

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В КИТАЕ

Цяо Цзаньюн^{1,2}, Ван Цжизян¹, Чжао Цзинли¹

¹ Китайский горный университет (Пекин), Пекин, Китай, e-mail: wzhiqianglhm@126.com

² Пекинский университет почты и телекоммуникаций, Пекин, Китай

Аннотация: Приведен обзор методов разработки мощных угольных пластов на шахтах Китая за последние десятилетия. Показано, что основными методами, применяемыми в Китае для добычи угля из мощных пластов в настоящий момент, являются два метода — комплексный механизированный метод разработки пластов на их полную мощность (применяется только в простых геологических условиях и является дополнительным методом) и комплексный механизированный метод добычи с выпуском угля (этот метод является основным и применяется в том числе и в сложных условиях). Несмотря на то, что указанные методы положительно зарекомендовали себя на протяжении многих лет, их применение имеет ряд существенных недостатков, включая низкий коэффициент извлечения, повышенную опасность эндогенных пожаров и горных ударов и др. Для решения проблем низкого коэффициента извлечения и поддержания подготовительных выработок китайским горнякам удалось разработать удачное решение, при котором вентиляционный штрек проводится вприсечку к выработанному пространству или под обрушенными породами. В то же время, для широкомасштабного применения данного решения необходимо проведение дальнейших исследований. В настоящее время перспективным является способ разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков, что способствует устранению многих недостатков предыдущих методов, включая низкий коэффициент извлечения, риск самовозгорания, необходимость поддержки штрека и др. Ожидается, что указанный метод будет широко использоваться для добычи угля подземным способом на глубоких шахтах Китая со сложными горно-геологическими условиями.

Ключевые слова: разработка мощных пластов, целик, коэффициент извлечения, горно-геологические условия, эндогенный пожар, горный удар, способ разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков.

Для цитирования: 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.

The evolution of thick coal seams mining methods in China

Qiao Jianyong^{1,2}, Wang Zhiqiang¹, Zhao Jingli¹

¹ China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing, China, e-mail: wzhiqianglhm@126.com

² Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, China

Abstract: The article provides an overview of the methods for developing thick coal seams in mines in China over the past decade. It is shown that the main methods used in China for coal mining from thick seams at the moment are two methods — the Complex mechanized method of developing seams at their full capacity (used only in simple geological conditions and is

an additional method for the following) and Complex mechanized mining method with coal production (which is used mainly, including in difficult conditions). Despite the fact that these methods have positively proven themselves over the years, their use has a number of significant drawbacks, including a low extraction rate, an increased risk of endogenous combustion and rock burst, and others. To solve the problems of a low extraction rate and to maintain preparatory workings, the Chinese miners managed to develop a successful solution in which a ventilation drift is carried out in cross section to the worked out space or under collapsed rocks. At the same time, for the widespread application of this solution, further research is necessary. Currently, a promising way is a development method with a diagonal (cross-shaped) arrangement of drifts, which helps to eliminate many of the shortcomings of previous methods, including a low recovery coefficient, the risk of spontaneous combustion, the need to support the drift and others. It is expected that this method will be widely used for underground coal mining in deep mines in China with difficult mining and geological conditions.

Key words: development of thick coal seams, pillars, recovery coefficient, mining and geological conditions, endogenous fire, rock burst, method with diagonal (cross-shaped) drifts.

For citation: Qiao Jianyong, Wang Zhiqiang, Zhao Jingli The evolution of thick coal seams mining methods in China. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(8):105-117. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-105-117.

Введение

Общий баланс добываемых энергоносителей Китая можно обобщить как «богатые запасы угля, бедные запасы нефти и редкие — природного газа». Согласно данным Государственной статистической службы Китая в 2018 г. валовое потребление угля в стране достигло 4,64 млрд т, что составило 59% от общего валового потребления энергоносителей, в то время как процентное отношение потребления нефти составило 18,9%, а природного газа — 7,8 [1,

2]. На долю прочих источников энергии пришлось 14,3%, они были представлены следующим образом: выработка электроэнергии гидро- и атомными электростанциями; альтернативные источники энергии (ветровая) и другие, см. рис. 1. Следовательно, уголь продолжает занимать лидирующее положение среди источников энергии в стране.

На долю подземной разработки приходится около 95% всей добычи угля в Китае. При этом 44% угля добывается из мощных пластов. Таким образом, разработка мощных угольных пластов имеет огромное значение для экономики Китая. В то же время при разработке угольных пластов возникает ряд специфических вопросов, которые требуют подробного рассмотрения, в том числе: коэффициент извлечения, риск самовозгорания, вентиляция, горные удары и другие, свойственные также и для российских условий [3—9]. Член китайской научной академии Хэ Манчао отметил, что коэффициент извлечения при применении подземного метода добычи в Китае составляет меньше 50%, поэтому



Рис. 1. Процентное соотношение потребления энергоносителей в Китае

Fig. 1. Percentage relationship of energy sources consumption in China

ежегодный убыток от потерь угля является колоссальным для страны и может составлять до двух триллионов юаней.

Также необходимо отметить, что глубина разработки шахт, которые находятся на востоке Китая, увеличивается на 15–25 м в год, и горно-геологические условия разработки усложняются. По этой причине китайские ученые постоянно занимаются исследованиями в области методов и технологий разработки мощных угольных пластов [10–14].

Цель данной статьи – рассмотреть развитие технологий разработки мощных угольных пластов и дать им оценку. Вначале будут рассмотрены традиционные методы разработки мощных угольных пластов, дана оценка их преимуществам и недостаткам, а также условиям их применения. Затем будет рассмотрен новый метод, который может помочь в решении отдельных проблем, возникающих при добыче угля.

Традиционно применяемые методы разработки мощных угольных пластов

В настоящее время метод слоевой разработки мощных пластов ушел в прошлое. Но еще широко применяются способы, которые были позаимствованы у зарубежных горных компаний в 80-е годы прошлого века. В первую очередь это комплексный механизированный метод добычи с выпуском угля и комплексный механизированный метод добычи на полную мощность угольного пласта.

Комплексный механизированный метод добычи с выпуском угля

Способ разработки мощного пласта с выпуском угля подкровельной толщи включает механизированную выемку угля в подсечном слое и выпуск угля подкровельной толщи на задний конвейер в рабочем пространстве очистного забоя. Первоначально комбайном подрезают

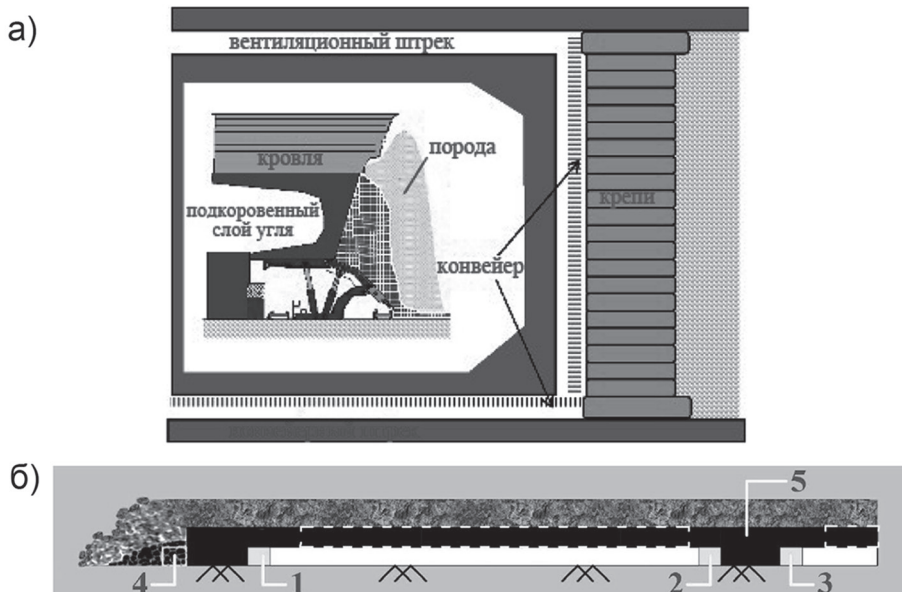


Рис. 2. Комплексный механизированный метод добычи с выпуском угля: технологии разработки (а), расположения штреков (б); 1, 2 – вентиляционные штреки; 3 – штрек следующего рабочего забоя; 4 – штрек предыдущего забоя в работе; 5 – угольный целик

Fig. 2. Longwall Top Coal Caving: technologies (a); layout of roadways (b): 1, 2 – air roadways; 3 – next longwall roadway; 4 – previous longwall roadway; 5 – coal pillar

угольный пласт. Эта часть угля попадает на передний конвейер. Подсеченная часть угля из верхней пачки под действием горного давления разрушается и выпускается на задний конвейер, размещенный позади механизированного комплекса. Этот метод добычи угля применяется на мощных угольных пластах с углом падения от 0 до 45° , как показано на рис. 2. Такой метод применялся, например, при разработке мощного удароопасного пласта на шахте Хуафэн [15]. Также такой метод широко применяется в России [16].

Из рис. 2 понятно, что высота механизированного комплекса меньше мощности угольного пласта, и уголь кровли, разрушенный с помощью естественного горного давления, выпускается на задний конвейер, таким образом, комплекс расходует меньше энергии на разработку пласта.

Данный метод отличается высокой эффективностью отработки и низким расходом энергии. С успехом комплексный механизированный метод добычи с выпуском угля применялся в Китае на протяжении около сорока лет, однако недостатки метода не устранены до сих пор. К ним можно отнести:

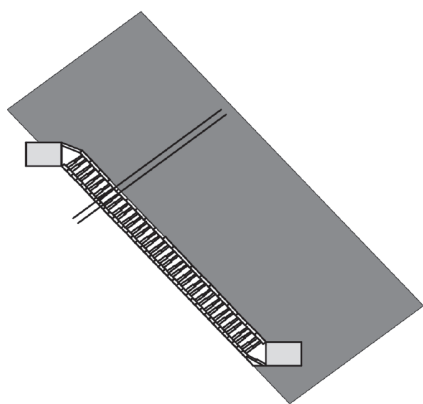


Рис. 3. Стабилизация оборудования в мощном угольном пласте с большим углом падения

Fig. 3. Stabilization of equipment in thick and high-dip coal seam

- Низкий коэффициент извлечения. Этот недостаток объясняется следующим. Механизированный комплекс не достаёт до кровли угольного пласта, тем самым не выработанными остаются до $7-12\%$ запасов; в начале и конце забоя часть угля из кровли пласта оставляют для защиты штрека, что в свою очередь составляет до 4% запасов; на начальных и конечных этапах разработки пласта нельзя выпускать уголь, потери при этом составляют от $1,5\%$ до $2,3\%$; потери в целике варьируются в пределах от 7% до 15% . В связи с этими потерями коэффициент извлечения не достигает 93% и в среднем составляет 75% .

- Опасность по взрыву метана и возгоранию. В выработанном пространстве легко может произойти самовозгорание, причиной которого может стать оставленный уголь.

- Выбор расположения и крепление штрека. Из рис. 2 видно, что трудно выбрать целесообразное расположение штрека из-за существенного действия горного давления, которое проявляется под влиянием большой глубины разработки; очень трудно управлять кровлей в случае, когда в ней залегают мощные и мягкие породные слои.

- Стабильность положения оборудования. Как указано на рис. 3, стабильность оборудования высчитывается по формуле (1):

$$G(\sin\alpha - \cos\alpha \times f_2) \leq N(f_1 + f_2), \quad (1)$$

где G — вес крепи; α — угол падения угольного пласта; f_1, f_2 — коэффициенты трений крепи с кровлей и почвой; N — реакция опоры.

При кратком анализе формулы (1) видно, что на стабилизацию отрицательно влияет снижение высоты крепи при отрыве ее от кровли забоя. Иначе говоря, в момент перемещения крепи вперед, когда рабочая нагрузка снижается ($N = 0$), стабилизация стойки крепи на-

рушается, о чем и свидетельствует практика. Обычно если забой обводнен, оборудование скользит по почве забоя при угле падения пласта более 12° . В связи с этим необходимо выполнять дополнительные мероприятия, чтобы предотвратить скольжение и падение оборудования в забое с углом падения пласта более 18° . В Китае трудные условия разработки мощных угольных пластов обусловлены их углами падения более 30° , в связи с чем необходимо разбивать угольный пласт на несколько слоев, чтобы уменьшить угол наклона для очистных выработок каждого слоя.

Комплексный механизированный метод разработки мощных угольных пластов на полную мощность

В Китае за 30 лет использования и модернизации данного метода достигли определенных успехов, например: мировой рекорд по количеству добытого угля за сутки, увеличение эффективности добычи, увеличение высоты механизированного забоя комбайна и разработка пластов мощностью до 8,8 м.

В шахте Шанван, рис. 4, высота забоя составляет 8,8 м, длина лавы 300 м, размер выемочного участка по простиранию составляет 5,27 км. На конец 2019 г. было отработано около 1,22 км этого участка и добыто 4,41 млн т угля. Самый высокий показатель суточной добычи превышал 60 тыс. т, что составляет на текущий момент мировой рекорд суточной добычи угля на шахте.

Однако этому методу также присущи недостатки, основные из которых следующие:

- Низкий коэффициент извлечения. Часто мощность угольного пласта больше, чем максимально возможная высота забоя, также мощность пласта изменяется по простиранию. Поэтому нельзя избежать потерь угля в почве и кровле



Рис. 4. Комплексный механизированный метод разработки угольных пластов на полную мощность

Fig. 4. Full-thick longwall mining of coal seams

пласта. Кроме того, при большой глубине разработки нужно оставлять более широкий угольный целик, чтобы защищать соседний штрек от высокого горного давления. Данные потери снижают коэффициент извлечения.

- Проблемы с устойчивостью оборудования. Так как применяется оборудование больших габаритов, велика вероятность его скольжения по почве забоя, а также падения. Кроме этого, массивные гидравлические крепи могут проваливаться в почву забоя. Все это отрицательно влияет на производственные процессы.

- Отслаивание угля в забое. При большой высоте обнаженного угольного забоя повышается вероятность отслаивания и осыпания угля, что может привести к завалу оборудования и обрушению кровли.

Метод имеет преимущества при следующих условиях:

- Простые геологические условия, простое тектоническое строение без складок и разрывных нарушений. Только в этом случае можно соблюсти основное требование по безопасной и эффективной разработке пласта большой мощности.

- Стабильные кровля и почва забоя, достаточно крепкий уголь. В против-

ном случае, поскольку протяженная выработка с большой высотой забоя стоит без крепи, происходит отслаивание угля и завал кровли. Также если тяжелое оборудование находится на относительно мягкой почве забоя, оно легко проваливается в нее.

- Угол наклона выработки должен быть не более 12° . В противном случае высок риск аварий со скольжением оборудования по почве пласта и его падением.

Совершенствование методов разработки мощных угольных пластов

Основной причиной низкого коэффициента извлечения угля и повышения опасности проявления горных ударов при комплексном механизированном методе добычи с выпуском является оставление большого угольного целика, ширина которого в среднем составляет от 20 до 30 м, а иногда доходит и до 80 м.

На устранение этих недостатков, а также на повышение устойчивости горных выработок направлены усилия научных работников и технического персонала проектных отделов угольных компаний. Ниже кратко рассмотрены усовершенствованные методы разработки.

Ведение очистных работ вприсечку к выработанному пространству

Схематически этот метод изображен на рис. 5. Здесь видно, что соседний штрек для отработки расположен в III зоне, ближе к IV зоне, из-за чего ширина угольного целика большая, также штрек в зоне II попадает в зону опорного давления. Потери угля для такого варианта расположения штреков большие, и поддержание выработанного пространства затруднено.

Для устранения этих недостатков штрек располагают во II зоне, в которой он отделен от выработанного пространства ранее отработанной лавы только зоной I. Это позволяет увеличить коэффициент извлечения и полезно для поддержания штрека, над которым горное давление относительно ниже.

Как правило, проводить штреки вприсечку можно только вслед за движущимся очистным забоем в зоне установившегося горного давления. Для обеспечения необходимого шага отставания забоя штрека от забоя лавы формируют ступенчатое расположение выемочных участков, как показано на рис. 6. Недостатком такого способа при разработке мощных пластов является то, что штрек постоянно находится в зоне интенсивных пластических дефор-

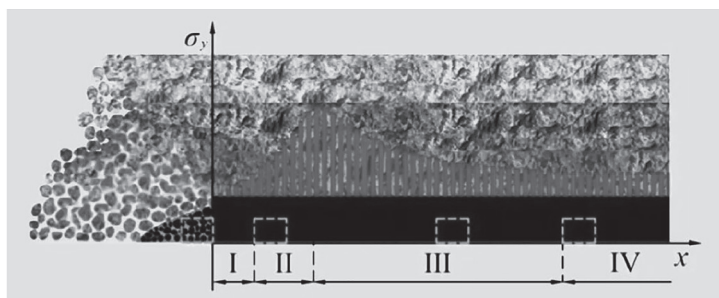


Рис. 5. Зональное распределение опорного давления в угольном пласте вблизи забоя: I — зона неустойчивого отжатого угля; II — зона пластических деформаций; III — упругая зона повышенного опорного давления и упругих деформаций; IV — зона напряженного состояния нетронутого массива
 Fig. 5. Zonal distribution of abutment pressure in face area in coal mining: I — unstable squeezing-out coal; II — plastic strains; III — elasticity with increased abutment pressure and elastic strains; IV — intact rock mass stress state

маций и неустойчивых вмещающих пород, что сильно влияет на скорость проходки выработки.

Кроме того, для мощных пластов трудно правильно спроектировать ширину целика, необходимую для того, чтобы обезопасить его от действия высокого горного давления. В практике использования этого способа в Китае под влиянием разработки соседнего очистного забоя неоднократно отмечались значительные деформации и разрушения штрека, проведенного вприсечку к выработанному пространству.

Расположение вентиляционного штрека впритык к выработанному пространству

Расположение вентиляционного штрека впритык к выработанному пространству предыдущей лавы позволяет еще больше повысить коэффициент извлечения по сравнению с вышеописанным способом, как показано на рис. 7.

Вслед за продвижением очистного забоя вдоль отрабатываемого участка выкладывается опорная стенка (рис. 7), которая в дальнейшем служит для защиты нового вентиляционного штрека. При использовании этого способа реализуется бесцеликовая отработка с высоким коэффициентом извлечения угля и снижением опасности эндогенных пожаров и горных ударов.

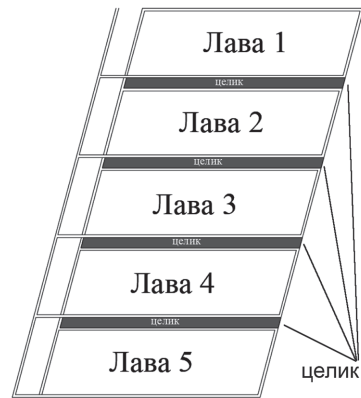


Рис. 6. Расположение выемочных участков при разработке с проведением штреков вприсечку к выработанному пространству

Fig. 6. Arrangement of extraction panels with roadways butt-jointed with mined-out area

В 2000 г. этот способ был успешно опробован на шахте Щичао, на которой раньше применяли комплексной механизированный метод добычи с выпуском угля. Впоследствии этот способ также использовали на шахтах Ианчюан, Луан и др. Однако широкого распространения эта технология не получила из-за ряда обнаружившихся недостатков, главные из которых связаны с необходимостью выкладывать опорную стенку, что снижает темпы отработки и часто экономически не выгодно. По-китайски такую ситуацию называют «техника жизнеспособна, но экономика не полезна».

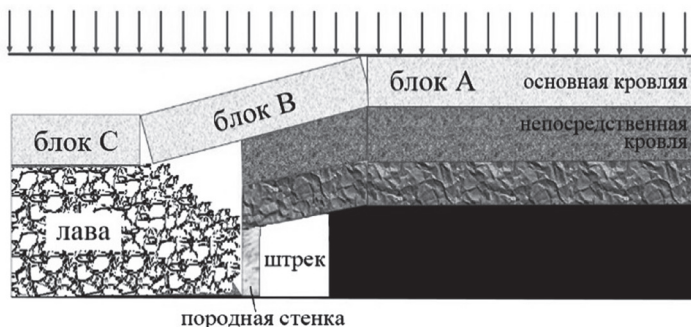


Рис. 7. Проведение штрека впритык к выработанному пространству

Fig. 7. Drivage of roadway butt-jointed with mined-out area

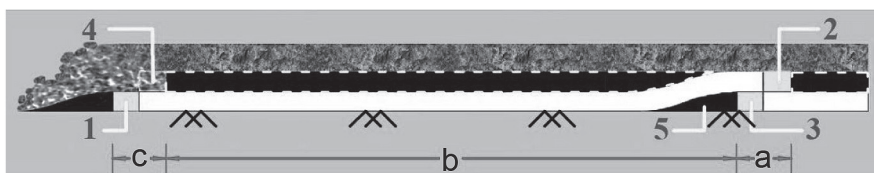


Рис. 8. Метод разработки с крестообразным расположением штреков: 1 – вентиляционный штрек (свежая струя); 2 – вентиляционный штрек (исходящая струя); 3 – вентиляционный штрек следующего забоя; 4 – штрек предыдущего забоя; 5 – потери угля

Fig. 8. Mining with cross roadways: 1 – air roadway (fresh air); 2 – air roadway (return air); 3 – air roadway of next longwall; 4 – roadway of previous longwall; 5 – coal loss

Метод разработки с диагональным расположением штреков

В 1998 г. в Китае был получен патент [10, 11] на новый способ разработки мощных пластов. Целью этой разработки было решение проблем повышения коэффициента извлечения угля, поддержки штреков, стабилизации горного оборудования в очистном забое. Метод получил название «метод разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков», рис. 8.

Как показано на рис. 8, по сравнению с другими методами здесь штреки расположены на двух уровнях. Штрек, по которому выходит исходящая струя, находится под непосредственной кровлей, а вентиляционный штрек со свежей струей находится на почве пласта. Штреки расположены диагонально (крест-накрест). Такое расположение штреков дает следующие преимущества:

1. Более высокий коэффициент извлечения. Как показано на рис. 9, над штреками 2 и 4 целик угля не оставля-

ют, что повышает коэффициент извлечения угля примерно на 2%. Также нет необходимости оставлять целик над штреками 1 и 3, что приводит уже к повышению коэффициента извлечения на 4%. Кроме того, здесь нет целика между соседними лавами, что может дать повышение коэффициента извлечения еще на 7–15%.

Практика свидетельствует, что в целом при переходе на этот способ разработки повышение коэффициента извлечения составляло для угольных шахт Китая более чем 10%.

2. Снижение опасности самовозгорания. Очевидно, что при повышении коэффициента извлечения угля опасность самовозгорания снижается за счет того, что в недрах остается меньше угля. Зоны, за счет которых в недрах остается меньше угля, перечислены выше.

3. Повышение устойчивости штреков. Штреки 2 и 4 (рис. 8) пройдены под непосредственной кровлей пласта, породы которой прочнее, чем уголь. Штрек 1 находится под выработанным

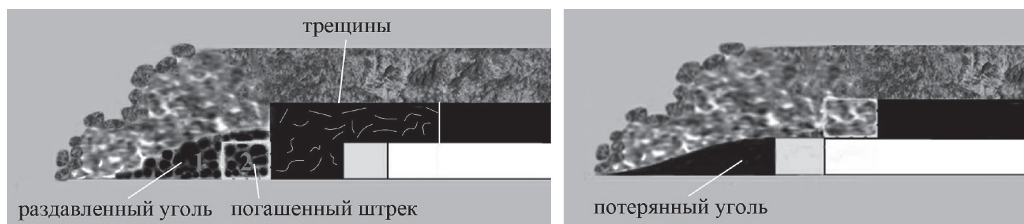


Рис. 9. Источники потерь угля при традиционном и новом способах разработки

Fig. 9. Sources of coal loss in conventional and new mining methods

пространством предыдущего забоя в зоне разгрузки, что тоже способствует его поддержанию.

4. Повышение устойчивости стоек крепи и другого горного оборудования при разработке наклонного мощного угольного пласта. Как показано на рис. 10, штрек 2 расположен под кровлей угольного пласта, а штрек 1 — на его почве. В результате общий уклон забоя снижается и иногда даже может быть равен нулю, что повышает устойчивость горного оборудования. При уменьшающемся угле наклона α формула (1) трансформируется в формулу (2):

$$\sum_{i=1}^n G(\sin \alpha_i - \cos \alpha_i \times f_2) \leq nN(f_1 + f_2), \quad (2)$$

где n — количество стоек крепи.

Из сравнения формул (1) и (2) видно, что во втором случае условие будет выполнено легче из-за наличия слагаемых с низким значением угла α .

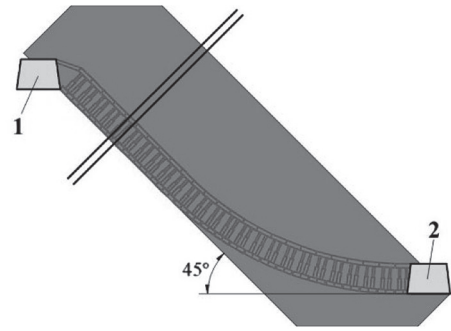


Рис. 10. Изменение уклона забоя при разработке мощного наклонного пласта

Fig. 10. Changing the longwall gradient in thick dipping coal mining

Описываемый метод был разработан более 20 лет назад и обладает большой перспективой широкого применения. На рис. 11 схематично изображены схемы сдвижения горных пород и образования мульды. Видно, что из-за отсутствия целика сдвигение происходит более плавно и безопасно для природ-

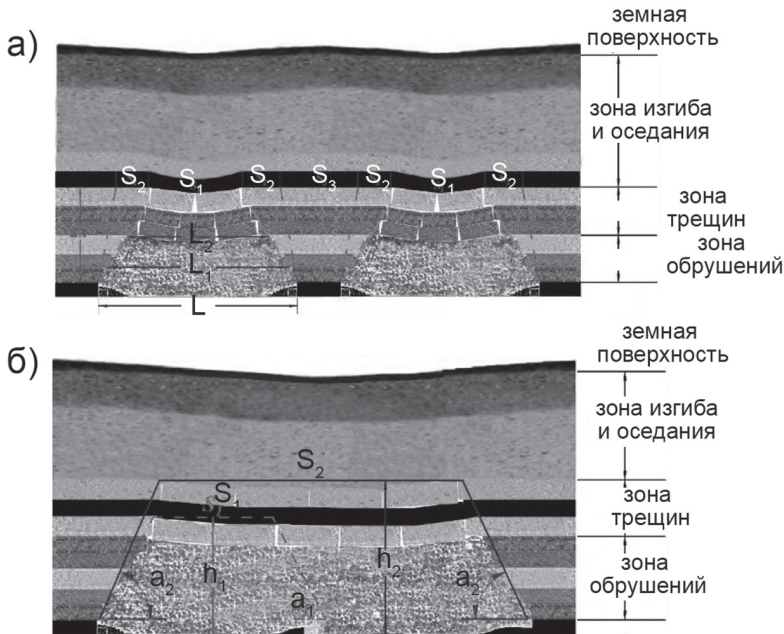


Рис. 11. Характер сдвижения при разных способах разработки мощного пласта: целик между соседними лавами (а); безцеликовая отработка (б)

Fig. 11. Approaching of longwalls in thick coal mining: pillar between neighbor longwalls (a); non-pillar mining (b)

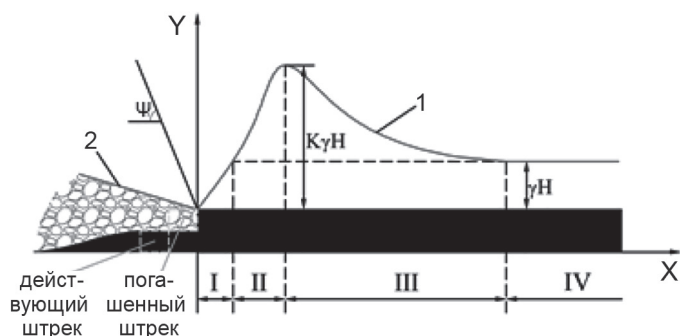


Рис. 12. Расположение штрека в зоне разгрузки, «отрицательный целик»: 1, 2 — горное давление над угольным пластом (1) и в зоне полных сдвижений (2); Ψ — угол полных сдвижений

Fig. 12. Roadway in relaxation zone, 'negative pillar': 1, 2 — strata pressure above coal seam (1) and in complete displacement zone (2); Ψ — complete displacement angle

ных и инженерных объектов на поверхности [12]. Эта особенность влияет на другие геомеханические процессы при разработке, в том числе на опасность проявления газодинамических и динамических явлений. Известно, что для снижения опасности горных ударов рекомендованы бесцеликовые системы разработки [17–21].

На рис. 12 показано распределение давления вблизи очистной выработки. При расположении штрека под зоной обрушения он находится в разгруженной зоне, где давление ниже гравитационного и не зависит от глубины разработки. Такое расположение выработок получило название «отрицательный целик».

Расположение штреков в зоне разгрузки имеет большое значение для их поддержания на больших глубинах и актуально для восточных районов Китая, где имеется много шахт, разрабатывающих удароопасные пласты. Этот метод с диагональным расположением штреков уже применяется на восьми крупных горных предприятиях в Китае, где отмечен его экономический и социальный эффект.

Выводы

В данной работе рассмотрены современные методы добычи угля, применя-

емые в Китае. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- Основными методами, применяемыми в Китае для добычи угля из мощных пластов в настоящий момент, являются два метода — комплексный механизированный метод разработки пластов на их полную мощность (применяется только в простых геологических условиях и является дополнительным методом) и комплексный механизированный метод добычи с выпуском угля (применяется как основной, в том числе в сложных условиях). Несмотря на то, что указанные методы положительно зарекомендовали себя на протяжении многих лет, их применение имеет ряд существенных недостатков, включая низкий коэффициент извлечения, необходимость расположения и поддержки штрека, риск самовозгорания и др.

- Для решения проблем низкого коэффициента извлечения и необходимости поддержки штрека китайские ученые постоянно проводят исследования, благодаря которым удалось разработать решение, при котором вентиляционный штрек проводится вприсечку к выработанному пространству. В то же время для широкомасштабного применения данного решения необходимо проведение дальнейших исследований.

- Перспективным является способ разработки с диагональным (крестообразным) расположением штреков, что способствует устранению многих недостатков предыдущих методов, включая низкий коэффициент извлечения, риск самовозгорания, необходимость поддержки штрека и др. Ожидается, что указанный метод будет широко использоваться для добычи угля подземным способом на глубоких шахтах Китая со сложными горно-геологическими условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Statistical Bulletin on National Economic and Social Development of China in 2018*. 2019. No 3. Pp. 8–22.
2. *China Mineral Resources*. 2019. No 9. Pp. 16–19.
3. *Kaledina N. O., Kobylkin S. S., Kobylkin A. S.* The calculation method to ensure safe parameters of ventilation conditions of goaf in coal mines // *Eurasian Mining*. 2016. No 1. Pp. 41–44. DOI: 10.17580/em.2016.01.07.
4. *Сластунов С. В., Коликов К. С., Ермак Г. П., Ютяев Е. П.* Решение проблемы безопасности угледобычи в долгосрочной программе развития отрасли // *Горный журнал*. – 2015. – № 4. – С. 46–49. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.08.
5. *Batugin A., Myaskov A., Ignatov Y., Khotchenkov E., Krasnoshtanov D.* Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 221. No 1. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012089.
6. *Баловцев С. В.* Оценка схем вентиляции с учетом горно-геологических и горнотехнологических условий отработки угольных пластов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 6. – С. 173–183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.
7. *Малашкина В. А.* Исследование возможностей повышения эффективности подземной дегазации угольных шахт // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 9. – С. 131–137. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-131-137.
8. *Павленко М. В., Скопинцева О. В.* О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – № 3. – С. 43–50. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.
9. *Сластунов С. В., Коликов К. С., Захарова А. А., Мазаник Е. В.* Выбор эффективной физико-химической технологии дегазации угольных пластов // *Химия твердого топлива*. – 2015. – № 6. – С. 44–49. DOI: 10.3103/S0361521915060117.
10. *Zhao Jingli, Wu Jian* China patent: ZL98100544.6, 2002-01-23. Full-seam mining adopted roadway layout of stagger arrangement in thick coal seam.
11. *Zhao Jingli, Li Bao* A study on raising the recovery ratio of fully-mechanized coal caving about stagger position roadway arrangement system // *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*. 1998. Vol. 17. No 3. Pp. 237–239. [in Chinese].
12. *Wang Zhiqiang, Zhao Jingli, Zhang Baoyou, Liu P.-C.* Stable characters of key stratum in stagger arrangement roadway layout top-coal caving mining // *Journal of China Coal Society*. 2008. Vol. 33. No 9. Pp. 961–965. [in Chinese].
13. *He M., Xia H., Ji X., Gong W., Zhao F., Liang K.* Studies on classification, criteria and control of rockbursts // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2012, Vol. 4., No 2. Pp. 97–114.
14. *Zhao J., Fu Q.* Research on roadway layout for ensuring safety in longwall top-coal caving system // *Paper presented at the Mining Science and Technology'99*. 1999. Pp. 39–42.
15. *Цяо Цзаньюн, Батугин А. С., Батугина И. М., Юй Лицзян, Чжао Цзинли* Условия проявления геодинамических явлений на шахте Хуафэн в Китае. – М.: Спутник +, 2016. – 144 с.

16. Клишин В.И. Инновационные технологии и способы обеспечения повышения производительности и безопасности подземной угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — СВ 48. — С. 52 — 63.

17. Petukhov I. M. Forecasting and combating rockbursts: recent developments // Proc. 6th Congress International Society for Rock Mechanics, Montreal, 1987. Vol. 2. Pp. 1207 — 1210.

18. Zhang Junwen, Liu Chang, Li Yulin, Z. Wang Study on the surrounding rock structure of stagger layout roadway and its pressure release as well as deformation yielding mechanism // Journal of China Coal Society. 2018. Vol. 43. No 8. Pp. 2133 — 2143.

19. Cheng Yunhai, Ma Yankun, Hu Zhaofeng, Chen J.-S. Mechanism and key technologies of preventing rock burst by outward staggered entries arrangement in fully-mechanized caving mining face // Journal of China Coal Society. 2016. Vol. 41. No 3. Pp. 564 — 570.

20. Li Zhenlei, Dou Linming, Cai Wu, Gui-Feng Wang, Yanlu Ding, Kong Yong Roadway stagger layout for effective control of gob-side rock bursts in the longwall mining of a thick coal seam // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. No 2. Pp. 621 — 629.

21. Kazanin O. I., Mustafin M. G., Meshkov A. A., Sidorenko A. A. Determination of parameters of intensive flat coal seams mining technology in the conditions of negative effect of mining operations on the daily surface // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2015. No 2. Pp. 51 — 56. **MIAB**

REFERENCES

1. *Statistical Bulletin on National Economic and Social Development of China in 2018*. 2019. No 3. Pp. 8 — 22.

2. *China Mineral Resources*. 2019. No 9. Pp. 16 — 19.

3. Kaledina N. O., Kobylkin S. S., Kobylkin A. S. The calculation method to ensure safe parameters of ventilation conditions of goaf in coal mines. *Eurasian Mining*. 2016. No 1. Pp. 41 — 44. DOI: 10.17580/em.2016.01.07.

4. Slastunov S. V., Kolikov K. S., Ermak G. P., Yutyaev E. P. Safety of coal mining in long-run development. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no 4, pp. 46 — 49. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.08.

5. Batugin A., Myaskov A., Ignatov Y., Khotchenkov E., Krasnoshtanov D. Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 221. No 1. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012089.

6. Balovtsev S. V. Assessment of ventilation circuits with regard to geological and geotechnical conditions of coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(6):173-183. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.

7. Malashkina V. A. Efficiency boosting feature of intensification of coal mine in degasification. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(9):131-137. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-131-137.

8. Pavlenko M. V., Skopintseva O. V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(3):43-50. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

9. Slastunov S. V., Kolikov K. S., Zakharova A. A., Mazanik E. V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. *Khimiya tverdogo topliva*. 2015, no 6, pp. 44 — 49. [In Russ]. DOI: 10.3103/S0361521915060117.

10. Zhao Jingli, Wu Jian *China patent: ZL98100544.6, 2002-01-23*. Full-seam mining adopted roadway layout of stagger arrangement in thick coal seam.

11. Zhao Jingli, Li Bao A study on raising the recovery ratio of fully-mechanized coal caving about stagger position roadway arrangement system. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*. 1998. Vol. 17. No 3. Pp. 237 — 239. [in Chinese].

12. Wang Zhiqiang, Zhao Jingli, Zhang Baoyou, Liu P.-C. Stable characters of key stratum in stagger arrangement roadway layout top-coal caving mining. *Journal of China Coal Society*. 2008. Vol. 33. No 9. Pp. 961 — 965. [in Chinese].

13. He M., Xia H., Ji X., Gong W., Zhao F., Liang K. Studies on classification, criteria and control of rockbursts. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2012, Vol. 4., No 2. Pp. 97 – 114.

14. Zhao J., Fu Q. Research on roadway layout for ensuring safety in longwall top-coal caving system. *Paper presented at the Mining Science and Technology '99*. 1999. Pp. 39 – 42.

15. Tsyao Tszan'yun, Batugin A. S., Batugina I. M., Yuy Litszyan, Chzhao Tszinli *Usloviya proyavleniya geodinamicheskikh yavleniy na shakhte Khuafen v Kitae* [Conditions of geodynamic phenomena at huafeng mine in China], Moscow, Sputnik+, 2016, 144 p.

16. Klishin V. I. Innovative technology and ways to ensure productivity and safety of underground coal mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018. Special edition 48, pp. 52 – 63. [In Russ].

17. Petukhov I. M. Forecasting and combating rockbursts: recent developments. *Proc. 6th Congress International Society for Rock Mechanics*, Montreal, 1987. Vol. 2. Pp. 1207 – 1210.

18. Zhang Junwen, Liu Chang, Li Yulin, Z. Wang Study on the surrounding rock structure of stagger layout roadway and its pressure release as well as deformation yielding mechanism. *Journal of China Coal Society*. 2018. Vol. 43. No 8. Pp. 2133 – 2143.

19. Cheng Yunhai, Ma Yankun, Hu Zhaofeng, Chen J.-S. Mechanism and key technologies of preventing rock burst by outward staggered entries arrangement in fully-mechanized caving mining face. *Journal of China Coal Society*. 2016. Vol. 41. No 3. Pp. 564 – 570.

20. Li Zhenlei, Dou Linming, Cai Wu, Gui-Feng Wang, Yanlu Ding, Kong Yong Roadway stagger layout for effective control of gob-side rock bursts in the longwall mining of a thick coal seam. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. Vol. 49. No 2. Pp. 621 – 629.

21. Kazanin O. I., Mustafin M. G., Meshkov A. A., Sidorenko A. A. Determination of parameters of intensive flat coal seams mining technology in the conditions of negative effect of mining operations on the daily surface. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2015. No 2. Pp. 51 – 56.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Цяо Цзаньюн^{1,2}, — д-р физ.-мат. наук, профессор, ректор, иностранный член Российской инженерной академии,

Ван Цжизян¹, — доктор горной инженерии, доцент, e-mail: wzhiqianglhm@126.com,

Чжао Цзинли¹, — канд. техн. наук, профессор, иностранный член Российской инженерной академии,

¹ Китайский горный университет (Пекин), Китай,

² Пекинский университет почты и телекоммуникаций, Китай.

Для контактов: Ван Цжизян, e-mail: wzhiqianglhm@126.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Qiao Jianyong^{1,2}, Dr. Sci. (Phys. Mathem.), Professor, Rector,

Foreign Member of Russian Engineering Academy,

Wang Zhiqiang¹, Doctor of Mining Engineering, Assistant Professor,

e-mail: wzhiqianglhm@126.com,

Zhao Jingli¹, Cand. Sci. (Eng.), Professor,

Foreign Member of Russian Engineering Academy,

¹ China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing, China, 100083,

² Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, China, 100876.

Corresponding author: Wang Zhiqiang, e-mail: wzhiqianglhm@126.com.

Получена редакцией 13.04.2020; получена после рецензии 21.05.2020; принята к печати 20.07.2020.

Received by the editors 13.04.2020; received after the review 21.05.2020; accepted for printing 20.07.2020.