ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(10):214-222

УДК 622.6+004.92 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-214-222

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРНО-ВЫЕМОЧНЫХ РАБОТ

С.А. Варламова[1], Ю.И. Володина[1], А.В. Затонский[1], П.А. Язев[2]

[1] Березниковский филиал Пермского национального исследовательского университета, Березники, Россия, e-mail: zxenon@narod.ru

[2] Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация: Показана важность калийных удобрений, производимых ПАО «Уралкалий» (г. Березники Пермского края) для сельского хозяйства и экономики в целом. Описан процесс шахтной добычи калийных руд. Приведены сведения о планировании работы горно-выемочных машин. Поставлена проблема уточнения календарных планов добычи. Предложено ее решение на основе имитационного моделирования. Так как распространенное программное обеспечение для имитационного моделирования горных работ имеет недостатки применительно к калийным шахтам, в качестве основы для моделирования используется специальная объектно-ориентированная библиотека, позволяющая моделировать системы массового обслуживания, мультиагентные и активные системы. В качестве допущений модель горных работ строится в виде детерминированного автомата и ограничивается передачей руды в конвейерно-транспортную подсистему. Описаны особые состояния объектов модели, к которым относятся горно-выемочная машина, самоходный вагон и точка его разгрузки. Модель оснащена по данным из открытых источников. Произведена проверка адекватности модели, исследованы ее реакции на изменения параметров. Показано, что рост простоев горно-выемочной машины имеет пульсирующий характер из-за переходов между очистными камерами, но вследствие обязательных операций, не связанных с выработкой руды, пульсации малозначительные. Показано, что при переходе к стохастической модели выработка комбайна ожидаемо снижается. В результате построена модель, которая может использоваться для уточнения планов горных работ в калийной шахте.

Ключевые слова: калийная руда, горно-выемочная машина, моделирование, планирование, объектно-ориентированная библиотека, исследование адекватности, пульсации выработки, детерминированная модель, стохастическая модель.

Для цитирования: *Варламова С. А., Володина Ю. И., Затонский А. В., Язев П. А.* Разработка имитационной модели для планирования горно-выемочных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 214–222. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-214-222.

Simulation model for planning mining operations

S.A. Varlamova[1], Yu.I. Volodina[1], A.V. Zatonskiy[1], P.A. Yazev[2]

[1] Perm State National Research University, Berezniki branch, Berezniki, Russia, e-mail: zxenon@narod.ru

[2] Perm State National Research University, Perm, Russia

Abstract: The importance of potassium fertilizers produced by Uralkali, Berezniki, Perm Region to agriculture and economy as a whole is illustrated. The process of potassium ore mining is described.

© С.А. Варламова, Ю.И. Володина, А.В. Затонский, П.А. Язев. 2019.

The information on planning of operation of mining machines is given. The problem of production schedule adjustment is presented. The problem can be solved by simulation modeling. The popular software for simulation modeling of mining operations features some shortcomings in terms of potassium mines. For this reason, a special object-oriented library is used, which allows modeling mass service, multi-agent and active systems. It is assumed to model mining operations by deterministic automation up to ore transfer to conveying and haulage subsystem. The special states of the model, such as mining machine, self-propelling car and its unloading point, are described. The model is fed by the data from open publishers. The model relevance is tested, and its responses to changes in parameters are examined. It is shown that downtime of mining machines grows in a pulsating mode due to passages between stopes; at the same time, owing to mandatory operations unconnected with ore cutting, this pulsating is insignificant. It is shown that in transition to a stochastic model, the output of a cutter–loader decreases as expected. As a result, the model applicable to adjustment of work schedule in a potassium mine is constructed.

Key words: potassium ore, mining machine, modeling, planning, object-oriented library, relevance examination, pulsating output, deterministic model, stochastic model.

For citation: Varlamova S. A., Volodina Yu. I., Zatonskiy A. V., Yazev P. A. Simulation model for planning mining operations. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):214-222. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-214-222.

Введение

Калийные удобрения имеют большое значение для мирового сельского хозяйства. Они способствуют увеличению урожайности, увеличивают сроки хранения плодов и увеличивают сопротивляемость растений к заболеваниям. На сегодняшний день более 80% запасов калийной руды приходится на три страны, в состав которых входит и Россия. По запасам руды и выпуску готовой продукции наша страна уступает лишь Канаде. В России калийные руды принадлежат Верхнекамскому месторождению, которое разрабатывает ПАО «Уралкалий» (г. Березники Пермского края), запасы хлористого калия, принадлежащие предприятию, в относительном выражении составляют более 20% от общемировых.

Важнейшим этапом производственной цепочки является добыча руды (галита, сильвинита и карналлита). Добыча происходит шахтным методом, глубина залегания колеблется от 200 до 450 м. Горная порода одновременно является и источником полезных материалов, и строительным материалом для обеспечения устойчивости подземного горизонта. Добыча ведется блоками, выполняется специальной подземной горно-выемочной машиной (комбайном). Во время своей работы комбайн загружает добытую руду в бункер-накопитель грузоподъемностью от 15 до 25 т. Транспортировка руды от комбайна до конвейерно-бункерной системы осуществляется с помощью самоходных вагонов. Задачей конвейерно-бункерной системы является транспортировка руды до шахтных стволов. Подъем руды на поверхность осуществляют скиповые подъемы, расположенные в шахтных стволах.

Деятельность любого горнодобывающего предприятия обычно строится на основе перспективного плана развития на весь срок обработки месторождения [1]. На его основе строятся другие планы: годовой, месячный и недельно-суточный. При этом годовой план является наиболее важной и ответственной стадией планирования. Он строится с использованием блочной модели месторождения и актуализируется с применением всей уточненной к этому моменту геологической информации. На основании годового плана строится уже более детальный

месячный план с учетом геофизического опробования. Недельно-суточный план чаще всего представляет собой детализацию месячного плана с учетом графиков планово-предупредительных ремонтов и обслуживания оборудования, а также учета сменности работы и количества бригад [1, 2]. В ПАО «Уралкалий» есть потребность в повышении точности планирования добычи на каждый комбайн. Чаще всего для этого используются детерминированные модели ресурсов для оценки содержания руды на месте и принятия средних значений для геологических переменных. Эти предположения вызывают риски, которые могут негативно повлиять на запланированное производство [3, 4].

Одним из способов уточнения производственных планов является имитационное моделирование. В данном случае процесс выработок может быть рассмотрен как система массового обслуживания (СМО), характеризующаяся случайными распределениями времен операций, либо как автомат в допущении, что все плановые действия выполняются точно вовремя, а нештатные ситуации не возникают. Примеры применения имитационных моделей для планирования широко известны [5, 6]. Однако существующие имитационные модели горных выработок ориентированы на угольные или никелевые шахты и не учитывают качественный состав руды, что является актуальным в данном случае [7]. Работа [8] посвящена калиной промышленности, но ориентирована на вопросы транспортировки руды. Компания «Амальгама» разработала имитационную модель горно-выемочных работ для ПАО «Уралкалий» в системе Anylogic, однако ее использование оказалось затруднительным для заказчика из-за неприемлемого подхода в отношении ввода исходных данных, недостаточного контроля ошибок действий пользователей, а также из-за сложности сопровождения Java-приложения, скомпилированного на стороне разработчика. Поэтому вопрос разработки новой имитационной модели для обоснованного планирования представляется актуальным.

Материалы и методы

В качестве модельной основы использована разработанная на кафедре автоматизации технологических процессов Березниковского филиала ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» объектно-ориентированная библиотека [9]. Ее особенностью является возможность моделирования сложных и многосвязных систем массового обслуживания, активных и многоагентных систем. Поскольку детерминированный автомат является частным случаем СМО, проблемы его моделирования не возникает. Нам была поставлена задача смоделировать горно-выемочные работы до точки разгрузки, поскольку конвейерно-транспортная система не является лимитирующим производительность участком [10].

Для создания модели необходимо описать все особые состояния объектов системы «комбайн — самоходный вагон — точка разгрузки» и все возможные переходы между ними. Например, объект «комбайн» имеет шестнадцать состояний [11]:

1. Отбойка руды при местоположении комбайна в точке, из которой он может начинать выполнение отбойки руды (начало новой выработки или частично пройденной выработки) или продолжение существующей выработки, и наличии свободного места в бункере-перегружателе.

2. Перегрузка руды при заполненном бункере-перегружателе и наличии готового к приему руды самоходного вагона (СВ) около комбайна.

3. Отгон комбайна после окончания проходки выработки.

4. Длительное периодическое ТО после предыдущего соответствующего ТО при местонахождении комбайна на выходе из выработки.

5. Перегон комбайна с одного локального места работы на другое.

6. Зарубка — проходка неполным баром переменного сечения в начале новой выработки, когда новая выработка расположена под углом к существующей, или в начале подрубки выработки.

7. Перенос малой электросборки периодически или по графику, заложенному пользователем программы.

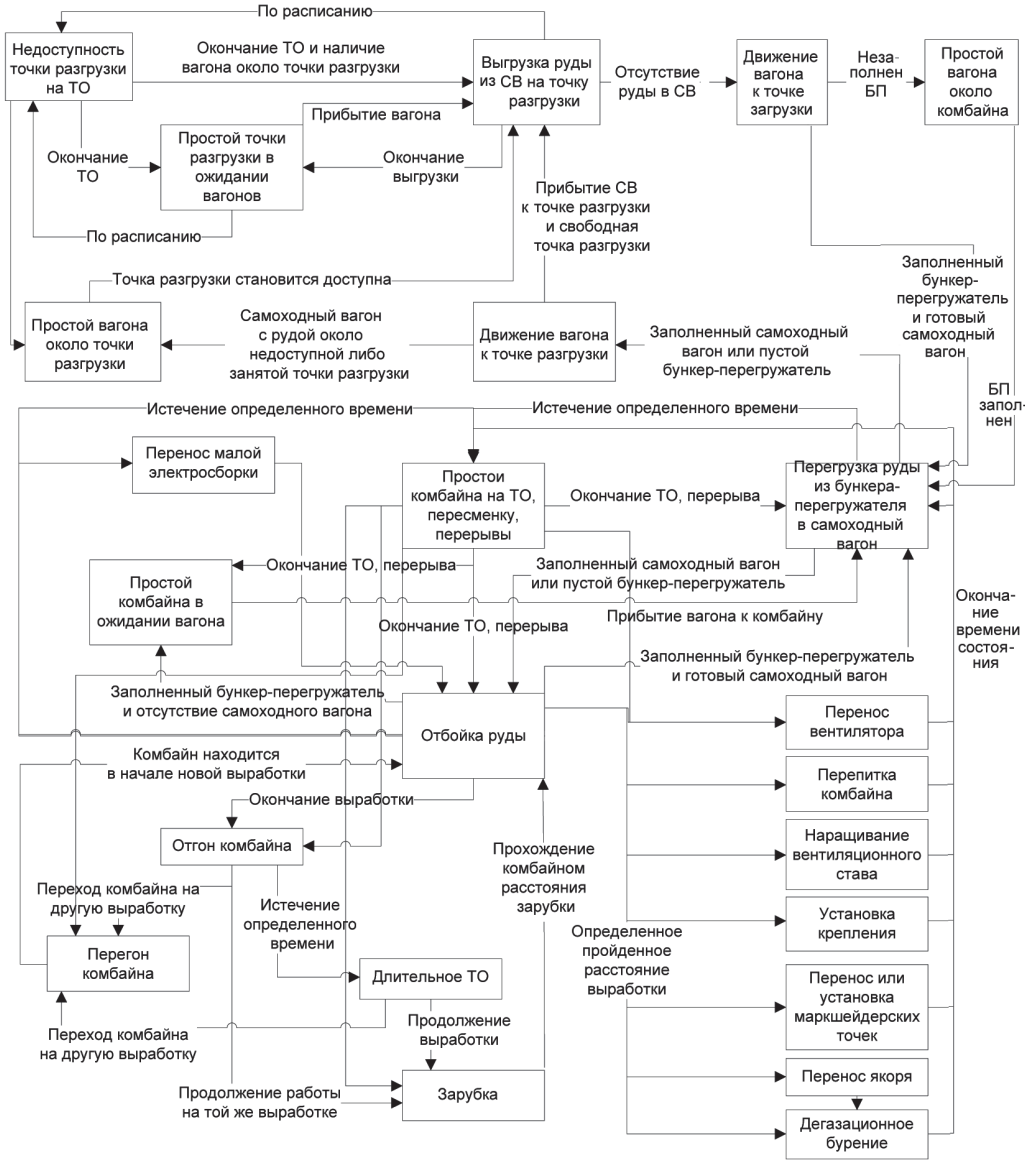

Рис. 1. Граф особых состояний и переходов между ними
Fig. 1. Scheme of special states and transitions between them

8. Простои комбайна на ТО, пересменке, перерывы в работе персонала согласно графику работ.

9. Перенос вентилятора при удалении от предыдущего вентилятора на определенное расстояние.

10. Установка крепления при достижении определенного расстояния от предыдущего крепления либо при достижении места геологических нарушений (последнее не может быть смоделировано в рамках допущений о детерминированности модели).

11. Наращивание вентиляционного става при достижении комбайном определенного расстояния от предыдущей точки наращивания вентиляционного става.

12. Перенос якоря при достижении комбайном определенного расстояния от предыдущей точки переноса якоря.

13. Дегазационное бурение (мелкошпуровое и глубокошпуровое) при достижении комбайном определенного расстояния от предыдущей точки дегазационного бурения в соответствии с паспортом выработки и типом комбайна.

14. Перепитка комбайна при удалении его от электросборки на максимальную длину. В это же время может выполняться перенос пункта хранения горюче-смазочных материалов (ГСМ).

15. Перенос или установка маркшейдерских точек при удалении от предыдущей маркшейдерской точки на определенное расстояние.

16. Простой комбайна в ожидании вагона — незапланированные нежелательные простои комбайнового комплекса при заполненном бункере-перегружателе, отсутствии необходимости выполнять какие-либо другие операции и в ожидании прибытия самоходного вагона.

Объект «самоходный вагон имеет» 6 состояний, «точка разгрузки» — 3 состояния. Наглядно все особые состояния и переходы между ними показаны на рис. 1.

Результаты и их обсуждение

Для проверки работоспособности и адекватности модели были взяты данные по комбайну Урал-20Р, по плотности руды и физическим параметрам комбайна, а также учитывалось среднее время выполнения основных технологических операций и интервалов между ними [7]. Адекватность модели оценивалась по изменению результатов моделирования в зависимости от изменения различных факторов. Например, очевидно, что по мере удаления от точки разгрузки процент времени отбойки руды должен увеличиваться из-за увеличения времени ожидания самоходного вагона (состояние № 16 в списке выше). Первый экс-

Рис. 2. Зависимость времени ожидания СВ от времени работы модели
Fig. 2. Dependence between carriage waiting time and modeling time

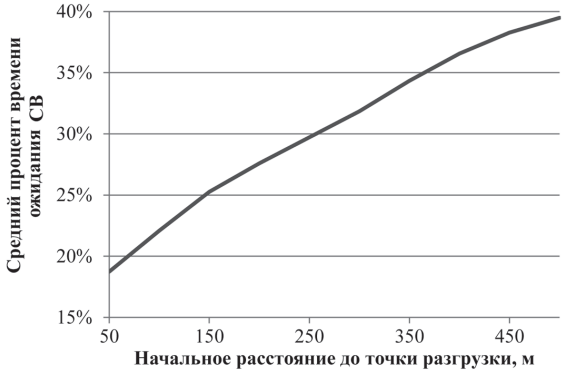

Рис. 3. Зависимость времени ожидания СВ от расстояния до точки разгрузки
Fig. 3. Dependence between carriage waiting time and distance for carriage

перимент был произведен при расположении точки разгрузки СВ на расстоянии 50 м от начала очистной камеры. Моделировалось использование одной точки разгрузки 20 вагонами разных комбайнов, чтобы проверить образование очередей. Для каждого конкретного комбайна время ожидания СВ предсказуемо растет примерно так, как показано на рис. 2. За время работы модели комбайн отрабатывал две противоположно расположенные камеры и уходил к следующей паре соседних камер, что видно по изломам графика. Как видно из графика, полезное время использования комбайна сначала равномерно снижается по мере удаления комбайна от точки начала выработки и как следствие роста времени, необходимого самоходному вагону для прохождения расстояния до точки выгрузки руды. После этого время полезного использования стабилизируется на одном уровне и дальнейшие колебания объясняются отгонами комбайна и выполнением других операций, во время которых комбайн не находится в состоянии ожидания СВ.

Было исследовано, как влияет на среднее время ожидания СВ удаление точки разгрузки от начала первой очистной камеры. Очевидно, что за счет увеличения пробега СВ время его ожидания должно

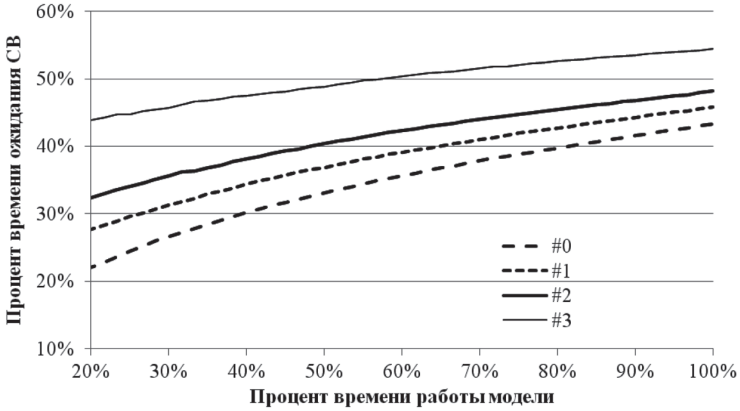

Рис. 4. Рост процента времени ожидания СВ за счет добавления случайного времени задержки в пути: #0 — задержка отсутствует; #1 — задержка 0–1 мин; #2 — задержка 0—3 мин; #3 — задержка 0—5 мин
Fig. 4. Growth of carriage waiting time due to stochastic additional delay of carriage: #0 — no delay; #1 — delay is 0—1 min; #2 — delay is 0—3 min; #3 — delay is 0—5 min

расти. Это предположение подтверждено результатами эксперимента (рис. 3).

Из этого эксперимента видно: по мере удаления точки разгрузки от начала первой очистной камеры время полезного использования комбайна падает с убывающей скоростью, что объясняется увеличивающимся процентом времени вспомогательных операций и запланированных простоев.

Известно, что при увеличении стохастических отклонений от заданных параметров производительность СМО падает [12, 13]. Особенно этот эффект заметен при использовании равномерного статистического распределения случайных чисел. Логично ожидать, что при увеличении времени задержки СВ в пути (например, за счет очередей на разгрузку, помех при движении и т.п.) время простоя комбайна за счет ожидания СВ должно расти. Произведенный эксперимент показывает, что модель адекватно отрабатывает такую ситуацию (рис. 4).

Заключение

Таким образом, созданная модель подземных горных выработок, будучи оснащена близкими к реальности значениями параметров, показала свою адекватность и непротиворечивость. По мере уточнения параметров до значений, соответствующих реальным производственным, она может быть использована для планирования горно-выемочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Звонарь А.Ю., Горцуев А.М.* Современные информационные технологии в проектировании и планировании горных работ // Записки Горного института. — 2012. — Т. 198. — С. 91—94.

2. *Hustrulid W., Kuchta M.* Open pit mine planning and design. London: Taylor & Francis, Balkema, 1995.

3. *Morales N., Seguel S., Cáceres A., Jélvez E., Alarcón M.* Incorporation of geometallurgical attributes and geological uncertainty into long-term open-pit mine planning // Minerals, 2019, Vol. 9. Issue 2, pap. 108, DOI: 10.3390/min9020108.

4. *Matamoro M.E.V., Dimitrakopoulos R.* Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions // European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 255, pp. 911—921.

5. *Lukichev S., Nagovitsyn O., Belogorodtsev O.* A systemic approach to solving the mining technology tasks based on modeling its objects and processes / Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 38th International Symposium. 2017, pp. 29—34.

6. *Simulation* modeling and analyzing in underground haulage sistems with arena simulation software // International Journal for Science, Technics and Innovations for the Industry MTM (Machines, Tecnologies, Materials), 2012, pp. 48—50.

7. *Соловьев В.А., Секунцов А.И.* Разработка калийных месторождений: Практикум. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. — 265 с.

8. *Чудинов Г.В.* Опыт разработки системы имитационного моделирования грузопотока в калийных рудниках — ПК «Рудопоток» / Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов пятой юбилейной всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2011. Т. 2. — СПб.: ОАО «ЦТСС», 2011. — С. 311—315.

9. *Затонский А.В., Уфимцева В.Н.* Разработка объектных средств имитационного и многоагентного моделирования производственных процессов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2018. — № 4. — С. 56—62.

10. *Носов О.А., Брюханов А.В.* Особенности панельно-блоковой схемы подготовки шахтного поля рудника БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий» // Рациональное освоение недр. — 2012. — № 5. — С. 46—49.

11. *Sereda T.G., Kostarev S.N.* Development of automated control systems of sluice gate at mine of second Solikamsky potash-mine department // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018. Vol. 194(2), pap. 022016.

12. *Затонский А. В., Варламова С. А., Малышева А. В., Мясников А. А.* Использование видеографической информации для уточнения динамической стохастической модели процесса флотации калийной руды // Интернет-журнал Науковедение. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 87.

13. *Zatonskiy A. V.* Verification of Kolmogorov Equation Usability for Reproduction and Death Processes // Вестник ЮУрГУ: Серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2019. — № 3. — С. 60—67. ГИАБ

REFERENCES

1. Zvonar' A. Yu., Gortsuev A. M. Mining planning information technologies (for mining engineers). *Zapiski Gornogo instituta*. 2012. Vol. 198, pp. 91—94. [In Russ].

2. Hustrulid W., Kuchta M. *Open pit mine planning and design*. London: Taylor & Francis, Balkema, 1995.

3. Morales N., Seguel S., Cáceres A., Jélvez E., Alarcón M. Incorporation of geometallurgical attributes and geological uncertainty into long-term open-pit mine planning. *Minerals*, 2019, Vol. 9. Issue 2, pap. 108, DOI: 10.3390/min9020108.

4. Matamoro M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions. *European Journal of Operational Research*. 2016. Vol. 255, pp. 911—921.

5. Lukichev S., Nagovitsyn O., Belogorodtsev O. A systemic approach to solving the mining technology tasks based on modeling its objects and processes. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry Proceedings of the 38th International Symposium*. 2017, pp. 29—34.

6. Simulation modeling and analyzing in underground haulage sistems with arena simulation software. *International Journal for Science, Technics and Innovations for the Industry MTM (Machines, Tecnologies, Materials)*, 2012, pp. 48—50.

7. Solov'ev V. A., Sekuntsov A. I. *Razrabotka kaliynykh mestorozhdeniy*: Praktikum [Development of potash deposits: Practicum], Perm, Izd-vo PNIPU, 2013, 265 p.

8. Chudinov G. V. Experience of developing a system for simulation of cargo traffic in potash mines — PC «Ore flow». *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: Sbornik dokladov pyatoy yubileynoy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii IMMOD-2011*. Vol. 2. Saint-Petersburg, OAO «TsTSS», 2011, pp. 311—315. [In Russ].

9. Zatonskiy A. V., Ufimtseva V. N. Development of object tools for simulation and multi-agent modeling of production processes. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*. 2018, no 4, pp. 56—62. [In Russ].

10. Nosov O. A., Bryukhanov A. V. Features of the panel-block scheme for the preparation of the mine field of the mine BKPRU-4 of OJSC Uralkali. *Ratsional'noe osvoenie nedr*. 2012, no 5, pp. 46—49. [In Russ].

11. Sereda T. G., Kostarev S. N. Development of automated control systems of sluice gate at mine of second Solikamsky potash-mine department. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018. Vol. 194(2), pap. 022016.

12. Zatonskiy A. V., Varlamova S. A., Malysheva A. V., Myasnikov A. A. Use of videographic information to refine the dynamic stochastic model of the potassium ore flotation process. *Internetzhurnal Naukovedenie*. 2017. Vol. 9, no 2, pp. 87. [In Russ].

13. Zatonskiy A. V. Verification of Kolmogorov Equation Usability for Reproduction and Death Processes. *Vestnik YuUrGU: Seriya: komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*. 2019, no 3, pp. 60—67.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Варламова Светлана Александровна[1] — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: varlamovasa@mail.ru,
Володина Юлия Игоревна[1] — канд. техн. наук, доцент, e-mail: julia_volodina@mail.ru,
Затонский Андрей Владимирович[1] — д-р техн. наук, профессор,
e-mail: zxenon@narod.ru,
Язев Павел Александрович — аспирант, Пермский национальный
исследовательский университет, e-mail: yazev1988@gmail.com,

[1] Березниковский филиал Пермского национального
исследовательского университета.
Для контактов: Затонский А.В., e-mail: zxenon@narod.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.A. Varlamova[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: varlamovasa@mail.ru,
Yu.I. Volodina[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: julia_volodina@mail.ru,
A.V. Zatonskiy[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: zxenon@narod.ru,
P.A. Yazev, Graduate Student, Perm State National Research University,
614990, Perm, Russia, e-mail: yazev1988@gmail.com,
[1] Perm State National Research University, Berezniki branch,
618400, Berezniki, Russia.
Corresponding author: A.V. Zatonskiy, e-mail: zxenon@narod.ru.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА И ОБОСНОВАНИЯ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЦЕМЕНТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

(2019, СВ 12, 40 с.)

Зайцева Елена Вячеславовна[1] — канд. техн. наук, ведущий инженер,
Агафонов Валерий Владимирович[1] — д-р техн. наук, профессор,
[1] МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: msmu-prpm@yandex.ru.

Представлены результаты аналитических исследований в области развития научно-методической базы выбора и обоснования стратегий и направлений развития технологических систем цементных производств с учетом природно-ресурсного потенциала и особенностей функциональных сред. Показано, что теоретической основой методологического и научно-методического обеспечения обоснования проектных решений и синтеза технологических систем цементных производств в сложившихся экономических условиях должны составлять методы теории принятия сложных решений и квалиметрии, предусматривающих наиболее полный учет характерных особенностей неопределенности и риска, сформировавшихся в настоящее время в цементной отрасли. При этом общая стратегия решения проблемы обоснования проектных решений реализуется на базе интеграции методологических подходов, иерархической структуры декомпозиции технологической системы цементного предприятия, принципов совместимости, диапазонов и условий вариабельности ее рациональных вариантов, являющихся топологической основой синтеза ее рациональных вариантов.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SUPPORT FOR THE SELECTION AND JUSTIFICATION OF STRATEGIES FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF CEMENT PRODUCTION

E.V. Zaitseva[1], Cand. Sci. (Eng.), Leading Engineer, *V.V. Agafonov*[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

The results of analytical researches in the field of development of scientific and methodical base of the choice and justification of strategies and directions of development of technological systems of cement productions taking into account natural resource potential and features of functional environments are presented. It is shown that the theoretical basis and scientific-methodological support of project design and synthesis of technological systems of cement plants in current economic conditions should be methods of the theory of complex decision-making and quality control, providing the most complete account of characteristic features of uncertainty and risk that emerged in the present, in the cement industry. The overall strategy for solving the problem of substantiation of design solutions is implemented based on the integration of methodological approaches, hierarchical structure decomposition of the technological system of cement enterprise, the principles of compatibility, ranges, and terms of variability of its rational variant, which is a topological basis of a synthesis of rational variants.