

# Горные удары и выбросы метана: технологическая теория и способы предотвращения

Е.А. Колесниченко✉, И.Е. Колесниченко, Е.И. Колесниченко, Е.И. Любомищенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск,  
Российская Федерация

✉ kolesnichenko-2718@rambler.ru

**Резюме:** Статья посвящена альтернативному способу решения проблемы предотвращения горных ударов и выбросов метана, которые приводят к большим материальными и человеческими потерями. На основе аналитического обзора показаны недостатки применяемых нормативных инструкций и рекомендаций по безопасному ведению горных работ. Концентрация исследователей на геомеханических закономерностях в угольных пластах предопределила гипотезы об опасности угольных пластов и не позволила сформулировать реальные проблемы опасности горных ударов и выбросов метана. **Цель:** 1 – установить причинно-следственную связь процессов горных работ с формированием условий и реализацией горных ударов; 2 – разработать концепцию силового воздействия горного массива на угольный пласт при горном ударе по угольному пласту; 3 – доказать технологическую теорию горных ударов и выбросов метана, основанную на законах гравитационного сжатия угольных пластов в зоне нарушения природной сплошности массива горных пород горными работами; 4 – объяснить причинно-следственную связь горного удара и процессов в угольном пласте и установить закономерности энергетических явлений в атомно-молекулярной органической структуре угольного пласта; 5 – выявить причины горных ударов и выбросов метана в горные выработки и определить способы их предотвращения. **Теоретическая значимость** исследования заключается в изменении парадигмы приращения знаний о технологических причинах горных ударов и внезапных выбросов метана из угольного пласта. **Практическая значимость.** Рекомендуется: 1 – контролировать длину консолей основной кровли в зоне расположения горной выработки и 2 – бурением дегазационных скважин в верхней части угольного пласта обеспечивать предварительную дегазацию пласта впереди забоя выработки. Параметры дегазационных скважин должны увеличить дополнительный молярный объём для уменьшения давления выделяющимся метаном, а параметры целиков между скважинами должны сделать абсолютно неупругим удар и снизить его энергию.

**Ключевые слова:** горный удар, выброс метана, гравитационное сжатие, защемлённая консоль, вес, угольный пласт, высота зазора, ускорение падения, давление газа, молекулярные связи

**Для цитирования:** Колесниченко Е.А., Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.И., Любомищенко Е.И. Горные удары и выбросы метана: технологическая теория и способы предотвращения. *Горная промышленность*. 2025;(1):88–96. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-88-96>

# Rock bursts and methane blowouts: technological theory and ways of prevention

E.A. Kolesnichenko✉, I.E. Kolesnichenko, E.I. Kolesnichenko, E.I. Lyubomishchenko

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

✉ kolesnichenko-2718@rambler.ru

**Abstract:** The article discusses an alternative way to address the challenge of preventing rock bursts and methane blowouts, which cause great material and human losses. Shortcomings of the applied regulatory instructions and recommendations for safe mining operations are shown based on the analytical review. Focus of the researchers on the geomechanical patterns in coal seams predefined the hypotheses about the hazard of coal seams and did not allow to formulate the actual problems of the dangers that the rock bursts and methane blowouts pose. **Objective:** 1 – to establish the cause-and-effect relation of the mining processes with the development of preconditions and occurrence of the rock bursts; 2 – to develop a concept of the power impact of the rock mass on the coal seam during the rock burst against the coal seam; 3 – to prove the technological theory of the rock bursts and methane blowouts, based on the laws of gravitational compression of coal seams in the zones of disturbances in the natural continuity within the rock mass caused by the mining operations; 4 – to explain the cause-and-effect relationship between the rock burst and the processes within the coal seam, and establish patterns of the energy phenomena in the atomic-molecular organic structure of the coal seam; 5 – to identify the causes of rock bursts and methane outflows into the mine workings, and define the ways to prevent them. **The theoretical significance** of this research consists in changing the paradigm of knowledge increment regarding the technological causes of rock bursts and sudden methane blowouts from the coal seam. **The practical significance.** The following actions are recommended: 1 – to control the length of the main roof cantilevers in the

area of the mine working, and 2 – to provide preliminary methane drainage from the coal seam ahead of the mine face by drilling degassing holes in the upper part of the coal seam. The degassing hole parameters should increase the additional molar volume to reduce the pressure of the released methane, while the parameters of the blocks between the holes should make the impact absolutely inelastic and reduce its energy.

**Keywords:** rock burst, methane blowout, gravitational compression, pinched cantilever, weight, coal seam, clearance height, fall acceleration, gas pressure, molecular bonds

**For citation:** Kolesnichenko E.A., Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.I., Lyubomishchenko E.I. Rock bursts and methane blowouts: technological theory and ways of prevention. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):88–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-88-96>

## Введение

**Актуальность.** Горные удары и выбросы метана продолжают происходить в шахтах России и за рубежом в забоях горных выработок во время выемки угольных пластов и образования выработанного пространства. Эти явления изучают уже почти 200 лет, но они продолжают причинять материальный ущерб и приводят к человеческим жертвам. Задачи повышения эффективности и безопасности при разработке метаноносных угольных пластов подземным способом требуют решения проблемы по предотвращению горных ударов и выбросов метана на шахтах. Государством разработаны нормативные инструкции (далее – Инструкция)<sup>1</sup> и рекомендации по безопасному ведению горных работ (далее – Рекомендации)<sup>2</sup>. Однако научная база и практические рекомендации в этих инструкциях отражают устаревшие однобокие знания о происходящих природных явлениях в горных породах и угольных пластах.

Актуальность проблемы прогноза и предотвращения горных ударов на многих месторождениях России обуславливает разработку новых теоретических концепций аномальных процессов в горных массивах. Угольные пласты относятся к трудноизучаемым природным объектам, изолированным от поверхности. Единственной объективной информацией об угольном пласте является глубина залегания. Остальные, в том числе мощность и метаноносность пласта, определяются условно приблизительно по редким геологическим скважинам. Даже оконтуренный выработками выемочный участок пласта остаётся чёрным ящиком во время выемки. В.В. Ходот предположил в 1952 г., что вмещающие породы разрушают угольный пласт при уменьшении его прочности. А.Э. Петросян, Б.М. Иванов и В.Г. Крупеня посчитали, что признаком опасности является наличие в углях и породах больших запасов потенциальной энергии (упругих деформаций и сжатого газа) [1]. Решая проблему предотвращения горных ударов и выбросов метана из угольного пласта, исследователи основывались на закономерностях геодинамики. Игнорировали полученные объективные знания о структурно-вещественном составе угля и закономерностях формирования угольных пластов [2]. Продолжается применение механистической модели для прогнозирования внезапных выбросов метана и угля, сочетающей механику разрушения, газовую динамику и механику горных пород. В основу

геомеханики заложена ошибка о взаимодействии угольного пласта и вмещающих горных пород. В качестве единицы давления и нормального напряжения принята единица кг/см<sup>2</sup>, где кг – это масса. Гидростатическое давление переводится в паскали. Это с точки зрения фундаментальных основ физики незаконно. В Международной системе единиц (СИ) – паскаль: 1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup> [3].

Необходимо отметить, что Инструкция и Рекомендации декларируют не причины возникновения горных ударов и выбросов метана, а их следствия.

В Инструкции записано, что «признаки горного удара: мгновенное разрушение целика или краевой части угольного пласта и вмещающих пород в забое или в целике», а «внезапный выброс ... явление, возникающее в газоносных угольных пластах и характеризующееся быстроразвивающимся разрушением массива с отбросом (смещением) горной массы и выделением газа в горную выработку»<sup>3</sup>.

**Идея исследования** заключается в том, что средства предотвращения горных ударов и выбросов метана должны включать учёт влияния горных работ на формирование этих явлений [4]. На угольный пласт действует гравитационное горное давление веса столба пород. Это давление является наружной силой, которая давит на поверхность пласта. Причиной горных ударов являются технологические условия, когда в выработанном пространстве происходит обрушение защемлённых консолей породных слоёв. Горный удар является причиной внезапного выброса метана из угольного пласта. Горный удар можно предотвратить уменьшением длины защемлённой консоли основной кровли и предотвращением образования расслоения между угольным пластом и основной кровлей. Авторы считают, что вероятность выброса метана зависит от природы формирования угольного пласта и энергетических процессов, возникающих в результате локального динамического горного удара [5]. Для предотвращения выброса метана из пласта необходимо удалять его вакуум-насосом из дегазационных скважин, параметры которых должны сделать угольный пласт абсолютно неупругим и снизить энергию горного удара.

### **Цель работы заключалась в:**

- установлении закономерностей причинно-следственной связи горных работ с формированием условий и реализацией горного удара;
- разработке концепции силового воздействия горного массива на угольный пласт при горном ударе по угольному пласту;
- доказательстве технологической теории горных уда-

<sup>1</sup> Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 декабря 2020 г. №515. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573264171> (дата обращения: 25.12.2024)

<sup>2</sup> Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 7 декабря 2023 г. №441. Режим доступа: [https://www.gosnadzor.ru/industrial/rukovodstva-po-bezopasnosti/rekomendacii\\_po-bezopasnomu\\_vedeniu\\_gornix\\_rabot.pdf](https://www.gosnadzor.ru/industrial/rukovodstva-po-bezopasnosti/rekomendacii_po-bezopasnomu_vedeniu_gornix_rabot.pdf) (дата обращения: 25.12.2024).

<sup>3</sup> Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 декабря 2020 г. №515. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573264171> (дата обращения: 25.12.2024)

ров и выбросов метана, основанной на законах гравитационного сжатия угольных пластов в зоне нарушения природной сплошности массива горных пород;

- объяснении причинно-следственной связи горного удара и процессов в угольном пласте и установлении закономерностей энергетических явлений в органической атомно-молекулярной структуре угольного пласта;
- доказательстве причин и способов предотвращения горных ударов и выбросов метана в горные выработки.

**Материалы и методы**

Методы исследования включали обследование разрушений внезапным выбросом, произошедшим в забое подготовительной выработки, собственный опыт авторов статьи на шахте «Комсомольская» при исследовании микровыбросов метана и угольной пыли [6]. Теоретические вопросы учитывают аналитический анализ причинно-следственных связей в действующих нормативных документах угольной отрасли, в технической и образовательной литературе [7–12]. Процессы в подрабатываемом массиве горных пород рассмотрены с учётом влияния гравитационных сил и закономерностей сопромата перераспределения давлений [13]. Закономерности энергетических процессов в органической массе угольного пласта учитывают неизменность сохранения макромолекулярной структуры в процессе метаморфизма, основы квантовой физики и законы изменения газовой среды [3; 14].

**Объект исследования.** Исследования выполнены в подготовительном забое монтажной камеры 4-1-5-8 (2) на шахте ООО «Шахта «Осинниковская», в котором 24.03.2024 г. произошли горный удар и внезапный выброс метана и угля (рис. 1). Монтажная камера длиной 29 м находилась в непосредственном влиянии выработанных пространств различных сбоек и лавы 4-1-5-7 (рис. 2, с). Силу горного удара в выработке можно оценить по нависшим затяжкам кровли, раздавленному целику с левого бока и выдавленному углю в выработку. Верхний ряд решётчатой затяжки частично отсутствует с левого бока. С правой стороны электрооборудование стоит на месте (см. рис. 1). Выступающие в выработку элементы анкерной крепи загнуты в сторону от забоя (см. рис. 1).



**Рис. 1**  
Фото объективных и реальных разрушений в призабойном пространстве монтажной камеры 4-1-5-8 (2) после горного удара 24.03.2024 г.

**Fig. 1**  
A photographic image of the objective and actual damage in the near-face area of installation chamber 4-1-5-8 (2) after a rock burst on 24.03.2024

Выработка заполнена горной массой на 12 м. Возле забоя обрушенная порода и уголь лежат до самой кровли (рис. 2, b). Комбайн отброшен от забоя на 5 м и развернут относительно оси выработки. Машинист горновыемочных машин был засыпан горной массой около перегружателя. Выброшенный уголь состоит из мелких фракций (от 5 до 20 мм). Обрушенная порода кровли состоит из обломков размером от 100 до 500 мм.



**Рис. 2**  
Фото объективных и реальных разрушений при выбросе метана и горном ударе: а – фрагмент фотографии образовавшейся полости в угольном пласте и разорванной затяжки крепления выработки; б – фрагмент выкопировки из плана горных выработок шахты с результатами измерения размеров полости в пласте и выброшенного угля; с – график времени выброса метана из пласта

**Fig. 2**  
A photographic image of the objective and actual damage due to a methane blowout and a rock burst: а – a fragment of the photographic image of a cavity formed in the coal seam and the broken top lagging in the mine working; б – a fragment of the mine plan with the results of measuring the dimensions of the cavity in the seam and the ejected coal; с – a time-related line chart of the methane blowout from the seam

**Подготовка к выбросу.** 23.03.2022 в 1-ю смену должны были пробурить 10 разгрузочных скважин, но фактически пробурили только в правый борт 4 скважины диаметром 130 мм и длиной 8 м. В 17:30 пробурили 2 шпура в левый бок выработки и 3 шпура в правый. В 21:50 приступили к выемке угля. В 7:00 закончили проведение выработки на 2 м. В 7:30 начали выемку угля в забое, а в 7:48 произошёл горный удар с выдавливанием угля и пород с обильным газовыделением и обрушением угля с боков выработки. Во время бурения прогнозных шпуров в правый бок количество выделяемой мелочи 8,5 л показало удароопасность. Однако горный удар, судя по положению полости выброса (см. рис. 2, b), произошёл в левом боку выработки.

**Параметры замеров.** Фактическая ширина выработки за счёт вывалов увеличилась с 4,2 до 5,0 м. Высота выработки снизилась с 3,8 до 2,7 м. По замерам прогиб кровли у забоя составил 1,1 м.

Размеры образовавшейся полости в верхней части пласта по замерам 8 м в длину и 12 м в ширину с распространением в левый бок от забоя (см. рис. 2, b). На фото (рис. 2, a) видно, что высота полости от 25 до 30 см с левой стороны больше, чем с правой стороны. По разрушениям целика и крепления выработки с левой стороны можно полагать, что пробуренные 7 скважин в правый целик снизили силу горного удара. В результате воздействия горного удара были разрушены шлакоблочные переемы кроссинга на сопряжении Монтажной камеры 4-1-5-8 (2) и Конвейерно-

го штрека 4-1-5-8 (2). Выбросом большого объёма метана была нарушена схема вентиляции участка (см. рис. 2, с). Фактографический материал показал, что все содержащиеся в Инструкции признаки опасности, такие как мощность угольных пачек и природная газоносность пласта, не могут быть точно определены. Об отсутствии представлений о подземных горных работах говорит методика определения коэффициента удароопасности угольных пластов по формуле

$$P = 0,01 H + 0,009 \sigma_{\text{пор.сж}} + m_{\text{проч.пор.о.к}} + 0,6 - P_4,$$

где  $H$  – глубина залегания угольного пласта (более 200 м);  $\sigma_{\text{пор.сж}}$  – предел прочности пород на одноосное сжатие;  $m_{\text{проч.пор.о.к}}$  – мощность прочных пород основной кровли;  $P_4$  – параметр, зависящий от отношения мощности пород легкообрушающейся кровли к мощности вынимаемого слоя угольного пласта, доли ед. Возможно, эти данные что-то характеризуют, но, по нашему мнению, они условны и необъективны. Особенно впечатляет корреляционная формула (9) в Инструкции по своей сложности. Метод середины прошлого века не отражает реальных причинно-следственных зависимостей и не подтверждён коэффициентами корреляции для обоснования глубины, на которой возможно проявление внезапных выбросов метана.

### Результаты и их обсуждение

**Причины образования горного удара.** Выемка угля при проведении очистных и подготовительных выработок нарушает естественное состояние массива горных пород. Исчезает опора, которая уравнивала гравитационную силу вышележащих пластов. Происходит разрушение и обрушение горной массы в выработанном пространстве. Перераспределяются силы тяжести на угольный пласт.

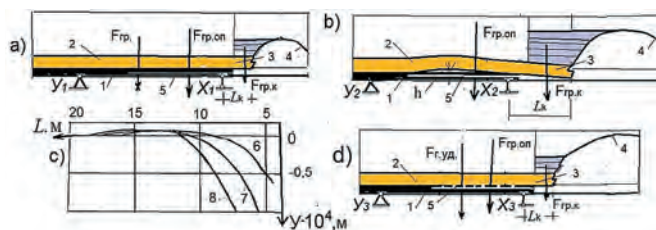
Режимы воздействия горных пород на пласт угля. Можно сформулировать два основных режима, характеризующих изменение угольного пласта в зависимости от силы тяжести и времени воздействия горного массива.

1. *Период покоя.* Гравитационное сжатие угольного пласта силой тяжести вышележающих горных пород до начала горных работ и между горными ударами.
2. *Горный удар.* Мгновенный удар гравитационной силой тяжести горной массы по угольному пласту. Гравитационная сила сжатия угольного пласта увеличивается во много раз в результате падения горной массы мощностью  $H_{гр}$  от поверхности до угольного пласта с большим ускорением и большой скоростью.

**Причинно-следственные фазы реализации горных ударов.** Горный удар происходит практически мгновенно, но при подготовке его происходят несколько фаз изменения причинно-следственных закономерностей в выработке и в горном массиве.

1. *Фаза первая.* Начало проведения выработки. Прокладочные работы являются причиной начала последовательных закономерных фаз, последняя из которых заканчивается силовым физическим процессом – горным ударом.
2. *Фаза вторая.* Начало образования выработанного пространства позади забоя выработки.
3. *Фаза третья.* Увеличение свода обрушения и образование консолей. Происходят первая, первичная и вторичная посадка кровли (рис. 3).
4. *Фаза четвёртая* (рис. 3, а). Пробурена сеть дегазационных скважин. Произведён принудительный

каптаж метана из дегазационных скважин с применением вакуум-насоса или в дегазационную сеть шахты. Эффективность дегазации пласта определяется приборами в дегазационной сети и измерением концентрации метана в атмосфере выработки. Пласт основной кровли зацементирован породными пластами. Выступающая в выработанное пространство консоль пласта основной кровли вначале после облома имеет минимальную длину  $L_k$ . На консоль действует гравитационная сила тяжести  $F_{гр.к}$  зависящих над выработанным пространством консолей. Пласт угля в призабойной зоне (на схеме возле опоры  $X_1$ ) смят опорной силой тяжести  $F_{гр.оп}$ . На угольный пласт действуют гравитационная сила тяжести вышележающих пластов  $F_{гр.п}$  и опорная сила тяжести  $F_{гр.оп}$ .



**Рис. 3**  
Схемы закономерностей изменения деформационных процессов и сил тяжести вышележающих породных пластов при продвижении забоя выработки:  
а – положение пласта основной кровли при минимальной длине консоли;  
б – формирование зазора между пластами угля и породы при увеличении длины консоли;  
в – закономерности, определённые математическим моделированием прогиба пласта основной кровли при отслоении от угольного;  
д – длина консоли основной кровли после горного удара

**Fig. 3**  
Schematic diagrams of the change patterns in the deformation processes and gravity forces of the overlying rock strata during the mine face advancement:  
а – location of the main roof stratum at the minimum cantilever length;  
б – formation of a gap between the coal and rock strata when the cantilever length increases;  
в – regularities determined by the mathematical simulation of the deflection in the main roof stratum when it is detached from the coal stratum;  
д – the length of the main roof cantilever after a rock burst

5. *Фаза пятая* (рис. 3, б). Во время продвижения забоя выработки в выработанном пространстве увеличивается длина  $L_k$  консоли пласта основной кровли. Увеличивается сила тяжести  $F_{гр.к}$  на выступающую консоль. Следствием увеличения длины консоли является изгиб пласта основной кровли над угольным пластом. Его отслоение происходит за опорной зоной, образуя между пластами угля зазор высотой  $h$ .
6. *Фаза шестая* (рис. 3, в). При увеличении продвижения забоя наступает критический момент. Консоль не выдерживает момента силы от вышележающих консолей и обламывается. По данным Инструкции и [15] обламывается 2/3 длины консоли. Происходит обвал породных слоёв, и сила тяжести опорной зоны мгновенно перераспределяется дальше от забоя на расслоившуюся часть пластов. Происходит мгновенное падение и удар породных пластов с высоты  $h$  по угольному пласту. Совершаемая работа массы тяжести горных пород значительно превышает силу тяжести в опорной зоне.

Горные удары имеют периодическую закономерность, частота и сила которых зависит от вторичной посадки основной кровли.

**Физические основы закономерностей расчёта гравитационного сжатия пласта и горного удара по пласту.** Согласно второму закону Ньютона сила, с которой действует тело на пласт, определяется по формуле

$$F = m \cdot a = m \cdot g, \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2, \text{ (Ньютон)},$$

где значение  $a$  или  $g$  зависит от условия падения тела и численно равно силе тяжести, действующей на объект единичной силы<sup>4</sup>.

Ускорение свободного падения  $g = 9,81$  применяется, если тело падает под действием только сил гравитации. Величина ускорения  $a$  падения тела применяется, если на тело действуют другие сторонние силы.

Гравитационное сжатие – это явление, в котором сила тяжести, действуя на массу объекта, сжимает его, уменьшает размеры и увеличивает его плотность<sup>5</sup>.

**Методика расчёта гравитационного сжатия угольного пласта до горного удара.** Момент силы  $M_{сж}$  (работа –  $W_{сж}$ ) сжатия угольного пласта определяется по формуле

$$M_{сж} = W_{сж} = m_n \cdot g \cdot H_n, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2, \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (Дж)}, \quad (1)$$

где  $H_n$  – высота столба горных пород, залегающих над угольным пластом, м;  $g$  – ускорение свободного падения под действием гравитационных сил, равное  $9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $m_n$  – масса в  $1 \text{ м}^3$  горных пород, кг, которая определяется по формуле

$$m_n = \rho V, \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / \text{м}^3 \text{ (кг)}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – средняя плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – удельный объём массы горных пород.

**Методика расчёта силы сжатия горным ударом по угольному пласту.** Горный удар – мгновенное воздействие силой тяжести падающей массы горных пород на угольный пласт определяется по формуле

$$M_{г.у.} = W = m_n \cdot a \cdot H_n, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2, \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (Дж)}, \quad (3)$$

где  $H_n$  – высота столба горных пород, залегающих над угольным пластом, м;  $a$  – ускорение падающей массы горных пород на угольный пласт в зоне прогиба кровли, м/с<sup>2</sup>;  $m_n$  – масса в  $1 \text{ м}^3$  горных пород,

$$m_n = \rho V, \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / \text{м}^3 \text{ (кг)},$$

где  $\rho$  – средняя плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – удельный объём массы горных пород, равный  $1 \text{ м}^3$ .

Ускорение падения горных пород на угольный пласт под действием сил тяжести определяем по Рекомендациям из зависимости  $h = a \cdot T^2 / 2$ ,

$$a = 2 \cdot h / T^2, \text{ м/с}^2, \quad (4)$$

где  $h$  – высота зазора между пластом угля и кровлей, м (рис. 3, б);  $T$  – время падения под влиянием сил тяжести столба горных пород с высоты  $h$ , с.

После подстановки (4) в (3) получаем формулу для определения горного удара

$$M_{г.у.} = W = \rho \cdot V \cdot 2 \cdot h \cdot H_n / T^2, \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (Дж)}. \quad (5)$$

<sup>4</sup> Гравитационные силы. Закон всемирного тяготения. Режим доступа: <https://spadilo.ru/gravitacionnye-sily/> (дата обращения: 25.12.2024); Ускорение свободного падения. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ускорение\\_свободного\\_падения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ускорение_свободного_падения) (дата обращения: 25.12.2024).

<sup>5</sup> Гравитационное сжатие. Режим доступа: <https://klevmarket.ru/articles/gravitatsionnoe-szhatie-chto-takoe.html> (дата обращения: 25.12.2024).

Из формулы (5) видно, что переменными параметрами, влияющими на момент силы сжатия, являются высота горных пород  $H_n$  над угольным пластом, высота зазора между угольным пластом и кровлей  $h$  и время падения сил тяжести на угольный пласт.

Уровень влияния этих параметров на работу удара по угольному пласту определим по результатам расчёта отдельных вариантов.

**Исходные параметры для расчёта:**

1. Средняя плотность горной массы  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup>.
2. Варианты высоты столба горных пород  $H_n$ , м: 400; 600; 800.
3. Варианты времени  $T$  падения горной массы с высоты  $h$  на пласт, с: 0,015; 0,003; 0,005.
4. Варианты высоты (амплитуды) изгиба при расслоении кровли  $h$ , м: 0,05; 0,04, 0,3.

**Пояснение.** Значения высоты принимаем на основании подобия реального прогиба кровли при горном ударе в забое монтажной камеры 4-1-5-8 (2) и полученных параметров при математическом моделировании авторами работы [11].

**А. Расчёт момента силы гравитационного сжатия угольного пласта до горного удара.** Подставляем исходные параметры в формулы (2) и (1).

$$m_n = \rho \cdot V = 2500 \cdot 1 = 2500 \text{ кг};$$

$$H_n = 400 \text{ м. } M_{сж} = W_{сж} = 2500 \cdot 9,81 \cdot 400 = 9,81 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (Дж);}$$

$$H_n = 600 \text{ м. } M_{сж} = W_{сж} = 2500 \cdot 9,81 \cdot 600 = 14,72 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (Дж);}$$

$$H_n = 800 \text{ м. } M_{сж} = W_{сж} = 2500 \cdot 9,81 \cdot 800 = 19,62 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ (Дж).}$$

**В. Расчёт момента силы сжатия угольного пласта горным ударом.**

Цель расчётов заключалась в определении количественной зависимости силы сжатия при горном ударе  $W$  от высоты зазора  $h$  между угольным и породным пластом. Результаты расчёта показывают (табл. 1), что эту высоту необходимо уменьшать и разрабатывать технические способы для предотвращения вибраций консольной балки во время облома. Очевидно, что и время падения кровли на угольный пласт  $T$  является негативным параметром и его необходимо увеличивать.

Полагаем, что величина прогиба при расслоении зависит не только от природной характеристики пласта кровли, но и от технологических способов проведения выработки. На рис. 4,  $n$  показана визуализация влияния  $h$  и  $T$  на ускорение падения горной массы и на работу  $W$  по сдавливанию (уплотнению) угольного пласта.

**Концептуальные энергетические процессы в угольном пласте в результате сжатия горным ударом.**

1. **Неизменность молекулярной структуры в органическом составе угольного пласта.** Ю.А. Жемчужников экспериментально и научно обосновал петрографический и химический состав органической массы торфяника [2].

Ароматические ядра лигнина  $C_{50}H_{49}O_{11}$  составляют основу органического вещества и определяют его прочность. Периферийные метоксильные  $(OCH_3)_2$  и гидроксильные  $(OH)$  группы в макромолекулах являются основными поставщиками химических элементов для образования молекул метана.

На рис. 4,  $m$  показана надмолекулярная структура одного из многих образцов угольного вещества, полученных А.Т. Айруни при помощи электронного микроскопа. Видны агрегаты молекул и проходные поры, в которых может скапливаться газ метан в свободном состоянии.

Сохранение молекулярной структуры и химического состава в органической массе подтверждается результа-

Таблица 1  
Результаты расчёта силы  
горного удара по угольному  
пласту

Table 1  
Results of calculating the  
force of the rock burst against  
the coal seam

h, м	T, с	a, м/с <sup>2</sup>	H <sub>n</sub> = 400 м	H <sub>n</sub> = 600 м	H <sub>n</sub> = 800 м
			W, Дж	W, Дж	W, Дж
0,05	0,0015	44444	4,44·10 <sup>10</sup>	6,67·10 <sup>10</sup>	8,89·10 <sup>10</sup>
	0,003	11111	1,1·10 <sup>10</sup>	1,67·10 <sup>10</sup>	2,22·10 <sup>10</sup>
	0,005	4000	0,4·10 <sup>10</sup>	0,6·10 <sup>10</sup>	0,8·10 <sup>10</sup>
	0,007	2041	0,2·10 <sup>10</sup>	0,306·10 <sup>10</sup>	0,41·10 <sup>10</sup>
	0,01	1000	0,1·10 <sup>10</sup>	0,15·10 <sup>10</sup>	0,20·10 <sup>10</sup>
0,04	0,0015	35555	3,56·10 <sup>10</sup>	5,33·10 <sup>10</sup>	7,11·10 <sup>10</sup>
	0,003	8889	0,89·10 <sup>10</sup>	1,33·10 <sup>10</sup>	1,78·10 <sup>10</sup>
	0,005	3200	0,32·10 <sup>10</sup>	0,48·10 <sup>10</sup>	0,64·10 <sup>10</sup>
	0,007	1633	0,163·10 <sup>10</sup>	0,245·10 <sup>10</sup>	0,33·10 <sup>10</sup>
	0,01	800	0,08·10 <sup>10</sup>	0,12·10 <sup>10</sup>	0,16·10 <sup>10</sup>
0,03	0,0015	26667	2,67·10 <sup>10</sup>	4,0·10 <sup>10</sup>	5,33·10 <sup>10</sup>
	0,003	6667	0,67·10 <sup>10</sup>	1,0·10 <sup>10</sup>	1,33·10 <sup>10</sup>
	0,005	2400	0,24·10 <sup>10</sup>	0,36·10 <sup>10</sup>	0,48·10 <sup>10</sup>
	0,007	1224	0,12·10 <sup>10</sup>	0,18·10 <sup>10</sup>	0,25·10 <sup>10</sup>
	0,01	600	0,06·10 <sup>10</sup>	0,09·10 <sup>10</sup>	0,12·10 <sup>10</sup>
0,01	0,003	2222	0,22·10 <sup>10</sup>	0,33·10 <sup>10</sup>	0,44·10 <sup>10</sup>
	0,005	800	0,08·10 <sup>10</sup>	0,12·10 <sup>10</sup>	0,16·10 <sup>10</sup>
	0,007	408	0,04·10 <sup>10</sup>	0,06·10 <sup>10</sup>	0,082·10 <sup>10</sup>
	0,01	200	0,02·10 <sup>10</sup>	0,03·10 <sup>10</sup>	0,04·10 <sup>10</sup>
	0,015	89	0,009·10 <sup>10</sup>	0,013·10 <sup>10</sup>	0,0178·10 <sup>10</sup>

тами технического и элементного анализа угля. На шахтах определяют процентное содержание летучих веществ и массовую концентрацию атомов углерода С, водорода Н и кислорода О<sup>6</sup> [16]. Структуру макромолекул и химические связи изучают с применением мощных микроскопов (см. рис. 4, m).

Доказательство того, что молекулярная структура сохранилась в органическом веществе несмотря на биохимические процессы и метаморфические преобразования, является основным условием для обоснования энергетических процессов в угольном пласте во время горного удара.

2. Энергетические закономерности образования метана в угольном пласте. Короткодействующая связь атомов обеспечивается силами притяжения и отталкивания. Существуют два способа разъединения атомов [17]. Первый способ энергетический: электроны связанных атомов после присоединения фотона энергии с положительным зарядом силами отталкивания перемещаются на орбиту в электрическом поле дальше от ядра (рис. 5, a). Например, равновесное расстояние между ядрами пары атомов С–Н равно 0,107 нм и энергия связи 4,29 эВ. Расстояние между Н–Н равно 0,047 нм и энергия связи 4,53 эВ. При рассмотрении энергии множества атомов энергию связи считают в килоджоулях на моль атомов (кДж/моль).

При горном ударе происходит физическое сжатие массы пласта. Задача заключается не в определении мифических свойств, таких как прочность и модуль упругости, а в определении изменения его атомно-молекулярной структу-

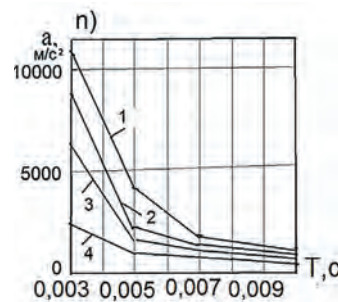


Рис. 4  
Закономерности изменения ускорения падения горных пород и фото надмолекулярной организации угля: n – 1, 2, 3, 4 – закономерности при высоте h изгиба кровли 0,05; 0,04; 0,03; 0,01 м соответственно; m – фото фрагмента надмолекулярной органической структуры угля с увеличением (по данным А.Т. Айруни); k – фрагмент структуры угольного пласта (с увеличением)

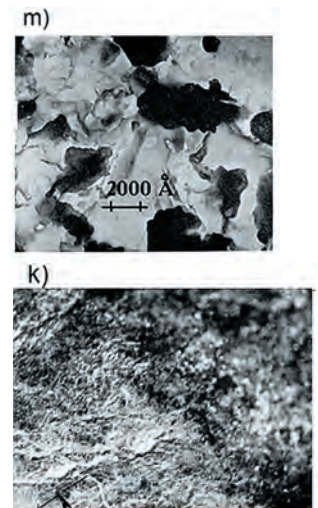


Fig. 4  
Regularities in the change of the rock fall acceleration and a photographic image of the supramolecular structure of coal: n – 1, 2, 3, 4 – regularities at the roof dome height (h) of 0.05 m; 0.04 m; 0.03 m, and 0.01 m, respectively; m – photo fragment of the supramolecular organic structure of coal, magnified (according to A.T. Ayruni); k – a fragment of the coal seam structure (magnified)

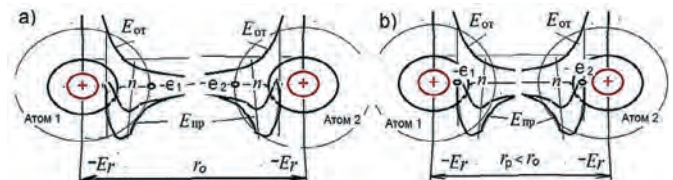


Рис. 5  
Проекция энергетических положений атомов и валентных электронов в атомах до горного удара (a) и при сжатии угольного пласта (b): n – основной энергетический уровень валентного электрона; r<sub>0</sub> – равновесное расстояние между ядрами электронов до горного удара; r<sub>p</sub> – расстояние между ядрами атомов во время горного удара; –E<sub>r</sub> – энергия силового взаимодействия между ядром и атомом; E<sub>от</sub> и E<sub>пр</sub> – соответственно энергия сил отталкивания и притяжения атомов; –e<sub>1</sub> и –e<sub>2</sub> – валентные электроны первого и второго атомов

Fig. 5  
Projections of the energy positions of atoms and valence electrons in atoms before the rock burst (a) and during compression of the coal seam (b): n – the ground energy level of the valence electron; r<sub>0</sub> – the equilibrium distance between the electron nuclei before the rock burst; r<sub>p</sub> – the distance between the atom nuclei during the rock burst; –E<sub>r</sub> – the energy of the power interaction between the nucleus and the atom; E<sub>от</sub> and E<sub>пр</sub> – the energy of the repulsion and attraction forces of the atoms, respectively; –e<sub>1</sub> and –e<sub>2</sub> – the valence electrons of the first and second atoms

6 ГОСТ Р 55660-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ». Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/555/55585.pdf> (дата обращения: 25.12.2024).

ры от приложения силы к различным точкам материала. На рис. 5, *b* показано, что при сжатии расстояние между ядрами двух атомов стало меньше основного  $r_p < r_o$ . Силы отталкивания разъединяют атомы. Свободные радикалы готовы к объединению с другими атомами. Например, атомы Н–Н разъединяются и затем объединяются с атомом С, образуя молекулу  $CH_4$ .

Констатируем, что столб массива горных пород только сдавливает массу угольного пласта. Никакая энергия из вмещающих пород не переливается в пласт угля. Энергетические процессы перестройки в органическом веществе в результате горного удара происходят за счёт энергии сжатых атомов.

*Рассмотрим это на практическом примере пласта «Бреевский» шахты «Полысаевская».*

Пласт угля марки Г состоит из 2 пачек, разделенных породным прослойком мощностью от 0,01 до 0,07 м. Метаносность пласта по данным шахты 6 м<sup>3</sup>/т. По результатам технического анализа зольность изменяется от 21,3 до 31,3%, влажность – от 7,5 до 9,2% [16]. Сравнивая плотность марки Г (1,25 т/м<sup>3</sup>) с плотностью антрацита (1,6–1,7 т/м<sup>3</sup>), можно принять, что объёмная пористость пласта Г примерно 22%, или 220000 см<sup>3</sup>. Массовая доля органической части пласта занимает только 78%, или 762,5 кг/м<sup>3</sup>. Элементный анализ в пробе массой 1 г показал, что выход летучих веществ в рабочем состоянии 33,7%, а количество атомов углерода С, водорода Н, азота N, молекул кислорода O<sub>2</sub> соответственно 51,76; 3,63; 1,89; 5,39%.

При пересчёте массы этих атомов в молярный объём получаем, что максимальный молярный состав в 1 м<sup>3</sup> пласта может составлять углерода С = 11083 моля; водорода Н = 9330 молей; азота N = 174 моля и молекул кислорода O<sub>2</sub> = 433 моля.

При соединении всех атомов водорода с углеродом образуется 9330 / 4 = 2332 молей метана  $CH_4$ . Для критического сжатия атомов С–Н необходима энергия 206 кДж/моль, атомов О–Н – 231 кДж/моль, атомов Н–Н – 218 кДж/моль. Принимаем для расчёта максимальное значение 231 кДж/моль.

3. *Закономерности процессов в газовой среде в угольном пласте после горного удара.* Связь между параметрами состояния газовой среды описывается законом Бойля–Мариотта [3]:

$$p = n \cdot R \cdot T / V_{o6}, \quad (6)$$

где  $p$  – давление газа в объёме пористости, Па;  $n$  – количество вещества газа (структурных единиц) в объёме, моль;  $R$  – газовая постоянная,  $R = 8,314$  Дж/(моль·К);  $T$  – температура газа, К.

Впервые предлагаем новый алгоритм реализации энергетических явлений в пористом объёме органической массы угольного пласта.

1. Определяем давление газа до горного удара. Объём пористости 0,22 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.  
Природное содержание метана в пласте 6 м<sup>3</sup>/т, или в пересчёте 7,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (335 молей). Давление газа  $p = 335 \cdot 8,314 \cdot 300 / 0,22 = 3,8 \cdot 10^6$  Па (3,8 МПа).
2. Процесс первый. При горном ударе реально могут отсоединиться от молекул только периферийные атомы водорода и углерода. Суммарное количество новых частиц в объёмной пористости угля равно 11662. Для отделения этих частиц требуется сила сжатия 11662 моля · 231 · 10<sup>3</sup> Дж/моль = 0,2694 · 10<sup>10</sup> Дж. Такая сила сжатия реальна (см. табл. 1).

3. Процесс второй. Увеличение давления газа в объёме пористости после отделения атомов Н и С от макромолекул  $p = 11662 \cdot 8,314 \cdot 300 / 0,22 = 132,2 \cdot 10^6$  Па (132,2 МПа). Очевидно, что при таком кратковременном увеличении давления будут разрушены межблочные и молекулярные энергетические связи (см. рис. 4, *m, k*). Произойдёт некоторое разрыхление угольной структуры и снизится её прочность.
4. Процесс третий. Снижение давления в объёме пористости после объединения атомов Н и С в молекулы  $CH_4$ . Молярный состав уменьшится до 2332 молей. Давление газа снизится  $p = (2332 + 335) \cdot 8,314 \cdot 300 / 0,22 = 30,24 \cdot 10^6$  Па (30,24 МПа).
5. Процесс четвёртый. Давление газа увеличится после излучения энергии атомами  $CH_4$  и сдавливании угольного пласта. При соединении атомов С–Н каждым из их выделяется 2,145 эВ энергии. Длина волны электромагнитного излучения равна 5,78 · 10<sup>-7</sup> м. Температура в газовой среде увеличится до 5020 К. Однако в результате сдавливания произойдёт уменьшение объёма пласта. Примем уменьшение объёма пласта на 10%. Поровое пространство соответственно уменьшится до 0,20 м<sup>3</sup>. В соответствии с аксиомами квантовой теории в газовой среде пласта произойдёт мгновенное повышение давления  $p = (2332 + 335) \cdot 8,314 \cdot 5020 / 0,20 = 557 \cdot 10^6$  Па (557 МПа).

Произойдёт закономерный выброс давлением метана, разрыхлённого в пласте угля (см. рис. 2, *c*).

Реальные данные о повышении температуры в угольном пласте приведены Г.Н. Фейтом и О.Н. Масленниковой в работах [18; 19]. Экспериментально установлено, что «Впереди забоя выработки отмечены зоны с раскалённым углём. Установлено повышение температуры на 13,3 °С в передовой скважине на расстоянии 11,7 м от линии забоя. Средняя температура в забое 30 °С».

### Заключение

Обобщённые знания технологии горных работ и современного уровня представлений о физико-энергетических процессах в горном массиве позволяют решить проблему предотвращения горных ударов и выбросов метана при выемке угольных пластов. Объяснена причина горного удара и впервые сформулировано условие образования и реализации гравитационного сжатия угольного пласта с переходом в горный удар по угольному пласту. Сформулированы причинно-следственные закономерности активной реализации 6 фаз горного удара, при которых образуются опасные факторы: высота прогиба и ускорение гравитационного падения основной кровли на угольный пласт. В статье утверждается, что горные удары, импульсы силы которых можно рассчитать, являются причиной внезапных выбросов метана и угля при выполнении горнопроходческих работ. Рассмотрена цепь энергетических преобразований и мгновенное увеличение возможного опасного давления метана в пористой структуре в молекулярной структуре угольного пласта.

#### Научная новизна

1. Впервые сформулирована и доказана технологическая теория горных ударов и выбросов метана при проведении горных работ.
2. Впервые обосновано влияние гравитационных сил сжатия на природные процессы в угольном пласте и вмещающих горных породах.
3. Предложена оригинальная модель из 6 фаз причин-

но-следственных закономерностей, включающая технологические процессы горных работ, формирования гравитационной силы тяжести в массиве и мгновенный удар работы этой силой по сжатию угольного пласта.

5. Обоснована причинно-следственная связь горного удара с изменениями явлений в угольном пласте. Горный удар является причиной закономерных явлений в угольном пласте:

- в результате отделения атомов водорода и углерода увеличивается молярный объём частиц в пористости угля;
- кратковременно увеличивается давление газа; разрушаются молекулярные энергетические связи; разрыхляется угольная структура;
- снижается давление газа в результате образования молекул метана; мгновенно увеличивается давление в результате выделения этими молекулами электромагнитной энергии.

**Теоретическая значимость** заключается в изменении парадигмы приращения знаний о технологических причинах горных ударов и внезапных выбросах метана из угольного пласта.

**Практическая значимость**

Рекомендуется, во-первых, контролировать длину консолей основной кровли в зоне расположения горной выработки и, во-вторых, бурением дегазационных скважин в верхней части угольного пласта обеспечивать предварительную дегазацию пласта впереди забоя выработки. Параметры дегазационных скважин должны увеличить дополнительную пористость для снижения давления выделяющимся метаном, а параметры целиков между скважинами должны сделать абсолютно неупругим удар и снизить его энергию.

**Список литературы / References**

1. Петросян А.Э. Энергетическая теория внезапных выбросов. ее место в науке о газодинамических явлениях и перспективы развития. *Борьба с внезапными выбросами*. 1985;242:3–10. Режим доступа: <https://masters.donntu.ru/2006/fgtu/novikov/library/doc1.rtf> (дата обращения: 25.12.2024).  
Petrosyan A.E. The energy theory of sudden blowouts. Its place in the science of gas-dynamic phenomena and prospects of development. *Borba s Vnezapnymi Vybrozami*. 1985;242:3–10. (In Russ.) Available at: <https://masters.donntu.ru/2006/fgtu/novikov/library/doc1.rtf> (accessed: 25.12.2024).
2. Жемчужников Ю.А. *Общая геология каустобиолитов*. Л.; М.: Онти. Глав. ред. геол.-развед. и геодезич. лит.-ры; 1935. 548 с. Режим доступа: <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/227475> (дата обращения: 25.12.2024).
3. Кухлинг Х. *Справочник по физике* [Пер. с нем. под ред. Е.М. Лейкина]. М.: Мир; 1982. 520 с. Режим доступа: <https://djvu.online/file/t5vwrKVp5YztR> (дата обращения: 25.12.2024).
4. Канлыбаева Ж.М. *Закономерности сдвижения горных пород в массиве: по данным наблюдений в Карагандинском бассейне*. М.: Наука; 1968. 108 с.
5. Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И. Механизм внезапных выбросов метана в угольных пластах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(1):108–120. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-1-0-108-120>  
Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I., Kolesnichenko E.I. Mechanism of methane outbursting in coal seams. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(1):108–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-1-0-108-120>
6. Колесниченко Е.А. *Управление газодинамическим состоянием выбросоопасного пласта при проведении выработок с учётом генетических характеристик месторождения: автореф. ... д-ра техн. наук*. М.; 2000. 40 с.
7. Журавков М.А., Полевщиков Г.Я. Газодинамическая реакция горных пород при проведении подготовительных выработок. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2011;(2):39–52.  
Zhuravkov M.A., Polevshchikov G.Ya. Mine rocks gas dynamic reaction at preparation openings heading. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2011;(2):39–52. (In Russ.)
8. Чemezov Е.Н. *Безопасность подземных горных работ*. Якутск: СВФУ; 2010. 359 с.
9. Полевщиков Г.Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2013;(5):50–60.  
Polevshchikov G.Ya. Deformation-wave processes under production face advance in coal and rocks. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh*. 2013;(5):50–60. (In Russ.)
10. Петросян А.Э. (ред.) *Снижение выбросоопасности при динамическом воздействии на угольный массив*. М.: Наука; 1985. 181 с.
11. Лейбович М.В. *Теория удара в задачах и примерах*. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та; 2016. 236 с.
12. Ле К.Ф., Дмитриев П.Н., Тхан В.З., Ли Ю. Влияние основной кровли на параметры зоны опорного давления в краевой части пласта. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6-1):68–82. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_61\\_0\\_68](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_68)  
Le Q.Ph., Dmitriev P.N., Than V.D., Li Yu. Influence of the main roof on the parameters of the abutment pressure zone in the selvedge of the seam. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6-1):68–82. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_61\\_0\\_68](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_68)



13. Жернаков В.С. *Сопротивление материалов – механика материалов и конструкций*. Уфа: УГАТУ; 2012. 495 с. Режим доступа: [https://mircompozitov.ucoz.ru/\\_ld/3/306\\_Zhernakov.pdf](https://mircompozitov.ucoz.ru/_ld/3/306_Zhernakov.pdf) (дата обращения: 25.12.2024).
14. Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Артемьев В.Б., Любомищенко Е.И., Черечукин В.Г., Колесниченко Е.И. *Квантовая теория метанобезопасности. Электронно-энергетические процессы в молекулярных системах*. LAP LAMBERT Academic Publishing RU; 2021. 473 с.
15. Реут Л.Е. *Плоский поперечный изгиб*. Минск: БНТУ; 2016. 263 с. Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/25704/Ploskij\\_poperechnyj\\_izgib.pdf](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/25704/Ploskij_poperechnyj_izgib.pdf) (дата обращения: 25.12.2024).
16. Рашевский В.В., Артемьев В.Б., Силютин С.А. *Качество углей ОАО «СУЭК»*. М.: Кучково поле; 2011. 576 с. (Серия «Библиотека инженера». Т. 5. Кн. 1).
17. Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И. Квантовые основы метаноопасности угольных пластов. *Горная промышленность*. 2021;(1):91–97. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-91-97>  
Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I., Kolesnichenko E.I. Quantum fundamentals of coal bed methane hazards. *Russian Mining Industry*. 2021;(1):91–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-91-97>
18. Малинникова О.Н. Механохимическое образование метана при разрушении угля. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. *Научный журнал Российского газового общества*. 2019;(1):10–16.  
Malinnikova O.N. Mechanochemical generation of methane during coal failure. *Nauchnyi Zhurnal Rossiiskogo Gazovogo Obshchestva*. 2019;(1):10–16. (In Russ.)
19. Фейт Г.Н., Малинникова О.Н. Предельное напряжённое состояние и процессы разрушения трещиноватых газоносных угольных пластов. В: *Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы 22-й Междунар. науч. школы им. акад. С.А. Христиановича, Крым, Алушта, 17–23 сентября 2012 г.* Симферополь: Таврический национальный университет; 2012. С. 335–337.

**Информация об авторах**

**Колесниченко Евгений Александрович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Шахтинского автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-5595-1079>; e-mail: [kolesnichenko-2718@rambler.ru](mailto:kolesnichenko-2718@rambler.ru)

**Колесниченко Игорь Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и строительства автомобильных дорог, заместитель директора – научный руководитель Шахтинского автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Новочеркасск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1063-5304>; e-mail: [kolesnichenko\\_igor@rambler.ru](mailto:kolesnichenko_igor@rambler.ru)

**Колесниченко Евгений Игоревич** – аспирант кафедры горное дело, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8740-9356>; e-mail: [z\\_kolesnichenko@mail.ru](mailto:z_kolesnichenko@mail.ru)

**Любомищенко Екатерина Игоревна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Шахтинского автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Новочеркасск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-9495-7385>; e-mail: [katya87lk@mail.ru](mailto:katya87lk@mail.ru)

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 17.11.2024

Поступила после рецензирования: 09.01.2025

Принята к публикации: 09.01.2025

**Information about the authors**

**Evgeny A. Kolesnichenko** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor at the Construction and Technogenic Safety Department, Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-5595-1079>; e-mail: [kolesnichenko-2718@rambler.ru](mailto:kolesnichenko-2718@rambler.ru)

**Igor E. Kolesnichenko** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Construction and Technogenic Safety Department, Deputy Director – Academic Advisor, Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1063-5304>; e-mail: [kolesnichenko\\_igor@rambler.ru](mailto:kolesnichenko_igor@rambler.ru)

**Evgeny I. Kolesnichenko** – Postgraduate Student, Mining Department, Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8740-9356>; e-mail: [z\\_kolesnichenko@mail.ru](mailto:z_kolesnichenko@mail.ru)

**Ekaterina I. Lyubomishchenko** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Assistant Professor at the Motor Road Design and Construction Department, Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-7385>; e-mail: [katya87lk@mail.ru](mailto:katya87lk@mail.ru)

**Article info**

Received: 17.11.2024

Revised: 09.01.2025

Accepted: 09.01.2025