

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ ВЫЕМОЧНЫХ ПОЛЕЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Л.И. Шулятьева¹, Л.В. Майорова¹

¹ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия, e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru

Аннотация: Установлена необходимость обоснования параметров процесса дегазации на подземных работах в шахтах вследствие того, что с углублением горных работ газоносность угольных пластов растет, а их способность к газоотдаче снижается. Утверждается, что применение высокопроизводительной техники на основных производственных процессах в шахте эффективно только при максимально возможной заблаговременной дегазации угольных пластов. Проведен анализ нормативных документов, регулирующих деятельность шахт по обеспечению безопасных условий труда. Обзор опубликованных результатов исследований в этой области показал, что большинство из них касается проблем разработки и обоснования схем дегазации. Проблеме организации технологического процесса дегазации выемочного столба и его согласовыванию с другими технологическими процессами в шахте уделено недостаточно внимания. В соответствии с этим предложен механизм пооперационного моделирования параметров процесса дегазации с учетом горно-геологических и горнотехнических условий, а также схем подготовки и отработки. Предложена модель обоснования нагрузки на очистной забой, ограниченной интенсивностью газовыделения из угольного пласта. Приведены результаты расчета продолжительности заблаговременной дегазации выемочного столба в зависимости от показателей его газоотдачи. Доказано, что время работы комбайна может быть увеличено за счет предварительной дегазации. Обоснована необходимость совместной организации внутришахтных технологических процессов в пространстве и времени, что позволит при минимальных затратах времени обеспечить их оптимальные параметры. Установлена рекомендуемая продолжительность дегазации выемочного столба скважинами из выработки с учетом коэффициентов газопроницаемости угольного пласта.

Ключевые слова: схемы дегазации, предварительная дегазация, коэффициент дегазации, моделирование параметров процесса, нагрузка на забой, факторы ограничения, продолжительность процесса, организация процесса во времени.

Для цитирования: Шулятьева Л. И., Майорова Л. В. Моделирование параметров и организация процесса дегазации выемочных полей угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 8. – С. 168–179. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_168.

Parametric modeling and arrangement of gas drainage in coal mines

L.I. Shulyatieva¹, L.V. Mayorova¹

¹ Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletovs Vladimir State University,
Vladimir, Russia, e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru

Abstract: It is necessary to justify gas drainage parameters in underground mining since the gas content of coal seams grows in deeper level mining while the gas recovery factor drops. The use of high-performance equipment in basic production processes in mines is only effective given the maximum pre-mine drainage of coal seams. The regulatory documents on operation safety in mines are examined. The review of the published research findings in this area shows that most studies focus on mining problems and on validation of gas drainage patterns. The issues connected with the gas drainage engineering in an extraction panel and the drainage process coordination with other process flows in mines lack attention. In this connection, the mechanism of operation-by-operation modeling of the gas drainage process parameters with regard to geological and geotechnical conditions, and to preparatory and actual production work is proposed. The model of the face output justification with regard to the coal seam gas emission rate is put forward. The calculation of the early gas drainage duration in an extraction panel versus its gas recovery factor is presented. It is proved that shear loader operation time can be increased due to early gas drainage. The requirement of integrated and coordinated arrangement of mine process flows in time and space is substantiated as this allows optimization at minimized time inputs. The recommended duration of the extraction panel gas drainage via holes drilled from roadways with regard to gas permeability factor of coal seams is determined.

Key words: drainage patterns, early gas drainage, drainage factor, modeling process parameters, face output, limitation factors, process duration, process time management.

For citation: Shulyatieva L. I., Mayorova L. V. Parametric modeling and arrangement of gas drainage in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(8):168-179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_168.

Введение

Большинство угольных шахт на всем постсоветском пространстве являются высокогазоносными и относятся к сверхкатегорийным по газу и пыли и опасным по внезапным выбросам. Это обуславливает необходимость обеспечения надежности проветривания горных выработок, что является основным условием безопасности ведения горных работ. Другой немаловажный фактор, определяемый состоянием и надежностью вентиляционной системы шахты, — эффективность использования высокопроизводительного оборудования, его технических возможностей. При высоких скоростях подачи очистных комбайнов в выработки выбрасывается такое количество метана как из обнаженной поверхности, так и из отбитого угля, что вентиляционная система выемочного

участка не справляется, и приходится либо останавливать их, либо снижать скорость. Производительность очистного оборудования советского производства могла обеспечить суточную нагрузку на очистной забой в пределах 7000 — 14 000 т. Польский очистной комбайн KSW-460NE имеет скорость подачи до 20 м/мин, а немецкий Eickhoff SL 900 — более 30 м/мин. Однако газовый фактор в основном и обуславливает невозможность использовать оборудование на полную мощность.

Углубление горных работ обуславливает необходимость интенсификации дегазации угольных пластов и вмещающих пород. При этом схемы дегазации вынужденно усложняются, вследствие того, что снижается целесообразность применения дегазационных скважин, пробуренных с поверхности.

Проблему снижения метанообильности горных выработок могут решить дегазационные мероприятия, эффективность которых определяется параметрами способов дегазации: плотность скважин для дегазации выемочного столба, продолжительность процесса дегазации, а также горно-геологическими факторами, такими как газоносность пластов и способность их к газоотдаче. Достаточный объем дегазационных мероприятий до начала ведения очистных работ при обоснованных способах дегазации позволит повысить эффективность работы очистного и проходческого оборудования.

Выбор способа дегазации обусловлен способом подготовки и системой разработки пласта. От этого зависит и продолжительность предварительных дегазационных мероприятий. Практика ведения таких мероприятий показывает, что продолжительность дегазации, дающая наибольший эффект, колеблется в пределах 6 — 12 месяцев. Дегазация неразгруженных мощных пластов с применением пластовых скважин требует применения дополнительно способов интенсификации метановыделения из пластов путем принудительного повышения их продуктивности.

ГОСТ Р 57717-2017 «Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения» и «Инструкцией по дегазации угольных шахт. Серия 05. Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности. Выпуск 22» определены требования к терминам и определениям, применяемым в описании технологии дегазации, а также области их применения для шахт с высоким уровнем газоносности. Руководством по безопасности «Рекомендации по определению газоносности угольных пластов» определен порядок расчета остаточной газоносности угольных пластов.

Указанные нормативные документы являются основой для проведения исследований в области обеспечения безопасности технологических процессов на подземных работах в угольных шахтах.

Актуальной проблеме снижения газоносности угольных пластов посвящен ряд исследований [1, 2]. Научные исследования, направленные на совершенствование технологии проведения дегазационных мероприятий, в том числе по комплексной дегазации, с целью обеспечения безопасной и интенсивной отработки угольных пластов, способствуют совершенствованию подходов к решению этой проблемы.

Научно-исследовательский потенциал перечисленных и многих других работ позволяет разработать организационно-технологическую модель оптимальных параметров технологического процесса дегазации, которая позволит обосновать, увязать их во времени с параметрами основных подземных процессов.

Обоснование параметров технологии и организации процесса дегазации угольных пластов

Проблема дегазации в шахтах неразрывно связана с безопасностью ведения подземных горных работ. Увеличение спроса на уголь, в том числе коксующийся, обуславливает необходимость наращивания его добычи. Однако в силу высокой газоносности угольных пластов обеспечение этого роста непосредственно связано с необходимостью ведения дегазации угольных пластов в необходимых объемах.

Сокращение объемов проведения дегазационных мероприятий, начиная с 1990-х годов, привело к тому, что из-за избыточного газовыделения в шахтах снизились не только нагрузка на очистные забои и скорость проведения выработок, но и уровень безопасности веде-

ния горных работ. Тому есть ряд объективных причин. Вследствие перехода к рыночной экономике угледобывающие предприятия не имели финансовых возможностей для технического обеспечения работ по дегазации. Разрыв производственных связей привел к закрытию ряда предприятий, выпускавших оборудование по оснащению технологического процесса дегазации. Были и остаются проблемы с эффективностью использования выделенных на обеспечение безопасности горных работ финансовых средств.

Многообразие горно-геологических условий и применяемых схем подготовки и систем разработки угольных пластов обусловили необходимость разработки и практическое применение различных схем дегазации.

Газоносность пластов и вмещающих их пород в значительной степени обуславливают не только выбор технологических схем вскрытия и подготовки выемочных полей, но и оказывают негативное воздействие на технологию и организацию их дальнейшей отработки. Практика эксплуатации угольных пластов в Карагандинском бассейне показала, что при углублении горных работ интенсивность выбросов угля и газа растет. Как правило, при переходе геологических нарушений, если не применять технологии разгрузки напряженности, эти выбросы могут привести к длительной остановке работы очистного забоя. Поэтому для обеспечения бесперебойной работы очистного комплекса целесообразно совмещать процессы дегазации выемочного столба и предотвращения внезапных выбросов.

В соответствии с этим необходимо на основе установления зависимости параметров технологических схем дегазации от горно-геологических условий залегания пластов обосновать оптимальные параметры этого процесса, которые

позволят обеспечить максимально возможные темпы ведения очистных работ.

В мировой практике проблеме исследования газодинамических явлений при отработке месторождений полезных ископаемых и их влияния на безопасность и эффективность ведения горных работ посвящен ряд исследований. Так, в работе [3] изучены проблемы воздействия человека на интенсивность напряженности вмещающих пород при отработке полезных ископаемых. Автором предложено категорирование геодинамической угрозы по степени антропогенного воздействия. Следовательно, чем выше интенсивность эксплуатации месторождения, тем больше вероятность возникновения газодинамических ударов. Оценке риска и проблеме обеспечения безопасности ведения горных работ на угольных шахтах посвящено исследование [4], в котором на основе регрессионного анализа установлено влияние различных факторов на уровень риска, возникающего в процессе эксплуатации угольных пластов.

Как в зарубежной практике, так и в странах СНГ наиболее распространенным способом дегазации является скважинный способ. При этом для увеличения эффективности ведения дегазационных мероприятий бурение скважин осуществлялось как с поверхности земли, так и с полевых и пластовых выработок.

Сложные горно-геологические условия залегания угольных пластов, такие как изменчивость их мощности и гипсометрии, наличие тектонических нарушений, обуславливают необходимость разработки схем их дегазации, которые обеспечили бы наилучший результат, выраженный не в количестве капируемого газа, а в остаточной газоносности пласта. Вследствие этого задача состояла в разработке технологий, обеспечивавших увеличение газоотдачи. Проблемы

повышения эффективности дегазации угольных пластов исследованы в работах [5–7]. Авторами обоснованы условия, в которых дегазация необходима для обеспечения безопасности ведения горных работ. Предложены схемы дегазации для различных горно-геологических условий. Проблеме влияния состояния массива и интенсификации газовыделения посвящены исследования, изложенные в работах [8–11].

Организационно-технологическими характеристиками процесса дегазации, независимо от применяемых схем, являются объем бурения скважин и общая продолжительность реализации дегазационных мероприятий.

Общая продолжительность работ определяется как суммарная продолжительность работ по бурению скважин и непосредственно извлечению газа метана. Авторами предполагается, что схема дегазации и объем пробуриваемых скважин уже известны и обоснованы в соответствии с «Инструкцией по дегазации угольных шахт».

Целью исследования является обоснование продолжительности дегазационных мероприятий в увязке их с графиком ввода — выбытия очистных забоев. Поэтому при выборе схем дегазации важно учитывать, что наиболее эффективными с точки зрения организации основных технологических процессов являются те, которые в большей степени совместимы во времени с горно-подготовительными работами. Такое совмещение сокращает сроки подготовки запасов к выемке, позволяет увеличить период эффективного извлечения газа метана.

В Инструкции по дегазации угольных шахт определены критерии, при которых дегазация пластов является обязательной. Установлены также расчетные показатели коэффициентов дегазации. Эффективность дегазации зависит от ее

продолжительности и способности пласта к газоотдаче.

Для определения продолжительности дегазации установим, что остаточное содержание газа-метана в угольном массиве после проведения дегазационных мероприятий в пределах 1 м скважины (X') составит:

$$X' = X - P_t, \quad (1)$$

где X — природное содержание газа метана в угольном массиве в пределах 1 м скважины, м^3 ; P_t — производительность 1 м скважины, $\text{м}^3/\text{м}\cdot\text{сут.}$,

$$P_t = q_0 \times \frac{1 - \exp(-\beta \times t_{\text{дег}})}{\beta}, \quad (2)$$

где q_0 — начальное удельное метановыделение в скважину, $\text{м}^3/\text{м}\cdot\text{сут.}$; β — коэффициент, учитывающий влияние газопроницаемости угля (K , мдарси),

$$\beta = 0,003 \times \exp(-7,6K),$$

$t_{\text{дег}}$ — продолжительность дегазации угольного массива в пределах 1 м скважины, сут.

Суммарная производительность скважин

$$SUMP_t = P_t \times N_A \times l_A,$$

l_c — длина скважины, м; N_c — количество скважин, пробуренных для дегазации выемочного столба.

Тогда, после преобразования выражений (1) и (2), продолжительность дегазации скважинами длиной $l_{\text{СКВ}}$ и количеством $N_{\text{СКВ}}$ может быть представлена выражением

$$T_{\text{дег}} = \beta^{-1} \times \ln \left[\frac{N_c \times l_c \times q_0}{q_0 - \beta \times (X - X')} \right], \text{ сут.} \quad (3)$$

На основании этого определяется остаточная газоносность массива после проведения дегазационных мероприятий в течение времени $T_{\text{дег}}$. Остаточная газоносность (x') составит

$$x' = \frac{\%'}{M_y}, \text{ м}^3/\text{т} \quad (4)$$

где M_y — количество угля в выемочном столбе, т, определяемое как

$$M_y = \gamma \times V, \tau,$$

γ – объемный вес угля, т/м³; V – объем дегазируемого пространства, м³.

Предельно допустимая сменная нагрузка по газовому фактору (D^p) рассчитывается по формуле [15]:

$$D^p \leq \frac{1}{n_{см}} \times \frac{864 \times v_{max} \times S_{оч.р} \times c}{(x - x') \times \left(1 - \frac{T_{рк}}{1440}\right) \times \left(1 - \frac{x - x'}{x}\right) + q_{оч}}, \quad \text{т/см, (5)}$$

где v_{max} – максимально допустимая правилами безопасности скорость движения воздуха в очистном забое, м/с; $S_{оч.р}$ – расчетная площадь поперечного сечения призабойного пространства очистной выработки, м; $n_{см}$ – количество смен по выемке в сутки; c – допустимая концентрация газа в исходящей вентиляционной струе, %; x – природная газоносность пласта, м³/т; $q_{оч}$ – метанообильность очистного забоя, м/т; $T_{рк}$ – время работы очистного комбайна в смену по добыче с учетом средней скорости его подачи (V_n), мин,

$$q_{оч} = q_{пл} \times \left(1 - \frac{x - x'}{x}\right) + k_{в.п.} \times q_{в.п.} \times (1 - k_{с.п.}) \quad (6)$$

$q_{пл}$ – относительное метановыделение из разрабатываемого пласта в призабойное пространство лавы, м/т; $k_{в.п.}$ – коэффициент, учитывающий метановыделение из выработанного пространства; $q_{в.п.}$ – относительное метановыделение из выработанного пространства, м/т; $k_{с.п.}$ – коэффициент дегазации сближенных пластов и выработанных пространств,

$$T_{рк} = N_{ц} \times L_3 \times V_n^{-1}, \quad (7)$$

где $N_{ц}$ – количество циклов по выемке в смену; L_3 – длина очистного забоя, м;

Проведение последовательного расчета с применением указанных моделей

позволяет установить ожидаемую величину сменной нагрузки с учетом объемов и продолжительности ведения дегазации. Для укрупненных расчетов при планировании параметров организации технологических процессов последовательное ее моделирование с учетом приведенных зависимостей и обработка ее методом факторного анализа дает возможность установить следующую зависимость:

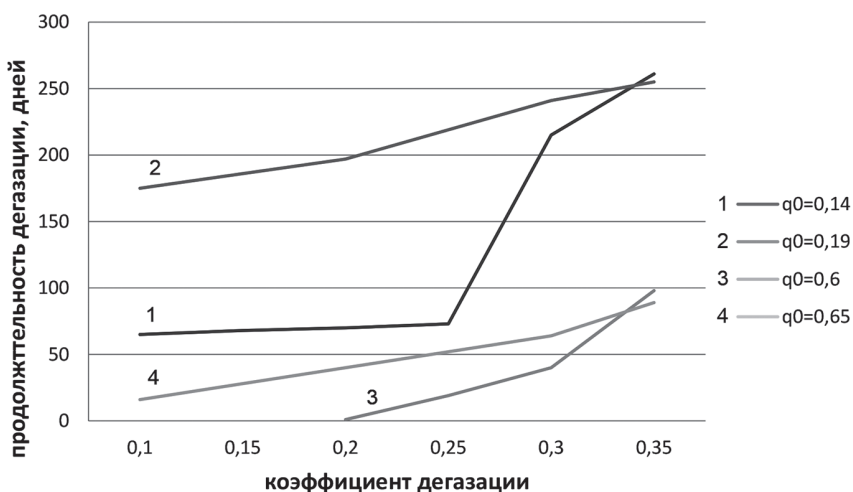
$$D_{см} = 1821,1 \times V_n^{0,045} \left(0,904 + 0,96 \times \frac{x - x'}{x}\right) \times \left(0,392 + \frac{3,014}{x'}\right) \times (0,0003L_3 + 0,95), \quad (8)$$

где L_3 – длина очистного забоя, м.

Множественный коэффициент корреляции (детерминации) составил 0,89. Это обусловлено тем, что обрабатываемый массив данных получен на основе пооперационного моделирования технологических операций в очистном забое.

Как видно из выражения (8), объем извлекаемого газа метана и продолжительность проведения дегазации пласта оказывают наибольшее влияние на величину предельно допустимой нагрузки на очистной забой. При этом чем выше остаточная газоносность массива, тем ниже показатель нагрузки. Однако существует предел этого времени, выше которого дальнейший каптаж метана уже неэффективен из-за его снижения. Этот предел может быть определен для конкретных характеристик пласта по его способности к газоотдаче.

По результатам проведенных исследований рассчитана рекомендуемая продолжительность дегазации выемочного столба скважинами из нарезных выработок, позволяющая обеспечить предельно допустимую по газовому фактору сменную нагрузку на очистной забой. На рисунке представлены зависимости продолжительности дегазации от коэф-



Зависимости продолжительности дегазации выемочного столба от коэффициента дегазации и начального удельного метановыделения в скважину

Duration of extraction panel gas drainage versus drainage factor and initial methane release in borehole

фициента ($k_{\text{дег}}$) и величины начального удельного метановыделения (q_0), рассчитанные на основе выражения (2). При известной расчетной величине коэффициента дегазации, который, согласно (6), обеспечит такую нагрузку, устанавливается необходимая продолжительность каптажа. Однако, как видно из рисунка, значительное влияние оказывает коэффициент фильтрации угля. При понижении его значений продолжительность дегазации будет расти.

Для обеспечения его максимально возможного в конкретных условиях значения требуется применить технологии, обеспечивающие увеличение отдачи газа. Результаты исследований, приведенные в работах [8–10], позволяют установить параметры таких технологий.

В рамках данного исследования оцениваются лишь параметры процесса, позволяющие разработать оптимальный календарный график ведения работ по дегазации, основным из которых является продолжительность. При их обосновании могут рассматриваться схемы дегазации, интегрированные из схем, обеспечивающих максимизацию газоот-

дачи, и схем размещения дегазационных скважин.

Результаты исследования позволяют сформировать календарные планы ввода — выбытия очистных забоев с учетом затрат времени на ведение дегазационных мероприятий, обеспечивающих оптимальную нагрузку на очистной забой.

При проведении дегазационных мероприятий в угольных шахтах США в целях увеличения периода эффективного использования дегазационных скважин их бурение осуществляется в массиве вдоль выемочного столба. Такая схема расположения скважин обеспечивает максимальную продолжительность использования скважин. Однако она дает эффект при незначительных колебаниях изменчивости угла падения пласта, при которых обеспечивается извлечение метана не только из массива угля, но и из вмещающих пород.

В российской практике значительная изменчивость углов падения угольных пластов снижает эффективность применения такой схемы расположения дегазационных скважин. Однако при высо-

ком содержании метана во вмещающих породах способ может быть эффективным. Поэтому обоснование расположения скважин должно основываться на объективной оценке целесообразности применения схем дегазации. При этом критерием эффективности является коэффициент дегазации.

При составлении календарного плана подготовки выемочных столбов учитывается следующее.

Продолжительность дегазации может превышать продолжительность отработки ранее подготовленного выемочного столба. В соответствии с этим должен разрабатываться график ввода – выбытия очистных забоев, при составлении которого очистные, подготовительные и дегазационные работы увязываются во времени.

Если дегазация выемочного столба в период проведения горно-подготовительных работ не проводится, то могут иметь место неравенства:

- когда отработка выемочного столба происходит быстрее, чем подготовка следующего, то есть

$$T_{\text{подг}_{i+1}} + T_{\text{дег}_{i+1}} - T_{\text{отр}_i} < 0 \quad (7)$$

тогда разность

$$T_{\text{подг}_{i+1}} + T_{\text{дег}_{i+1}} - T_{\text{отр}_i} = \Delta T \quad (8)$$

представляет собой время, которое может быть использовано для увеличения периода дегазации;

- когда отработка выемочного столба по времени больше, чем технологические процессы по подготовке и дегазации нового выемочного столба, то есть

$$T_{\text{подг}_{i+1}} + T_{\text{дег}_{i+1}} - T_{\text{отр}_i} > 0 \quad (9)$$

тогда разность

$$T_{\text{подг}_{i+1}} + T_{\text{дег}_{i+1}} - T_{\text{отр}_i} = \Delta T \quad (10)$$

представляет собой время, которое предполагает необходимость заблаговременного начала подготовительных работ ($i+1$)-го столба до начала отработки i -го столба.

В исследованиях, изложенных в [12] приведена модель обоснования параметров технологических процессов подготовки выемочных полей, обоснованы сроки их подготовки. Использование результатов этих исследований позволяет обосновать продолжительность ведения горно-подготовительных работ ($T_{\text{подг}}$). Продолжительность отработки подготовленных запасов рассчитывается с учетом обоснованной выше сменной нагрузки на очистной забой. На основании полученных результатов формируется календарный график ввода – выбытия очистных забоев.

Заключение

Исследованиями установлено, что в условиях высокой метаноносности угольных пластов при их подземной разработке применение высокопроизводительного очистного оборудования возможно только при проведении длительных мероприятий по дегазации. Множество схем дегазации обусловлено множеством факторов и условий ведения горных работ, и в первую очередь газоносностью и способностью к метаноотдаче угольных пластов.

Задача состоит в том, чтобы так организовать внутришахтные технологические процессы в пространстве и времени, чтобы при минимальных затратах времени обеспечить их оптимальные параметры.

Исследованиями установлено влияние параметров процесса дегазации на эффективность работы очистных комплексов, эффективность использования которых снижается с увеличением содержания газа метана в массиве. Высокопроизводительные очистные комбайны неэффективны вследствие потерь времени на обеспечение допустимой концентрации метана в воздухе. Поэтому при работе на таких пластах должны использоваться такие схемы и обос-

печиваться такие параметры процесса дегазации, которые позволят максимизировать нагрузку на забой.

Использование схем дегазации ограничено горно-геологическими и горно-техническими условиями ведения горных работ. Однако всегда существует их набор, что позволяет с использованием предложенной модели выбрать те, применение которых обеспечит оптимальное соотношение параметров процессов, а следовательно, позволит получить максимальный эффект. Оценка эффективности применения технологий, обеспечивающих увеличение метаноотдачи пласта, должна рассматриваться в комплексе с оценкой целесообразности применения схем дегазации. Параметры этих схем являются исходными для обоснования оптимального периода дегазации.

Исследованиями установлена взаимосвязь параметров технологических процессов по подготовке и отработке вые-

мочных столбов с учетом горно-геологических, горнотехнических и технологических факторов. На основе применения методов пооперационного моделирования параметров процессов обоснованы предельно допустимые нагрузки на очистной забой с учетом объемов и сроков проведения дегазационных мероприятий. Также установлено, что на параметры процесса дегазации значительное влияние оказывают не только схемы ее ведения, но и продолжительность процесса извлечения газа метана. Результаты исследования позволяют разработать календарный план ввода — выбытия очистных забоев, который обеспечивает оптимальные сроки подготовки запасов.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке графика организации технологических процессов по подготовке и отработке выемочных полей, графика ввода — выбытия очистных забоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмат В. Н. Разработка технологии пластовой дегазации выбросоопасных пластов в условиях их интенсивной и безопасной отработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 11. — С. 185 — 201.

2. Сластунов С. В., Коликов К. С., Мешков А. А., Садов А. П., Хаутиев А. М.-Б. Совершенствование технологии предварительной пластовой дегазации на основе гидрорасчленения разрабатываемых угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 6. — С. 34 — 45. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_34.

3. Batugin A. A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat // Geodesy and Geodynamics. 2021, vol. 12, no. 1, pp. 21 — 30. DOI: 10.1016/j.geog.2020.10.002.

4. Korshunov G. I., Rudakov M. L., Kabanov E. I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines // Journal of Environmental Management and Tourism. 2018, no. 9, pp. 181 — 186. DOI: 10.14505/jemt.v9.1(25).23.

5. Баймухаметов С. К., Имашев А. Ж., Муллагалиев Ф. А., Муллагалиева Л. Ф., Коликов К. С. Проблемы отработки газоносных и опасных по внезапным выбросам угольных пластов с низкой проницаемостью в Карагандинском угольном бассейне // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 124 — 136. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_124.

6. Сластунов С. В., Мазаник Е. В., Садов А. П., Хаутиев А. М.-Б. Апробация технологии комплексной дегазационной подготовки угольного пласта на базе его гидрорасчленения через скважины с поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 2. — С. 58 — 70. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70.

7. Золотых С. С. Заблаговременная дегазация угольных пластов как фактор повышения безопасности на шахтах Кузбасса // Горная промышленность. — 2019. — № 5. — С. 18–22.

8. Naik S., Yang S., Bedrikovetsky P., Woolley M. Analytical modelling of the water block phenomenon in hydraulically fractured wells // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 67, pp. 56–70. DOI: 10.1016/j.jngse.2019.04.018.

9. Burlutskii E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 62, pp. 294–301. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.12.017.

10. Sampath K. H. S. M., Perera M. S. A., Ranjith P. G. Theoretical overview of hydraulic fracturing break-down pressure // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018, vol. 58, pp. 251–265. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.08.012.

11. Zhang L., Zhang H., Guo H. A case study of gas drainage to low permeability coal seam // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.

12. Шулятьева Л. И. Комплексное обоснование инновационных решений при проектировании высокопроизводительных угольных шахт: Автореф. дисс. докт. техн. наук. — М.: МГГУ, 2011. — 40 с. **МИАБ**

REFERENCES

1. Shmat V. N. Development of technology of reservoir degassing of explosive formations in conditions of their intensive and safe mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 11, pp. 185–201. [In Russ].

2. Slastunov S. V., Kolikov K. S., Meshkov A. A., Sadov A. P., Khautiev A. M.-B. Improvement of pre-drainage technology based on hydraulic dissection of coal beds. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 6, pp. 34–45. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_34.

3. Batugin A. A proposed classification of the earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. *Geodesy and Geodynamics.* 2021, vol. 12, no. 1, pp. 21–30. DOI: 10.1016/j.geog.2020.10.002.

4. Korshunov G. I., Rudakov M. L., Kabanov E. I. The use of a risk-based approach in safety issues of coal mines. *Journal of Environmental Management and Tourism.* 2018, no. 9, pp. 181–186. DOI: 10.14505/jemtv9.1(25).23.

5. Baymukhametov S. K., Imashev A. Zh., Mullagaliev F. A., Mullagalieva L. F., Kolikov K. S. Problems of working off gas-bearing and hazardous coal seams with low permeability due to sudden emissions in the Karaganda coal basin. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10-1, pp. 124–136. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_124.

6. Slastunov S. V., Mazanik E. V., Sadov A. P., Khautiev A. M.-B. Testing of integrated degasifying treatment technology based on hydraulic splitting of coal seam using surface holes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 2, pp. 58–70. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70.

7. Zolotykh S. S. Advance degassing of coal seams as a factor of increasing safety at Kuzbass mines. *Russian Mining Industry.* 2019, no. 5, pp. 18–22. [In Russ].

8. Naik S., Yang S., Bedrikovetsky P., Woolley M. Analytical modelling of the water block phenomenon in hydraulically fractured wells. *Journal of Natural Gas Science and Engineering.* 2019, vol. 67, pp. 56–70. DOI: 10.1016/j.jngse.2019.04.018.

9. Burlutskii E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling. *Journal of Natural Gas Science and Engineering.* 2019, vol. 62, pp. 294–301. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.12.017.

10. Sampath K. H. S. M., Perera M. S. A., Ranjith P. G. Theoretical overview of hydraulic fracturing break-down pressure. *Journal of Natural Gas Science and Engineering.* 2018, vol. 58, pp. 251–265. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.08.012.

11. Zhang L., Zhang H., Guo H. A case study of gas drainage to low permeability coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.

12. Shulyatyeva L. I. *Kompleksnoe obosnovanie innovatsionnykh resheniy pri proektirovanii vysokoproizvoditel'nykh ugol'nykh shakht* [Complex substantiation of innovative solutions in the design of high-performance coal mines], Doctor's thesis, Moscow, MGGU, 2011, 40 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шулятьева Людмила Ивановна¹ — д-р техн. наук, профессор, e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5834-9243,

Майорова Людмила Владимировна¹ — канд. экон. наук, доцент, e-mail: lud9@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8719-5493,

¹ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

Для контактов: Шулятьева Л.И., e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

L.I. Shulyatieva¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-5834-9243,

L.V. Mayorova¹, Cand. Sci. (Econ.),

Assistant Professor, e-mail: lud9@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-8719-5493,

¹ Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletovs

Vladimir State University, 600000, Vladimir, Russia.

Corresponding author: L.I. Shulyatieva, e-mail: schulyatjeva.mrm@yandex.

Получена редакцией 12.01.2022; получена после рецензии 12.05.2022; принята к печати 10.07.2022.

Received by the editors 12.01.2022; received after the review 12.05.2022; accepted for printing 10.07.2022.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

(2022, № 5, СВ 1, 12 с. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_1_3)

Абрамян Георгий Оникович¹ — доцент, e-mail: gao3d@ya.ru,

Аннаев Акмурат Юсупович¹ — аспирант, Пономаренко Евгения Игоревна¹ — аспирант,

Алфимова Ульяна Сергеевна¹ — аспирант, ¹ ГИ НИТУ «МИСиС»;

Джепбаров Максат Бабаназарович — Геофизическая экспедиция Лебапской области, Туркменистан.

Рассмотрены геологические изменчивости различных форм и их замещений калийных солей, которые отнесены к третьему уровню изменчивости по Дж. Уилсону. Приведен большой объем фотоматериалов, на которых четко видны проявления изменчивости макроструктур. Отмечено, что для эффективной отработки месторождения необходим переход от описательной геологической изменчивости к количественным показателям изменчивости. Для принятия правильных технологических и технических решений предложено использовать цифровую экономико-математическую модель месторождения в виде горного риска.

Ключевые слова: изменчивость на уровне макроструктур, формы и замещения калийных солей, геологическая изменчивость, количественный показатель изменчивости, горно-геологическая сложность, горный риск.

CHARACTERISTICS OF VARIABILITY OF POTASSIUM SALTS

G.O. Abramyan¹, Annaev A.Yu.¹, E.I. Ponomarenko¹, U.S. Alfimova¹,
M.B. Dzhepbarov, Geophysical expedition of the Lebap region, Turkmenistan.

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

The article considers the geological variability of various forms and their substitutions of potassium salts, which are attributed to the third level of variability according to J. To Wilson. A large volume of photographic materials is presented, on which the manifestations of the variability of macrostructures are clearly visible. It is noted that for the effective development of the deposit, a transition from descriptive geological variability to quantitative indicators of variability is necessary. To make the right technological and technical decisions, it is proposed to use a digital economic and mathematical model of the deposit in the form of mining risk.

Key words: variability at the level of macrostructures, forms and substitutions of potash salts, geological variability, quantitative indicator of variability, mining and geological complexity, mining risk.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

О ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОМ АНАЛИЗЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(2022, № 5, СВ 2, 12 с. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_2_3)

Быкова Анна Андреевна¹ — старший преподаватель, e-mail: bykova-aa@rudn.ru,
Парамонов Сергей Сергеевич¹ — старший преподаватель, e-mail: paramonov.ss@misis.ru,
Горожанкин Виктор Вячеславович² — доцент, e-mail: v17m3@mail.ru,
Аммон Елена Васильевна² — аспирант, e-mail: markscheider_trip@inbox.ru,

¹ Российский университет дружбы народов, Инженерная академия;

² ГИ НИТУ «МИСиС».

Рассмотрен один из возможных подходов к математической обработке результатов полевых геодезических и маркшейдерских наблюдений при соответствующем мониторинге сдвижений и деформаций различных объектов, расположенных на земной поверхности (участков местности, оснований наземных и подземных сооружений и т.п.). Показано, что для качественной оценки геомеханических параметров объектов земной поверхности следует шире использовать существующие положения графической и статической интерпретации данных произведенных измерений. Рассмотрено использование пространственно-временного анализа результатов натурных измерений вертикальных и горизонтальных перемещений деформационных марок, закрепленных на контролируемых объектах.

Ключевые слова: геодезическо-маркшейдерские измерения, реперы и деформационные марки, сдвигения и деформации объектов земной поверхности, усредненные показатели гедеформационных параметров.

ON THE SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF GEODETIC MONITORING OF DISPLACEMENTS AND DEFORMATIONS OF OBJECTS OF EARTH'S SURFACE

A.A. Bykova¹, Senior Lecturer, S.S. Paramonov¹, Senior Lecturer;

V.V. Gorozhankin², Assistant Professor, E.V. Ammon², Graduate Student;

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Engineering Academy, Moscow, 115419, Russia,

² Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

One of the possible approaches to mathematical processing of the results of field geodetic and surveying observations with appropriate monitoring of displacements and deformations of various objects located on the Earth's surface (terrain areas, foundations of ground and underground structures, etc.) is considered. It is shown that for a qualitative assessment of geomechanical parameters of objects on the Earth's surface, it is necessary to use more widely the existing provisions of graphical and static interpretation of the data of the measurements made. The authors consider the use of spatio-temporal analysis of the results of full-scale measurements of vertical and horizontal displacements of deformation marks fixed on controlled objects.

Key words: geodetic-surveying measurements, reference points and deformation marks, displacement and deformation of objects of the Earth's surface, averaged indicators of geodeformation parameters.