

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМ КОМБАЙНОМ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ЛАВАХ

К.Н. Копылов<sup>1</sup>, С.С. Кубрин<sup>2</sup>, И.М. Загоршменный<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «СУЭК», Москва, Россия,

<sup>2</sup> ИПКОН РАН, Москва, Россия, e-mail: s\_kubrin@mail.ru

**Аннотация:** В настоящее время угольные шахты оснащены необходимыми средствами механизации проведения горных выработок и добычи угля. Значительно повысилась среднесуточная нагрузка на очистной забой. Это требует надлежащего пылегазового режима и более надежных условий дегазации и проветривания. Рассмотрены актуальные аспекты повышения эффективности использования механизированного выемочного комплекса за счет использования функции оперативного управления. Результаты моделирования наглядно показывают необходимость и эффективность применения оперативного управления очистным комбайном в высокопроизводительных лавах. Разработанная модель технологического процесса отбойки и транспортировки горной массы в пределах выемочного участка позволяет определить оптимальные режимы управления скоростью подачи очистного комбайна, обеспечить эффективную и безопасную отработку запасов угля. При определенных условиях выемка угля может быть осуществлена без постоянного присутствия людей в очистном забое. Моделирование процесса оперативного управления механизированным комплексом высокопроизводительного выемочного участка применительно к условиям шахты «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» показало возможность повышения эффективности использования применяемого оборудования.

**Ключевые слова:** эффективность работы угледобывающих предприятий, дегазация и проветривание, промышленная безопасность и эффективность отработки, транспортная система, моделирование процесса отбойки и транспортировки угля, метановыделение, оперативное управление, параметры очистного комбайна.

**Для цитирования:** Копылов К. Н., Кубрин С. С., Загоршменный И. М. Использование моделирования для управления очистным комбайном в высокопроизводительных лавах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 30–40. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-30-40.

### Modeling of cutter–loader control in high production longwalls

K.N. Kopylov<sup>1</sup>, S.S. Kubrin<sup>2</sup>, I.M. Zakorshmenniy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> JSC «SUEK», Moscow, Russia,

<sup>2</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources  
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: s\_kubrin@mail.ru

**Abstract:** Modern coal mines are equipped with all mechanical means required for road making and coal cutting. The average daily face output has grown considerably. Therefore, appropriate gas and dust conditions, as well as reliable degassing and ventilation modes are needed. The problems

connected with the coal industry development should be solved using the best advanced technologies aimed to ensure economic effect and, first of all, improved working environment and safety of miners. The topical questions of improvement of mechanized longwall equipment efficiency at the expense of operational control are discussed. The modeling results demonstrate necessity and efficiency of operational control over cutter-loaders in highly production longwalls. The developed model of coal breaking and haulage within a longwall makes it possible to optimize control modes of cutter-loader advance speed and to ensure safe and efficient coal mining. Given certain conditions, coal cutting is possible without full-time presence of miners in the face area. Modeling of operational control of mechanized high-production longwall equipment in terms of Polysaevskaya Mine of SUEK-Kuzbass has proved feasibility of improvement of longwall equipment efficiency.

**Key words:** coal mine efficiency, degassing and ventilation, production safety and efficiency, transportation system, coal breaking and haulage modeling, methane release, operational control, cutter-loader parameters.

**For citation:** Kopylov K. N., Kubrin S. S., Zakorshmenniy I. M. Modeling of cutter-loader control in high production longwalls. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;4:30-40. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-30-40.

---

## Введение

В настоящее время угольные шахты оснащены необходимыми средствами механизации проведения горных работ и добычи угля. Среднегодовая мощность одной шахты удвоилась, а среднесуточная нагрузка на очистной забой выросла в четыре раза. Это в свою очередь требует надлежащего пылегазового режима и более надежных условий дегазации и проветривания. Обеспечить высокий уровень промышленной безопасности и эффективность работы угледобывающих предприятий возможно на основе внедрения автоматизации производственных и управленческих процессов, многофункциональных систем безопасности угольных шахт, многие элементы которых получили широкое распространение [1, 2].

В решении этих вопросов шахты компании АО «СУЭК» занимают лидирующие позиции. На данный период в Российской Федерации практически 100% угля добывается в комплексно-механизированных забоях. Это позволило увеличить добычу угля в 2018 г. до 433 млн т [3]. В то же время, анализ работы выемочных участков показывает свои цикличности в их работе из-за потерь рабочего

времени по организационным и технологическим причинам.

## Основные резервы повышения производительности очистных работ

Основная составляющая рентабельной работы шахты — работа выемочных участков в режиме, определенном проектной документацией. Анализ режимов работы выемочных участков показал наличие значительных потерь рабочего времени по организационным и технологическим причинам. На сегодняшний день метаносность угольного пласта в пределах выемочного участка определяют по данным геологической разведки. В некоторых случаях частота разведочных скважин не позволяет получить достоверные данные о метаносности разрабатываемого участка, и используют метод интерполяции, учитывающий разведочные данные смежных частей шахтного поля. Отклонения в определении метаносности на 1–2 м<sup>3</sup>/т при работе высокопроизводительных выемочных участков превращаются в 10–20 м<sup>3</sup>/мин неучтенного метановыделения. С целью снижения газоносности угольных пластов применяется предварительная и

пластовая дегазация [4]. Эффективность дегазационных работ зависит от многих составляющих: числа, расположения и диаметра дегазационных скважин, строения пласта, нарушений, сорбционных и фильтрационных свойств угля. В настоящее время активно ведутся работы по повышению интенсивности отдачи метана угольным пластом, в том числе с применением динамических воздействий на массив горных пород [5, 6].

Распределение метана в пределах выемочного участка зависит от принятой схемы проветривания. Основные источники метана для любой схемы проветривания следующие: обнажение забоя, отбитый уголь, вмещающие породы и выработанное пространство. На объемы выделения метана влияет метаносность угля, сорбционные и фильтрационные свойства и площадь обнажения. Со временем интенсивность газовыделения уменьшается. Если влияние метаносности угольного пласта на выделение метана из угля в какой-то мере изучено, то сорбционные и фильтрационные свойства угля, определяющие процессы движения метана в микропорах, его десорбции требуют более детального изучения [7–9]. На распределение метана в пределах выемочного участка оказывают влияние и процессы, происходящие в ограниченном объеме призабойного пространства и в краевой части пласта, являющиеся результатом последовательного формирования сводов сдвижения массива горных пород по длине выемочного столба, параметры которых зависят от множества факторов [10, 11].

### **Основные результаты натурных наблюдений за работой выемочного участка**

Анализ результатов работы выемочных участков и исследований по применению способов и схем дегазации и проветривания при отработке запасов

высокогазоносных угольных пластов указывает на то, что возможности снижения объема метана, поступающего в очистной забой, до нормативных значений с помощью проветривания и предварительной дегазации ограничены. И в этом случае необходимо вести речь о режимах работы выемочного комплекса, обеспечивающих максимально возможную скорость подачи выемочного комбайна в сочетании с безопасной и безаварийной работой установленного оборудования, для каждого конкретного выемочного участка в текущий момент времени. При этом не могут быть использованы существующие методики определения допустимой нагрузки на очистной забой, так как они определяют среднесуточную нагрузку и оперируют усредненными показателями. В данной ситуации речь идет об оперативном управлении выемочным комбайном, заключающемся в обеспечении максимальной его производительности на основе прогноза концентрации метана в соответствии с требованием ПБ в пределах выемочного участка. Возможность использования такой модели оперативного управления подтверждается результатами натурных наблюдений в лаве 17–49 шахты «Польсаевская» [12].

Проведенные экспериментальные исследования на выемочном участке лавы 17–49 по пласту «Бреевский» шахты «Польсаевская» показали, что при отбойке угля в очистном забое при скоростях подачи комбайна на уровне номинальных показателей имеет место значительное недоиспользование мощностей установленного оборудования [13]. Интенсивность метановыделения возрастает в среднем в 2–3 раза по сравнению с фоновым выделением при работе выемочного комбайна [14, 15].

В текущий период размеры выемочных участков выросли, длины очистных забоев уже составляют 400 м. Поэтому

при прогнозе газовыделения необходимо учитывать место источника метана, площадь обнаженного угля и время образования обнажения. Анализ процессов выделения метана на очистном участке свидетельствует, что при обнажении забоя объем выделяемого метана пропорционален площади обнажения, максимально метан выделяется в месте работы очистного комбайна. Интенсивность этого процесса снижается спустя некоторое время. Объем метана, выделяемого отбитым углем, в значительной мере зависит от гранулометрического состава [16], расположения вдоль лавы и времени движения на конвейере. Если уголь отбит внизу лавы (у сопряжения с конвейерным штреком), то он находится в лаве несколько секунд, и объем выделенного из него метана невелик. Процесс выделения метана с уменьшением интенсивности продолжается при движении отбитого угля по перегружателю и ленточному конвейеру до вентиляционной сбойки. Если отбойка угля ведется непрерывно до верхнего сопряжения лавы, то время влияния выделяющегося метана на показатели системы аэрогазового контроля будет увеличено на промежуток времени транспортирования по лавному конвейеру. При этом, в зависимости от схемы проветривания, на части конвейерного штрека (до вентиляционной сбойки) метан возвращается в забой, а после вентиляционной сбойки уходит по конвейерному штреку за пределы выемочного участка. Объемы метана, выделяющегося из вмещающих пород и выработанного пространства за производственную смену, остаются примерно на одном уровне.

### **Моделирование работы выемочного участка**

При работе комбайна наблюдается значительная неравномерность метановыделения в лаве, а учитывая наличие

резервов установленного оборудования, имеется возможность нивелировать объемы метана, выделяющегося при отбойке угля, регулированием скорости подачи комбайна. С целью установления зависимости изменения этого параметра во времени было проведено моделирование технологического процесса отбойки и транспортировки угля. Рассматривался технологический процесс выполнения рабочего прохода выемочным комбайном в условиях ограничений, связанных с объемом метана, выделяемого из отбитого угля.

Предполагалось, что объем выделяемого газа пропорционален объему отбитого угля. Изменения интенсивности выделения метана со временем не учитывались. Моделирование выполнено применительно к условиям выемочного участка № 17–49 пласта Бреевский шахты Польшаевская АО «СУЭК-Кузбасс». Основные параметры моделирования следующие: вынимаемая мощность пласта 1,8 м, мощность угольных пачек 1,6 м, породные прослойки 0,05 м, угол падения 12–17°, сопротивление резанью 140 кг/см<sup>2</sup>, объемный вес угля 1,29 т/м<sup>3</sup>, длина лавы 304 м, количество секций крепи 177; объем горной массы за цикл с учетом ложной кровли составляет 753 т.

Проветривание выемочного участка осуществляется через вентиляционную сбойку, отстоящую от лавы на расстоянии до 220 м. Таким образом, для контроля метана в лаве необходимо учитывать метановыделение из отбитого угля, расположенного на части ленточного конвейера (от лавы до сбойки), перегружателя, дробилки и скребковом лавном конвейере. Учитывая вышеприведенное ограничение, объем угля в пределах каждого конвейера может распределяться неравномерно. В этом случае работа транспортной системы не может быть описана аналитическими методами. И поэтому для описания работы транспортной

системы выемочного участка, объем угля в пределах которой влияет на показатели датчика метана на исходящей струе этого выемочного участка, необходимо использовать дискретную функцию сдвига.

Отбитый уголь попадает на скребковый конвейер в точке  $x$ . Количество угля, расположенного на скребковом конвейере, можно описать некоторой функцией  $\varphi = \varphi(x)$ . Причем, в силу движения самого скребкового конвейера и движения комбайна в общем виде, загрузка на скребковом конвейере меняется во времени и в пространстве  $\varphi = \varphi(x, t)$ . Увеличение объема угля в результате отбивки его выемочным комбайном (предположим, что весь отбитый уголь перемещается на скребковый конвейер и пренебрежем габаритами выемочного комбайна) описывается выражением:  $\varphi = \varphi(x_k, t) = \varphi(x_{ki}, t_i) + dM = \varphi(x_i, t_i) + \gamma hm V_k dt$ . Кроме этого, скребковый конвейер перемещается со скоростью  $V_{sk}$ . Скорость у большинства лавных (скребковых) конвейеров постоянна и не может быть изменена ( $V_{sk} = \text{const}$ ).

Таким образом, происходит преобразование функции  $\varphi(x, t)$ , которое определяется операцией сдвига и описывается выражением  $\varphi(x_i, t + dt) = \varphi(x_i - V_{sk} dt, t)$  для всего пространства лавы (то есть для всех  $x_0 \leq x_i \leq x_n$ ,  $x_0$  — координата начала скребкового конвейера, расположенного у нижнего штрека в месте, где происходит пересып угля со скребкового конвейера на перегружатель,  $x_n$  — координата конца скребкового конвейера, расположенного у верхнего штрека). При этом часть конвейера, которая расположена у верхнего штрека, и представляет собой участок, который появился за отрезок времени  $dt$ , остается пустой  $\varphi(x, t) = \varphi(x_n \div x_n - V_{sk} dt, t + dt) = 0$ .

Уголь, который находился на скребковом конвейере в нижней части штрека, перегружается на перегружатель, сочлененный с дробилкой. Этот объем угля равен  $\varphi_{out}(x, t) = \varphi(x_1 \div x_1 + V_{sk} dt, t)$ . Аналогично скребковому конвейеру, как потоковое устройство перемещения горной массы работают перегружатель, дробильный комплекс и ленточный конвейер.

Соответственно, соотношения, описывающие технологический процесс перемещения выемочного комбайна, движение отбитого с помощью указанного технологического оборудования угля можно представить следующим образом:  
подача комбайна вдоль забоя

$$\frac{dx}{dt} = V_k(t), \quad (1)$$

поступление угля

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{sk}(x_i, t_i) + dM = \varphi_{sk}(x_i, t_i) + \gamma hm V_k dt (x_i = x_k) \\ \varphi_p(x_i, t_i) + dM = \varphi_p(x_n \div x_n - V_p dt, t_i) = \varphi_{sk}(x_1 \div x_1 + V_{sk} dt, t_i) \frac{V_{sk}}{V_p} \\ \varphi_d(x_i, t_i) + dM = \varphi_d(x_n \div x_n - V_d dt, t_i) = \varphi_p(x_1 \div x_1 + V_p dt, t_i) \frac{V_p}{V_d} \\ \varphi_{lk}(x_i, t_i) + dM = \varphi_{lk}(x_n \div x_n - V_{lk} dt, t_i) = \varphi_d(x_1 \div x_1 + V_d dt, t_i) \frac{V_d}{V_{lk}} \end{array} \right. \cdot \quad (2)$$

В соотношении (2) и в последующих приняты следующие обозначения: индекс  $sk$  — скребковый конвейер; индекс  $p$  — перегружатель; индекс  $d$  — дробилка; индекс  $lk$  — ленточный конвейер.

Соотношения, описывающие перемещение угля по технологическому оборудованию, имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{sk}(x_i, t + dt) = \varphi_{sk}(x_i - V_{sk} dt, t) \quad (x_i < x_n - V_{sk} dt) \\ \varphi_{sk}(x_n \div x_n - V_{sk} dt, t + dt) = 0 \quad (x_i \geq x_n - V_{sk} dt) \\ \varphi_p(x_i, t + dt) = \varphi_p(x_i - V_p dt, t) \quad (x_i < x_n - V_p dt) \\ \varphi_p(x_n \div x_n - V_p dt, t + dt) = 0 \quad (x_i \geq x_n - V_p dt) \\ \varphi_d(x_i, t + dt) = \varphi_d(x_i - V_d dt, t) \quad (x_i < x_n - V_d dt) \\ \varphi_d(x_n \div x_n - V_d dt, t + dt) = 0 \quad (x_i \geq x_n - V_d dt) \\ \varphi_{lk}(x_i, t + dt) = \varphi_{lk}(x_i - V_{lk} dt, t) \quad (x_i < x_n - V_{lk} dt) \\ \varphi_{lk}(x_n \div x_n - V_{lk} dt, t + dt) = 0 \quad (x_i \geq x_n - V_{lk} dt) \end{array} \right. \quad (3)$$

Соотношения, описывающие перемещение (пересып) угля с одного на другое технологическое оборудование:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{out \rightarrow p}(x, t) = \varphi_{sk}(x_1 \div x_1 + V_{sk} dt, t) \\ \varphi_{out \rightarrow d}(x, t) = \varphi_p(x_1 \div x_1 + V_p dt, t) \\ \varphi_{out \rightarrow lk}(x, t) = \varphi_d(x_1 \div x_1 + V_d dt, t) \\ \varphi_{out}(x, t) = \varphi_{lk}(x_1 \div x_1 + V_{lk} dt, t) \end{array} \right. \quad (4)$$

Задача по нахождению оптимального режима управления скоростью подачи очистного комбайна может быть решена с помощью компьютерного моделирования. Процесс перемещения угля по каждому конвейеру разделен на три операции: поступление, перемещение, сход (перегрузка на следующее звено). Для этого решается оптимизационная задача по определению скорости подачи выемочного комбайна, обеспечивающей заданную загрузку транспортной системы.

Результаты моделирования технологического процесса отбойки и транспортировки угля со скоростью подачи очистного комбайна в номинальном режиме (6 м/мин) показаны на рис. 1. Время рабочего прохода очистного комбайна

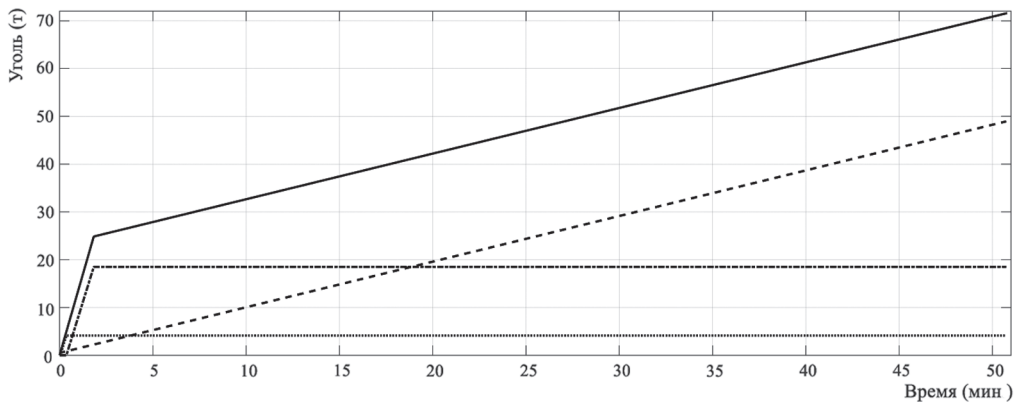


Рис. 1. Объемы угля в лаве № 17–49 при постоянной скорости подачи комбайна 6 м/мин. Сплошная линия — общий объем угля на выемочном участке, пунктирная линия — объем угля на скребковом конвейере, штрихпунктирная линия — объем угля на ленточном конвейере, точно-пунктирная линия — объем угля на перегружателе.

Fig. 1. Volumes of coal in the bay No. 17–49 at a constant feed rate of the harvester in 6 m/min. Solid line — the total volume of coal on the bay, dotted line—the volume of coal on the flight conveyor, dash-line—the volume of coal on the belt conveyor, dotted line—the volume of coal on the reloading device

(«стружки») 50,7 мин. Производительность 14,61 т/мин.

Объем отбитого угля достигает максимума только в одной точке, соответствующей положению комбайна вверху лавы. Для того чтобы максимально допустимый объем горной массы (он определен из условия работы комбайна в номинальном режиме) находился на конвейерной линии в течение максимального времени цикла, необходимо определить график изменения скорости очистного комбайна во времени. Даже при использовании линейной зависимости изменения скорости подачи комбайна, например, от 11 м/мин до 5,5 м/мин, показатели значительно повышаются (см. рис. 2). Время рабочего прохода выемочного комбайна («стружки») 38,4 мин. Производительность 19,26 т/мин (больше на 31,8%).

Учитывая, что движение очистного комбайна в настоящее время невозможно осуществлять в автоматическом режиме, моделирование позволяет получить график изменения скорости движения очистного комбайна по секциям, что

значительно упростит ручное управление очистным комбайном по оптимальному графику.

На рис. 3 представлен график объемов угля в лаве при ступенчатом изменении скорости выемочного комбайна от 10 м/мин до 7,2 м/мин, полученный в результате оптимизации движения очистного комбайна. Время рабочего прохода очистного комбайна («стружки») 32,4 мин. Производительность 22,86 т/мин (больше на 36%). На рис. 4 показан график изменения скорости подачи очистного комбайна по секциям.

Результаты моделирования наглядно показывают необходимость и эффективность применения оперативного управления очистным комбайном в высокопроизводительных лавках. Даже при меньшей начальной скорости очистного комбайна показатели его работы выше при изменении скорости подачи по оптимизированному графику.

В будущем разработанная модель позволит учесть неравномерность метановыделения во времени с учетом неравномерности распределения отбитого

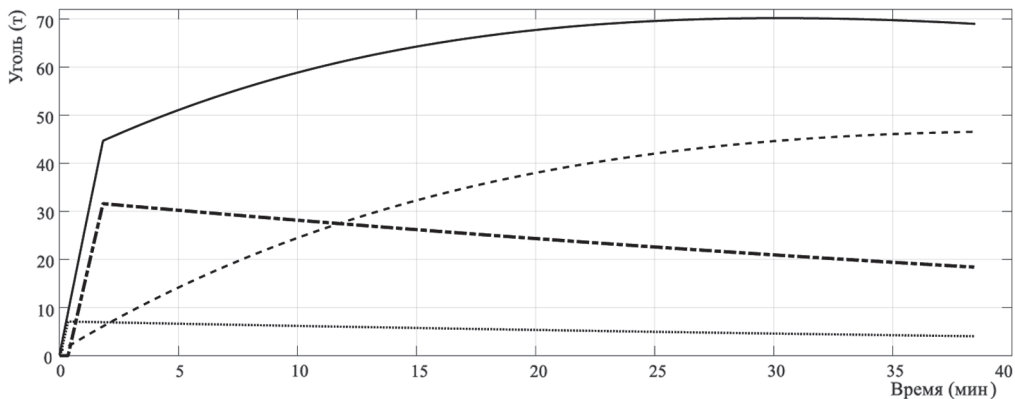


Рис. 2. Объемы угля в лаве № 17–49 при линейном изменении скорости подачи комбайна от 11 м/мин до 5,5 м/мин. Сплошная линия — общий объем угля на выемочном участке, пунктирная линия — объем угля на скребковом конвейере, штрихпунктирная линия — объем угля на ленточном конвейере, точечно-пунктирная линия — объем угля на перегружателе.

Fig. 2. The volume of coal in the bay No. 17–49 in a linear change in the feed speed of the harvester from 11 m/min to 5.5 m/min. Solid line — the total volume of coal on the bay, dotted line—the volume of coal on the flight conveyor, dash-line—the volume of coal on the belt conveyor, dotted line—the volume of coal on the reloading device

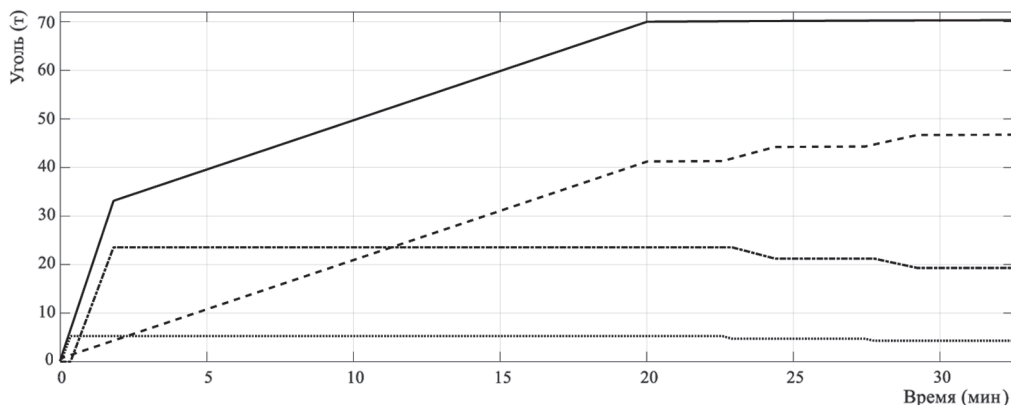


Рис. 3. Объемы угля в лаве № 17–49 при ступенчатом изменении скорости подачи комбайна от 10 м/мин до 7,2 м/мин. Сплошная линия – общий объем угля на выемочном участке, пунктирная линия – объем угля на скребковом конвейере, штрихпунктирная линия – объем угля на ленточном конвейере, точно пунктирная линия – объем угля на перегружателе

Fig. 3. The volume of coal in the bay No. 17–49 for step change of the feed speed of the harvester from 10 m/min to 7,2 m/min. Solid line – the total volume of coal on the bay, dotted line-the volume of coal on the flight conveyor, dash-line-the volume of coal on the belt conveyor, dotted line-the volume of coal on the reloading device

угля по транспортной системе выемочного участка.

Вопросы эффективной работы выемочного участка необходимо решать, начиная с выбора параметров механизированного комплекса, ширины захвата очистного комбайна. Так расчеты показывают, что в результате уменьшения ширины захвата с 1,0 м до 0,8 м, расчетная суточная производительность механизированного комплекса уменьшит-

ся на 15%, в то же время это решение снизит интенсивность метановыделения в высокопроизводительной лаве.

### Заключение

Не всегда проветривание и предварительная дегазация позволяют снизить объемы поступающего в очистной забой метана до нормативных значений.

Современные угольные предприятия оснащены не только необходимыми

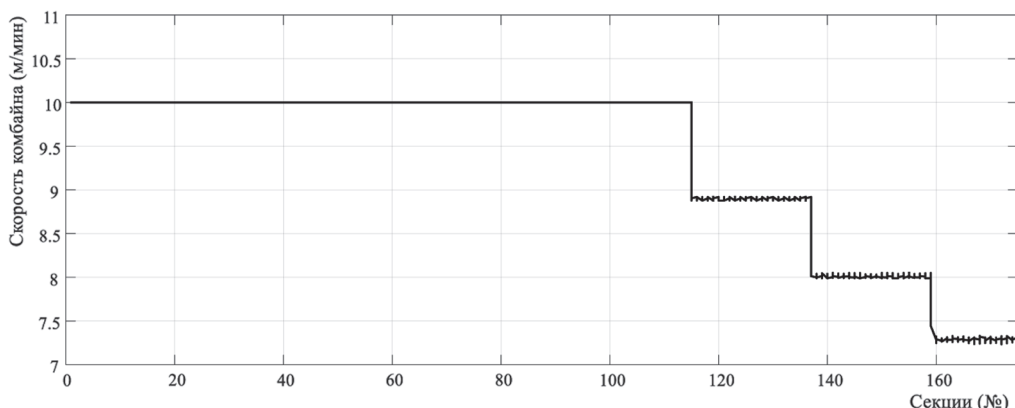


Рис. 4. Ступенчатое изменение скорости подачи комбайна от 10 м/мин до 7,2 м/мин.

Fig. 4. Step change in the feed speed of the harvester from 10 m/min to 7,2 m/min.



средствами механизации проведения горных выработок и добычи угля, но и оборудованием, контролирующим работу машин и механизмов. Это дает дополнительные возможности для анализа причин простоев и поиска путей повышения степени использования горно-шахтного оборудования и позволяет значительно снизить влияние «человеческого фактора» при повышении безопасности ведения горных работ.

Результаты моделирования наглядно показывают необходимость и эффективность применения оперативного управления очистным комбайном в высокопроизводительных лавах.

На основе разработанной модели оперативного управления могут быть опре-

делены режимы работы очистного комбайна, обеспечивающие максимально возможную скорость комбайна для каждого конкретного выемочного участка в текущий момент времени, обеспечивая безаварийную работу установленного оборудования.

Важным этапом в работе высокопроизводительного выемочного участка является подбор оборудования на стадии проектирования.

Из анализа работы высокопроизводительного выемочного участка следует необходимость дальнейшего изучения влияния параметров оборудования и режимов работы очистного комбайна на интенсивность источников метановыделения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55154-2012 Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования. Введ. 22.11.2012. — М.: Стандартинформ, 2013.

2. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Утв. Приказом Ростехнадзора № 678 от 1 декабря 2011 г. (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2011 № 22812).

3. Статистические данные о добычи угля в Российской Федерации. Данные Министерства энергетики РФ, <https://minenergo.gov.ru/node/13661>.

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 25.04.2011 г. № 315 О допустимых нормах содержания взрывоопасных газов (метана) в шахте, угольных пластах и выработанном пространстве, при превышении которых дегазация является обязательной.

5. Сластунов С. В., Ютяев Е. П. Обоснованный выбор технологии пластовой дегазации для обеспечения безопасности подземных горных работ при интенсивной добыче угля // Записки горного института. — 2017. — Т. 223. — С. 125–130.

6. Тациенко А. Л., Плаксин М. С., Понизов А. В. Основные технические аспекты внедрения технологии гидроразрыва угольного пласта // Вестник КузГТУ. — 2017. — № 3 (121). — С. 30–37.

7. Ли Хи Ун, Рыков А. М., Филатов Ю. М., Огурецкий В. В., Некрасов С. А. Фильтрационная модель десорбции метана из отбитого угля при транспортировке его по конвейерной выработке // Вестник Научного центра. — 2007. — № 2. — С. 9–35.

8. Zhenghuai Guo, Phung Nhu Hao Vu, Furqan Hussai. A laboratory study of the effect of creep and fines migration on coal permeability during single-phase flow // International Journal of Coal Geology. vol 200 (2018) pp. 61–67.

9. Ali Kiania, Richard Sakurovs, Mihaela Grigorea, Anna Sokolova Gas sorption capacity, gas sorption rates and nanoporosity in coals // International Journal of Coal Geology. vol. 200 (2018), pp. 77–86.

10. Шинкевич М. В., Рябков Н. В., Козырева Е. Н. Динамика геомеханических процессов в призабойной части массива при движении длинного очистного забоя // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 3. — С. 356–359.

11. Wang J., Ning J., Jiang L., Jiang J-Q., Bu T. Structural characteristics of strata overlying of a fully mechanized longwall face: a case study // Journal of the southern african institute of mining and metallurgy. 2018, vol. 118, No 11, pp. 1195–1204.

12. Копылов К. Н., Закоршменный И. М., Кубрин С. С. Вопросы управления очистным комплексом при отработке высокогазоносных пластов на примере шахты «Польсаевская АО «СУЭК-Кузбасс» // Уголь. — 2016. — № 12. — С. 32–34.

13. Копылов К. Н., Кубрин С. С., Загоршменный И. М., Решетняк С. Н. Экспериментальные исследования параметров работы очистного комбайна угольной шахты при различных скоростях подачи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № S49. — С. 48–55.

14. Рубан А. Д., Артемьев В. Б., Забурдяев В. С., Забурдяев Г. С., Руденко Ю. Ф. Проблемы обеспечения высокой производительности очистных забоев в метанообильных шахтах. — М.: Изд-во ООО «Московский издательский дом», 2009. — 396 с.

15. Feng-Ke Dou, Yong-Shang Kang, Shao-Feng Qin, De-Lei Mao, Jun Han The coalbed methane production potential method for optimization of wells location selection // Journal of Coal Science and Engineering (China) June 2013, Vol. 19, Issue 2, pp. 210–218.

16. Слостунов С. В., Каркашадзе Г. Г., Ютяев Е. П., Мазаник Е. В. Влияние фракционного состава отбитого угля на притоки метана и возможность повышения нагрузок на очистной забой по газовому фактору // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S7. — С. 245–252. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. *Oborudovanie gorno-shakhtnoe. Sistemy bezopasnosti ugol'nykh shakht mnogofunktsional'nye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. GOST R 55154-2012* [Mining equipment. Multifunctional safety systems of coal mines. General technical requirements. State Standard R 55154-2012], Moscow, Standartinform, 2013.

2. *Polozhenie ob aerogazovom kontrole v ugol'nykh shakhtakh. Utverzhdeno Prikazom Rostekhnadzora № 678 ot 1 dekabrya 2011 g.* (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 29.12.2011 No 22812) [Regulation on air and gas control in coal mines Rostekhnadzor. Approved by the order of Rostekhnadzor № 678 dated December 1, 2011 (Registered in the Ministry of justice of Russia 29.12.2011 № 22812)]. [In Russ].

3. Statisticheskie dannye o dobychi uglya v Rossiyskoy Federatsii. Dannye Ministerstva energetiki RF [Statistical data on coal production in the Russian Federation. Data of the Ministry of energy of the Russian Federation], available at: <https://minenergo.gov.ru/node/13661>.

4. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 25.04.2011 g, no 315 O dopustimyykh normakh sodержaniya vzryvoopasnykh gazov (metana) v shakhte, ugol'nykh plastakh i vyrabotannom prostranstve, pri prevyshenii kotorykh degazatsiya yavlyaetsya obyazatel'noy* [Resolution of The Government of The Russian Federation from 25.04.2011 г. №315. About admissible norms of the content of explosive gases (methane) in mine, coal seams and the developed space at which excess degassing is obligatory].

5. Slastunov S. V., Yutyayev E. P. Justified selection of a seam degassing technology to ensure safety of intensive coal mining. *Zapiski gornogo instituta*. 2017, vol. 223, pp. 125–130. [In Russ].

6. Tatsienko A. L., Plaksin M. S., Ponizov A. V. The main technical aspects of coal seam fracking technology implementation. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no 3 (121), pp. 30–37. [In Russ].

7. Li Khi Un, Rykov A. M., Filatov Yu. M., Oguretskiy V. V., Nekrasov S. A. Filtration model of methane desorption from the broken coal in transit on the conveyor the development. *Vestnik Nauchnogo tsentra*. 2007, no 2, pp. 9–35. [In Russ].

8. Zhenghuai Guo, Phung Nhu Hao Vu, Furqan Hussai. A laboratory study of the effect of creep and fines migration on coal permeability during single-phase flow. *International Journal of Coal Geology*. 2018, vol. 200, pp. 61–67.

9. Ali Kiania, Richard Sakurovsa, Mihaela Grigorea, Anna Sokolova Gas sorption capacity, gas sorption rates and nanoporosity in coals. *International Journal of Coal Geology*. 2018, vol. 200, pp. 77–86.

10. Shinkevich M. V., Ryabkov N. V., Kozyreva E. N. The dynamics of geomechanical rock mass during development of long working face. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 3, pp. 356–359. [In Russ].

11. Wang J., Ning J., Jiang L., Jiang J-Q., Bu T. Structural characteristics of strata overlying of a fully mechanized longwall face: a case study. *Journal of the southern african institute of mining and metallurgy*. 2018, vol. 118, No 11, pp. 1195–1204.

12. Kopylov K. N., Zakorshmennyy I. M., Kubrin S. S. Blssues of management of the treatment complex in the development of high-gas reservoirs on the example of the mine «Polysaevskaya» JSC SUEK-Kuzbass». *Ugol'*. 2016, no 12, pp. 32–34. [In Russ].

13. Kopylov K. N., Kubrin S. S., Zakorshmennyy I. M., Reshetnyak S. N. Experimental resergh of parameters of work a coal-mining combine coal mines with feed speeds. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no S49, pp. 48–55. [In Russ].

14. Ruban A. D., Artem'ev V. B., Zaburdyayev V. S., Zaburdyayev G. S., Rudenko Yu. F. *Problemy obespecheniya vysokoy proizvoditel'nosti ochistnykh zaboev v metanoobil'nykh shakhtakh* [The problems of providing high performance mines in the mines], Moscow, Izd-vo OOO «Moskovskiy izdatel'skiy dom», 2009. 396 p.

15. Feng-Ke Dou, Yong-Shang Kang, Shao-Feng Qin, De-Lei Mao, Jun Han The coalbed methane production potential method for optimization of wells location selection. *Journal of Coal Science and Engineering (China)* June 2013, Vol. 19, Issue 2, pp. 210–218.

16. Slastunov S. V., Karkashadze G. G., Yutyaev E. P., Mazanik E. V. Influence of fractional composition of broken coal to the flow of methane and the possibility of increasing the load on the mining face by gas factor. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S7, pp. 245–252. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Копылов Константин Николаевич — технический директор, АО «СУЭК»,

Кубрин Сергей Сергеевич<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией, e-mail: s\_kubrin@mail.ru,

Закоршменный Иосиф Михайлович<sup>1</sup> — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории.

<sup>1</sup> ИПКОН РАН.

Для контактов: Кубрин С.С., e-mail: s\_kubrin@mail.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

K.N. Kopylov, Technical Director, JSC «SUEK»,

S.S. Kubrin<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory,

I.M. Zakorshmennyy<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher,

<sup>1</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

Corresponding author: I.M. Zakorshmennyy, e-mail: s\_kubrin@mail.ru.



На XII Конгрессе обогатителей стран СНГ. 26–28 февраля 2019 г.