

Краткосрочное планирование открытых горных работ в горно-геологической информационной системе MINEFRAME

Г.О. Наговицын✉

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

✉ g.nagovitsyn@ksc.ru

Резюме: Одним из уровней планирования открытых горных работ является краткосрочное планирование, применяемое на стадии эксплуатации запасов месторождения. В рамках задачи повышения эффективности краткосрочного планирования в горно-геологической информационной системе MINEFRAME разработаны алгоритмы и программные средства модуля автоматизированного планирования открытых горных работ. Модуль позволяет производить сравнительный анализ выбора структуры комплексной механизации, а также оптимизировать работу карьерного транспорта на основе имитационного моделирования технологических процессов открытых горных работ. Модуль планирования открытых горных повышает эффективность, оперативность и точность планирования на основе вводных данных и ограничений, характеризующих работу предприятия. Выбор оптимальной структуры комплексной механизации производится на основе анализа получаемых отчетных данных каждого сценария планирования по показателям работы техники и оборудования.

Ключевые слова: краткосрочное планирование, горно-геологическая информационная система, MINEFRAME, имитационное моделирование, цифровое 3D моделирование, геотехнология, цифровизация

Для цитирования: Наговицын Г.О. Краткосрочное планирование открытых горных работ в горно-геологической информационной системе MINEFRAME. *Горная промышленность*. 2023;(5S):130–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-130-134>

Short-term planning of surface mining operations in the MINEFRAME mining and geological information system

G.O. Nagovitsyn✉

Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

✉ g.nagovitsyn@ksc.ru

Abstract: One of the levels in planning of surface mining operations is short-term planning during the mining phase of the deposit reserves. Algorithms and software tools for the module of automated planning of surface mining operations have been developed as part of the task to enhance the efficiency of short-term planning in the MINEFRAME mining and geological information system. This module allows to make a comparative analysis of the selected structure of complex mechanization, as well as to optimize the operation of the in-pit transport based on simulation modeling of technological processes in surface mining. The module for planning of surface mining operations increases efficiency, timeliness and accuracy of planning based on input data and limitations that characterize the operation of the enterprise. Selection of the optimal structure for complex mechanization is made based on the analysis of the received reporting data of each planning scenario according to the performance indicators of the machinery and equipment.

This approach fully corresponds to the trends of digital transformation declared by the government of the Russian Federation and represents a new stage of automation and informatization of economic activities and transition to digital technologies.

Keywords: short-term planning, mining and geological information system, MINEFRAME, simulation modeling, digital 3D modeling, geotechnology, digitalization

For citation: Nagovitsyn G.O. Short-term planning of surface mining operations in the MINEFRAME mining and geological information system. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):130–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-130-134>

Введение

Одной из проблем организации производства является составление краткосрочных планов добычи руды по количеству, качеству, сортам и др.

Краткосрочное планирование открытых горных работ осуществляется в большинстве случаев на стадии эксплуатации запасов месторождения и обеспечивает посредством соответствующего выбора порядка развития горных работ и резерва добычного оборудования стабильность всех производственных процессов в пределах рассматриваемого периода [1–3].

Повысить эффективность и качество планирования открытых горных работ в современных условиях позволяют цифровые технологии [4–6], позволяющие моделировать объекты открытой геотехнологии, обрабатывать огромные массивы данных и в сравнительно короткий промежуток времени получать расчет различных вариантов производства горных работ.

В горно-геологической информационной системе (ГИС) MINEFRAME [7–9] разработаны алгоритмы и программные средства модуля автоматизированного краткосрочного планирования открытых горных работ.

Модуль позволяет производить сравнительный анализ выбора структуры комплексной механизации, а также оптимизировать работу карьерного транспорта на основе имитационного моделирования технологических процессов открытых горных работ [10–12].

На рис. 1 представлена структура модуля планирования открытых горных работ. Решение задачи краткосрочного планирования производится в три этапа.

На первом этапе определяются объемы добычных и вскрышных работ и их местоположение в пространстве.

На втором этапе производится распределение объемов работ по выемочной технике, создание схем грузопотоков.

Последним этапом является автоматизированное формирование и расчет сценария планирования, анализ отчетных данных.

Планирование объемных и качественных показателей добычи

В качестве единицы планирования принят экскаваторный блок (выемочная единица), который, в свою очередь, разбивается на подвижки экскаватора. Под подвижкой следует понимать объем горной массы, обрабатываемый экскаватором без продвижения вдоль блока. В итоге все объемы добычных и вскрышных работ, планируемых к отработке в краткосрочной перспективе, разбиваются на экскаваторные блоки, размеры которых подбираются в соответствии с той или иной моделью экскаватора (рис. 2).

При создании экскаваторных блоков предоставляется информация о качестве и количестве полезного ископаемого как в целом по блоку, так и по подвижкам экскаватора, формируемых в соответствии с параметрами выемочной техники и направлением отработки. Таким образом, по каждой выемочной единице возможно просмотреть и проанализировать данные по изменению качественных характеристик по мере отработки блока в соответствии с направлением движения экскаватора, которые в дальнейшем передаются в расчет сценария планирования.



Рис. 1
Структура модуля краткосрочного планирования

Fig. 1
Structure of the short-term planning module

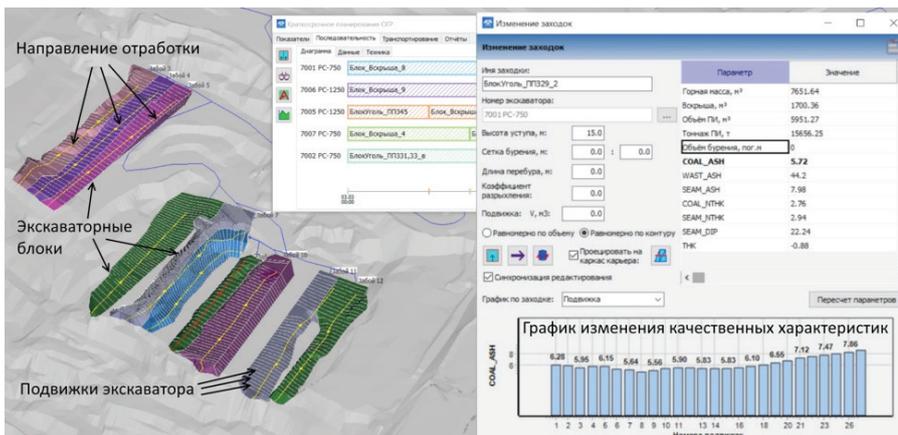


Рис. 2
Формирование экскаваторных заходок

Fig. 2
Designing of the excavator passes

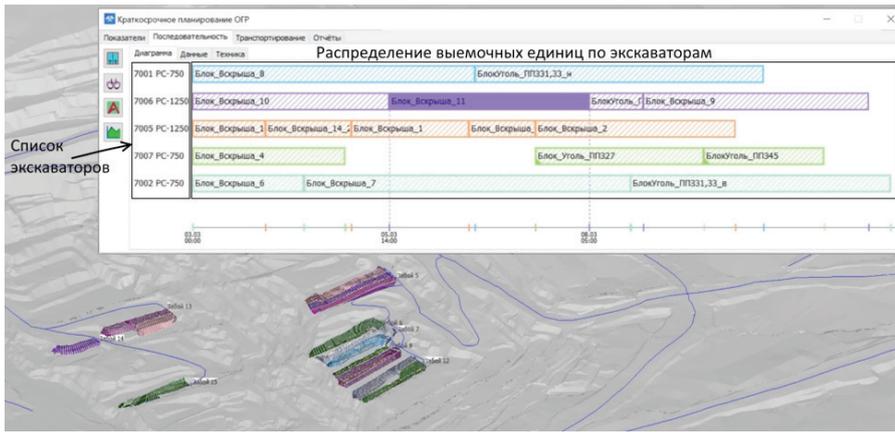


Рис. 3
Распределение
объемов работ по
экскаваторам

Fig. 3
Distribution of
the scope of work
by excavators

Все заходки периода планирования назначаются на конкретные модели экскаваторов и представляются в виде последовательности производства вскрышных и добычных работ (рис. 3). При этом учитываются текущая наработка и график ремонтов каждой единицы выемочно-погрузочной техники. Необходимость проведения того или иного типа ремонта отображается на графике последовательности, смещая при этом дату начала отработки заходок, следующих после обслуживания техники. График дает представление о времени отработки выемочных единиц на основе введенных данных по производительности выемочного оборудования без учета увязки с процессом транспортирования горной массы. В ходе имитационного моделирования время отработки выемочных единиц корректируется с учетом возможностей автомобильного парка.

и существующих коммуникаций [13]. Каждый грузопоток характеризуется сортом или качественными показателями горной массы, набором автосамосвалов и списком конечных пунктов разгрузки (рис. 4). Использование одного самосвала возможно в нескольких схемах, что делает транспортную технику универсальной, с точки зрения перевозимых грузов (руда/уголь, вскрышные скальные породы, морена и т.д.).

Схемы грузопотоков

Одной из основных составляющих сценария планирования являются схемы грузопотоков. Схемы формируются с использованием инвентарного парка автосамосвалов

Сценарий планирования

На основе последовательности отработки заходок, распределения выемочно-погрузочной техники и схем грузопотоков формируется сценарий планирования. В процессе расчета сценария для забоев, находящихся в работе, определяются ближайшие незаполненные на данный момент времени пункты разгрузки в соответствии с системой транспортных коммуникаций. Транспортная техника постепенно, по мере необходимости, вступает в работу, исключая простои экскаватора по причине отсутствия автосамосвалов, а также простои автосамосвалов, ожида-

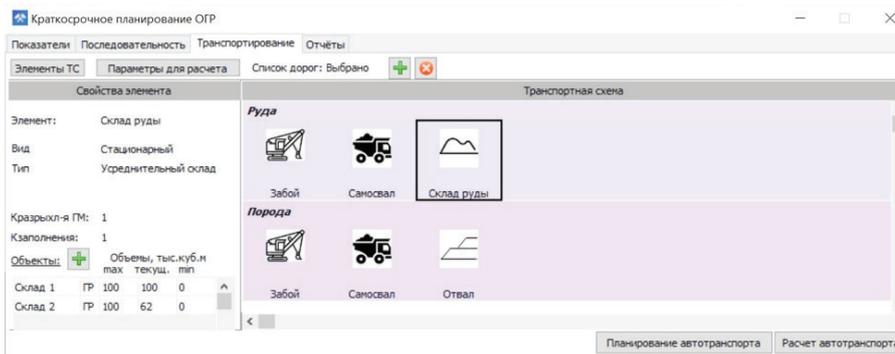


Рис. 4
Транспортные
схемы

Fig. 4
Transportation
schemes

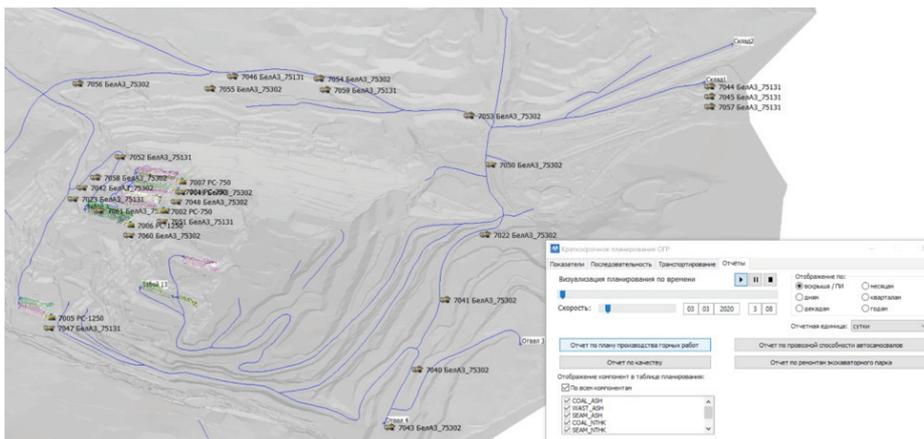


Рис. 5
Визуализация
результата расчета
сценария
планирования

Fig. 5
Visualization of
the calculation
result for a plan
scenario

ющих погрузку в очереди у забоя. Таким образом, оптимизируется работа карьерного транспорта по критерию максимизации производительности автосамосвалов.

Сценарий используется, чтобы смоделировать комплекс технологических процессов открытых горных работ так, как они бы происходили в действительности с учетом заданных исходных данных и ограничений с возможностью визуализировать процесс отработки запасов месторождения (рис. 5). При воспроизведении сценария в рабочей области окна 3D отображается техника, находящаяся в работе, а также список техники, которая на данный момент находится в простое по различным причинам (ремонт / избыток транспортной техники). Анализ расчета возможен по отчетным данным показателей работы техники и оборудования.

Так как вся работа ведется с 3-мерными моделями объектов геотехнологии, важно предоставить не только отчетную документацию в виде графиков и числовых показателей, но и визуализацию процесса отработки запасов месторождения. Таким образом, формируется цельная картина процесса производства горных работ. А сравнение различных вариантов, например, с текущими и амбициозными технико-эксплуатационными показателями работы техники, дает наглядное представление о выполнении целей плана и является основой для экономического анализа и перехода от натуральных показателей к стоимостным.

Заключение

Модуль краткосрочного планирования решает следующий комплекс задач:

1. Набор объемов добычных и вскрышных работ на планируемый период (неделя/месяц/квартал).
2. Планирование качественных показателей добычи полезного ископаемого.
3. Прогноз объемных и качественных показателей добычи на планируемый период с учетом применяемой структуры комплексной механизации.
4. Расчет и анализ нескольких вариантов сценариев.

Модуль планирования открытых горных повышает эффективность, оперативность и точность планирования на основе вводных данных и ограничений, характеризующих работу предприятия. Посредством расчета множества вариантов структур комплексной механизации и анализа отчетных данных по каждому сценарию возможен выбор наилучшего.

Список литературы

1. Smith M.L., Nogueira L.M. A Comparison of DBS and nested pit stage design as a basis for strategic planning. In: *Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017)*, Golden, Colorado, August 9–11, 2017. Colorado School of Mines; 2017, pp. 7.9–7.16.
2. Newman A.M., Rubio E., Caro R., Weintraub A., Eurek K. A review of operations research in mine planning. *Interfaces*. 2010;40(3):222–245. <https://doi.org/10.1287/inte.1090.0492>
3. Яковлев А.М. Планирование горных работ в режиме управления качеством сырья на основе геоинформационного моделирования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5-1):258–268. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_258
4. Лукичев С.В. (ред.) *Научные и практические аспекты применения цифровых технологий в горной промышленности*. Апатиты: Кольский научный центр Российской академии наук; 2019. 192 с.
5. Nagovitsyn O., Lukichev S. A conceptual approach to 4D modeling of mining technology objects. In: *Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017)*, Golden, Colorado, August 9–11, 2017. Colorado School of Mines; 2017, pp. 25–29.
6. Grober T., Grober O. Modeling of an interactive distance learning platform by means of modern information technologies. *E3S Web of Conferences*. 2021;273:12006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127312006>
7. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Семёнова И.Э., Белгородцев О.В. Подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ в системе MINEFRAME. *Горный журнал*. 2015;(8):53–57. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.08.12>
8. Lukichev S., Nagovitsyn O., Belogorodtsev O. A systemic approach to solving the mining technology tasks based on modeling its objects and processes. In: *Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017)*, Golden, Colorado, August 9–11, 2017. Colorado School of Mines; 2017, pp. 29–34.
9. Наговицын О.В., Лукичев С.В. *Горно-геологические информационные системы – история развития и современное состояние*. Апатиты: Кольский научный центр РАН; 2016. 196 с.
10. Paithankar A., Chatterjee S., Goodfellow R., Asad M.W.A. Simultaneous stochastic optimization of production sequence and dynamic cut-off grades in an open pit mining operation. *Resources Policy*. 2020;66:101634. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101634>
11. Кузнецов И.С., Зиновьев В.В., Николаев П.И., Стародубов А.Н. Компьютерная система имитационного моделирования для оптимизации параметров экскаваторно-автомобильных комплексов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):304–316. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_304
12. Махараткин П.Н., Абдулаев Э.К., Вишняков Г.Ю., Ботян Е.Ю., Пушкарев А.Е. Повышение эффективности функционирования карьерных автосамосвалов на основе обоснования их рациональной скорости с помощью имитационного моде-

лирования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-2):237–250. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_237

13. Наговицын Г.О., Билин А.Л., Звонарева С.В. Новые возможности ГИС MINEFRAME для технологического и стоимостного расчета транспортных затрат. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(S37):241–248. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-37-241-248>

References

1. Smith M.L., Nogueira L.M. A Comparison of DBS and nested pit stage design as a basis for strategic planning. In: *Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017), Golden, Colorado, August 9–11, 2017*. Colorado School of Mines; 2017, pp. 7.9–7.16.
2. Newman A.M., Rubio E., Caro R., Weintraub A., Eurek K. A review of operations research in mine planning. *Interfaces*. 2010;40(3):222–245. <https://doi.org/10.1287/inte.1090.0492>
3. Yakovlev I.M. Planning of mining operations in the quality management mode based on geoinformation modeling. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2021;(5-1):258–268. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_258
4. Lukichev S.V. (ed.) *Scientific and practical aspects of applying digital technologies in the mining industry*. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 2019. 192 p. (In Russ.)
5. Nagovitsyn O., Lukichev S. A conceptual approach to 4D modeling of mining technology objects. In: *Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017), Golden, Colorado, August 9–11, 2017*. Colorado School of Mines; 2017, pp. 25–29.
6. Grober T., Grober O. Modeling of an interactive distance learning platform by means of modern information technologies. *E3S Web of Conferences*. 2021;273:12006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127312006>
7. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Semenova I.E., Belogorodtsev O.V. Mine planning and design in MINEFRAME. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(8):53–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.08.12>
8. Lukichev S., Nagovitsyn O., Belogorodtsev O. A systemic approach to solving the mining technology tasks based on modeling its objects and processes. In: *Proceedings of the 38th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM 2017), Golden, Colorado, August 9–11, 2017*. Colorado School of Mines; 2017, pp. 29–34.
9. Nagovitsyn O.V., Lukichev S.V. *Mining and geological information systems: history of development and current state*. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences 2016. 196 p. (In Russ.)
10. Paithankar A., Chatterjee S., Goodfellow R., Asad M.W.A. Simultaneous stochastic optimization of production sequence and dynamic cut-off grades in an open pit mining operation. *Resources Policy*. 2020;66:101634. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101634>
11. Kuznetsov I.S., Sinoviev V.V., Nikolayev P.I., Starodubov A.N. Simulation modeling computer-based system for optimizing the parameters of open-pit excavator-dump truck complexes. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):304–316. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_304
12. Makharatkin P.N., Abdulaev E.K., Vishnyakov G.Yu., Botyan E.Yu., Pushkarev A.E. Increase of efficiency of dump trucks functioning on the basis of justification of their rational speed by means of simulation modeling. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2022;(6-2):237–250. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_237
13. Nagovitsyn G.O., Bilin A.L., Zvonzreva S.V. The advanced MGIS MINEFRAME possibilities for technological and monetary calculation of transport expenditures. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(S37):241–248. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-37-241-248>

Информация об авторе

Наговицын Григорий Олегович – научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

Information about the author

Gregory O. Nagovitsyn – Research Associate, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.10.2023
Поступила после рецензирования: 22.11.2023
Принята к публикации: 29.11.2023

Article info

Received: 16.10.2023
Revised: 22.11.2023
Accepted: 29.11.2023