

## СЛОЕВАЯ СИСТЕМА РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ КИТАЯ: ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ, НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В.П. Zubov<sup>1</sup>, Ли Юньпэн<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: spggi.zubov@mail.ru

**Аннотация:** Отмечены значительные эксплуатационные потери угля и повышенная опасность ведения очистных работ в лавах надработанного (нижнего) слоя при слоевых системах разработки мощных пластов с оставлением между слоями защитных пачек угля. Показано, что повышенная опасность горных работ при использовании известных технологий связана с обрушениями межслоевых защитных пачек угля в лавах нижнего слоя, а также с оставлением больших масс измельченного и склонного к самовозгоранию угля в выработанном пространстве. Для условий перспективной шахты «Хан Лайвань», расположенной в районе Шаньси, исследованы причины обрушений защитной межслоевой пачки угля и пород в призабойное пространство механизированных лав нижнего слоя. Установлено, что существенное влияние на устойчивость защитной межслоевой пачки угля оказывает степень ее разрушения под воздействием опорного давления, формируемого впереди забоя лавы верхнего слоя. В условиях шахты «Хан Лайвань» глубина разупрочнения угля в надрабатываемом угольном массиве в стадии осадки основной кровли составляет до 0,35 м и более. Защитная межслоевая пачка угля в верхней ее части, прилегающей к выработанному пространству лавы верхнего слоя, как правило, является нарушенной трещинами и практически не имеет устойчивости. Данный факт необходимо учитывать при расчетах минимально необходимых значений толщины межслоевых защитных пачек угля. Сделаны выводы о перспективных направлениях совершенствования слоевой системы разработки мощных (8–12 м) пологих угольных пластов. Предложена ресурсосберегающая безопасная технология выемки надработанных наклонных слоев, позволяющая практически полностью исключить эксплуатационные потери угля в межслоевых защитных пачках и повысить безопасность горных работ.

**Ключевые слова:** мощные угольные пласты, наклонные слои, межслоевая защитная пачка угля, снижение потерь угля, повышение безопасности очистных работ, обрушения пород в лавах надработанного слоя, технология отработки надработанного слоя.

**Для цитирования:** Zubov В. П., Ли Юньпэн Слоевая система разработки мощных пологих угольных пластов на шахтах Китая: проблемные вопросы, направления совершенствования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 7. – С. 37–51. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_37.

### Slicing mining of thick gently dipping coal in China: Problems and improvement

V.P. Zubov<sup>1</sup>, Li Yunpeng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: spggi.zubov@mail.ru

---

**Abstract:** In underhand mining with slicing of thick seams with safety patches left between slices, the operation in longwalls of an underhand (lower-lying) level features high coal losses and increased hazard. The high hazard of mining using the known technology is connected with collapse of the inter-slice safety patches in the lower layer longwalls as well as with much overground and inflammable coal left in mined-out space. The article reviews the collapse causes of an inter-slice coal patch and rocks in the face area of longwalls on the lower lying layer as a case-study of promising Hang Laivan Mine in Shanxi. It is found that an essential impact is exerted on the stability of the safety patch of coal by the rate of its damage under the action of the abutment pressure generated in front of the longwall on the upper lying layer. In Hang Laivan Mine, the depth of softening in the underhand-cut coal at the stage of the main roof caving is to 0.35 m and more. The inter-slice safety patch of coal nearby the mined-out area of the upper layer longwall is, as a rule, fractured and almost unstable. This fact should be included in design of the minimal thickness of the inter-slice safety patches of coal. The promising trends in improvement of the slicing technology for thick (8–12 m) and gently dipping coal seams are identified. A safe and resource-saving technology is proposed for underhand mining of inclined layers. The technology allows total elimination of coal losses in the inter-slice safety patches and enhances safety of mining.

**Key words:** thick coal seams, inclined layers, inter-slice safety coal patch, coal loss reduction, longwalling safety improvement, rock falls in underhand mining longwalls, underhand slicing technology.

**For citation:** Zubov V. P., Li Yunpeng, Slicing mining of thick gently dipping coal in China: Problems and improvement. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(7):37-51. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_37.

---

### **Актуальность темы исследований**

На шахтах Китая около 44% угольных пластов от общего их числа относят к мощным пластам (см. рис. 1). При разработке мощных пластов наибольшее распространение получили следующие системы разработки (табл. 1):

- с выемкой пласта на полную мощность [1, 2];
- с разделением пласта на наклонные слои [3, 4];
- обрушением и выпуском угля [5–7].

К числу факторов, оказывающих существенное влияние на эффективность применяемых в настоящее время слоевых систем разработки мощных угольных пластов и перспективы их совершенствования, относятся:

- необходимость минимизации эксплуатационных потерь угля;
- обеспечением безопасности горных работ в очистных забоях надрабатанных слоев;
- глубина горных работ и темпы ее увеличения [9].

Глубина горных работ и темпы ее увеличения относятся к объективным факторам, регулирование которых в условиях функционирующих шахт практически невозможно. В среднем глубина возрастает на 8–25 м в год. Максимальными темпами увеличения глубины (до 25 м) в год характеризуются шахты перспективных угольных бассейнов, расположенных в восточно-центральной части Китая [2, 5, 10]. В условиях шахт Юйшеньского района глубина разработки

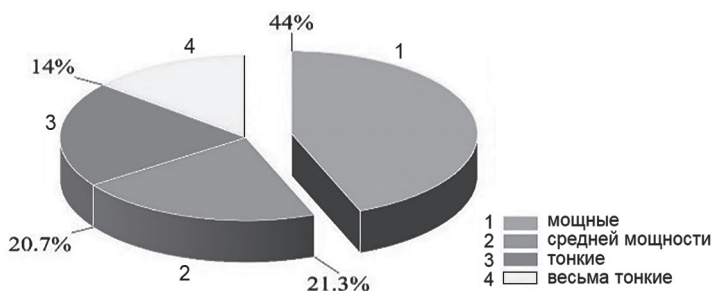


Рис. 1. Распределение разрабатываемых угольных пластов на шахтах Китая по их мощности [1, 8]  
 Fig. 1. Distribution of coal beds developed in Chinese mines by their thickness [1, 8]

мощных угольных пластов составляет 120 – 400 м.

При переходе горных работ на более глубокие горизонты возрастает интенсивность проявлений горного давления в очистных выработках, а также изменяется роль факторов, оказывающих влияние на принятие технических решений по управлению состоянием горного массива в лавах [9, 11, 12]. В частности, с увеличением глубины все более существенное влияние на самопроизвольные обрушения пород кровли в призабойном пространстве лав оказывает степень разрушения угля впереди забоя лавы под воздействием опорного давления. Роль несущей способности механизированной крепи при этом снижается [13]. Практический опыт отработки месторождений твердых полезных ископаемых [2, 14 – 18] свидетельствует, что пренебрежение данным фактором при проектировании

технологических схем является одной из основных причин снижения безопасности очистных работ при переходе горных работ на более глубокие горизонты.

Анализ результатов применения известных способов предотвращения обрушений пород кровли в призабойном пространстве лав надрабатываемых слоев (рис. 2) показал, что наиболее распространенным на угольных шахтах Китая [5, 10, 19, 20] и других угледобывающих стран [9, 21 – 23] является способ, включающий оставление между отработываемыми наклонными слоями защитных пачек угля. При этом слои, как правило, отработывают в нисходящем порядке с опережением очистных работ по вышерасположенному слою, т.е. очистные работы в надработанном (нижнем) слое ведут под породами, обрушившимися в выработанном пространстве вышерасположенного слоя [9, 23].

Таблица 1

**Области применения систем разработки мощных (более 3,5 м) пластов на шахтах Китая**  
**Areas of application of the systems for development of thick (more than 3.5 m) layers in the mines of China**

Система разработки	Область применения		Потери угля, %
	мощность угольного пласта, м	угол падения пласта, град.	
С выемкой пласта на полную мощность	3,5 – 7	12 – 20	7 – 9
Наклонными слоями	8 – 12	3 – 15	10 – 12
С обрушением и выпуском угля	более 12 – 13	до 30	до 20



Рис. 2. Способы предотвращения обрушений межслоевых защитных пачек и пород кровли в призабойное пространство лав надрабатываемых слоев

Fig. 2. Methods of prevention of falls of protective interlayer coal patches and roof rocks into the face space of the lavas of the overworked layers

Функциональным назначением межслоевой защитной пачки угля является предотвращение вывалов дезинтегрированных неустойчивых массивов пород, находящихся в выработанном пространстве лавы верхнего слоя, в призабойное пространство лавы нижнего слоя. Данный способ характеризуется простотой реализации и легко адаптируется за счет изменения толщины защитной пачки к изменениям мощности угольного пласта в пределах отработываемого выемочного столба.

Использование других известных способов (см. рис. 2) предотвращения обрушений пород кровли в призабойное пространство лав надрабатываемых слоев, как правило, существенно повышает

трудоемкость очистных работ, эксплуатационные издержки [24–32].

Областью рационального применения систем разработки наклонными слоями в условиях шахт Китая являются пологие угольные пласты мощностью 8–12 м [2, 33]. Альтернативными вариантами являются выемка пласта одним слоем на полную мощность и система разработки с обрушением и выпуском угля (табл. 1).

Существенным недостатком систем разработки наклонными слоями являются значительные эксплуатационные потери угля, связанные в основном с оставлением между отработываемыми слоями защитных пачек угля, которые обрушаются при передвижке механизированной крепи в выработанное пространство.

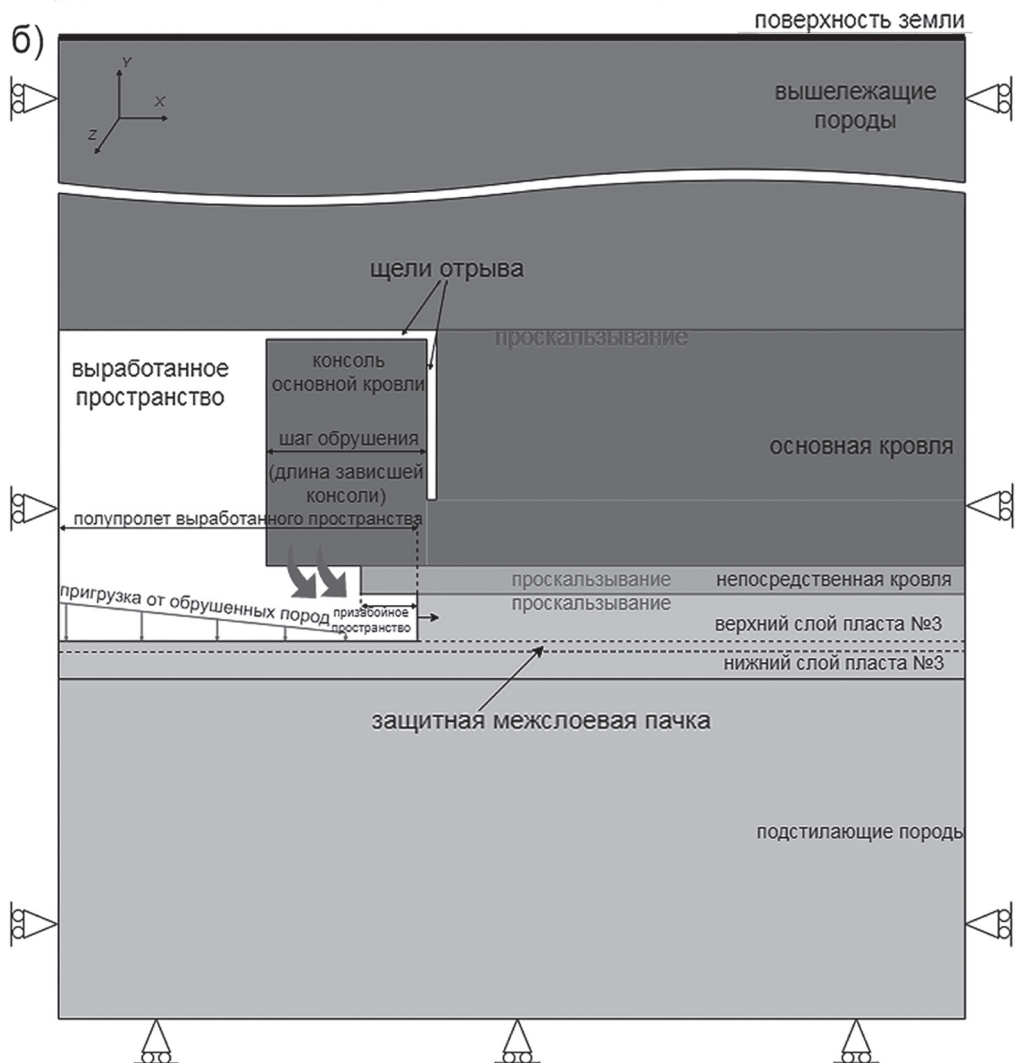
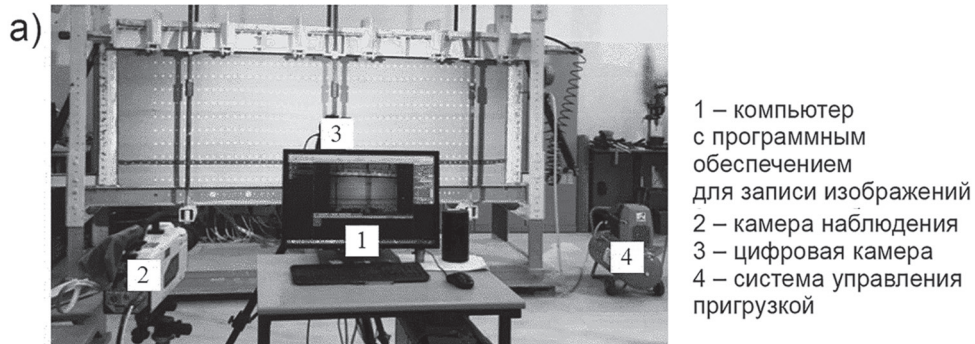


Рис. 3. Общий вид модели из эквивалентных материалов (а) и принципиальная схема компьютерной модели (б)

Fig. 3. General view of a model made of equivalent materials (a) and schematic diagram of a computer model (b)

Толщина защитных пачек на шахтах Китая составляет 0,3–1,5 м [3, 10, 34–36]. Потери угля, связанные с оставлением защитных пачек, достигают 10–12% и более.

Следует отметить, что аналогичными потерями характеризуются варианты слоевых систем разработки, применяемых на российских угольных шахтах [14, 16, 37]. Так, при отработке пласта III на шахте «Распадская-Коксовая» (участок поля № 2) двумя наклонными слоями толщина межслоевой защитной пачки превышала 1,5 м. Средняя мощность пласта III – 10,3 м. Предел прочности угля на одноосное сжатие 9–15 МПа. Глубина ведения горных работ составляла от 300 до 630 м. Основная кровля пласта представлена песчаником, непосредственная кровля – алевролитами разной зернистости, не склонными к слеживанию после их обрушения в выработанном пространстве.

Вторым существенным недостатком системы разработки наклонными слоями является повышенная опасность подземных пожаров, связанных с оставлением больших масс измельченного угля в выработанном пространстве и невозможностью надежного изолирования выработанных пространств от поступления в них воздуха [38–40].

Целью исследований, результаты которых изложены в данной статье, являлось обоснование системы разработки мощного пологого пласта с разделением его на два наклонных слоя, позволяющей снизить эксплуатационные потери угля и повысить безопасность очистных работ в надрабатываемом слое.

При проведении исследований использован комплексный метод, включающий анализ практического опыта отработки мощных угольных пластов, лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов (см. рис. 3, а), компьютерное моделирование напряжен-

но-деформированного состояния пласта на различных стадиях его отработки с использованием метода конечных элементов (рис. 3, б).

Лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов проведены в соответствии с методикой, применяемой в Санкт-Петербургском горном университете [37, 38, 41]. Появление и развитие трещин в модели во время ее испытания отслеживалось с помощью цифровой камеры (рис. 3) с точностью до 0,2 пикселя. При этом также фиксировались вертикальные и горизонтальные смещения на различных этапах испытания модели.

Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния пласта производилось в плоско-деформированной постановке. Начальные условия в модели описывались геостатическим напряженным состоянием в соответствии с гипотезой А. Динника, согласно которой вертикальные напряжения в МГП определяются весом вышележащей толщи пород, а горизонтальные – силами упругого бокового распора:

$$\begin{aligned}\sigma_y &= \gamma H \\ \sigma_x &= \sigma_z = \lambda \sigma_y, \\ \lambda &= \frac{\nu}{1-\nu}\end{aligned}\quad (1)$$

где  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  – вертикальные и горизонтальные компоненты напряжений в МГП;  $\gamma$  – объемный вес вышележащих пород;  $H$  – глубина горных работ;  $\lambda$  – коэффициент бокового распора;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Результаты выполненных исследований показали, что защитная межслоевая пачка угля в верхней ее части, прилегающей к выработанному пространству лавы верхнего слоя, как правило, является нарушенной трещинами и практически не имеет устойчивости. Это объясняется воздействием на надрабатываемый



угольный массив опорного горного давления, формирующегося впереди забоя лавы верхнего слоя, и последующей разгрузки от повышенных напряжений. Максимальная концентрация напряжений в зоне опорного давления в 2,4–2,6 раза и более превышает уровень напряжений, естественный для рассматриваемой глубины горных работ. По мере подвигания лавы верхнего слоя надрабатываемый угольный массив впереди очистного забоя испытывает сжатие, при разгрузке от повышенного горного давления — растяжение. Направления смещений элементов надрабатываемого массива подтверждают предположение о том, что причиной разрушения угля в почве отработываемого верхнего слоя является его выдавливание в сторону области, разгруженной от горного давления.

При определении минимально допустимой толщины межслоевой защитной пачки угля по известным методикам [42–44] исходят из условия, что защитная пачка представляет собой сплошную плиту. Вместе с тем, как следует из результатов выполненных лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалах, а также данных компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов, защитная пачка в верхней ее части, прилегающей к выработанному пространству лавы верхнего слоя, является нарушенной трещинами и при решении практических задач не может рассматриваться как устойчивая несущая конструкция.

При использовании в надрабатываемом слое механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа, позволяющих обеспечить полное перекрытие кровли в призабойном пространстве лавы, процесс формирования аварийной ситуации, связанной с обрушением защитной пачки угля и лежащих на ней пород, начинается, как правило, с отжима угля в верхней ослабленной части забоя

лавы. При этом происходит обнажение защитной пачки угля впереди забоя лавы на глубину, примерно равную верхней части забоя лавы нижнего слоя, ослабленной трещинами. Отжим угля из забоя лавы приводит не только к увеличению параметров обнажения защитной пачки угля, но и к запаздыванию ее крепления (подведения под пачку козырьков механизированной крепи). В результате полость, образовавшаяся в кровле лавы нижнего слоя, развивается над соседними секциями крепи, следствием чего является существенное усложнение процесса передвижения секций и снижение, в конечном итоге, скорости подвигания лавы и нагрузки на очистной забой. Полость вывала распространяется обычно вверх и в направлении подвигания лавы.

Пренебрежение фактом разрушения верхней части надрабатываемого слоя при определении минимально допустимой мощности межслоевых защитных пачек приводит к тому, что во многих случаях межслоевые пачки угля, расчет которых произведен с использованием известных методик [42–44], не выполняют защитных функций и обрушаются в призабойное пространство лавы нижнего слоя вместе с породами, находящимися в выработанном пространстве лавы верхнего слоя.

На глубину разрушения надрабатываемого угольного массива существенное влияние оказывает стадия деформирования труднообрушающихся пород основной кровли в выработанном пространстве лавы верхнего слоя [45–47].

В стадии деформирования основной кровли глубина разрушения угля характеризуется минимальными значениями, установленными за цикл «деформирование–осадка» основной кровли. Максимальная глубина разрушения угля наблюдается в стадии осадки (обрушения) основной кровли в выработанном пространстве лавы верхнего слоя.

По данным выполненных исследований при отработке пласта № 3 в условиях шахты «Хан Лайвань», глубина разупрочнения угля в надрабатываемом угольном массиве по нормали к границе отрабатываемых слоев составляет:

- не менее 0,25 м в стадии деформирования труднообрушающихся пород кровли;
- не менее 0,35 м в стадии осадки основной кровли.

Толщину защитной межслоевой пачки  $b$  рекомендуется определять из выражения

$$b \geq X + C, \quad (2)$$

где  $X$  — толщина межслоевой защитной пачки, определенная по известным методикам, например, приведенным в работах [42, 44, 47];  $C$  — глубина области разупрочненного угля, формируемой в верхней части надрабатываемого угольного массива под воздействием опорного горного давления в стадии осадки основной кровли.

При отработке пласта № 3 в условиях шахты «Хан Лайвань» толщина межслоевой защитной пачки  $X$ , определенная по методике [44, 48], составляет 0,65 м.

С учетом  $C = 0,35$  м, толщину межслоевой защитной пачки  $b$  рекомендуется принимать не менее 1 м.

Аварийные ситуации в лавах нижнего слоя, связанные с обрушением межслоевых защитных пачек и пород кровли, наиболее вероятны через промежутки времени, соответствующие продолжительности прохождения лавой расстояний, равных шагу обрушения труднообрушающихся пород основной кровли. Снижение вероятности таких событий достигается при отработке нижнего слоя под трещинами разлома в основной кровле с повышенными скоростями, без остановок лав.

Неблагоприятные условия для управления кровлей в лавах надрабатанного слоя, сопровождающиеся обрушением

межслоевых защитных пачек, наблюдаются также при прохождении ее под местами длительных остановок лав верхнего слоя. В этих случаях необходимая толщина защитной пачки может существенно превышать величину  $b$ , определенную из выражения (2).

### **Рекомендуемая технология отработки мощного пласта двумя наклонными слоями в условиях шахты «Хан Лайвань»**

Шахта «Хан Лайвань» является основным угледобывающим предприятием месторождения Юйшэнь. Угольные пласты данного месторождения представлены в основном длиннопламенными углями высокого качества. В настоящее время доля систем разработки длинными столбами по простиранию с разделением пласта на слои на шахтах месторождения Юйшэнь превышает 40%. Главным разрабатываемым угольным пластом данного месторождения является пласт № 3, максимальная мощность которого составляет 10,41 м при средней вынимаемой мощности 9,13 м. Угол падения пласта менее  $1^\circ$ , глубина его залегания 230 м. Предел прочности угля на одноосное сжатие составляет 14,15 МПа, на растяжение — 1,07 МПа.

Мощность непосредственной кровли 0,90 — 14,23 м, сложена в основном алевритами и аргиллитами, местами встречаются мелкозернистые и крупнозернистые песчаники. Мощность труднообрушающихся пород основной кровли, представленной песчаниками, превышает 14,0 — 20,0 м.

Горнотехническая ситуация, сложившаяся на шахте «Хан Лайвань», характеризуется в настоящее время следующими данными. Шахта ориентирована на применение комплексно механизированных способов добычи. Система разработки — длинными столбами с разделением пласта на два наклонных слоя,



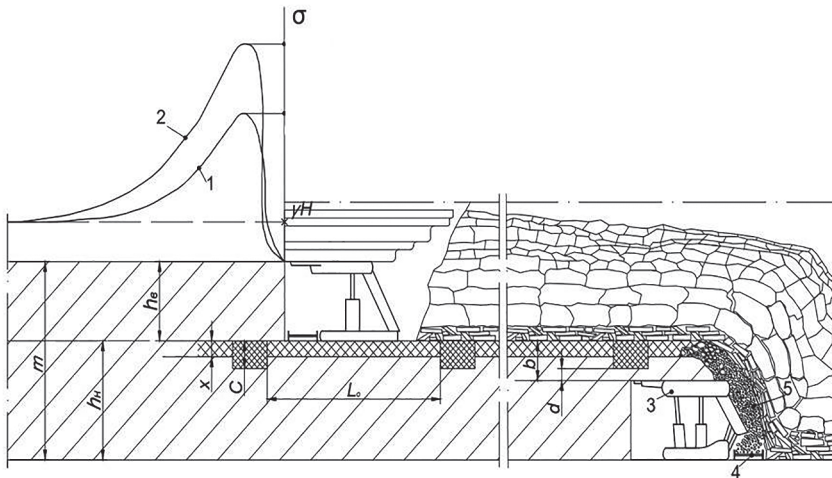
отрабатываемых в нисходящем порядке с полным обрушением кровли в выработанном пространстве. Обрушившиеся породы непосредственной кровли, расположенные в выработанном пространстве лав верхнего слоя, характеризуются повышенной степенью разрушения. Установившийся шаг обрушения основной кровли составляет 25 – 30 м.

Проектная вынимаемая мощность верхнего слоя составляет 5,0 м. С 2008 по 2019 гг. в первой панели 30101 отработан верхний слой мощностью 4,03 – 5,95 м. Мощность надработанной части пласта на соответствующих участках составляет 3,18 – 5,10 м. К началу 2023 г. верхний слой пласта № 3 отработан не менее чем на 85% площади шахтного поля. Очистные работы в надработанном нижнем слое еще не начаты.

В настоящее время актуальным вопросом для шахты «Хан Лайвань» явля-

ется выбор технологии обработки нижнего слоя пласта № 3. От правильности решения этого вопроса зависят не только безопасность горных работ и технико-экономические показатели очистных работ при выемке надработанного слоя пласта № 3, но и перспективы разработки продуктивного пласта № 3-1, который расположен ниже пласта № 3. При этом к числу основных требований, предъявляемых к технологии обработки нижнего слоя пласта № 3, относится минимизация эксплуатационных потерь высоколиквидного угля в межслоевой защитной пачке. Выполнение данного требования будет способствовать снижению вероятности самовозгорания угля в выработанном пространстве лав и возникновения подземных пожаров.

Сущность рекомендуемой технологии заключается в следующем. Пласт мощностью  $m$  (рис. 4) разделяют на два



1, 2 – эпюры опорного давления впереди лавы верхнего слоя, соответственно, в стадии деформирования и обрушения пород основной кровли;  
 $m$  – мощность пласта;  $L_0$  – установившийся шаг обрушения пород основной кровли;  
 $x, C$  – глубина разрушения надработанного угольного массива опорным давлением, соответственно, в стадии деформирования и осадки основной кровли;  
 $d$  – толщина нижней части межслоевой защитной пачки, не разрушенной опорным давлением;  
 $\sigma$  – вертикальные напряжения в зоне опорного давления

Рис. 4. Принципиальная схема рекомендуемой технологии обработки нижнего слоя пласта № 3 в условиях шахты «Хан Лайвань»

Fig. 4. Schematic diagram of the recommended mining technology for the lower layer of bed No. 3 in the conditions of the Han Laiwan mine

наклонных слоя (верхний и нижний) с мощностями  $h_v$  и  $h_n$ . Отработку наклонных слоев ведут в нисходящем порядке лавами, с полным обрушением пород кровли в выработанном пространстве.

При отработке нижнего слоя в кровле очистного забоя оставляют защитную межслоевую пачку угля толщиной  $b$ . В процессе отработки нижнего слоя производят обрушение и выпуск межслоевой защитной пачки угля 5 на конвейер 4 лавы нижнего слоя.

Возможны следующие основные варианты выпуска межслоевой защитной пачки угля:

- на забойный конвейер лавы нижнего слоя через выпускные люки в перекрытиях 3 секций крепи;
- на завальный скребковый конвейер 4 лавы нижнего слоя.

Выпуск на забойный конвейер лавы нижнего слоя может быть реализован, в частности, при использовании механизированных комплексов типа КНК70, КНКМ, КТУ (Россия); УНР-731 (Венгрия). Для реализации второго из указанных вариантов выпуска могут быть применены механизированные комплексы типа КМ138В, КМ81В, КМ130В (Россия); ZF-8000/22/35 (Китай) и другие.

Более благоприятные условия для надежного разрушения (горным давлением и крепью) угля межслоевой защитной пачки создаются при перепуске угля на завальный скребковый конвейер 4 (см. рис. 4).

В качестве основного варианта для отработки нижнего слоя в условиях шахты «Хан Лайвань» рекомендуется использовать механизированный комплекс с крепью оградительно-поддерживающего типа ZF-8000/22/35 и выпуском угля на завальный конвейер. Выемка угля в очистных забоях нижнего слоя производится очистным комбайном MG400/940-WD.

Технические характеристики крепи ZF-8000/22/35, с высотой линейной сек-

ции, равной 2200–3500 мм, соответствуют фактически сложившимся горно-техническим условиям отработки пласта № 3.

Основным параметром, от правильности определения которого зависит эффективность рекомендуемой технологии, является минимально необходимая толщина защитной пачки угля  $b$ , при которой исключаются разрушение данной пачки на незакрепленном участке кровли в лаве нижнего слоя и самопроизвольные обрушения пород в призабойное пространство лавы нижнего слоя.

При данном значении мощности защитной пачки эксплуатационные потери угля при отработке пласта № 3 с использованием традиционно применяемой системы разработки длинными столбами составят не менее 10% суммарных балансовых запасов выемочных столбов по верхнему и нижнему слоям.

Использование рекомендуемой технологии (см. рис. 4) отработки нижнего слоя пласта № 3 в условиях шахты «Хан Лайвань» позволяет:

- повысить безопасность очистных работ в призабойном пространстве лав наработанного слоя по фактору «обрушение пород кровли»;
- при длине выемочного столба 3000 м и длине лавы 250 м дополнительно добыть при отработке одного столба в нижнем слое около 1 млн т высококачественного ликвидного угля;
- снизить вероятность самовозгорания угля и возникновения эндогенных пожаров в выработанном пространстве лав наработанного слоя.

### **Основные выводы**

1. Системы разработки длинными столбами с разделением мощного пласта на наклонные слои, использование которых позволяет снизить потери угля по сравнению с альтернативной системой разработки с обрушением и выпу-

ском угля подкровельной толщи, относятся к числу перспективных ресурсосберегающих систем для шахт Китая и других угледобывающих стран.

2. Общими недостатками известных вариантов слоевой системы разработки, с которыми связаны направления их дальнейшего совершенствования, являются: значительные эксплуатационные потери угля в межслоевых защитных пачках, достигающие 10–12% и более; повышенная опасность очистных работ в призабойном пространстве лав надработанного слоя по фактору «обрушение защитной пачки и пород кровли»; высокая вероятность подземных пожаров, что является следствием оставления больших масс измельченного угля в разрабо-

танном пространстве лав надработанного слоя.

3. Использование рекомендуемой технологии выемки надработанного слоя создает объективные условия для сокращения потерь угля, связанных с оставлением межслоевых защитных пачек снижения опасности очистных работ в лавах надработанного слоя, уменьшения вероятности возникновения эндогенных подземных пожаров. При данной технологии толщина межслоевой защитной пачки угля может приниматься с повышенным коэффициентом запаса, учитывающим неопределенность данных об исходной горно-геологической информации. Эксплуатационные потери угля при этом не возрастают.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Литературу с п. 1 по п. 8 и с п. 10 по п. 11 смотри в REFERENCES.

9. *Зубов В. П., Ле Куанг Фук* Разработка ресурсосберегающей технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли (на примере шахт Куангниньского угольного бассейна) // Записки Горного института. – 2022. – Т. 257. – С. 795–806. DOI: 10.31897/PMI.2022.72.

12. *Качурин Н. М., Шейнкман Л. Э., Пушкарев А. Е., Ковалев Р. А.* Обеспечение безопасности технологического процесса отработки угольных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2012. – № 1. – С. 142–148.

13. *Зубов В. П., Тхан В. З., Федоров А. С.* Технология подземной разработки мощных пластов угля с низкими прочностными характеристиками // Уголь. – 2023. – № 5. – С. 41–49. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-41-49.

14. *Карпов Г. Н., Ковальский Е. Р., Носов А. А.* Способ формирования демонтажной камеры при разработке пологих угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6-1. – С. 54–67. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_54.

15. *Носов А. А., Карпов Г. Н., Ковальский Е. Р.* Особенности технологии формирования искусственного перекрытия в породах кровли над демонтажной камерой // Уголь. – 2023. – № 3. – С. 69–74. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-69-74.

16. *Анисимов К. А., Никифоров А. В.* Современные технологии отработки алмазоносных месторождений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 1. – С. 196–208. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3837.

17. *Еременко В. А., Лушников В. Н., Сенди М. П., Милкин Д. А., Мильшин Е. А.* Обоснование и выбор технологии проведения, способов крепления и поддержания горных выработок в неустойчивых горных породах глубоких горизонтов Холбинского рудника // Горный журнал. – 2013. – № 7. – С. 59–66.

18. *Мельник В. В., Агафонов В. В.* Организационно-технологическое и научно-методическое обеспечение проектирования угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 1. – С. 286–299.

21. *Ле Куанг Фук, Дмитриев П. Н., Тхан Ван Зуи, Ли Юньпэн* Влияние основной кровли на параметры зоны опорного давления в краевой части пласта // Горный информаци-

онно-аналитический бюллетень. — 2022. — 6-1. — С. 68–82. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_68.

22. Коршунов Г. И., Казанин О. И., Рудаков М. Л., Недосекин А. О., Кабанов Е. И. Разработка методики оценки рисков аварий на угольных шахтах с учетом конкретных горно-геологических условий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 5-1. — С. 374–382.

23. Громов Ю. В., Бычков Ю. Н., Кругликов В. П. Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля. — М.: Недра, 1985. — 239 с.

Литературу с п. 19 по п. 20 и с п. 24 по п. 32 смотри в REFERENCES.

33. Цяо Цзаньюн, Ван Цжизян, Чжао Цзинли Развитие методов разработки мощных угольных пластов в Китае // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 8. — С. 105–117. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-105-117.

37. Зуев Б. Ю. Методология моделирования нелинейных геомеханических процессов в блочных и слоистых горных массивах на моделях из эквивалентных материалов // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 542–552. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.7.

38. Трушко В. Л., Протосеня А. Г. Перспективы развития геомеханики в условиях нового технологического уклада // Записки Горного института. — 2019. — Т. 236. — С. 162–166. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.162.

Литературу с п. 34 по п. 36 и с п. 39 по п. 40 смотри в REFERENCES.

41. Климчук И. В., Биктимиров И. С., Маланченко В. М., Ермаков А. Ю. Применение полимерных смол на шахтах Кузбасса // Горная промышленность. — 2009. — № 2. — С. 19–21.

42. Расчет деформации массива горных пород под влиянием подземных выработок. — Л.: ВНИМИ, 1960. — С. 87.

43. Технология разработки пологих и наклонных пластов Кузбасса. — Прокопьевск: КузНИУИ, 1973. — С. 154.

44. Заключение КузГТУ г. Прокопьевска № 5 от 24.10.2005 по геомеханическому обоснованию параметров межслоевых пачек угля по пластам TV и VI ОАО «Шахты им. В.И. Ленина».

45. Клишин В. И., Николаев А. В., Егоров А. П., Фрянов В. Н. Перспективные технические решения отработки мощных пологих угольных пластов с выпуском // Уголь. — 2011. — № 12. — С. 6–10.

46. Махно Е. Я., Васильев А. В. Совершенствование разработки мощных пластов с принудительным обрушением и выпуском угля / Подземная разработка мощных угольных пластов. № 4. — Кемерово, 1976.

47. Семенов В. В., Осминин Д. В., Нифанов Е. В. Устойчивость выемочных горных выработок при отработке пластов с труднообрушающимися кровлями // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. — 2021. — № 3. — С. 14–25. DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.47.12.002.

48. Никишин Д. Ю. Совершенствование технологических схем отработки мощных пологих пластов угля // Научное обозрение. — 2006. — № 1. — С. 73. **ПАБ**

## REFERENCES

1. Liu W. G., Chen T., Yao J. K., Zhao X. D. Study on characteristics of overburden strata and surface subsidence under the shallow coal seam mining in Hanglaiwan coal mine. *Journal of Mining and Safety Engineering*. 2017, vol. 34, no. 6, pp. 1141–1147. DOI: 10.13545/j.cnki.jmse.2017.06.016.

2. Zhang N., Wang B. G., Zheng X. G., Zhu X. L. Analysis on grouting reinforcement results in secondary support of soft rock roadway in kilometre deep mine. *Coal Science and Technology*. 2010, vol. 38, no. 5, pp. 34–38.

3. Liu S. Yang K., Zhang T., Tang C. Rib spalling 3D model for soft coal seam faces with large mining height in protective seam mining: theoretical and numerical analyses. *Geofluids*. 2020, vol. 2020, pp. 1–17. DOI: 10.1155/2020/8828844.

4. Gao J. L., Cai H. H., Lu F. C. Study on underlying coal seam stress distribution and failure characteristics in slicing mining of extra-thick coal seams. *Coal Science and Technology*. 2021, vol. 49, no. 5, pp. 19–26.
5. Zuo Q. W., Guo K. W., Li Q. Z. Study on the law of surface cracks while coal mining in the thin bedrock and thick unconsolidated layer of Yu-Shen-Fu mining area. *E3S Web of Conferences*. 2018, vol. 53, no. 1, article 03040. DOI: 10.1051/e3sconf/20185303040.
6. Lv H., Cheng Z., Liu F. Study on the mechanism of a new fully mechanical mining method for extremely thick coal seam. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021, vol. 142, article 104788.
7. Xiao H., Wen X. L., Zhang W. Q., Li B. Y. In situ measurement of floor strata displacements in slice mining. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering. Chinese edition*. 2001, vol. 23, no. 1, pp. 71–74.
8. Tu S. H., Yong Y., Zhen Y., Ma X. T., Qi W. Research situation and prospect of fully mechanized mining technology in thick coal seams in China. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2009, vol. 1, no. 1, pp. 35–40. DOI: 10.1016/j-proeps.2009.09.008.
9. Zubov V. P., Phuc L. Q. Development of resource-saving technology for excavation of flat-lying coal seams with tight roof rocks (on the example of the Quang Ninh coal basin mines). *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 257, pp. 795–806. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.72.
10. Zhang M., Cheng Y., Wang L., Jiang F., Qi L. Structure model and stability research of thick hard strata-coal pillar in shallow-buried remined panels. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2019, vol. 38, no. 1, pp. 87–100.
11. Wang H., Zhang Y., Pang Y. Rational layout of roadway for downward cross-pillar mining in close distance coal seams. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*. 2023, vol. 44, no. 1, p. 100.
12. Kachurin N. M., Sheinkman L. E., Pushkaryov A. E., Kovalev R. A. Ensuring the safety of the technological process of mining coal deposits. *Izvestiya Tula State University. Natural sciences*. 2012, no. 1, pp. 142–148. [In Russ].
13. Zubov V. P., Than V. D., Fedorov A. C. Technology of underground mining of thick coal seams with low strength properties. *Ugol'*. 2023, no. 5, pp. 41–49. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-41-49.
14. Karpov G. N., Kovalski E. R., Nosov A. A. Longwall recovery room erecting method for flat coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-1, pp. 54–67. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_54.
15. Nosov A. A., Karpov G. N., Kovalsky E. R. Features of the technology of forming an artificial mass in the roof rocks above the recovery room. *Ugol'*. 2023, no. 3, pp. 69–74. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-69-74.
16. Anisimov K. A., Nikiforov A. V. Modern technologies of the development of diamondiferous deposits. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2023, vol. 334, no. 1, pp. 196–208. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3837.
17. Eremenko V. A., Lushnikov V. N., Sandy M. P., Milkin D. A., Mil'shin E. A. Rationale and choice of technology, methods of fastening and maintenance of mine workings in unstable rocks of deep horizons of Kholbinskiy mine. *Gornyi Zhurnal*. 2013, no. 7, pp. 59–66. [In Russ].
18. Melnik V. V., Agafonov V. V. Organizational and technological and scientific-methodological support for the design of coal mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 1, pp. 286–299. [In Russ].
19. Deng X., Zhang J., Kang T., Han X. Strata behavior in extra-thick coal seam mining with upward slicing backfilling technology. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016, vol. 26, no. 4, pp. 587–592.
20. Guang P. Q., Jing C., Chao W., Shuo W., Ming H. Z. Characteristics of stratum structure and fracture evolution in stratified mining of shallow buried high-gas-thick coal seam by similar-ity simulation. *Geofluids*. 2021, vol. 2021, pp. 1–18. DOI: 10.1155/2021/5555451.



21. Le Quang Phuc, Dmitriev P. N., Than Van Duy, Li Yunpeng. Influence of the main roof on the parameters of the abutment pressure zone in the selvedge of the seam. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022. 6-1, pp. 68 – 82. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_68.

22. Korshunov G. I., Kazanin O. I., Rudakov M. L., Nedosekin A. O., Kabanov E. I. Development of a methodology for assessing the risks of accidents in coal mines, taking into account specific mining and geological conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 5-1, pp. 374 – 382. [In Russ].

23. Gromov Yu. V., Bychkov Yu. N., Kruglikov V. P. *Upravlenie gornym davleniem pri razrabotke moshchnykh pologikh plastov uglja* [Management of rock pressure in the development of thick shallow coal seams], Moscow, Nedra, 1985, 239 p.

24. Qu X., Wu J. W., Hu R., Bi R. S., Liu W., Li N. Study on surface pre-grouting reinforcement layer of stratified regenerated roof under bifurcated coal seam. *Coal Science & Technology.* 2022, vol. 50, no. 11.

25. Fang T. W., Cun Z., Shuai F. W., Xiao G. Z., Sheng H. G. Whole section anchor – grouting reinforcement technology and its application in underground roadways with loose and fractured surrounding rock. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 2016, vol. 51, pp. 133 – 143. DOI: 10.1016/j.tust.2015.10.029.

26. Yao W., Pang J., Zhang J., Liu G. Key technique study of stability control of surrounding rock in deep chamber with large cross-section: a case study of the Zhangji coal mine in China. *Geotechnical and Geological Engineering.* 2021, vol. 39, pp. 299 – 316. DOI: 10.1007/s10706-020-01493-1.

27. Yan S., Chu H., Jiao H., Chen X., Wang C. Long-distance advanced pre-grouting layer flexible reinforcement mechanism and its application in large mining height coal face. *Mining, Metallurgy & Exploration.* 2022, vol. 39, no. 6, pp. 2379 – 2392. DOI: 10.1007/s42461-022-00677-y.

28. Shao X. H., Li Q. M., Jin S. G., Pei J. Y. Support-surrounding rock relationship and top-coal movement laws in large dip angle fully-mechanized caving face. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2018, vol. 28, no. 3, pp. 533 – 539. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.10.001.

29. Duan Q. T., Shang G. Y., Xu Z. H., Zhang X. W. The application of new high-strength polyester fiber flexible net for the end coal mining through. *Advanced Materials Research.* 2013, vol. 750-752, pp. 2141 – 2144. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.750-752.2141.

30. Yang S., Li M., Song G., Yang Y., Xie, F. Optimization of face flexible bolting and grouting technology for longwall face support under difficult geological conditions. *Energy Science & Engineering.* 2020, vol. 8, no. 4, pp. 1260 – 1270. DOI: 10.1002/ese3.591.

31. Yang J., He M., Cao C. Design principles and key technologies of gob side entry retaining by roof pre-fracturing. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 2019, vol. 90, pp. 309 – 318. DOI: 10.1016/j.tust.2019.05.013.

32. Xie S., Wu X., Chen D., Sun Y., Zeng J., Zhang Q., Ren Y. Automatic roadway backfilling of caving gangue for cutting roofs by combined support on gob-side entry retaining with no-pilars. A case study. *Advances in Materials Science and Engineering.* 2019, vol. 2019, pp. 1 – 13. DOI: 10.1155/2019/8736103.

33. Qiao Jianyong, Wang Zhiqiang, Zhao Jingli The evolution of thick coal seams mining methods in China. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 8, pp. 105 – 117. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-105-117.

34. Kai N., Ying G. E., Quan Z., Li C., Zhi L. Discrete element simulation for crack fractal evolution laws associated with slicing mining in super thick coal stratum. *Journal of Engineering Geology.* 2021, vol. 29, no. 4, pp. 1113 – 1120.

35. Wang C., Wang B. C. Research and practice of old coal mine mining technology. *Meitan Jishu Coal Technology.* 2006, vol. 25, no. 2, pp. 48 – 49.

36. Fang S. J., Liang B., Sun W. J., Shi Z. S., Hao J. F., Wang B. F., Zhang X. Y. Study on stress evolution law of overburden under repeated mining in long-distance double upper protective layer. *Energies.* 2022, vol. 15, no. 12, article 4459. DOI: 10.3390/en15124459.



37. Zuev B. Yu. Methodology of modeling nonlinear geomechanical processes in blocky and layered rock masses on models made of equivalent materials. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, pp. 542 – 552. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.7.

38. Trushko V. L., Protosenya A. G. Prospects of geomechanics development in the context of new technological paradigm. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 236, pp. 162 – 166. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.162.

39. Marinina O., Kirsanova N., Nevskaya M. Circular economy models in industry: Developing a conceptual framework. *Energies*. 2022, vol. 15, no. 24, article 9376. DOI: 10.3390/en15249376.

40. Meng X. R., Wu H. T., Wang G. B. Development and method selection of thick coal seam mining technology in China. *Coal Engineering*. 2014, vol. 46, no. 10, pp. 43 – 47.

41. Klimchuk I. V., Biktimirov I. S., Malanchenko V. M., Ermakov A. Yu. The use of polymer resins in the mines of Kuzbass. *Russian Mining Industry Journal*. 2009, no. 2, pp. 19 – 21. [In Russ].

42. *Raschet deformatsii massiva gornyykh porod pod vliyaniem podzemnykh vyrabotok* [Calculation of rock mass deformation under the influence of underground workings], Leningrad, VNIMI, 1960, pp. 87. [In Russ].

43. *Tekhnologiya razrabotki pologikh i naklonnykh plastov Kuzbassa* [Technology of development of flat and inclined layers of Kuzbass], Prokop'evsk, KuzNIIU, 1973, pp. 154. [In Russ].

44. *Zaklyuchenie KuzGTU g. Prokop'evska No. 5 ot 24.10.2005 po geomekhanicheskomu obosnovaniyu parametrov mezhsloevykh pachek uglya po plastam TV i VI OAO «Shakhty im. V.I. Lenina»* [Opinion of KuzGTU, Prokopievsk, No. 5 from 24.10.2005 on geomechanical justification of parameters of interlayer coal seams of TV and VI layers of OJSC «Shakhty im. V.I. Lenin»]. [In Russ].

45. Klishin V. I., Nikolaev A. V., Egorov A. P., Fryanov V. N. Perspective technical solutions for the mining of thick flat coal seams with release. *Ugol'*. 2011, no. 12, pp. 6 – 10. [In Russ].

46. Makhno E. Y., Vasiliev A. V. Improvement of development of thick seams with forced collapse and coal release. *Podzemnaya razrabotka moshchnykh ugol'nykh plastov* [Underground development of thick coal seams], no. 4. Кемерово, 1976. [In Russ].

47. Semetsov V. V., Osminin D. V., Nifanov E. V. Stability of mine workings during mining of formations with hard-to-cut roofs. *Bulletin of Scientific center VostNII for industrial and environmental safety*. 2021, no. 3, pp. 14 – 25. [In Russ]. DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.47.12.002.

48. Nikishin D. Y. Improvement of technological schemes. Improvement of technological schemes of mining of thick flat coal seams. *Scientific review*. 2006, no. 1, pp. 73. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зубов Владимир Павлович<sup>1</sup> – д-р техн. наук,  
профессор, e-mail: spggi.zubov@mail.ru,

Ли Юньпэн<sup>1</sup> – аспирант, e-mail: yunpengli@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-2677-2757,

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.

**Для контактов:** Зубов В.П., e-mail: spggi.zubov@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.P. Zubov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
e-mail: spggi.zubov@mail.ru,

Li Yunpeng<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: yunpengli@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-2677-2757,

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Mining University,  
199106, Saint-Petersburg, Russia.

**Corresponding author:** V.P. Zubov, e-mail: spggi.zubov@mail.ru.

Получена редакцией 17.04.2023; получена после рецензии 17.05.2023; принята к печати 10.06.2023.

Received by the editors 17.04.2023; received after the review 17.05.2023; accepted for printing 10.06.2023.