

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.39.78.001

УДК 622.414.2: 622.831.3: 004.942

© Ю. М. Говорухин, С. С. Кубрин, 2025

Ю. М. ГОВОРУХИН

канд. техн. наук,

начальник научно-исследовательского отдела

Национальный горноспасательный центр, Новокузнецк

e-mail: govorukhin_ym@mail.ru



С. С. КУБРИН

д-р техн. наук, проф.

зав. лабораторией, учёный секретарь института

ИПКОН РАН, Москва

e-mail: kubrin_s@ipkonran.ru



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЁМОВ ПУСТОТ НА УЧАСТКАХ ЗОН ОБРУШЕНИЯ, ПРИМЫКАЮЩИХ К ОЧИСТНОМУ ЗАБОЮ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ

Выполнено численное моделирование процессов обрушения, дезинтегрирования, уплотнения горных пород, динамики их проницаемости и формирования пустот в зоне обрушения. Получены формы, размеры, а также амплитуда изменения объёмов закрепного пространства и газового коллектора в зоне обрушения для условий рассматриваемых угольных шахт. Обоснованы объёмы метана, которые могут быть вытеснены в действующие горные выработки при процессах посадки консолей кровли.

Ключевые слова: ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК, ЗОНА ОБРУШЕНИЯ, ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ, ЗАКРЕПНОЕ ПРОСТРАНСТВО, ГАЗОВЫЙ КОЛЛЕКТОР, ОБЪЁМЫ ПУСТОТЫ, ВЫТЕСНЕНИЕ МЕТАНА.

ВВЕДЕНИЕ

При отработке выемочных столбов на пологих пластах с использованием механизированных комплексов и управлении кровлей полным обрушением, как известно, формируются зоны обрушения. В их так называемых «куполах» происходит формирование техногенного резервуара метана (газового коллектора), из которого он поступает в действующие выработки, а также может интенсивно вытесняться при посадках консолей кровли (при условии, если основная кровля не подбучена обрушившимися породами непосредственной кровли)

в пространство горных выработок. При этом объём вытесняемого газа зависит от многих факторов, в том числе от таких как [1–3]: суммарный объём образованной пустоты за механизированной крепью и в куполе обрушения, её части, проветриваемой утечками воздуха, дебитов метана в выработанное пространство, интенсивности обрушения консолей пород кровли и др. С целью количественной оценки значений объёмов пустоты, образующейся при отработке выемочных столбов, и её динамики при подвигании очистного забоя, выполнены численные исследования процессов

формирования зон обрушения с использованием разработанной программы «Аэродинамика» [2–12].

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования выбраны пять выемочных участков (далее также — в/у) таких шахт Кузнецкого угольного бассейна, как: шахта «Абашевская» (в/у 16-17), шахта «Осинниковская» (в/у 1-1-5-6 бис); шахтоучасток «Сибиргинский» (в/у 3-1-9); шахта «Листвяжная» (в/у 823); шахта «Есаульская» (в/у 29-28). Их модели созданы с использованием соответствующих горно-геологических и горнотехнических условий, приведённых в «Документации по ведению горных работ по выемке, креплению и управлению кровлей длинного очистного забоя» и «Проектах проветривания выемочных участков». Основные характеристики указанных выемочных участков приведены в табл. 1 и 2 [2]. На рис. 1 приведён общий вид в пространстве сформировавшейся зоны обрушения для условий в/у 16-17 шахты «Абашевская» и в/у 3-1-9 шахтоучастка «Сибиргинский» (один из результатов работы программы «Аэродинамика»).

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЫВОДЫ

На рис. 2 приведены полученные по результатам моделирования формы и размеры закрепного пространства и газового коллектора в зоне обрушения для условий, рассматриваемых в/у пяти угольных шахт, а на рис. 3 графики динамики объёмов, которые демонстрируют физический процесс осцилляции

значений свободной мощности при посадке пород основной кровли. Под газовым коллектором и закрепным пространством в данном исследовании понимается объём пустоты на примыкающих к очистному забою участках зоны обрушения, соответственно, выше плоскости кровли пласта и ниже. Используются следующие обозначения: $l_{з.пр}$, $l_{г.к}$ — протяжённость, соответственно, закрепного пространства и газового коллектора вглубь выработанного пространства, м; $\Delta V_{г.к}$, $\Delta V_{з.пр}$ — изменение объёма, соответственно, газового коллектора и закрепного пространства при периодических процессах зависания и обрушения консолей кровли, м³; $\Delta V_{общ}$ — изменение общего объёма пустоты в зоне обрушения в непосредственной близости от очистного забоя, м³; $V_{о.з}$ — объём очистного забоя, м³. Амплитуда изменения объёма газового коллектора (графики на рис. 3) определяет объёмы метана, которые могут быть вытеснены при его накоплении в застойных зонах в действующие выработки выемочного участка.

Установлено, что форма и размеры закрепного пространства и газового коллектора главным образом определяются в зависимости от таких горно-геологических и горнотехнических параметров, как вынимаемая мощность пласта m_b , длина очистного забоя $l_{о.з}$, структура, мощность, крепость и трещиноватость пород кровли. При этом, как видно из графиков, приведённых на рис. 3, в работе основной и непосредственной кровли можно выделить два режима: первый — начальный, в котором параметры процессов посадки кровли находятся настраиваются; второй — установившийся.

Таблица 1

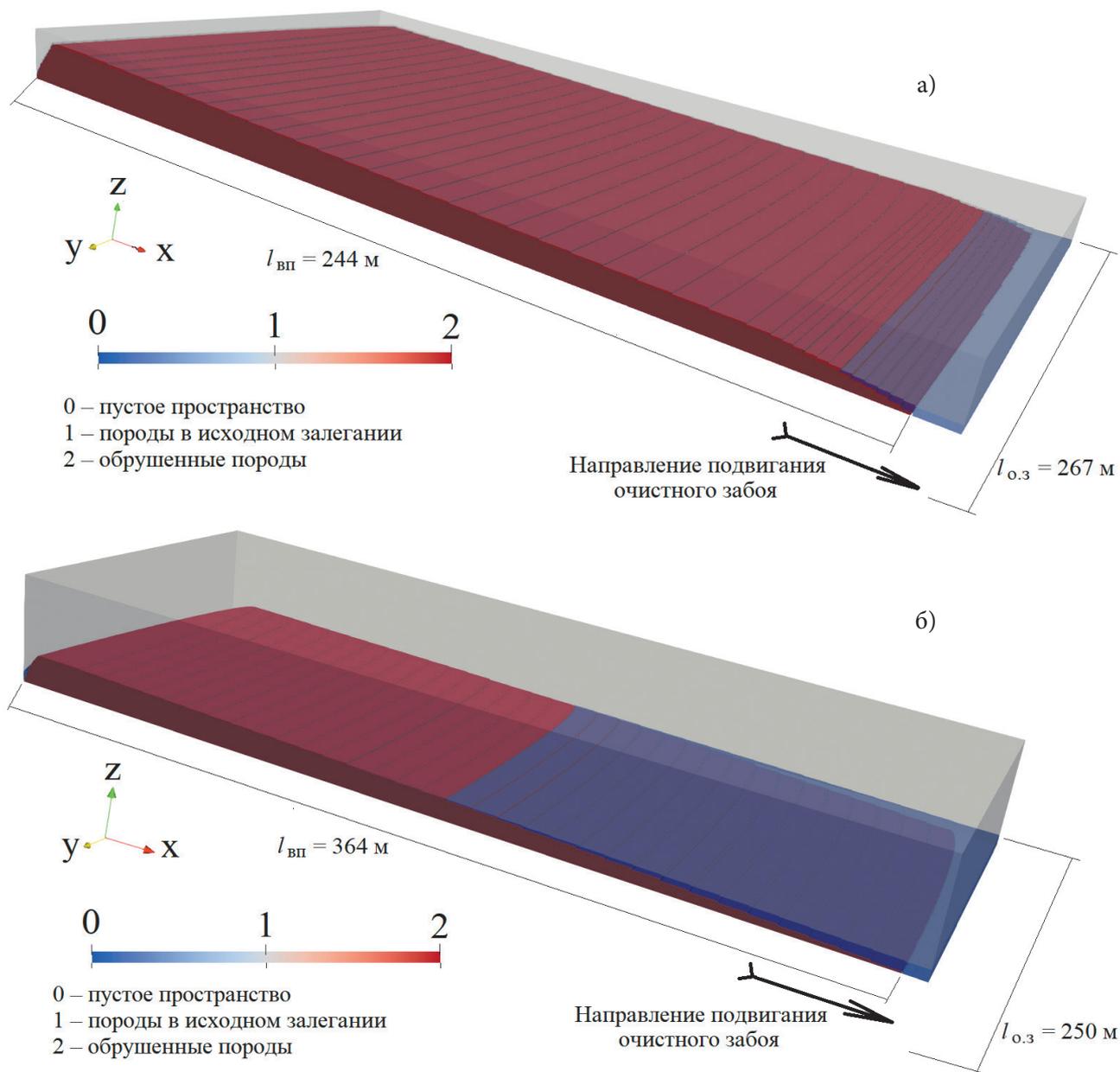
Основные горно-геологические и горнотехнические данные

Выемочный участок	$l_{о.з}$, м	m_b , м	H_D , м	$\gamma_{пл}$, т/м ³	$\alpha_{пл.х}$, град	$\alpha_{пл.у}$, град	$S_{оч}$, м ²	$A_{сут}$, т/сут	$l_{вс}$, м
в/у 16-17	267	1,74	660	1,27	-4	5	4,0	2600	1495
в/у 1-1-5-6 бис	200	3,28	790	1,29	-5	1	8,4	2800	1750
в/у 3-1-9	250	4,30	400	1,39	-4	3	9,0	4150	2000
в/у 823	220	4,20	440	1,38	-7	-1	11,0	14800	4450
в/у 29-30	300	2,45	400	1,30	1	3	8,0	5000	1350

Таблица 2

Характеристика кровли рассматриваемых выемочных участков

Наименование	Описание
Шахта «Абашевская». Выемочный участок 16-17	
Характеристика кровли	<p>Ложная кровля отсутствует.</p> <p>Мощность непосредственной кровли — 3-5 м. Характеризуется средней устойчивостью и представлена мелко- и крупнозернистым алевролитами. Шаг обрушения — 2,0–6,0 м.</p> <p>Мощность основной кровли — 16 м. Представлена алевролитом от мелко- до крупнозернистого и мелкозернистым песчаником. По нагрузочным свойствам — средняя, по управляемости — среднеуправляемая. Шаг обрушения — 6,0–10,0 м.</p>
Шахта «Осинниковская». Выемочный участок 1-1-5-6 бис	
Характеристика кровли	<p>Ложная кровля — неустойчивый алевролит. Мощность — 0,23–0,50 м.</p> <p>Мощность непосредственной кровли — 4,0–13,0 м. Представлена мелкозернистым алевролитом — слоистый и трещиноватый с зеркалами скольжения, средней устойчивости. На некоторых участках непосредственная кровля характеризуется как неустойчивая, с образованием вывалов до 0,6 м.</p> <p>Основная кровля — песчаник мощностью от 6,0 до 26,0 м. По нагрузочным свойствам — тяжёлая. По обрушаемости — трудно и среднеобрушаемая. Шаг обрушения — 30,0–50,0 м.</p>
Шахтоучасток «Сибиргинский». Выемочный участок 3-1-9	
Характеристика кровли	<p>Кровля пласта устойчивая, склонная к зависанию, трудноуправляемая.</p> <p>Обрушение — крупноблочное. Первичный шаг обрушения основной кровли составляет 40,0–50,0 м, последующие шаги — 12,0–15,0 м.</p>
Шахта «Листвяжная». Выемочный участок 823	
Характеристика кровли	<p>Ложная кровля представлена слоями углистых пород с многочисленными зеркалами скольжения.</p> <p>Непосредственная кровля представлена мелко- и крупнозернистым алевролитами. По устойчивости — слабо и среднеустойчивая, на некоторых участках — неустойчивая.</p> <p>Основная кровля — средне и труднообрушаемая. Шаг обрушения — 45,0 м.</p>
Шахта «Есаульская». Выемочный участок 29-30	
Характеристика кровли	<p>Ложная кровля отсутствует.</p> <p>Непосредственная кровля сложена аргиллитами и мелкозернистыми алевролитами. Мощность — до 5,0 м, по устойчивости — неустойчивая. Шаг обрушения — 3,9 м.</p> <p>Основная кровля мощностью до 30,0 м представлена мелкозернистыми алевролитами с прослоями аргиллитов и крупнозернистого алевролита в виде линз. По обрушаемости — легкообрушаемая. Первичный шаг обрушения — 43,0 м, установившийся — 7,8 м.</p>



а — для условий в/у 16-17; б — для условий в/у 3-1-9

Рис. 1. Общий вид сформировавшейся зоны обрушения (разрез по плоскости, проведённой по центру в/у вдоль линии движения забоя)

В последнем случае соотношение объёмов закрепного пространства и газового коллектора характеризуется разнонаправленным ступенеобразным изменением: если объём газового коллектора возрастает за счёт того, что отделяются и обрушаются консоли горных пород, то в то же время объём закрепного пространства уменьшается — при падении фрагменты пород кровли укладываются

в него. Таким образом, максимальному объёму газового коллектора соответствует минимальный объём закрепного пространства и наоборот.

Следует отметить, что полученные результаты моделирования, приведённые на рис. 2, наиболее соответствуют схеме сдвижения и обрушения пород согласно гипотезе шарнирных блоков Г. Н. Кузнецова.

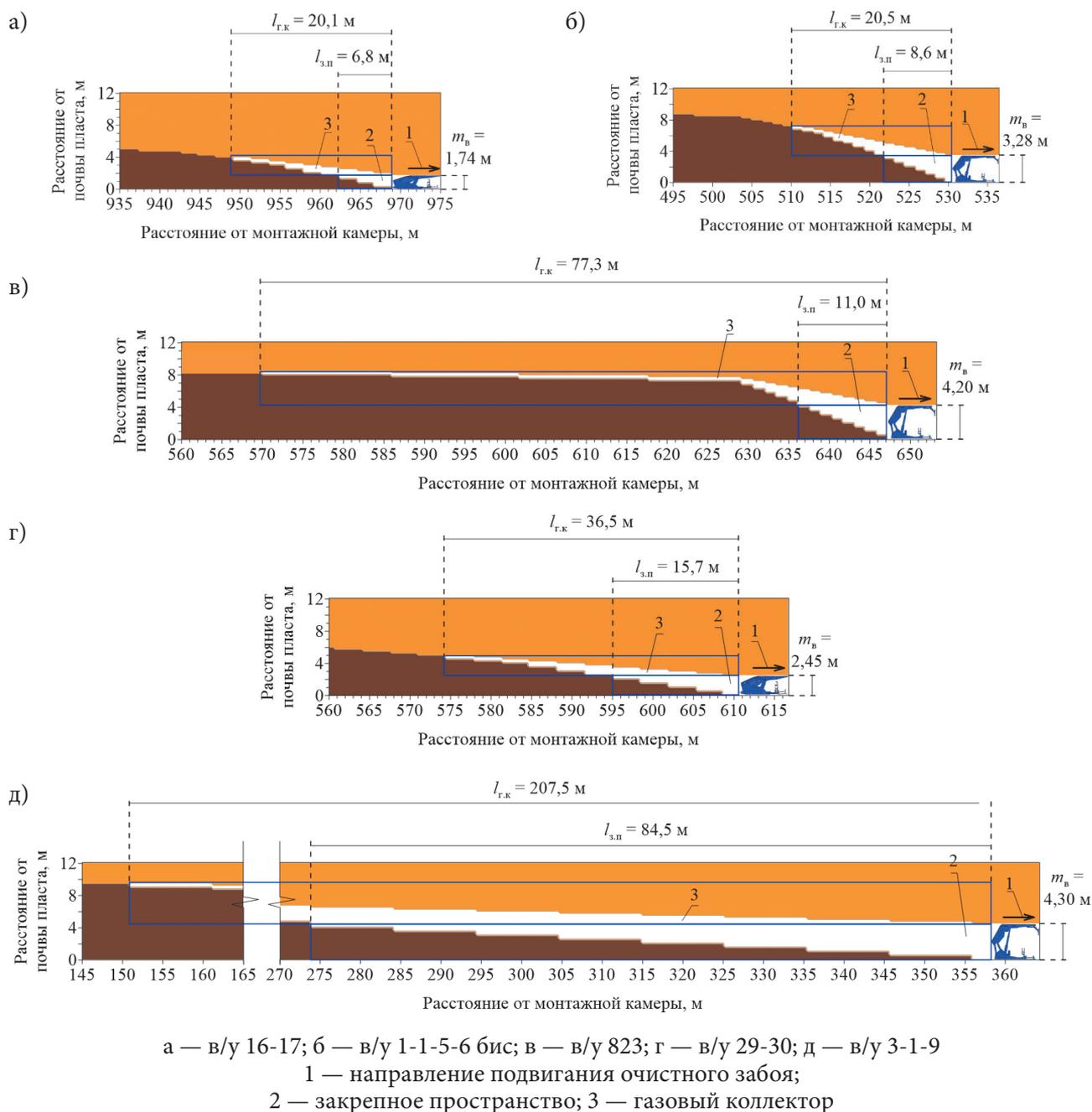


Рис. 2. Формы и размеры пустот на участках зоны обрушения, примыкающих к забою

Амплитуда изменения объёмов составила для условий:

– в/у 16-17: $\Delta V_{г.к} = 177,0 \text{ м}^3$; $\Delta V_{з.пр} = 1263,2 \text{ м}^3$; $\Delta V_{об} = 1086,2 \text{ м}^3$.

При объёме очистного забоя $V_{о.з} = 2322,9 \text{ м}^3$, доля $\Delta V_{г.к}$ составляет 0,08, а доля $\Delta V_{з.пр}$ — 0,54;

– в/у 1-1-5-6 бис: $\Delta V_{г.к} = 90,3 \text{ м}^3$; $\Delta V_{з.пр} = 1231,9 \text{ м}^3$; $\Delta V_{об} = 1141,6 \text{ м}^3$

При объёме очистного забоя $V_{о.з} = 3280 \text{ м}^3$, доля $\Delta V_{г.к}$ составляет 0,03, а доля $\Delta V_{з.пр}$ — 0,38;

– в/у 823: $\Delta V_{г.к} = 841,3 \text{ м}^3$; $\Delta V_{з.пр} = 967,4 \text{ м}^3$; $\Delta V_{об} = 1808,7 \text{ м}^3$.

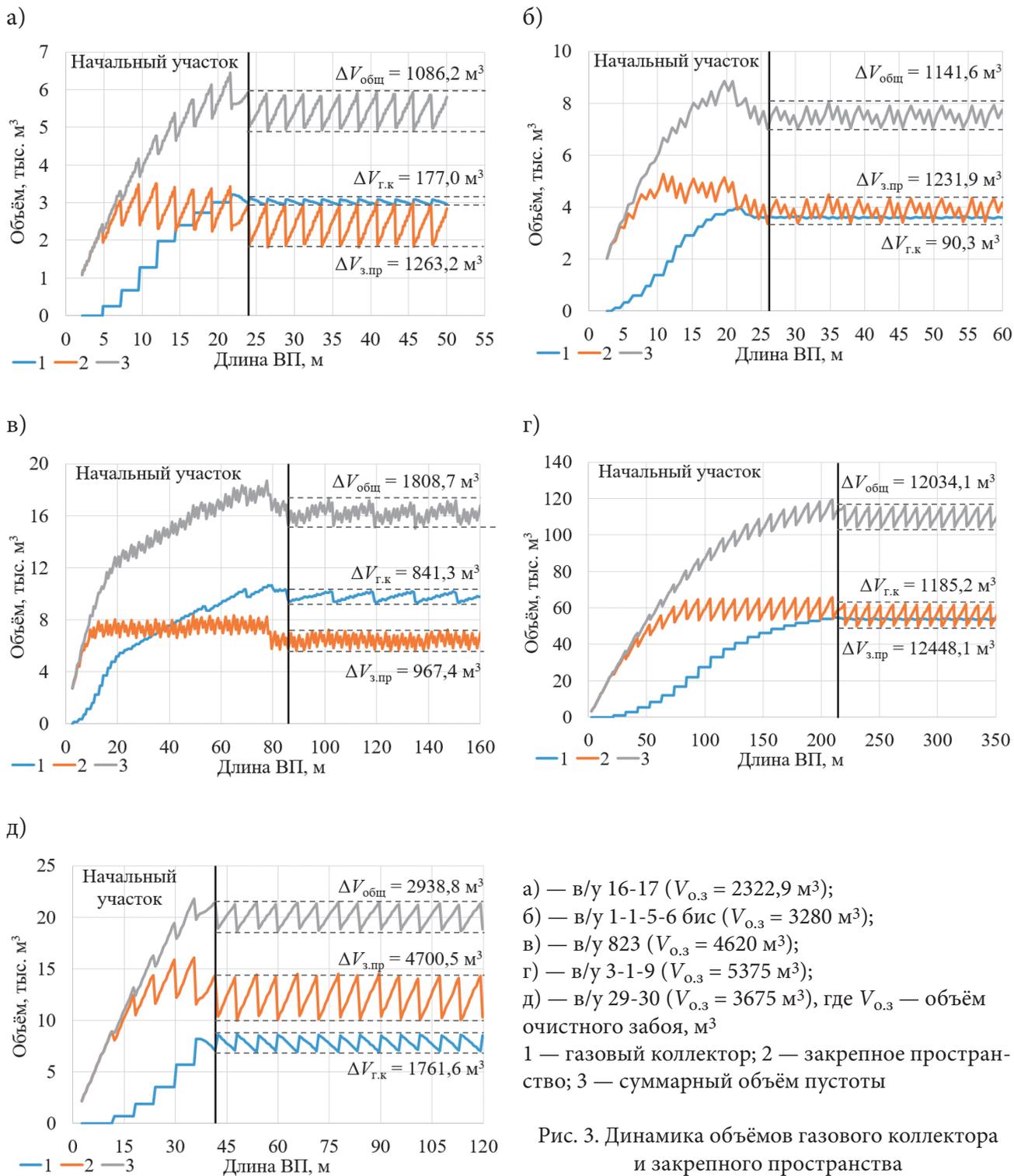
При объёме очистного забоя $V_{о.з} = 4620 \text{ м}^3$, доля $\Delta V_{г.к}$ составляет 0,18, а доля $\Delta V_{з.пр}$ — 0,21;

– в/у 3-1-9: $\Delta V_{г.к} = 1185,2 \text{ м}^3$; $\Delta V_{з.пр} = 12448,1 \text{ м}^3$; $\Delta V_{об} = 12034,1 \text{ м}^3$.

При объёме очистного забоя $V_{о.з} = 5375 \text{ м}^3$, доля $\Delta V_{г.к}$ составляет 0,22, а доля $\Delta V_{з.пр}$ — 2,32;

– в/у 29-30: $\Delta V_{г.к} = 1761,6 \text{ м}^3$; $\Delta V_{з.пр} = 4700,5 \text{ м}^3$; $\Delta V_{об} = 2938,8 \text{ м}^3$.

При объёме очистного забоя $V_{о.з} = 3675 \text{ м}^3$, доля $\Delta V_{г.к}$ составляет 0,48, а доля $\Delta V_{з.пр}$ — 1,28.



а) — в/у 16-17 ($V_{0,3} = 2322,9 \text{ м}^3$);
 б) — в/у 1-1-5-6 бис ($V_{0,3} = 3280 \text{ м}^3$);
 в) — в/у 823 ($V_{0,3} = 4620 \text{ м}^3$);
 г) — в/у 3-1-9 ($V_{0,3} = 5375 \text{ м}^3$);
 д) — в/у 29-30 ($V_{0,3} = 3675 \text{ м}^3$), где $V_{0,3}$ — объём очистного забоя, м^3
 1 — газовый коллектор; 2 — закрепное пространство; 3 — суммарный объём пустоты

Рис. 3. Динамика объёмов газового коллектора и закрепного пространства

Как видно из приведённых значений, в зависимости от горно-геологических и горно-технических параметров изменение объёма газового коллектора в результате происходящих циклических процессов обрушения консолей пород кровли для рассмотренных условий может составлять от 3 до 48 % объёма

очистного забоя. В условиях, при которых объём пустоты в газовом коллекторе находится в застойной зоне [1], т. е. не проветривается утечками воздуха, возможно вытеснение скапливающегося метана в пространство действующих горных выработок и их загазование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Говорухин Ю. М., Кубрин С. С. О перспективном направлении повышения эффективности управления газовой выделением на выемочных участках угольных шахт // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. 2024. № 10. С. 265–270.
2. Говорухин Ю. М., Кубрин С. С. О проницаемости обрушенных и дезинтегрированных пород в выработанном пространстве выемочных участков при высокоинтенсивной отработке пластов угля // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2025. № 1. С. 5–19.
3. Говорухин Ю. М., Криволапов В. Г. Геомеханические основы разработки схем проветривания выемочных участков и обеспечения промышленной безопасности при высокоинтенсивной отработке выемочных столбов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Кемерово. 2024. № 1. С. 17–26.
4. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.
5. Борисов А. А. Расчёты горного давления в лавах пологих пластов. М.: Недра, 1964. 280 с.
6. Овчаренко Б. П. Механизм трещинообразования в кровле угольных пластов. Л., 1983. 172 с.
7. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок на угольных месторождениях. СПб.: Минтопэнерго РФ, РАН, Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела — Межотраслевой науч. центр ВНИМИ. 1998. 291 с.
8. Фрянов В. Н., Павлова Л. Д. Состояние и направление развития безопасной технологии подземной угледобычи. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 238 с.
9. Егоров П. В., Штумпф Г. Г., Ренев А. А. и др. Геомеханика. Кемерово, 2001. 276 с.
10. Ермаков А. Ю., Качурин Н. М., Сенкус Вал. В. Системный подход к обеспечению вентиляции и безопасности угольных шахт по аэрогазодинамическому фактору // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 7. С. 212–218.
11. Качурин Н. М., Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. Теоретическое обоснование феноменологического закона сопротивления при фильтрации газов в горном массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 7. С. 61–68.
12. Качурин Н. М., Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. Аэрогазодинамика очистных и подготовительных участков при отработке мощных пологих пластов: монография. Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат», 2017. 287 с.
23. Черданцев Н. В. Определение деформаций краевой зоны угольного пласта при его отработке очистной выработкой // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 4. С. 38–49.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.39.78.001

UDC 622.414.2: 622.831.3: 004.942

© Yu. M. Govorukhin, S. S. Kubrin, 2025

Yu. M. GOVORUKHIN

Candidate of Engineering Sciences,
Head of the Research Department
National Mountain Rescue Center, Novokuznetsk
e-mail: govorukhin_ym@mail.ru

S. S. KUBRIN

Doctor of Engineering Sciences, Professor.
Head of the Laboratory, Scientific Secretary of the Institute
IPCON RAS, Moscow
e-mail: kubrin_s@ipkonran.ru

PATTERNS OF CHANGES IN THE VOLUME OF VOIDS IN AREAS OF COLLAPSE ZONES ADJACENT TO THE TREATMENT FACE DURING MINING OF SHALLOW COAL SEAMS

Numerical modeling of the processes of collapse, disintegration, and compaction of rocks, the dynamics of their permeability, and the formation of voids in the collapse zone has been performed. The shapes, sizes, and amplitude of changes in the volumes of the underground space and the gas collector in the collapse zone for the conditions of the coal mines under consideration are obtained. The volumes of methane that can be displaced into existing mine workings during the planting of roof consoles are substantiated.

Keywords: EXCAVATION SITE, COLLAPSE ZONE, SEWAGE TREATMENT PLANT, UNDERGROUND SPACE, GAS COLLECTOR, VOLUMES.

REFERENCES

1. Govorukhin Yu. M., Kubrin S. S. On a promising direction for improving the efficiency of gas production management at coal mine excavation sites // High-tech technologies for the development and use of mineral resources [Naukoyomkiye tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov]. 2024. No. 10. P. 265–270. [In Russ.].
2. Govorukhin Yu. M., Kubrin S. S. On the permeability of collapsed and disintegrated rocks in the mined-out space of extraction areas during high-intensity mining of coal seams // Bulletin of the Scientific Center of the Eastern Research Institute for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2025. No. 1. P. 5–19. [In Russ.].
3. Govorukhin Yu. M., Krivolapov V. G. Geomechanical principles of developing ventilation schemes for extraction areas and ensuring industrial safety during high-intensity mining of extraction pillars // Bulletin of the Scientific Center for Safety of Work in the Coal Industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti]. Kemerovo. 2024. No. 1. P. 17–26. [In Russ.].
4. Borisov A. A. Mechanics of Rocks and Massifs. Moscow: Nedra, 1980. 360 p. [In Russ.].
5. Borisov A. A. Calculations of rock pressure in lavas of flat layers. Moscow: Nedra, 1964. 280 p. [In Russ.].
6. Ovcharenko B. P. Mechanism of crack formation in the roof of coal seams. L., 1983. 172 p. [In Russ.].
7. Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mine workings at coal deposits. St. Petersburg: Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation, Russian Academy of Sciences, State Research Institute of Mining, Geomechanics and Mine Surveying – Interindustry Scientific Center VNIMI. 1998. 291 p. [In Russ.].
8. Fryanov V. N., Pavlova L. D. Status and direction of development of safe technology of underground coal mining. Novosibirsk: Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 238 p. [In Russ.].
9. Egorov P. V., Stumpf G. G., Renev A. A. et al. Geomechanics. Kemerovo, 2001. 276 p. [In Russ.].
10. Ermakov A. Yu., Kachurin N. M., Senkus Val. V. A systems approach to ensuring ventilation and safety of coal mines based on the aerogasdynamic factor // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)]. 2018. No. 7. P. 212–218. [In Russ.].
11. Kachurin N. M., Ermakov A. Yu., Senkus Val. V. Theoretical substantiation of the phenomenological law of resistance during gas filtration in a rock mass // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)]. 2018. No. 7. P. 61–68 [In Russ.].
12. Kachurin N. M., Ermakov A. Yu., Senkus Val. V. Aerogasdynamics of production and preparatory sections during development of thick flat seams: monograph. Kemerovo: AI «Kuzbassvuzdat», 2017. 287 p. [In Russ.].