



DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.91.58.001

УДК 622.831.2

© М.В. Шинкевич, Е.Н. Козырева, 2022

## М.В. ШИНКЕВИЧ

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,  
г. Кемерово  
e-mail: max-valerich@rambler.ru



## Е.Н. КОЗЫРЕВА

канд. техн. наук,  
заведующая лабораторией  
Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,  
г. Кемерово  
e-mail: gas\_coal@icc.kemsc.ru



## ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРАКТИКЕ ТЕХНОГЕННОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

*Контроль деформаций вмещающего массива при ведении горных работ для обеспечения устойчивости подземных выработок относится к управлению горным давлением в угольных шахтах. Пучение пород почвы является одним из следствий перераспределения горного давления при отработке выемочного столба. Ранее установленные в ИУ ФИЦ УУХ СО РАН особенности формирования и развития нелинейной структуризации массива при движении очистного забоя проанализированы в настоящей статье при рассмотрении условий отработки угольных пластов. В качестве основы принимается разработанная параметрическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород при отработке длинных столбов по простиранию с полным обрушением кровли. При техногенном изменении внешних условий массив снижает свой энергетический потенциал путем формирования объемных поверхностей — сводов, посредством сдвижений соответствующих масс массива. Тела «сводов сдвижений» имеют формы, стремящиеся к формам параболоидов. Размеры сводов в вертикальной плоскости равны мощностям геомеханических слоев различных уровней структурной иерархии массива, а в плоскости пласта кратны длине очистного забоя. Показана возможность определения участков повышенного горного давления на приконтурную часть и крепь выработок, которые определяются геометрическим совмещением окружностей, с диаметрами, равными основаниям сводов сдвижений, краевые части которых являются опорными. Интеграция сводов сдвижений соседних выемочных участков приводит к объединению их выработанных пространств и к перетоку газа из пространства ранее отработанного выемочного участка в действующий очистной забой. Принципиально новый подход к пониманию происходящих геомеханических процессов в массиве при выемке угольного пласта длинным очистным забоем позволит прогнозировать проявления горного давления при высокоинтенсивной работе выемочного участка.*

Ключевые слова: МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЫЕМОЧНЫЙ СТОЛБ, МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ, СТРУКТУРИЗАЦИЯ МАССИВА, ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ.

**Введение.** Контроль деформаций вмещающего массива при ведении горных работ для обеспечения устойчивости подземных выработок в данном случае это и есть управление горным давлением. Негативным следствием перераспределения горного давления при отработке выемочного столба является пучение пород почвы. Эти особенности широко известны, но их актуальность не снижается. Продолжается совершенствование способов управления горным давлением при ведении горных работ [1–14]. Так, в работе [3] подробно рассмотрено влияние способа крепления выработок на пучение почвы. В статье [10] показана взаимосвязь технологических операций в длинном очистном забое с процессами сдвижений в горном массиве. В статье [13] приведены результаты применения технологии разрушения массивов с применением рассредоточенных зарядов. Для повышения устойчивости пород почвы проводят следующие мероприятия: разгрузка почвы с помощью вертикальных щелей в центральной ча-

сти выработок, гидроразрыв пород, анкерное крепление почвы, ее полимерное упрочнение и т. д. Исследуются условия нагружения массива в окрестности выработок и факторы, влияющие на прочностные свойства почвы выработок и угольных пластов [15–17]. Уточнение закономерностей изменений горного давления и напряженного состояния пород в окрестностях выработок является одной из научно-технических задач обоснования мероприятий по предотвращению пучения почвы.

**Объект исследования.** Представленные в настоящей статье результаты получены при анализе предоставленных специалистами шахты «Ерунаковская VIII» данных по пучениям почвы горных выработок, произошедших при последовательной отработке сближенных выемочных участков № 48-2 и № 48-3 пласта 48 (табл. 1). Ширина межлавного целика составила 53 м. Пучения происходили в газодренажном штреке 48-3, находящемся на расстоянии 23 м от конвейерного штрека 48-2 и 25 м от вентиляционного штрека 48-3.

Таблица 1

Параметры выемочных участков № 48-2 и № 48-3

| Параметры                                  | Выемочный участок |        |
|--|-------------------|--------|
|  | № 48-2            | № 48-3 |
| Длина выемочного участка по простиранию, м | 1400              | 3000   |
| Длина лавы, м                              | 243               | 320    |
| Средняя глубина залегания пласта, м        | 410               | 350    |
| Средняя мощность пласта, м                 | 2,6               | 2,4    |

Отрабатываемый пласт 48 выдержанный, мощностью от 1,84 до 2,65 м. Основная кровля пласта — среднеобрушаемая — сложена алевролитом мелкозернистым и алевролитом крупнозернистым. Непосредственная кровля сложена преимущественно алевролитом мелкозернистым, местами алевролитом крупнозернистым. На контакте с почвой пласта 48 залегает ложная почва в виде слоя слабого мелкозернистого алевролита либо углистого

алевролита со скоплениями обуглившихся остатков флоры, мощностью от 0,05 до 0,7 м, крепостью по шкале М.М. Протоdjeяконова до  $f = 2,5$ . Непосредственная почва, мощностью от 1,0 до 3,1 м, сложена мелкозернистыми алевролитами с  $f = 3 - 4$ , в основном не склонными к пучению. В юго-восточной части выемочного столба № 48-3 непосредственная почва представлена углем пласта 45, мощностью до 2,44 м с  $f = 1$ .

**Моделирование геомеханических процессов в массиве.** При рассмотрении условий отработки выемочных участков № 48-2 и № 48-3 использованы ранее установленные в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН особенности формирования и развития нелинейной структуризации массива при движении очистного забоя и подготовительных выработок [18, 19]. Расчетной основой параметров структуризации является параметрическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород при отработке угольных пластов длинными столбами по простиранию с полным обрушением кровли [19]. На данный момент массив рассматривается в первом приближении в виде однородной изотропной среды без учета механических свойств горных пород.

При отработке выемочных участков в массиве горных пород происходит формирование «геомеханических слоев» различных уровней структурной иерархии, что отражено в указанной параметрической модели [19]. Процесс структуризации массива начинается от отрабатываемого пласта и развивается в кровлю и в почву. При этом энергетический потенциал массива (упругая энергия) снижается, результатом чего является формирование объемных поверхностей — сводов соответствующих масс массива. Тела «сводов сдвижений» имеют формы, стремящиеся к формам параболоидов. Соответствие принципу затрат минимума энергии на создание новой поверхности при вертикальной разгрузке массива формирует такую форму тел. В

каждом «геомеханическом слое» сначала идет образование сводов с минимальными размерами: с диаметром основания свода–параболоида, близким шагу вторичного обрушения и кратным длине очистного забоя, и с высотой свода, равной половине этого образованного диаметра свода. Далее по мере движения очистного забоя и вовлечения в дезинтеграцию больших объемов подрабатываемого и надрабатываемого массивов идет процесс образования сводов более высоких уровней иерархии.

Для рассматриваемых горно-геологических условий схематично (в вертикальной плоскости) структуризацию подрабатываемого массива горных пород можно представить, как показано на рис. 1, в виде совокупности техногенных сводов сдвижений  $n$ -ых уровней структурной иерархии массива ( $n$  — целое число, изменяется в пределах:  $n = 1; 2; 3; \dots N$ ). Количество уровней  $N$  определяется длиной очистного забоя  $l_{оч}$  и глубиной ведения горных работ.

Порядок формирования сводов сдвижений следующий. После образования сводов с минимальными размерами (на рис. 1 не показаны) формируются своды сдвижений уровня  $n = 1$ , далее с увеличением протяженности выработанного пространства формируются своды сдвижений уровня  $n = 2$  (показанные на рис. 1 пунктирными линиями), процесс заканчивается сводами 3, достигающими дневную поверхность 4. Высота  $h$  сводов–параболоидов равна мощности геомеханического слоя, в котором они сформированы.

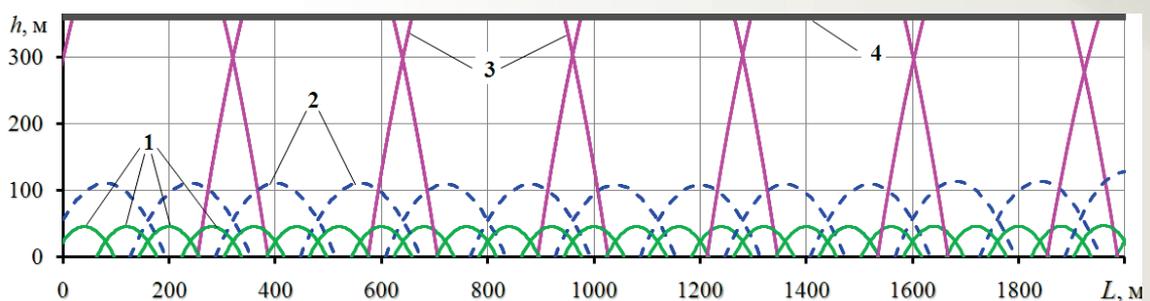


Рис. 1. Вертикальная схема структуризации подрабатываемого массива горных пород по длине  $L$  выработанного пространства выемочного участка № 48-3: 1 — своды сдвижений уровня  $n = 1$ ; 2 — своды сдвижений уровня  $n = 2$ ; 3 — своды сдвижений уровня  $n = 3$ ; 4 — дневная поверхность

Периодичность формирования сводов сдвижений в подрабатываемом массиве в условиях равных геостатических напряжений, согласно параметрической модели, соответствует принципу суперпозиции и определяется правилом удвоения мощности «геомеханических слоев». Однако, с учетом энергетической составляющей массива проявляется нелинейная закономерность изменений высот сводов с учетом, что распределение удельной (на 1 м подвигания забоя) упругой энергии массива в зависимости от глубины залегания «геомеханических слоев» возрастает нелинейно. Подобные процессы характерны и для надрабатываемого массива, но особенности нелинейного изменения упругой энергии пород здесь приводят к уменьшению высот сводов (мощностей «геомеханических слоев»).

Доминирующим в развитии описанных процессов в приконтурной области массива является слой мощностью, равной  $l_{оч} / 2$ . Этому слою соответствует доминирующий свод (свод лавы) с диаметром основания свода в горизонтальной плоскости пласта, равным  $l_{оч} \sqrt{2}$ .

На рис. 2 представлена горизонтальная схема (в плоскости обрабатываемого пласта) геомеханической структуризации массива для рассматриваемых горно-геологических условий. Формирование сводов сдвижений 1, 2, 3 (в соответствии с их нумерацией на рис. 1 и 2) происходит при отработке выемочного участка № 48-2 (позиция 4 на рис. 2) и выемочного участка № 48-3 (позиция 5 на рис. 2). Между конвейерным штреком 6 и вентиляционным штреком 7 расположен газодренажный штрек 8.

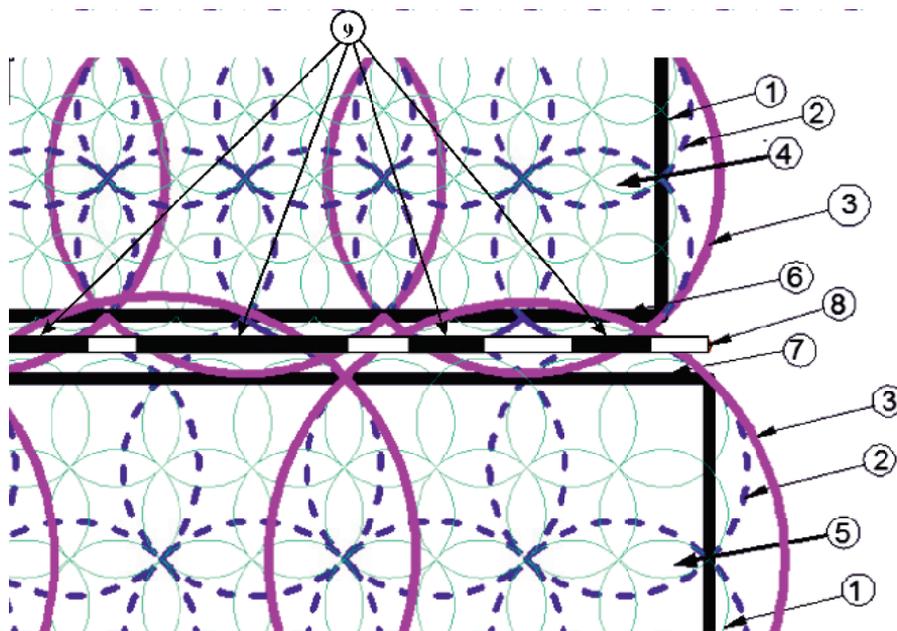


Рис. 2. Фрагмент горизонтальной схемы геомеханической структуризации массива горных пород при отработке сближенных выемочных участков № 48-2 и № 48-3: 1, 2, 3 — основания сводов сдвижений уровней  $n = 1, 2, 3$ , соответственно; 4 — выемочный участок 8-2; 5 — выемочный участок № 48-3; 6, 7, 8 — конвейерный, вентиляционный, газодренажный штрек, соответственно; 9 — участки повышенного горного давления на газодренажный штрек

**Практическое применение моделирования геомеханических процессов в массиве.** Первым обрабатывался выемочный участок № 48-2, затем № 48-3. После отхода лавы № 48-3 от монтажной камеры на расстояние  $l_{оч} / 4$  зафиксировано пучение пород почвы и выдавливание бортов газодренажного штре-

ка, а на расстоянии 600 м зафиксировано полное перекрытие сечения выработки.

Применение описанной выше параметрической модели геомеханических процессов в массиве горных пород для условий отработки сближенных выемочных участков дает возможность оценить состояние массива в при-

контурной зоне и определить участки отрабатываемого пласта, где возможно повышенное горное давление и где можно ожидать динамические явления в близлежащих горных выработках.

Для этого сначала рассчитываются геометрические размеры сводов сдвижений, затем на плане в плоскости пласта наносятся окружности — проекции их оснований. Контуры оснований сводов указывают на местоположения границ зон опорного давления. Места пересечения контуров соответствуют местам объединения формирующихся сводов сдвижений и участкам повышенного горного давления на приконтурную часть массива и крепь выработок.

При указанных на рис. 2 местоположениях сближенных выемочных участков 4 и 5 установлены места пересечений окружностей — оснований сводов сдвижений 2 и 3 на газодренажном штреке 8, отмеченные черным цветом и указывающие на участки 9 повышенного горного давления. На небольшом расстоянии от монтажной камеры, когда только формируется свод лавы, участки 9 образованы пересечениями оснований сводов сдвижений уровня иерархии  $n = 2$ , где зафиксированы динамические явления в виде пучения пород почвы газодренажного штрека 48-3. Однако при отходе от монтажной камеры выемочного участка № 48-3 на расстояние, где полностью сформировался свод лавы, в интеграцию включились своды сдвижений уровня иерархии  $n = 3$ , в результате чего на участках 9 произошли динамические явления большей силы — пучения пород почвы и выдавливание бортов с полным перекрытием сечения выработки. Интеграция сводов сдвижения сближенных лав привела к тому, что напряжения в горных породах, окружающих выработку достигли величины, которая превысила их механические характеристики, в результате чего, при неизменной несущей способности целика, породы почвы и бортов газодренажного штрека 48-3 подверглись наибольшим деформациям с выдавливанием их в выработку. Подобные динамические явления являются признаком повышенного гор-

ного давления, а места, где они произошли, полностью совпадают с участками, установленными при моделировании геомеханических процессов.

Таким образом, моделирование особенностей взаимодействия сводов сдвижений сближенных лав при отработке угольных пластов длинными столбами по простиранию с полным обрушением кровли дает возможность для заблаговременного (на стадии проектирования) принятия мер по снижению возможной динамической опасности.

Отметим еще один важный момент, связанный с газовой составляющей массива. Интеграция сводов сдвижений соседних лав № 48-3 и № 48-2 привела к объединению их выработанных пространств и к перетоку газа из пространства ранее отработанного выемочного участка в действующий очистной забой, создавая при этом дополнительные сложности при разработке пласта угля, такие как превышение допустимой концентрации метана в исходящей струе воздуха из очистного забоя, дополнительная нагрузка на систему вентиляции, что требует дополнительных мер по снижению газовой опасности.

**Выводы.** Определение по всей площади выемочного столба участков, потенциально опасных с точки зрения повышенного горного давления, возможно при применении разработанной параметрической модели геомеханических процессов в массиве горных пород при отработке угольных пластов длинными столбами по простиранию с полным обрушением кровли.

При планировании горных работ, исходя из местоположения сближенных выемочных столбов и геометрических размеров сводов сдвижений, зависящих, в свою очередь, от длины лавы и глубины ее отработки, необходимо исключить интеграцию сводов сдвижений или свести ее к минимуму. Это достигается корректировкой длин очистных забоев и местами заложения монтажных и демонтажных камер.

В случае невозможности корректировки геометрических размеров сближенных выемочных столбов следует руководствоваться

правилами интеграции их сводов, избегая проведения оконтуривающих выработок в местах пересечений контуров оснований сводов.

Размер межлавных целиков необходимо определять с учетом формирования сводов сдвижений при отработке соседних выемочных столбов, используя нормативный документ [20], с уточнением согласно схеме геомеханической структуризации величин воздействующего на них горного давления.

Таким образом, предлагаемый способ управления горным давлением при отработке пластов угля длинными столбами позволит осуществлять прогноз участков повышенного

горного давления и определять такие показатели как:

– места, где необходимо применять способы сохранения сечения выработок с целью снижения негативного влияния пучения пород и выдавливания бортов выработок;

– зависание кровли в случае задержки ее обрушения из-за несоблюдения кратности величин оснований сводов длине очистного забоя;

– параметры выемочных участков для безопасной, эффективной и безаварийной разработки угольного пласта без проведения трудоемких геофизических исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хеллан К. Введение в механику разрушения. М.: Мир, 1988. 364 с.
2. Джевецки Я. Новые методы предотвращения опасности горных ударов. Глюкауф. 2002. № 2(3). С. 18–21.
3. Якоби О. Практика управления горным давлением. М.: Недра, 1987. 566 с.
4. Бенявски З. Управление горным давлением. М.: Мир, 1990. 254 с.
5. Артемьев В.Б., Коршунов Г.И., Логинов А.К., Шик В.М. Динамические формы проявлений горного давления. СПб: Наука, 2009. 347 с.
6. Zhang Q., He M., Wang J., Guo S., Guo Z., Liu X., Hu J., Fan L., Ma Z., Guo P. Instantaneous expansion with a single fracture: a new directional rock-breaking technology for roof cutting // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020. Vol. 132. P. 104399.
7. He C., Xiao J., Lu L., Guo Z., Chen D. Experimental study of crack propagation and failure around a horseshoe tunnel during nearby blasting // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021. Vol. 139. P. 104628.
8. Cai W., Bai X., Gong S., Dou L., Cao W., Si G. A monitoring investigation into rock burst mechanism based on the coupled theory of static and dynamic stresses // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2020. Vol. 53. No. 12. P. 5451–5471.
9. Liu X.S., Tan Y.L., Ning J.G., Lu Y.W., Gu Q.H. Mechanical properties and damage constitutive model of coal in coal-rock combined body // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 110. P. 140–150.
10. Сулимов В.В., Нефёдов В.Е., Малышева Н.Н. Шахтные наблюдения за проявлением горного давления на сопряжении лавы с конвейерным штреком // Проблемы горного давления. 2020. Т. 1. № 38–39. С. 57–64.
11. Поляков П.И., Подрухин А.А., Нескреба Д.А. Исследования деформационно-разрушающих процессов в несплошных средах слоистой структуры горного массива // Проблемы горного давления. 2018. Т. 1. № 34–35. С. 3–15.
12. Касьяненко А.Л., Соловьев Г.И., Гнидаш М.Е. Об упорно-силовом противодействии выдавливанию прочных пород почвы // Проблемы горного давления. 2018. Т. 1. № 34–35. С. 16–28.
13. Соколов И.В., Смирнов А.А., Рожков А.А. Повышение эффективности добычи кварца применением плоской системы рассредоточенных зарядов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2018. № 1. С. 56–65.
14. Bukaev Ye.Z., Kenzhetaev G.Zh., Mutalibova G.K. Study off the chemical and mineralogical

composition of a sample limestone-shell of the field zheytiban in mangistau region // Горный журнал Казахстана. 2020. № 10. С. 28–33.

15. Черданцев Н.В., Шадрин А.В. Расчет траектории движения одиночной трещины, расположенной в массиве горных пород, нагруженной давлением жидкости // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 4. С. 18–26.

16. Шадрин А.В., Клишин В.И., Диюк Ю.А. Методика определения критерия выбросоопасности спектрально-акустического метода прогноза // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2021. № 7. С. 324–328.

17. Klishin V.I., Taylakov O.V., Opruk G.Y., Sokolov S.V., Galkin A.V. Geophysical and geomechanical analysis of coal mass condition during directional hydraulic fracturing (dhf) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources 2019, KT-DUMR 2019. 2019. P. 012035.

18. Шинкевич М.В. Газовыделение из обрабатываемого пласта с учётом геомеханических процессов во вмещающем массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. Отд. вып. № 6. С. 278–285.

19. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Шинкевич М.В., Леонтьева Е.В. Техногенная структуризация массива горных пород при выемке пласта угля // Горный журнал. 2017. № 4. С. 19–23.

20. Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности (приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 декабря 2020 года N 515). [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_372960/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372960/) (дата обращения: 17.11.2021).

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.91.58.001**

**UDC 622.831.2**

**© M.V. Shinkevich, E.N. Kozyreva, 2022**

#### **M.V. SHINKEVICH**

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Institute of Coal «The FRC of Coal and Coal Chemistry of SB of RAS», Kemerovo

e-mail: max-valerich@rambler.ru

#### **E.N. KOZYREVA**

Candidate of Engineering Sciences,

Head of Laboratory

Institute of Coal «The FRC of Coal and Coal Chemistry of SB of RAS», Kemerovo

e-mail: gas\_coal@icc.kemsc.ru

#### **APPLICATION OF TECHNOGENIC STRUCTURE OF ROCK MASS IN PRACTICE**

*The control of deformation of the containing massif during mining operations to ensure the stability of underground workings relates to the management of mining pressure in coal mines. Straddling of soil rocks is one of the consequences of redistribution of mountain pressure during mining column development. The peculiarities of formation and development of nonlinear structuring of the massif during the*

*movement of the treatment face, previously established in the Institute of Coal «The FRC of Coal and Coal Chemistry of SB of RAS», are analyzed in this article when considering the conditions for development of coal seams. As a basis, the developed parametric model of geomechanical processes in the rock mass is taken when working out long pillars along the stretch with complete roof collapse. In case of technogenic change of external conditions, the array reduces its energy potential by forming volumetric surfaces — arches, by shifting the corresponding masses of the array. The bodies of the «arches of shifts» have forms striving for the forms of paraboloids. Dimensions of arches in vertical plane are equal to capacities of geomechanical layers of different levels of structural hierarchy of massif, and in plane of formation are multiple of length of treatment face. Possibility of determining areas of increased mountain pressure on contour part and workings support, which are determined by geometric alignment of circles, with diameters equal to bases of sliding arches, edge parts of which are support. Integration of the arches of the shifts of the adjacent excavation sections leads to the unification of their developed spaces, and to the flow of gas from the space of the previously spent excavation section to the operating treatment face. A fundamentally new approach to understanding the ongoing geomechanical processes in the massif when excavating a coal seam with a long treatment face will make it possible to predict the manifestations of mountain pressure during high-intensity operation of the excavation section.*

Keywords: ROCK MASSIF, COAL BED, GEOMECHANICAL PROCESSES, EXTRACTION COLUMN, METHANE SEPARATION, MASSIF STRUCTURING, MINING PRESSURE, CLEANING FACE.

#### REFERENCES

1. Hellan K. Introduction to fracture mechanics. M.: Mir, 1988. 364 p. [In Russ.].
2. Drzewiecki J. New methods for preventing the danger of rock bursts. Glukauf. 2002. No. 2(3). P. 18–21. [In Russ.].
3. Jacobi O. The practice of rock pressure management. M.: Nedra, 1987. 566 p. [In Russ.].
4. Benyavsky Z. Management of rock pressure. M.: Mir, 1990. 254 p. [In Russ.].
5. Artemyev V.B., Korshunov G.I., Loginov A.K., Shik V.M. Dynamic forms of manifestations of rock pressure. St. Petersburg: Nauka, 2009. 347 p. [In Russ.].
6. Zhang Q., He M., Wang J., Guo S., Guo Z., Liu X., Hu J., Fan L., Ma Z., Guo P. Instantaneous expansion with a single fracture: a new directional rock-breaking technology for roof cutting // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020. Vol. 132. P. 104399.
7. He C., Xiao J., Lu L., Guo Z., Chen D. Experimental study of crack propagation and failure around a horseshoe tunnel during nearby blasting // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021. Vol. 139. P. 104628.
8. Cai W., Bai X., Gong S., Dou L., Cao W., Si G. A monitoring investigation into rock burst mechanism based on the coupled theory of static and dynamic stresses// Rock Mechanics and Rock Engineering. 2020. Vol. 53. No. 12. P. 5451–5471.
9. Liu X.S., Tan Y.L., Ning J.G., Lu Y.W., Gu Q.H. Mechanical properties and damage constitutive model of coal in coal-rock combined body // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 110. P. 140–150.
10. Sulimov V.V., Nefyodov V.E., Malysheva N.N. Mine observations of the manifestation of rock pressure at the junction of the lava with the conveyor drift // Problems of rock pressure [Problemy gornogo davleniya]. 2020. Vol. 1. No. 38–39. P. 57–64. [In Russ.].
11. Polyakov P.I., Podruchkin A.A., Neskreba D.A. Studies of deformation-destructive processes in non-continuous media of a layered structure of a rock mass // Problems of rock pressure [Problemy gornogo davleniya]. 2018. Vol. 1. No. 34–35. P. 3–15. [In Russ.].
12. Kasyanenko A.L., Solovyov G.I., Gnidash M.E. On the stubborn-force counteraction to the extrusion of strong soil rocks // Problems of rock pressure [Problemy gornogo davleniya]. 2018. Vol. 1. No. 34–35. P. 16–28. [In Russ.].

13. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Rozhkov A.A. Improving the efficiency of quartz mining using a flat system of dispersed charges // News of higher educational institutions. Mining journal [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal]. 2018. No. 1. P. 56–65. [In Russ.].

14. Bukaev Ye.Z., Kenzhetayev G.Zh., Mutalibova G.K. Study off the chemical and mineralogical composition of a sample limestone-shell of the field zheytiban in mangistau region // Mining journal of Kazakhstan. 2020. No. 10. P. 28–33.

15. Cherdantsev N.V., Shadrin A.V. Calculation of the trajectory of a single crack located in a rock mass, loaded with fluid pressure // Bulletin of the Scientific Center for Safety of Works in the Coal Industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2017. No. 4. P. 18–26. [In Russ.].

16. Shadrin A.V., Klishin V.I., Diyuk Yu.A. Method for determining the outburst hazard criterion of the spectral-acoustic method of forecasting // Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources. 2021. No. 7. P. 324–328. [In Russ.].

17. Klishin V.I., Taylakov O.V., Opruk G.Y., Sokolov S.V., Galkin A.V. Geophysical and geomechanical analysis of coal mass condition during directional hydraulic fracturing (dhf) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources 2019, KTDUMR 2019. 2019. P. 012035.

18. Shinkevich M.V. Gas emission from a mined seam taking into account geomechanical processes in the enclosing massif // Mining Information and Analytical Bulletin [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten]. 2013. Dep. issue No. 6. P. 278–285. [In Russ.].

19. Polevshchikov G.Ya., Kozyreva E.N., Shinkevich M.V., Leontieva E.V. Technogenic structurization of a rock mass during coal seam excavation // Mining Journal [Gornyy zhurnal]. 2017. No. 4. P. 19–23. [In Russ.].

20. Instructions for the forecast of dynamic phenomena and monitoring of a rock mass during the development of coal deposits: federal norms and rules in the field of industrial safety (Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated December 10, 2020 No. 515). [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_372960/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372960/) (date of the application: 17.11.2021). [In Russ.].