

Имитационное моделирование функциональных структур технологических систем угледобывающих предприятий

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-2-57-60>

Предложена процедура оптимизации функциональных структур технологических систем угледобывающих предприятий с использованием имитационного моделирования. В моделируемой системе предлагается выделить два класса основополагающих производственных процессов: производственные процессы непрерывного цикла – процесс их моделирования реализуется с помощью дискретно-событийного подхода; производственные процессы дискретного и организационно-управленческого цикла – процесс их моделирования реализуется с помощью агентного комбинированного подхода (алгоритмический на взвешенных графах и элементы системной динамики). Функциональная структура предложенной имитационной модели способна адекватно смоделировать необходимое число соответствующих уровней иерархической стохастической структуры конкретного объекта моделирования и учесть все технико-технологические вложенности их состояний с учетом системной динамики, что позволяет объективно и надежно отражать поведенческую сторону сложных технологических систем угледобывающих предприятий с выделением «узких мест» и разработкой превентивных мероприятий по их устранению.

Ключевые слова: угледобывающее предприятие, функциональная структура, технологическая система, имитационное моделирование, дискретно-событийный подход, системная динамика.

Для цитирования: Имитационное моделирование функциональных структур технологических систем угледобывающих предприятий / В.В. Агафонов, Е.В. Зайцева, В.В. Яхеев и др. // Уголь. 2022. № 2 С. 57-60. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-57-60.

ВВЕДЕНИЕ

С целью снижения капиталоемкости и материалоемкости на этапе проектирования функциональных структур технологических систем угледобывающих предприятий подлежат учету только те альтернативные варианты технологических, технических и организационных решений, которые синтезируются в оптимальный (рациональный) вариант с использованием оптимизационных процедур на

АГАФОНОВ В.В.

Доктор техн. наук, профессор
кафедры «Геотехнологии освоения недр»
Горного института НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

ЗАЙЦЕВА Е.В.

Доктор техн. наук, доцент
кафедры «Автоматизированные системы управления»
ИТАСУ НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

ЯХЕЕВ В.В.

Канд. техн. наук, доцент
кафедры горноспасательного дела и взрывобезопасности
Санкт-Петербургского университета Государственной
противопожарной службы МЧС РФ,
190000, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: yakvaleri@yandex.ru

СНИГИРЕВ В.В.

Аспирант кафедры «Геотехнологии освоения недр»
Горного института НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

ГУРКОВ А.А.

Аспирант кафедры «Геотехнологии освоения недр»
Горного института НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

основе производственных правил. Общеизвестным фактом является то, что только на базе использования процедуры широкомасштабного моделирования горных работ риск принятия неправильных и необоснованных технологических, технических и организационно-управленческих решений в области проектирования и развития горнотехнических систем сводится к минимуму. И здесь преобладающее предпочтение отдается процедурам имитационного моделирования. Конечные результаты имитационного моделирования служат достоверной, объективной и надежной первоосновой для принятия стратегических решений в области оптимизации функциональных структур технологических систем угледобывающих предприятий, так как в этом случае устанавливаются конкретные причинно-следственные цепочки, обуславливающие основные источники и причины неэффективного использования пассивной и активной частей основных фондов, приводящие к значительным эксплуатационным издержкам.

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Имитационную модель функциональной структуры технологической системы угледобывающего предприятия в рамках заявленного подхода наиболее рационально сформировать в виде комплекса (системы) взаимосвязанных машинных алгоритмов и кодов, которые обеспечивают реализацию процедуры имитации с использованием ЭВМ поведения отдельных элементов и производственных подсистем горнодобывающих предприятий и причинно-следственных связей между ними с учетом заданных ограничений с учетом системной динамики (заданный временной интервал моделирования), а также обеспечивают возможность отслеживать и измерять количественные значения их целевых индикаторов (характеристики и параметры) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Официальный

сайт «National Society of Simulation Modeling» в настоящее время предоставляет данные о более 500 программных продуктов имитационного моделирования, которые отличаются наполнением внутренней конфигурации и языками программирования. Среди наиболее известных можно выделить EXTEND, ITHINK, VENSIM, POWERSIM, PILGRIM, PROCESS, CHARTER, ANYLOGIC, MVSTUDIUM, SIMSCRIPT III, RDO-STUDIO и пр.

Моделируемая предметная область в этом случае представляется в виде рационально увязанной во времени и пространстве системы с объектно-визированными уровнями, сценариями, экспериментами, сегментами, узлами и маршрутами в сетке координат X, Y, Z. Процедура планирования объемов добычи полезного ископаемого в рамках имитационной модели реализуется итеративным запуском имитационных экспериментов, адекватно отражающих специфику производственных процессов горнодобывающего предприятия на опережающий заданный временной интервал. По результатам экспериментальной части в автоматическом режиме происходит формирование отчетов о ходе выполненных процедур моделирования и компилируется весь объем данных, необходимых для решения следующих поставленных задач планирования горного производства.

Формализованно имитационная модель строится на базе элементов многоподходной процессной среды программного инструментария имитационного моделирования компании AnyLogic. Для моделирования непрерывных производственных процессов функциональной структуры технологической системы транспорта использовался дискретно-событийный подход. Основные и вспомогательные процессы маршрутизации моделировались с использованием алгоритмического подхода на взвешенных графах, а сопутствующие основные и вспомогательные процессы организационно-управленческого характера моделировались с привлечением аппарата динамических событий.



Рис. 1. Потоки данных при имитационном моделировании применительно к оптимизации функциональной структуры производственно-логистической системы

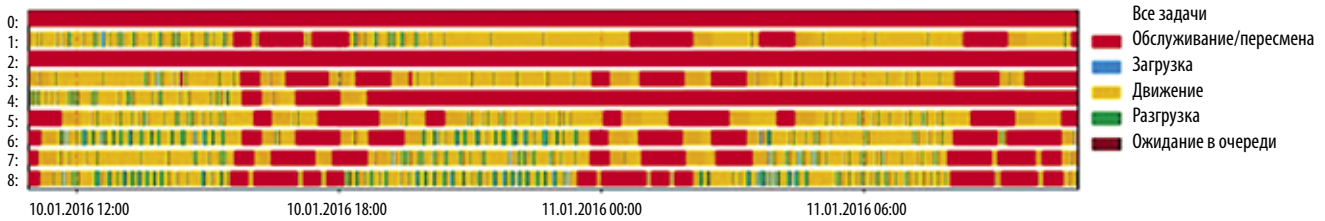


Рис. 2. Рабочий фрагмент системного имитационного эксперимента

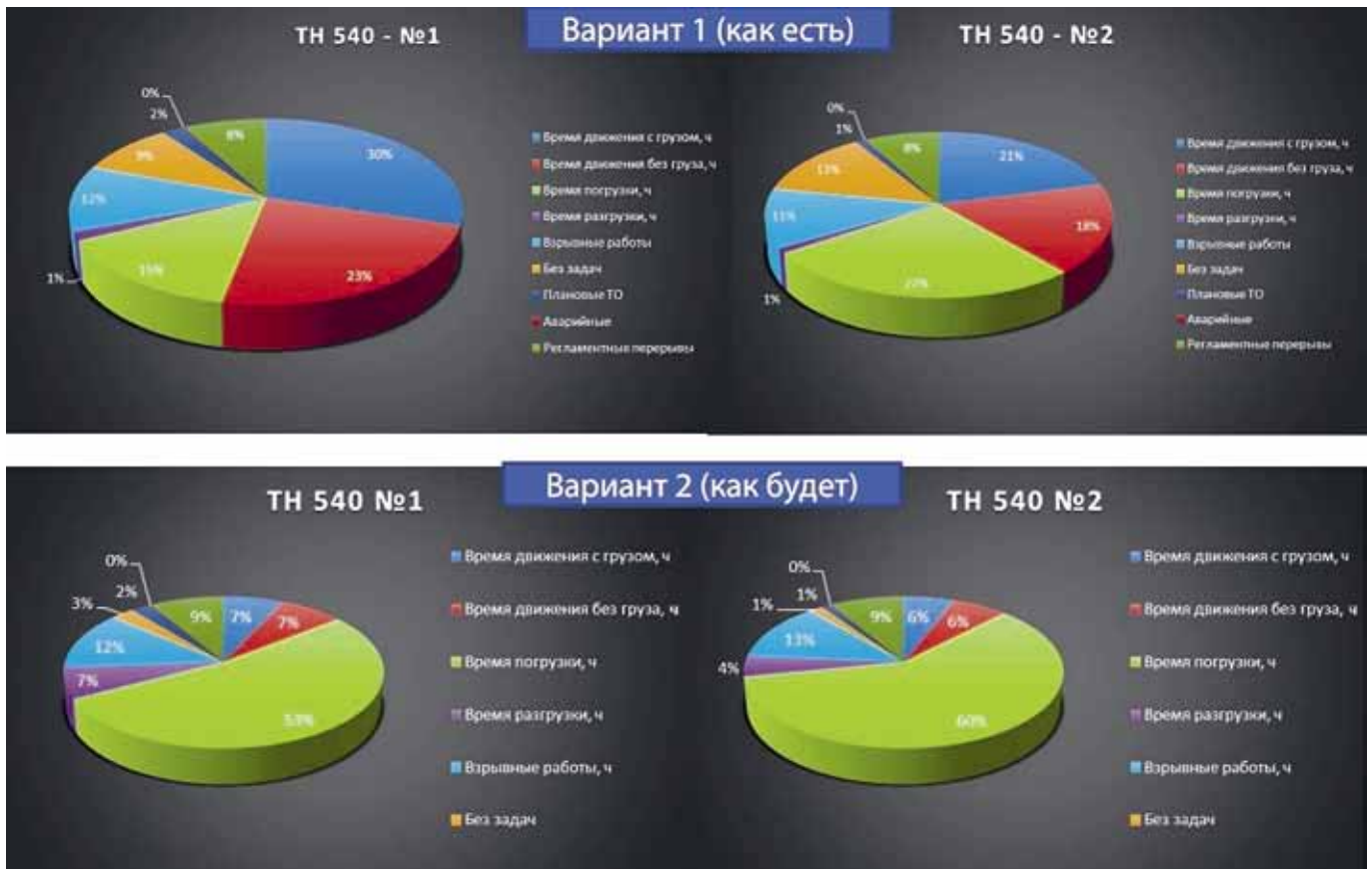


Рис. 3. Аналитическая информация (конечные результаты) системы имитационного моделирования

Потоки данных при имитационном моделировании представлены на рис. 1. Рабочий фрагмент системного имитационного эксперимента показан на рис. 2. Аналитическая информация (конечные результаты) системы имитационного моделирования, которая однозначно указывает на конкретные резервы повышения технико-экономической эффективности угледобывающего предприятия в области производственно-логистической системы, представлена на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные направления повышения рентабельности процесса добычи полезных ископаемых связаны с механизацией, автоматизацией и, в последние годы, с использованием технологий искусственного интеллекта и цифровых двойников горной среды, машин, механизмов, технологических процессов и пр. При этом нахождение оптимального соотношения режимов работы, перечня технологического оборудования, машин и механизмов позволяет

обеспечить требуемые экономические показатели работы угледобывающего предприятия. Предложенная процедура имитационного моделирования может быть заявлена в виде научно-методического обеспечения при выборе, обосновании и практической реализации своевременных стратегических мер по совершенствованию и развитию функциональных структур технологических систем горнодобывающих предприятий с целью повышения их технико-экономического уровня и конкурентоспособности.

Список литературы

1. Гец А.К., Оника С.Г., Халявкин Ф.Г Имитационное моделирование процессов горного производства // Горная механика и машиностроение. 2016. № 3. С. 22-25.
2. Кузнецов И.С. Имитационное моделирование экскаваторно-автомобильного комплекса / Сборник материалов X Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». 2018. 5 с.

3. Девятков В.В. Опыт системного анализа транспортных систем с использованием метода имитационного моделирования // Вестник НЦБЖД. 2017. № 1 (31). С. 18-28.

4. Система имитационного моделирования горнопроходческих работ / А.Н.Стародубов, В.В. Зиновьев, М.В. Береснев и др. // Уголь. 2016. № 2. С. 20-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-2-20-24.

5. Кузнецов И.С. Имитационное моделирование безлюдной открыто-подземной геотехнологии с учетом простоев горных машин / Материалы всероссийской научно-практической конференция по имитационному модели-

рованию и его применению в науке и промышленности «ИММОД-2019». Екатеринбург, 2019. С. 445-450.

6. Agent-based simulation modeling for regional ecological-economic systems. A case study of the Republic of Armenia / Beklaryan L.A., Akopov A.S., Beklaryan A.L. et al. // Machine Learning and Data Analysis. 2016. Vol. 2. No 1. P. 104-115.

7. AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 15.01.2022).

8. Памперла М., Фергюсон К. Имитационное обучение и игра. М.: ДМК Пресс; 2020. 372 с.

Original Paper

UDC 622.013.3 © V.V. Agafonov, E.V. Zaitseva, V.V. Yakheev, V.V. Snigirev, A.A. Gurkov, 2022
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 2, pp. 57-60
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-2-57-60>

Title

SIMULATION MODELING OF FUNCTIONAL STRUCTURES OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF MINING ENTERPRISES

Authors

Agafonov V.V.¹, Zaitseva E.V.², Yakheev V.V.¹, Snigirev V.V.¹, Gurkov A.A.¹

¹National University of Science and Technology "MISIS" (NITU "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

²Safety Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation

Authors Information

Agafonov V.V., Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of "Geotechnologies of Subsurface Development" Mining Institute, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

Zaitseva E.V., Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of "Automated Control Systems" Mining Institute, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

Yakheev V.V., PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Mine Rescue and Explosion Safety Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, e-mail: yakvaleri@yandex.ru

Snigirev V.V., Postgraduate student of the Department of "Geotechnologies of Subsoil Development" Mining Institute, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

Gurkov A.A., Postgraduate student of the Department of "Geotechnologies of Subsoil Development" Mining Institute, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

Abstract

The procedure of optimization of functional structures of technological systems of mining enterprises with the use of simulation modeling is proposed. In the simulated system it is proposed to distinguish two classes of fundamental production processes: continuous cycle production processes – the process of their simulation is implemented using the discrete event approach; production processes of discrete and organizational and management cycle – the process of their modeling is implemented using agent-based combined approach (algorithmic on weighted graphs and elements of system dynamics). The functional structure of the proposed simulation model can adequately simulate the required number of appropriate levels of the hierarchical stochastic structure of a particular simulation object and take into account all the technical and technological nesting of their states, taking into account the system dynamics, which allows to objectively and reliably reflect the behavioral side of complex technological systems of mining enterprises with the identification of "bottlenecks" and development of preventive measures to eliminate them.

Keywords

Mining enterprise, Functional structure, Technological system, Simulation modeling, Discrete event approach, System dynamics.

References

1. Gets A.K., Onika S.G. & Khalyavkin F.G. Simulation modeling of mining processes. *Mining Mechanics and Engineering*, 2016, (3), pp. 22-25. (In Russ.).
2. Kuznetsov I.S. Simulation modeling of excavator-automotive complex / Proceedings of X All-Russian, scientific-practical conference of young scientists with international participation "Young Russia", 2018, 5 p. (In Russ.).
3. Devyatkov V.V. Experience in system analysis of transport systems using the method of simulation modeling, *Vestnik NTSBZhD*, 2017, (1), pp. 18-28. (In Russ.).
4. Starodubov A.N., Zinoviev V.V., Beresnev M.V. et al. Simulation modeling system of mining works. *Ugol'*, 2016, (2), pp. 20-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2016-2-20-24.
5. Kuznetsov I.S. Simulation modeling of unmanned open-underground geotechnology taking into account downtime of mining machines / Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry "IMMOD-2019". Ekaterinburg, 2019, pp. 445-450. (In Russ.).
6. Beklaryan L.A., Akopov A.S., Beklaryan A.L. & Saghatelian A.K. Agent-based simulation modeling for regional ecological-economic systems. A case study of the Republic of Armenia. *Machine Learning and Data Analysis*, 2016, Vol. 2, (1), pp. 104-115.
7. AnyLogic: simulation modeling for business [Electronic resource]. Available at: <https://www.anylogic.ru/> (accessed 15.01.2022). (In Russ.).
8. Pamperla M. & Ferguson K. Simulation learning and the game. Moscow, DMC Press Publ., 2020, 372 p. (In Russ.).

For citation

Agafonov V.V., Zaitseva E.V., Yakheev V.V., Snigirev V.V. & Gurkov A.A. Simulation modeling of functional structures of technological systems of mining enterprises. *Ugol'*, 2022, (2), pp. 57-60. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-2-57-60.

Paper info

Received December 9, 2021

Reviewed December 23, 2021

Accepted January 18, 2022