

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА ОЧИСТНОГО ФРОНТА

Э.Б. Шадыжева<sup>1</sup>, Ю.Н. Кузнецов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: shadyzheva.asiyat@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы воспроизводства очистного фронта на угольных шахтах с учетом фактора надежности. Освещены основные принципы динамического резервирования воспроизводства очистного фронта и приведены рекомендации по повышению уровня надежности этого процесса. Исходной посылкой являлась обязательность надежного и достоверного прогноза времени отработки запасов выемочных участков и времени подготовки линии очистных забоев в целях повышения эффективности процесса воспроизводства очистного фронта. При этом очистные и подготовительные работы рассматриваются как процессы, имеющие стохастический характер, а динамический резерв времени и надежность процесса воспроизводства очистного фронта — как показатели, требующие экономического обоснования. Недостаточное развитие подготовительных работ приводит к потере добычи угля в процессе воспроизводства очистных забоев. Оптимизация надежности динамического резервирования этого процесса осуществляется путем расчета экономически обоснованного соотношения между очистными и подготовительными работами (резерва подготовки очистной линии). Динамический резерв подготовки очистных забоев представляет собой оптимальное соотношение во времени подготовительных и очистных работ, которое необходимо для формирования экономически обоснованного календарного плана развития горных работ.

**Ключевые слова:** очистной фронт, очистные забои, надежность процесса, воспроизводство, подготовительные работы, горно-шахтное оборудование, уголь, угольные шахты, динамическое резервирование.

**Для цитирования:** Шадыжева Э. Б., Кузнецов Ю. Н. Основные принципы оценки надежности процесса воспроизводства очистного фронта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 137–146. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-137-146.

### Guidelines for evaluation of reproductive performance reliability of longwall front

E.B. Shadyzheva<sup>1</sup>, Yu.N. Kuznetsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,  
e-mail: shadyzheva.asiyat@mail.ru

**Abstract:** Reproductive performance of longwall front in coal mines is considered with regard to the reliability criterion. Philosophy of dynamic reservation of longwall front productivity is discussed, and the recommendations are given to improve reliability of this process. The basic assumption is the obligatory reliable and trustworthy prediction of longwall time in extraction panels and longwall front preparation time with a view to improving efficient reproductive

performance of longwall fronts. The preparatory work and longwalling are considered as stochastic processes while the dynamic time reserve and reliable reproductive performance of longwall front—as indices to be economically justified. Poor preparation results in coal loss in reproductive performance of longwall faces. Optimization of reliable dynamic reservation of this process involves calculation of a sound ratio between the longwall operations and preparatory works (reserve of longwall front preparation). The dynamic reserve of longwall front preparation is the optimized ratio of times of preparatory work and longwalling, which is required for economically justified scheduling of mining.

**Key words:** longwall front, longwall face, process reliability, reproductive performance, preparatory work, mining equipment, coal, coal mines, dynamic reservation.

**For citation:** Shadyzheva E. B., Kuznetsov Yu. N. Guidelines for evaluation of reproductive performance reliability of longwall front. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(9):137-146. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-137-146.

---

## Введение

В новых условиях хозяйствования первоочередными для угольной промышленности страны являются ликвидация на шахтах дефицита подготовленного фронта очистных забоев, ускорение воспроизводства запасов угля всех категорий. Для восполнения дефицита капиталовложений необходимо не только ориентироваться на дополнительное их выделение, но и изыскивать внутренние резервы, сокращая сроки и сметную стоимость реконструкции и строительства предприятий и других объектов угольной промышленности.

Основная часть капитальных вложений в отрасли будет направляться на техническое перевооружение, реконструкцию и поддержание мощностей действующих шахт.

К числу основных причин, ограничивающих эффективное использование потенциала производственных мощностей шахт по добыче угля, относятся недостаток очистного фронта или избыток объемов проведения горных работ в зависимости от соотношения положения очистных и подготовительных забоев.

Повышение эффективности процесса воспроизводства очистного фронта невозможно без надежного и достовер-

ного прогноза времени отработки запасов выемочных столбов и времени подготовки линии очистных забоев. В связи со стохастическим характером очистных работ очевидна необходимость в установлении резерва времени подготовки очистных забоев. Определение уровня динамического резервирования процесса воспроизводства очистного фронта производится с учетом экономической оценки последствий решений, принимаемых при планировании развития горных работ во времени и пространстве [1—3].

Модели календарного планирования процесса воспроизводства очистного фронта позволяют повысить эффективность работы угольных шахт путем оптимизации уровня надежности динамического резервирования планов развития горных работ.

Отсутствие обоснования надежности процесса воспроизводства очистного фронта приводит к простаиванию части производственной мощности угольных шахт при переходе горных работ на вновь подготавливаемые очистные забои, применении временных схем вскрытия и подготовки, выемочных полей, что обуславливает значительное ухудшение технологических схем и экономических показателей отработки запасов угля.

Следует отметить, что рост затрат на поддержание горных выработок, связанный с увеличением глубины горных работ и ухудшением горно-геологических условий, применение дорогостоящих механизированных комплексов не позволяет содержать резервные очистные забои. Вследствие этого необходимо оценить уровень надежности динамического резервирования процесса воспроизводства очистного фронта и увеличить соответствующие издержки [2 – 5].

### **Основные принципы оценки надежности воспроизводства очистного фронта**

Ухудшение горно-геологических условий, возрастание сложности процессов подаваемых горных работ перекрывают достижения в технологии горного производства, позволяющие сохранять надежность очистных и подготовительных работ на уровне, обеспечивающем эффективность подземной разработки угольных месторождений.

Календарное планирование развития горных работ предусматривает установление сроков ввода и выбытия очистных забоев, а также времени начала проведения горных выработок. При этом прогнозируется нагрузка на очистной забой, темпы проведения горных выработок и монтаж оборудования выемочного участка [3, 6, 11].

Технологическая система шахты, определяющая топологию сети горных выработок, выбор горно-шахтного оборудования, трудовых ресурсов и последовательности отработки пластов, выемочных столбов с учетом горно-геологических условий месторождения являются исходными параметрами имитационной модели развития горных работ.

Проблема надежности воспроизводства очистного фронта является комплексной. Количественный анализ надеж-

ности должен основываться на точно определенных понятиях.

Надежностью воспроизводства очистного фронта является свойство, обеспечивающее возможность отработки шахтного поля без потери производственной мощности при подготовке очистных забоев.

В связи со стохастическим характером протяжения времени отработки запасов выемочных столбов и подготовки очистных забоев для исследований применяются в основном методы оценки операций. К числу основных методов относятся:

- прогнозирование;
- теория принятия решений;
- управление трудовыми ресурсами и запасами;
- календарное планирование;
- теория надежности.

Однако при этом необходимо учитывать, что «попытки формального применения абстрактных моделей надежности часто приносят вред, создавая лишь иллюзию деятельности» [2, 6, 7].

Дефицит очистного фронта может возникнуть при внезапном выходе из работы выемочного участка вследствие ненадежности мероприятий по технике безопасности и нарушений правил технической эксплуатации угольных шахт, повлекших за собой внезапные выбросы угля, породы и газа, горные удары, взрывы метана и угольной пыли, прорывы воды, завалы очистных забоев; а также при отсутствии надежного прогнозирования геологических нарушений и их воздействий при несоответствии применяемой техники и технологии условиям безопасной отработки запасов угля.

Дефицит очистного фронта может вызываться увеличением нагрузки на очистной забой. Очевидно, что экономический эффект будет в значительной мере утрачен при отсутствии резерва времени в подготовке очистного забоя.

Согласно «Правилам технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт» главной задачей в области проведения горных выработок является своевременное вскрытие и подготовка запасов, восполнение фронта очистных забоев. Основной причиной дефицита очистного фронта является запаздывание подготовительных работ [3, 4, 7].

Для полного исключения возможности дефицита очистного фронта усилий для повышения надежности процессов подаваемых горных работ оказывается недостаточно.

В настоящее время фактический уровень надежности очистных и подготовительных работ не обеспечивает эффективности работы угольных шахт. Повышение надежности очистных и подготовительных работ может быть обеспечено путем прогнозирования горно-геологических характеристик залегания угольных пластов, разработки более надежных образцов горно-шахтного оборудования, новых технологий, совершенствования планирования производства. Одним из эффективных рычагов повышения является резервирование.

Динамическим резервированием очистных забоев называется обеспечение резерва, создаваемого за счет преждевременной их подготовки к работе.

Учитывая стохастический характер очистных и подготовительных работ, можно считать, что процесс воспроизводства очистного фронта может быть математически описан вероятностными законами. В проблеме надежности воспроизводства очистного фронта вероятностный подход является единственно возможным, особенно при отсутствии резервов в темпах проведения горных выработок и в тяжелых горно-геологических условиях.

Предположение о том, что подготовка очередного очистного забоя должна заканчиваться в момент выбытия пре-

дыдущего, является идеализацией условий ведения подземных горных работ [5, 6].

При прогнозировании времени подготовки и времени отработки запасов шахтного поля необходимо принимать во внимание факторы, влияющие на надежность технологической системы шахты:

- уровень управления состоянием массива горных пород;
- качество составления прогнозной геологической карты;
- обеспеченность материальными, денежными и трудовыми ресурсами;
- уровень надежности забойного и горно-шахтного оборудования;
- качество организации, планирования и управления производством.

Для оценки надежности процесса воспроизводства очистного фронта необходимо спрогнозировать распределение времени отработки  $T_0$  запасов действующих выемочных участков и времени подготовки  $T_n$  запасов очередных выемочных столбов.

Точность прогнозирования (планирования) очистных и подготовительных работ оценивается ошибкой оценки времени выполнения работ и может быть принята равной разности фактического  $T$  и планового  $t$  (прогнозного) времени выполнения работ:

$$\varepsilon = T - t, \text{ сут.} \quad (1)$$

Кроме основных факторов, влияющих на надежность прогнозирования, ошибку прогнозирования могут определять проявления индивидуальных особенностей добычных и проходческих бригад.

Ошибка прогнозирования (планирования) может вызываться рядом причин объективного и субъективного характера:

- низкой достоверностью горно-геологической информации;
- несовершенством методики определения нагрузки  $A$  на очистной забой и темпов проведения горных выработок;

- недостаточной надежностью материально-технического снабжения;
- организационных факторов и социально-экономических условий работы бригад и т.п.

В связи тем, что планирование (прогнозирование) осуществляется на основе одних и тех же методических руководств, можно исследовать данные о распределении ошибки  $\varepsilon$  времени подготовки и времени выбытия очистного фронта.

Очевидно, что отклонение математического ожидания  $\mu$  ошибки прогнозирования от нуля связано в первую очередь с проявлением индивидуальных особенностей бригад и напряженностью плана, а среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  ошибки прогнозирования времени выполнения очистных и подготовительных работ является комплексным показателем надежности прогнозирования (планирования) горно-геологических, горнотехнических и социально-экономических условий производства подземных горных работ [1].

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i}{n}, \text{ сут}, \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\varepsilon_i - \mu)^2}{n-1}}, \text{ сут}, \quad (3)$$

где  $n$  — число величин, принятых для статического прогнозирования времени выполнения работ.

Следовательно, фактическое значение времени отработки запасов угля выемочного столба можно представить в виде

$$T_o = Z/A_o + \varepsilon_o = t_o + \varepsilon_o, \text{ сут}, \quad (4)$$

где  $Z$  — готовые к выемке запасы угля действующего выемочного участка, т;  $A_o$  — суточная нагрузка на очистной забой, определяемая методикой составления технологических карт отработки запасов выемочного участка, т/сут;  $\varepsilon_o$  —

ошибки пргнозирования (планирования) времени отработки запасов угля действующего выемочного участка, сут;  $t_o$  — прогнозные (плановые) значения времени отработки запасов угля выемочного столба, сут.

Аналогично, рассматривая время подготовки очередного  $j$ -го очистного забоя в качестве случайной величины, имеем

$$T_n = \sum_{i=1}^n \frac{L_{ij}}{V_{ij}} + \frac{l_j}{V_{pn}} + \frac{l_j}{V_m} + \varepsilon_n = t_n + \varepsilon_n, \text{ сут}, \quad (5)$$

где  $L_{ij}$  — длина  $i$ -й выработки, проведение которой необходимо для подготовки запасов угля очередного  $i$ -го выемочного столба, м;  $n$  — количество горных выработок, лежащих на критическом пути подготовки  $i$ -го выемочного столба;  $V_{ij}$  — прогнозные (плановые) темпы  $i$ -й горной выработки, м/сут;  $l_j$  — длина очистного забоя, м;  $V_{pn}$  — прогнозные (плановые) темпы проведения разрезной печи, м/сут;  $V_m$  — скорость монтажа механизированного комплекса в очистном забое, м/сут;  $\varepsilon_n$  — ошибка прогнозирования (планирования) времени подготовки очередного  $i$ -го очистного забоя, сут;  $t_n$  — прогнозные (плановые) время подготовки очистного забоя, сут.

Известно, что распределение ошибок прогнозирования с возрастанием времени упреждения стремится к нормальному закону, а также, что закон распределения времени выполнения системы работ, среди которых нет преобладающих, можно считать нормальным.

Следовательно, можно предположить, что распределение времени отработки запасов угля выемочного столба подчиняется нормальному закону с математическим ожиданием

$$M(T_o) = M(t_o + \varepsilon_o) = t_o + \mu_o, \text{ сут}, \quad (6)$$

с дисперсией  $\sigma_o^2$ ,

где  $\mu_o$  — математическое ожидание ошибки прогнозирования (планирования) времени отработки запасов угля, сут.

Аналогично время подготовки очистного забоя описывается нормальным распределением с математическим ожиданием

$$M(T_n) = M(t_n + \varepsilon_n) = t_n + \mu_n, \text{ сут.} \quad (7)$$

При динамическом резервировании процесса воспроизводства очистного фронта время, через которое необходимо начать подготовительные работы, можно определить по формуле

$$T_n = t_n - t_n - R, \text{ сут.}, \quad (8)$$

где  $R$  — динамический резерв времени, определяемый с учетом надежности прогнозирования характеристик очистных и подготовительных работ, а также предполагаемых экономических последствий избытка проведения горных выработок и дефицита очистного фронта, сут.

Обоснование и выбор показателей надежности процесса очистного фронта производятся по аналогии с традиционным подходом к теории отказов при проектировании надежности механических устройств, технологических процессов и систем.

Надежность воспроизводства очистного фронта определяется путем перекрытия плотностей распределения времени отработки  $T_o$  запасов угля выемочных участков и времени подготовки  $T_n$  очистных забоев с учетом принимаемого резерва времени  $R$ .

Плотность нормального распределения времени отработки  $T_o$  запасов угля имеет следующий вид:

$$f(T_o) = \frac{1}{(\sigma_o \sqrt{2\pi})} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{T_o - t_o - \mu_o}{\sigma_o} \right)^2 \right],$$

$$-\infty < T_o < +\infty, \quad (9)$$

а плотность нормального распределения времени подготовки  $T_n$  очистного фронта представляется как

$$f(T_n) = \frac{1}{(\sigma_n \sqrt{2\pi})} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{T_n - t_n - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2 \right],$$

$$-\infty < T_n < +\infty, \quad (10)$$

Для исследования надежности процесса воспроизводства очистного фронта введем случайную величину  $H = T_o - T_n - T_n$  — несоответствие (ожидание) процесса воспроизводства очистного фронта. Тогда на основании (4), (5), (8), путем несложных преобразований окончательно получаем

$$H = \varepsilon_o - \varepsilon_n + R, \text{ сут.} \quad (11)$$

Если время отработки запасов угля действующих выемочных участков и время подготовки очередных забоев описывается нормальным распределением, то случайная величина  $H$  также имеет нормальное распределение с математическим ожиданием

$$\mu = \mu_o - \mu_n + R, \text{ сут.}, \quad (12)$$

и среднеквадратическим отклонением;

$$\sigma = \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_n^2 - 2\rho\sigma_o\sigma_n}, \text{ сут.}, \quad (13)$$

где  $\rho$  — коэффициент корреляции между временем отработки действующего и времени очередного выемочного столба.

Случайную величину  $H$  можно связать с вероятностью отсутствия потерь добычи угля в процессе воспроизводства очистного фронта:

$$P = P(H \geq 0) =$$

$$= \int_o^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dH = \quad (14)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\mu/\sigma}^{\infty} e^{-z^2/2} dz = F(\mu / \sigma)$$

где  $Z = (H - \mu)/\sigma$  — нормированная случайная величина, распределенная по нормальному закону;  $F$  — интегральная нормированная функция нормального распределения.

Таким образом, вероятность потерь добычи угля при воспроизводстве очистного фронта зависит от математического ожидания ошибки прогнозирования (планирования) времени отработки запасов угля  $\mu_o$  и времени подготовки

очистного забоя  $\mu_n$ , принятого резерва времени  $R$ , надежности и взаимовлияния очистных и подготовительных работ, организационных факторов и т.д.

Коэффициент безопасности отработок запасов угля можно определить следующим образом:

$$K_o = \frac{M(T_o)}{M(T_o + T_n)} = \frac{t_o + \mu_o}{t_o + \mu_n - R} \geq 1. \quad (15)$$

Коэффициент безопасности воспроизводства очистного фронта имеет вид

$$K_\delta = \frac{M(T_o - T_n)}{M(T_n)} = \frac{t_n + \mu_o + R}{t_n + \mu_n} \geq 1. \quad (16)$$

Запас надежности процессов воспроизводства очистного фронта определяется как

$$S_\delta = \frac{\mu_o - \mu_n + r - \sigma_n}{\sigma_o} = \frac{\mu - \sigma_n}{\sigma_o}. \quad (17)$$

Краткость резервирования процесса воспроизводства очистного фронта записывается в виде

$$m = \frac{R}{M(T_n)} = \frac{R}{(t_n + \mu_n)}. \quad (18)$$

Так как очистные и подготовительные работы ведутся в одних и тех же горно-геологических условиях с запаздыванием во времени, зависящим от конкретных горнотехнических условий, и с одинаковой напряженностью работ, то  $\mu_o \rightarrow 0$ ,  $\mu_n \rightarrow 0$ ,  $\mu_o - \mu_n \rightarrow 0$ , и, следовательно, формулы для показателей надежности процесса воспроизводства очистного фронта можно использовать следующим образом.

Вероятность отсутствия потерь добычи угля в процессе воспроизводства очистного фронта

$$P \approx F(R/\sigma), \quad (19)$$

а запас надежности процесса воспроизводства очистного фронта

$$S_\delta \approx (R - \sigma_n / \sigma_o), \quad (20)$$

Очевидно, что только применение динамического (временного) резерви-

рования ( $R > 0$ ) позволит в реальных условиях ( $\mu_o - \mu_n \rightarrow 0$ ,  $\sigma \rightarrow 0$ ) повысить надежность очистных работ, так как в противном случае ( $R = 0$ ) вероятность потерь добычи угля в процессе воспроизводства очистного фронта составляет  $T_p = 0,5$ .

Таким образом, эффективным средством повышения надежности процесса воспроизводства очистного фронта является динамическое резервирование. Резерв времени  $R$  является не пополняемым. В случае преждевременной подготовки очистной забой становится резервным и служит для повышения надежности очистных работ.

Оптимизация надежности процесса воспроизводства очистного фронта осуществляется посредством выбора экономически обоснованного ее уровня. Обоснование уровня надежности процесса воспроизводства очистного фронта базируется на прогнозировании надежности очистных и подготовительных работ, учете и оценке экономических последствий решений, принимаемых при перспективном и оперативном планировании, учете возможности по управлению процессом воспроизводства очистного фронта.

Известно, что каждая ошибка прогнозирования (планирования) приносит ущерб, определяемый в соответствии со знаком ошибки, и пропорциональный ее абсолютному значению.

Избыток подготовительных работ  $H > 0$  обусловлен преждевременным использованием трудовых и материальных ресурсов, капитальных вложений, приводит к повышению расходов на поддержание горных выработок, вентиляцию, водоотлив. Издержки содержания очистного фронта можно определить по формуле

$$S_1 = C_1 \cdot H, \text{ руб.}, \quad (21)$$

где  $C_1$  — издержки содержания резервного очистного забоя в течение суток,

руб/сут;  $H$  – предполагаемое случайное опережение очистными работами подготовительных работ, сут.

Издержки содержания очистного забоя в течение суток оцениваются по формуле

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^n L_i G_i + K \cdot E_H}{365}, \text{ руб./сут, (22)}$$

где  $G_i$  – годовые затраты на поддержание  $i$ -й горной выработки, м;  $L_i$  – длина  $i$ -й горной выработки, м;  $n$  – количество горных выработок, проводимых для подготовки очистного забоя;  $K$  – затраты на проведение горных выработок и стоимость горно-шахтного оборудования, руб.;  $E_H$  – отраслевой нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности капитальных вложений,  $E_H = 0,15$ .

Недостаточное развитие подготовительных работ ( $H < 0$ ) приводит к потерям добычи угля в процессе воспроизводства очистных забоев. Формирование ущерба при неподготовленности очистного забоя происходит за счет доли условно-постоянных расходов в себестоимости добычи угля и соответствующей части прибыли по шахте.

В связи с тем что коллектив добычного участка при неподготовленности очистного забоя будет использоваться на других работах, в том числе на ускоренной подготовке выемочного столба, в других очистных забоях, то для определения предполагаемого ущерба необходимо расчетную цену 1 т угля уменьшить на величину себестоимости добычи угля по участку и умножить на потери производственной мощности шахты. При этом в связи с неоптимальной численностью работающих в очистных и подготовительных забоях, на шахте будет снижена производительность труда, и, как следствие, повышена себестоимость добычи угля.

Естественно, что в случае отставания подготовительных работ необходимо принимать экстренные меры, связанные с дополнительными издержками.

Оптимизация надежности динамического резервирования процесса воспроизводства очистного фронта осуществляется путем расчета экономически обоснованного соотношения между очистными и подготовительными работами (резерва подготовки очистной линии).

### Заключение

Оценка развития горных работ по положению очистных и подготовительных забоев позволяет на ранней стадии обнаружить несоответствие их соотношения, а при оперативном планировании развития горных работ определить время начала ведения подготовительных работ, предопределяющих минимальные ожидаемые издержки, связанные с процессом воспроизводства очистного фронта.

Величина оптимального динамического резерва определяется для каждого очистного забоя исходя из конкретных условий, что является методически более правильным и зависит от уровня качества прогнозирования темпов и надежности ведения горных работ. Результаты анализа издержек процесса воспроизводства очистного фронта показывают, что динамическое резервирование является эффективным методом повышения надежности и снижения издержек процесса воспроизводства очистного фронта. Тем не менее, издержки составляют значительную величину.

Повышение надежности ведения очистных и подготовительных работ возможно путем прогнозирования горно-геологических условий, составления технологических карт отработки запасов угля и проведения горных выработок, повышения надежности горно-шахтного оборудования, уровня планирования, организации и управления производством.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Ю. Н., Бородин В. П., Бурчакова М. А. Надежность воспроизводства очистного фронта на угольных шахтах. — М.: МГИ, 1991. — 67 с.
2. Кузнецов Ю. Н. Направления повышения надежности воспроизводства очистного фронта угольных шахт // Горный информационно аналитический бюллетень. — 1999. — № 3. — С. 2—18.
3. Боровков Ю. А., Дробаденко В. П., Ребриков Д. Н. Основы горного дела: Учебник для вузов. — СПб.: Лань, 2017. — 448 с.
4. Городниченко А. П., Дмитриев А. П. Основы горного дела. Учебник для вузов. — М.: Изд-во «Горная книга», 2016. — 443 с.
5. Третенков И. В., Лукьянов В. Г. Устойчивость горных выработок. — Томск: Изд-во ТГУ, 2015. — 133 с.
6. Терентьев Б. Д., Мельник В. В., Абрамкин Н. И. Геомеханическое обоснование подземных горных работ: очистные горные работы. — М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2016. — 258 с.
7. Терентьев Б. Д., Мельник В. В., Абрамкин Н. И., Коликов К. С. Геомеханическое обоснование подземных горных работ. — М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. — 279 с.
8. Моссаковский Я. В. Экономика горной промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785986724591.html> (дата обращения: 28.01.2020).
9. Петровская А. С. Краткий обзор современного состояния программного обеспечения для горных предприятий [Электронный ресурс]. Режим доступа. <http://ad/cctpu/ru/Personal/Alex/Zhtm1/OBZOR/POgor.htm> (дата обращения: 28.02.2020).
10. Муров В. М. Научные основы эффективного воспроизводства очистного фронта на угольных шахтах: дис. ... докт. техн. наук. — Кемерово, 1993. — 56 с.
11. Кузнецов Ю. Н. Прогнозирование параметров шахт. — М.: МГИ, 1981. — 268 с.
12. Eugene Ben-Awuah, Otto Richter, Elkington Tarrant, Yashar Pourrahimian Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. No 6. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.09.015.
13. Wang Ying, Lu Cuijie, Zuo Cuiping Coal mine safety production forewarning based on improved BP neural network // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 25. No 2. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.023.
14. Yuanping Cheng, Liang Wang, Hongyong Liu, Shengli Kong, Quanlin Yang, Jintuo Zhu, Qingyi Tu Definition, theory, methods and applications of the safe and efficient simultaneous extraction of coal and gas // International Journal of Coal Science & Technology. 2015. Vol. 2, No 1. Pp. 52—65. DOI: 10.1007/s40789-015-0062-5. **WJAS**

## REFERENCES

1. Kuznetsov Yu. N., Borodin V. P., Burchakova M. A. *Nadezhnost' vosproizvodstva ochistnogo fronta na ugol'nykh shakhtakh* [Reliability of the reproduction of the treatment front in coal mines], Moscow, MGI, 1991, 67 p.
2. Kuznetsov Yu. N. Directions for improving the reliability of reproduction of the coal mine treatment front. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 1999, no 3, pp. 2—18. [In Russ].
3. Borovkov Yu. A., Drobadenko V. P., Rebrikov D. N. *Osnovy gornogo dela: Uchebnik dlya vuzov* [Mining basics. Textbook for high schools], Saint-Petersburg, Lan', 2017, 448 p.
4. Gorodnichenko A. P., Dmitriev A. P. *Osnovy gornogo dela. Uchebnik dlya vuzov* [Mining basics. Textbook for high schools], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2016, 443 p.
5. Tretenkov I. V., Luk'yanov V. G. *Ustoychivost' gornykh vyrabotok* [Stability of mine workings], Tomsk, Izd-vo TGU, 2015, 133 p.

6. Terent'ev B. D., Mel'nik V. V., Abramkin N. I. *Geomekhanicheskoe obosnovanie podzemnykh gornykh rabot: ochistnye gornye raboty* [Geomechanical substantiation of underground mining works: mining treatment works], Moscow, Izd. Dom NITU «MISiS», 2016, 258 p.

7. Terent'ev B. D., Mel'nik V. V., Abramkin N. I., Kolikov K. S. *Geomekhanicheskoe obosnovanie podzemnykh gornykh rabot* [Geomechanical justification of underground mining operations], Moscow, Izd. Dom NITU «MISiS», 2019, 279 p.

8. Mossakovskiy Ya. V. *Ekonomika gornoj promyshlennosti*, available at: <http://www.studmedlib.ru/book/ISBN9785986724591.html> (accessed 28.01.2020).

9. Petrovskaya A. S. *Kratkiy obzor sovremennogo sostoyaniya programmogo obespecheniya dlya gornykh predpriyatiy*, available at: <http://ad/cctpu/ru/Personal/Alex/Zhtm1/OBZOR/POgor.htm> (accessed 28.02.2020).

10. Murov V. M. *Nauchnye osnovy effektivnogo vosproizvodstva ochistnogo fronta na ugol'nykh shakhtakh* [Scientific bases of effective reproduction of the treatment front in coal mines], Doctor's thesis, Kemerovo, 1993, 56 p.

11. Kuznetsov Yu. N. *Prognozirovaniye parametrov shakht* [Prediction of mine parameters], Moscow, MGI, 1981, 268 p.

12. Eugene Ben-Auwah, Otto Richter, Elkington Tarrant, Yashar Pourrahimian Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26. No 6. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.09.015.

13. Wang Ying, Lu Cuijie, Zuo Cuiping Coal mine safety production forewarning based on improved BP neural network. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015. Vol. 25. No 2. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.023.

14. Yuanping Cheng, Liang Wang, Hongyong Liu, Shengli Kong, Quanlin Yang, Jintuo Zhu, Qingyi Tu Definition, theory, methods and applications of the safe and efficient simultaneous extraction of coal and gas. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2015. Vol. 2, No 1. Pp. 52 – 65. DOI: 10.1007/s40789-015-0062-5.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шадыжева Эсет Башировна<sup>1</sup> – аспирантка,

e-mail: shadyzheva.asiyat@mail.ru,

Кузнецов Юрий Николаевич<sup>1</sup> – д-р техн. наук, профессор,

<sup>1</sup> ГИ НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Шадыжева Э.Б.,

e-mail: shadyzheva.asiyat@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.B. Shadyzheva<sup>1</sup>, Graduate Student,

e-mail: shadyzheva.asiyat@mail.ru,

Yu.N. Kuznetsov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** E.B. Shadyzheva,

e-mail: shadyzheva.asiyat@mail.ru.

Получена редакцией 05.03.2020; получена после рецензии 26.05.2020; принята к печати 20.08.2020.

Received by the editors 05.03.2020; received after the review 26.05.2020; accepted for printing 20.08.2020.

