процессараспространения банковской паники на основе концепции агентного моделирования в среде AnyLogic. Модель позволяет оценить динамику действующих вкладов, количества клиентов банка, досрочно изъявших вклады, суммарный объем

действующих и изъятых депозитных вкладов на счетах в банке. На основе разработанной модели проведены численные эксперименты. Рассмотрены сценарии поведения системы в зависимости от склонности клиентов к панике и интенсивности контактов клиентов банка. Предложенная в работе модель может быть применена риск-менеджерами банка для анализа процессов досрочного изъятия депозитных вкладов и разработки мероприятий по предотвращению подобных ситуаций.

Ключевые слова: имитационное моделирование, банковская паника, агентное моделирование, оценка рисков, коммерческий банк.

Ramenskaya A.V., Fot N.P., Yarkova O.N. Agent-based Model of Bank Panic Propagation.

Banking panic is a negative phenomenon that undermines the stability of the entire financial system. World experience shows that often the phenomenon of «raids on the bank» has no economically justified grounds. The purpose of this study is to develop a simulation model of the process of bank panic, allowing to assess the financial performance of the bank. The paper proposes a simulation model of the process of spreading bank panic based on the concept of agent modeling in the AnyLogic environment. The model allows us to estimate the dynamics of existing deposits, the number of bank customers who withdrew deposits ahead of schedule, the total volume of existing and withdrawn deposits on bank accounts. Numerical experiments were carried out on the basis of the developed model. The scenarios of the system behavior depending on the tendency of customers to panic and the intensity of contacts of bank customers are considered. The model proposed in the paper can be applied by the bank's risk managers to analyze the processes of early withdrawal of deposits and develop measures to prevent such situations.

Keywords: simulation modeling, agent-based modeling, risk assessment, bank panic, commercial bank.

Самерханов И.З. О влиянии разделения каналов различной производительности на показатели эффективности системы массового обслуживания.

В настоящей работе с помощью средств имитационного моделирования и численных экспериментов исследовано изменение показателей эффективности при разделении 2-х канальной системы массового обслуживания с приборами различной производительности на 2 независимые одноканальные системы. В рамках исследования варьировались соотношения интенсивностей каналов и общая нагрузка на СМО. Показано, что в условиях управления потоком разделение неэквивалентных каналов ухудшает показатели эффективности системы.

Ключевые слова: система массового обслуживания, каналы различной производительности, эффективное администрирование, имитационная модель, разделение каналов.

Samerkhanov I.Z. On the impact of the separation of heterogeneous servers on the efficiency of the queuing system.

In this paper, using simulation modeling tools and numerical experiments, the change in efficiency indicators is investigated when dividing a 2-server queuing system with heterogeneous servers into 2 independent single-server systems. As part of the study, the ratios of server intensities and the total load on the QS varied. It is shown that in the conditions of flow control, the separation of heterogeneous servers worsens the performance indicators of the system.

Keywords: queuing system, heterogeneous servers, effective administration, simulation model, channel separation.

Ситников А.С. Предложения по реализации метода имитации сигнально-помеховой обстановки и их обоснование при полунатурных испытаниях РТС.

Рекомендован метод имитации сигнально-помеховой обстановки на основе алгоритмов имитации дискретных случайных процессов с задаваемыми энергетическими характеристиками. Позволяющий имитировать сигнально-помеховую обстановку на стенде полунатурного моделирования в режиме жесткого модельного времени.

При рекомендованном исполнении стенда полунатурных испытаний РТС возможно уменьшить вычислительную сложность алгоритмов имитации сигнально-помеховой обстановки в режиме жесткого модельного времени и обеспечить требуемую точность, что в свою очередь позволит оценить необходимые тактико-технические характеристики РТС в различных задаваемых вариантах сигнально-помеховой обстановки. А также, произвести проверку обнаружения всех классов целей и работы комплекса функциональных программ первичной обработки и вторичной обработки радиолокационной информации.

Ключевые слова: сигнально-помеховая обстановка, имитация, алгоритмы, метод, полунатурные испытания, радиотехнические средства.

Sitnikov A.S. Proposals for the implementation of a method for simulating a signal-interference situation and their justification during semi-natural tests of the RTS.

A method for simulating a signal-interference situation based on algorithms for simulating discrete random processes with specified energy characteristics is recommended. Allowing to simulate the signal-interference situation at the stand of semi-natural modeling in the mode of rigid model time.

With the recommended design of the RTS semi-natural test stand, it is possible to reduce the computational complexity of the algorithms for simulating the signal-interference situation in the hard model time mode and ensure the required accuracy, which in turn will allow evaluating the necessary tactical and technical characteristics of the RTS in various specified variants of the signal-interference situation. And also, to check the detection of all classes of targets and the operation of a complex of functional programs for primary processing and secondary processing of radar information.

Keywords: signal-interference situation, simulation, algorithms, method, semi-natural tests, radio equipment.

Соловьев Н.А., Павлов А.Д. Разработка имитационной модели дорожного движения в программной среде AnyLogic.

В данной статье изучена и проанализирована загруженность участка улицы Нурсултана Назарбаева в городе Казань, создана модель данного участка в программной среде AnyLogic с использованием библиотеки дорожного движения.

В статье описывается разработка имитационной модели дорожного движения и улучшение пропускной способности дорог путем оптимизации времени работы фаз светофора. Целью данной работы является минимизация времени проезда участков дороги с учетом особенностей инфраструктуры.

Ключевые слова: AnyLogic, имитационное моделирование, автомобильные дороги, транспортные потоки.

Solovyov N.A., Pavlov A.D. Development of a traffic simulation model in the AnyLogic software environment.

In this article, the congestion of the section of Nursultan Nazarbayev Street in Kazan has been studied and analyzed, a model of this section has been created in the AnyLogic software environment using the traffic library.

The article describes the development of a traffic simulation model and the improvement of road capacity by optimizing the operating time of the traffic light phases. The purpose of this work is to minimize the travel time of road sections, taking into account the features of the infrastructure.

Keywords: AnyLogic, simulation modeling, highways, traffic flows.

Стороженко А.М., Фомин И.Н., Костерев А.А., Петров Д.Ю. Разработка агентной модели для планирования траектории полёта беспилотного летательного аппарата.

Произведено исследование алгоритмов расчёта траектории полёта БПЛА, основанных на методе определения геометрических ограничений, приведена диаграмма состояний для алгоритма MultiLIAN, изучены его модификации и проведены эксперименты по расчёту траектории полёта БПЛА для различных модификаций алгоритмов на имитационных моделях в среде AnyLogic. На основании результатов экспериментов даны неформальные рекомендации по использованию различных алгоритмов в конструировании БПЛА.

Ключевые слова: алгоритм, агент, имитационное моделирование, БПЛА, MultiLIAN-CC.

Storozhenko A.M., Fomin I.N., Kosterev A.A., Petrov D.Yu. Development of an agent-based model for UAV flight trajectory planning.

A study was carried out on algorithms for calculating the flight path of a UAV based on the method of determining geometric constraints, a state diagram for the MultiLIAN algorithm was presented, its modifications were studied and experiments were conducted on calculating the flight path of a UAV for various modifications of the algorithms on simulation models in the AnyLogic environment. Based on the experimental results, informal recommendations are given on the use of various algorithms in the design of UAVs.

Keywords: algorithm, agent, simulation, UAV, MultiLIAN-CC.

Тимисков М.В. Создание программного имитатора изделия.

В статье приводится описание технологии создания программных имитаторов-тренажеров изделия. Использование программных имитаторов-тренажеров изделия позволяет снизить количество ошибок при управлении изделиями и повысить качество управления в целом. Однако, в условиях реального производства разработка программных имитаторов в ограниченные сроки является трудоемкой и сложной задачей. Предлагается технология создания имитаторов с помощью программного обеспечения, используемого для отладки и комплексной отработки программного обеспечения изделий.

Ключевые слова: отладочный комплекс, программное обеспечение изделия, имитатор-тренажер изделия.

Timiskov M.V. Creating a software product simulator.

The article describes the technology for creating software simulators and product simulators. The use of software product simulators allows you to reduce the number of errors when managing products and improve the quality of management in general. However, in real

production conditions, developing software simulators in a limited time frame is a labor-intensive and complex task. A technology for creating simulators using software used for debugging and complex testing of product software is proposed.

Keywords: debugging complex, product software, product simulator-simulator.

Фасхутдинова А.Р., Григорьева Д.Н. Имитационное моделирование движения на участке дороги.

Результат моделирования может послужить основой для принятия решений по транспортно-дорожной сети в городе. Целью написания данной работы является решение вопросов, касающихся планирования дорожной сети в городе, установки знаков дорожного движения, введения новых правил для регламентации парковки или въездов в город. Анализирование различных участков дороги позволяет выявить их загруженность и найти оптимальные пути решения проблемы.

Ключевые слова: имитационное моделирование, транспортные потоки, оптимизация, моделирование, организация движения.

Faskhutdinova A.R., Grigorieva D.N Simulation of traffic on a road section.

The simulation result can serve as a basis for decision-making on the transport and road network in the city. The purpose of writing this work is to address issues related to the planning of the road network in the city, the installation of traffic signs, the introduction of new rules for the regulation of parking or entrances to the city. Analyzing various sections of the road allows you to identify their congestion and find optimal ways to solve the problem.

Keywords: simulation modeling, traffic flows, optimization, modeling, traffic organization.

Хабаров Р.С., Левчик Э.С., Лохвицкий В.А. Аппроксимация вероятностно-временных характеристик сложных систем массового обслуживания на основе регрессионных моделей машинного обучения.

Предлагается подход к получению начальных моментов времени пребывания заявок в системе массового обслуживания с дисциплиной Fork-Join на основе регрессионных моделей машинного обучения.

По сравнению с известными методами, предложенная аппроксимация позволяет получить оценки начальных моментов времени пребывания при произвольном коэффициенте вариации времени обслуживания с относительной погрешностью в пределах 4%, а при экстремальных значениях коэффициента загрузки – до 7%.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, процессы расщепления и слияния заявок, fork-join, машинное обучение, регрессионные модели.

Khabarov R.S., Levchik E.S., Lokhvitsky V.A. Approximation of complex queuing systems probabilistic-temporal characteristics based on regression models of machine learning.

An approach is proposed to obtain the initial moments of the stay of applications in the queuing system with the Fork-Join discipline based on regression models of machine learning.

In comparison with the known methods, the proposed approximation allows us to obtain estimates of the initial moments of the residence time at an arbitrary coefficient of variation of the service time with a relative error within 4%, and at extreme values of the load factor – up to 7%.

Keywords: queuing systems, splitting and merging of applications, fork-join, machine learning, regression models.

Хасанов Д.С. Имитационное моделирование деятельности склада.

В статье рассматривается моделирование отдельных видов деятельности на складе. Рутинная логистическая деятельность - это прием товара, контроль товара и хранение товара в складской системе на стороне входа на склад. На стороне выхода это такие виды деятельности, как комплектация, упаковка и отгрузка. Экономика складских операций зависит от эффективности выполняемых логистических действий и от развертывания технических средств. Основная цель статьи - представить созданную имитационную модель для выбранной складской операции - приемки товара на склад. Эта операция включает в себя выгрузку товаров из грузовиков, перемещение их на физическую приемку, где осуществляется количественный и качественный контроль товаров (приемка товаров). Анализ этой деятельности предшествовал созданию имитационной модели в рабочих условиях. Исследование проводилось путем наблюдения и измерения рабочего цикла вилочного погрузчика, который разгружал паллеты с тележек. Полученные в результате анализа данные послужили исходными данными для создания имитационной модели. Для создания имитационной модели использовалась имитационная система EXTENDSIM8. После создания модели было проведено несколько экспериментов по проверке ее работоспособности. В статье оцениваются 3 эксперимента и анализируются их результаты. Основным преимуществом, новизной статьи является моделирование выбранного вида деятельности для условий конкретной компании. Результаты экспериментов являются обоснованной базой для создания операционного инструмента для компании.

Ключевые слова: имитационное моделирование, склад, дорога, транспортное средство, паллеты, оптимизация.

Khasanov D.S. Simulation modeling of warehouse operations.

The article deals with modeling of individual activities in the warehouse. Routine logistics activities are receiving goods, goods control and storage of goods in the warehouse system on the inbound side of the warehouse. On the exit side, these are activities such as picking, packing and shipping. The economics of warehouse operations depends on the efficiency of the logistics activities performed and the deployment of technical means. The main objective of the paper is to present the simulation model created for a selected warehouse operation - receiving goods into the warehouse. This operation includes the unloading of goods from trucks, moving them to physical receiving, where the quantitative and qualitative control of goods is carried out (goods acceptance). The analysis of this activity preceded the creation of a simulation model in a working environment. The study was conducted by observing and measuring the duty cycle of a forklift truck that unloaded pallets from carts. The data obtained from the analysis served as input data for the creation of the simulation model. EXTENDSIM8 simulation system was used to create the simulation model. After the creation of the model, several experiments were conducted to verify its performance. The paper evaluates 3 experiments and analyzes their results. The main advantage, novelty of the article is the modeling of the selected activity for the conditions of a particular company. The results of the experiments are a reasonable basis for creating an operational tool for the company.

Keywords: simulation modeling, warehouse, road, vehicle, pallets, optimization.

Хомоненко А.Д., Кириенко А.Б. Подход к расчету характеристик надежности и доступности функционирования информационных систем путем имитационного моделирования в системе GPSS World.

Авторами проводится анализ средств моделирования надежности информационных систем. Делаются выводы о пригодности использования имитационных моделей, относительно аналитических, учитывая опыт их применения другими авторами. Дается

описание среды моделирования GPSS World и GPSS Studio. Описывается имитационная модель распределенной информационной системы в виде системы массового обслуживания с отказами и даются рекомендации по ее использованию.

Ключевые слова: имитационное моделирование, надежность систем, gpss world, gpss studio, система массового обслуживания.

Khomonenko A.D., Kirienko A.B. An approach to calculating the characteristics of reliability and availability of information systems by simulation modeling in the GPSS World system.

The authors analyze the means of modeling the reliability of information systems. Conclusions are drawn about the suitability of using simulation models, relatively analytical, taking into account the experience of their use by other authors. The GPSS World and GPSS Studio modeling environments are described. A simulation model of a distributed information system in the form of a queuing system with failures for calculating reliability indicators in the GPSS language is described.

Keywords: simulation modeling, system reliability, gpss world, gpss studio, queuing system.

Шаститко Д.В., Новыш Б.В. Ограничения применения имитационного моделирования управления в условиях неопределенности.

В статье рассматриваются некоторые ограничения применения имитационных моделей для принятия экономических решений в среде с высокой степенью неопределенности. Описанные ограничения объединены в 4 рамки: связанные с сложностью моделей и ограничениями вычислительной мощности, нелинейностью в экономических процессах, влиянием когнитивных искажений на принятие решений и возможностью верификации. Также рассматриваются искажения при формировании интервальных экспертных оценок экономических параметров. Описан итерационный цикл адаптации модели как инструмент для повышения качества управления в условиях неопределенности.

Ключевые слова: имитационное моделирование, ограничения, неопределенность, когнитивные искажения, гибкие методологии.

Shastitko D.V., Novysh B.V. Limitations of simulation modeling of management under uncertainty.

The article discusses some limitations of the application of simulation models for economic decision-making in an environment with a high degree of uncertainty. The described limitations are combined into 4 frames: related to the complexity of models and limitations of computing power, nonlinearity in economic processes, the influence of cognitive biases on decision making and the possibility of verification. Biases in the formation of interval expert estimates of economic parameters are also considered. The iterative cycle of model adaptation as a tool for improving the quality of management under uncertainty is described.

Keywords: simulation modeling, constraints, uncertainty, cognitive biases, agile.

Швец Т.С. Расчёт характеристик многоканальной неэкспоненциальной системы массового обслуживания с отрицательными заявками и групповым удалением положительных.

Предлагается подход к расчету стационарного распределения вероятностей состояний неэкспоненциальной системы массового обслуживания с «отрицательными» заявками, действия которых заключается удалении группы положительных заявок. Расчет некоторого распределения базируется на аппроксимационных методах теории

очереди. Полученные результаты сопоставлены с результатами имитационного моделирования.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, отрицательные заявки, неэкспоненциальное распределение.

Shvets T.S. Calculation of the characteristics of a multi-channel non-exponential queuing system with negative orders and group removal of positive ones.

An approach is proposed to the calculation of the stationary probability distribution of states of a non-exponential queuing system with «negative» applications, the action of which is to remove a group of positive applications. Russell some distribution is based on approximation methods of queue theory. The results obtained are compared with the results of simulation modeling.

Keywords: queuing systems, negative applications, non-exponential distribution.

Шнайдер И.А. Имитационное моделирование в задаче локализации источников повышенного атмосферного выброса.

Поставлена задача локализации источника повышенного выброса атмосферных поллютантов на основе данных об инвентаризованных источниках и результатов мониторинга исследуемой территории. Предлагается подход к решению задачи путем имитационного моделирования воздействия повышенного выброса из различных точек с использованием развитой модели Гауссова шлейфа.

Ключевые слова: экология, поллютанты, Гауссов шлейф, имитационное моделирование.

Shnaider I.A. Simulation modeling in the problem of locating sources of increased atmospheric emissions.

The task of localizing the source of elevated emissions of atmospheric pollutants based on data from inventoried sources and monitoring results of the investigated area is formalized. An approach to solving the problem is proposed through the use of simulation modeling of the impact of increased emissions from various points, employing an advanced Gaussian plume model.

Keywords: ecology, pollutants, Gaussian plume, simulation modeling.