



УДК 622.06

Снижение потерь угля при отработке сближенных пластов донной части Воркутского месторождения

О.И.КАЗАНИН, В.В.ЯРОШЕНКО

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Как цитировать эту статью: Казанин О.И. Снижение потерь угля при отработке сближенных пластов донной части Воркутского месторождения / О.И.Казанин, В.В.Ярошенко // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 395-401. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.1

Аннотация. На примере шахт АО «Воркутауголь» рассмотрена проблема образования протяженных зон повышенного горного давления (ПГД) от целиков на границах выемочных столбов, образовавшихся из-за раскройки шахтного поля сложной геометрии. Проведен детальный анализ оставшихся запасов донной части месторождения для подсчета потерь, влияния зон ПГД от защитного пласта «Четвертый» на горные работы по верхнему пласту «Тройной», а также возможностей уменьшения размеров зон ПГД за счет расширения подработанного пространства. В результате исследования донной части Воркутского месторождения в рамках принятой раскройки были выделены участок на шахте «Комсомольская» и два участка на шахте «Заполярная-2», где потери на границах выемочных столбов составляют 13-22 % от общих объемов запасов в шахтном поле. Большой объем потерь в данных целиках говорит об актуальности исследований влияния первоочередной выемки защитных пластов на эффективность и безопасность горных работ на выемочных участках пластов в подработанных зонах и зонах ПГД. На основании анализа зарубежного и российского опыта доработки целиков на границах выемочных участков, а также методических руководств и инструкций была разработана технологическая схема, позволяющая повысить коэффициент извлечения угля в донной части Воркутского месторождения с 0,75 до 0,9 без принципиального изменения вентиляционной и транспортной сетей, а также без закупки дополнительного горного оборудования.

Проведенные экономические расчеты подтвердили эффективность внедрения новой технологической схемы для доработки запасов на границах выемочных участков. Экономический эффект составляет 0,079-1,381 млрд руб. дополнительной прибыли с соосных выемочных столбов в зависимости от горно-геологических условий и размеров целиков.

Ключевые слова: целик; потери; сближенные пласты; повышенное горное давление; технологические схемы; Воркутское месторождение; выемочный участок; подработанные зоны

Введение. В условиях разработки Воркутского месторождения ежегодно увеличивающаяся глубина ведения горных работ сопровождается повышением газообильности выемочных участков, ухудшением условий поддержания участковых выработок и ростом опасности горных ударов [2, 5]. Необходимость локализации горных работ на продуктивных пластах в пределах подработанных зон привела к тому, что, несмотря на применение бесцеликовых схем подготовки выемочных участков и схем с охраной участковых штреков податливыми целиками, коэффициент извлечения по блокам в донной части мульды не превышает 0,75, что связано с протяженными зонами ПГД на границах выемочных участков и с раскройкой шахтного поля сложной геометрии [1, 9].

Постановка проблемы. Пласты «Тройной» и «Четвертый» отрабатываются на шахтах «Комсомольская» и «Заполярная-2». Несмотря на первоочередную отработку защитного пласта «Четвертый», отработать полностью все шахтное поле без оставления целиков и формирования зон повышенного горного давления на подработываемом пласте практически невозможно. Существующая раскройка шахтного поля не позволяет отработать запасы на границах выемочных столбов из-за прямоугольной формы выемочных участков. Оставленные запасы в виде треугольников со стороны монтажной и демонтажной камер формируют зону ПГД для верхнего пласта «Тройной» (рис.1). Зоны ПГД проецируются под углами δ , которые для условий отработки Воркутского угольного месторождения составляют 80 и 75 град, именно это и является причиной уменьшения длины лавы по верхнему пласту «Тройной» [6].

Задача внедрения ресурсосберегающей технологии при доработке запасов мульдовой части Воркутского месторождения является актуальной, так как запасы высококачественного угля марки Ж на границах выемочных столбов составляют до 22 % по блоку [3].

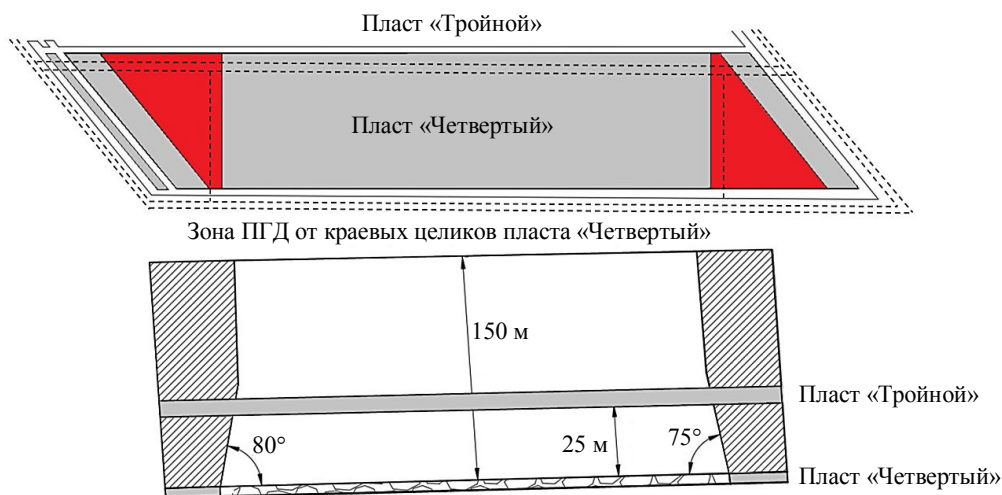


Рис. 1. Действующая технологическая схема с оставлением целиков в краевых частях выемочных столбов

Анализ раскройки донной части Воркутской мульды выявил пять блоков, где планируется доработка запасов. Три из пяти блоков характеризуются большими потерями запасов из-за сложной геометрии шахтных полей. Размеры потерь в целиках по площади и объему отражены в табл. 1. Общий объем запасов в целиках на границах выемочных столбов при существующей раскройке шахтных полей составляет 4,6 млн т, что эквивалентно половине годового бизнес-плана по добыче угля компании АО «Воркутауголь» за 2018 г.

Таблица 1

Потери в целиках на границах выемочных участков

Номер блока	Пласт «Тройной»			Пласт «Четвертый»		
	По площади, км ²	По объему, млн т	От общих запасов в блоке, %	По площади, км ²	По объему, млн т	От общих запасов в блоке, %
1	0,31	1,13	15	0,23	0,51	13
2	0,4	1,25	22	0,3	0,65	20
3	0,2	0,7	21	0,16	0,34	19

В качестве примера можно выделить северо-западный блок шахты «Заполярная-2» (участок № 2), где суммарная площадь запасов на границах выемочных участков по обоим пластам составляет 0,7 км², суммарный объем потерь в целиках 1,9 млн т угля, что составляет 21 % от общего объема планируемого к добыче угля в блоке № 2. Длина выемочных столбов в блоке № 2 не превышает 1300 м по пласту «Тройной» из-за протяженной зоны ПГД по пласту «Четвертый». Доработка целиков позволит увеличить длину выемочных столбов по верхнему пласту на 5-10 %, что повлияет на полноту извлечения полезного ископаемого и увеличит технико-экономические показатели шахты. На рис.2 приведена выкопировка из плана горных работ в поле шахты «Заполярная-2», красным выделены потери в целиках.

Оставление целиков больших площадей на границах выемочных участков по пласту «Четвертый» приводит к образованию протяженных зон ПГД, и, несмотря на стремление работать только в подработанных зонах, выемочные и проходческие участки попадают в зоны ПГД, о чем говорят последние аварии [4, 6]. В результате снижается безопасность ведения горных работ, уменьшаются технико-экономические показатели предприятия и увеличиваются эксплуатационные потери.

Результаты исследований. Отработка шахтных полей сложного строения с увеличением полноты извлечения является сложной технологической задачей в условиях отработки сближенных пластов. Снижение размеров целиков на границах выемочных участков путем внедрения иной технологической схемы позволит улучшить технико-экономические показатели шахты – увеличить коэффициент извлечения, повысить безопасность ведения горных работ [12, 13].

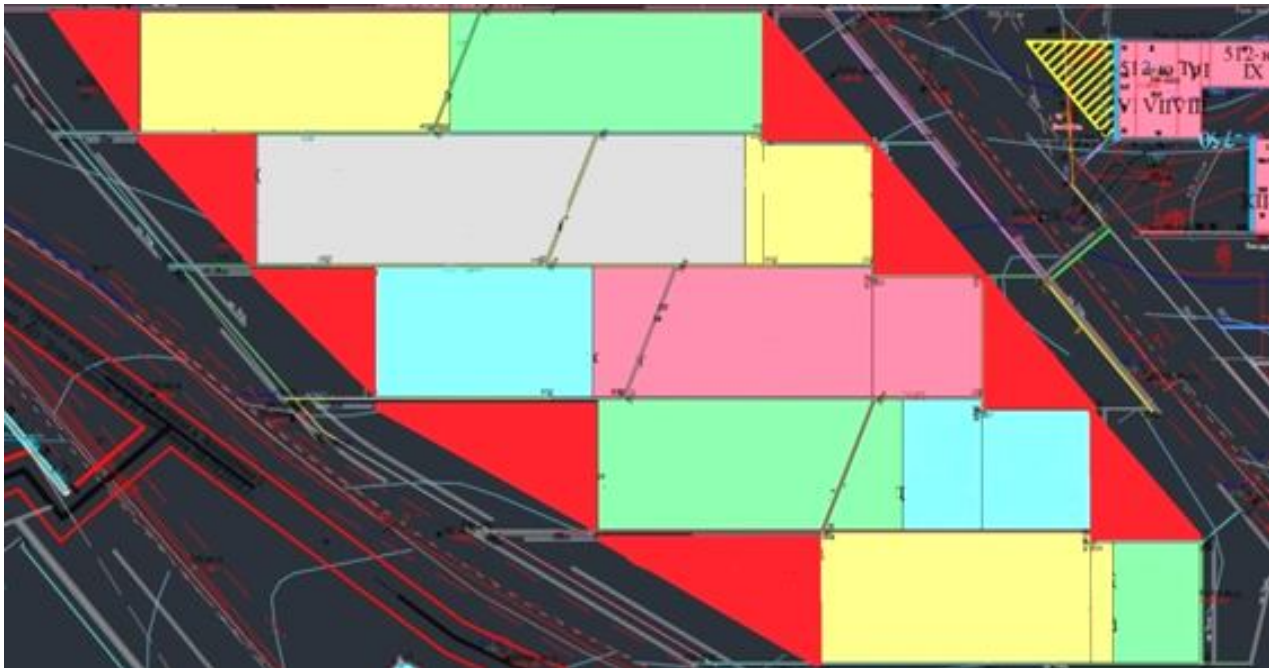


Рис.2. Северо-западный блок шахты «Заполярная-2», пласт «Четвертый»

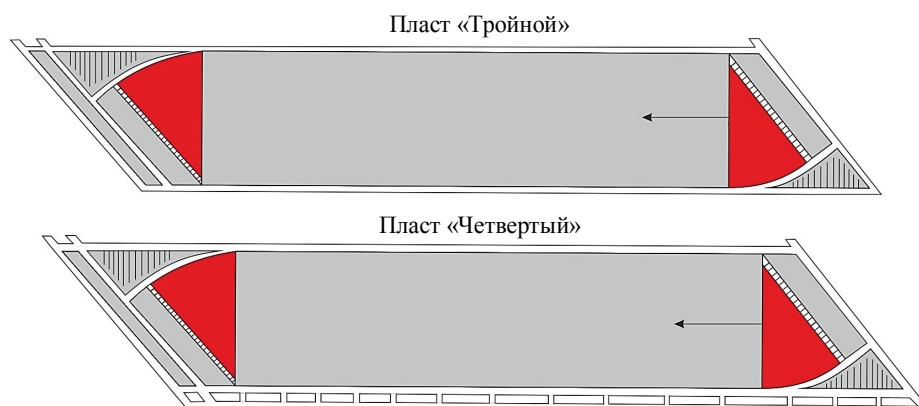


Рис.3. Предлагаемая технологическая схема

Были рассмотрены различные варианты доизвлечения запасов на границах выемочных столбов, в том числе бурошнековая выемка, камерная и камерно-столбовая системы разработки. Горно-геологические и горно-технические условия донной части Воркутского месторождения не позволяют экономически эффективно и безопасно реализовать данные способы по ряду причин: склонность пластов к динамическим явлениям, большая глубина разработки, неустойчивая основная кровля, дороговизна проходческих работ [9].

Одним из рациональных способов доработки запасов на границах выемочных участков является проходка монтажной и демонтажной камер параллельно охраняемым магистральным выработкам с последующим поворотом верхней или нижней части лавы (рис.3). Применение данной технологической схемы возможно по обоим пластам, что позволит снизить протяженность зон ПГД пласта «Четвертый» и, как следствие, увеличить длину выемочных столбов по продуктивному пласту «Тройной». Применение данной технологической схемы способно повысить коэффициент извлечения угля с 0,75 до 0,9 по блоку. Для ее реализации потребуется проходка дополнительной выработки, которая позволит произвести монтаж очистного механизированного комплекса параллельно магистральной выработке и повернуть очистной забой без изменения длины лавы. Проходку выработки предлагается проводить после основного оконтуривания выемочного участка.



В зависимости от угла поворота очистного механизированного комплекса (ОМК), длины лавы и мощности пласта возможные объемы доизвлечения могут составлять по пласту «Четвертый» от 32 до 104 тыс. т, по пласту «Тройной» от 50 до 175 тыс. т. Данный объем рассчитан при доработке запасов с одной из сторон выемочного участка. Объемы доизвлечения можно увеличить в 1,5-2 раза, если горно-геологические и горно-технические условия позволяют реализовать технологическую схему с двух сторон выемочного столба. Современная тенденция к увеличению длины лавы до 300-350 м в условиях АО «Воркутауголь» будет способствовать еще большему приросту дополнительной прибыли при внедрении данной технологии [9].

Пласты «Тройной» и «Четвертый» отнесены к опасным по динамическим и газодинамическим явлениям, поэтому применение новой технологической схемы требует профилактических мероприятий в виде скважинной разгрузки. Параметры скважинной разгрузки определяются инструкцией по ведению горных работ по пластам, опасным по горным ударам. Для проходки дополнительной выработки потребуются предварительная скважинная разгрузка остаточного целика (насколько позволяет гипсометрия участка) [10]. Далее во время проходки дополнительной выработки при необходимости скважинная разгрузка будет вестись из самого проходческого забоя (рис.4).

С учетом горно-геологических условий залегания пластов, технико-экономического обоснования, размеров целиков на границах выемочных столбов и рабочего пласта в табл.2 представлены варианты совместного применения действующей и предлагаемой технологических схем доработки запасов на границах выемочных столбов, возможные объемы доизвлечения и дополнительная прибыль. Можно сделать вывод, что наибольший экономический эффект достигается при применении технологической схемы с поворотом механизированного комплекса как по пласту «Тройной», так и по пласту «Четвертый». Горно-геологические условия не всегда могут обеспечить использование поворота механизированного комплекса по соосным пластам с обеих сторон выемочного участка, поэтому различные вариации предполагают различные объемы доизвлечения запасов на границах выемочных участков [15, 16].

Для эффективной реализации предлагаемой технологической схемы необходимо обосновать параметры работы механизированного комплекса в зоне поворота. Параметры работы ОМК рекомендуется определить с помощью существующих методик [8]. Нагрузка на очистной забой сокращается на 10-15 % за счет усложнения работ в зоне поворота. Для условий донной части Воркутского месторождения рассчитан коэффициент снижения производительности комбайна, при развороте комплекса равный 0,84, 0,86, 0,88 при длинах лавы 200, 250, 300 м. В исследовании рассматривается технологическое маневрирование со ступенчато-циклической схемой контура поворота, так как задача состоит не в безопасном прохождении геологических нарушений, а в сохранении заданного положения очистного механизированного комплекса относительно подготовительных выработок.

В случае проявления вывалов пород кровли в зоне топтания механизированного комплекса в качестве профилактических мероприятий рекомендуется проводить скважинное химическое упорочнение совместно с передвижкой секций крепи с активным подпором кровли [11, 14]. Данные мероприятия положительно зарекомендовали себя как в России, так и за рубежом.

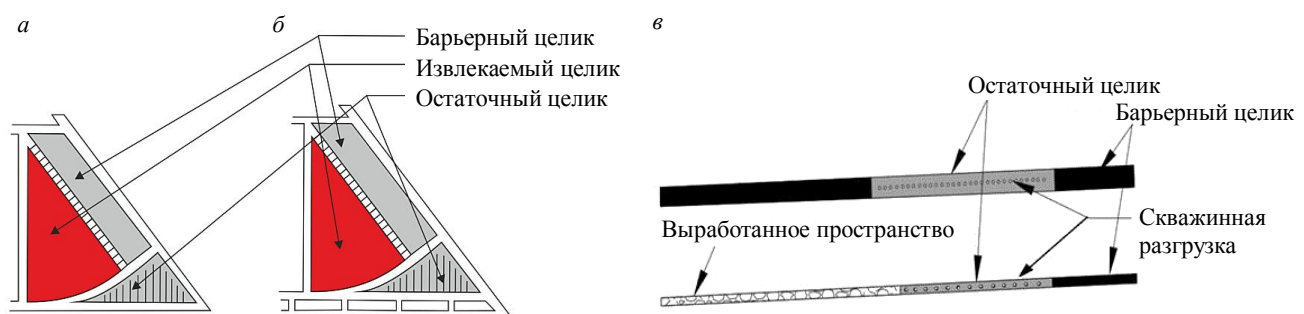


Рис.4. Принципиальная схема разгрузки остаточного целика со стороны монтажной камеры по пласту «Тройной»: а – обозначение целиков по пласту «Четвертый»; б – по пласту «Тройной»; в – вертикальный разрез



Таблица 2

Варианты совместного применения действующей и предлагаемой технологических схем

Целик со стороны монтажной камеры		Целик со стороны демонтажной камеры		Возможный объем доизвлечения, тыс. т	Возможная дополнительная прибыль, млрд руб.
Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»	Пласт «Тройной»	Пласт «Четвертый»		
Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК	Поворот ОМК	164-558	0,403-1,381
Поворот ОМК	Поворот ОМК	Применяемая технологическая схема	Применяемая технологическая схема	82-279	0,203-0,690
Применяемая технологическая схема	Применяемая технологическая схема	Поворот ОМК	Поворот ОМК	82-279	0,203-0,690
Применяемая технологическая схема	Поворот ОМК	Применяемая технологическая схема	Поворот ОМК	64-208	0,158-0,513
Применяемая технологическая схема	Применяемая технологическая схема	Применяемая технологическая схема	Поворот ОМК	32-104	0,079-0,256
Применяемая технологическая схема	Поворот ОМК	Применяемая технологическая схема	Применяемая технологическая схема	32-104	0,079-0,256

При реализации предлагаемой технологической схемы коэффициент доизвлечения угля по целику в зависимости от параметров технологической схемы отработки запасов на границах выемочных участков будет варьировать с 0,79 до 0,9, что позволит повысить коэффициент извлечения по донной части Воркутской мульды до 0,9.

Экономические расчеты подтвердили положительный эффект от внедрения новой технологической схемы при отработке запасов донной части Воркутской мульды. Прибыль от реализации доизвлекаемого угля покрывает необходимые расходы (рис.5) на проходку дополнительной выработки и скважинную разгрузку для безопасной реализации предлагаемых технологических решений. Расчет экономической эффективности привязан к отпускной цене на коксующийся уголь и полной себестоимости тонны угля после добычи и переработки по данным компании АО «Воркутауголь» по состоянию на IV квартал 2018 г. Экономический эффект от внедрения предлагаемой технологической схемы по пласту «Тройной» выше на 45 %, чем по пласту «Четвертый», за счет большей мощности рабочего пласта и меньшей себестоимости проходки дополнительной выработки из-за отсутствия присечки пород.

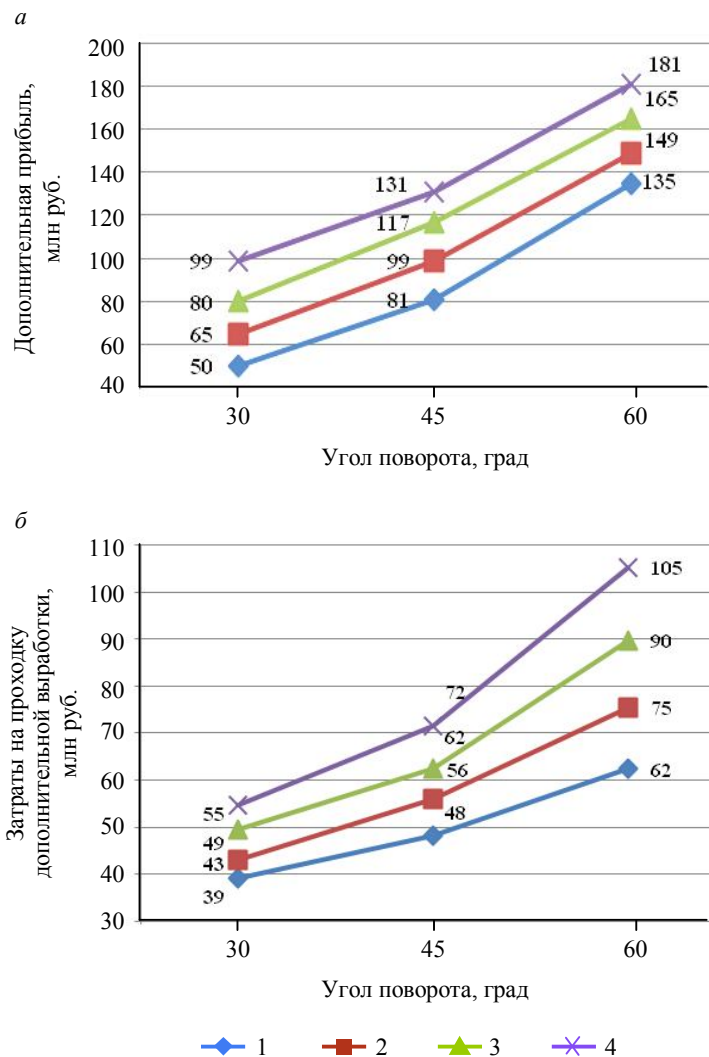


Рис.5. Зависимость дополнительной получаемой прибыли (а) и необходимых затрат (б) при различных углах поворота очистного механизированного комплекса по пласту «Четвертый»

1 – длина лавы 225 м; 2 – 250 м; 3 – 275 м; 4 – 300 м



Заключение. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- Применяемые технологические схемы отработки пластов предусматривают оставление запасов на границах выемочных участков, что приводит к существенному сокращению размеров подработанных зон и высоким потерям (до 22 % по блоку).
- Расширение площадей подработанных зон возможно при доработке целиков на границах выемочных участков с применением имеющихся на шахтах очистных механизированных комплексов.
- Наиболее рациональной с точки зрения эффективности и безопасности является технологическая схема с поворотом механизированного комплекса на границах выемочных участков. При этом коэффициент довлечения целика составит 0,72-0,9, коэффициент извлечения по донной части месторождения равен 0,9.
- Затраты на внедрение предлагаемой технологической схемы доработки запасов на границах выемочных участков покрываются прибылью от реализации доизвлекаемого угля.
- Экономический эффект от внедрения предложенных технологических схем составляет 0,079-1,381 млрд руб. дополнительной прибыли с соосных выемочных столбов в зависимости от горно-геологических условий и размеров целиков.
- Так как пласты «Тройной» и «Четвертый» отнесены к опасным по динамическим и газодинамическим явлениям, реализация предлагаемой технологической схемы предполагает применение профилактических мероприятий в виде скважинной разгрузки, параметры которой определяются с помощью инструкции по ведению горных работ по пластам, опасным по горным ударам.
- Для максимально эффективной реализации технологической схемы с поворотом механизированного комплекса необходима высокая культура труда, так как циклограмма работ очистного забоя в зоне поворота претерпевает значительные изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов А.П. Совершенствование схем развития горных работ, обеспечивающих геодинамическую безопасность в условиях Воркутского месторождения / А.П.Веселов, И.П.Бочаров, Л.М.Гусельников // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 10. С. 63-66.
2. Зубов В.П. Влияние дизъюнктивных геологических нарушений на параметры защищенных зон при разработке сближенных пластов / В.П.Зубов, Е.Р.Ковальский, А.В.Никифоров // Записки Горного института. 2014. Т. 207. С. 22-25.
3. Зубов В.П. Ресурсосберегающие технологии разработки пластовых месторождений // Горный журнал. 2017. № 4. С. 95-97.
4. Исследование влияния зон повышенного горного давления на показатели работы длинных очистных забоев при отработке свит угольных пластов / О.И.Казанин, А.А.Сидоренко, А.Ю.Ермаков, О.В.Ванякин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 4. С. 21-25.
5. Казанин О.И. О проектировании подземной отработки свит пологих газоносных угольных пластов // Записки Горного института. 2015. Т. 215. С. 38-45.
6. Козлов В.В. Анализ существующих классификаций технологических схем с разворотом лавы // Уголь. 2010. № 3. С. 64-65.
7. Коршунов Г.И. Геомеханические принципы разработки нижних горизонтов Воркутского угольного месторождения / Г.И.Коршунов, А.К.Логинов, В.М.Шик. СПб: МАНЭБ, 2006. С. 45-49.
8. Худин Ю.Л. Комплексно-механизированная выемка нарушенных угольных пластов / Ю.Л.Худин, Д.Д.Глазов, С.В.Мамонтов. М.: Недра, 1985. С. 5-15.
9. Ярошенко В.В. Направления повышения коэффициента извлечения угля при доработке запасов Воркутского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 4. С. 370-380.
10. Litvinenko V. Advancement of geomechanics and geodynamics at the mineral ore mining and underground space development. Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses // International European Rock Mechanics Symposium. EUROCK 2018. Saint Petersburg, 22 May 2018. Taylor and Francis Group, London, UK, 2018. Vol. 1. P. 3-16
11. Mark C. Multiple-seam longwall mining in the United States – Lessons for ground control / NIOSH. Pittsburgh, PA. 2007. № 20031648.
12. Nikiforov A.V. Analysis of multiple seam stability / A.V.Nikiforov, E.A.Vinogradov, A.A.Kochneva // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. Vol. 10. № 2. P. 1132-1139.
13. Sidorenko A.A. Determination of parameters of High Stress Zones at Multiple-Seam Longwall Mining / A.A.Sidorenko, I.G.Gerasimova // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. № 3. P. 1844-1851.



14. *Sidorenko A.A.* An assessment of multiple seam stress conditions using a 3-D numerical modelling approach / A.A.Sidorenko, Y.G.Sirenko, S.A.Sidorenko // Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 1333. P. 1-5. DOI: [10.1088/1742-6596/1333/3/032078](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1333/3/032078)
15. *Tati B.B.* Multi-Seam Coal Mining // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 2011. Vol. 111. № 4. P. 241-242.
16. *Yu Y.* Mine size effects on coal pillar stress and their application for partial extraction / Y.Yu, K.-Z.Deng, S.-E.Chen // Sustainability. 2018. Vol. 10 (3). № 792. DOI: [10.3390/su10030792](https://doi.org/10.3390/su10030792)

Авторы: **О.И.Казанин**, д-р техн. наук, декан горного факультета, kazani@spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), **В.В.Ярошенко**, канд. техн. наук, ассистент, v92ya@mail.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 18.05.2020.

Статья принята к публикации 22.07.2020.