

## ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МОЩНЫХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ КИТАЯ

*Ли Юньпэн, Дмитриев П.Н.*

*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** мощные угольные пласты, технологии, наклонные слои, мощность слоя, межслоевая защитная пачка угля, потери угля, безопасность очистных работ, угол падения пласта, безопасность, глубина работ.

**Аннотация.** Отмечено, что в ближайшей перспективе безопасная и эффективная разработка мощных угольных пластов будет иметь важное значение для экономики Китая. В мощных угольных пластах на шахтах Китая сосредоточено около 44% всех запасов ископаемого угля. Выполнен анализ опыта применения на шахтах Китая передовых технологий – с отработкой пласта одним слоем; разделением мощного пласта на наклонные слои; выпуском подрабатываемой подкровельной пачки угля в призабойное пространство лавы. Рассмотрены специфические проблемы, требующие решения на этапе выбора рациональной технологии добычи угля. Отмечено существенное осложнение условий угледобычи по мере увеличения глубины горных работ. Приведены результаты анализа традиционно используемых технологий обработки мощных угольных пластов. Отмечены значительные эксплуатационные потери угля (10-12% и более) и повышенная опасность ведения очистных работ в лавах. Установлены горно-геологические факторы, оказывающие наибольшее влияние на выбор технологии обработки мощных пологих пластов угля.

## TECHNOLOGIES FOR THE EXTRACTION OF THICK COAL SEAMS IN MINES OF CHINA

*Li Yunpeng, Dmitriev P.N.*

*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg*

**Keywords:** high-capacity coal seams, technology, inclined coal seams, layer thickness, interlayer protective coal bundle, coal losses, safety of mining operations, coal seam dip angle, safety, working depth.

**Abstract.** It is noted that the safe and efficient mining of thick coal seams will be important to China's economy in the near future. Chinese mines contain about 44% of the total coal reserves in thick coal seams. The experience of applying single-layer mining technologies in Chinese mines; splitting of thick coal seams into inclined layers; release of the underlying coal seam into the face space of the longwall is analysed. The specific problems need to be solved at the stage of choosing a most effective technology of coal seam' extraction are considered. Significant complication of coal mining with increasing depth of mining is noted. The results of the analysis of the widely used technologies of mining of thick coal seams are given. Significant operational losses of coal (10-12% and more) and increased hazardous events due to longwall mining are noted. The mining and geological factors that have the greatest influence on the choice of technologies for mining of thick flat coal seams are identified.

### Введение

Китай сегодня является крупнейшим в мире производителем (рис. 1, б) и потребителем угля: по данным за 2022 год общая добыча угля в Китае составляет 5,41 млрд тонн, что на 4,3% больше уровня 2021 года. Доля угля в энергетическом балансе страны составляет 56,2% [1, 5]. Огромная часть 94% потребляемого высококачественного энергетического угля добывается подземным способом, причем до 44% всех запасов угля и 45% объема добываемого угля приходится на мощные и весьма мощные пласты (рис. 1, а) [2]. Не подлежит сомнению, что в ближайшей перспективе безопасная и эффективная разработка мощных угольных пластов будет иметь исключительно важное значение для экономики Китая. В мощных угольных пластах Китая сосредоточено 44% всех его запасов каменного угля.

Однако в процессе обработки мощных угольных пластов возникают различные специфические проблемы, которые необходимо предварительно разрешить на этапе выбора конкретной технологии добычи угля, системы разработки, способа подготовки, в условиях

сильного отжима пласта или высокой его склонности к самовозгоранию, трудноуправляемых кровель, высокого уровня потерь.

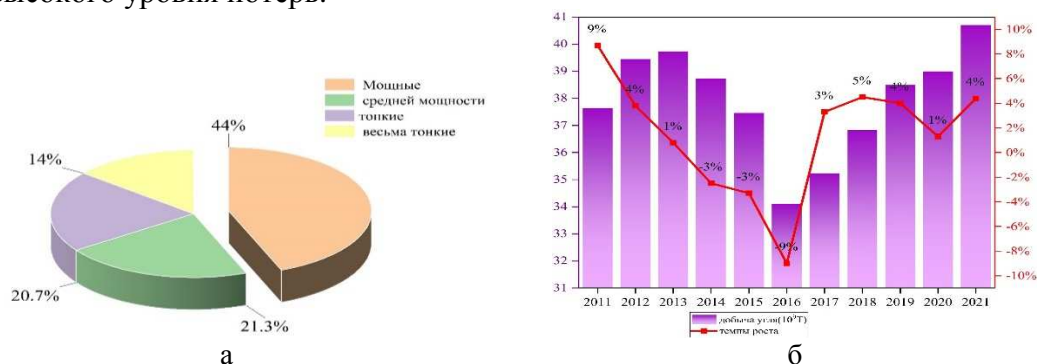


Рис.1. а – Распределение разрабатываемых пластов по мощности, %; б – добыча угля в 2011-2021 гг. [3, 15, 16]

Чжан Нонг [3] указывает в своей статье, что глубина разработки угольных шахт Китая увеличивается со скоростью 8-12 м в год, причем шахты в восточно-центральной части страны углубляются еще быстрее – на 10-25 м в год. Увеличение глубины разработки имеет следствием рост горного давления и усиление водопритоков, что существенно осложняет технологию угледобычи.

Эффективная интенсивная разработка может быть обеспечена выбором и обоснованием важнейших параметров технологии отработки мощного угольного пласта, для чего необходимы систематические научные исследования.

Цель данной статьи – системный анализ применяемых в настоящее время технологических схем отработки мощных угольных пластов в Китае с учетом их технико-экономических характеристик на фоне общего развития традиционных методов отработки мощных угольных пластов, оценка их достоинств и недостатков, а также оценка путей решения проблем, возникающих при добыче толстых угольных пластов.

### Результаты анализа традиционных схем отработки мощных угольных пластов

В настоящее время на шахтах Китая для отработки мощных угольных пластов, в основном, используют следующие технологии [4-7]:

- отработка пласта одним слоем и управлением кровлей способом полного обрушения в выработанном пространстве;
- разделение мощного пласта на слои условными плоскостями, параллельными плоскости напластования;
- отработка слоя у почвы пласта с последующим выпуском вышерасположенного слоя или подкровельной пачки угля в призабойное пространство лавы.

Анализ практического опыта отработки мощных угольных пластов на шахтах Китая и других угледобывающих стран [8-10] показал, что каждая из указанных технологий характеризуется, как достоинствами, так и недостатками, которые, в конечном итоге, определяют область их эффективного применения [7, 11, 12].

### Разработка угольных пластов одним слоем на всю мощность пласта

В 2009 году промышленная группа Shenhua применила отечественную горную крепь с раздвижностью до 7,2 м, рассчитанную на работу с узкозахватными очистными комбайнами и скребковыми конвейерами для обеспечения производительности комплекса оборудования до 12 млн. тонн рядового угля в год при отработке угольного пласта средней мощностью 7,59 м на шахте «Тенглианта» [13]. В 2020 году угольная шахта «Шаньгуань» успешно ввела в действие первый интеллектуальный комплексный очистной забой на пласте мощностью 8,8м в лаве длиной 300 м, установив рекорд максимальной суточной добычи в 65 500 тонн и месячной добычи в 1 506 000 тонн. Многие перспективные угольные шахты Китая [14],

внедрили технологию комплексной механизации отработки пластов большой мощности, достигнув уровня годовой добычи более 3 млн. тонн.

С увеличением мощности вынимаемых пластов, в краевой части пласта усиливается отжим, первоначально в форме шелушения, причем постепенно крупность шелушения возрастает, глубина отжима в пласте увеличивается, увеличиваются прогибы слоев пород кровли над разрушающейся кромкой пласта, в свою очередь, увеличение площади неподдерживаемой кровли в призабойном пространстве снижает ее устойчивость и приводит к вывалообразованию и *куполению*.

Сложности обеспечения стабильной работы дорогостоящих комплексов оборудования возрастают: в общем случае, надежность оборудования и общее качество машин и механизмов современного механизированного комплекса считаются обеспеченными, однако с увеличением угла падения пласта более  $8^\circ$  проблемой становится обеспечение линейности передвижения механизированного комплекса, предотвращение сползания вниз по падению пласта забойного конвейера и гидрофицированной крепи, вплоть до ее опрокидывания, причем и эта проблема становится всё более значимой при увеличении угла падения [17].

Достоинства вовлечения в разработку мощных пластов: высокая нагрузка на отдельный забой, высокий потенциал для увеличения добычи, рост концентрации горных работ, простые технологические операции и простота управления оборудованием, лучшая сортность добываемого угля сравнительно с технологией с выпуском подкровельной пачки.

Технология отработки мощного пласта угля в один слой обычно применяется на пластах выдержанной мощности от 3,5 до 7 м, когда вынимаемая мощность пласта может соответствовать максимальной полезной мощности, для достижения максимального коэффициента извлечения [18, 19]. Углы падения угольного пласта предпочтительны от  $12^\circ$  до  $20^\circ$  [20]. При увеличении углов падения затруднительно обеспечить направленность перемещения массивных машин и механизмов комплекса, и предотвратить их сползание, механизмы перемещения–домкраты будут испытывать повышенные нагрузки при работе, что снизит общую рабочую скорость передвижения всего комплекса оборудования. Наиболее благоприятны для отработки в один слой пласты простого строения, с устойчивыми породами кровли и почвы, с кровлями средней обрушаемости, которые не создают значительные зависания пород кровли над кромкой пласта и разрушающих ее; непосредственная почва угольного пласта должна иметь достаточную прочность, чтобы выдерживать вес тяжелых секций крепи и конвейера.

Область предпочтительного применения включает пласты каменного угля крепостью  $f > 1,5$ , выдержанной мощности и небольшим отжимом. Важным представляется условие инвестиционной привлекательности, когда крупные шахты большой с проектной мощностью, обладающие мощным вспомогательным транспортом и производительным подъемом, способны обеспечить транспортировку к месту работы тяжелых механизированных комплексов оборудования [21, 22].

Выбор технологии отработки мощных прочных пластов угля на небольших глубинах с небольшими углами падения и незначительной геологической нарушенностью очевиден: выемка в один слой.

### **Разработка угольных пластов с разделением их на наклонные слои**

При разработке мощных угольных пластов иногда бывает затруднительно и технически сложно использовать технологию отработки пласта в один слой. Поможет преодолеть трудности отработки мощного пласта в один слой технология разделения мощного пласта на несколько обрабатываемых последовательно слоев (рис. 2) или пачек мощностью от 2 до 3 м.

Достоинства слоевой разработки заключаются в том, что технология является относительно отработанной и уже давно используется в Китае как обычная технология добычи угля, с небольшими удельными инвестициями в оборудование, небольшой высотой первого разрабатываемого слоя, сравнительно эффективной технологией управления газовойделением, контролируемые процессами разрушения подрабатываемых покрывающих

пород и управляемыми деформациями поверхности. Однако у этой технологии есть и множество недостатков, среди которых укажем наиболее важные.

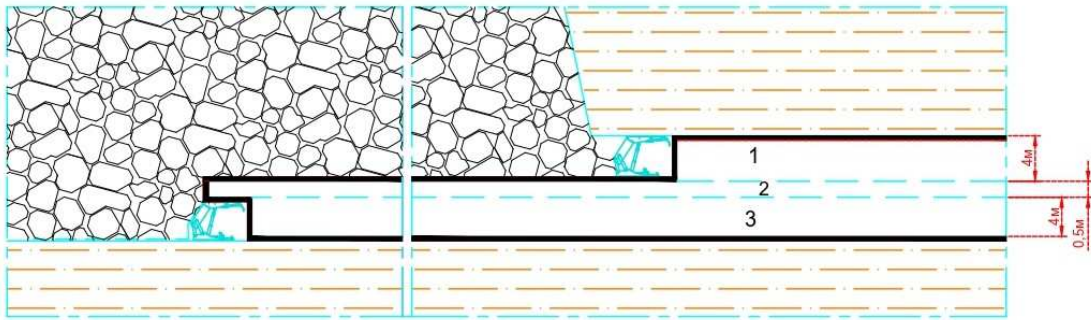


Рис. 2. Принципиальная схема разработки мощного пласта с его разделением на два наклонных слоя

Сложная система сооружения и поддержания слоевых подготовительных выработок при высоких скоростях подвигания слоевых очистных забоев.

Высокая стоимость нарезных работ и поддержания слоевых подготовительных выработок.

Необходимость возведения временных кровель из искусственных материалов при отработке верхних слоев требует значительных трудозатрат, что повышает эксплуатационные издержки [7, 23].

Осложнения применения включают: слоевые технологии плохо приспособлены к переходу разрывных тектонических нарушений; пликативная нарушенность резко увеличивает эксплуатационные потери, поскольку все участки переменной мощности пласта уходят в потери; низка и концентрация работ [24-26].

Слоевая разработка рекомендуется для следующих условий: мощные угольные пласты, залегающие на малых глубинах разработки под освоенными территориями, могут быть перспективны для применения слоевой разработки. Для шахт с небольшими и средними балансовыми запасами, шахт с высоким газовыделением, содержащих пласты с невыдержанной мощностью угольного пласта и шахт под водоемами, где подрабатываемая водозащитная толща должна медленно деформироваться и опускаться без резких перегибов, в первую очередь следует выбрать метод слоевой отработки пластов. Для крепких пластов мощностью более 7 м можно принимать большие мощности слоев.

### **Механизированная технология добычи с выпуском подкровельной пачки угля в призабойное пространство лавы**

Технология добычи, при которой мощный пласт угля условно разделяется на две пачки для того, чтобы нижнюю пачку угля отрабатывать обычной технологией с обрушением кровли, тогда как верхняя пачка угольного пласта представляет упомянутую обрушаемую кровлю, которая разрушается под воздействием горного давления и извлекается выпуском обрушенного угля под давлением налегающей толщи пород в призабойное пространство лавы, отрабатывающей нижнюю пачку данного угольного пласта.

Данная технология обеспечивает высокую производительность, безопасность работ и высокую их эффективность. Благодаря одновременной работе по добыче нижней пачки пласта и выпуску угля верхней пачки, можно одновременно извлекать уголь на нескольких участках по длине очистного забоя, благодаря чему достигается увеличение производительности и повышается эффективность работы оборудования на 80-100% [19, 27, 28].

Существенным фактором ограничения является снижение общей скорости подвигания очистного забоя на 30-50% по сравнению со скоростью подвигания работающего по традиционной технологии очистного забоя. Положительным является уменьшение эксплуатационных расходов, улучшается организация работ, создаются условия для концентрации производства. Достигается снижение удельного расхода материалов,

электроэнергии и заработной платы на тонну добываемого угля. Сравнительно с разрушением угля резанием, значительно сокращается потребление лесоматериалов, металлической сетки, режущих зубков, электроэнергии и заработной платы; снижаются общие затраты на проведение подготовительных выработок и на вспомогательный транспорт.

Технология «с выпуском угля» успешно применяется в самых разнообразных геологических условиях и на пластах сложного строения. Опыт доказана успешность отработки «с выпуском» различных не выдержанных по мощности с колебаниями от 4 до 20 м пологих наклонных угольных пластов. Эта технология успешно применяется при отработке нарушенных пластов, когда амплитуда нарушения не превышает вынимаемой мощности пласта, а также пластов с неустойчивой кровлей и почвой [13, 14, 29].

«Выпуск угля» доказал свою эффективность при отработке крутонаклонных особо мощных угольных пластов. Горизонтальный секционный выпуск верхней пачки угля позволяет не только механизировать разработку крутонаклонных особо мощных угольных пластов, но и обеспечить безопасное и эффективное выполнение всех производственных процессов.

Несмотря на все достоинства, обширную область применения и быстрое совершенствование технологии разработки пластов «с выпуском», остаются нерешенными некоторые специфические проблемы, еще не нашедшие своего решения. Главная проблема технологии «с выпуском» – низкий коэффициент извлечения. Производственные потери в очистном забое, потери угля при транспортировании в пределах выемочного участка, а также потери угля от неполноты выпуска части пласта над подготовительной выработкой и в целиках, оставленных для охраны такой подготовительной выработки – вот проблемы, которые долгое время не были успешно решены. В результате, коэффициент извлечения при отработке пластов «с выпуском» обычно ниже, чем на выемочных участках, которые могут быть подготовлены и отработаны в один слой. Согласно статистике, средний коэффициент извлечения комплексно-механизированного забоя на шахтах Китая достигает 81%-83%, тогда как коэффициент извлечения бесцеликовых систем разработки не превышает 75%, а коэффициент извлечения столбовых систем разработки с оставлением целиков будет менее 75% [6, 30].

Газовая опасность применения технологии «с выпуском» является особенно трудноразрешимой. Поскольку при отработке мощного пласта вся угольная масса извлекается одновременно, процессы смещения налегающих пород после извлечения пласта, распределение опорного давления в краевой части его, процесс разрушения и выпуска угля в призабойное пространство, раскрытие газопроводящих трещин и их влияние на процессы распространения и концентрации газа, фильтрации газа и накопления его в выработанном пространстве существенно отличаются от газовой обстановки при отработке мощных пластов в один слой, в том числе при уступных схемах движения выемочной машины. По мере отработки любого выемочного столба происходит его дегазация, причем относительное количество газа, поступающего из выработок, существенно снижается. Тем не менее, в выработанном пространстве позади забоя остается известное количество газа высокой концентрации, который по мере выпуска верхней пачки угля этот газ будет поступать в призабойное пространство, загазовывая его.

Проблема самовозгорания весьма серьезна. Склонность некоторых углей к самовозгоранию является реальной проблемой при отработке мощных пластов из-за большого объема потерь измельченного угля, а также затруднительности изоляции выработанных пространств большого объема.

Проблема серийного производства надежных и эффективных люков для выпуска угля и вспомогательного оборудования до сих пор в Китае не решена, что также снижает коэффициент извлечения и увеличивает потери системы разработки, притом, что потери угля вызывают опасность самовозгорания на соседних выемочных участках.

Условия применения технологии добычи угля с выпуском: крепость угольного пласта должен быть не более 2,5 без применения технологии ослабления верхней пачки, в

противном случае верхняя пачка должна быть ослаблена первой; коэффициент крепости угольного пласта должен возрастать с увеличением мощности пласта, причем минимальное значение крепости не должно быть менее 1 для предотвращения раздавливания кромки пласта; мощность прослоек твердой породы в верхней пачке угля не должна превышать 0,4 м. В то же время, суммарная мощность пропластков в пласте сложного строения не должна быть больше 15% мощности вынимаемой мощности угольного пласта; для угольного пласта с коротким периодом естественного самовозгорания, большой метанообильностью и склонностью угольной пыли к взрыву необходимо принять соответствующие меры обработки пласта прежде применения технологии разработки «с выпуском»; особого внимания заслуживают обводненные угольные пласты, залегающие на небольших глубинах, под старыми выработанными пространствами, заполненными дренажными водами. Дополнительным ограничением является применение гидропошневое выпуска: в таком случае угол падения пласта не должен превышать 30° [31-33].

### Направления совершенствования технологий разработки мощных угольных пластов

В 1998 г. в Китае был получен патент на новый способ разработки мощных пластов (рис. 3, б), который является альтернативным по отношению к применяемому способу (рис. 3, а). Целью этой разработки было решение проблем повышения коэффициента извлечения, поддержки штреков, стабилизации горного оборудования в очистном забое. Метод получил название «метод разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков», показанный на рисунке 3, б. Здесь, по сравнению с другими методами, штреки расположены на двух уровнях. Штрек, по которому выходит исходящая струя, находится под непосредственной кровлей, а воздухоподающий штрек со свежей струей расположен на почве пласта. Штреки расположены диагонально, т.е. крест-накрест. Такое расположение штреков дает следующие преимущества: повышение коэффициента извлечения на 10% и более, снижение опасности самовозгорания угля, повышение устойчивости штреков, повышение устойчивости стоек крепи и другого горного оборудования.

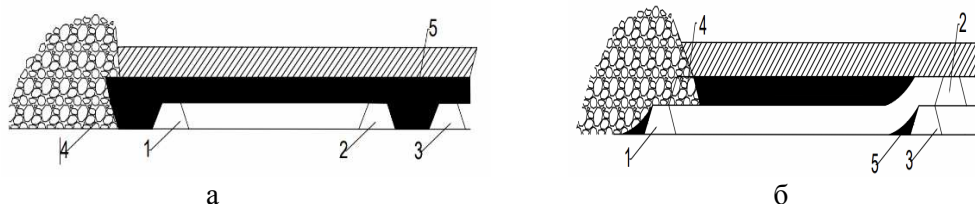


Рис. 3. Способы разработки мощных пологих угольных пластов: а – применяемый способ; б – с поперечным расположением штреков: 1 – воздухоподающий штрек (свежая струя); 2 – воздухоотводящий штрек (исходящая струя); 3 – вентиляционный штрек следующего забоя; 4 – штрек предыдущего забоя; 5 – потери угля

В июне 2003 года при угле падения 43° и мощности пласта угля 15,5 м на шахте "Цзинъюань Ванцзяшань" была принята схема расположения штреков на месте первоначально проектируемых целиков, в результате чего был сформирован длинный очистной забой длиной 115 м, что резко улучшило технические и экономические показатели работы по шахте в целом [34-35]. Доступ к нижнему слою обеспечивает формируемая ступенчатая выработка, что стало ключевым техническим фактором в сокращении потерь угля.

### Заключение

В данной работе рассмотрены современные методы добычи угля, применяемые в Китае. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. В Китае для разработки мощных угольных пластов сегодня применяется три метода – в простых геологических условиях – комплексно механизированная технология отработки пластов на полную мощность, комплексно механизированная технология добычи с выпуском



угля, а также и слоевая выемка. Несмотря на то, что указанные технологии положительно зарекомендовали себя в течение многих лет, их применение сталкивается со значительными трудностями и не лишено существенных недостатков, включая низкий коэффициент извлечения, сложности проведения и поддержания вспомогательных выработок, сохраняющийся риск самовозгорания и др.

2. Существует система разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков, обладающая неоспоримыми достоинствами сравнительно с другими применяемыми технологиями, включая повышение коэффициента извлечения и снижение риска самовозгорания.

3. Перспективной является почти забытая сплошная технология ведения работ, не требующая оставления целиков для защиты выработок от опорного давления, в порядке эксперимента примененная на шахте «Юшенфу», прием получен существенный эффект, благодаря решению фундаментальных технических проблем, связанных с оставлением угольных целиков, такие как потеря целиками устойчивости в зонах тектонических нарушений, потери запасов, напряжение производственной последовательности, трудное обслуживанием сопряжений очистных забоев и т.д., с высокой экономической и социальной выгодой. Ожидается, что указанный метод будет широко использоваться для добычи угля подземным способом на глубоких шахтах Китая со сложными горно-геологическими условиями.

#### Список литературы

1. Guo W., Xi B, Huang C.H. Solid waste management in China: Policy and driving factors in 2004-2019 // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021, vol. 173, pp. 105727.
2. Wang J., Yu B, Kang H, Mao L, Liang Y. Key technologies and equipment for a fully mechanized top-coal caving operation with a large mining height at ultra-thick coal seams // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2015, vol. 2, pp. 97-161.
3. 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(5), pp. 34-38.
4. Зубов В.П., Дак Ф.М., Зунг В.Т.Т. Ресурсосберегающие технологии разработки мощных пологих угольных пластов на шахтах Куангниньского бассейна // *Известия Тульского государственного университета. Науки о земле*. – 2019. – №2. – С. 160-175.
5. Wang J., Huang Z. The recent technological development of intelligent mining in China // *Engineering*. 2017, vol. 3, no. 4, pp. 439-444.
6. Качурин Н.М., Шейнкман Л.Э., Пушкарёв А.Е., Ковалев Р.А. Обеспечение безопасности технологического процесса отработки угольных месторождений // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. – 2012. – № 1. – С. 142-148.
7. 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.
8. Зубов В.П., Ли Юньпэн. Слоеая 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.
9. Фук Л.К., Зунг Т.Л., Тханг Ф.Д., Туан Н.А. Движение пластов при извлечении плотного и пологого угольного пласта из анализа физического моделирования: на примере бассейна Кхе-Чам, Вьетнам // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2019. – Т. 11, № 4(42), – С. 561-567.
10. Litvinenko V.S., Tsvetkov P.S., Molodtsov K.V. The social and market mechanism of sustainable development of public companies in the mineral resource sector // *Eurasian Mining*. 2020, no. 1, pp. 36-41. DOI: 10.17580/em.2020.01.07.
11. Wei C.C., Li W., Yang Z, Wang Q. Analysis of mining-induced variation of the water table and potential benefits for ecological vegetation: A case study of Jinjitan coal mine in Yushenfu mining area, China // *Hydrogeology Journal*. 2021, vol. 29, no. 4, pp. 1629-1645.
12. Han Y. Predicting the Height of the Water-Conducting Fractured Zone in Fully Mechanized Top Coal Caving Longwall Mining of Very Thick Jurassic Coal Seams in Western China Based on the NNBR Model // *Mine Water and the Environment*. 2023, vol. 42, no. 1, pp. 121-133.
13. Wang R., Ma S., Zhang H. Effects of surface cracks caused by high intensity coal mining on soil microbial characteristics and plant communities in arid regions // *Research of Environmental Sciences*. 2016, vol. 29, no. 9, pp. 1249-1255.

14. Wang G., Xu Y., Ren H. Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 2, pp. 161-169.
15. Liu X., Song G., Li X. Classification of roof strata and calculation of powered support loads in shallow coal seams of China // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015, vol. 115, no. 11, pp. 1113-1119.
16. 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(1029). – С. 6-10.
17. Hao Y., Wu S.Y., Chen Y.L., Zhang K. An innovative equivalent width supporting technology for sustaining large-cross section roadway in thick coal seam // *Arabian Journal of Geosciences*. 2019, vol. 12, pp. 1-12.
18. 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.org/10.31897/PMI.2021.4.7.
19. Li J., Zhou F., Liu H. The selection and application of a compound wetting agent to the coal seam water infusion for dust control // *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. 2016, vol. 36, no. 4, pp. 192-206.
20. 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.
21. Zhang Q.L., Yue J.C., Liu C., Feng C., Li H.M. Study of automated top-coal caving in extra-thick coal seams using the continuum-discontinuum element method. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019, vol. 122, pp. 104033.
22. Сидоров Д.В., Потапчук М.И., Сидляр А.В., Курсакин Г.А. Оценка удароопасности при освоении глубоких горизонтов Николаевского месторождения // *Записки Горного института*. – 2019. – Т. 238. – С. 392-398. – DOI: 10.31897/PMI.2019.4.392.
23. Сидоренко С.А., Сидоренко А.А., Никишин Д.Ю. Обоснование рациональных параметров перспективных технологических схем слоевой отработки мощных пологих угольных пластов // *Записки Горного института*. – 2007. – Т. 173. – С. 51-53.
24. 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.
25. 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.
26. Мешков А.А., Казанин О.И., Сидоренко А.А. Повышение эффективности технологии и организации монтажно-демонтажных работ при интенсивной разработке пологих угольных пластов на шахтах Кузбасса // *Записки Горного института*. – 2021. – Т. 249. – С. 342-350. doi.org/10.31897/PMI.2021.3.3.
27. Карпов Г.Н. Технологии демонтажа очистных механизированных комплексов при разработке пологих мощных угольных пластов с неустойчивыми породами кровли // *Записки Горного института*. – 2012. – Т. 195. – С. 106-110.
28. Казанин О.И. Обоснование параметров технологических схем отработки сближенных пологих угольных пластов // *Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности*. – 2014. – С. 129-132.
29. Стародубов А.Н., Зиновьев В.В., Клишин В.И., Крамаренко В.А. Применение имитационного моделирования для исследования режимов выпуска угля подкровельной толщи // *Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности*. – Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного педагогического университета, 2019. – С. 540-547.
30. Сидоренко А.А., Дмитриев П.Н., Ярошенко В. В. Комплексное обоснование технологической структуры угольной шахты // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2021. – № 8. – С. 5-22. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_8\_0\_5.
31. 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.
32. Le T.D., Nguyen C.T., Dao V.C. Estimation of Coal and Rock Mechanical Properties for Numerical Modelling of Longwall Extraction // *Inżynieria Mineralna*. 2020, vol. 2, pp. 41-47. DOI: 10.29227/IM-2020-02-07.
33. 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(10), pp. 43-47.
34. Yang X.L., Guang C.W., Lin C.D., Sun H.T. Ground subsidence and surface cracks evolution from shallow-buried close-distance multi-seam mining: a case study in Bulianta coal mine // *Rock mechanics and rock engineering*. 2019, vol. 52(1), pp. 2835-2852. DOI: 10.1007/s00603-018-1726-4.
35. Liu W., Pang L., Xu B., et al. Study on overburden failure characteristics in deep thick loose seam and thick coal seam mining // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2020, vol. 11(1), pp. 632-653. DOI: 10.1080/19475705.2020.1737584.



## References

1. Guo W., Xi B, Huang C.H. Solid waste management in China: Policy and driving factors in 2004-2019 // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021, vol. 173, pp. 105727.
2. Wang J., Yu B, Kang H, Mao L, Liang Y. Key technologies and equipment for a fully mechanized top-coal caving operation with a large mining height at ultra-thick coal seams // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2015, vol. 2, pp. 97-161.
3. 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(5), pp. 34-38.
4. Zubov V.P., Phùng Manh Đac, Thai Vu Tien Dung. Resource-saving technologies in underground mining of thick flat seams of the quangninh coal basin // *News of the Tula State University. Earth sciences*. 2019, no. 2, pp. 160-175.
5. Wang J., Huang Z. The recent technological development of intelligent mining in China // *Engineering*. 2017, vol. 3, no. 4, pp. 439-444.
6. Kachurin N.M., Shaikman L.E., Pushkasrev A.E., Kovalev R.A. providing technological safety of using mineral resources processes // *News of the Tula State University. Natural Sciences*. 2012, vol. 1, pp. 142-148.
7. Zubov V.P., Than Van Duy, Fedorov A.S. Technology of underground mining of thick coal seams with low strength properties // *Coal*. 2023, no. 5, pp. 41-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-41-49.
8. Zubov V.P., Li Yunpeng. Slicing mining of thick gently dipping coal in China: Problems and improvement // *Mining informational and analytical bulletin*. 2023, no. 7, pp. 37-51. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_37.
9. Phuc L.C., Zungh T.L., Thang F.D., Tuan N.A. Seam motion during extraction of tight and flat coal seam from physical modeling analysis: Case study of Khe Cham Basin, Vietnam // *Sustainable development of mining territories*. 2019, vol. 11, no. 4(42), pp. 561-567.
10. Litvinenko V.S., Tsvetkov P.S., Molodtsov K.V. The social and market mechanism of sustainable development of public companies in the mineral resource sector // *Eurasian Mining*. 2020, no. 1, pp. 36-41. DOI: 10.17580/em.2020.01.07.
11. Wei C.C., Li W., Yang Z, Wang Q. Analysis of mining-induced variation of the water table and potential benefits for ecological vegetation: A case study of Jinjitan coal mine in Yushenfu mining area, China // *Hydrogeology Journal*. 2021, vol. 29, no. 4, pp. 1629-1645.
12. Han Y. Predicting the Height of the Water-Conducting Fractured Zone in Fully Mechanized Top Coal Caving Longwall Mining of Very Thick Jurassic Coal Seams in Western China Based on the NNBR Model // *Mine Water and the Environment*. 2023, vol. 42, no. 1, pp. 121-133.
13. Wang R., Ma S., Zhang H. Effects of surface cracks caused by high intensity coal mining on soil microbial characteristics and plant communities in arid regions // *Research of Environmental Sciences*. 2016, vol. 29, no. 9, pp. 1249-1255.
14. Wang G., Xu Y., Ren H. Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 2, pp. 161-169.
15. Liu X., Song G., Li X. Classification of roof strata and calculation of powered support loads in shallow coal seams of China // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015, vol. 115, no. 11, pp. 1113-1119.
16. Klishin V.I., Nikolaev A.V., Egorov A.P., Fryanov V.N. Perspective technical solutions for mining thick flat coal seams with release. // *Coal*. 2011, vol. 12, no. 1029, pp. 6-10.
17. Hao Y., Wu S.Y, Chen Y.L, Zhang K. An innovative equivalent width supporting technology for sustaining large-cross section roadway in thick coal seam // *Arabian Journal of Geosciences*. 2019, vol. 12, pp. 1-12.
18. 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. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.7.
19. Li J., Zhou F., Liu H. The selection and application of a compound wetting agent to the coal seam water infusion for dust control // *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. 2016, vol. 36, no. 4, pp. 192-206.
20. 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. doi.org/10.31897/PMI.2022.72.
21. Zhang Q.L, Yue J.C, Liu C., Feng C., Li H.M. Study of automated top-coal caving in extra-thick coal seams using the continuum-discontinuum element method. *International // Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019, vol. 122, pp. 104033.
22. Sidorov D.V., Potapchuk M.I., Sidlyar A.V., Kursakin G.A. Assessment of Rock-Burst Hazard in Deep Layer Mining at Nikolayevskoye Field // *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 238, pp. 392-398. doi.org/10.31897/pmi.2019.4.392.
23. Sidorenko S.A., Sidorenko A.A., Nikishin D.Yu. Substantiation of rational parameters of promising technological schemes of layered mining of powerful shallow coal seams // *Journal of Mining Institute*. 2007, vol. 173, pp. 51-53.

24. 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 // Mining information and analytical bulletin. 2017, vol. 5, pp. 374-382.
25. Karpov G.N., Kovalski E.R., Nosov A.A. Longwall recovery room erecting method for flat coal seam mining // Mining information and analytical bulletin. 2022, vol. 6, pp. 54-67. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_54.
26. Meshkov A.A., Kazanin O.I., Sidorenko A.A. Improving the efficiency of the technology and organization of the longwall face move during the intensive flat-lying coal seams mining at the Kuzbass mines // Journal of Mining Institute. 2021, vol. 249, pp. 342-350. doi.org/10.31897/PMI.2021.3.3.
27. Karpov G.N. Mining complexes dismantling technologies at extraction of flat-lying thick coal seams with unstable rocks of the roof // Journal of Mining Institute. 2012, vol. 195, pp. 106-110.
28. Kazanin O.I. Substantiation of the parameters of technological schemes for mining contiguous flat coal seams // Energy Security of Russia. New approaches to the development of the coal industry. 2014, pp. 129-132.
29. Starodubov A.N., Zinoviev V.V., Klishin V.I., Kramarenko V.A. The use of simulation modeling for the study of coal production modes of the under-roofing stratum // The Ninth All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry. –Yekaterinburg: Publ. house of the Ural State Pedagogical University, 2019. – P. 540-547.
30. Sidorenko A.A., Dmitriyev P.N., Yaroshenko V.V. Integrated justification of technological structure for coal mine // Mining information and analytical bulletin. 2021, vol. 8, pp. 5-22. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_8\_0\_5.
31. Anisimov K.A., Nikiforov A.V. Modern technologies for the development of diamond deposits // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. 2023, vol. 334, no. 1, pp. 196-208. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/3837.
32. Le T.D., Nguyen C.T., Dao V.C. Estimation of Coal and Rock Mechanical Properties for Numerical Modelling of Longwall Extraction // Inżynieria Mineralna. 2020, vol. 2, pp. 41-47. DOI: 10.29227/IM-2020-02-07.
33. 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(10), pp. 43-47.
34. Yang X.L., Guang C.W., Lin C.D., Sun H.T. Ground subsidence and surface cracks evolution from shallow-buried close-distance multi-seam mining: a case study in Bulianta coal mine // Rock mechanics and rock engineering. 2019, vol. 52(1), pp. 2835-2852. DOI: 10.1007/s00603-018-1726-4.
35. Liu W., Pang L., Xu B., et al. Study on overburden failure characteristics in deep thick loose seam and thick coal seam mining // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2020, vol. 11(1), pp. 632-653. DOI: 10.1080/19475705.2020.1737584.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Ли Юньпэн</b> – аспирант	<b>Li Yunpeng</b> – postgraduate student
<b>Дмитриев Павел Николаевич</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых	<b>Dmitriev Pavel Nikolaevich</b> – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mineral deposits development
yunpengli@mail.ru	

Получена 09.06.2023