

АННОТАЦИИ СТАТЕЙ / ABSTRACTS

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**С.В. Микони, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов**

Рассматриваются свойства моделей сложных объектов (СЛО), исследуемые для оценивания их качества. Приводится классификация свойств, влияющая на их выбор и оценку. Излагается подход к оцениванию качества моделей и полимодельных комплексов, привязанный к этапам моделирования СЛО. Эффективность и ее показатели рассматривается как окончательные показатели качества моделирования, влияющие на их выбор и выбор соответствующих инструментальных среды моделирования. Предлагается системно-управленческая интерпретация оценивания качества моделей и эффективности комплексного моделирования СЛО.

Ключевые слова: модель, модель структурная, функциональная, операционная, структурно-функциональная, свойства модели, качество модели, моделирование, эффективность.

QUALITY OF MODELS AND EFFICIENCY OF MODELING**B.V. Sokolov, S.V. Mikoni, R.Ju. Jusupov**

The properties of models used to evaluate their quality are considered. A classification of properties that affects their selection and evaluation is given. An approach to assessing the quality of models and multiple-model's complexes is presented, tied to the stages of modeling. Efficiency is considered as the final indicator of modeling, affecting the choice of model and modeling environment. A system-management interpretation is proposed for assessing the quality of models and the effectiveness of complex object's modelling and simulation.

Keywords: model, the structural, functional, operational, structural-functional model, model properties, the quality of the model, modeling, efficiency.

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ КАК ВИРТУАЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ**А.В. Борщёв, А. Mahdavi, А.А. Жеребцов**

Имитационное моделирование традиционно используется для решения инженерных и бизнес-задач уже около 50 лет, но в свете прогресса в области искусственного интеллекта оно получает абсолютно новую, интересную и широкую сферу применения. В докладе мы рассмотрим ИМ как часть этой области. Сегодня разработчики ИИ совершают экспансию из мира игр на реальные задачи в производстве, логистике, сфере услуг, здравоохранении, управлении активами. Это требует наличия детальной и реалистичной виртуальной среды для обучения и тестирования алгоритмов ИИ– иона естественным образом может быть предоставлена имитационными моделями. Мы приведём подробный пример использования ИМ в обучении с подкреплением, приведём примеры архитектур интеграции ИМ с нейронными сетями и обсудим возникающие вопросы.

SIMULATION MODELS AS VIRTUAL ENVIRONMENTS TO TRAIN AND TEST ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR BUSINESS APPLICATIONS**A.V. Borshchev, A. Mahdavi, A.A. Zherebtsov**

Although simulation modeling has been around for decades addressing general purpose technical and business applications, the current trends and recent advancements in technology have given significant relevance on a broader scale. In this discussion we will consider simulation modeling as a part of AI technology. As today's AI developers are working on increasingly wide range of business applications, they require a powerful and realistic virtual environment to train and test their agents, which naturally creates a new type of demand and requirements for simulation models. We will conclude with major use cases and architectures of how simulation models intersect and integrate with machine learning.

**О ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.
ПРОЕКТ IN MOTION****В.А. Рыжов, Ю.Б. Сениченков, Б.В. Соколов, Ю.В. Шорников**

В работе подводятся итоги работы российских участников проекта InMotion «Новые стратегии обучения инженеров с использованием сред визуального моделирования и открытых учебных платформ». (ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 573751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP). Обсуждаются разработанные учебники, курсы, и их электронные аналоги, рекомендуемые для обучения среды визуального моделирования, курсы для самостоятельной подготовки в области моделирования (МООС).

TRAINING ENGINEERS IN COMPUTER MODELING. INMOTION PROJECT**V.A. Ryzhov, Yu.B. Senichenkov, B.V. Sokolov, Yu.V. Shornikov**

The results of Russian partners of InMotion Project “Innovative teaching and learning strategies in open modelling and simulation environment for student-centered engineering education». (ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 573751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP) are presented. New developed textbooks and problem books, courses, and their e-prototypes, recommended for training tools for modeling and simulation complex dynamical systems, MOOCS are discussed.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ**В.В. Девятков, Т.В. Девятков**

В статье описаны основные направления применения имитационного моделирования при корректировке и управлении российскими национальными проектами. Особое внимание уделено расширению инструментов сетевого планирования и управления проектами с помощью моделей. На примере среды моделирования GPSS Studio, показана возможность широкого использования моделей при оптимизации отдельных наиболее критичных систем, входящих в национальный проект. Детально применение имитационного моделирования показано на проекте «Производительность труда и поддержка занятости».

Ключевые слова: национальный проект, сетевое планирование и управление, имитационное моделирование, оптимизация, производительность труда.

SIMULATION AND NATIONAL PROJECTS**V.V. Devyatkov, T.V. Devyatkov**

The article describes the main areas of application of simulation in the adjustment and management of Russian national projects. Particular attention is paid to the expansion of network planning and project management tools using models. On the example of the modeling environment GPSS Studio, the possibility of widespread use of models in the analysis of the individual most critical systems included in the national project is shown. Detailed application of simulation is shown on the project "Productivity and employment support".

Keywords: national project, network planning and management, simulation modeling, optimization, labor productivity.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ АЗС**К.А. Аксенов, А.Л. Айвазян, А.Л. Неволина**

Оптимизация грузовых и пассажирских транспортных потоков главная задача компаний занимающихся перевозками и компаний, работа которых связана с обеспечением доставки заказов и услуг, перевозки пассажиров. От эффективности решения этих задач зависит как качество работы компании, так и прибыль, поскольку эффективная работа в прямую связана с сокращением издержек - минимизацией используемого транспорта, сокращением излишних пробегов и расхода топлива, минимизацией человеческого труда и пр. Именно поэтому на сегодняшний день очень важно исследовать разные алгоритмы и подходы к этой задаче и найти самый эффективный из них.

Ключевые слова: сеть автозаправочных станций, планирование, имитационное моделирование, агентный подход.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS AND ALGORITHMS OF ORGANIZATION AND PLANNING OF WORK OF GAS STATIONS**K.A. Aksyonov, H.L. Ayvazyan, A.L. Nevolina**

Optimization of freight and passenger traffic flows is the main task of companies involved in transportation and companies whose work is related to the delivery of orders and services, passenger transportation. Both the quality of the company's work and the profit depend on the effectiveness of solving these problems, since effective work is directly related to reducing costs - minimizing the use of vehicles, reducing unnecessary mileage and fuel consumption, minimizing human labor, etc. That is why today is very important to study different algorithms and approaches to this task and find the most effective of them.

Keywords— gas stations network, scheduling, simulation, agent approach.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC**Д.В. Акельдов, В.В. Мокшин**

В статье в виде диаграммы представлена структурная схема организации работы распределительного центра. Приведена имитационная модель работы распределительного центра в системе имитационного моделирования AnyLogic. Проведена оптимизация работы модели распределительного центра за счет изменения технических параметров обрабатывающих ресурсов и ресурсов системы имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизация, распределительный центр, система AnyLogic.

OPTIMIZATION OF THE WORK OF THE DISTRIBUTION CENTER IN THE ENVIRONMENT OF SIMULATION ANYLOGIC**D.V. Akeldov, V.V. Mokshin**

The article presents in the form of a diagram a block diagram of the organization of the work of the distribution center. The simulation model of the distribution center in the simulation system AnyLogic. The work of the distribution center model was optimized by changing the technical parameters of the processing resources and resources of the AnyLogic simulation system.

Keywords: simulation modeling, optimization, distribution center, AnyLogic system.

ТЕОРИЯ ПРАКТИКИ АГРЕГИРОВАНИЯ ВЕКТОРНЫХ КРИТЕРИЕВ ПРИ СИСТЕМНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ: ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДНОСТЬ, КАЧЕСТВО И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ**А.В. Алексеев**

В развитие проблематики квалитетического обеспечения конкурентной способности и перспективности развития объектов морской техники и морской инфраструктуры, решаемых при этом проблем системного моделирования, проектирования и оптимизации особое внимание уделяется теоретическим и практическим вопросам агрегирования векторных критериев. Представлен подход, метод, алгоритмы и практика агрегирования векторных критериев при системном моделировании, которые могут быть практически использованы при верификации и оценке валидности результатов, качества и эффективности метода моделирования, в том числе имитационного, а также при сравнительной оценке и квалитетическом ранжировании используемых методов моделирования, при оценке их конкурентной способности и перспективности развития.

THEORY OF PRACTICE AGGREGATION OF VECTOR CRITERIA IN SYSTEM MODELING OF MARINE ENGINEERING OBJECTS: VERIFICATION AND VALIDITY, QUALITY AND EFFICIENCY OF MODELING**A.V. Alekseev**

Focusing qualitative competitive abilities and prospects of development of marine facilities and marine infrastructure, solve the problems of system modeling, design and optimization, special attention is paid to the theoretical and practical issues in the aggregation of a vector of criteria. The approach, method, algorithms and the practice of aggregation of a vector of criteria in the system modeling, which can be used for verification and assessment of the validity of the results, quality and efficiency of modeling method, including simulation, as well as a comparative evaluation and qualitative ranking of the used modeling techniques when evaluating their competitiveness and development prospects.

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАСТУЩИХ СЕТЯХ**В.А. Бадрызов, В.Н. Задорожный**

Выполненные исследования изменения во времени параметров случайных графов дают основания говорить о том, что численный метод обеспечивает достаточную точность расчетов – относительная погрешность результатов, полученных различными методами, не превышает 10%. В отличие от метода имитационного моделирования, численный метод во много раз сокращает трудоемкость построения прогнозов важнейших параметров случайных графов с НППС.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ВЗАИМНОГО ПРЕСЛЕДОВАНИЯ**А.А. Бассауэр, В.И. Поленин**

В статье описывается модель варианта задачи преследования, в которой два игрока стремятся поразить друг друга снарядами. Один из них обладает превосходством над другим в дальности обнаружения и, как следствие, упреждающим ударом. Во избежание поражения ответным ударом траектория снаряда имеет угол на дистанции. Второй игрок обладает снарядами, способными наводиться по следу, оставляемому противником и его снарядом при движении в окружающей среде. Модель, разработанная в среде AnyLogic, формирует кинематический образ задачи преследования и позволяет осуществлять наблюдение возможных эффектов.

Ключевые слова: Имитационная модель, взаимное преследование, кривая погони, параллельное сближение, AnyLogic.

THE SIMULATION MODEL OF PURSUING PROBLEM**A.A Bassauer, V.I. Polenin**

In article the model of a variant of a pursuing problem in which two players to aspire to amaze each other with shells is described. One of them possesses the superiority over another in range of detection and as consequence a pre-emptive strike. In order to avoid retaliation the trajectory has a corner on a distance. The second player possesses shells capable to be directed on a trace left the opponent and its shell at movement in environment. The model developed in the environment of AnyLogic and forms a kinematic image of pursuing problem and allows to supervise of possible effects.

Keywords: simulation model, pursuing problem, pursuit curve, parallel distance decreasing, AnyLogic.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛУГАХ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ**С.В. Бегичева**

В статье представлены результаты исследования, выполненного на основе обзора литературы о причинах изменения потребности населения в услугах скорой помощи. Предложено использование методов системной динамики для ранжирования факторов, влияющих на обращаемость населения в скорую помощь. Модель реализована с применением статистических данных г. Екатеринбурга. Результаты моделирования показывают важность структурной сбалансированности системы здравоохранения.

Ключевые слова: Системная динамика, имитационное моделирование, скорая медицинская помощь.

APPLICATION OF SIMULATION MODELING FOR IDENTIFYING FACTORS OF FORMATION OF POPULATION NEEDS IN THE AMBULANCE SERVICES**S.V. Begicheva**

The article presents the results of a study based on a review of the literature on the reasons for the changing needs of the population in ambulance services. It is proposed to use the methods of system dynamics for ranking the factors affecting the appeal of the population to ambulance. The model is implemented using statistical data from Yekaterinburg. Simulation results show the importance of structural balance in the health system.

Keywords: system dynamics, simulation, ambulance.

МОДЕЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПОВЕДЕНИЯ**Ю.И. Бродский**

Данная работа предлагает основы языковой среды для описания и изучения поведения в сложных системах, а также методов его программирования и изменения. Рассматривается класс имитационных моделей, представленный однопараметрическим множеством родов структур в смысле Н. Бурбаки. Рассматриваются морфизмы базисных множеств этих структур, особое внимание уделяется методам, отвечающим за действия модели. На примере окон Овертона показывается, что ничем не ограниченные морфизмы могут привести систему к противоположному поведению. В качестве ограничения возможных преобразований могут выступать инварианты, если потребовать от допустимых преобразований их сохранения. В результате можно получить классификацию поведения систем, в зависимости от инвариантов, сохраняющихся при преобразованиях поведения.

Ключевые слова: сложные системы, поведение, модельный синтез, имитационное моделирование, геометрическая теория поведения.

MODEL SYNTHESIS AND GEOMETRIC THEORY OF BEHAVIOR**Yu.I. Brodsky**

This paper provides a framework for the language environment to describe and study behavior in complex systems, as well as methods for its programming and modifying. We consider a class of simulation models represented by a one-parameter set of species of structure in the N. Bourbaki sense. The morphisms of the base sets of these structures are considered, special attention is paid to the methods responsible for the model actions. On the example of Overton windows it is shown that unrestricted morphisms can lead the system to the opposite behavior. Invariants can be used as a restriction of possible transformations, if one demands their preservation from admissible morphisms. As a result, we can obtain a classification of the behavior of systems depending on the invariants that persist during the transformations of behavior.

Keywords: complex systems, behavior, model synthesis, simulation, geometric theory of behavior.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГРАММ**В.В. Бураков**

В статье представлен подход к управлению качеством программных средств, основанный на применении имитационного моделирования. Базис подхода составляют четыре модели – программного средства, качества, измерения качества, преобразований. Вместе эти модели предоставляют основу для подсистем, образующих имитационную модель, служащую для улучшения качества программного обеспечения. Эта имитационная модель обеспечивает возможность анализа влияния возможных структурных рефакторингов кода на улучшение качества программного обеспечения. Ее использование сможет заложить основу для создания высококачественных программ и обеспечить экономию материальных и человеческих ресурсов, необходимых для их разработки.

Ключевые слова: имитационная модель, качество программного обеспечения, управление качеством программного обеспечения.

THE USE OF SIMULATION MODELING TO IMPROVE SOFTWARE QUALITY**V.V. Burakov**

The article presents an approach to software quality control based on the use of simulation modeling. The approach is based on four models - software, software quality, software quality measurement, and software transformation. Together, these models provide the basis for the subsystems that make up the simulation model, which serves to improve the quality of software. This simulation model provides the ability to analyze the impact of possible structural code refactoring on improving software quality. Its use will be able to lay the foundation for creating high-quality programs and ensure the saving of material and human resources necessary for their development.

Keywords: simulation model, software quality, software quality control.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКЛАДСКИХ ОПЕРАЦИЙ В СРЕДЕ ANYLOGIC**П.О. Бялошицкая**

Для оптимизации складских операций и имеющихся на складе ресурсов, в том числе и трудовых, может помочь компьютерное моделирование. Моделирование – это процесс изображения свойств одного объекта в другом объекте. Моделирование позволяет производить прогноз изменений. Так, весь процесс, происходящий на складе, можно спроектировать в специальной программе, а с помощью манипуляций, можно определить изменения параметров складов при сокращении или увеличении трудовых единиц или имеющихся ресурсов. В статье будет продемонстрирована пошаговая инструкция по построению склада в AnyLogic.

Ключевые слова: имитационное моделирование, товарооборот, модель склада, AnyLogic.

SIMULATION MODELLING OF WAREHOUSE OPERATIONS IN ANYLOGIC PROGRAM**P.O. Byaloshitskaya**

To optimize warehouse processes and available resources in the warehouse, including labor, computer modeling can be used. Modeling is the process of representing the features of one object in another object. Modeling allows you to forecast modifications. All process that take place in the warehouse can be designed in a special program, and with the help of manipulations, it is possible to determine changes in the parameters of the warehouses while reducing or increasing labor units or available resources. The article will demonstrate step-by-step instructions for building a warehouse in AnyLogic.

Keywords: simulation modeling, turnover, warehouse model, AnyLogic.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ VOTING 2PL КАК ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ БЛОКЧЕЙН ТРАНЗАКЦИЙ**С. Ж. Василева**

Блокчейн технология и распределенные базы данных могут сделать финансовые операции и административные услуги быстрее, прозрачнее и надежнее. Чтобы интегрировать технологию с существующими системами, ее нужно исследовать и усовершенствовать. В работе предлагается метод имитационного моделирования как способ проведения исследования и оценивания надежности, пропускная способность и другие параметры систем с распределенными базами данных. Като основной моделирующий алгоритм рассматривается симуляция протокола блокировки большинства копий.

Ключевые слова: блокчейн транзакции, распределенные базы данных, блокировка большинства копий, симуляции, GPSS World.

A SIMULATION MODEL OF VOTING 2PL PROTOCOL AS AN APPROACH TO MODELING BLOCK CHAIN TRANSACTIONS**S.Z. Vasileva**

Block chain technology and distributed database systems can make financial operations and administrative services faster, more transparent and more reliable. In order to integrate with existing systems, it must be researched and improved. The work is a method of imitation modeling as a way to conduct research and evaluation security, throughput and other parameters of systems with distributed databases. Voting Two-Phase Locking protocol simulation is considered as the basic modeling algorithm.

Keywords: blockchain transactions, distributed databases, Voting two-phase locking, simulations, GPSS World.

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ПРОЦЕССОРНЫХ ЯДЕР KMX32 И RISC-V В СЕТЕВОМ ПРОЦЕССОРНОМ УСТРОЙСТВЕ**Д.Ю. Волканов, С.О. Беззубцев, Ш.Р. Жайлауова, Ю.А. Скобцова,
Р.Л. Смелянский, А.А. Сухова**

В данной работе исследуется вопрос применимости ядер KMX32 и RISC-V в качестве вычислительных узлов в сетевом процессорном устройстве (СПУ). Описывается экспериментальное исследование производительности имитационной модели СПУ для обоих случаев.

ESTIMATION OF THE APPLICABILITY OF KMX32 AND RISC-V PROCESSOR CORES IN A NETWORK PROCESSOR UNIT

**D.Yu. Volkanov, S.O. Bezzubtsev, S.R. Zhailauova, Yu.A. Skobtsova,
R.L. Smelyansky, A.A. Sukhova**

The applicability of the KMX32 and RISC-V cores as computing nodes in a network processing unit (NPU) is studied in this paper. The numerical experiments were carried out in order to compare performance of simulation model of NPU based on KMX32 and RISC-V cores.

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ БИБЛИОТЕКИ ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ В СРЕДЕ GPSS STUDIO

Л.А. Воробейчиков, Г.К. Сосновиков

Сформулированы основные требования и предложена технология разработки библиотеки типовых решений предметной области в среде GPSS STUDIO. Продемонстрировано применение предложенной технологии при разработке библиотеки «Модели теории телетрафика». Показаны приемы разработки типовых элементарных блоков библиотеки, относящихся к различным категориям.

Ключевые слова: система GPSS World, среда GPSS STUDIO, теория телетрафика, библиотека типовых решений, типовой элементарный блок, структурная схема, GPSS-модель.

DESIGN TECHNIQUE FOR THE SUBJECT DOMAINS PATTERNS LIBRARY IN THE GPSS STUDIO ENVIRONMENT

L.A. Vorobeychikov, G.K. Sosnovikov

Basic requirements are formulated and the design technique for the subject domains patterns library in the GPSS STUDIO environment is offered. Application of the proposed design technique for the Teletraffic Model Theory library is demonstrated. Approaches to the diverse library typical single building blocks designing are proposed.

Keywords: GPSS World system, GPSS STUDIO environment, teletraffic theory, patterns library, single building block, structural chart, GPSS model.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИМИТАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В СРЕДЕ GPSS STUDIO

Л.А. Воробейчиков, Г.К. Сосновиков

Продемонстрировано использование библиотеки типовых решений в предметной области «Модели теории телетрафика» при разработке структурных схем GPSS-моделей в среде GPSS STUDIO. Рассмотрены примеры разработки структурных схем и имитационных приложений для моделирования программно-конфигурируемой сети передачи данных и контакт-центра с трехэтапной обработкой вызовов.

Ключевые слова: среда GPSS STUDIO, библиотека типовых решений, типовой элементарный блок, структурная схема, GPSS-модель, программно-конфигурируемая сеть, контакт-центр.

USE OF THE SUBJECT DOMAINS PATTERNS LIBRARY FOR THE SIMULATION APPLICATIONS DEVELOPMENT IN THE GPSS STUDIO ENVIRONMENT

L.A. Vorobeychikov, G.K. Sosnovikov

Use of the Teletraffic Model Theory subject domains patterns library for the GPSS models structural charts development is demonstrated. Examples of structural charts and simulation applications for software defined data networking and a contact center with three-stage call processing modeling are considered.

Keywords: GPSS STUDIO environment, patterns library, typical single building block, structural chart, GPSS model, software defined networking, contact center.

ПРИМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ РЕФЛЕКСИИ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

А.А. Воробьев, М.П. Филяев

Среди известных проблем практического применения имитационных моделей, связанных с обеспечением адекватности моделей, достоверности входных и выходных данных, нахождения оптимального решения, незаслуженно остается в тени проблема недостижимости ограничений, накладываемых на оптимизируемый функционал. В статье демонстрируются основанные на реализации идеи стратегической рефлексии возможности «улучшения» первоначальной модели за счет целенаправленного изменения состава и/или областей определения переменных параметров.

Ключевые слова: переменные параметры, имитационная модель, оптимальное решение, стратегическая рефлексия.

APPLICATION OF STRATEGIC REFLECTION IN SIMULATION MODELING

A.A. Vorobiev, M.P. Filyaev

Among the known problems of the practical application of simulation models related to ensuring the adequacy of models, the reliability of input and output data, finding the optimal solution, the problem of unattainability of the restrictions imposed on the optimized functional undeservedly remains in the shadow. The article demonstrates the possibilities of «improving» the initial model based on the realization of the idea of strategic reflection through a targeted change in the composition and / or areas of definition of variable parameters.

Keywords: variable parameters, simulation model, optimal solution, strategic reflection.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ КОРОТКИМИ, СЛУЧАЙНО ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ**С.В. Громов**

В работе приведены результаты численного моделирования деформационного поведения композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, полученных твердофазным деформационным синтезом, наполненных короткими, случайно ориентированными включениями (на примере многостенных углеродных нанотрубок). Развитие композиционных материалов идет по пути усложнения их состава и комбинирования схем армирования. Широкое распространение получили дисперсно-наполненные полимеры с неравноосными хаотически или упорядоченно распределенным наполнителем. В работе показано, что методы классической молекулярной динамики, совмещенные с последующим привлечением огрубленных моделей, позволяют производить исследования микроструктуры композитов и с достаточной точностью оценивать их макромасштабные свойства, связанные с прочностью данных материалов и влиянием на нее широкого спектра факторов. Проведенные расчеты позволяют судить о возможности перенесения разработанной схемы на последующие мезоуровни, в частности, о возможности построения огрубленной многоуровневой (coarse-grained) модели разрушения композита.

Ключевые слова: многоуровневое моделирование, полимерные композиционные материалы, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, нанотрубки, углеродное волокно, композиционный материал, структура, адгезия, прочностные характеристики, асимметричные включения, армирование.

MODELING THE DEFORMATION BEHAVIOR OF COMPOSITE MATERIALS FILLED WITH SHORT, RANDOMLY ORIENTED INCLUSIONS**S.V. Gromov**

The paper presents the results of numerical simulation of the deformation behavior of composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene obtained by solid-phase deformation synthesis, filled with short, randomly oriented inclusions (for example, multi-walled carbon nanotubes). The development of composite materials follows the path of complicating their composition and combining reinforcement schemes. Dispersion-filled polymers with unequally randomly or randomly distributed filler are widely used. It is shown that the methods of classical molecular dynamics, combined with the subsequent involvement of coarsened models, allow one to study the microstructure of composites and with sufficient accuracy to evaluate their macroscale properties related to the strength of these materials and the influence of a wide range of factors on it. The calculations allow us to judge the possibility of transferring the developed scheme to subsequent mesoscale levels, in particular, the possibility of constructing a coarse-grained multilevel model of composite fracture.

Keywords: multi-level modeling, polymer composite materials, ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE), nanotubes, carbon fiber, composite material, structure and adhesion strength characteristics asymmetric inclusion reinforcement.

**МОДЕЛЬ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ОЦЕНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ****Л.М. Груздева**

В статье выделены наиболее популярные методы атак на корпоративные сети передачи данных. А также типы вредоносного программного обеспечения, с помощью которого злоумышленники получают доступ к конфиденциальной информации. В статье предложена модель оценки характеристик функционирования характеристик системы защиты информации по устранению вредоносных воздействий в сети.

Ключевые слова: корпоративная сеть передачи данных, система защиты информации, вредоносное программное обеспечение, вредоносное воздействие.

**MODEL OF QUANTITATIVE EVALUATION OF CHARACTERISTICS OF THE
INFORMATION SECURITY SYSTEM OF THE CORPORATE DATA NETWORKS****L.M. Gruzdeva**

The article highlights the most popular methods of attacks on corporate data networks. As well as the types of malicious software through which attackers gain access to confidential information. The article proposes a model for assessing the characteristics of the functioning of the characteristics of the information protection system to eliminate malicious influences in the network.

Key words: corporate networks of data transmission, information security system, malicious software, harmful effects.

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
СИСТЕМ****П.Ю. Гусев, А.В. Камышев, М.И. Чижов, К. Ю. Гусев**

В работе представлены результаты имитационного моделирования различных производственных систем. Приведены общие сведения о функционировании каждой производственной системы. Описаны основные этапы создания имитационной модели. В результате анализа моделей определены задачи оптимизации. Для каждой производственной системы приведен конкретный результат, полученный при помощи имитационной модели.

Ключевые слова: моделирования, производственные системы, оптимизация, машиностроение.

**PRACTICAL EXPERIENCE IN USING SIMULATION AS A TOOL FOR OPTIMIZING
PRODUCTION SYSTEMS****P.Yu. Gusev, A.V. Kamyshev, M.I. Chizhov, K.Yu. Gusev**

The paper presents the results of simulation of various production systems. General information on the functioning of each production system is provided. The main stages of creating a simulation model are described. As a result of the analysis of the models, optimization problems are identified. For each production system, a specific result is obtained using a simulation model.

Keywords: modeling, production systems, optimization, engineering.

ИМИТАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО РАБОЧИМ ПРОФЕССИЯМ WORLDSKILLS-2019**Т.В. Девятков, В.В. Девятков, М.В. Федотов, М.М. Назмеев**

Рассматриваются методы решения транспортно-логистических проблем возникающих в процессе проведения крупных мероприятий. Описывается разработка модели и имитационного приложения для исследования транспортной системы, использованной при проведении чемпионата мира по рабочим профессиям WorldSkills-2019. Показаны преимущества разработки таких моделей в среде GPSS Studio. Описаны результаты моделирования, позволившие выявить и количественно оценить потенциальные «узкие места» транспортной системы. Предложены мероприятия и способы их устранения. Статистические замеры, проведенные в процессе проведения чемпионата подтвердили адекватность и высокую точность моделей.

Ключевые слова: WorldSkills-2019, системный анализ, имитационное исследование, GPSS Studio, транспортная и пешеходная логистика.

SIMULATION STUDY OF THE TRANSPORT SYSTEM OF THE WORLD SKILLS-2019 COMPETITION GAME**T.V. Devyatkov, V.V. Devyatkov, M.V. Fedotov, M.M. Nezmeev**

The methods of solving transport and logistics problems arising in the course of major events are considered. The article describes the development of a model and simulation application for the study of the transport system used during The WorldSkills-2019 competition game. The advantages of developing such models in GPSS Studio are shown. The results of modeling, which allowed to identify and evaluate the potential "bottlenecks" of the transport system, are described. Measures and ways of their elimination are offered. Statistical measurements carried out during the championship confirmed the adequacy and high accuracy of the models.

Keywords: WorldSkills-2019, system analysis, simulation study, GPSS Studio, transport and pedestrian logistics.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS STUDIO**Ю.И. Бабий, Т.В. Девятков, В.В., Девятков, М.В. Федотов**

В статье описывается подсистема оптимизации в среде моделирования GPSS Studio. В качестве оптимизатора используется уже имеющийся и хорошо апробированный комплекс оптимизации IOSO. Описываются проведенные доработки для интеграции программного комплекса в среду моделирования. Излагается процесс подготовки и проведения оптимизационного эксперимента.

Ключевые слова: оптимизация, IOSO, имитационное моделирование, GPSS Studio, имитационное исследование

THE OPTIMIZATION EXPERIMENT IN THE SIMULATION ENVIRONMENT GPSS STUDIO**Yu.I. Babiy, T.V. Devyatkov, V.V. Devyatkov, M.V. Fedotov,**

This article describes the optimization subsystem in the modeling environment GPSS Studio. The existing and well-tested IOSO optimization complex is used as an optimizer. The carried out improvements for integration of the software complex into the modeling environment are described. The process of preparation and carrying out of optimization experiment is stated.

Keywords: optimization, IOSO, simulation, GPSS Studio, simulation study.

**ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ
НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ****А.Г. Дёмин**

Наиболее эффективным и актуальным подходом к планированию производства является создание программных решений на базе имитационного моделирования. В работе описывается решение для трубного производства, которое позволяет определить выполнимость производственного плана, построить подробные поэтапные маршруты заказов, построить недельное расписание. Применение имитационной модели расширяется путем интеграции с системами управления производством для создания «цифрового двойника цеха».

SIMULATION-BASED SCHEDULING FOR METALLURGICAL PLANT**A.G. Demin**

Simulation based solutions are the most effective and actual approach for production scheduling. The paper describes a solution for pipe production plant that allows to check production plan feasibility, highlight detailed step-by-step routes for orders, create weekly production schedule. A digital twin can be created by integration of the simulation model with manufacturing execution systems.

**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ И ОЦЕНКИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ К ПОСТРОЙКЕ ЗАКАЗОВ.****М.А. Долматов, А.М. Плотников, В.А. Харитонов, М.В. Федотов, Т.В. Девятков**

В статье описан опыт создания отечественных специализированных программных приложений для разработки имитационных моделей функционирования судостроительных предприятий. Приложения позволяют автоматизировать процессы разработки имитационных моделей и проведение экспериментов без необходимости низкоуровневого программирования, оценивать технологическую готовность предприятий к реализации производственных программ, обеспечивать создание моделей при неполноте исходных данных, а также обеспечивают поддержку версионности и хранение исходных данных, моделей и результатов экспериментов. Пользовательский интерфейс приложений ориентирован на специалистов проектных и технологических подразделений предприятий судостроительной отрасли, и может быть адаптирован для применения в других отраслях промышленности.

Ключевые слова: судостроение, производство, технологическая готовность, имитационное моделирование, автоматизация, пользовательский интерфейс, эксперимент.

**DOMESTIC SOFTWARE SOLUTIONS FOR SIMULATION OF SHIPBUILDING INDUSTRIES
AND ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL READINESS OF ENTERPRISES
FOR CONSTRUCTION OF ORDERS.****M.A. Dolmatov, A.M. Plotnikov, V.A. Kharitonov, M.V. Fedotov, T.V. Devyatkov**

The article describes the experience of creating domestic specialized software applications for the development of simulation models of shipbuilding enterprises. Applications allow to automate processes of simulation models development and experiments without the need of low-level programming, to assess technological readiness of enterprises for implementation of production programs, to ensure creation of models in case of incomplete initial data, as well as to support versionality and storage of initial data, models and results of experiments. The user interface of applications is aimed at specialists of design and technological divisions of shipbuilding industry enterprises, and can be adapted for application in other industries.

Keywords: shipbuilding, production, technological readiness, simulation, automation, user interface, experiment.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**Ю.В. Доронина, А.В. Скатков**

Предложена модель управления поддержкой обслуживания сложной технической системы на основе системы поддержки принятия решений, регулирующая ресурсы системы относительно их профилактики. Предполагается выбор некоторой стратегии обслуживания сложной системы, при которой принимается эффективное решение по профилактике и, как следствие, обеспечивается прирост ресурса. На примере моделирования реального технического объекта с отказами, восстановлениями и профилактикой предложены количественные оценки статистической устойчивости модели. Показана эффективность предлагаемых подходов при решении задачи анализа статистической устойчивости в задачах квалиметрического анализа квазиоднородной модели сложных систем. На основе предложенного конструктивного подхода получен оперативный инструмент принятия решений по параметрической и функциональной настройке сложных технических объектов на долгосрочную и краткосрочную перспективы.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, имитационное моделирование, статистическая устойчивость, цепь Маркова, сложная техническая система, вероятность перехода, число реализаций процесса, ресурс системы, предельное состояние.

SYSTEM OF DECISION SUPPORT FOR ASSESSING THE STATISTICAL STABILITY OF THE MODEL OF COMPLEX SYSTEMS**Yu.V. Doronina, A.V. Skatkov**

The model of management of support of maintenance of a complex technical system based on the decision support system, regulating the resources of the system with respect to their prevention. It is anticipated the selection of a strategy of maintenance of a complex system, which was adopted effective solution for the prevention and, as a consequence, has ensured the growth of the resource. On the example of modeling a real technical object with failures, recovery and prevention, quantitative estimates of the statistical stability of the model are proposed. The effectiveness of the proposed approaches in solving the problem of statistical stability analysis in the problems of qualimetric analysis of quasi-homogeneous models of complex systems is shown. On the basis of the offered constructive approach the operational tool of decision-making on parametric and functional adjustment of difficult technical objects on long-term and short-term prospects is received.

Keywords: system of support of decision-making, simulation modeling, statistical stability, Markov chain, complex technical system, the probability of transition, the number of realizations of the process, resource, system, ultimate limit state.

НАЗНАЧЕНИЕ «СПРАВЕДЛИВЫХ» ПРИОРИТЕТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАБАХ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**А.А. Емельянов, О.В. Булыгина, Н.З. Емельянова, Р.В. Соколов**

Проблема справедливого назначения приоритетов при обслуживании различных требований существует давно и может иметь разные решения. Характеристики «справедливости» связаны с доходами, убытками, штрафами, а также с приобретением рейтинговых и других показателей. В этой статье предлагается проверять эффект «справедливости» назначения приоритетов с помощью специального нечетко-логического контроллера, включаемого в состав имитационной модели производственно-технологического комплекса в виде агентной программы. В качестве примера рассматривается технологический комплекс крупного аэропорта.

Ключевые слова: Технологический хаб, имитационное моделирование, нечеткий алгоритм, массовое обслуживание, назначение приоритетов, нечеткий контроллер, порядок в очереди.

**FAIR PRIORITIES ASSIGNMENT IN TECHNOLOGICAL HUBS
BASED ON SIMULATION AND FUZZY LOGIC****A.A. Emelyanov, O.V. Bulygina, N.Z. Emelyanova, R.V. Sokolov**

The problem of equitable prioritization in servicing various requirements has existed for a long time and may have different solutions. The characteristics of "fairness" are associated with income, losses, fines, as well as with the acquisition of rating and other indicators. This article proposes the "fairness effect" verifying of assigning priorities using a special fuzzy-logic controller, which is include in the simulation model of the industrial complex and its technological processes in the form of an agent program. As an example, the technological complex of a large airport is considered.

Keywords: Technology hub, simulation, fuzzy algorithm, mass service queuing, priority assignment, fuzzy controller, queue's order.

**ТЕХНОЛОГИЯ АДАПТАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «СПРУ» К ЗАДАЧЕ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ****А.И. Еникеев, А.В. Алексеев**

Рассмотрены технологические особенности имитационного моделирования, инсталляции и адаптации программного комплекса моделирования процессов поддержки принятия решений и управления «СПРУ-о.8» разработки СПбГМТУ к задачам информационно-аналитической и интеллектуальной поддержки решений оператора при обеспечении безопасности эксплуатации, локализации аварийных ситуаций и аварий, а также борьбы за живучесть корабля, судна. Показана возможность инсталляции и адаптации программного комплекса моделирования «СПРУ» без привлечения программистов и представителей Разработчика, что является одним из современных требований к программным средствам.

**TECHNOLOGY OF ADAPTATION OF THE SOFTWARE COMPLEX "SPRU" TO THE
PROBLEM OF MODELING INFORMATION SUPPORT****A.I. Enikeev, A.V. Alekseev**

The technological features of simulation, installation and adaptation of the software complex for modeling decision support and management "SPRU-o.8" developed by SPBGMTU to the tasks of information-analytical and intellectual support of the operator's decisions in ensuring the safety of operation, localization of emergencies and accidents, as well as the struggle for the survivability of the ship. It is shown that it is possible to install and adapt the «SPRU» modeling software without involving programmers and Developer representatives, which is one of the modern requirements for software.

**МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ
ШАГАЮЩЕЙ КРЕПИ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ КОНЦЕПЦИИ МОБИЛЬНОЕ МЕСТО
ОПЕРАТОРА****С.С. Журавлев, С.Р. Шакиров Ю.В. Малахов, М.С. Никитенко**

Работа посвящена применению модельно-ориентированного проектирования для решения задач разработки, отладки и тестирования алгоритмов управления инновационным модулем шагающая крепь. Модуль предназначен для отработки пластовых месторождений подэтажными штреками с выпуском. Управление шагающей крепью основано на использовании концепции мобильного места оператора, реализуемой с использованием технологий нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ) и средств дополненной реальности (ДР). Для реализации модельно-ориентированного проектирования применены методы имитационного моделирования, трехмерного проектирования, теории графов, теории алгоритмов.

Ключевые слова: модельно-ориентированное проектирование, имитационная модель, шагающая крепь, мобильное место оператора, алгоритмы управления, нейрокомпьютерный интерфейс (НКИ), дополненная реальность (ДР), визуализация технологического процесса, MATLAB, человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), интерактивная модель, трехмерный образ.

**ALGORITHM OF THE WALKING ROOF SUPPORT MODULE MODEL-BASED DESIGN
WITH MOBILE DISPATCHER APPROACH****S.S. Zhuravlev, S.R. Shakirov, Yu.V. Malakhov, M.S. Nikitenko**

The article dedicated for model-based design approach for prototyping, debugging and testing of control algorithm for innovate the roof support module. Module destination is mining of bedded deposits sublevel drifts. The roof support module controlled with using approach of mobile dispatcher. This approach consists of using a brain computer interface (BCI) and a device of augmented reality (AR). For realize the model-based design applied methods of simulation modeling, 3D model development, graph theory, theory of algorithms.

Keywords: model-based design, simulation model, walking roof support module, mobile dispatcher approach, control algorithm, brain computer interface (BCI), augmented reality (AR), technological processes visualization, MATLAB, human machine interface (HMI), interactive model, three dimension model.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ
ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ****Е.Б. Замятина, Д.А. Чурин**

Верификация и валидация – это этапы имитационного эксперимента, предназначенные для определения, насколько имитационная модель соответствует замыслам и требованиям исследователей, применяющих метод имитационного моделирования для изучения исследуемого объекта, процесса, сложной динамической системы. Валидация модели позволяет определить, насколько можно доверять результатам имитационного моделирования, насколько точно разработчики модели поняли, как должна функционировать модель, имитируя поведение изучаемого объекта. В докладе предлагается использовать онтологический подход для проверки валидности имитационной модели. Авторы предлагают построить в результате интервьюирования онтологию для имитационной модели исследователя, онтологию имитационной модели разработчиков и определить семантическую близость этих онтологий. Операционная валидность может быть определена с помощью онтологий событий.

Ключевые слова: верификация, валидация, имитационный эксперимент, имитационное моделирование, онтология, семантическая близость, структурная валидность, операционная валидность.

USING THE ONTOLOGICAL APPROACH TO VALIDATE SIMULATION MODELS**E.B. Zamyatina, D.A. Churin**

Verification and validation are the stages of a simulation experiment, designed to determine how much the simulation model meets the intentions and requirements of researchers using the simulation method to study the object under study, a process, or a complex dynamic system. Model validation allows you to determine how much you can trust the results of simulation, how accurately the developers of the model understood how the model should function, simulating the behavior of the object being studied. The report suggests using an ontological approach to verify the validity of the simulation model. The authors propose constructing as a result of the interview the ontology for the simulation model of the researcher, the ontology of the simulation model of the developers and determine the semantic proximity of these ontologies. Operational validity can be determined using event ontologies.

Keywords: verification, validation, simulation experiment, simulation, ontology, semantic proximity, structural validity, operational validity.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
СОСТАВОМ АГРЕГАТОВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПЛАНИРОВАНИЕ ЕГО
ИЗМЕНЕНИЙ****В.Е. Захарченко**

В этой работе предлагается планомерная последовательная оптимизация состава, всегда опирающаяся на текущее состояние агрегатов и на систему ГРАМ. При этом система ГРАМ занимается распределением мощности, а система РУСА анализирует возможность оптимизации состава и осуществляет рекомендацию по однократному изменению состояния ГА. При этом формулируются следующие критерии: увеличение КПД ГЭС и повышение безопасности на основе оценки состояния ГА с минимизацией рисков аварийных ситуаций: по температуре, вибрации, по состоянию и срабатыванию гидравлических и механических защит и т.д. Оценка состояния ГА также позволяет учитывать расходование ресурсов агрегатов, часы наработки, число пусков/остановов и планировать их равномерное расходование за целевой период.

Предложенные варианты изменений состава агрегатов позволяют работать более эффективно, снизить регулировочную нагрузку на агрегаты и при этом выполнять задание системного оператора.

Использование предложенных подходов позволит автоматически планировать и также автоматически выполнять операции по изменению состава агрегатов.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ СРАВНЕНИЯ СХЕМ ОТРАБОТКИ ЗАХОДОК ПРИ ПРОХОДКЕ ШТРЕКОВ**В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев, И.С. Кузнецов**

Показана реализация имитационного модуля, позволяющего отображать взаимодействие горных машин во времени и пространстве при проходке штреков с применением коротко-столовой системы отработки угольного блока. Процесс ведения горных работ представлен в виде сети систем массового обслуживания с компьютерной реализацией в GPSS World. В экспериментах проведено сравнение схем отработки заходов при проведении штреков по средней скорости проходки и коэффициентам использования горных машин.

Ключевые слова: имитационное моделирование, система массового обслуживания, проходческие работы, система отработки короткими забоями, коэффициент использования оборудования.

REALISATION OF MODULE OF TUNNELING TECHNOLOGIES SIMULATION SYSTEM FOR COMPARIION OF SEQUENCE OF SKIPS WORKING IN ROADWAY TUNNELING**V.V. Sinoviev, A.N. Starodubov, P.I. Nikolaev, I.S. Kuznetsov**

Showed realization of module that simulates mining machineries interaction in time and space for tunneling in room-and-pillar technology in coalmine. Tunneling submitted as queue networks and realized in computer with GPSS World. Experiments shows compare of sequences of skips working by average tunneling speed. Realized module is a part of tunneling technologies simulation system.

Keywords: simulating, queue network, tunneling, room-and-pillar, utilization rate.

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТИРОВКИ РУДЫ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА В СИСТЕМЕ BPSIM**И.В. Степанова, А.Н.Ивановская, А.А. Шеклеин, Е.К. Аксенова, А.Р. Галоян, А.Г. Минасян**

В данной работе представлено имитационное моделирование процессов транспортировки руды в Лебединском горно-обогатительном комбинате: построение модели в системе имитационного моделирования BPSim; проведение экспериментов с исходными и измененными входными параметрами; анализ результатов экспериментов; диагностика узких мест процессов и предложены рекомендации по их устранению. Для анализа узких мест моделируемого процесса используется гибридный мультиагентно-имитационный подход.

Ключевые слова: горно-обогатительном комбинат, BPSim, узкие места.

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF ORE TRANSPORTATION AT A MINING AND PROCESSING PLANT IN THE BPSIM SYSTEM**I.V. Stepanova, A.N. Ivanovskaya, A.A. Sheklein, E.K. Aksyonova, A.R. Galoyan, A.G. Minasyan**

In this paper, simulation modeling of ore transportation processes in Lebedinsky ore processing plant is presented: model construction in BPSim simulation system; experiments with initial and modified input parameters; analysis of experimental results; diagnostics of process bottlenecks and recommendations for their elimination are proposed. To analyze the bottlenecks of the simulated process, a hybrid multi-agent-simulation approach is used.

Keywords: mining and processing plant (MPP), BPSim, narrow places.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ АВТОЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ ЗА СЧЕТ
ВАРЬИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА СОТРУДНИКОВ И РЕСУРСОВ В СРЕДЕ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC****С.А. Ионова**

Statistica — это объединенный комплекс анализа и контроля данных, средство, позволяющее разрабатывать пользовательские программы в различных областях, таких как финансы, промышленность, бизнес, экономика и т.д. с целью оптимизации процессов и использовать полученные результаты для улучшения работы объектов реального мира и более рационального использования ресурсов. Эта платформа проста в понимании и применении и ориентирована на автоматизацию подсчетов и облегчение расчетов. Главной особенностью системы Statistica является осуществленное графически-ориентированное решение к анализу данных. Идея решения заключается в том, чтобы познать во всех отношениях визуальное исследование данных на всех ступенях статистической обработки и, основываясь на этом исследовании, определить дальнейший этап анализа. В этой работе представлен анализ динамической модели «Работа автозаправочной станции» в программе Statistica. AnyLogic – это комплект имитационного моделирования. Накопители представляются такими элементами, где собираются отдельные запасы, и значения их меняются непрерывно. Потоками называют активные элементы структуры, способные преобразовывать числа накопителей. В этот же момент времени, накопители структуры вычисляют числа потоков. Динамические переменные не только способствуют перерабатывать некие числовые значения в иные, но и могут свободно преобразовывать свои числа или быть всегда одинаковыми. Накопителями в нашем случае представляется число машин, приехавших на заправку, а процедура заправки автомобиля и последующей оплаты с выбором сопутствующих услуг – потоком. В данной статье представлена имитационная модель работы АЗС, созданная в программе Anylogic, её структурная схема организации работы, а также текстовое описание схемы. Оптимизация будет проведена двумя методами: оптимизацией в программе AnyLogic и регрессионным анализом в программе Statistica, в ходе которой было выявлено решение, способствующее оптимизации процедур обработки и повышению эффективности работы, а именно оптимизация времени нахождения машин на АЗС, при минимальном возможном количестве сотрудников и колонок.

Ключевые слова: система STATISTICA, анализ, динамическая модель, AnyLogic.

OPTIMIZATION OF WORK OF GAS STATION DUE TO INCREASE OR REDUCTION OF NUMBER OF STAFF OF GAS STATION IN THE ENVIRONMENT OF IMITATING MODELLING OF ANYLOGIC**S.A. Ionova**

Statistica is an integrated complex of the analysis and control of data, means to develop user programs in various areas such as finances, industry, business, economy, etc. aiming for optimization of the processes and use the gotten results for improvement of the execution of the objects of the real world and more efficient usage of the resources. This platform is simple in understanding and application and is geared towards the automatization and ease of the calculations. The main feature of the Statistica system is the represented graphics-focused solution to the analysis of data. The idea of the solution is to analyze the visual research in every aspect at all of the taken steps of the statistics data processing and, based on the results of the research and analysis, determine the following step. In this work, the analysis of the dynamic model "Work of Gas Station" is presented in the Statistica program. AnyLogic is a set of imitating modeling. Stores are presented by such elements where separate stocks gather, and their values change continuously. Streams call the active elements of structure capable to transform numbers of stores. In the same timepoint, stores of structure calculate numbers of streams. Dynamic variables not only promote to process certain numerical values into others, but also can freely transform the numbers or to be always identical. Stores in our case the number of the cars which arrived to gas station is represented, and the procedure of purchase of gasoline which is followed by payment and choice of the satellite services – a stream is presented. In this article the simulation model of work of gas station created in the Anylogic program, its block diagram of the organization of work and also the text description of the scheme. In this article, the simulation model of work of gas station was created in the Anylogic program, its block diagram of the organization of work and also the text description of the scheme. Optimization will be performed upon two methods: optimization in the AnyLogic program and the regression analysis in the Statistica program during which the decision promoting optimization of procedures of processing and increase in overall performance namely optimization of the time spent of cars at gas station was revealed, at the minimum possible number of the employees and gasoline stations.

Keywords: STATISTICA system, analysis, dynamic model, AnyLogic

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ОТКАЗАХ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИХ БОРТОВЫХ СИСТЕМ**М.И. Калинов, В.А. Родионов.**

Рассмотрен сценарно-временной метод оценки эффективности применения космической системы наблюдения с малыми космическими аппаратами. Представлена его реализация на основе имитационного моделирования процесса функционирования космической системы и розыгрыша возможных сценариев действий объекта наблюдения. Показана процедура обоснования выбора рационального варианта применения малых космических аппаратов при отказах отдельных элементов их бортовых систем.

Ключевые слова: малый космический аппарат, космическая система наблюдения, объект наблюдения, сценарно-временной метод, эффективность, имитационное моделирование, сценарий, реконфигурация, рациональный вариант, планирование.

RATIONALE FOR CHOOSING A RATIONAL OPTION FOR THE USE OF SMALL SPACECRAFT IN CASE OF FAILURES OF INDIVIDUAL ELEMENTS OF THEIR ONBOARD SYSTEMS**M.I. Kalinov, V.A. Rodionov**

A scenario-time method for evaluating the effectiveness of a space surveillance system with small spacecraft is considered. Its implementation on the basis of simulation of the space system functioning process and drawing of possible scenarios of the observation object actions is presented. The procedure of justification of the choice of rational variant of application of small space vehicles at failures of separate elements of their onboard systems is shown.

Keywords: small spacecraft, space observation system, object of observation, scenario-time method, efficiency, simulation, scenario, reconfiguration, rational variant, planning.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ УРФУ НА ПРИМЕРЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СТОЛОВОЙ ИРИТ-РТФ**M.B. Киселева, М.К. Жульмухаметов**

В работе представлены результаты исследования процесса обслуживания студентов в традиционных пунктах питания – студенческих столовых. На основе имитационной модели были выявлены недостатки системы обслуживания и предложен вариант реорганизации системы.

Ключевые слова. Моделирование, модель, система массового обслуживания (СМО), имитационная модель, эксперимент.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SERVING OF THE URFU FOOD COMPANY ON THE EXAMPLE OF AN IMITATION MODEL OF THE IRIT-RTF CANTEEN**M.V. Kiseleva, M.K. Zhulmukhametov**

The paper presents the results of a study of the process of serving students in traditional food points – student canteens. Based on the simulation model, the shortcomings of the service system were identified and the option of reorganizing the system was proposed.

Keywords. Modeling, model, queuing system (QS), simulation model, experiment.

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ (ТРАНСФОРМАЦИИ) «УМНЫХ» ГОРОДОВ**Б.И. Клебанов**

Одним из перспективных направлений цифровой экономики является применение имитационных моделей для определения и обоснования направлений развития территориальных образований – городов, регионов, отдельных населенных пунктов. Особую роль это моделирование играет при анализе и создании кибер-физических социальных систем – одного из основных направлений цифровизации общества. В статье рассматривается возможность применения модели гибридного автомата для описания процессов поведения и развития агентов, обладающих в заданной среде определенными наборами потребностей, ресурсов и средств их реализации. Принято, что поведение индивидуумов определяется их потребностями, которые реализуются с помощью типовых рецептов поведения (паттернов). Модель агента представлена расширенным гибридным автоматом, учитывающим наличие альтернатив реализации потребностей агентов и функции выбора при переходе автомата из одного состояния в другое. Векторное поле, описывающее динамику изменения непрерывных переменных автомата, дополнено функциями генерации потребности, выбора и исполнения рецепта удовлетворения потребности.

Ключевые слова: активный агент, потребность, гибридный автомат,

ABOUT PROSPECTS FOR APPLICATION OF IMITATION MODELING IN THE PROCESS OF STRATEGIC PLANNING AND DEVELOPMENT (TRANSFORMATION) OF “SMART” CITIES**B.I. Klebanov**

One of the promising areas of the digital economy is the use of simulation models for determining and justifying the directions of territorial entities development - cities, regions, individual settlements. This modeling plays a special role in the analysis and creation of cyber-physical-social systems - one of the main directions of the digitalization of society. The article discusses the possibility of using the model of a hybrid automaton to describe the processes of behavior and development of agents that have certain sets of needs, resources and means of their realization in a given environment. It is accepted that the behavior of individuals is determined by their needs, which are realized by using typical behavior recipes (patterns). The agent model is represented by an extended hybrid automaton that takes into account alternatives for realizing the needs of agents and the selection function when the automaton transits from one state to another. The vector field describing the dynamics of changing continuous variables of the automaton is supplemented with the functions of generating demand, selecting and executing a recipe for satisfying needs.

Keywords: active agent, need, hybrid automaton.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВЕРСИИ ИНСТРУМЕНТА СОЦИАЛЬНО - ПОВЕДЕНЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ГРАФОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ**Б.И. Клебанов, Н.В. Кабиров, Д.С. Ломотков, И.А. Юрасов**

При планировании и прогнозировании развития городской среды, анализе поведения различных групп населения обычно используются методы, основанные на сборе статистических данных, которые анализируются различными экспертами. Для помощи в принятии решений и прогнозировании эксперты могут использовать системы моделирования, которые используют полученную статистику. Однако создание таких систем требует участия программистов, что снижает доверие к результатам моделирования. Цель данной работы является создание экспериментальной версии инструмента разработки моделей развития общества без использования программирования. Это позволит снизить трудоемкость создания моделей и приблизить язык разработчика модели к языку экспертов в данной предметной области. В результате проведенных исследований подтверждена возможность создания инструментария социально – поведенческого моделирования, основанного на графовом высокоуровневом представлении онтологии данной предметной области. Продемонстрированы удобства применения графовых баз данных для решения задач моделирования поведения множества связанных объектов.

Ключевые слова: онтология, агент, потребность, гибридный автомат, Protégé, Neo4j.

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL VERSION OF A SOCIO - BEHAVIORAL MODELING INSTRUMENT BASED ON THE ONTOLOGY OF THE SUBJECT AREA AND THE GRAPHIC DATABASE**B.I. Klebanov, N.V. Kabirov, D.S. Lomotkov, I.A.Yrasov**

When planning and predicting the development of the urban environment, analyzing the behavior of various population groups, methods are usually used based on the collection of statistical data that are analyzed by various experts. To assist in making decisions and forecasting, experts can use modeling systems that use the obtained statistics. However, the creation of such systems requires the participation of programmers, which reduces confidence in the simulation results. The purpose of this work is to create an experimental version of a tool for developing models for the development of society without the use of programming. This will reduce the complexity of creating models and bring the language of the model developer closer to the language of experts in this subject area. As a result of the research, the possibility of creating tools for socio-behavioral modeling, which is based on a graph high-level representation of the ontology of this subject area, is confirmed. The convenience of using graph databases to solve the problems of modeling the behavior of many related objects is demonstrated.

Keywords: ontology, agent, need, hybrid automaton Protégé, Neo4j.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ.**Н.Б. Кобелев.**

Данная статья определяет некоторые новые теоретические вопросы имитационного управления глобальными объектами большой сложности для их прогнозов действий, оценки эффективности, баланса сил, размещения и т.д., которые требуют применения технологий шестого уклада.

Технологии шестого уклада требуют оценки границы решений и действий, которая определяет необходимые показатели по уровням системного глобального объекта, а также учитывает наличие хаотических факторов, позволяет при их оценке использовать многокритериальные подходы и условия заданного компромисса и способствует решению целевой функции квазиоптимальности.

Методология имитационного управления используется в ситуационных центрах России в форме ситуационно-имитационной экспертизы управленческих решений в системе органов государственной власти.

Ключевые слова: имитационное управление, необходимое разнообразие, граница действий, квазиоптимальность, относительная пропорциональность, ошибочные и тайные хаотические факторы, борьба с хаотическими факторами.

SIMULATION MODELING OF GLOBAL OBJECTS MANAGEMENT.**N.B. Kobelev.**

This article defines some new theoretical issues of simulation management of global objects of great complexity for their forecasts of action, performance evaluation, balance of power, placement, etc., which require the use of technologies of the sixth mode.

The technologies of the sixth mode require an assessment of the boundary of decisions and actions, which determines the necessary indicators for the levels of the system global object, and also takes into account the presence of chaotic factors, allows for their evaluation to use multi-criteria approaches and conditions of a given compromise and contributes to the solution of the objective function of quasi-optimality.

The methodology of simulation management is used in the situation centers of Russia in the form of situational and simulation expertise of management decisions in the system of public authorities.

Keywords: simulation management, necessary variety, border of actions, a quasi-optimality, relative proportionality, incorrect and secret chaotic factors, the fight against chaotic factors.

**РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА «КАНАТОХОД»
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ****Е.Н. Колос, А.С. Лисовенко, А.В. Шелудяков, О.В. Лимановская, А.В. Лемех**

Представлены результаты разработки цифровых моделей роботизированного комплекса «Канатоход» и линии электропередач. На основе полученных моделей генерируется миссия для автоматической работы комплекса. Целью разработки данного симулятора является создание инструмента планирования наименее затратного маршрута комплекса и оптимизация работы диагностического оборудования.

Ключевые слова: Цифровая модель роботизированного комплекса. Комплекс Канатоход. Симулятор диагностического оборудования. Компьютерный симулятор. Симулятор дрона. Модель линии электропередач. Автоматическое обслуживание электрических сетей. Оптимальный алгоритм управления. Использование игровых движков для моделирования.

**DEVELOPMENT OF THE SIMULATOR OF THE ROBOTIZED COMPLEX
“CABLEWALKER” FOR AUTOMATION OF SERVICE OF ELECTRIC TRANSMISSION
LINES****E.N. Kolos, A.S. Lisovenko, A.V. Sheludyakov, O.V. Limanovskaya, A.V. Lemekh**

The paper presents the development results of digital models of the Robot Walker robotic complex “CableWalker” and power lines. The mission, based on the obtained models, is generated for the automatic operation of the complex. The purpose of the development of this simulator is creation a planning tool for the least costly route of the complex and optimizes the operation of diagnostic equipment.

Keywords: Digital model of a robotic complex. Cablewalker complex. Simulator of diagnostic equipment. Computer simulator. Drone simulator. Power line model. Automatic maintenance of power lines. The optimal control algorithm. Use of game engines for modeling.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗЛЮДНОЙ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНОЙ
ГЕОТЕХНОЛОГИИ С УЧЕТОМ ПРОСТОЕВ ГОРНЫХ МАШИН****И.С. Кузнецов, В.В. Зиновьев.**

Представлена модель безлюдной открыто-подземной угледобычи в виде единой системы экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) и комплекса глубокой разработки пластов (КГРП). Модель создана с применением теории систем массового обслуживания и среды имитационного моделирования GPSS Studio. В экспериментах определена суточная добыча забоя без учета и с учетом вероятностных простоев.

Ключевые слова: имитационное моделирование, система массового обслуживания, вычислительный эксперимент, безлюдная геотехнология, экскаваторно-автомобильный комплекс, комплекс глубокой разработки пластов, простои горных машин, разработка угольных месторождений.

**SIMULATION OF UNMANNED OPEN-UNDERGROUND GEOTECHNOLOGY WITH
TAKING INTO ACCOUNT MINING MACHINES DOWNTIME****I.S. Kuznetsov, V.V. Sinoviev**

Abstract: Model of unmanned open-underground coal mining consists of system of excavator and car complex and highwall mining complex. Model based on queueing theory and simulating tool GPSS Studio. Experiments on model allow to calculate coal face daily productivity excluding of including probabilities of downtime.

Keywords simulation, queueing system, calculating experiment, unmanned geotechnology, excavator and car complex, highwall mining complex, mining machines downtime, coal mining.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ АЭРОПОРТА ЗА СЧЕТ РАБОЧИХ РЕСУРСОВ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC**Т.И. Тухбатуллин, Б.А. Курбанов**

Научный руководитель: В.В. Мокшин, Альметьевский филиал КНИТУ-КАИ, Альметьевск)

В данной статье представлена структурная схема организации процесса работы аэропорта, а именно та-ких ее разделов как «Вход пассажиров в аэропорт» и «Проход пассажирами всех процедур для посадки на самолет», для изучения подробной информации об этих подсистемах существует возможность прочитать их описание. Также приведена имитационная модель работы аэропорта в системе имитационного моделирования AnyLogic. Проведена оптимизация вышеуказанной модели работы аэропорта за счет рабочих ресурсов средствами системы имитационного моделирования AnyLogic. Обоснованием возможности использования предложенного алгоритма оптимизации являются варьирование количества обслуживающего персонала, металлоискателей, сведенные вместе с результатами имитационного моделирования и оптимизации имитационной модели в таблицу. В качестве подтверждения табличных значений приведено графическое отображение одного из этапов оптимизации, а именно оптимизация исходной модели по времени с момента входа пассажира в аэропорт и до захода на самолет, в системе AnyLogic.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЦЕНТРА ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ СОТОВОГО ОПЕРАТОРА ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ОПЕРАТОРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВХОДЯЩИХ ЗВОНКОВ КЛИЕНТОВ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC**А.И. Мазитов, Н.Р. Зинатуллин, В.В. Мокшин**

В статье представлена имитационная модель центра поддержки клиентов сотового оператора, её функциональная схема, а также текстовое описание схемы. Данная модель была разработана в имитационной среде моделирования AnyLogic. Приведенная модель оптимизирована за счет регулирования количества операторов, которые принимают и обрабатывают звонки разной тематики.

ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ БАКАЛАВРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В СРЕДЕ GPSS-STUDIO**Е.А. Хакимова, К.С. Ткачева, А.Р. Усманова, Р.Ф. Маликов**

В данной статье сообщаются разработки практикумов по дискретно-событийному моделированию, представленные в виде электронного и учебно-методического пособий, содержащих более 10 учебных имитационных моделей в виде лабораторных работ по методологии дискретно-событийного моделирования GPSS. Данные пособия направлены на формирование научно-исследовательские компетенции бакалавров, как будущих инженеров, на пути достижения профессионального уровня на основе имитационного моделирования в среде GPSS-Studio.

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, электронные учебные пособия, цифровые двойники, цифровые технологии, научно-исследовательские компетенции, среда моделирования GPSS-Studio.

TRAINING THE EXPLORATORY COMPETENCIES OF BACHELORS IN DEVELOPING THE SIMULATION MODELS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE GPSS-STUDIO ENVIRONMENT**E.A. Khakimova, K.S. Tkacheva, A.R. Usmanova, R.F. Malikov**

In this paper, we report on the developed hands-on course about the discrete-event modeling presented in the form of electronic and educational manuals which contain more than 10 training simulation models in the form of laboratory class on the GPSS discrete-event modeling methodology. These manuals may help to launch bachelors, as future engineers, to achieve the professional level on the basis of the imitational simulation within the GPSS-Studio framework.

Key words: discrete-event modeling, electronic manuals, digital doubles, digital technologies, exploratory competencies, GPSS-Studio simulation environment.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ В АЭРОПОРТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC**С.И. Мамедова, А.К. Архипова, В.В. Мокшин**

Целью данной работы является моделирование процесс доставки запасных частей для оценки оптимального количества транспортных средств, учитывая, что всего на предприятии имеется пять грузовиков и четыре фуры. Вычислить основные статистические характеристики ИСД, проверить «нормальности», корреляционный анализ, регрессионный анализ, факторный и кластерные анализы, а также оптимизацию по полученным регрессионным уравнениям. Также выявить оптимальные значения факторов при которых среднее время обработки транзактов минимально.

Модель разработана в имитационной среде моделирования AnyLogic. AnyLogic – программное обеспечение для имитационного моделирования, разработанное российской компанией TheAnyLogicCompany. Инструмент обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык Java для разработки моделей. Это единственный инструмент имитационного моделирования (ИМ), который поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей: процессно-ориентированный (дискретно-событийный), системно динамический и агентный, а также любую их комбинацию.

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ANYLOGIC С ПОМОЩЬЮ ВНЕШНИХ JAVA БИБЛИОТЕК ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗДАНИЯ**О. Ю. Марьясин**

Рассмотрено применение внешних Java библиотек для расширения возможностей системы Anylogic при моделировании функционирования здания. С помощью Java библиотек в систему Anylogic добавляются функции автоматического управления, нелинейной оптимизации, взаимодействия с другими пакетами моделирования и оболочкой для создания экспертных систем CLIPS. Это позволяет моделировать функционирования здания в различных режимах работы, оценивать его энергопотребление, выявлять проблемы системы безопасности здания и многое другое.

Ключевые слова: инженерные системы зданий, Anylogic, Java, мультиагентная система, MATLAB.

**USING EXTERNAL JAVA LIBRARIES FOR ANYLOGIC EXTENSION IN MODELING
FUNCTIONING OF THE BUILDING****О.Yu. Maryasin**

The article describes the use of external Java libraries to expand the capabilities of the Anylogic system in modeling the functioning of the building. Using Java libraries, the Anylogic system adds functions of automatic control, nonlinear optimization, interaction with other modeling packages and a shell for creating expert systems CLIPS. This allows researchers to simulate the functioning of the building in various operating modes, evaluate its energy consumption, identify problems of the building security system, and much more.

Keywords: building engineering systems, Anylogic, Java, multi-agent system, MATLAB.

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА****Д.Н. Маряшина, В.В. Девятков, С.А. Марков**

В статье рассматривается подход к моделированию оптимального планирования ресурсов производственного процесса нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) при заданном плане продаж нефтепродуктов. Описывается технология оптимизации для задач текущего производственного планирования с использованием разработанной имитационной модели НПЗ. Адекватность работы имитационной модели и результатов оптимизации оценивалась посредством сравнения с результатами аналитических расчетов модели с использованием методов линейного программирования.

Ключевые слова: нефтепродукты, потоковая модель, системный анализ, имитационное моделирование, планирование производства и поставок, оптимизация.

**OPTIMUM PLANNING OF THE PRODUCTION OF PETROLEUM PRODUCTS
AT THE REFINERY****D.N. Maryashina, V.V. Devyatkov, S.A. Markov**

The article presents an approach to optimal resource planning modeling of the production process of an oil refinery under a given sales plan of petroleum products. An optimization method for current production planning based on the developed simulated model of the refinery is described. The expediency of the model performance and optimization results was assessed via comparison with analytic calculations of the model using linear programming methods.

Keywords: petroleum products, flow model, system analysis, simulation modeling, production and supply planning, optimization.

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРИОРИТЕЗАЦИИ ТРАФИКА В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ
СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ****Д.А. Медведев**

В данной работе представлены результаты разработки модели для анализа и планирования приоритезации трафика в мультисервисных сетях предприятия. Собраны основные характеристики сети передачи данных и типов трафика. Выбрана техника приоритезации для моделирования. Построена модель в системе имитационного моделирования Anylogic. Разработаны экранные формы и графически показаны зависимости в качестве передачи трафика от различных событий.

Ключевые слова: приоритезация трафика, Anylogic, мультисервисные сети.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF TRAFFIC PRIORITIZATION IN MULTISERVICE ENTERPRISE NETWORKS**D.A. Medvedev**

In this paper, the results of the development of a model for the analysis and planning of traffic prioritization in multiservice enterprise networks is presented. The main characteristics of the data network and traffic types are collected. Prioritization technique selected for simulation. A model is constructed in the Anylogic simulation system. Screen forms are developed and dependencies in the quality of traffic transmission from various events are shown graphically.

Keywords: traffic prioritization, Anylogic, multiservice networks.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ПРОЕЗДА ПЕРЕКРЕСТКОВ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC**П.С. Медведев, А.Т. Садыкова, Г.Л. Нуруллина, А.Л. Нуруллина, В.В. Мокшин**

В статье представлена оптимизация перекрестка, а именно оптимизация времени проезда транспортных средств на перекрестках Фахретдина-Ленина и Тукая-Ленина в г. Альметьевск. Приведена имитационная модель работы перекрестка в системе имитационного моделирования AnyLogic. Проведена оптимизация вышеуказанной модели перекрестка за счет человеческих ресурсов средствами системы имитационного моделирования AnyLogic. Обоснованием возможности использования предложенного алгоритма оптимизации являются время проезда перекрестка, а также загруженность дороог, используемых на данном перекрестке, сведенные вместе с результатами имитационного моделирования и оптимизации имитационной модели в таблицу. В качестве подтверждения табличных значений приведено графическое отображение одного из этапов оптимизации, а именно оптимизация исходной модели по времени проезда перекрестков, в системе AnyLogic.

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизация, перекресток, система AnyLogic, ERwin Process Modeler.

OPTIMIZATION OF THE CROSSING DURATION OF CROSSROADS IN THE ENVIRONMENT OF SIMULATION ANYLOGIC**P.S. Medvedev, A.T. Sadykova., G.L. Nurullina, A.L. Nurullina, V.V. Mokshin**

The article presents the optimization of the intersection, namely the optimization of the travel time of vehicles at the crossroads of Fakhretdin-Lenin and Tukai-Lenin in Almetyevsk. A simulation model of the intersection operation in AnyLogic simulation system is presented. Optimization of the above-mentioned model of the intersection at the expense of human resources by means of AnyLogic simulation system is Carried out. The justification for the possibility of using the proposed optimization algorithm is the travel time of the intersection, as well as the congestion of the roads used at this intersection, summarized together with the results of simulation and optimization of the simulation model in the table. As a confirmation of the table values, a graphical display of one of the optimization stages, namely the optimization of the original model by the time of crossing, in the AnyLogic system, is given. Keywords: simulation modeling, optimization, wholesale warehouse, AnyLogic sys-tem, ERwin Process Modeler.

Keywords: simulation modeling, optimization, wholesale warehouse, AnyLogic sys-tem, ERwin Process Modeler.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**С.Н. Медведев, К.А. Аксенов, Н.В. Гончарова**

Работа на промышленном предприятии связана с постоянным принятием управленческих решений на всех уровнях, от которых зависит как своевременность выполнения заказа, так и эффективность загрузки производственных мощностей. Использование современных информационных технологий, основанных на математических методах, позволит вам принять решение, зная, что должно произойти.

Ключевые слова: производственные мощности, информационные системы, эффективность производства.

SIMULATION AS THE BASIS FOR THE SYSTEM OF SUPPORT OF DECISION-MAKING IN THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**S.N. Medvedev, K.A. Aksyonov, N.V. Goncharova**

Work at an industrial enterprise is associated with the constant adoption of managerial decisions at all levels, which determine both the timeliness of order fulfillment and the efficiency of capacity utilization. Using modern information technologies based on mathematical methods will allow you to make a decision, knowing what should happen.

Keywords— production capacity, information systems, production efficiency.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ**А.С. Молчанов**

Представлена оригинальная пространственно-частотная математическая модель цифровой оптико-электронной системы воздушной разведки, процесс прохождения информации в которой представлен в виде последовательного соединения отдельных передаточных звеньев с собственной функцией передачи модуляции. Предложенная модель позволяет оценить технические характеристики и параметры всех звеньев цифровых оптико-электронных систем воздушной разведки и проводить сравнительный анализ альтернативных вариантов их построения.

Ключевые слова: пространственно-частотное моделирование, математическая модель, оптико-электронная система, воздушная разведка.

ANYLOGICCLOUD – МАСШТАБИРУЕМАЯ СРЕДА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**Г.О. Монахов**

Один из ведущих трендов в области имитационного моделирования в настоящее время – это перенос выполнения моделей в облако. Мы расскажем про AnyLogic Cloud – наиболее развитое решение, существующее на сегодняшний день, и его типичные сценарии применения, включая интеграцию моделей в аналитические цепочки обработки данных, масштабируемые высокопроизводительные вычисления, мгновенную доставку моделей до конечных пользователей, создание пользовательских веб-интерфейсов и т.д. Мы сделаем краткий обзор программного интерфейса (AnyLogic Cloud API) и представим AnyLogic Private Cloud – полнофункциональный продукт для организаций со строгими требованиями к безопасности данных.

ANYLOGIC CLOUD – A SCALABLE RUNTIME ENVIRONMENT FOR SIMULATION MODELS USED OPERATIONALLY**G.O. Monakhov**

One of the major trends in simulation modeling today is moving execution of simulation models to the cloud. We will showcase AnyLogic Cloud – the most advanced cloud solution for simulation existing today and go through its typical use cases, including: integration of simulation into custom analytical workflows, scalable high performance computing, instant delivery of models to clients and users, creation of custom web interfaces to simulation models, and more. We will quickly go through the AnyLogic Cloud open API and introduce AnyLogic Private Cloud – the fully functional product for organizations with strict security guidelines.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИ: СОЗДАНИЕ ПЛАНИРОВЩИКА И БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ**А.Л. Морозов, А.А. Малыханов**

В докладе рассматривается моделирование работы медеплавильного цеха – производства с множеством ограничений и зависимостей, которые требуют применения имитационного моделирования при принятии решений. Для реалистичного моделирования работы медеплавильного цеха были разработаны два модуля планировщик, генерирующий сбалансированное расписание основных производственных процессов с помощью итеративного алгоритма с пошаговым ослаблением ограничений; библиотека моделирования мостовых кранов, использующая алгоритм ветвей и границ.

SIMULATION OF COPPER PRODUCTION: DEVELOPMENT OF PROCESS SCHEDULER AND PORTAL CRANES LIBRARY**A.L. Morozov, A.A. Malykhanov**

The paper describes the simulation model of copper production – a facility with multiple constraints and interdependencies that requires simulation to support decisions. For realistic simulation of copper production, the two modules were developed: a scheduler that generates a well-balanced schedule of the main production process using an iterative algorithm with stepwise constraints relaxation, and crane library using branch and bounds algorithm.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕСТОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ НА ХЛЕБОПЕКАРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**Е.А. Назойкин, И.Г. Благовещенский**

Мультиагентное имитационное моделирование сложных активных систем – это новая концепция в интеллектуальных информационных технологиях, направленная на использование различного рода моделей, естественного и искусственного интеллекта, для виртуального воссоздания, исследования, идентификации и прогнозирования состояния и поведения сложно формализуемых активных систем. Использование мультиагентного имитационного моделирования позволяет отразить состояние системы в динамике.

В данной статье рассматривается модель производственных процесса тестоприготовительного отделения на хлебопекарном предприятии на основе агентно-ориентированных технологий имитационного моделирования. Описываются основные параметры производственного процесса и дается подробная реализация в среде имитационного моделирования AnyLogic. Кроме того, затрагиваются вопросы о применении подобного рода моделей для решения актуальной проблемы пищевой промышленности - прогнозирования качества готового продукта.

Ключевые слова: мультиагентное моделирование, моделирование, имитационное моделирование, AnyLogic, пищевые предприятия, модели, управление, прогнозирование.

THE USE OF SIMULATION MODELING METHODS FOR IDENTIFICATION OF A TURN-PURPOSE DEPARTMENT IN A BAKERY ENTERPRISE**E.A. Nazoykin, I.G. Blagoveshchenskii**

Multi-agent simulation of complex active systems is a new concept in intelligent information technologies aimed at using various kinds of models, natural and artificial intelligence, for virtual recreation, research, identification and prediction of the state and behavior of complex formalized active systems. Using multi-agent simulation allows you to reflect the state of the system in dynamics.

This article discusses the model of the production process of the dough preparation department at the bakery based on agent-based simulation technologies. The basic parameters of the production process are described and a detailed implementation in the AnyLogic simulation environment is given. In addition, questions are raised about the application of such models to solve the urgent problem of the food industry - forecasting the quality of the finished product.

Key words: multi-agent modeling, modeling, simulation modeling, anylogic, food enterprises, models, management, forecasting.

**ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ****Т.В. Насибуллина, Д.А. Мигов**

В статье рассмотрены вопросы разработки и применения цифровой модели сети энергоснабжения оборудования многофункциональной системы безопасности и управления технологическими процессами (МСБ и УТП) угольной шахты на различных этапах жизненного цикла системы. Исследуется задача проектирования сети электроснабжения с заданным уровнем надёжности и с минимальными затратами на сооружение. Приведены результаты моделирования. Дана оценка эффективности используемых подходов и средств моделирования.

Ключевые слова: моделирование, система безопасности, сеть энергоснабжения, шахта.

**MODELING PRACTICALITIES OF A POWER SUPPLY NETWORK FOR THE EQUIPMENT
OF THE SAFETY PROVIDING AND PROCESSES CONTROL MULTIFUNCTIONAL
SYSTEM****T.V. Nasibullina, D.A. Migov**

The article discusses design and application of a digital twin of a power supply network for the safety and processes control multifunctional system (SPCMS) of a coal mine at various stages of the system's life cycle. The author studies the problem of designing a power network with a given level of reliability and with minimal costs. The results of modeling are proposed. An assessment of the effectiveness of the approaches and modeling tools is given.

Keywords: Modeling, safety system, power network, mine.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ ЭВАКУАЦИОННОГО ПЛАНА С ПОМОЩЬЮ ANYLOGIC**Ф.А. Насырова, В.В. Мокшин**

Имитационное моделирование (ИМ)— это метод, позволяющий построить модели, с которыми проводятся эксперименты с целью получения необходимой информации. В статье приводится описание реализации ИМ эвакуации людей из ТЦ в программе AnyLogic.

ССИМ AnyLogic —это современная среда ИМ. Для того, чтобы оценить процесс работы системы, в статье показаны результаты ИМ. В качестве примера взят план эвакуации казанского ТЦ. Результаты исследования показывают, что система работает и подходит для применения.

Ключевые слова: имитационная модель, план, эвакуация, AnyLogic, компьютерное моделирование, структурная модель, имитационное моделирование, анализ, оптимизация.

MODELING THE TASK OF THE EVACUATION PLAN WITH THE HELP OF ANYLOGIC**F.A. Nasirova, V.V. Mokshin**

Simulation modeling (IM) is a method that allows you to build models with which experiments are conducted in order to obtain the necessary information. The article describes the implementation of the IM evacuation of people from the shopping center in the AnyLogic program.

SENSIM AnyLogic is the modern MI environment. In order to evaluate the process of the system, the article shows the results of MI. As an example, we took the evacuation plan of the Kazan shopping center. The research results show that the system works and is suitable for use.

Keywords: simulation model, plan, evacuation, AnyLogic, computer simulation, structural model, simulation simulation, analysis, optimization.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫХ СЕКТОРОВ В РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**И.В. Наумов**

В условиях сокращения инвестиционного потенциала реального сектора экономики, проводимой банками и другими кредитными учреждениями спекулятивной политики с иностранной валютой, долговыми ценными бумагами и акциями зарубежных эмитентов, способствующей активному оттоку капитала зарубеж, недостаточной заинтересованности государства в финансовой поддержке производственных предприятий с высокой долей наукоемких и технологичных производств, серьезно возрастает проблема воспроизводства инвестиционного потенциала институциональных секторов в территориальных системах. Дефицит финансовых ресурсов для развития в настоящее время наблюдается не только в секторе нефинансовых корпораций, но и домашних хозяйств, государственного управления. Для прогрессивного, технологичного социально-экономического развития территориальных систем и сбалансированного финансового развития институциональных секторов необходимо детальное исследование протекающих процессов формирования и использования их инвестиционного потенциала и сценарное проектирование пространственной равновесной модели его воспроизводства с учетом пространственных особенностей перемещения финансовых ресурсов, которая могла бы стать основой для принятия управленческих решений органами государственной власти в сфере финансового регулирования. Агент-ориентированное моделирование в данном случае является оптимальным инструментом проектирования такой модели.

В представленной статье рассмотрены методологические особенности агент-ориентированного моделирования процессов воспроизводства инвестиционного потенциала институциональных секторов в территориальных системах. Данный подход предполагает построение сбалансированной, равновесной модели перемещения инвестиционных ресурсов между пятью агентами: сектором финансовых корпораций, к которому относятся банки и другие кредитные учреждения, страховые организации, пенсионные фонды, инвестиционные компании, а также нефинансовых корпораций (предприятиями различных сфер экономической деятельности), сектором государственного управления (бюджетными учреждениями), домашними хозяйствами и сектором «остальной мир» (иностранными учреждениями). Формирование такой модели предполагает использование структуры финансового счета институциональных секторов и базового принципа построения Системы национальных счетов, «двойной записи», согласно которой один сектор становится источником перемещаемых ресурсов, а второй – их реципиентом, в результате чего процессы движения инвестиционных ресурсов по каждому финансовому инструменту балансируются между институциональными секторами. Для реализации агент-ориентированного подхода и функционального описания используемых в модели агентов, предлагается построение системы линейных/нелинейных регрессионных уравнений, раскрывающих особенности взаимосвязей институциональных секторов по каждому финансовому

инструменту перемещения инвестиционных ресурсов, а также регрессионный анализ влияния внешней среды на процессы движения инвестиционных ресурсов между институциональными секторами. Предлагаемый в работе подход базируется и на моделировании межрегиональных взаимосвязей институциональных секторов по процессам перемещения инвестиционных ресурсов с помощью пространственной автокорреляции и авторегрессии Морана П. Полученные уравнения взаимосвязей, как регрессионных, так и пространственных, закладывают основу для формирования пространственной агент-ориентированной модели воспроизводства инвестиционного потенциала институциональных секторов, тестирование которой позволит сгенерировать систему возможных сценариев трансформации процессов воспроизводства инвестиционного потенциала институциональных секторов.

Разработанный теоретико-методологический подход к агент-ориентированному моделированию процессов воспроизводства инвестиционного потенциала институциональных секторов в региональных системах будет интересен органам государственной власти для мониторинга состояния инвестиционного потенциала данных секторов и принятия управленческих решений по стабилизации их финансового состояния.

Ключевые слова: инвестиционный потенциал, институциональные сектора, региональные системы, балансовая модель, регрессионный анализ, агент-ориентированное моделирование.

ДОРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АЛГОРИТМОВ ПРИОРИТИЗАЦИИ В СЕТЯХ TCP/IP

Р.Х. Ниязов, Ю.М. Монахов, И.С. Бедняцкий, В.И. Балашов, А.П. Кузнецова

В докладе представлен подход к повышению доступности узлов автоматизированных систем. А также имитационная модель модифицированного алгоритма HTB. Было проведено тестирование алгоритма. Результаты тестирования генерации трафика показали, он справляется с задачей распределения количества обрабатываемых пакетов по приоритету. Но некоторых случаях количество пакетов, не прошедших за максимальное директивное время, является большим в нулевом классе.

Ключевые слова: модель, алгоритм контроля задержек, hierarchical token bucket, token bucket, anylogic, максимально допустимое директивное время, QoS.

IMPROVING THE SIMULATION MODEL OF PRIORITIZATION ALGORITHMS IN TCP / IP NETWORKS

Y.M. Monakhov, R.K. Niyazov, I.S. Bednyatskiy, V.I. Balashov, A.P. Kuznetsova

The report it is presented approach to increase in availability of nodes of automated systems is presented. And also a simulation model of the modified HTB algorithm. Testing of an algorithm was held. Results of testing of generation of traffic showed, it copes with a problem of distribution of quantity of the processed packets of a priority. But some cases the quantity of the packets which did not pass for the maximum directive time is big in a zero class.

Keywords: model, algorithm, algorithm of control of delays, hierarchical token bucket, token bucket, anylogic, maximum allowed directive time, QoS.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

В.В. Окольников, А.А. Ордин, С.В. Рудометов

В статье описывается имитационная модель технологических процессов подземной добычи угля в очистном забое. Целью моделирования являлась оценка производительности очистного забоя в зависимости от различных факторов. К таким факторам относятся: технические параметры горных машин, длина лавы, газовый фактор, технологические схемы работы очистного комбайна, распределенные геомеханические характеристики угольного пласта.

Ключевые слова: имитационное моделирование, шахта, очистной забой, производительность.

SIMULATION OF OPERATION OF COAL MINE STOPING FACE**V.V. Okolnishnikov, A.A. Ordin, S.V. Rudometov**

The article describes a simulation model of technological processes of underground coal mining in the stoping face. The purpose of the simulation was to evaluate the performance of the stoping face, depending on various factors. Such factors include: technical parameters of mining machines, the length of the longwall face, the gas factor, the technological scheme of the shearer, the distributed geomechanical characteristics of the coal seam.

Keywords: simulation, coal mine, stoping face, performance.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ
МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ****А.Г. Палей, Г.А. Поллак**

Приводится последовательность действий по построению имитационной модели слабоструктурированной системы на основе ее когнитивной модели. Разработанный алгоритм используется для построения и исследования стохастической многоканальной многофазной модели массового обслуживания замкнутого типа для обработки производственных сделок. Построенная имитационная модель позволяет проводить эксперименты по оптимизации его параметров.

Ключевые слова: слабоструктурированные системы, системы массового обслуживания, когнитивная карта, имитационное моделирование.

PROCESS OPTIMIZATION IN A SEMI-STRUCTURED SYSTEM BY SIMULATION**G.A. Pollack, A.G. Palei**

It is discussed the sequence of actions to build a simulation model of a weakly structured system based on its cognitive model. It gives the cognitive model of the real process of the conclusion of production transaction.

The developed model it used for construction and research of stochastic multichannel multiphase mass service system. The simulation model is a digital copy of the real process and allows experiments to optimize its parameters.

Keywords: Semi- structured systems, simulation modeling, mass service system, cognitive model, digital twin.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА КОНТЕЙНЕРНЫХ
ТЕРМИНАЛАХ****Ю.К. Полякова, Н.Н. Николаевский, Н.В. Мовчан**

В работе в качестве объекта исследования выступают логистические процессы на контейнерном терминале, а предметом – повышение эффективности данных процессов. На базе принципов теории массового обслуживания была создана имитационная модель с последующей реализацией экспериментов для сравнения альтернативной схемы организации функционирования работы зоны промежуточного хранения в разрезе структуры подъемно-транспортного оборудования.

Ключевые слова: контейнерный терминал, имитационное моделирование, повышение эффективности складских процессов.

LOGISTIC PROCESSES MODELLING AT CONTAINER TERMINALS**Y.K. Polyakova, N.V. Movchan**

Logistics processes at the container terminal are regarded as the object of study, the subject is an increase of the efficiency of these processes. Based on the principles of the theory of mass service, a simulation model was created with the subsequent experiments in order to evaluate an alternative scheme for organizing the intermediate storage area in terms of the structure of the lifting and transport equipment.

Keywords. Container terminal, simulation modelling, improvement of the efficiency of warehouse processes.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИИ FACTS**В.М. Преображенская, И.И. Пушкаренко**

В статье описано исследование работы статического синхронного продольного компенсатора и проанализировано его влияние на изменение параметров электроэнергетической системы Архангельской области путем имитационного моделирования процессов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, проблемы энергоэффективности, статический синхронный продольный компенсатор.

IMITATION MODELING OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF THE ARKHANGELSK REGION WITH APPLICATION OF DEVICES OF FACTS TECHNOLOGY**V.M. Preobrazhenskaya, I.I. Pushkarenko**

The article describes a study of the operation of a static synchronous longitudinal compensator and analyzes its effect on changing the parameters of the electric power system of the Arkhangelsk region through simulation of processes.

Key words: simulation, energy efficiency problems, static synchronous longitudinal compensator.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕЧАТНОГО САЛОНА**А.В. Раменская, Л.М. Туктамышева**

Оказание типографических услуг населению малыми тиражами является привлекательной сферой для предприятий малого бизнеса. Для сохранения конкурентных преимуществ и удовлетворения потребностей клиентов мини-типографиям и печатным салонам необходимо постоянно совершенствовать процессы обслуживания клиентов. В работе представлена разработанная имитационная модель для анализа деятельности печатного салона. Предложен ряд рекомендаций по совершенствованию организации процесса обслуживания.

Ключевые слова: имитационное моделирование, системы массового обслуживания, процесс обслуживания клиентов, печатный салон.

SIMULATION MODEL OF ACTIVITY OF PRINT SHOP**A.V. Ramenskaya, L.M. Tyktamisheva**

The provision of printing services to the population in small editions is an attractive area for small businesses. To maintain competitive advantages and meet the needs of customers, mini-printing houses and print shops need to constantly improve customer service processes. The developed simulation model of the printing salon produced in article. Recommendations for improving the organization of the service process have been proposed.

Keywords: simulation modeling, queuing systems, customer service process, print shop.

**ИМИТАЦИОННОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО УГОДИЯ****К.Т. Нго, В.В. Нгуен, Д.К. Ву, А.Л. Ронжин**

В работе проанализированы существующие подходы и системы по загрузке/разгрузке физических и энергоресурсов ресурсов беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Описана алгоритмическая модель управления БЛА при обслуживании на наземной сервисной платформе. Представлены результаты численного и имитационного моделирования количества робототехнической техники для обработки сельскохозяйственного угодья, выполненные в разработанной программе AgrobotModeling.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЦЕХА ПО СБОРКЕ ОБОРУДОВАНИЯ В СРЕДЕ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC****А.Т. Садыкова, П.С. Медведев, В.В. Мокшин**

В статье представлена модель цеха по сборке оборудования в системе имитационного моделирования AnyLogic. Проведена оптимизация данной модели. Основанием для возможного использования предложенного алгоритма оптимизации являются время обработки детали определенным устройством и количество таких устройств, сведенные вместе с результатами моделирования и оптимизации модели в таблицу. В качестве подтверждения табличных значений приведено графическое отображение одного из этапов оптимизации.

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизация, обработка детали, сборка оборудования, система AnyLogic.

**OPTIMIZATION OF SHOP FLOOR ON ASSEMBLY OF THE EQUIPMENT IN THE
SIMULATION ANYLOGIC****A.T. Sadykova, P.S. Medvedev, V.V. Mokshin**

The article presents a model of the shop for the Assembly of equipment in the simulation system AnyLogic. Optimization of this model is carried out. The basis for the possible use of the proposed optimization algorithm is the processing time of the part by a certain device and the number of such devices, combined with the results of modeling and optimization of the model in the table. As a confirmation of the table values, a graphical display of one of the optimization stages is given.

Keywords: simulation modeling, optimization, parts processing, equipment Assembly, AnyLogic system.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ПАССАЖИРОВ В АЭРОВОКЗАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ****М.Б. Ласкин, Ю.И. Морина, А.С. Свистунова**

В статье рассмотрен порядок организации наземного обслуживания пассажиров и представлена имитационная модель процессов обработки вылетающих пассажиров с учетом требований безопасности. По результатам моделирования произведен анализ системы организации наземной обработки пассажиров и предложены меры по повышению эффективности данной системы. Для построения дискретно-событийной модели использована программная среда Anylogic.

Ключевые слова: пассажиропоток, имитационное моделирование, AnyLogic, пропускная способность, аэровокзальный комплекс.

SIMULATION OF PASSENGER PROCESSING IN THE AIR TERMINAL COMPLEX**M.B. Laskin, Yu.I. Morina, A.S. Svistunova**

The article discusses the procedure for organizing ground handling of passengers and presents a simulation model of the processing of departing passengers, taking into account safety requirements. Based on the simulation results, an analysis was made of the passenger ground handling organization system and measures were proposed to increase the efficiency of this system. To build a discrete event model, the Anylogic software environment was used.

Keywords: passenger flow, simulation, AnyLogic, throughput, air terminal complex.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА МАРШРУТНОЙ СЕТИ
АЭРОПОРТОВ «ПУЛКОВО» И «ДОМОДЕДОВО» В СРЕДЕ ANYLOGIC****А.В. Адрианова, М.Б. Ласкин, А.С. Свистунова**

В статье рассматриваются возможности программного обеспечения AnyLogic в интересах проведения имитационного моделирования транспортно-логистических процессов. Предложен вариант использования среды AnyLogic применительно к имитационному моделированию в области авиаперевозок. Приведён пример построения имитационной модели.

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, логистика, авиационные перевозки, маршрутная сеть.

**SIMULATION OF THE ROUTE NETWORK SECTION OF PULKOVO AND DOMODEDOVO
AIRPORTS WITH ANYLOGIC SOFTWARE****A.V. Adrianova, M.B. Laskin, A.S. Svistunova**

Abstract. The article discusses the capabilities of AnyLogic software in the interests of simulation of transport and logistics processes. An option has been proposed for using the AnyLogic environment as applied to simulation in the field of air transportation. The example of constructing a simulation model is given.

Keywords: simulation, AnyLogic, logistics, air transportation, route network.

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

Д.В. Сенчук

В настоящей статье проводится анализ возможных ограничений, накладываемых на роботизированные авиационные системы, численностью до трех разнотипных беспилотных летательных аппарата, при выполнении задачи доставки груза медицинского назначения в интересах оперативной группы МЧС России в условиях недетерминированной внешней среды. Актуальность рассматриваемого вопроса заключается в необходимости исследования возможных путей автоматизации процессов эксплуатации беспилотных летательных аппаратов с целью повышения эффективности их применения и сокращения временных затрат, которые в условиях чрезвычайных происшествий представляют собой критический фактор при спасении человеческих жизней. В статье рассматриваются формализованные оптимальные (или субоптимальные) стратегии функционирования системы для достижения оптимума целевой функции, определяющей успешность и эффективность выполнения задачи. Предложен алгоритм поведения беспилотных летательных аппаратов в случае возникновения нештатных ситуаций. Алгоритм с учетом тактики и сценариев применения образцов современных робототехнических комплексов в отличие от существующих решений обосновывает необходимость исследования и построения многофакторной системы, способной в автоматическом режиме принимать решения по дальнейшей стратегии эксплуатации беспилотного летательного аппарата. Исследования предложенного алгоритма на практике показывают типовые решения специалистам различных предметных областей для доработки подобных задач, а также изменениям группировок роботизированных авиационных систем. Универсальность предложенного подхода обеспечивает возможность применения алгоритма в программном обеспечении различных производителей.

Ключевые слова — беспилотные авиационные системы, ограничения эксплуатации, алгоритм взаимосвязи.

CONSTRUCTION THE CONTROL SYSTEM OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES

D.V. Senchuk

The paper analyses possible limits of using up to three unmanned aerial vehicles (UAV) while solving the problem of transporting the medical cargo in emergency situation. The aim of current and future developments is finding the possible ways of automatization process of using UAV's in order to increase its effectiveness and decrease time of transporting the medical cargo. Current paper proposes decision procedure for behavior of UAV in emergency situation while transporting the medical cargo.

Key words – unmanned aircraft system, limits of relationships, connection algorithm.

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСПИСАНИЙ

Ю.А. Скобцов

Предложено использовать эволюционные алгоритмы совместно с объектно-ориентированными имитационными моделями. Для оптимизации производственных расписаний предложены эволюционные алгоритмы. Приведены критерии оптимизации производственных расписаний. Разработана объектная модель, которая позволяет вычислять фитнес-функцию и оценивать потенциальные решения в процессе выполнения эволюционного алгоритма. Рассмотрены различные методы кодирования потенциальных решений для решения задачи оптимизации производственных расписаний. Определены генетические операторы кроссинговера и мутации для этой задачи. Эффективность подхода проверена компьютерными экспериментами при многокритериальной оптимизации производственных расписаний на примере автоматизированного технологического комплекса механообработки.

Ключевые слова: имитационная объектная модель, эволюционный алгоритм, производственное расписание, оптимизация.

**EVOLUTIONARY ALGORITHMS AND OBJECT-ORIENTED MODELS
IN PRODUCTION SCHEDULE OPTIMIZATION****Yu.A. Skobtsov**

It is proposed to use evolutionary algorithms in conjunction with object-oriented simulation models. Evolutionary algorithms are proposed to optimize production schedules. The criteria for optimizing production schedules are given. An object model has been developed that allows you to calculate a fitness function and evaluate potential solutions in the process of performing an evolutionary algorithm. Various methods of coding potential solutions for solving the problem of optimizing production schedules are considered. Crossover and mutation genetic operators have been considered for this problem. The effectiveness of the approach was verified by computer experiments with multi-object optimization of production schedules on the example of an automated technological complex for machining.

Keywords: imitation object model, evolutionary algorithm, production schedule, optimization.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В
СТАЦИОНАРНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ СОСУДАХ С КРИОПРОДУКТАМИ****Е.С. Солдатов**

Представлена функциональная структура системы имитационного моделирования процессов теплообмена при длительном хранении криопродуктов в стационарных и транспортных сосудах и вычислительный алгоритм прогнозирования времени бездренажного хранения криогенных продуктов, обеспечивающий возможность учета изменяющихся режимов эксплуатации емкостного оборудования и технического состояния тепловой защиты жидкостных криогенных систем.

Ключевые слова: имитационное моделирование, компьютерное моделирование, сосуды с криопродуктами, жидкостные криогенные системы, время бездренажного хранения криогенных жидкостей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕКРЕСТКА**И.А. Цыганов, М.А. Зернова, А.А. Левадний, Н.Р. Спиричева**

Современные информационные технологии, математические методы помогают провести анализ существующих дорожных сетей и решить их проблемы, а также смоделировать будущие сети уже без существующих проблем. В процессе исследования проблемы использовались методы логического анализа, а также поставлены эксперименты и получены результаты. В результате работы создана имитационная модель перекрестка с использованием инструмента имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: имитационное моделирование, перекресток, информационные технологии, концептуальная модель.

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СРЕДСТВАМИ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО
ПРОГРАММИРОВАНИЯ****В.А. Котляров, А.А. Дебелый, В.А. Лощенко, Н.Р. Спиричева**

Целью работы является построение имитационной модели цеха по обжигу керамических изделий, реализация ее средствами языка объектно-ориентированного программирования и инструментами имитационного моделирования, сравнение и анализ полученных результатов. Используемые методы и инструменты: объектно-ориентированный язык C#, среда для построения имитационных моделей AnyLogic.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВИАТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Н.А. Стадник, А.В. Золотухин

В статье представлено имитационное моделирование аэропорта города Казани в условиях максимальной загруженности в период проведения мирового чемпионата рабочих профессий WorldSkills в 2019 году. Сформулирована задача исследования: оптимизация работы Казанского аэропорта в условиях максимального потока пассажиров. Для решения задачи построена имитационная модель работы аэропорта, доказана гипотеза, что проектирование Казанского аэропорта не предусматривало высокую пропускную способность, и показана практическая значимость имитационного моделирования.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, проектирование, AnyLogic, система массового обслуживания, авиатранспортное предприятие, аэропорт, пассажирский поток, высочайшая загруженность.

IMITATION MODELING OF AIR TRANSPORT ENTERPRISE IN THE CONTEXT OF MASS EVENTS

N.A. Stadnik, A.V. Zolotukhin

The article presents a simulation of the airport of Kazan city under conditions of maximum workload during the WorldSkills World Championship of Workers in 2019. The research objective is formulated: optimization of the Kazan airport in conditions of maximum passenger flow. To solve the problem, a simulation model of the airport was built, the hypothesis was proved that the design of the Kazan airport did not provide for high throughput, and the practical significance of simulation was shown.

Keywords: Simulation, design, AnyLogic, queuing system, air carrier, airport, passenger traffic, the highest workload.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ВЫПУСКА УГЛЯ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ

А.Н. Стародубов, В.В. Зиновьев, В.И. Клишин, В.А. Крамаренко

Разработана имитационная модель функционирования роботизированного комплекса для отработки мощных угольных пластов с управляемым выпуском подкровельной толщи. На модели проведено исследование возможных режимов выпуска угля. Определены скорость выпуска на каждой секции крепи, последовательность и рациональное количество работающих питателей, позволяющие обеспечить равномерность выпуска и максимальную загрузку лавного конвейера.

Ключевые слова: имитационное моделирование, анимация, добыча угля, механизированный комплекс, секция крепи, управляемый выпуск.

APPLICATION OF SIMULATING MODELING FOR RESEARCH OF SUBVEL CAVING MODES

A.N. Starodubov, V.V. Sinoviev, V.I. Klishin, V.A. Kramarenko

A model of robotized system for efficient mining technology has been developed. An animation of a representation controlled by simulated model has been developed for visual show. A research with use of developed ways carried on possible modes of unloading. Unloading speed for each support section, sequence and rational number of working feeders for maximal conveyor loading defined for specific geological factors

Keywords: underground coal mining, robotized system for efficient mining technology, animation, Applying simulation.

ЗАМЕНА ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ КЛЕТОЧНЫМ АВТОМАТОМ В МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОТИВОБОРСТВА**М.Е. Степанцов**

В работе рассматривается непрерывная модель информационного противоборства, основанная на нейробиологической схеме Рашевского, и указывается на ряд ограничений применимости этой модели. В рамках подхода имитационного моделирования предлагается дискретный аналог данной модели на основе клеточного автомата. Показано, что макродинамика новой модели соответствует макродинамике исходной, что подтверждается исследованием дискретной модели и получением в рамках соответствующих вычислительных экспериментов результатов, аналогичных полученным на основе непрерывной модели. Обсуждается расширение границ применимости исходной модели и повышение ее адекватности путем использования предложенной модели.

Ключевые слова: имитационное моделирование, клеточные автоматы, информационное противоборство.

REPLACING INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION WITH A CELLULAR AUTOMATON IN THE INFORMATION WARFARE MODEL**M.E. Stepantsov**

In the paper we consider a continuous model of information warfare based on Rashevsky neurological scheme. As there is a number of limitations on the applicability of this model, we propose a cellular automaton based discrete analogue for it. It is shown that the macrodynamics of the new model corresponds to the macrodynamics of the original one, confirmed by a number of computational experiments, yielding results similar to those obtained on the basis of the continuous model. Thus we discuss the expansion of the applicability of the original model by using the proposed model instead.

Keywords: simulation, cellular automata, information warfare.

МЕТОДИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ГИБКОЙ РАЗРАБОТКИ АГЕНТНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ**О.А. Николайчук, А.И. Павлов, А.Б. Столбов**

В статье рассматриваются метод описания методологии проектирования агентных имитационных моделей (АИМ) и метод проектирования АИМ с использованием предложенной ранее авторской системы моделей, специализирующий модельно-управляемый подход к разработке АИМ. Результатом работы методов является спецификация АИМ, содержащая информацию о составе и архитектуре элементов АИМ, включая алгоритмы жизненных циклов и базы знаний агентов и среды. Представлены особенности программной реализации предложенных методов.

Ключевые слова: многоагентные системы, имитационное моделирование, управляемая моделями разработка приложений.

METHODOLOGICAL AND SOFTWARE TOOLS FOR THE PROCESS OF FLEXIBLE DEVELOPMENT OF AGENT-BASED SIMULATION MODELS**O.A. Nikolaychuk, A.I. Pavlov, A.B. Stolbov**

The article discusses the method for describing the design methodology of agent-based simulation models (ABSM) and the method for developing ABSM. Both methods use the previously proposed system of models, that specializes model-driven approach to the ABSM development process. The result of the methods is the ABSM specification, which contains information about ABSM architecture, including life cycle algorithms and knowledge bases of agents and the environment. The features of the software implementation of the proposed methods are presented.

Keywords: multi-agent systems, simulation modeling, model-driven development.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛОВЫХ ТИПОВ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРОИЧНОГО КОДИРОВАНИЯ**И.В. Рудаков, Ю.В. Строганов**

В работе рассматриваются особенности троичной симметричной системы счисления. Предлагаются алгоритмы параллельного сложения и вычитания, а также умножения целых чисел при кодировании в троичной симметричной системе счисления. Рассматривается зависимость времени выполнения алгоритмов от количества выделенных потоков для их реализации. Отмечается преимущество использования распараллеливания для алгоритма умножения.

Ключевые слова: Троичные вычисления, троичная симметричная система счисления, параллельные алгоритмы, арифметические операции.

MODELING NUMERIC DATA TYPES BY THE TERNARY CODING**I.V. Rudakov, Yu.V. Stroganov**

This article is concerned with ternary logic application. Algorithms of parallel addition and subtraction, as well as multiplication of integers are proposed for coding in a ternary symmetric number system. The dependence of the algorithm execution time on the number of allocated threads for their implementation is considered. The advantage of using parallelization for multiplication algorithm is noted.

Key words: Ternary Computation, Symmetric Ternary Numeral System, Arithmetic Operations Implementation, Parallel Algorithms.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОГРУЗО-РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ**В.О. Сумятина, Д.О. Шкляев**

В научной работе проведен сравнительный анализ таких видов имитационного моделирования, как агентное моделирование и системная динамика. Представлено программное обеспечение AnyLogic, которое используется для моделирования процессов, например, логистических. Представлена модель, разработанная в рамках среды AnyLogic.

Ключевые слова: логистика, имитационное моделирование, агентное моделирование, системная динамика, нефтяная отрасль.

IMITATION MODELING AS A TOOL FOR MODELING THE PROCESS OF LOADING AND UNLOADING OPERATIONS WITH OIL PRODUCTS**V.O. Sumyatina, D.O. Shklyayev**

In the scientific work, a comparative analysis of such types of simulation modeling as agent modeling and system dynamics was carried out. Presented software AnyLogic, which is used to simulate processes, for example logistic processes. Presented a model, which was developed using AnyLogic software.

Key words: logistics, simulation modeling, agent modeling, system dynamics, oil industry.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАНИЯ РЕЧИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ВЕДЕНИЯ ДИАЛОГОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**А.А. Тарасьев, М.Е. Филиппова, К.А. Аксенов, Е.Н. Таланцев, И.А. Калинин**

В данной работе представлено применение имитационного моделирования проведения диалогов с вопросно-ответной системой «ТВИН», работающей в режиме реального времени с целью тестирования и анализа качества распознавания используемыми сторонними системами. Для этого предложено решение, основанное на применении реализованных технологий системы по настройке и ведению диалогов. На основании полученных результатов тестирования предложены улучшения и модификации системы распознавания.

Ключевые слова – Автоматизация, Мультиагентный подход, Имитационное моделирование, Принятие решений, real-time, Twin.

APPLICATION OF SIMULATION MODELING FOR ASSESSING THE QUALITY OF SPEECH RECOGNITION METHODS APPLIED IN THE AUTOMATED SYSTEM OF DIALOGUE MANAGEMENT IN REAL TIME**A.A. Tarasiev, M.E. Filippova, K.A. Aksyonov, E.N. Talancev, I.A. Kalinin**

This paper presents the use of simulation modeling of dialogs with the TWIN question and answer system, which operates in real time for the purpose of testing and analyzing the quality of recognition provided by third-party systems. For this, a solution is proposed based on the application of implemented TWIN-system technologies for setting up and conducting dialogs. Based on the obtained test results, improvements and modifications to the recognition system are proposed.

Keywords – Automation, Multi-Agent Pod, Simulation Modeling, Decision Making, real-time, Twin.

АГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИГР**А.Г. Топаж**

Эволюционные игры – современный метод изучения различных явлений биологической и социальной природы, представляющий собой синтез подходов из классической теории игр, генетических алгоритмов и репликаторной динамики. Многие аспекты реализации эволюционных игр носят универсальный характер и могут быть реализованы в общем прототипе агентной имитационной модели. В статье описан реализованный в среде AnyLogic подобный прототип, и приведен перечень компьютерных экспериментов с созданными на его основе моделями широко известных и оригинальных эволюционных игр.

Ключевые слова: агентные модели, эволюционные игры, естественный отбор, кооперативные взаимодействия, приспособленность, наследование.

ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И КОМБИНАТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ ПРОЕКТНОГО УРОВНЯ**А.Г. Топаж, О.В. Таровик, А.С. Реуцкий, В.А. Киселёв**

В статье обсуждается роль и место процедур оперативного планирования и диспетчеризации в имитационных моделях транспортно-технологических систем, использующихся для их предпроектного анализа. Приведены практические примеры построения имитационных моделей тестовых и реальных транспортных систем, в которых реализованы модули оптимального планирования на основе методов комбинаторной оптимизации и решения задачи удовлетворения ограничений.

Ключевые слова: оперативное планирование, имитационная модель, комбинаторная оптимизация, транспортно-технологическая система, заявка, ресурс.

OPERATIONAL PLANNING AND OPTIMIZATION IN SIMULATION MODELS OF TRANSPORTATION LOGISTICS

A.G. Topaj, O.V. Tarovik, A.S. Reutsky, V.A. Kiselev

The article discusses the role and the place of operational planning and scheduling optimization algorithms in simulation models of transportation and technological systems used for their pre-design analysis. Practical cases of simulation model development for both test and real logistics systems are presented. These models contain the optimal planning modules based on combinatorial optimization methods and using the third-party solvers of the constraint satisfaction problem.

Keywords: operational planning, simulation model, combinatorial optimization, scheduling, agent, resource.

О СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО НАТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.Б. Трофимов

В работе рассмотрено применение натурно-модельного подхода к задаче моделирования и сравнительного анализа алгоритмов автоматического регулирования, детализирована схема моделирования.

COMPARATIVE ANALYSIS OF AUTOMATIC CONTROLLERS BASED ON MATH/FULL-SCALE SIMULATION MODELLING

V.B. Trofimov

In the work the application of real-modeling approach to a task of modeling and the comparative analysis of automatic control algorithms is discussed, and the scheme of modeling is detailed.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ОПТИМИЗАЦИИ ИНДЕКСОВ БАЗ ДАННЫХ

И.И. Труб

Рассмотрена двухфазная имитационная модель для оптимального выбора размера группового битового индекса в таблице реляционной СУБД. Входными данными являются функции распределений для индексируемого свойства и для ширины рангового запроса по этому свойству. Анализ входных данных разделен на случай стационарного входного потока, если тип свойства - время, и случай обычного множества данных, если тип свойства - число. Представлены численные результаты, полученные на основе модели.

Ключевые слова: системы принятия решений, ad hoc запросы, битовые индексы, группирование, случайный поток событий, функция распределения вероятностей, двухфазное моделирование, расслоённая выборка, анализ входных данных.

SIMULATION MODELING FOR DATABASE INDEXES OPTIMIZATION

I.I. Trub

The article describes two phase simulation model for the optimal choice of bin size in the table of relational database. The input data are the distribution of indexed property and the distribution of range query width on this property. Two cases of input modeling are considered, such as stationary random event flow for the time property and usual dataset for the number property. Numerical results of simulation are presented and studied.

Keywords: decision support system, ad-hoc requests, bitmap indices, binning, random event flow, probability distribution function, two phase model, stratified sampling, input modeling.

СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ**А.В. Фараонов**

Подготовка специалистов, основанная на моделировании непредвиденной ситуации на маршруте, выборе нового маршрута доставки, обучении необходимым квалификационным навыкам и принятия решений на основе имитационного моделирования транспортно-логистических систем, моделируемых в среде AnyLogic, ExtendSim8 и «BusinessMap». Решается задача многокритериального выбора маршрутов доставки в условиях неопределенности, основанных на теории нечетких множеств.

Ключевые слова: Подготовка специалистов, ситуационная модель, нечеткие ситуационные сети.

SITUATIONAL SIMULATION AS A METHOD OF TRAINING SPECIALISTS AND EFFICIENCY OF DECISION-MAKING**A.V. Faraonov**

Training of specialists based on modeling an unforeseen situation on the route, choosing a new delivery route, teaching the necessary qualification skills and making decisions based on simulation modeling of transport and logistics systems modeled in AnyLogic, ExtendSim8 and “Business Map”. The problem of multicriteria choice of delivery routes is solved under conditions of uncertainty based on the theory of fuzzy sets.

Keywords: training of specialists, situational model, fuzzy situational networks.

GPSS STUDIO – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**М.В. Федотов, В.В. Девятков, Т.В. Девятков**

В статье представлена новая версия программной системы для автоматизации разработки дискретно-событийных моделей и проведения имитационных исследований GPSS Studio. Описаны наиболее важные изменения, которые расширяют возможности исследователя и упрощают работу с моделью: новые инструменты анимации, генератор итогового отчета, стандартная библиотека GPSS тэбов, инструментарий тестирования тэбов и подсистема оптимизация.

Ключевые слова: имитационное моделирование, GPSS, анимация, итоговый отчет, тестирование элементов модели, оптимизация.

GPSS STUDIO - NEW OPPORTUNITIES AND PROSPECTS**M.V. Fedotov, V.V. Devyatkov, T.V. Devyatkov**

The article presents a new version of GPSS Studio software. It automates discrete-event simulation models development process and helps an explorer to perform simulation researches. The article describes most important changes that expand the capabilities of the researcher and made model development simpler. Some of them are new animation tools, final report generator, standard GPSS TEB library, TEB testing framework and optimization subsystem.

Keywords: simulation, GPSS, animation, final report, model elements testing, optimization.

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**М.П. Филяев, А.А. Воробьев**

Инструментарий современных программных сред имитационного моделирования позволяет разрабатывать адекватные модели сложных логистических процессов. При этом жизненный цикл модели остается непродолжительным ввиду её сильной привязанности к структуре исследуемого процесса. Рассмотрен технологический подход к созданию специализированных инструментальных средств имитационного моделирования однотипных логистических процессов, позволяющий пользователю адаптировать имитационную модель к изменяющейся структуре процесса без привлечения разработчика.

Ключевые слова: имитационная модель, инструментальное средство, логистический процесс, технология моделирования, материально-техническое обеспечение.

TECHNOLOGY OF CREATION OF SPECIALIZED INSTRUMENTAL MEANS OF SIMULATION MODELING OF LOGISTIC PROCESSES**M.P. Filyaev, A.A. Vorobiev**

The toolkit of modern software environments for simulation allows the development of adequate models of complex logistics processes. At the same time, the life cycle of the model remains short because of its strong attachment to the structure of the process under study. The technological approach to the creation of specialized tools for simulation of the same type of logistic processes, which allows the user to adapt the simulation model to the changing process structure without involving a developer, is considered.

Key words: simulation model, tool, logistic process, modeling technology, logistics.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ И КАСТОМИЗАЦИИ ИНТЕГРАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ИТ-КОМПАНИИ**С.В. Хаджиева**

Статья посвящена проблеме внедрения гибкой методологии Agile в ИТ-компаниях. Решаемая задача носит прикладной характер в ИТ-отрасли и состоит в определении влияния изменений, внедряемых руководством ИТ-компаний, на бизнес-процесс разработки и кастомизации интеграционных решений в условиях Agile-трансформации. Целью является совершенствование механизмов принятия решений за счёт получения новых данных о функционировании исследуемого бизнес-процесса на основе результатов имитационного моделирования. Автором выделяются и описываются характерные особенности этапа трансформации. Предложен способ алгоритмизации требований для разработки модели, учитывающий влияние выделенных характеристик. Главное достоинство алгоритмического представления требований – гибкий переход от этапа аналитики к программной реализации модели. Полученные результаты позволят на научной основе оценить эффективность различных стратегий управления бизнес-процессом разработки и кастомизации интеграционных решений в интересах сохранения конкурентоспособности компании на рынке ИТ-услуг. Данная статья будет полезна аналитикам и разработчикам имитационных моделей, а также ИТ-менеджерам и другим лицам, принимающим решения в ИТ-компаниях.

Ключевые слова: имитационное моделирование, бизнес-процесс, ИТ-компания, Agile-трансформация, алгоритм.

ALGORITHMIZATION OF REQUIREMENTS FOR AN SIMULATION MODEL OF BUSINESS PROCESS OF DEVELOPMENT AND CUSTOMIZATION OF INTEGRATION SOLUTIONS IN IT-COMPANY**S.V. Hadzhieva**

The article is devoted to the problem of implementing an Agile methodology in IT-company. The task to be solved is to determine the impact of changes introduced by the management of the IT-company on the business process of developing and customizing integration solutions. Aim of the study is to improve decision-making mechanisms based on simulation modelling results. The author identifies and describes the specific features of the transformation stage. In addition, a way for requirements algorithmization for model development is proposed taking into account the influence of the selected characteristics. The main advantage of the algorithmic representation of requirements is a flexible transition from the analytics stage to the software implementation of the model. Obtained results will allow to evaluate the effectiveness of various strategies for managing the business process of developing and customizing integration solutions in the interests of maintaining the company's competitiveness in the IT-services market. This article will be useful to analysts, developers of simulation models and IT-managers.

Keywords: simulation modeling, business process, IT company, Agile transformation, algorithm.

ИМИТАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЛОЦМАНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ МОРСКОГО ПОРТА**Я.А. Яковлева, И.О. Бондарева, А.А. Ханова**

Рассмотрена структура, состав и взаимосвязи подсистем, модулей и компонентов имитационно-аналитической системы лоцманской информационной поддержки морского порта. Детально рассмотрена имитационная модель процессов лоцманской проводки в Anylogic на основе интеграции дискретно-событийной и агентной модели, включая геоинформационный компонент. Приведено описание компонентов модуля интеллектуального анализа данных реализованного на базе аналитической платформы Loginom. Показано преимущество использования имитационно-аналитического подхода с целью детализации анализа и прогнозирования показателей в различных навигационных ситуациях.

Ключевые слова: комплекс моделей, морской порт, лоцманская проводка, имитационное моделирование, интеллектуальный анализ данных.

SIMULATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF PILOT INFORMATION SUPPORT OF SEA PORT**J.A. Jakovleva, I.O. Bondareva, A.A. Khanova**

The structure, composition and interconnections of subsystems, modules and components of the simulation and analytical system of the pilot information support of the sea port are considered. The simulation model of pilot wiring processes in Anylogic based on integration of discrete-event and agent model, including geo-information component, is discussed in detail. The components of the data intelligence module implemented on the Loginom analytical platform are described. The advantage of using a simulation-analytical approach to detail analysis and forecast of key figures in different navigation situations is shown.

Keywords: model complex, sea port, pilot wiring, simulation, Data Mining.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПО УПАКОВКЕ ТОВАРОВ В СИСТЕМЕ ANYLOGIC**Н.И. Фаттахов, З.Р. Ханова, В.В. Мокшин**

В данной статье представлена структурная схема организации процесса упаковки товара, а именно таких ее разделов как «Упаковка товаров» и «Сборка упакованных товаров», для изучения подробной информации об этих подсистемах существует возможность прочитать их описание. Также приведена имитационная модель работы производства по упаковке товаров в системе имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: производство, упаковка, товары, имитационное моделирование, оптимизация, система AnyLogic

OPTIMISATION OF WORK PACKAGING PRODUCTION IN THE SYSTEM ANYLOGIC**N.I. Fattakhov, Z.R. Khanova, V.V. Mokshin**

This article presents a block diagram of the organization of the product packaging process, namely, such sections as “Packaging of goods” and “Assembling of packed goods”, for studying detailed information about these subsystems there is an opportunity to read their description. Also shown is a simulation model of the production of packaging goods in the simulation system AnyLogic

Keywords: production, packaging, products, simulation modeling, optimisation, AnyLogic system.

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**М.М. Монахова, Д.А. Шерунтаев, И.С. Марков, Д.В. Мазурок**

Одной из главных задач разработки модели является повышение эффективности обнаружения инцидентов информационной безопасности путем идентификации пользователя/злоумышленника в корпоративной сети передачи данных. Научная новизна полученных результатов заключается в разработке модели поведения пользователя корпоративной сети передачи данных, разработке алгоритма выявления инцидентов ИБ, связанной с несанкционированным доступом в КСПД.

Ключевые слова: идентификация, пользователь, портрет пользователя, лица чернова, корпоративная сеть передачи данных, клавиатурный почерк, мышь.

BEHAVIOR MODEL OF THE USER OF A CORPORATE DATA TRANSMISSION NETWORK**M.M. Monakhova, D.A. Sheruntaev, I.S. Markov, D.V. Mazourkas**

One of the main tasks of development of model is increase in efficiency of detection of incidents of information security by identification of the user/malefactor in a corporate data transmission network. The scientific novelty of the received results consists in development of behavior model of the user of a corporate data transmission network, development of an algorithm of identification of incidents of IB connected with illegal access in KSPD.

Key word: identification, user, portrait of the user, person of a chernov, corporate data transmission network, keyboard handwriting, computer mouse.

**КОМПЛЕКСНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА****С.М. Щербаков**

Целью работы является построение имитационной модели для оценки и минимизации затрат труда преподавателей и сотрудников вуза на учебно-методическую деятельность в условиях ФГОС 3++. В качестве инструментария используется система имитационного моделирования СИМ-UML. Модель включает секторы бакалавриата, магистратуры, аспирантуры, дополнительного профессионального образования, отражает процессы планирования, разработки контента, оформления. Модель позволяет сформировать направления автоматизации и реорганизации процессов учебно-методической работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта 19-013-00690 «Экономика учебно-методической деятельности в высшей школе».

UNIVERSITY EDUCATIONAL-METHODICAL ACTIVITY SIMULATION**S.M. Shcherbakov**

The aim of the study is to build a simulation model for assessing and minimizing the labor costs of teachers and university staff on the educational methodical activity. SIM-UML software is used as simulation tool. The proposed model includes such sectors as: undergraduate, graduate, postgraduate, additional professional education; processes such as planning, content provision, documents formation. The model allows to determine educational and methodological support of the university processes automation and reengineering directions.

The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR) according to the research project № 19-013-00690 “Economics of educational and methodological activities in high school”

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СЛУЧАЙНЫЕ ГРАФЫ**М.Н. Юдина**

Рассматриваются структуры взаимодействия агентов в AnyLogic. Выбор конкретной структуры взаимодействия агентов в виде случайного графа существенно влияет на результаты моделирования сетевых процессов. В работе предлагается для повышения адекватности агентных моделей использовать графы предпочтительного связывания, позволяющие достичь соответствия по заданным структурным характеристикам случайных графов и моделируемых сетей. Реализация графов предпочтительного связывания и средств их калибровки позволит выполнять исследования сетей и сетевых процессов средствами агентного моделирования на качественно новом уровне.

Ключевые слова: агентное моделирование, графы предпочтительного связывания, сетевые процессы.

AGENT-BASED SIMULATION AND RANDOM GRAPHS**M.N. Yudina**

Types of agent interaction structures in AnyLogic are considered. The choice of a specific agent interaction structure significantly affects the results of modeling network processes. To increase the adequacy of agent models, it is proposed to use increasing correspondence for given structural characteristics of random graphs and simulated networks. Preferential attachment random graphs are investigated as a basic network model. The implementation of the preferential attachment random graphs and graph calibration will allow the study of networks and network processes by means of agent simulation at a qualitatively new level.

Key words: agent-based simulation, preferential attachment random graphs, network processes.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛОВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ
УЧАСТНИКОВ ПРОГРАММ НЕГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕНСИОННОГО
СТРАХОВАНИЯ**

О.Н. Яркова

В работе предложена имитационная модель прогнозирования количества и половозрастного распределения участников пенсионных программ негосударственного пенсионного фонда. В модели учитывается стохастическая природа заключения и расторжения договоров с фондом, смертности участников пенсионной программы, в том числе с учетом возрастных характеристик, выхода на пенсию по причинам не связанным с достижением пенсионного возраста. Приведен алгоритм моделирования, проведены вычислительные эксперименты.

Ключевые слова: имитационное моделирование, половозрастная структура, возрастные когорты, пенсионное страхование, негосударственный пенсионный фонд.

**SIMULATION MODELING OF GENDER-AGE STRUCTURE OF PARTICIPANTS OF NON-
STATE PENSION INSURANCE PROGRAMS**

O.N. Yarkova

The paper proposes a simulation model for predicting the number and age distribution of participants in pension programs of non-state pension fund. The model takes into account the stochastic nature of the conclusion and termination of contracts with the fund, mortality of pension program participants, including taking into account age characteristics, retirement for reasons not related to the achievement of retirement age. The article presents a modeling algorithm, computational experiments are carried out.

Keywords: simulation modeling, gender and age structure, age cohorts, pension insurance, non-state pension Fund.