

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСЦЕЛИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ, СКЛОННОГО К САМОВОЗГОРАНИЮ

Д.Д. Голубев

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ddgolubev@mail.ru

**Аннотация:** При отработке пологих пластов угля на территории Кузнецкого угольного бассейна в настоящее время применяется исключительно система разработки длинными столбами с подготовкой сдвоенными выработками. В то же время основной причиной формирования очагов самовозгорания в шахтах является именно оставление целиков угля в выработанном пространстве. Опасность возникновения эндогенных пожаров возрастает с увеличением объема потерь разрыхленного угля в выработанном пространстве, которое связано с постоянными ростом глубины ведения горных работ и увеличением размеров выемочных столбов. Целью исследований являлась разработка альтернативной технологии отработки пологих пластов угля, позволяющей снизить опасность формирования очагов самовозгорания в выработанном пространстве и определение параметров ее отличительных элементов в зависимости от мощности обрабатываемого пласта и глубины ведения горных работ. Представлен новый принцип ведения очистных и подготовительных работ на пластах угля, склонного к самовозгоранию, а также результаты исследований с использованием численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород и элементов разработанной технологии на разных этапах отработки выемочного участка. Исследования показали, что снижение эндогенной пожароопасности достигается путем отработки целика угля на одной линии с очистным забоем и исключением аэрологической связи между обрабатываемым выемочным столбом и выработанным пространством ранее отработанного столба за счет возведения на границе между ними полос из твердеющих материалов. Дана оценка взаимному влиянию ширины полосы из твердеющих материалов и ширины целика угля как элементов разработанной технологии.

**Ключевые слова:** уголь, самовозгорание угля, подземная разработка, целики угля, бесцеликовые технологии, системы разработки длинными столбами, выработанное пространство, полосы из твердеющих материалов, численное моделирование.

**Для цитирования:** Голубев Д.Д. Использование бесцеликовых технологий при отработке пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 64–77. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-64-77.

### Using pillar-free mining technologies in gently dipping and self-ignitable coal seams

D.D. Golubev

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: ddgolubev@mail.ru

---

**Abstract:** Gently dipping coal seams of the Kuznetsk Coal Basin are cut exclusively by longwalls with preliminary drivage of twin gate ways. At the same time, the source of self-ignition in mines is pillars of coal left in mined-out areas. Endogenous fire hazard grows with higher losses of loose coal in mined-out areas due to a persistent increase in mining depth and in size of longwalls. This research aims at development of an alternative mining technology for gently dipping coal seams to reduce the risk of initiation of self-ignition sources in mined-out areas and at the determination of parameters of the technology elements as functions of coal seam thickness and mining depth. A new concept of preparatory works and actual mining in self-ignitable coal seams is described. The study results obtained with numerical modeling of the stress–state behavior of rock mass and the developed technology elements at different stages of longwalling are presented. The studies show that endogenous fire hazard is reduced by means of extraction of coal pillar on the same line with face and due to elimination of aerological connection between the operating longwall and earlier mined-out area owing to construction of a separation belt made of solidifying materials between them. The cross-effect of the widths of the solidifying material belt and coal pillar as the elements of the developed technology is estimated.

**Key words:** coal, coal self-ignition, underground mining, coal pillars, pillar-free technologies, longwall mining systems, mined-out area, solidifying material belts, numerical modeling.

**For citation:** Golubev D. D. Using pillar-free mining technologies in gently dipping and self-ignitable coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):64-77. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-64-77.

---

## Введение

В настоящее время более половины от общего объема угля, добываемого в России ежегодно, приходится на предприятия Кузнецкого угольного бассейна. Осуществляющие добычу угля подземным способом шахты, имеющие наибольшую производственную мощность и отличающиеся оснащённостью современным высокопроизводительным оборудованием, а также применением передовых технологических решений, преимущественно располагаются также на территории Кузбасса [1]. Указанные факты обусловлены в первую очередь горно-геологическими условиями ведения горных работ, большая часть из которых производится на пологих мощных и средней мощности пластах. Такие условия позволяют шахтам наиболее полно реализовать потенциал современного горнодобывающего оборудования и наращивать производительность.

Оценивая перспективу развития подземной добычи угля в Кузбассе, необходимо принимать во внимание тот факт,

что большинство угольных пластов на его территории характеризуются как газозонные, а сам уголь склонен к самовозгоранию [2]. Возникшие очаги самовозгорания в шахте могут инициировать взрыв метановоздушной смеси, последствиями которого могут стать как человеческие жертвы, так и значительный экономический ущерб, связанный, в зависимости от масштаба аварии, с простоем очистного забоя и затратами на устранение последствий или с полной потерей дорогостоящего оборудования и запасов шахтного поля [3].

Опыт работы современных угольных шахт показывает, что использование комбинированных схем проветривания выемочного участка с изолированным отводом части струи воздуха через выработанное пространство позволяет существенно снизить газовыделение в очистном забое. Для реализации указанной схемы между выемочными столбами оставляют неразрушаемые горным давлением целики угля. Целик, оставленный со стороны выработанного пространства

смежного отработанного выемочного столба, позволяет исключить его влияние на работу очистного забоя. Целик, оставленный со стороны смежного подлежащего отработке выемочного столба, позволяет отводить метановоздушную смесь из выработанного пространства отработываемого выемочного столба через вентиляционные сбойки или скважины, а также подводить по параллельному штреку свежую струю воздуха для подсыхания исходящей струи воздуха из лавы [4].

В то же время результаты научных исследований показывают, что именно оставление целиков угля в выработанном пространстве является основной причиной формирования очагов самовозгорания [5 – 6]. Это связано с влиянием опорного горного давления, которое воздействует на целики и разрушает их краевые части [7]. Утечки воздуха, которые неизбежно поступают из очистного забоя в выработанное пространство, доставляют кислород к скоплениям разрыхленного угля, способствуя его окислению, в результате которого увеличивается температура угля и опасность его самовозгорания [8 – 10]. Проблема с самовозгоранием угля в выработанном пространстве получила особое значение в последние годы, когда надежность применяемого оборудования позволила увеличивать длину лавы и выемочного столба. Кроме того, ежегодно наблюдается увеличение глубины ведения горных работ и рост скорости подвигания очистных забоев.

Совокупность этих факторов приводит к увеличению нагрузки на целики угля в выработанном пространстве и, как следствие, к увеличению опасности формирования очагов самовозгорания [4]. Таким образом, использование технологий с оставлением целиков угля в выработанном пространстве в перспективе, с учетом тенденции к увеличению

размеров выемочных столбов и скорости подвигания очистных забоев, небезопасно.

Следует отметить, что помимо высокой опасности формирования очагов самовозгорания, значительными недостатками технологии с оставлением целиков угля в выработанном пространстве являются потери полезного ископаемого в целиках и формирование обширных зон повышенного горного давления, которые осложняют ведение горных работ на смежных пластах свиты [11]. Как и эндогенная пожароопасность, потери угля в целиках и влияние зон ПГД возрастают с увеличением размеров выемочных столбов и глубины ведения горных работ [12].

Исходя из вышеизложенного, необходимо в ближайшем будущем внедрить на шахты новые бесцеликовые технологии. Однако, альтернативная бесцеликовая технология в условиях рыночной экономики должна отвечать не только высоким стандартам безопасности, но и не уступать существующим аналогам в возможности обеспечения высокой нагрузки на очистной забой [13].

Одним из возможных вариантов является технология с отработкой целика угля, расположенного на границе с выработанным пространством ранее отработанного выемочного столба, на одной линии с очистным забоем. Это позволит реализовать комбинированную схему проветривания с изолированным отводом части воздушной струи через выработанное пространство, однако в таком случае возрастает влияние выработанного пространства смежного ранее отработанного выемочного столба на работу очистного забоя, которое может проявляться, например, в виде выбросов метана. Кроме того, при реализации указанной технологии необходимо отводить струю воздуха, предназначенную для проветривания тупика лавы, примы-

кающего к выработанному пространству, через завалы и обрушения, что противоречит пункту № 133 «Правил безопасности в угольных шахтах» [14]. Исключить указанные недостатки возможно путем формирования на границе между выемочными столбами полосы из твердеющих материалов, предназначенной для изоляции очистного забоя от выработанного пространства смежного отработанного участка и создания условий для проветривания тупика лавы без формирования аэрологической связи с выработанным пространством.

Подобные искусственные конструкции успешно использовались на угольных шахтах России и Украины для охраны и повторного использования участков выработок, а также на рудниках, разрабатывающих месторождения калийно-магниевых солей, для снижения оседаний основной кровли с целью умень-

шения опасности возникновения водопроводящих каналов между пластом и водоносными горизонтами [15]. Для снижения затрат на формирование полос из твердеющих материалов предполагается использование сырья, добываемого на близрасположенных предприятиях, что может положительно сказаться на экономическом развитии региона [16].

Анализ возможных вариантов возведения полосы из твердеющих материалов на разных этапах подготовки и отработки выемочного столба показал, что предпочтительным вариантом является возведение полосы заблаговременно, в процессе подготовки выемочного участка (рис. 1).

Согласно разработанной технологии, отработка выемочных столбов производится длинными столбами по простиранию в восходящем порядке. При проведении двух параллельных участков

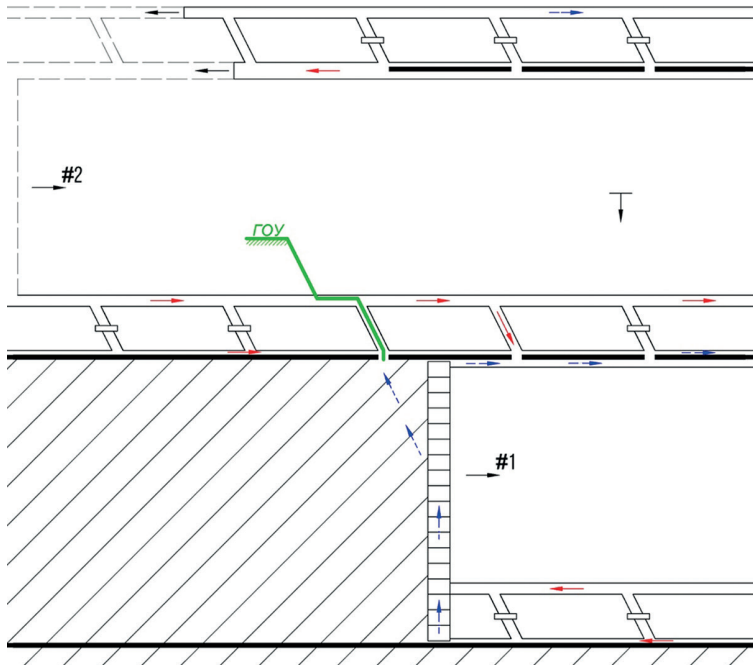


Рис. 1. Отработка целика угля на одной линии с очистным забоем с предварительным возведением полосы из твердеющих материалов

Fig. 1. Extraction of coal pillar on the same line with longwall face with preliminary construction of a separating belt of solidifying materials

штреков для подготовки смежных выемочных столбов, в нижнем из них с отставанием от проходческого забоя формируется полоса из твердеющих материалов, которая разделяет штрек на две обособленные части. Нижняя из частей используется в качестве участкового штрека и погашается за лавой, а верхняя часть охраняется полосой из твердеющих материалов и используется только после перехода очистных работ на смежный вышерасположенный выемочный столб для проветривания тупика лавы без формирования аэрологической связи с выработанным пространством смежного выемочного столба при отработке целика угля на одной линии с очистным забоем.

Для оценки возможности использования разработанной бесцеликовой технологии с полосами из твердеющих материалов на современных шахтах необходимо определить минимально-необходимую ширину полосы и целика угля для различных горно-геологических условий.

### **Методика исследований**

Для анализа напряженно-деформированного состояния горного массива, целиков угля и полос из твердеющих материалов используется численное моделирование.

Моделирование включает стадии, которые имитируют постепенное образование полостей в массиве в виде выработок и выработанного пространства. Это позволяет учитывать на каждой последующей стадии начальные деформации, которые были реализованы на предыдущих стадиях [17].

Нагрузка модели производится весом вышележащих пород. Для имитации воздействия опорного горного давления, формируемого перед очистным забоем, в модели предусмотрена искусственная пригрузка массива [18].

Правила безопасности для угольных шахт устанавливают ширину части горизонтальной или наклонной выработки, предназначенной для передвижения людей не менее 0,7 м. Таким образом, ширина вентиляционного просека в модели принимается равной 1 м. Ширина вентиляционного штрека в модели принимается равной мощности пласта, но не менее 3 м.

Высота части горизонтальной или наклонной выработки, предназначенной для передвижения людей, должна составлять не менее 1,8 м. Исходя из этого, высота участковой выработки, разделяемой полосой из твердеющих материалов на вентиляционный штрек и вентиляционный просек, и, соответственно, высота самой полосы в модели принимается равной мощности вынимаемого пласта, но не менее 2,0 м.

Определяемыми параметрами при моделировании являются минимальная ширина полосы из твердеющих материалов, достаточная для предотвращения образования аэрологической связи очистного забоя и вентиляционного просека с выработанным пространством ранее отработанного смежного выемочного участка, и минимальная ширина целика угля, достаточная для предотвращения образования аэрологической связи между конвейерным штреком и вентиляционным просеком.

Согласно рекомендациям ИГД им. А.А. Скочинского, ширина искусственных полос должна быть не менее 1,0 м [19]. Исходя из этого, для определения ширины полосы из твердеющих материалов принимается минимальная ширина ненарушенного воздухонепроницаемого ядра 1,0 м.

Согласно «Инструкции по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих ус-

тановок», ширина ненарушенного воздухонепроницаемого ядра целика угля должна быть не менее 3 м [20]. Исходя из этого, для определения ширины целика угля принимается минимальная ширина ненарушенного воздухонепроницаемого ядра 3,0 м.

Минимальная ширина полосы из твердеющих материалов и ширина целика угля определяются методом подбора, до получения величины, при которой ширина ненарушенного воздухонепроницаемого ядра на стадии влияния опорного горного давления, формируемого перед очистным забоем, будет не менее заданного значения и максимальна приближена к нему.

Согласно требованиям «Инструкции по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля», подготовка пологих и наклонных пластов горными выработками по углю должна осуществляться с оставлением целиков между выработками смежных столбов шириной не менее 20 м [21]. Исходя из этого, изначальная ширина целика при моделировании принимается равной 20 м. Изначальная ширина полосы из твердеющих материалов

при моделировании принимается равной мощности отрабатываемого пласта.

Для определения влияния глубины ведения горных работ и мощности отрабатываемого пласта на ширину полосы и целика угля, исследования проводились при изменении глубины от 100 до 500 м с шагом в 100 м и при изменении мощности отрабатываемого пласта от 1 до 5 м с шагом в 1 м.

Для определения влияния ширины целика угля на ширину полосы из твердеющих материалов, проводились исследования изменения ширины ненарушенного воздухонепроницаемого ядра полосы из твердеющих материалов при увеличении целика угля в 1,5 и 2 раза.

Для определения влияния ширины полосы из твердеющих материалов на ширину целика угля, проводились исследования изменения ширины ненарушенного воздухонепроницаемого ядра целика угля при уменьшении полосы за счет увеличения ее прочности.

### Результаты исследований

Выявлена зависимость ширины полосы из твердеющих материалов и целика угля от глубины ведения горных работ и мощности пласта при отработ-

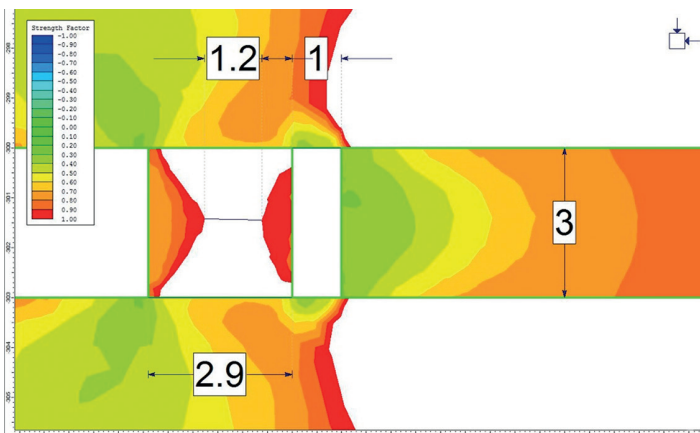


Рис. 2. Определение ширины ненарушенного воздухонепроницаемого ядра при ширине полосы из твердеющих материалов 2,9 м

Fig. 2. Determination of width of undisturbed air-tight core at the solidifying material belt width of 2.9 m

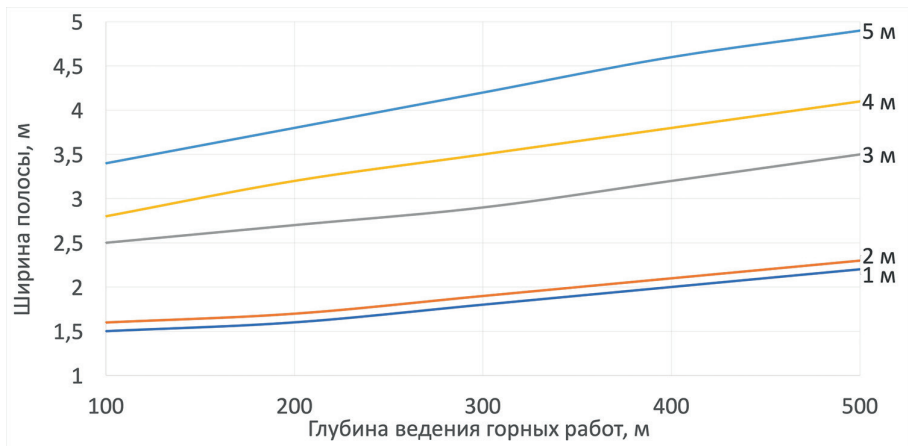


Рис. 3. График зависимости ширины полосы из твердеющих материалов от мощности пласта и глубины ведения горных работ

Fig. 3. Cross-plot of solidifying material belt, coal seam thickness and mining depth

ке пологих пластов угля по предложенной бесцеликовой технологии. Пример результатов исследований по определению ширины полосы из твердеющих материалов при отработке пласта мощностью 3 м на глубине 300 м представлен на рис. 2.

Результаты моделирования этапа влияния опорного горного давления, формируемого перед очистным забоем, на полосу из твердеющих материалов на границе с выработанным пространством при заданных глубине ведения горных работ и мощности пласта показали, что

ширина ненарушенного воздухопроницаемого ядра при ширине полосы 3,0; 2,9 и 2,8 м составит 1,3; 1,2 и 0,8 м соответственно. Согласно принятой методике исследований, ширина полосы из твердеющих материалов в заданных условиях принимается равной 2,9 м.

Результаты определения ширины полосы из твердеющих материалов при различной мощности пласта и глубине ведения горных работ представлены на рис. 3.

Как и в случае с полосой из твердеющих материалов, необходимая ширина

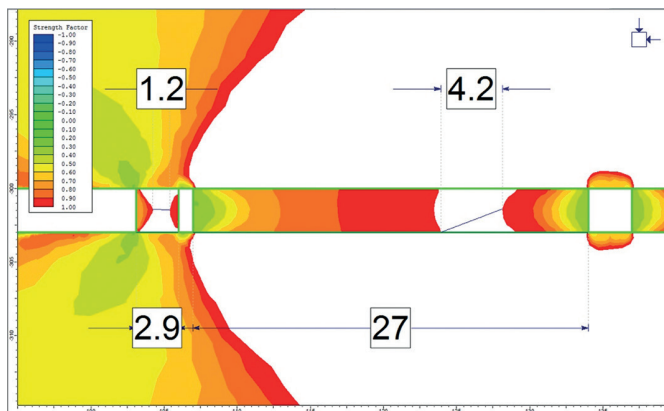


Рис. 4. Определение ширины ненарушенного воздухопроницаемого ядра целика при ширине целика угля 27 м

Fig. 4. Determination of width of undisturbed air-tight core at the solidifying material belt width of 27 m

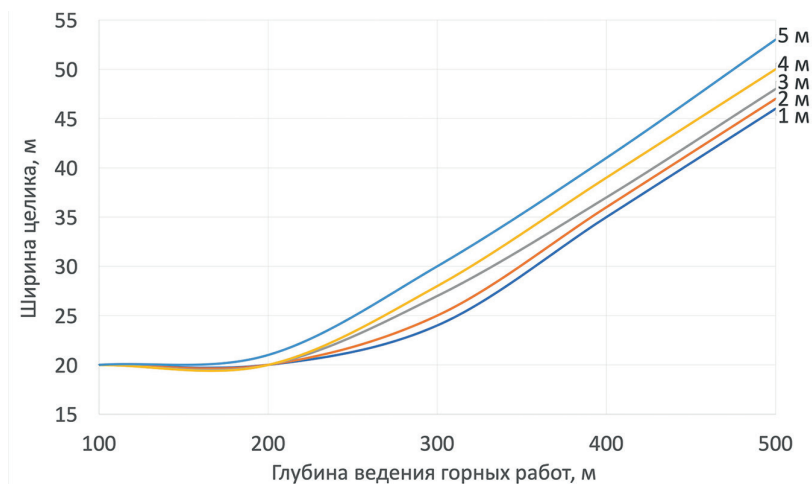


Рис. 5. График зависимости ширины целика угля от мощности пласта и глубины ведения горных работ  
 Fig. 5. Cross-plot of coal pillar width, coal seam thickness and mining depth

целика угля определяется на этапе максимального влияния опорного горного давления, формируемого перед очистным забоем и на границе с выработанным пространством. Пример результатов исследований по определению ширины целика угля при известной ширине полосы из твердеющих материалов (2,9 м) и соответствующих условиях (мощность пласта — 3 м, глубина ведения горных работ — 300 м) представлен на рис. 4.

Результаты моделирования показали, что ненарушенное воздухопроницаемое ядро в заданных условиях остается в целике при его минимальной ширине 26 м и составляет 2,2 м. При ширине целика 27 м ширина ненарушенного воздухопроницаемого ядра составляет 4,2 м. Согласно принятой методике исследований, ширина целика угля в заданных условиях принимается равной 27 м.

Полученные результаты определения ширины целика угля при различной мощности пласта и глубине ведения горных работ представлены на рис. 5.

На основании полученных эмпирических значений ширины полосы из твердеющих материалов и целика угля, определенных в общих условиях, был

произведен анализ изменения ширины ненарушенного воздухопроницаемого ядра полосы при увеличении исходной ширины целика в 1,5 и 2 раза. Пример результатов исследований при мощности пласта 3 м, глубине ведения горных работ 300 м, ширине полосы из твердеющих материалов 2,9 м и ширине целика угля 27 м, увеличенной в два раза (54 м), представлен на рис. 6.

Результаты моделирования показали, что ширина ненарушенного воздухопроницаемого ядра полосы из твердеющих материалов не изменяется с увеличением целика угля.

Аналогичным образом, на основании известных значений ширины полосы из твердеющих материалов и целика угля, определенных в общих условиях, был произведен анализ влияния ширины полосы из твердеющих материалов на ширину ненарушенного воздухопроницаемого ядра целика угля. Изменение ширины полосы производилось за счет использования для ее формирования материалов различной прочности.

Пример результатов исследований, при мощности пласта 3 м, глубине ведения горных работ 300 м, ширине целика угля 27 м и ширине полосы из твер-

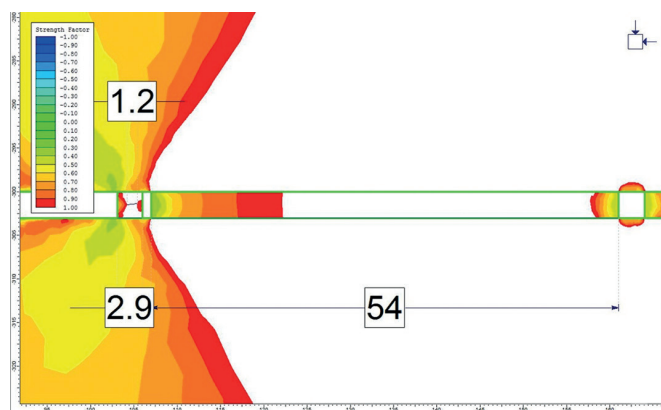


Рис. 6. Определение ширины ненарушенного воздухо непроницаемого ядра полосы из твердеющих материалов при ширине целика угля 54 м

Fig. 6. Determination of width of undisturbed air-tight core at the solidifying material belt width of 54 m

деющих материалов 3,1 м (класс бетона В30) представлен на рис. 7.

По результатам моделирования, в заданных условиях ширина полосы из бетона класса В30, В35 и В40 составила 3,1, 2,9 и 2,7 м соответственно. При этом ширина ненарушенного воздухо непроницаемого ядра целика угля при полосе шириной 3,1 м составила 5,5 м, при полосе шириной 2,9 м — 4,2 м, при полосе шириной 2,7 — 3,4 м. В то же время, увеличение ширины полосы до 3,1 м не позволило уменьшить ширину целика угля до 26 м, так как в этом случае ширина ненарушенного воздухо-

проницаемого ядра целика составила меньше 3 м.

### Обсуждение результатов

Ширина полос из твердеющих материалов возрастает с увеличением глубины ведения горных работ. Это может быть связано с увеличением веса толщи пород над полосой, который закономерно возрастает с увеличением расстояния от нее до земной поверхности. Сравнительный анализ ширины полос из твердеющих материалов при отработке на одной глубине пластов разной мощности показывает, что с увеличением мощ-

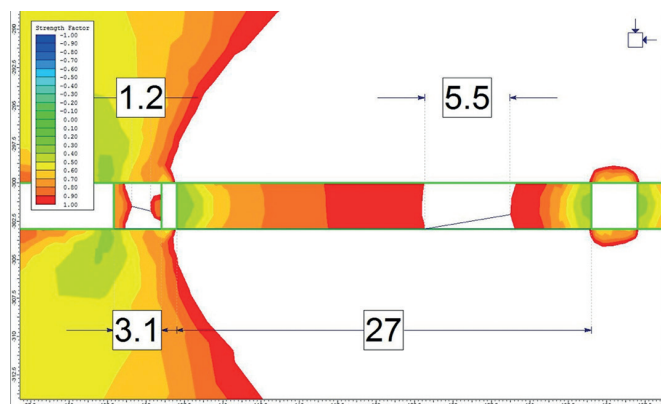


Рис. 7. Определение ширины ненарушенного воздухо непроницаемого ядра целика угля при ширине полосы из твердеющих материалов 3,1 м

Fig. 7. Determination of width of undisturbed air-tight core at the solidifying material belt width of 3.1 m

ности пласта ширина полос возрастает. Это может быть связано с коэффициентом формы, который увязывает высоту полосы из твердеющих материалов, связанную с мощностью обрабатываемого пласта, с несущей способностью полосы.

Полученные выводы о влиянии глубины ведения горных работ и мощности обрабатываемых пластов справедливы как для искусственных полос, так и для целиков угля.

Следует отметить, что при увеличении мощности пласта с 1 до 2 м, ширина полос из твердеющих материалов на разной глубине ведения горных работ увеличивается в среднем на 5,6%, в то время как при увеличении мощности пласта с 2 до 3 м, среднее увеличение ширины полос на разной глубине возрастает до 54,5%. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что затраты на формирование полос из твердеющих материалов существенно ниже при обработке пластов угля мощностью до 2 м.

Согласно результатам проведенных исследований, минимальная по нормативным требованиям ширина целика угля (20 м) при разной мощности пластов не изменяется до глубины 200 м. На глубине более 200 м ширина целиков увеличивается равномерно и пропорционально мощности обрабатываемых пластов.

Анализ влияния ширины целика угля на ширину полосы из твердеющих материалов показывает, что с увеличением ширины целика увеличивается ширина его ненарушенного воздухонепроницаемого ядра, при этом ширина полосы из твердеющих материалов остается неизменной. Удалось отметить, что независимо от ширины целика угля ненарушенное воздухонепроницаемое ядро остается на одинаковом расстоянии от выработанного пространства. Это позволяет сделать вывод о том, что определяющее значение в распределении

нагрузки пород кровли между целиком угля и полосой из твердеющих материалов имеет зона влияния опорного горного давления, формируемого на границе с выработанным пространством.

Полученные результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что уменьшение ширины полосы возможно путем использования для ее формирования материалов с более высокими прочностными характеристиками. Следует отметить, что влияние уменьшения ширины полосы из твердеющих материалов на ширину целика угля незначительно и связано со смещением точки опоры горного давления на границе с выработанным пространством.

Стремиться к минимизации ширины полосы из твердеющих материалов необходимо не только для уменьшения затрат на ее формирование, но и для уменьшения затрат на проведение участковой выработки, в которой, согласно разработанной технологии, возводят искусственную полосу.

Учитывая, что разработанная технология является бесцеликовой и подразумевает полную отработку запасов на выемочном участке, необходимо стремиться к увеличению доли запасов, обрабатываемых с применением очистного механизированного комплекса, и снижению доли запасов, обрабатываемых проходческим комбайном в процессе подготовке выемочного участка пластовыми выработками (попутная добыча). Это связано с себестоимостью добываемого угля, которая существенно ниже при отработке запасов с применением очистного механизированного комплекса, чем при попутной добыче.

На основании предварительной оценки полученных результатов можно сделать вывод, что областью применения разработанной технологии являются толстые пласты угля мощностью 2,0–2,5 м. Целью дальнейших исследований

является подробная оценка экономической эффективности применения разработанной технологии в различных горно-геологических условиях.

### **Заключение**

Применяемые при разработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, системы разработки длинными столбами с оставлением целиков в выработанном пространстве являются потенциально опасными и требуют усовершенствования в ближайшие годы.

Для безопасной отработки пластов угля, склонного к самовозгоранию, необходимо разрабатывать новые и совершенствовать существующие бесцеликовые технологии.

Использование бесцеликовых технологий при отработке пологих пластов угля, склонного к самовозгоранию, позволяет не только снизить риск формирования очагов самовозгорания, но и сократить объем эксплуатационных потерь угля, а также уменьшить негативное влияние горных работ на состояние сближенных пластов свиты, так как все эти факторы связаны с оставлением целиков в выработанном пространстве.

Для повышения безопасности ведения горных работ на пологих пластах угля, склонного к самовозгоранию, и увеличения доли извлечения запасов угольных месторождений можно рекомендовать технологию с отработкой угольных целиков на одной линии с очистным забоем после выполнения ими основных функций по охране горных выработок и газоуправлению на выемочном участке, которая также включает в себя использование полос из твердеющих материалов на границе с выработанным пространством для исключения влияния выработанного пространства на работу очистного забоя. Данная технология обеспечивает максимальное извлечение балансовых запасов. При этом безопас-

ность обеспечивается исключением аэрологической связи между обрабатываемым участком и выработанным пространством ранее отработанного выемочного участка за счет сохранения в полосе из твердеющих материалов ненарушенного воздухо непроницаемого ядра, а также минимальными потерями угля в выработанном пространстве.

Выбор оптимальных параметров полос из твердеющих материалов для конкретных горно-геологических условий остается важной и актуальной задачей. Проектирование технологий с использованием полос на границе с выработанным пространством должно производиться с учетом параметров выемочного участка, мощности пласта, глубины залегания пласта, характеристик горного массива и т.д. Также необходимо учитывать влияние на полосы опорного горного давления, формируемого как перед очистным забоем, так и на границе с выработанным пространством.

Учитывая, что согласно рекомендуемой технологии, полоса из твердеющих материалов разделяет участковую выработку на две обособленные части, уменьшение ширины полосы обеспечит возможность уменьшения изначальной площади сечения участковой выработки, и таким образом позволит снизить затраты не только на формирование полосы, но и на поддержание выработки, транспортирование горной массы и материалов и пр. Кроме того, уменьшение изначальной площади сечения участковой выработки позволит увеличить долю запасов участка, обрабатываемых с применением очистного механизированного комплекса.

Уменьшение ширины полос из твердеющих материалов и область применения предлагаемой технологии зависят, в первую очередь, от прочностных характеристик, используемых для формирования полос материалов и их стоимости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2018 года // Уголь. — 2019. — № 3 (1116). — С. 64–79. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-64-79.
2. Шаклеин С. В., Писаренко М. В. Концепция развития сырьевой базы Кузнецкого угольного бассейна // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2014. — № 3. — С. 118–125.
3. Зубов В. П., Федоров А. С. Системы разработки пластов на «шахтах-лавах»: достоинства, недостатки, направления совершенствования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 57. — С. 272–277. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-272-277.
4. Голубев Д. Д. Влияние комбинированных схем проветривания выемочного участка на эндогенную пожароопасность высокопроизводительных угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 56. — С. 66–74. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-66-74.
5. Кривоногова А. В., Стрекалова С. А. Статистический анализ аварий на шахтах Кемеровской области // Научные исследования: от теории к практике. — 2016. — № 4–2. С. 43–45.
6. Hao M., Li Y., Song X., Kang J., Su H., Zhou F. Hazardous areas determination of coal spontaneous combustion in shallow-buried gobs of coal seam group: a physical simulation experimental study // Environmental Earth Sciences. 2019. Vol. 78. No 1. DOI: 10.1007/s12665-018-8010-5.
7. Скрицкий В. А. Причины взрывов метана в высокопроизводительных угольных шахтах Кузбасса // Инноватика и экспертиза. — 2017. — № 2. — С. 171–180.
8. Su H., Zhou F., Li J., Qi H. Effects of oxygen supply on low-temperature oxidation of coal. A case study of Jurassic coal in Yima, China // Fuel. 2017. Vol. 202. Pp. 446–454. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.04.055.
9. Deng J., Lei C., Xiao Y., Cao K., Ma L., Wang W., Laiwang B. Determination and prediction on «three zones» of coal spontaneous combustion in a gob of fully mechanized caving face // Fuel. 2018. Vol. 211. Pp. 458–470. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.09.027.
10. Xu T. Heat effect of the oxygen-containing functional groups in coal during spontaneous combustion processes // Advanced Powder Technology. 2017. Vol. 28. No 8. Pp. 1841–1848. DOI: 10.1016/j.appt.2017.01.015.
11. Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G. Underground mining of multiple coal seams: Problems and solutions // Eurasian Mining. 2016. No 2. Pp. 11–15. DOI: 10.17580/em.2016.02.03.
12. Sidorenko A. A., Sirenko Y. G., Sidorenko S. A. An assessment of multiple seam stress conditions using a 3-D numerical modelling approach // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1333. No 3. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032078.
13. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Sementsov V. V. Determination of technology parameters of the thick steep gassy seams mining with sublevel caving and coal discharge mining system // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2014. No 6. Pp. 52–58.
14. Правила безопасности в угольных шахтах. Сер. 05. Вып. 40. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. 196 с.
15. Gromtsev K. V., Kovalsky E. R. Justification of stowing methods of the mined-out space during potasil deposits mining using longwall method // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources: Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers, St. Petersburg, Russia, 18–20 April 2018. London: CRC Press, 2018. Pp. 61–66.
16. Ivanov V. V., Sidorenko S. A., Sidorenko A. A., Korzhavykh P. V. The prospects of introduction of surface miners in technology of development of deposits of contiguous seams of the limestone // Advances in Environmental Biology. 2014. Vol. 8. No 13. Pp. 298–300.

17. Ilinets A.A., Sidorenko A.A., Sirenko Y.G. Computer modelling of a floor heave in coal mines // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1333. No 3. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032028.

18. Карпов Г.Н., Ковальский Е.Р., Смычник А.Д. Определение параметров разгрузки массива горных пород на концевых участках демонтажной камеры // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2019. — № 8. — С. 95–107. DOI: 10.25018/0236-1493 2019-08-0-95-107.

19. *Временная инструкция по охране выемочных выработок полосами из твердеющих материалов*. — М.: изд. ИГД им. А.А. Скочинского, 1981. — 20 с.

20. *Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок*. Сер. 05. Вып. 21. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2012. — 126 с.

21. *Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля*. Сер. 05. Вып. 46. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 56 с. **ПЛАБ**

## REFERENCES

1. Tarazanov I.G. Results of the Russian coal industry in January-December 2018. *Ugol'*. 2019, no 3 (1116), pp. 64–79. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-64-79.

2. Shaklein S.V., Pisarenko M.V. Concept of development of the raw material base of the Kuznetsk coal basin. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no 3, pp. 118–125. [In Russ].

3. Zubov V.P., Fedorov A.S. Development system for seam «mine-breakage face»: advantages, disadvantages, directions of perfection. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no S7, pp. 272–277. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-7-272-277.

4. Golubev D.D. Influence of the combined ventilation schemes of extracting area on endogenous fire hazard of high-performance coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no S6, pp. 66–74. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-66-74.

5. Krivonogova A.V., Strekalova S.A. Statistical analysis of accidents at mines in the Kemerovo region. *Nauchnye issledovaniya: ot teorii k praktike*. 2016, no 4–2, pp. 43–45. [In Russ].

6. Hao M., Li Y., Song X., Kang J., Su H., Zhou F. Hazardous areas determination of coal spontaneous combustion in shallow-buried gobs of coal seam group: a physical simulation experimental study. *Environmental Earth Sciences*. 2019. Vol. 78. No 1. DOI: 10.1007/s12665-018-8010-5.

7. Skritskiy V.A. Causes of methane explosions in highly productive coal mines of Kuzbass. *Innovatika i ekspertiza*. 2017, no 2, pp. 171–180. [In Russ].

8. Su H., Zhou F., Li J., Qi H. Effects of oxygen supply on low-temperature oxidation of coal. A case study of Jurassic coal in Yima, China. *Fuel*. 2017. Vol. 202. Pp. 446–454. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.04.055.

9. Deng J., Lei C., Xiao Y., Cao K., Ma L., Wang W., Laiwang B. Determination and prediction on «three zones» of coal spontaneous combustion in a gob of fully mechanized caving face. *Fuel*. 2018. Vol. 211. Pp. 458–470. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.09.027.

10. Xu T. Heat effect of the oxygen-containing functional groups in coal during spontaneous combustion processes. *Advanced Powder Technology*. 2017. Vol. 28. No 8. Pp. 1841–1848. DOI: 10.1016/j.apt.2017.01.015.

11. Sidorenko A.A., Sishchuk J.M., Gerasimova I.G. Underground mining of multiple coal seams: Problems and solutions. *Eurasian Mining*. 2016. No 2. Pp. 11–15. DOI: 10.17580/em.2016.02.03.

12. Sidorenko A.A., Sirenko Y.G., Sidorenko S.A. An assessment of multiple seam stress conditions using a 3-D numerical modelling approach. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1333. No 3. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032078.

13. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Sementsov V. V. Determination of technology parameters of the thick steep gassy seams mining with sublevel caving and coal discharge mining system. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2014. No 6. Pp. 52 – 58.

14. *Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh*. Ser. 05. Vyp. 40 [Safety rules in the coal mines. Vol. 05. No 40]. Moscow, ZAO NTTS PB, 2017, 196 p.

15. Gromtsev K. V., Kovalsky E. R. Justification of stowing methods of the mined-out space during potasil deposits mining using longwall method. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources: Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers*, St. Petersburg, Russia, 18 – 20 April 2018. London: CRC Press, 2018. Pp. 61 – 66.

16. Ivanov V. V., Sidorenko S. A., Sidorenko A. A., Korzhavykh P. V. The prospects of introduction of surface miners in technology of development of deposits of contiguous seams of the limestone. *Advances in Environmental Biology*. 2014. Vol. 8. No 13. Pp. 298 – 300.

17. Ilinets A. A., Sidorenko A. A., Sirenko Y. G. Computer modelling of a floor heave in coal mines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1333. No 3. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/3/032028.

18. Karpov G. N., Kovalski E. R., Smychnik A. D. Determination of rock destressing parameters at the ends of disassembling room. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(8):95-107. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-95-107.

19. *Vremennaya instruktsiya po okhrane vyemochnykh vyrabotok polosami iz tverdeyushchikh materialov* [Interim instruction on protection of underground excavations by solidifying material bands]. Moscow, izd-vo IGD im. A. A. Skochinskogo, 1981, 20 p.

20. *Instruktsiya po primeneniyu skhem provetrivaniya vyemochnykh uchastkov shakht s izolirovannym otvodom metana iz vyrabotannogo prostranstva s pomoshch'yu gazootsasyvayushchikh ustanovok*. Ser. 05. Vyp. 21 [Instruction on the application of ventilation schemes of mines working areas with insulated removal of methane from the developed space using gas – suction plants. Vol. 05. No 21]. Moscow, ZAO NTTS PB, 2012, 126 p.

21. *Instruktsiya po preduprezhdeniyu endogennykh pozharov i bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na sklonnykh k samovozgoraniyu plastakh uglya*. Ser. 05. Vyp. 46 [Instruction on the prevention of the endogenous fires and safe conducting mining operations in coal seams liable to spontaneous combustion. Vol. 05. No 46]. Moscow, ZAO NTTS PB, 2016, 56 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Голубев Дмитрий Дмитриевич – аспирант,  
e-mail: ddgolubev@mail.ru,  
Санкт-Петербургский горный университет.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

D.D. Golubev, Graduate Student,  
e-mail: ddgolubev@mail.ru,  
Saint Petersburg Mining University,  
199106, Saint Petersburg, Russia.

Получена редакцией 23.02.2020; получена после рецензии 15.03.2020; принята к печати 20.06.2020.  
Received by the editors 23.02.2020; received after the review 15.03.2020; accepted for printing 20.06.2020.

