

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Л.И. Шулятьева

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия,
e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru

Аннотация: Проанализированы состояние и развитие горных работ в Российской Федерации. Установлено, что индекс роста нагрузки на очистной забой, при условии работы предприятий по принципу «шахта-лава», ниже, чем индекс роста потребления угля и на внутреннем, и на мировом рынках. Рост глубины разработки угольных пластов и высокая их газоносность не позволяют эффективно использовать импортное высокопроизводительное оборудование. Нагрузка на очистной забой значительно ниже возможной. Обоснована необходимость концентрации горных работ в пространстве и времени, и в то же время использование таких технологических схем, которые позволили бы вести отработку пластов одновременно несколькими забоями. Установлено, что назрела необходимость совершенствования организации производственных процессов, отвечающих технологическим параметрам этих схем. По мнению автора такие изменения — основной внутренний резерв интенсификации горного производства, снижения эксплуатационных расходов и повышения эффективности вложенного капитала. В работе обоснована необходимость разработки календарных планов ведения горных работ в шахте путем повышения уровня организации производства. Вследствие ухудшения горно-геологических условий обращается внимание на необходимость максимально учитывать их влияние на обоснование параметров технологических процессов, их увязку в пространстве и времени. Изложена модель формирования параметров процессов, определяющих основные показатели работы шахты: очистные, горно-подготовительные, монтажа-демонтажа оборудования и дегазации. Представлен общий вид модели оптимизации параметров подсистем.

Ключевые слова: системный подход, горно-геологические и горнотехнические условия, подземные технологические процессы, пространственно-временное представление, организация процессов и производства, пооперационное моделирование, совместная оптимизация параметров процессов, оптимальное планирование.

Для цитирования: Шулятьева Л.И. Пространственно-временное моделирование и организация процессов подготовки запасов угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №12. – С.166–181. DOI:10.25018/0236-1493-2020-12-0-166-181.

Space–time modeling and process management in coal mining

L.I. Shulyatieva

Vladimir State University named after Stoletovs, Vladimir, Russia,
e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru

Abstract: The analysis of current and prospective situation in coal mining in Russia has found that index of face output buildup in longwall mines is lower than the index of coal consumption buildup in the domestic and international markets. Great depths of coal mining and high gas content of coal seams impede the efficient use of high-performance import equipment. Outputs per faces are much below a potential value. It is justified to concentrate mining operations both in time and space using such process flow charts that enable coal extraction from a number of longwalls simultaneously. It is necessary that production processes meet the technological parameters of such flow charts. In the author's opinion, such modifications are the main internal reserve for performance stimulation in a mine, reduction of operating expenses and enhancement of efficiency of capital investment. This study justifies the necessity of mining scheduling based on improved production management. It is of the critical concern to account for the effect of deteriorating geological conditions on the process flow data, and to interlink the process flows in time and space. The model of the process flow design governing the mine performance during preparatory work, coal-face work, equipment installation and tear-down and gas drainage is described. The general form of the optimization model for subsystems is given.

Key words: system approach, geological and geotechnical conditions, underground process flows, space-time representation, process and production management, step-by-step operation modeling, joint optimization of process parameters, planning optimization.

For citation: Shulyatieva L. I. Space-time modeling and process management in coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):166-181. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-166-181.

Введение

Рост потребления высококачественной металлургической продукции предполагает и рост потребности в коксующихся углях. Вовлечение в отработку «сложных» по условиям залегания запасов, как правило, сопряжено с увеличением материально-технических и трудовых затрат, а следовательно, производственных затрат, и приводит к снижению прибыли. Это сказывается на эффективности деятельности угледобывающих компаний.

Угольная отрасль России остается важной составной частью экономики страны в целом. Так, в 2018 г. рост промышленного производства в целом по экономике составил 2,9%, в угольной промышленности — 7,1%. Валовая добавленная стоимость ее в 2019 г. выросла по сравнению с 2018 г. на 11,8%, а ее доля в ВВП страны — на 9,2%.

Налоговые поступления за этот период увеличились на 31,8% [1, 2].

С целью обоснования актуальности проблемы повышения эффективности работы угледобывающих предприятий проведен анализ динамики показателей работы угольной промышленности России [3—5]. За последние 10 лет ежегодный прирост добычи открытым способом составил 3,4%, а подземным — только 0,3%. Снизилась и доля подземной добычи. Так, если в 2008 г. она составляла 35,5%, то в 2018 г. — 24,6%. Такие изменения обусловлены тем, что открытый способ всегда был менее затратным. Однако при оценке эффективности способов необходимо учитывать и экологические последствия, в том числе при сжигании угля и закрытии предприятий. Среднегодовые темпы роста нагрузки на забой составили око-

ло 6%, при этом индекс роста потребности в угле — 7%. Максимально достигнутый уровень нагрузки в 2018 г. составил около 11 тыс. т. Имело место снижение числа действующих забоев со среднегодовыми темпами 5,5%. Численность персонала на шахтах в 2018 г. по сравнению с 2017 г. выросла на 3,25%, а рост объема добычи — только на 2,6%. Производительность труда на подземных работах выросла на 9,7%. Это ниже, чем на открытых работах, на 43,7%. Среднегодовые темпы роста заработной платы по отрасли составили около 11%.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что снижается уровень концентрации производства. Необходимо изыскать, прежде всего, внутренние резервы повышения таких ее показателей, как нагрузка на очистной забой, число одновременно действующих забоев, трудоемкость работ на основных производственных процессах. Актуальность решения этих задач обусловлена и состоянием технико-экономических показателей работы угледобывающих компаний. Так, анализ данных, приведенных в [4, 5], показал, что в 2018 г. полная себестоимость увеличилась в сравнении с предыдущим годом на 17,3%, а производственная — на 11,6%. При этом доля внепроизводственных расходов увеличилась на 3,6%.

В производственной себестоимости наибольший прирост приходится на материальные затраты (15%), что обусловлено ростом закупочных цен на материалы, а наименьший — на амортизационные отчисления (5,3%). Рентабельность оборота в 2017 г. составила 21,5%, а в 2018 г. — 20,8%, рентабельность затрат соответственно 27,5% и 26,3%.

Рост глубины отработки, состояние шахтных пластов по опасности выбросов, высокой газоносности не позволяет с максимальной эффективностью

использовать высокопроизводительное оборудование на основных процессах. Ретроспективный анализ показал, что неготовность российской промышленности выпускать высокопроизводительные очистные и проходческие комбайны связана и с тем, что на большинстве шахт их использование в значительной степени ограничено газоносностью и взрывоопасностью пластов. В настоящее время импортозависимость от поставок оборудования составляет 57,2%, а комбайнов 75,1% [1]. Опыт работы шахт с использованием высокопроизводительного оборудования показал, что обеспечение высокой производительности возможно при условии длительной дегазации выемочного столба скважинами, пробуриваемыми с поверхности, а также в горизонтальной плоскости пласта. Такая подготовка должна длиться 9—12 месяцев, что позволяет увеличить нагрузку на очистной забой на 30% и более.

Таким образом, анализ показал, что для улучшения показателей работы шахт необходимо, в первую очередь, изыскивать внутренние резервы роста. В условиях ограниченных возможностей роста из-за ухудшающихся горно-геологических факторов такие резервы могут быть обеспечены высоким уровнем организации производственных процессов, увеличения добычи за счет повышения эффективности использования производственно-технологических ресурсов шахт.

Актуальность проблемы заключается в том, что в условиях роста потребления угля в мире, усложнения горно-геологических условий его извлечения одним из направлений улучшения показателей работы шахт является обеспечение качества планирования горных работ и организации производства.

Цель выполненных исследований заключается в разработке и реализации ме-

тодологического подхода к обоснованию актуальных календарных планов развития горных работ, адаптированных к горно-геологическим условиям шахты, что обеспечит высокий уровень организации производства.

Пространственно-временная модель технологических схем процессов подсистемы ГПП

Основная цель организации производственных процессов в шахте: разработка оптимального плана развития горных работ на основе максимальной реализации потенциала роста угледобычи при рациональном использовании георесурсного и технологического потенциала. Это может быть достигнуто за счет совместной оптимизации параметров основных производственных процессов. Цель их совместной оптимизации: увязка очистных и подготовительных работ в пространстве и времени. Горно-геологическими условиями определяются технологические схемы вскрытия и подготовки запасов. Моделирование параметров технологических процессов шахты с учетом их изменения в пространстве и во времени позволяет управлять ими в целях обеспечения высокого уровня их организации. При разработке модели четко определяются управляющие и управляемые параметры.

При планировании производства важную роль играет состояние рынка угольной продукции. Если предприятие свою производственную деятельность привязывает к портфелю заказов, то фактором ограничения является суммарный объем заказов. Если предприятие работает «на свободный рынок» и потребление продукции не является ограничительным фактором, то планирование горных работ осуществляется исходя из производственных возможностей шахты. И в первом, и во втором случаях важ-

ным условием при разработке календарных планов развития горных работ является обоснование предельно возможных нагрузок на очистные забои, а также предельных скоростей проведения выработок, соответствующих горно-геологическим и технологическим условиям.

При формировании модели оптимизации параметров ведения очистных и подготовительных работ рыночные ограничения требуют введения ограничения по объему добычи. В этом случае целевой функцией модели являются минимальные совокупные затраты по варианту календарного плана, а ограничениями служат объем добычи и предельные параметры, обусловленные технологическими схемами ведения очистных и подготовительных работ. Размер портфеля заказов и предельная нагрузка на очистной забой определяют количество одновременно действующих забоев, а это, в свою очередь — условия и сроки подготовки запасов к выемке. При формировании варианта календарного плана без ограничения добычи целевая функция модели — максимизация прибыли, а ограничительными факторами служат только предельные параметры технологических схем основных подземных процессов.

При разработке модели выделяются горно-геологические, горно-технологические и организационные факторы. В соответствии с этим формируются моделируемые параметры подсистем технологических процессов. В соответствии с выбранным направлением моделирование и совместная оптимизация параметров технологических процессов подсистем шахты имеют существенные различия, выраженные в системах устанавливаемых ограничений. Для обоснования и математической формализации соотношения этих параметров предложена следующая последовательность

формирования моделирующего алгоритма:

- формализация параметров процессов с учетом максимально возможных количественных и организационных характеристик;
- формализация основных показателей календарного плана;
- выбор модели оптимизации в зависимости от принятой стратегии развития угледобычи;
- выбор оптимального варианта плана развития горных работ.

К основным технологическим процессам, ограничивающим число вариантов, отнесены очистные работы, горно-подготовительные работы, монтаж-демонтаж оборудования в очистных и подготовительных забоях. Именно эти процессы определяют пространственно-временные характеристики планов и организации горных работ.

Параметры этих процессов определяются технологическими схемами вскрытия и подготовки запасов, выбор которых зависит от горно-геологических условий залегания пластов. В соответствии с этими схемами определяется максимально возможное количество одновременно действующих очистных и подготовительных забоев. Этот фактор принимается как организационный и при разработке модели вводится как ограничительный.

По горно-геологическим условиям на шахтах Кузбасса нашли применение технологические схемы: погоризонтная, длинными столбами по восстанию (падению) с максимально возможным числом одновременно действующих очистных забоев на горизонте, равным 1, а также панельная, длинными столбами по простиранию с максимальным числом забоев, равным 2. Это вводит определенные сложности при планировании и организации горных работ. Так, при погоризонтной схеме увеличение угле-

добычи возможно только при эксплуатации двух горизонтов, что усложняет схемы вентиляции и транспорта, увеличивает протяженность одновременно поддерживаемых выработок. Панельная схема требует высокого уровня организации работы внутришахтного транспорта и эффективных схем вентиляции.

Проведенные в работах [6, 7] исследования позволили обосновать параметры основных технологических процессов. Данные параметры представляют собой предельные значения и являются основой для разработки плана организации горных работ по основным технологическим процессам. С целью увязки параметров процессов подготовки и отработки выемочных полей в пространстве и времени предлагается следующая модель, разработанная для двух технологических схем:

1. Погоризонтная технологическая схема:

- общий объем проведения выработок:

$$V_s = V1_s^n + V2_s^n + V1_s^{nn} + V2_s^{nn}, \text{ м}, \quad (1)$$

- общее число проводимых выработок:

$$N\theta_s = N\theta1_s^n + N\theta2_s^n + N\theta1_s^{nn} + N\theta2_s^{nn}, \text{ ед.}, \quad (2)$$

где s — индекс выемочного поля, $s = 1, 2, \dots, S$;

$V1_s^n$ — суммарная длина главных полевых штреков:

$$V1_s^n = L\eta_s \left(\frac{H_s}{Ll_{is}} + 1 \right), \text{ м}, \quad (3)$$

H_s — высота этажа выемочного поля, м;
 Ll_{is} — длина i -го очистного забоя в s -м поле, м;
 $L\eta_s$ — длина в s -го выемочного поля по простиранию, м;

$N\theta1_s^n$ — количество полевых выработок для i -го очистного забоя в s -м поле:

$$N\theta1_s^n = \left(\frac{H_s}{Ll_{is}} + 1 \right), \text{ ед.}, \quad (4)$$

$V2_s^n$ — объем проведения сбоечных печей:

$$V2_s^n = Lcб_s \left(\frac{H_s}{Ll_{is}} + 1 \right) \times \left(\frac{Ln_s}{Ll_{is}} + 1 \right), \text{ м}, \quad (5)$$

$Lcб_s$ – длина сбоечной печи, м;

$№2_s^n$ – количество сбоечных печей:

$$№2_s^n = \left(\frac{H_s}{Ll_{is}} + 1 \right) \times \left(\frac{Ln_s}{Ll_{is}} + 1 \right), \text{ ед.}; \quad (6)$$

$V1_s^{nn}$ – объем проведения пластовых просеков:

$$V1_s^{nn} = Ln_s \times \frac{H_s}{Lcm_s}, \text{ м}; \quad (7)$$

$№1_s^{nn}$ – количество пластовых выработок:

$$№1_s^{nn} = \frac{H_s}{Lcm_s}, \quad (8)$$

Lcm_s – длина выемочного столба, м;

$V2_s^{nn}$ – объем проведения уклонов, м:

$$V2_s^{nn} = H_s \times \left(\frac{Ln_s}{Ll_{is}} + 1 \right); \quad (9)$$

$№2_s^{nn}$ – количество уклонов:

$$№2_s^{nn} = \left(\frac{Ln_s}{Ll_{is}} + 1 \right). \quad (10)$$

Общее количество очистных забоев в s -м выемочном поле:

$$Moz_s = \frac{Ln_s}{Ll_{is}} \times \frac{H_s}{Lcm_s}. \quad (11)$$

Такой расчет позволит определить протяженность выработок на один очистной забой. При планировании горных работ в выемочном поле подготавливающие выработки проводятся в полном объеме.

2. Панельная технологическая схема, длинными столбами по простиранию:

• общий объем проведения выработок:

$$V_s = V_s^n + V_s^{nn}, \quad (12)$$

V_s – общий объем проведения выработок, м; V_s^n – протяженность полевых выработок, м:

$$V_s^n = 2Ln_s + 460; \quad (13)$$

V_s^{nn} – общая протяженность пластовых выработок, м:

$$V_s^{nn} = \left(\frac{H_s}{Ll_{is}} + 1 \right) \times (Ln_s + 100) + 100 + 4H_s \quad (14)$$

• общее число проводимых выработок:

$$№\theta_s = №\theta_s^n + №\theta_s^{nn}, \text{ ед.}, \quad (15)$$

$№\theta_s$ – количество проводимых выработок, ед.; $№\theta_s^n$ – количество полевых выработок, при панельной схеме $№\theta_s^n = 6$ ед.; $№\theta_s^{nn}$ – количество пластовых выработок, ед.:

$$№\theta_s^{nn} = \left(\frac{H_s}{Ll_{is}} + 1 \right) + №\theta_s^n, \text{ ед.} \quad (16)$$

Общее количество очистных забоев в s -м выемочном поле при панельной схеме подготовки определяется по формуле:

$$M'oz_s = \frac{H_s}{Ll_{is}} \times nk_s, \quad (17)$$

$M'oz_s$ – общее количество очистных забоев в s -м выемочном поле, ед.; $nk_s = 1$, если панель однокрылая, $nk_s = 2$, если панель двукрылая.

Преимущество панельной схемы в том, что она позволяет одновременно эксплуатировать несколько очистных забоев, быстрее амортизировать капитальные вложения, то есть ускорять окупаемость инвестиций.

Продолжительность проведения l -й выработки:

$$tn_{ls} = \frac{L\theta_{ls}}{Vn_{tls}} + tm_{ls} + td_{ls}, \quad (18)$$

где $v_{n_{tls}}$ – скорость проведения l -й выработки в момент времени t , $l \in s$; tm_{ls} , td_{ls} – продолжительность соответственно монтажа, демонтажа и доставки оборудования, моделирование параметров осуществляется согласно методике, изложенной в работе [8].

Продолжительность проведения s -ти выработок в s -м выемочном поле:

• при последовательном проведении:

$$Tn_s = \sum_{l=1}^L \left(\frac{L\theta_{ls}}{Vn_{tls}} + tm_{ls} + td_{ls} \right), \quad (19)$$

$$Tn_s = kc \times \sum_{l=1}^L \left(\frac{L\theta_{ls}}{Vn_{tls}} + tm_{ls} + t\partial_{ls} \right)$$

$$Vn_{tls} = \sum_{f=1}^F Vn_{tfs} \quad (20)$$

где kc — коэффициент совмещения технологического процесса, $kc > 1$; f — индекс смены по проведению выработки; F — число смен в период времени t .

Продолжительность проведения выработок для i -го очистного забоя:

для всех $i \in s$

$$Tnp_i = \max\{Tnp_{is}\} \quad (21)$$

При укрупненном расчете, при заданной схеме подготовки продолжительность проведения:

1. Погоризонтная технологическая схема, длинными столбами по восстанью (падению) для i -го очистного забоя:

$$Tn_i = \frac{45 + Lcm_{is}}{Vn_{is}} + (tm_i + t\partial_i) \quad ,$$

$$Nnz_{is} = 2 \quad (22)$$

Lcm_{is} — длина столба i -го очистного забоя; Vn_{is} — скорость проведения; Nnz_{is} — число одновременно действующих подготовительных забоев, это определяет число монтажно-демонтажных работ;

2. Панельная технологическая схема, длинными столбами по простиранию

- полевые выработки:

$$Tn_{is} = \frac{Ln_i + 460}{Vn_{is}} + 2 \times (tm_{is} + t\partial_{is}) \quad ,$$

$$Nnz_{is} = 2 \quad (23)$$

- пластовые выработки:

$$Tn_{is} = \frac{2Lcm_{is}}{Vnp_{is}} + 3 \times (tm_{is} + t\partial_{is}) \quad ,$$

$$Nnz_{is} = 3 \quad (24)$$

Продолжительность подготовки очистного забоя к выемке:

$$tnodg_{is} = Tn_{is} + tm_{is} + Tdeg_{is} \quad (25)$$

где $Tdeg_{is}$ — продолжительность дегазации i -го выемочного столба в s -м выемочном поле.

Объем работ по монтажу-демонтажу оборудования в очистном забое определен как трудоемкость их выполнения в зависимости от типов комплексов. Управление параметром процесса «продолжительность монтажно-демонтажных работ» (МДР) осуществляется путем регулирования численности монтажников, а также количества смен производства работ.

Так как горно-подготовительные работы — это вспомогательный технологический процесс, обеспечивающий угледобычу, то основным критерием эффективности его планирования является своевременная подготовка запасов. Выработка оптимального решения по организации функционирования этого процесса и его развития во времени должна основываться на увязке во времени с технологическим процессом по добыче. Это обеспечивается тем, что динамика ввода очистных забоев в эксплуатацию должна соответствовать динамике их выбытия с учетом возможных производственных рисков. Это позволит обеспечить необходимое соотношение очистных и подготовительных работ во времени и объемах.

Предложенные выше алгоритмы обоснования продолжительности работ по подготовке новых выемочных полей, а также развитию очистных работ во времени и пространстве, позволяют разработать календарный график проведения горных выработок с целью повышения эффективности использования техники и трудовых ресурсов.

Продолжительность подготовки очистного забоя к выемке:

$$Tnodg_{is} = Tn_{is} + tm_{is} + Tdeg_{is} \quad (26)$$

где tm_{is} — принимаемая к расчетам продолжительность монтажа оборудования в очистном забое, сут.:

$$tm_{is} = \max\{tmk_{is}, tmkl_{is}\} \quad (27)$$

$t_{MK_{is}}$, $t_{MKL_{is}}$ — продолжительность монтажа соответственно комплекса и ленточных конвейеров на прилегающей к забою выработке; $T_{дег_{is}}$ — период дегазации выемочного столба, принимается в зависимости от способа дегазации пласта.

Если проводить дегазацию пластовыми скважинами, пробуренными вдоль выемочного столба, то их эксплуатация, а следовательно, и процесс дегазации может продолжаться в течение всего времени отработки столба, что обеспечит снижение времени на подготовку более чем на 40%.

Для совместной разработки календарных планов очистных и подготовительных работ и определения минимального запаса времени в целях снижения производственного риска определим общую продолжительность эксплуатации выемочного столба:

$$T_{эк_{is}} = t_{omp_{is}} + t_{d_{is}} / N_{сум_{ti}} \quad (28)$$

$N_{сум_{ti}}$ — число дней работы i -го очистного забоя дней в месяце, дней.

Тогда запас времени на подготовку i -го очистного забоя для снижения производственного риска составит

$$\tau_{is} = T_{подг_{is}} - T_{эк_{is-1}} \quad (29)$$

На практике запас времени может быть рассчитан путем статистической обработки фактических данных, когда вариационным признаком является фактическая разность между подготовкой и отработкой выемочных столбов.

Предлагаемая модель позволяет рассматривать систему календарного планирования как совокупность взаимосвязанных подсистем — основных технологических процессов подземной угледобычи: выемка угля, горно-подготовительные работы, внутришахтный транспорт, дегазация выемочных участков. Каждая из подсистем представляет собой совокупность элементов: на очистных рабо-

тах — очистные забои, на подготовительных — выработки по вскрытию и подготовке, на внутришахтном транспорте — транспортные сети; подсистема дегазации представлена элементами объема дегазации и продолжительность. Все эти элементы взаимосвязаны между собой, поэтому их планирование должно осуществляться с учетом этой взаимосвязи. Каждый из элементов характеризуется рядом параметров, которые являются основой при разработке эффективной системы организации производства. Это и обуславливает необходимость обоснования их предельных значений, области определения их возможного изменения. Общий вид модели и обоснования отдельных ее элементов изложены в работах [9, 10].

Таким образом, планирование горных работ и пространственно-временная организация производственных процессов разработка должны осуществляться после формирования календарных графиков очистных, подготовительных и дегазационных работ. Календарный план работ в шахте формируется путем совмещения во времени и объемах календарных планов этих основных технологических процессов.

Заключение

Анализ состояния и развития подземной добычи угля показал, что за последние годы рост потребности в угольной продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках опережает темпы роста объема производства. Это обусловлено ростом потребности в коксующихся углях как источника сырья для металлургического производства. Строительство новых шахт не покрывает эту потребность. Уменьшается число одновременно действующих забоев среднегодовыми темпами 5,5%, что свидетельствует о снижении концентрации производства. Растет производственная

себестоимость добычи, снижается рентабельность деятельности шахт, а следовательно, эффективность инвестиций. Это обуславливает необходимость изыскания внутренних резервов роста, в том числе путем увеличения объема угледобычи на действующих шахтах, а также более эффективного использования технико-технологического потенциала и повышения уровня организации производственных процессов.

Для решения этих задач предложена модель совместной оптимизации параметров технологических процессов шахты, которая позволяет оценить производственно-технологический потенциал, выявить «узкие места» в организации производства, обосновать эффективный календарный план развития горных работ, основанный на совместной оптимизации параметров основных и вспомогательных процессов. Такой подход позволяет осуществлять эффективное управление процессами во времени и объемах, более рационально использовать ресурсы.

При разработке модели к исследованию приняты технологические схемы вскрытия и подготовки, которые нашли применение на шахтах Кузбасса.

Предложенная модель позволяет обосновать выбор оптимального решения по организации технологических процес-

сов «выемка угля», «горно-подготовительные работы», «дегазация выемочного участка», «монтаж-демонтаж оборудования» путем увязки параметров этих процессов во времени и объемах. Основной принцип выбора решения в том, что динамика ввода очистных забоев в эксплуатацию должна соответствовать динамике их выбытия с учетом возможных производственных рисков. Это позволит обеспечить необходимое соотношение очистных и подготовительных работ во времени и объемах.

Предложенные выше алгоритмы обоснования продолжительности работ по подготовке новых выемочных полей, а также развития очистных работ во времени и пространстве позволяют разработать календарный график проведения горных выработок с целью повышения эффективности использования производственно-технологического потенциала. Планирование горных работ и пространственно-временная организация производственных процессов разработки должны осуществляться после формирования календарных графиков очистных, подготовительных и дегазационных работ. Календарный план работ в шахте формируется путем совмещения во времени и объемах календарных планов этих основных технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Энергетическая стратегия России на период до 2035 г.* Проект. http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf, дата обращения 03.07.2020.
2. *Промышленное производство в России. 2019: статистический сборник.* — М.: Росстат, 2019. — 347 с. http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/prom16.pdf.
3. *Россия в цифрах. 2019: Краткий статистический сборник.* — М.: Росстат, 2019. — 549 с.
4. *Таразанов И. Г.* Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2018 года // Уголь. — 2019. — № 3. — С. 64—79.
5. *Таразанов И. Г., Губанов Д. А.* Итоги работы угольной промышленности России за январь-сентябрь 2019 года // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 40—48.
6. *Шулятьева Л. И.* Комплексное обоснование инновационных решений при проектировании высокопроизводительных угольных шахт: Дисс. докт. техн. наук. — М.: МГГУ, 2011. — 293 с.

7. Мельник В. В., Шулятьева Л. И. Обоснование параметров геотехнологических систем шахт нового технического уровня // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 8. – С. 229–233.

8. Мельник В. В., Шулятьева Л. И., Шабловский А. В. Моделирование параметров и обоснование рациональных технологических схем процесса «монтаж-демонтаж оборудования в шахте» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 1. – С. 171–176.

9. Shulyatieva L. I. Technological and economic substantiation for efficiency of involvement in the processing of complex reserves of coal deposits // Journal of Environmental Management and Tourism. 2017. Vol. 8. No 3. Pp. 678–685. <http://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/1397>.

10. Шулятьева Л. И. Методология анализа и оценка эффективности эксплуатации сложных угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 11. – С. 207–217. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-207-217.

11. Hower J. C., Groppo J. G., Graham U. M., Ward C. R., Kostova I. J., Maroto-Valer M. M., Dai S. Coal-derived unburned carbons in fly ash: A review // International Journal of Coal Geology. 2017. Vol. 179. Pp. 11–27. DOI: 10.1016/j.coal.2017.05.007.

12. Liu J., Yao Y., Liu D., Elsworth D. Experimental evaluation of CO₂ enhanced recovery of adsorbed-gas from shale // International Journal of Coal Geology. 2017. Vol. 179. Pp. 211–218.

13. Chiroma H., Abubakar A. I., Herawan T. Soft computing approach for predicting OPEC countries' oil consumption // International Journal of Oil, Gas and Coal Technology. 2017. Vol. 15. No 3. Pp. 298–316. **МИАБ**

REFERENCES

1. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 g. Proekt* [Energy strategy of Russia for the period up to 2035. Project]. [In Russ], available at: http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf (accessed: 03.07.2020).

2. *Promyshlennoe proizvodstvo v Rossii, 2019: statisticheskiy sbornik* [Industrial production in Russia, 2019: statistical book], Moscow, Rosstat, 2019, 347 p. [In Russ], available at: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/prom16.pdf.

3. *Rossiya v tsifrakh, 2019: Kratkiy statisticheskiy sbornik* [Russia in numbers, 2019: Short statistical collection], Moscow, Rosstat, 2019, 549 p.

4. Tarazanov I. G. Results of the Russian coal industry in January-December 2018. *Ugol'*. 2019, no 3, pp. 64–79. [In Russ].

5. Tarazanov I. G., Gubanov D. A. Results of the Russian coal industry in January-September 2019. *Ugol'*. 2019, no 12, pp. 40–48. [In Russ].

6. Shulyatieva L. I. *Kompleksnoe obosnovanie innovatsionnykh resheniy pri proektirovanii vysokoproizvoditel'nykh ugol'nykh shakht* [Comprehensive justification of innovative solutions in the design of high-performance coal mines], Doctor's thesis, Moscow, MGGU, 2011, 293 p.

7. Melnik V. V., Shulyatieva L. I. Justification of parameters of geotechnological systems of mines of a new technical level. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010, no 8, pp. 229–233. [In Russ].

8. Melnik V. V., Shulyatieva L. I., Shablovsky A. V. Modeling of parameters and justification of rational technological schemes of the process «installation and dismantling of equipment in the mine». *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010, no 1, pp. 171–176. [In Russ].

9. Shulyatieva L. I. Technological and economic substantiation for efficiency of involvement in the processing of complex reserves of coal deposits. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2017. Vol. 8. No 3. Pp. 678–685. <http://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/1397>.

10. Shulyatieva L. I. Efficiency evaluation methodology for difficult coal deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 11, pp. 207–217. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-207-217.

11. Hower J. C., Groppo J. G., Graham U. M., Ward C. R., Kostova I. J., Maroto-Valer M. M., Dai S. Coal-derived unburned carbons in fly ash: A review. *International Journal of Coal Geology*. 2017. Vol. 179. Pp. 11 – 27. DOI: 10.1016/j.coal.2017.05.007.

12. Liu J., Yao Y., Liu D., Elsworth D. Experimental evaluation of CO₂ enhanced recovery of adsorbed-gas from shale. *International Journal of Coal Geology*. 2017. Vol. 179. Pp. 211 – 218.

13. Chiroma H., Abubakar A. I., Herawan T. Soft computing approach for predicting OPEC countries' oil consumption. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*. 2017. Vol. 15. No 3. Pp. 298 – 316.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шулятьева Людмила Ивановна – д-р техн. наук, профессор,
Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

L.I. Shulyatieva, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Vladimir State University named after Stoletovs, 600000, Vladimir, Russia,
e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru.

Получена редакцией 20.02.2020; получена после рецензии 08.07.2020; принята к печати 10.11.2020.
Received by the editors 20.02.2020; received after the review 08.07.2020; accepted for printing 10.11.2020.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

СОЗДАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ СОРТИРОВКЕ ДРАЖЕ

(№ 1231/12–20 от 23.09.2020; 11 с.)

Шогенова Залина Асланбековна¹ – старший преподаватель, e-mail: shogenova.88@mail.ru,

Жилов Ислам Анзорович¹ – магистр,

Созаев Ильяс Исхакович¹ – магистр,

Макоев Ислам Аскербиевич¹ – магистр, e-mail: Makoev-islam@bk.ru.

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия.

Рассмотрен процесс создания интерфейса для сбора данных и управления процессом фотометрической сепарации при сортировке драже. Измерение оптических и геометрических параметров объекта в подобных сепараторах осуществляется цифровой строчной широкополосной камерой (ПЗС-матрицей). Критерием распознавания материала служат характеристики на основе цветностной модели RGB, которая позволяет различать до 16,77 млн цветов.

Ключевые слова: фотометрическая сепарация, сортировка, оптическая сепарация, интерфейс, сортировка таблеток.

CREATION OF INTERFACE FOR DATA COLLECTION AND CONTROL OF PHOTOMETRIC SEPARATION PROCESS WHEN SORTING PELLETS

Z.A. Shogenova¹, Senior Lecturer, e-mail: shogenova.88@mail.ru,

I.A. Zhilov¹, Magister; I.I. Sozaev¹, Magister; I.A. Makoev¹, Magister; e-mail: Makoev-islam@bk.ru.

¹ Kh.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University, 360004, Nalchik, Russia.

The article considers a process of creating an interface for collecting data and managing the process of photometric separation when sorting pellets. Measurement of the optical and geometric parameters of an object in such separators is carried out by a digital line wide-band camera (CCD-matrix). Material recognition criteria are characteristics based on RGB color model, which can distinguish up to 16.77 million colors.

Key words: photometric separation, sorting, optical separation, interface, tablet sorting.