

И.А. Турбор, Д.Н. Шурыгин

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ОТ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ШТАТНЫХ И НЕШТАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ ОЧИСТНОГО ЦИКЛА

Аннотация. На основе метода группового учета аргументов разработан алгоритм расчета производительности очистного забоя, который позволяет на основе хронометражных наблюдений с высокой степенью достоверности определять и прогнозировать значения нагрузки на комплексно-механизированные очистные забои. Получены эмпирические зависимости производительности очистных забоев от затрат времени на выполнение штатных операций очистного цикла с максимальной ошибкой в поле исходных данных менее 8%. Установлено, что сокращение на 40% продолжительности простоев в очистном цикле по горно-геологическим причинам обеспечивает увеличение добычи угля на 13—18%, а при увеличении продолжительности простоев на 40% объем добычи угля снижается на 26—50%; при сокращении на 40% простоев в процессе крепления и управления кровлей обеспечивается увеличение нагрузки на очистной забой на 12—18%, а при увеличении продолжительности простоев на 40% объем добычи угля снижается на 26—48%.

Ключевые слова: операция очистного цикла, управление кровлей, производительность забоя, нагрузка на очистной забой, затраты времени.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-97-103

Введение

Проведенными ранее исследованиями были обоснованы критерии определения длин концевых участков лавы, а также установлены зависимости для определения ускорения конвергенции вмещающих пород по длине лавы [1, 2]. Однако, эти исследования не позволяют определить границы зоны влияния технологических операций выемки угля и передвижки механизированной крепи по длине очистного забоя. Очевидно, что основными факторами для обоснования схемы передвижки механизированной крепи являются протяженность зоны влияния технологических операций выемки угля и передвижки секций, а также

геомеханические процессы, происходящие в горном массиве. На основании предшествующих исследований решить эту задачу не представляется возможным.

Производственная деятельность угледобывающей промышленности сопровождается вовлечением в разработку месторождений, которые характеризуются осложнением горно-геологических условий на глубине до 1500 м [4—7]. Увеличение горного давления на больших глубинах приводит к снижению эффективности использования комплексно-механизированных технологий выемки угля. Это обусловлено несовершенством технологий крепления и управления горным давлением.

Структура затрат времени на выполнение производственных процессов и операций в очистном забое

Structure of time consumption of productive and nonproductive processes in longwall faced area

Производственные процессы и операции в очистном забое			Обозначения
категории		группы	
производительные затраты времени	работоспособное состояние очистного забоя (штатные технологические процессы и операции)	выемка, зачистка и транспортирование угля, крепление и управление кровлей	t_1
		концевые операции	t_2
		прочие процессы и операции	t_3
непроизводительные затраты времени	неработоспособное состояние очистного забоя или простои по внутрилавным причинам в технологическом процессе (нештатные операции)	выемка угля (комбайн)	t_4
		транспортирование угля (конвейер)	t_5
		крепление и управление кровлей (механизованная крепь)	t_6
		горно-геологические причины	t_7
		прочие внутрилавные простои	t_8
	простои по внелавным причинам	транспорт	t_9
		энергоснабжение	t_{10}
		прочие внелавные простои	t_{11}

Существующие схемы передвижки механизированных крепей разрабатывались для применения на глубинах до 800 м и не учитывают особенностей геомеханических процессов в массиве горных пород на глубинах свыше 800 м. Кроме того, известные технологии крепления и управления кровлей не обеспечивают необходимой скорости крепления очистного забоя при высоких скоростях подвигания лав, обуславливая тем самым образование больших незакрепленных площадей непосредственной кровли и увеличивая вероятность вывалообразования в призабойное пространство лавы.

В последние годы наметились новые тенденции в развитии технологии ведения очистных работ в сложных горно-геологических условиях. В первую очередь это обусловлено необходимостью повышения эффективности взаимодействия механизированных крепей с вмещающими породами для снижения зольности добываемого угля за счет со-

кращения вывалов породы в очистных забоях [8–12].

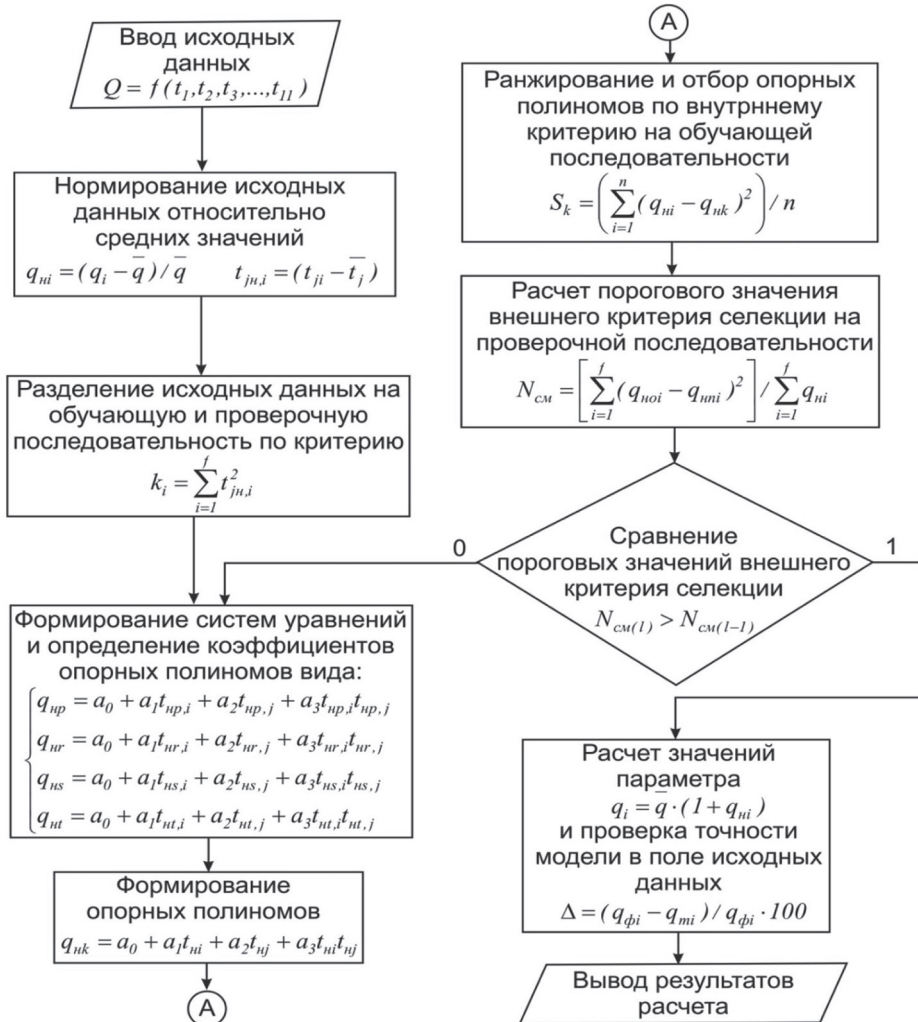
Таким образом, актуальным является повышение эффективности комплексно-механизированной технологии ведения очистных работ в сложных горно-геологических условиях на глубоких горизонтах путем разработки и обоснования новой схемы передвижки секций механизированной крепи. Важным вопросом является выбор объекта исследования. К анализу необходимо принимать динамично развивающиеся предприятия с особенностями горно-геологических условий залегания пластов, которые являются наиболее характерными для Донецкого угольного бассейна. Очистные забои этих предприятий должны быть укомплектованы современным оборудованием и работать стабильно, а технология ведения очистных работ соответствовать современным тенденциям. Исходя из этих требований, к анализу приняты очистные забои шахты «Покровская» и шахты «Трудовская».

Теория вопроса

С позиций системного подхода комплексно-механизированные технологии выемки угля рассматриваются как совокупность взаимосвязанных производственных процессов и операций в очистном забое. Поэтому при изучении вопроса рационализации технологических процессов в очистном забое актуальными являются их надежность и эффективность. Для определения параметра надежности очистных операций шахты

необходимо установить зависимости, учитывающие влияние различных факторов и отражающие физический смысл технологических звеньев очистных операций (таблица).

Таким образом, для формализации производственных процессов в лаге необходимо структурировать затраты времени на выполнение процессов и операций очистного цикла. Продолжительность производственных процессов и операций обуславливается совокупно-



Алгоритм расчета производительности очистного забоя
Longwall face capacity algorithm

стью производительных и непроизводительных затрат времени, т.е. предусмотренных и не предусмотренных технологическим паспортом.

Методы анализа

Алгоритм формирования модели оптимальной сложности с отсевом малоинформативных факторов на каждом пороге селекции представлен на рисунке.

Для решения задачи построения математической модели, которая будет содержать в своей структуре подконтрольные факторы, существует несколько стандартных методов.

Моделирование производственных процессов при классическом подходе основываются на использовании математического аппарата, который базируется на алгебраических уравнениях, методах статистической обработки данных и др. При значительной сложности модели эти методы не всегда приводят к решению поставленной задачи. Разработанный А.Г. Ивахненко метод группового учета аргументов (МГУА) является одним из наиболее эффективных методов структурно-параметрической идентификации сложных объектов, процессов и систем по данным наблюдений в условиях неполноты информации и зашумленности исходных данных [3].

Представленный алгоритм математического моделирования производственных процессов позволяет на основе хронометражных наблюдений с высокой степенью достоверности определять и прогнозировать значения показателей производительности комплексно-механизированных технологий ведения очистных работ.

Обсуждение результатов

Суть задачи формализации производственных процессов и операций состоит в восстановлении зависимости производительности очистного забоя от затрат

времени на выполнение нештатных операций очистного цикла (см. таблицу), т.е. установлении зависимости вида:

$$Q = f(t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}).$$

С помощью алгоритма МГУА по исходным данным получены эмпирические зависимости производительности лавы от затрат времени на выполнение нештатных операций очистного цикла:

1) Для 1-й северной лавы блока 3 пласта шахты «Покровская»:

$$Q = 3652 - \frac{1,308 \cdot 10^{-4} t_5^2 t_6^2 t_7^2 t_9}{t_8^2} - \frac{3,943 \cdot 10^{-9} t_6^2 t_7^2 t_{11}}{t_9} - \frac{3,547 t_6 t_{10}}{t_7^2 t_{11}^2} - \frac{0,031 t_4 t_5 t_7}{t_9^2 t_{11}} - \frac{0,026 t_5 t_6 t_7}{t_8^2 t_9^2 t_{11}} - \frac{2,641 t_8 t_9}{t_5 t_6 t_7^2} - \frac{0,971 t_6 t_{10}}{t_4 t_{11}^4} \quad (1)$$

2) Для 8-й западной лавы пласта шахты «Трудовская»:

$$Q = 1237,04 + 9,115 \cdot 10^{-11} t_4^3 t_5^2 t_8 t_{10}^2 + \frac{10884,8 t_6}{t_4^2 t_5 t_7 t_9 t_{10}^2} + \frac{1,253 \cdot 10^{-3} t_4 t_5 t_7 t_9}{t_6 t_{10}} - \frac{0,014 t_4 t_5 t_7}{t_9^2 t_{11}} - \frac{4,614 \cdot 10^{-5} t_5 t_6^2 t_7^2 t_9}{t_8^2} - \frac{1,643 t_6 t_{10}}{t_7^2} - \frac{1,318 \cdot 10^{-9} t_6^2 t_7^4 t_{11}}{t_9} \quad (2)$$

где Q — производительность очистного забоя, т; t_4, \dots, t_8 — затраты времени на выполнение нештатных (непроизводительных) операций в очистном забое, мин.; t_9, \dots, t_{11} — простои по вневластным причинам, мин.; $t_i \geq 1$.

Проверочный расчет показал, что максимальная ошибка в поле исходных данных: по формуле (1) составила 6,6%; по формуле (2) — 7,3%.

Заключение

Проведенный обзор методов математического моделирования показал, что наилучшие результаты при решении подобных задач обеспечиваются применением индуктивного моделирования, в частности, метода группового учета аргументов.

Такой подход является эффективным средством решения широкого спектра задач, в том числе идентификации и прогнозирования, распознавания образов и кластеризации, интеллектуального анализа данных и поиска закономерностей.

Для анализа зависимостей (1) и (2) был произведен расчет производительности очистного забоя для каждой из угольных шахт по средним значениям простоев по каждому аргументу t_4, \dots, t_{11} . Моделирование производительности лавы по формулам показывает, что:

- сокращение продолжительности простоев по горно-геологическим причинам на 40% обеспечивает увеличение добычи угля на 18%, а при увеличении времени простоев на 40% объем добычи угля сокращается на 50%;

- при сокращении простоев в процессе крепления и управления кровлей на 40% обеспечивается увеличение нагрузки на очистной забой на 18%, а при увеличении времени простоев на 40% объем добычи угля сокращается на 48%.

Таким образом, формализация затрат времени на выполнение производственных процессов и операций позволяет выбрать наиболее эффективные направления совершенствования техники и технологии очистных работ для повышения нагрузки на лаву, а также обеспечивает возможность количественной оценки эффективности путей повышения производительности очистного забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов И. В., Лобков Н. И., Сергиенко А. И. Выбор метода математического моделирования и установление рациональной длины лав // Физико-технические проблемы горного производства. — 2011. — № 14. — С. 68–75.
2. Антонов М. А., Оганесян Н. К., Агафонов В. В. Адаптация методов оптимизации многофакторных задач и специальных методов оптимизации сложных систем к технологическим схемам угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 11. — С. 367–371.
3. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. — Киев: Наукова думка, 1982. — 296 с.
4. Рогова Т. Б., Шаклеин С. В. Достоверность запасов угольных месторождений. Количественная оценка и мониторинг. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. — 508 с.
5. Шурьгин Д. Н., Голик В. И. Исследование процесса автоматизации прогнозирования горно-геологических условий в геоинформационных системах управления горным предприятием // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № S4–15. — С. 3–11.
6. Шурьгин Д. Н., Литовченко Т. В., Заика А. А., Добровольский В. А. Геометризация показателей на основе принципов натурно-модельного эксперимента и эвристической самоорганизации математических моделей сложных систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 8. — С. 89–94.
7. Ghasemi E., Ataei M. Application of fuzzy logic for predicting roof fall rate in coal mines // Neural computing and applications. — 2013. — Vol. 22, No. 1. — P. 311–321.
8. Jelinek J., Stanek F., Vebr L., Honek J. The spatial distribution of the lignite qualitative parameters and variant estimates of coal reserves: the Czech Part of the Vienna Basin // International journal of earth sciences. — 2014. — Vol. 103, No. 4. — P. 1113–1123.
9. Li W., Luo Ch., Yang H., Fan O. Memory cutting of adjacent coal seams based on a hidden Markov model // Arabian journal of geosciences. — 2014. — Vol. 71 — P. 5051–5060.
10. Navarra A., Montiel L., Dimitrakopoulos R. Stochastic strategic planning of open-pit mines with ore selectivity recourse // International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 1 July 2016, P. 1–17.

11. *Rahmanpour M., Osanloo M.* Determination of value at risk for longterm production planning in open pit mines in the presence of price uncertainty // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. — Vol. 116, Issue 3, March 2016, Pp. 229–236.

12. *Shurygin D. N., Gorbatenko N. I., Grechikhin V. V., Shaykhutdinov D. V.* Geometrization of physical-mechanical properties of rocks based on the solution of the inverse problem of diagnostics of a condition of geophysical parameters // Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2016. — Vol. 11. — No. 4. — P. 2764–2768. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Турбор Ирина Александровна*¹ — соискатель,
*Шурыгин Дмитрий Николаевич*¹ — кандидат технических наук,
доцент, e-mail: shurygind@mail.ru,

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 9, pp. 97–103.

Face capacity versus time consumption of standard and off-nominal operations in longwall

*Turbor I.A.*¹, Applicant,

*Shurygin D.N.*¹, Candidate of Technical Sciences,

Assistant Professor, e-mail: shurygind@mail.ru,

¹ M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),

346428, Novocherkassk, Russia.

Abstract. Based on the method of aggregated accounting for arguments, the longwall face capacity algorithm is developed. The algorithm allows highly reliable determination and prediction of the fully mechanized longwall face output based on the stop-watch reading data. The empirical relations are obtained for the face output and time consumption of off-nominal longwalling operations at the maximum error less than 8% in the field of initial data. It is found that: reduction of longwalling downtime for geological reasons by 40% ensures coal production increased by 13–18% while extension of this kind downtime by 40% results in decreased coal output by 26–50%; reduction of downtime for the reasons of ground control and roof support installation by 40% allows the face output higher by 12–18% whereas increase in this type downtime by 40% decreases coal production by 26–48%.

Key words: longwalling operations, ground control, face capacity, face output, time consumption.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-97-103

REFERENCES

1. Antipov I. V., Lobkov N. I., Sergienko A. I. Vybor metoda matematicheskogo modelirovaniya i ustanovlenie ratsional'noy dliny lav [Selecting mathematical modeling method and finding optimal length], *Fiziko-tekhnicheskie problemy gornogo proizvodstva*. 2011, no 14, pp. 68–75. [In Russ].

2. Antonov M. A., Oganesyana N. K., Agafonov V. V. Adaptatsiya metodov optimizatsii mnogofaktornykh zadach i spetsial'nykh metodov optimizatsii slozhnykh sistem k tekhnologicheskim skhemam ugol'nykh shakht [Adapting optimization methods of multivariable problems and complex systems to coal mining flow charts]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 11, pp. 367–371. [In Russ].

3. Ivakhnenko A. G. *Induktivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem* [Inductive method of self-organization of complex system models], Kiev, Naukova dumka, 1982, 296 p.

4. Rogova T. B., Shaklein S. V. *Dostovernost' zapasov ugol'nykh mestorozhdeniy. Kolichestvennaya otsenka i monitoring* [Coal reserves reliability. Quantitative estimate and monitoring]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011, 508 p.

5. Shurygin D. N., Golik V. I. Issledovanie protsessa avtomatizatsii prognozirovaniya gorno-geologicheskikh usloviy v geoinformatsionnykh sistemakh upravleniya gornym predpriyatiem [Automation of prediction of geological conditions in geoinformation systems of ground control]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no S4–15, pp. 3–11. [In Russ].

6. Shurygin D. N., Litovchenko T. V., Zaika A. A., Dobrovolskiy V. A. Geometrization pokazateley na osnove printsipov naturno-model'nogo eksperimenta i evristicheskoy samoorganizatsii matematicheskikh modeley slozhnykh sistem [Geometrization based on the principles of in-situ model experiment and heuristic self-

organization of mathematical models of complex systems]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 8, pp. 89–94. [In Russ].

7. Ghasemi E., Ataei M. Application of fuzzy logic for predicting roof fall rate in coal mines. *Neural computing and applications*. 2013. Vol. 22, No. 1, pp. 311–321.

8. Jelinek J., Stanek F., Vebr L., Honek J. The spatial distribution of the lignite qualitative parameters and variant estimates of coal reserves: the Czech Part of the Vienna Basin. *International journal of earth sciences*. 2014. Vol. 103, No. 4, pp. 1113–1123.

9. Li W., Luo Ch., Yang H., Fan O. Memory cutting of adjacent coal seams based on a hidden Markov model. *Arabian journal of geosciences*. 2014. Vol. 71, pp. 5051–5060.

10. Navarra A., Montiel L., Dimitrakopoulos R. Stochastic strategic planning of open-pit mines with ore selectivity recourse. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 1 July 2016, pp. 1–17.

11. Rahmanpour M., Osanloo M. Determination of value at risk for longterm production planning in open pit mines in the presence of price uncertainty. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. Vol. 116, Issue 3, March 2016, pp. 229–236.

12. Shurygin D.N., Gorbatenko N.I., Grechikhin V.V., Shaykhtudinov D.V. Geometrization of physical-mechanical properties of rocks based on the solution of the inverse problem of diagnostics of a condition of geo-physical parameters. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11, No. 4, pp. 2764–2768.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЦЕЛЯХ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

(№ 1158/09-18 от 11.07.2018 г.; 7 с.)

Серебренников Артем Дмитриевич — магистр, e-mail: Serebrennikov.AD@yandex.ru, НИТУ «МИСиС».

В современных условиях потребления электроэнергии ставится задача по составлению точного почасового плана потребления для предоставления в энергоснабжающую организацию показаний на определенный объем электроэнергии. Актуальны проблемы разработки и внедрения новых энергосберегающих технологий, нечувствительных к недостатку predefined информации, применение новых способов и методик прогнозирования. Правилами действия розничных рынков определена обязанность потребителя к планированию точных объемов потребления и установлено их обязательство за потребление электроэнергии в большем или меньшем объеме по сравнению с запланированным. Отклонение более чем на 2% от запланированного ведет к дополнительным издержкам. Чем оно выше, тем большую сумму должно заплатить предприятие за допущенное несоответствие. Чем точнее заявка, тем меньше будет переплата за отклонения, что ведет к уменьшению итоговых затрат на электроэнергию. Увеличить качество прогнозирования электропотребления могут искусственные нейронные сети при корректном создании и обучении.

Ключевые слова: процесс электропотребления, энергоэффективность, методы и модели прогноза, нейросетевое моделирование потребления электроэнергии.

**MODELING OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO PREDICT POWER GENERATION
FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES**

Serebrennikov A.D., Magister, e-mail: Serebrennikov.AD@yandex.ru, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

In modern conditions of electricity consumption, the task is to draw up an accurate hourly consumption plan to provide readings for a certain amount of electricity to the energy supply organization. The problems of development and implementation of new energy-saving technologies, insensitive to the lack of predefined information, the use of new methods and techniques of forecasting are relevant. The rules of operation of retail markets define the consumer's obligation to plan the exact volumes of consumption and establish their obligation for electricity consumption in a larger or smaller volume compared to the planned. Deviation of more than 2% from the planned leads to additional costs. The higher it is, the more money the company has to pay for the discrepancy. The more accurate the application, the less will be the overpayment for deviations, which leads to a decrease in the total cost of electricity. Artificial neuron networks can increase the quality of power consumption forecasting with correct creation and training.

Key words: process of power consumption, energy efficiency, methods and models of forecast, neural network modeling of power consumption.