

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-182-188

УДК 004.415.2

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИМИТАТОРА СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

DEVELOPMENT OF THE SUBSYSTEM OF SIMULATION OF THE PROBLEM-ORIENTED IMITATOR OF THE PETRI NETS FOR DESIGNING OF COAL FACE MINING OPERATIONS IN COAL MINES

Решетова Татьяна Александровна¹,

магистрант, e-mail: androide@bk.ru

Reshetova Tatiana A.¹, undergraduate

Стародубов Алексей Николаевич^{1,2},

кандидат техн. наук, старший научн. сотрудник, e-mail: a.n.starodubov@gmail.com

Starodubov Alexey N.^{1,2}, C. Sc. (Engineering), Senior Researcher

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, ul.Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук

²Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 18, Sovetskiy pr., Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация. Одной из главных задач информационных систем вообще и в горном деле в частности является обеспечение процесса принятия решений, т.е. предоставление точной информации в необходимое время. Надежность и достоверность принятых решений оказывают существенное влияние на функционирование информационной системы. При этом немаловажную роль играет и сам процесс принятия решений, т.е. применяемые средства и технологии. В данной статье приведен анализ программных комплексов и средств, наиболее подходящих для моделирования очистных работ на угольных шахтах. Приведен пример имеющегося проблемно-ориентированного имитатора, при создании которого основная часть усилий затрачена на разработку алгоритмов и программную реализацию основных положений математического аппарата сетей Петри, и выявлены его недостатки. Приведено описание структурной схемы и определена концепция построения и разработки нового проблемно-ориентированного имитатора лишенного данных недостатков, обеспечивающий кроме того удобный и наглядный интерфейс с проектировщиком, не являющимся специалистом в области математического моделирования, который будет служить эффективным средством поддержки принятия решений. Исходя из этого целью исследования является повышение эффективности и качества проектирования очистных работ на угольных шахтах Кузбасса за счет обеспечения наглядности и интерактивности процесса принятия решений с использованием разработанных алгоритмов и подсистемы моделирования проблемно-ориентированного имитатора на основе сетей Петри.

Abstract. One of the main tasks of information systems in general and in mining in particular is ensuring decision-making process, i.e. providing exact information when required. Reliability and validity of the taken decisions have a significant impact on the functioning of the information system. At the same time, an important role is played also by decision-making process, i.e. the applied means and technologies. The article gives an analysis of software products and tools that are most suitable for simulating the coal mining operations in coal mines. The article gives an example and identifies the shortcomings of the existing problem-oriented simulator, during its creation the major efforts were spent on development of algorithms and on program implementation of basic provisions of the mathematical apparatus of Petri nets. A description of the structural scheme is given and the concept of construction and development of a new problem-oriented simulator is defined which is devoid of these shortcomings. This new problem-oriented simulator will serve as an effective means of decision support

providing a convenient visual interface for the designer who is not a specialist in the field of mathematical modeling. On this basis, the aim of the study is to increase the efficiency and the quality of the face mining operations engineering in coal mines of Kuzbass by providing clarity and interactivity of the decision-making process using the developed algorithms and subsystems of problem-oriented simulator modeling based on Petri nets.

Ключевые слова: *сети Петри, имитатор, имитационное моделирование, интерфейс, программный модуль.*

Keywords: *Petri nets, imitator, imitations modeling, interface, software module.*

Актуальность

Одной из главных задач информационных систем вообще и в горном деле в частности является обеспечение процесса принятия решений, т.е. предоставление точной информации в необходимое время. Надежность и достоверность принятых решений оказывают существенное влияние на функционирование информационной системы. При этом немаловажную роль играет и сам процесс принятия решений, т.е. применяемые средства и технологии. В настоящее время известно множество методов для решения обозначенной задачи [1- 8], однако потребность в создании новых методов, позволяющих улучшить качество принимаемых решений, все еще высока. Это объясняется недостатками существующих методов и широким разнообразием применяемого на горнодобывающих предприятиях оборудования.

В рамках совместных исследований, проводимых ИУ ФИЦ УУХ СО РАН и КузГТУ, разрабатывается проблемно-ориентированный имитатор, основанный на математическом аппарате сетей Петри и предназначенный для моделирования подземных горных работ. Благодаря достоинствам сетей Петри (математически строгое описание модели, графическое представление сети, возможность иерархического моделирования и описания системы на различных уровнях абстракции) имитатор позволяет проводить анализ структур различных систем и на основе проведения экспериментов выявлять недостатки и находить решение для заданных условий. При создании указанного проблемно-ориентированного имитатора основная часть усилий затрачена на разработку алгоритмов и программную реализацию основных положений математического аппарата Сетей Петри. При этом все еще не реализован, либо требует доработки интерфейс пользователя, тестирование и устранение ошибок, адаптация имитатора под актуальные задачи моделирования подземных горных работ. Без устранения указанных недостатков невозможно позиционировать разработанный проблемно-ориентированный имитатор как современное и эффективное средство поддержки решений, принимаемых при проектировании очистных работ на угольных шахтах Кузбасса. В свою очередь, удовлетворяющий всем требованиям сетей Петри проблемно-ориентированный имитатор, обеспечивающий кроме того удобный и наглядный интерфейс с проектировщиком, не являющимся специалистом в области математического моделирования, будет служить эффективным средством под-

держки принятия решений.

В связи с этим разработка подсистемы моделирования проблемно-ориентированного имитатора сетей Петри для моделирования подземных горных работ, обладающей современным интуитивно-понятным интерфейсом, профильной базой данных и интерактивным представлением результатов моделирования, является актуальной научной задачей.

Цели и задачи разработки

Исходя из актуальности целью исследования является: повышение эффективности и качества проектирования очистных работ на угольных шахтах Кузбасса за счет обеспечения наглядности и интерактивности процесса принятия решений с использованием разработанных алгоритмов и подсистемы моделирования проблемно-ориентированного имитатора на основе сетей Петри.

Исходя из поставленной цели задачами исследования являются:

- проведение сравнительного анализа способов и программных средств реализации математического аппарата сетей Петри;
- разработка графического редактора сетей Петри;
- разработка интерактивной системы построения и анализа свойств сетей Петри;
- построение моделей очистных работ на угольных шахтах Кузбасса и проведение имитационных экспериментов по исследованию и определению зависимостей производительности горных работ от различных параметров оборудования и технологий.

Анализ существующих ИС

При проектировании горнотехнических систем обычно используются пакеты программ для геологии, горного планирования, маркшейдерии и различных производственных нужд. Эти программы обычно или покупаются у специализированных компаний, или разрабатываются на самом предприятии. В любом случае эти программы автоматизируют решение отдельных задач и оцениваются в соответствии с тем, насколько они подходят для нужд конкретного производства. Грубо говоря, все эти продукты могут быть классифицированы следующим образом:

- Горные системы общего назначения (Gemcom, Maptek, Mintec, Surpac and Datamine).
- Специализированные горные программы

Таблица 1. Сравнительный анализ программных средств моделирования горных работ

Название ПО, поставщик	Назначение / Область применения
Программный комплекс «Gorplan», Гипроуголь г. Новосибирск	<ul style="list-style-type: none"> - планирование очистных работ без учета подготовки и возможных исполнителей (для перспективного планирования); - планирование очистных работ с минимально возможными сроками подготовки без учета исполнителей; - комплексное планирование очистных и подготовительных с учетом исполнителей работ в диалоговом режиме.
Система автоматизации камеральных маркшейдерско-геологических работ «САМАРА», Украина, Днепропетровская обл., г. Павлоград	<ul style="list-style-type: none"> - ввод, накопление и обработку данных полевых измерений с последующим графическим их отображением - проведение сквозного комплекса графических работ, связанных с отображением текущего состояния горных выработок, их проектированием и контролем проведения - проведение измерительных и разметочных операций в плановой проекции и трехмерном пространстве - автоматическое формирование трехмерных моделей горных выработок - подготовка и изготовление горной графической документации различного назначения и масштабов - ввод, накопление и обработка данных о геологической структуре горного отвода, получаемых в ходе разведочного бурения, проходческих и очистных работ - формирование и анализ пространственных моделей рельефа и геологических пластов

- Системы управления производством (Modular Mining Systems, Wenco, Tritronics, Aquila).

- Системы регистрации производства.

Результат анализа программных комплексов и средств, наиболее подходящих для моделирования очистных работ, приведен в таблице 1, где указан программный продукт, поставщик, его назначение и область применения [9, 10].

Данные программные комплексы подходят для решения задач планирования и моделирования очистных работ, однако, во-первых, требуют навыков инженерной и компьютерной графики от инженера-пользователя, а во-вторых не позволяют оценить производительность работ в зависимости от параметров технического оборудования.

Назначение разрабатываемой системы

Система предназначена для исследования и разработки сложных систем из различных предметных областей (авиакосмический, железнодорожный и др. транспорт, информатика и вычислительная техника, социология, обучение, менеджмент и маркетинг, юриспруденция и др.), с обеспечением работы следующих функций:

- автоматизированное построение имитационных моделей сложных объектов;
- проведение имитационного моделирования в режимах пошагового исполнения (для отладки моделей) и сбора статистики;

- формальный анализ систем, представленных сетями Петри, с точки зрения структурных и поведенческих свойств.

Требования к разрабатываемому проблемно-ориентированному имитатору.

1. Реализация математического аппарата Сетей Петри (правила срабатывания переходов, генерация маркеров позиций).
2. Построение графической модели (возможность построения модели используя графические объекты графа сети Петри).
3. Интерпретация и отображение результатов моделирования.
4. Возможность сохранения, загрузки и последующего редактирования моделей.
5. Интуитивно понятный и современный пользовательский интерфейс.

Структурная схема

На основе выдвинутых требований составлена следующая структурная схема имитатора (рис. 1)

Пользователь взаимодействует с программой через «Пользовательский интерфейс» (ПИ), задает начальные параметры для объектов моделирования, строит Сеть, используя «Модуль управления», получает отчеты результатов моделирования.

«Пользовательский интерфейс» отвечает за взаимодействие проблемно-ориентированного имитатора и пользователя, предоставляет визу-

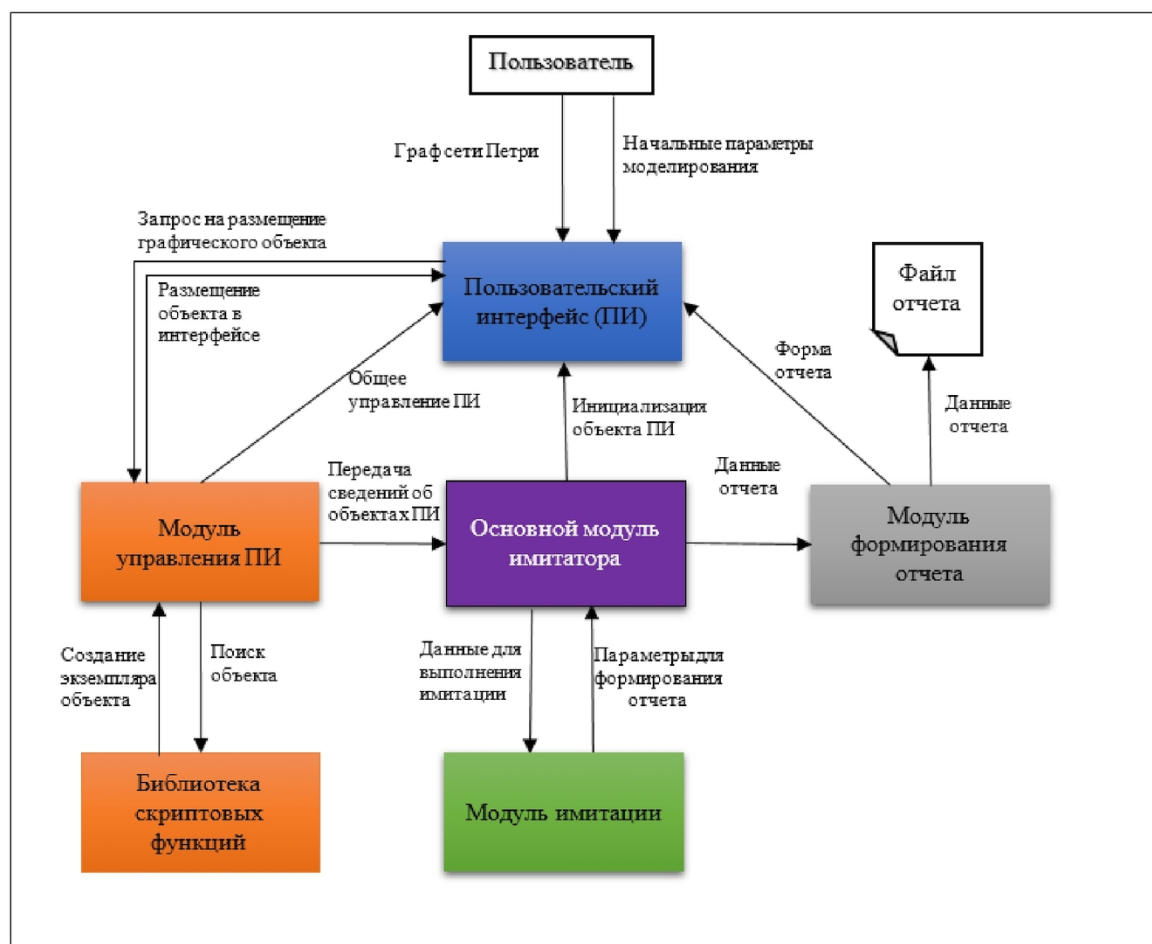


Рис.1. Структурная схема разрабатываемой системы

альное отображение по средствам 2х-мерной графики графа сети Петри. ПИ запускается «Основным модулем» и далее обращается к нему только за вызовом функций через «Модуль управления».

«Основной модуль» выполняет роль связующего звена между всеми модулями проблемно-ориентированного имитатора, и координирует их взаимодействие. Основной модуль получает сведения о расположении объектов графической модели, данные для заполнения матриц и векторов, параметры и свойства объектов модели из «Модуля управления ПИ». В зависимости от выбранного режима работы, «Основной модуль» составляет пакет данных для формирования модели для дальнейшего имитационного эксперимента либо на основании параметров, заданных пользователем, либо по параметрам сгенерированными «Модулем управления» по умолчанию, и передаются для расчета в «Модуль имитации». Результаты моделирования затем передаются в «Модуль формирования отчета».

«Модуль управления ПИ» взаимодействует напрямую с «Интерфейсом». В зависимости от запроса пользователя создает экземпляр объекта графики и формирует его визуальное отображение в «Интерфейсе», а также обработку по изменению свойств и параметров созданных объектов.

«Библиотека скриптовых функций» представ-

ляет собой набор функций управления и обработки запросов от «Пользовательского интерфейса» для построения графа сети Петри.

«Модуль имитации», содержит в себе математические алгоритмы аппарата сетей Петри, выполняет необходимые расчеты, после чего формирует выходные данные. Выходные данные передаются через «Основной модуль» в «Модуль формирования отчета», где обрабатываются, и формируется отчет по экспериментам в удобочитаемой форме. Отчеты передаются в «Пользовательский интерфейс» с последующим сохранением в виде текстового файла или таблицы.

Выбор среды разработки и концепции разрабатываемого приложения.

Разработка будет производиться в среде Visual Studio 2015. Microsoft Visual Studio 2015 — это набор инструментов для создания программного обеспечения: от планирования до разработки пользовательского интерфейса, написания кода, тестирования, отладки, анализа качества кода и производительности, развертывания в средах клиентов и сбора данных телеметрии по использованию. Эти инструменты предназначены для максимально эффективной совместной работы; все они доступны в интегрированной среде разработки (IDE) Visual Studio.

В результате анализа требований и технологий

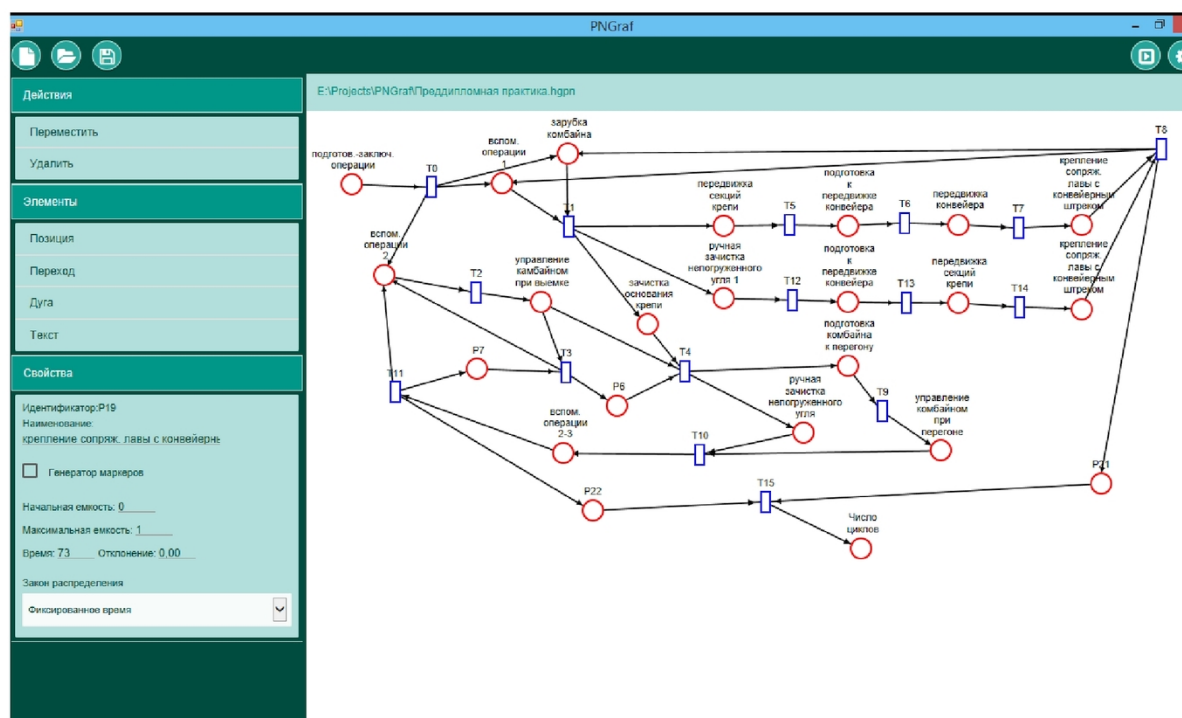


Рис. 2. Графический интерфейс разрабатываемого имитатора

разработки информационных систем выдвинут вариант концепции оконного приложения Windows (Windows Forms) с интеграцией файла разметки HTML.

Windows Forms — интерфейс программирования приложений (API), отвечающий за графический интерфейс пользователя и являющийся частью Microsoft .NET Framework. Данный интерфейс упрощает доступ к элементам интерфейса Microsoft Windows за счет создания обёртки для существующего Win32 API в управляемом коде. Причём управляемый код — классы, реализующие API для Windows Forms, не зависят от языка разработки.

С одной стороны, Windows Forms рассматривается как замена более старой и сложной библиотеке MFC, изначально написанной на языке C++. С другой стороны, WF не предлагает парадигму, сравнимую с MVC.

Приложение Windows Forms представляет собой событийно-ориентированное приложение, поддерживаемое Microsoft .NET Framework.

В результате анализа требований и технологий разработки информационных систем выбран вариант концепции оконного приложения Windows (Windows Forms) с интеграцией файла разметки HTML в основной программный модуль, что позволит упростить управление графическими объектами.

Данный подход построения приложения заключается в том, что вместо стандартных элементов управления Windows Forms, интерфейс пользователя строится средствами веб-технологий

(HTML, CSS, JS), и используя дополнительные библиотеки подгружаются в основной модуль приложения.

Реализация требований и разработка

Пользовательский интерфейс должен быть интуитивно понятен и прост в обращении для пользователя. Для этого выбран вариант разработки приложения на основе интеграции файла разметки HTML в основной программный модуль, что позволит упростить управление графическими объектами.

Реализация графики при построении сети Петри отличается от той что была в NetStar где, для изображения графа сети Петри использовался метод динамической отрисовки статического графического объекта (картинки) с нарисованной на нем Сетью [3, 13, 14].

В данном случае в качестве позиций, переходов и дуг используются пользовательские элементы управления, построенные с применением html, css и java script (рис. 2)

Плюсом данного подхода является то, что упрощается управление свойствами отдельной позиции или перехода. Минус — данный подход более ресурсоемкий в сравнении с отрисовкой графики в NetStar, однако в условиях современных вычислительных мощностей компьютерных систем и оборудования данный подход является допустимым.

Структура данных

Структура данных программного комплекса включает в себя несколько объектно-ориентированных списков, элементами которых

являются позиции и переходы сети. Процедуры работы с данными предусматривают несколько способов доступа к элементам этих списков:

- доступ к первому и последнему элементу и последовательный просмотр всего списка;
- прямой доступ к элементу по его порядковому номеру в списке;
- доступ по значению ключа, по которому изначально упорядочивается весь список.

Возможность использования одного или нескольких из указанных способов доступа по отношению к каждому конкретному списку определяется при его создании и основана на концепции объектно-ориентированного программирования, при этом простой просмотр определен для структур самого нижнего уровня.

параметры, отвечающие за отображение объ-

екта в «Интерфейсе», такие как: цвет, положение, значение, наименование, и т.п., задаются объекту непосредственно в качестве его свойства.

Заключение

Предлагаемый в работе подход к созданию проблемно-ориентированного имитатора сетей Петри позволяет разработать программный продукт, отвечающий современным требованиям и исключающий недостатки аналогов. При этом сохраняются основные положения математического аппарата сетей Петри. Имитатор дает возможность разрабатывать модели технологических систем наглядным графическим способом, не используя матричное представление, проводить имитационные эксперименты и оценивать производительность и эффективность систем на их моделях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федорин В.А., Татаринова О.А. Метод оптимизации доступа к участку угольного месторождения. // Журнал «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». СибГИУ – Новокузнецк, 2016, -№2. –С. 182-185. (РИНЦ)
2. Клишин В.И., Федорин В.А., Михайлов А.Ю. Рациональный порядок открытой разработки горючих сланцев Кузбасса// ГИАБ № 10 (специальный выпуск 45-1), М.: изд. «Горная книга». Материалы II Международная научно-практическая конференция «Открытые горные работы в XXI веке» (г. Красноярск, 1-3 октября 2015 г.) –С. 379-385
3. Зиновьев В.В. Практическое применение программных средств имитационного моделирования / В.В. Зиновьев, П.В. Гречишкин // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2007): Сб. трудов III Всероссийск. научн.-практич. конф. (17-19 октября 2007). - СПб: ФГУП «ЦНИИ технологии судостроения», 2007. - С. 78-82.
4. Конюх В.Л. Опыт применения сетей Петри для имитации поведения систем / В.Л. Конюх // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2009): Сб. трудов IV Всероссийск. научн.-практич. конф. (21-23 октября 2009). - СПб: ФГУП «ЦНИИ технологии судостроения», 2009. - С. 27-37.
5. Стародубов А.Н., Система имитационного моделирования горнопроходческих работ / А.Н. Стародубов, В.В. Зиновьев, М.В. Береснев, А.Е. Майоров // Уголь. – 2016. – № 2.
6. Мальков М. В., Малыгина С. Н. Сети Петри и моделирование // Труды Кольского научного центра РАН. 2010. №3 С.35-40.
7. Стародубов А.Н. Система имитационного моделирования автоматизированных производственных систем / А.Н. Стародубов, В.В. Зиновьев // Ежегодная молодежная конференция ИУ СО РАН – 2015 [Электронный ресурс] : сб. тр. конференции, Кемерово, 16–17 апреля 2015 г. – Электронные текстовые дан. – Кемерово: Институт угля СО РАН, 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD–ROM). – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978–5–902305–46–0. – № гос. регистрации: 0321502236.
8. Sinoviev Vasilii V. Simulation Application for Evaluating of Efficiency of Mining Systems Automation / Vasilii V. Sinoviev, Aleksey N. Starodubov, Mihail U. Dorofeev, Victor V. Okolnishnikov // WSEAS Transactions on Systems, ISSN / E-ISSN: 1109–2777 / 2224–2678. – Vol. 14. – 2015. – Art. #24. – Pp. 261–267. / Scopus
9. Программный комплекс «Gorplan» Гипроуголь г. Новосибирск <http://www.giprougol.ru/technologies/software/gorplan/>
10. Программный комплекс Самара <http://lct.com.ua/ru/samara.php>
11. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М: Мир, 1984. — 264 с.
12. Мурата Т- Сети Петри: свойства, анализ и приложения // Тр. ТИИИЭР, пер. с англ. Т. 77. № 4. 1989. С. 41–79.
13. Konyukh V., Davidenko V. Petri Nets as a Tool for Mine Simulation // Mineral Resources Engineering. 1999. Vol. 8. № 4. P. 361–371.
14. Зиновьев, В. В. Моделирование процессов и систем: учеб. пособие / В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – 144 с.
15. Полетаев, В. А., Зиновьев, В. В., Стародубов, А. Н., Чичерин, И. В. Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем / под ред. В. А. Полетаева. – Москва: Машиностроение, 2011. – 324 с.

REFERENCES

1. Fedorin V. A., Tatarinova O. A. Optimization Method of access to the site of the coal-field. // "High technologies of development and utilization of mineral resources". SibSIU, Novokuznetsk, 2016, No. 2. – P. 182-185. (RISC)
2. Klishn V. I., Fedorin V. A., Mikhailov A. Y. The Rational order of opencast mining of oil shale in Kuzbass, GORN No. 10 (special issue 45-1), M. ed. "Mountain book". Proceedings of the II international scientific practical conference "Surface mining in XXI century" (Moscow, 1-3 October 2015), – P. 379-385
3. Zinoviev V. V. The Practical application of software imitating modeling V. V. Zinoviev, P. V. Grechishkin // Imitating modeling. Theory and practice (IMMOD-2007): Sat. papers III Exh. scientific.-practical. Conf. (17-19 October 2007). - SPb: FSUE "CRI of shipbuilding technology ", 2007. - P. 78-82.
4. Konyukh V. L. Experience in the application of Petri nets to simulate the behavior of systems / V. L. Konyukh // Imitating modeling. Theory and practice (IMMOD-2009): Sat. papers IV Exh. scientific.-practical. Conf. (21-23 October 2009). - St. Petersburg: FSUE "CRI of shipbuilding technology", 2009. - P. 27-37.
5. Starodubov, A. N., System of imitating modeling of mining operations / A. N. Starodubov, V. V. Zinoviev, V. M. Beresnev, A. E. Maiorov // "Coal". – 2016. – No.2.
6. Malkov M. V., Malygina S. N. Petri nets and modeling // Proceedings of the Kola science centre of RAS. 2010. No. 3 - P. 35-40.
7. Starodubov A. N. The system of simulation modeling of automated manufacturing systems / A. N. Starodubov, V. V. Zinoviev // Annual youth conference Yiwu SB RAS – 2015 [Electronic resource] : collection of works]. conference, Moscow, 16-17 April 2015 – Electronic text given. – Kemerovo: Institute of coal SB RAS, 2015. – 1 electron. opt. disk (CD-ROM). The title. with disc label. – ISBN 978-5-902305-46-0. – state registration number: 0321502236.
8. Sinoviev Vasilii V. Simulation Application for Evaluating of Efficiency of Mining Systems Automation / Vasilii V. Sinoviev, Aleksey N. Starodubov, Mihail U. Dorofeev, Victor V. Okolnishnikov // WSEAS Transactions on Systems, ISSN / E-ISSN: 1109-2777 / 2224-2678. – Vol. 14. – 2015. – Art. #24. – pp. 261–267. / Scopus
9. The software package "Gorplan" Giprogor Novosibirsk <http://www.giprougol.ru/technologies/software/gorplan/>
10. The software package "SAMARA" <http://lct.com.ua/ru/samara.php>
11. Peterson George. The theory of Petri nets and modeling of systems. — M: Mir, 1984. — p.264.
12. Murata, T Petri nets: properties, analysis and applications // Proc. TIIER, TRANS. from English. Vol. 77. No. 4. 1989. p. 41-79.
13. Konyukh V., Davidenko V. Petri Nets as a Tool for Mine Simulation // Mineral Resources Engineering. 1999. Vol. 8. № 4. p.361–371.
14. Zinoviev, V. V. Modeling of processes and systems: proc. the manual / V. V. Zinoviev, A. N. Starodubov, P. I. Nikolaev; KuzSTU. – Kemerovo, 2016. – p.144.
15. Poletaev, V. A., Zinoviev, V. V., Starodubov, A. N., Chicherin, I. V. Design of computer-integrated manufacturing systems / ed. by V. A. Poletaev. – Moscow: Mechanical Engineering, 2011. – p.324.

*Поступило в редакцию 3 июня 2017
Received 3 June 2017*