

УДК 622.83:622.023.23

EDN: HSSJBR

*\*Аверин Г. А., Доценко О. Г., Корецкая Е. Г.  
Донбасский государственный технический университет  
\*E-mail: galagena1959@yandex.ru*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗОН СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА

*В данной статье представлены результаты моделирования процесса оседания подработанного горного массива при использовании метода конечных элементов, позволяющие установить высоту распространения зоны разломов и обрушения, зоны активных трещин, локальных трещин и плавного опускания породных слоев. Предложены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать высоту распространения каждой из зон при учете соотношения ширины выработанного пространства к глубине разработки.*

**Ключевые слова:** *высота распространения зон сдвижения подработанного горного массива, математическое моделирование, метод конечных элементов, зона разломов и обрушений, зоны активных и локальных трещин, зона плавного опускания породных слоев.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** При отработке угольных пластов длинными очистными забоями и управлении кровлей полным обрушением в вышележащих слоях образуются пустоты больших размеров. Происходит нарушение природного равновесия состояния пород по всей подрабатываемой толще. В слоистом горном массиве горных пород образуется несколько зон, отличающихся по характеру и степени деформированности пород [1].

Вопрос о высоте зон обрушения и опускания подработанных породных слоев не получил достаточно обоснованного решения, хотя его важность в проблеме горной геомеханики несомненна. Обычно высоту зоны обрушения связывают с коэффициентом разрыхления пород и мощностью отработываемого пласта, принимая ее равной  $(3-6)t$ , где  $t$  — мощность отработываемого угольного пласта. В имеющихся случаях непосредственного вскрытия зоны обрушения при вскрытии карьером толщи пород, ранее подработанной двухметровым угольным пластом при полном обрушении кровли, высота зоны беспорядочного обрушения не превышала 0,6 м [2]. По наблюдениям при отработке антрацитового пласта мощностью 0,85–0,95 м высота хаотически обрушающихся аргиллитов непосредственной кровли достигала 0,8–1,0 м.

Анализ работ [2] показывает, что представление о хаотическом обрушении пород непосредственной кровли на высоту до 6–8-кратной мощности пласта является весьма упрощенным.

В зоне обрушения, расположенной непосредственно над очистной выработкой, породы наиболее деформируются. Анализируя исследование гранулометрического состава свода обрушенных пород [3], его можно разделить на мелко- и крупнодробленые слои. Высота первого близка к мощности извлеченного угольного пласта и зависит от литологического состава пород и степени их метаморфизма. Породные куски в этом слое располагаются хаотично, выделить направление преимущественного распространения конкретных трещин нельзя. Эквивалентный диаметр кусков варьирует от 5 до 53 см, а в среднем составляет 25 см. Над мелкодроблеными породами залегает более мощный крупнодробленый слой [1]. По данным исследований [3], размер породных кусков возрастает по мере удаления от почвы пласта и изменяется от 10 до 90 см, в среднем составляет 42–46 см. Расположение породных кусков друг относительно друга

приобретает некоторую упорядоченность, плавно переходящую к зоне разломов.

Зона разломов характеризуется развитием в прогибающихся слоях нормально секущих трещин и трещин расслоения, разбивающих массив на крупные блоки. Высота блочной структуры составляет 120–240 м в зависимости от длины лавы [4]. Постепенно эта зона сменяется зоной активных, а затем локальных трещин [1]. Далее следует зона плавного прогиба, характеризующаяся прогибом пород без разрыва их сплошности.

На высоту распространения зон сдвижения и деформации горных пород и земной поверхности влияют: вынимаемая мощность пласта, глубина разработки, способ управления кровлей, стратиграфия, литология месторождения, длина лавы, площадь выработанного пространства, слоистость породного массива, начиная от слабых и до крепких, их чередование и мощность, а также другие факторы. При управлении кровлей полным обрушением — наиболее часто применяемый способ в Донбассе — развитие геомеханических процессов в толще горных пород и на земной поверхности протекает наиболее бурно. Для тонких угольных пластов мощностью (до 1,0 м) могут отсутствовать зоны разломов и локальных трещин. С ростом глубины разработки все виды деформаций земной поверхности уменьшаются, но при этом горное давление в окрестностях добычного участка проявляется наиболее интенсивно.

Знание параметров сдвижения толщи пород [5, 6], в том числе высоты распространения отдельных зон, необходимо при решении ряда задач геомеханики: выборе месторасположения подготовительных выработок; охране зданий и сооружений на поверхности; выработок от затопления, отработке угольного пласта вблизи выбросоопасных зон; определении параметров разработки сближенных надрабатываемых угольных пластов; ведении работ вблизи других выработок; определении оптимальных размеров длины лавы и межлавных целиков и пр.

**Цель работы** заключается в определении высоты распространения отдельных зон сдвижения подработанного слоистого массива в горно-геологических условиях Восточного Донбасса с помощью численного моделирования.

**Объект исследования** — процесс оседания подработанного горного массива.

**Предмет исследования** — высота распространения зон сдвижения подработанного массива.

**Задачи исследования:**

- выделить зоны сдвижения в подработанном массиве;
- установить высоту распространения каждой зоны сдвижения при учете физико-механических свойств пород, слагающих горный массив;
- предложить эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать высоту распространения каждой конкретной зоны сдвижения массива.

В качестве **метода исследования** выбрано численное моделирование, позволяющее наиболее полно учитывать особенности строения породного массива. Исходная информация взята по данным разведочных скважин, расположенных в Должанско-Ровенской котловине:

- № Ж3785, расположенной в пределах шахтного поля шахты «Комсомольская»;
- № Ж3688 — шахты им. М. В. Фрунзе, ш/у «Ясеновское» ГУП ЛНР РТК «Востокуголь»;
- № И3337 — шахты им. Ф. Э. Дзержинского ш/у «Ровеньковское» ГУП ЛНР РТК «Востокуголь».

В стратиграфии данного участка месторождения отмечается удельное содержание песчаников на уровне 25,2 %, при этом в кровле извлекаемого угольного пласта мощностью 1,5 м, располагается три мощных (40–45 м) слоя песчаника.

По данным разведочных скважин с помощью программно-вычислительного комплекса «Лири», реализующего метод конечных элементов, был смоделирован горный массив. Массив представляет собой

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

чередующиеся слои осадочных горных пород с различными деформационными и прочностными свойствами [7]. В зависимости от типа породы модуль упругости варьирует в пределах  $E=0,5 \cdot 10^3 \dots 2,5 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu=0,2 \dots 0,3$ , сила сцепления  $C=5 \dots 8$  МПа, угол внутреннего трения  $\varphi=30 \dots 37^\circ$ .

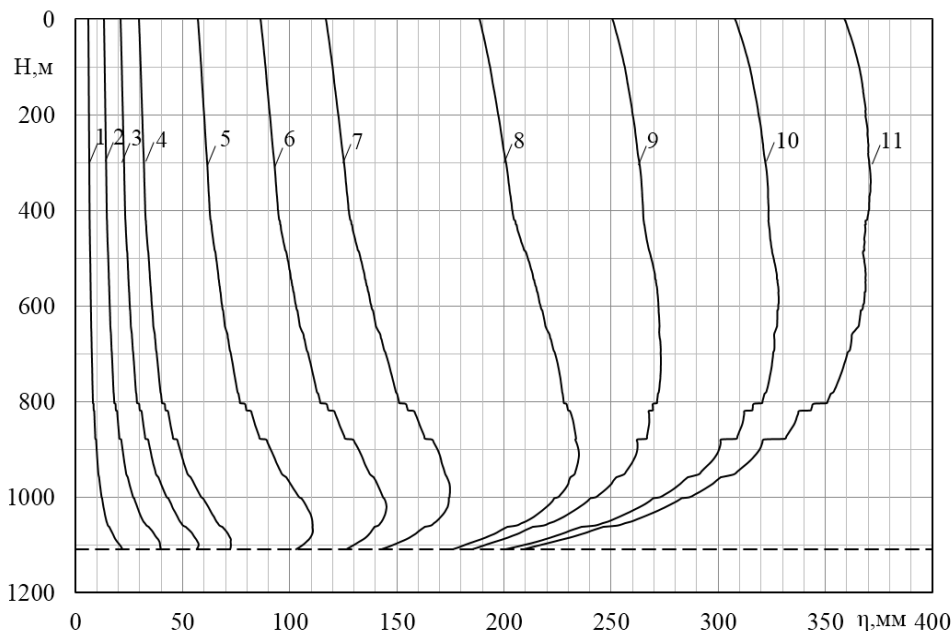
Модель с размерами более 3000 м по простиранию и 1300 м по глубине разбивалась на прямоугольные элементы шириной 5 и высотой 0,2...7,0 м в зависимости от мощности моделируемого породного слоя.

Процесс оседания подработанного массива моделировался в упругопластической постановке в соответствии с законом Кулона — Мора для грунтов. Шаг подвигания очистного забоя принимали равным 30 м, то есть равным среднемесячной скорости движения лавы. На установленный шаг подвигания из модели удалялись элементы, отображающие угольный пласт, и на их место подставлялись элементы с характеристиками, соответствующими

обрушенным породам. По решенной модели фиксировались оседания отдельных слоев подработанного массива от почвы извлеченного пласта и до земной поверхности. Отчет перемещений проводился в середине выработанного пространства.

На следующем шаге ширина выработанного пространства увеличивалась на 30 м, описанная выше процедура повторялась. Максимальная ширина выработанного пространства равняется длине выемочного столба (1200 м).

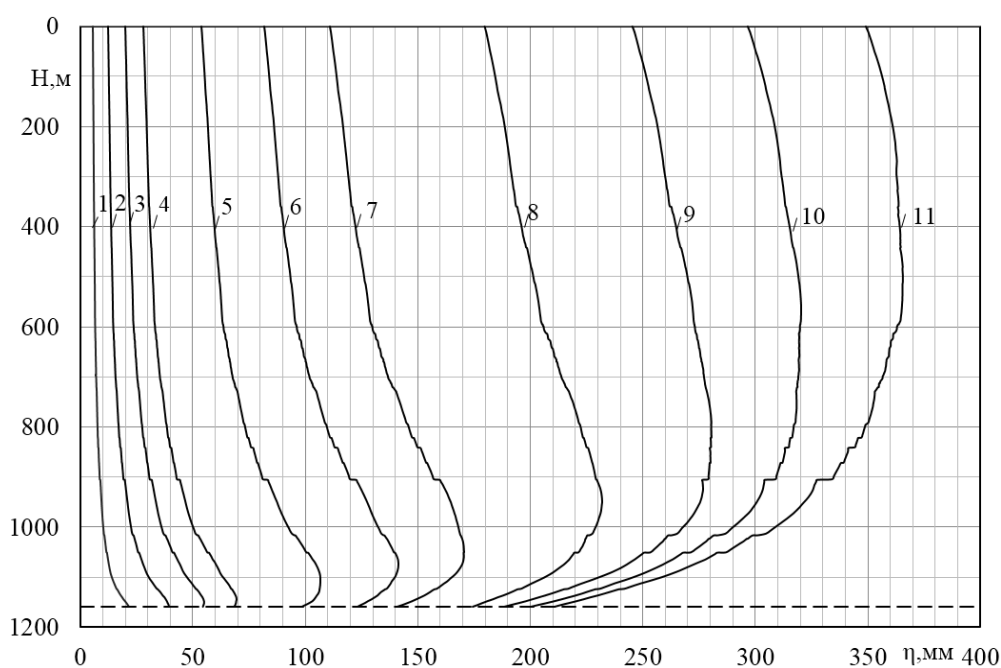
**Изложение материала.** По полученным результатам моделирования построены графики оседаний слоев массива в зависимости от ширины выработанного пространства  $D$  (рис. 1–3). По оси ординат откладывалась высота расположения породных слоев  $h$ , м, при этом нулевое значение  $h=0$  м — это уровень кровли извлеченного угольного пласта. По оси абсцисс отмечены вертикальные оседания породных слоев  $\eta$  мм, возникающие на границах породных слоев.



Ширина выработанного пространства соответственно: 1 — 30 м, 2 — 60 м, 3 — 90 м, 4 — 120 м, 5 — 210 м, 6 — 300 м, 7 — 390 м, 8 — 600 м, 9 — 810 м, 10 — 990 м и 11 — 1200 м

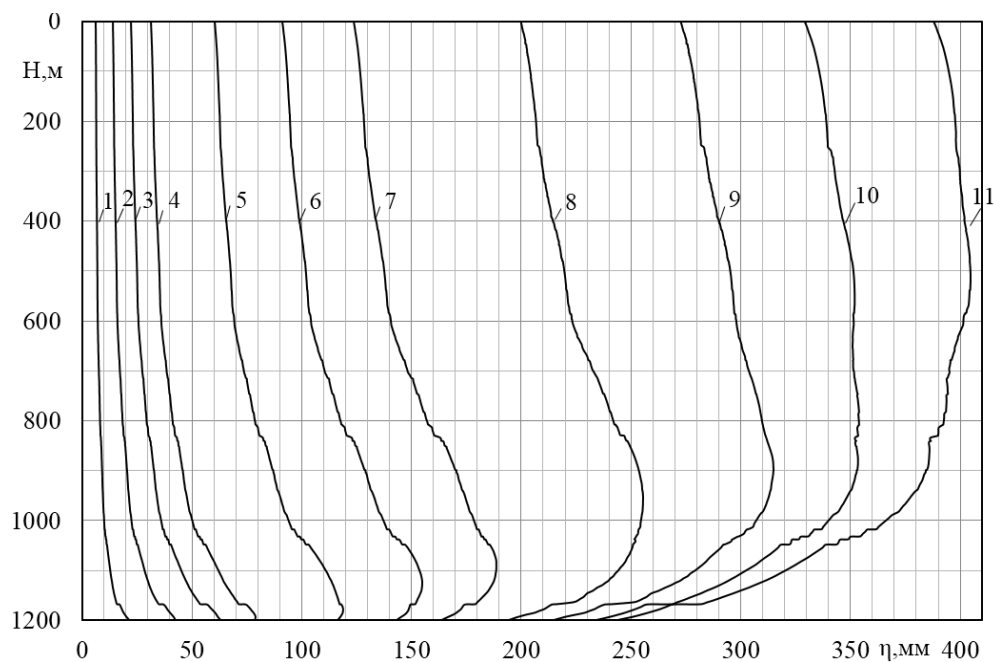
Рисунок 1 — Оседания породных слоев подработанного массива в горно-геологических условиях шахты «Комсомольская»

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**



Ширина выработанного пространства соответственно: 1 — 30 м, 2 — 60 м, 3 — 90 м, 4 — 120 м, 5 — 210 м, 6 — 300 м, 7 — 390 м, 8 — 600 м, 9 — 810 м, 10 — 990 м и 11 — 1200 м

Рисунок 2 — Оседания породных слоев подработанного массива в горно-геологических условиях шахты им. М. В. Фрунзе



Ширина выработанного пространства соответственно: 1 — 30 м, 2 — 60 м, 3 — 90 м, 4 — 120 м, 5 — 210 м, 6 — 300 м, 7 — 390 м, 8 — 600 м, 9 — 810 м, 10 — 990 м и 11 — 1200 м

Рисунок 3 — Оседания породных слоев подработанного массива в горно-геологических условиях шахты им. Ф. Э. Дзержинского

Рассмотрим на рисунке 1 кривые оседаний породных слоев, наблюдаемые в условиях шахты Комсомольская. Кривые 1–4, соответствующие ширине выработанного пространства 30, 60, 90 и 120 м, расположены близко друг к другу. Наибольшие оседания соответствуют породным слоям, находящимся вблизи почвы извлеченного пласта, и увеличиваются от 20 до 75 мм. Оседания данного слоя происходят за счет веса вышележащих пород, переупаковки отдельных породных кусков, их взаимного перемещения и измельчения. Земная поверхность также подвергается деформациям, однако оседания незначительны, так как их величина не достигает 50 мм. Таким образом, при малой ширине выработанного пространства оседания в большей степени касаются слоев, расположенных непосредственно у почвы извлеченного пласта.

Увеличение ширины выработанного пространства до 400 м (рис. 1, кривые 5–7) показывает увеличение оседаний всех породных слоев, но в большей степени это касается непосредственной и основной кровли извлеченного пласта. Оседания непосредственной кровли составили 140 мм, а основной (на высоте 45–55 м от почвы пласта) — 175 мм. Объяснить большие перемещения основной кровли можно тем, что они перемещаются в том числе за счет пустот, имеющих в нижележащем мелкодробленом слое пород. При этом мелкодробленые породы ограничены в своем перемещении породами почвы извлеченного пласта. На земной поверхности также увеличились и составили 120 мм.

С увеличением ширины выработанного пространства отмечается прирост смещений в каждом слое, поэтому кривые смещаются друг относительно друга. Однако меняется характер перемещения отдельных слоев массива. Перемещения близких к пласту слоев затухают, о чем свидетельствует близкое расположение кривых 8–11. С удалением от почвы извлеченного пласта, кривые расходятся друг от друга. Это

говорит о том, что оседаниям в большей степени подвержены слои массива, расположенные ближе к земной поверхности.

Аналогичный характер оседания породных слоев подработанного массива наблюдается на рисунках 2 и 3.

Перемена угла наклона кривых (рис. 1–3) к вертикальной оси свидетельствует об изменении характера протекания процесса оседаний на той или иной высоте от почвы извлеченного пласта. Чтобы выделить высоту распространения отдельных зон сдвига, был определен в каждой точке кривых сдвижений тангенс угла наклона. В качестве примера на рисунке 4 показан график его изменения при ширине выработанного пространства 200 и 1200 м.

У кривых тангенса угла наклона выделяется пять участков: вертикальный, крутой, наклонный, пологий и горизонтальный. Границы между концом одного и началом другого участка соответствуют высоте нахождения той или иной зоны сдвига. Так, вертикальному участку кривой (рис. 4) соответствует зона обрушения и частично зона блочной структуры с относительно небольшими размерами блоков. В этой зоне смещения прирастают значительно быстрее, чем высота ее распространения. Крутому участку соответствует зона разломов. В этой зоне на единицу прироста высоты прирост смещений ниже, чем на вертикальном участке (зона обрушения), но выше, чем на наклонном участке (зона активных трещин). Пологий участок кривой тангенсов отображает прирост смещений в зоне локальных трещин; горизонтальный — в зоне плавного прогиба.

Средние величины высоты распространения зон по трем шахтам представлены в таблице 1.

По данным таблицы 1 построены графики изменения высоты зон сдвижений в зависимости от ширины выработанного пространства (рис. 5). Выделяются четыре зоны оседаний подрабатываемой толщи горных пород.

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

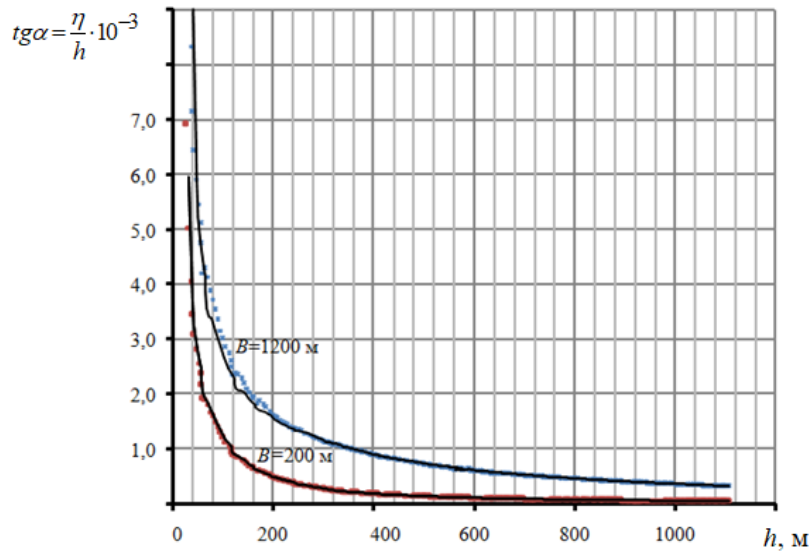


Рисунок 4 — График изменения тангенса угла наклона кривых сдвижений

Таблица 1

Средние величины высот распространения зон сдвижения от почвы извлеченного пласта

Отношение ширины выработанного пространства к глубине разработки $D/H$	Высота распространения от почвы пласта, м		
	зона разломов и обрушений	зона активных трещин	зона локальных трещин
0,10	26,7	553,3	876,7
0,18	53,3	593,3	913,3
0,26	86,7	616,7	926,7
0,34	120,0	630,0	936,7
0,52	170,0	643,3	953,3
0,70	237	643,3	976,7
0,86	263	656,7	996,7
1,04	286	657,3	1003,3

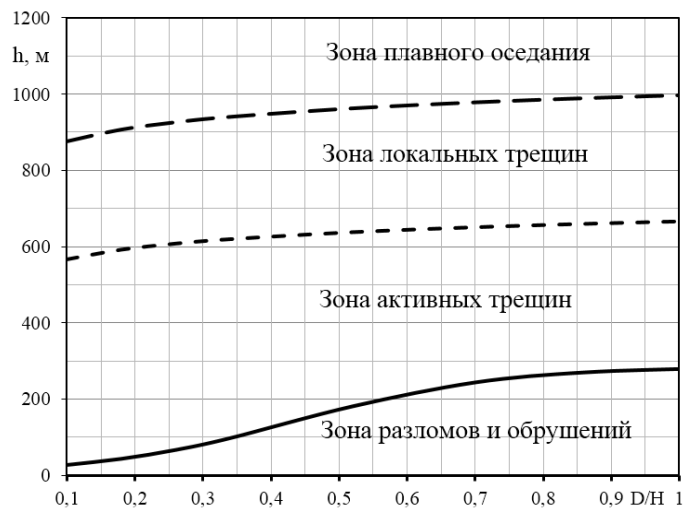


Рисунок 5 — Высоты распространения зон обрушения в зависимости от соотношения  $D/H$

Зона разломов и обрушений распространяется от почвы извлеченного пласта и до зоны активных трещин. Из рисунка 5 видно, что ее высота достигает максимума при отношении ширины выработанного пространства к глубине разработки, равной единице, и не превышает 280 м, что не противоречит исследованиям [2]. Наиболее разрушенная часть подработанного горного массива не превышает 1/3 глубины разработки.

Высота зоны разломов и обрушений может быть определена по эмпирической зависимости

$$h_p = \frac{286}{1 + 9 \cdot e^{-6,7 \cdot \left(\frac{D}{H} - 0,1\right)}}, \text{ м.} \quad (1)$$

Над зоной разломов и обрушений располагается зона активных трещин. Она простирается от 280 до 660 м над уровнем пласта, и на нее приходится следующая треть массива. Для определения высоты распространения зоны активных трещин предложена зависимость

$$h_{a.mp} = 42,5 \cdot \ln\left(\frac{D}{H}\right) + 665, \text{ м.} \quad (2)$$

Последнюю треть занимают зоны локальных трещин и плавного оседания.

Высота распространения зоны локальных трещин:

$$h_{л.mp} = 52,7 \cdot \ln\left(\frac{D}{H}\right) + 998, \text{ м.} \quad (3)$$

Коэффициент аппроксимации  $R^2$  зависимостей (1–3) находится в пределах 0,94–0,98.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Оседание подработанных слоев пород угленосной толщи, их разру-

шение и уплотнение — это малоизученный процесс на современном этапе.

Создание расчетных схем математического моделирования позволяет изучить данный процесс и заранее спрогнозировать величины этих оседаний, определить зоны сдвига земной толщи и принять правильные инженерные решения.

В процессе оседания в результате подработки горный массив делится на ряд зон: зону разломов и обрушений, активных трещин, локальных трещин и плавного опускания. При малой ширине выработанного пространства нижние слои массива подвержены активным сдвигам. С увеличением ширины выработанного пространства в зоне обрушения и зоне разломов сдвиги затухают, но активизируются в вышележащих породных слоях.

В работе были получены эмпирические зависимости, позволяющие установить высоту распространения той или иной зоны оседания массива при учете соотношения ширины выработанного пространства к глубине разработки.

Информация о степени нарушенности массива при различном удалении от почвы извлеченного пласта позволит принимать верные инженерные решения, связанные с выбором месторасположения подготовительных выработок; определением параметров разработки сближенных надрабатываемых угольных пластов; ведением работ вблизи других выработок; определением оптимальных размеров длины лавы, ширины межлавных целиков и пр.

В дальнейших исследованиях планируется изучить влияние месторасположения пород-мостов относительно угольного пласта на высоту распространения зон сдвига и величину оседаний.

#### Список источников

1. Баклашов И. В. Деформирование и разрушение породных массивов. М. : Недра, 1988. 271 с.
2. Геомеханические процессы и прогноз динамики газовыделения при ведении очистных работ в угольных шахтах / Н. И. Антощенко [и др.]. Алчевск : ДонГТУ, 2010. 449 с.
3. Бабиюк Г. В., Доценко О. Г. Шахтные исследования структурно-механических особенностей массива обрушенных пород // Сб. науч. тр. ДонГТУ. 2019. Вып. 14 (57). С. 12–18. EDN JMQ LKR

4. Зборщик М. П. Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве. К. : Техніка, 1978. 178 с.

5. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / Межотраслевой науч. центр ВНИМИ. СПб., 1998. 291 с.

6. Якоби О. Практика управления горным давлением. М. : Недра, 1987. 566 с.

7. Корецкая Е. Г. Наличие крепких и мощных породных слоев в кровле разрабатываемых угольных пластов шахт Луганской области // Маркшейдерське забезпечення геотехнологій : доповіді науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Дніпропетровськ, 23–24 квітня 2014 р.). Дніпропетровськ : НГУ, 2014. С. 69–75.

© Аверин Г. А., Доценко О. Г., Корецкая Е. Г.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. ГБП ДонГТУ Леоновым А. А., к.т.н., доц. зав. каф. ТПиОТ СИПИ ЛГУ им. В. Даля Черниковой С. А.**

Статья поступила в редакцию 03.04.2024.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Аверин Геннадий Алексеевич**, канд. техн. наук, доцент каф. геотехнологий и безопасности производств  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия,  
e-mail: galagena1959@yandex.ru

**Доценко Ольга Геннадьевна**, канд. техн. наук, доцент каф. геотехнологий и безопасности производств  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

**Корецкая Елена Геннадьевна**, ассистент каф. управления инновациями в промышленности  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

\***Averin G. A., Dotsenko O. G., Koretskaia E. G.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia, \*e-mail: galagena1959@yandex.ru)

#### **DETERMINING THE HEIGHT OF SHIFT ZONE SPREADING IN AN UNDERMINED MASSIF**

*This paper presents the results of modeling the subsidence process of undermined rock massif using the finite-element method, which allows to determine the height of spreading the fracture and collapse zone, the zone of active cracks, local cracks and smooth subsidence of rock layers. Empirical dependences have been proposed to predict the height of each zone spreading, considering the ratio of the mined-out area width to the mining depth.*

**Key words:** height of shift zone spreading in an undermined massif, mathematical modeling, finite-element method, fracture and collapse zone, active and local cracks zone, smooth subsidence of rock layers.

#### References

1. Baklashov I. V. Deformation and fracture of rock massifs [Deformirovanie i razrushenie porodnyh massivov]. M. : Nedra. 1988. 271 p. (rus)

2. Antoshchenko N. I. [et al.]. Geomechanical processes and prediction of gas emission dynamics during cleaning operations in coal mines [Geomekhanicheskie processy i prognoz dinamiki gazovydeleniya pri vedenii ochistnyh rabot v ugol'nyh shahtah]. Alchevsk : DonSTU. 2010. 449 p. (rus)



3. Babiyuk G. V., Dotsenko O. G. Mine studies of structural and mechanical features of the collapsed rock massif [Shahtnye issledovaniya strukturno-mekhanicheskikh osobennostej massiva obrushennykh porod]. Scientific works collection of DonSTU. 2019. Iss. 14 (57). Pp. 12–18. EDN JMQLKR (rus)

4. Zborshchik M. P. Protection of deep mine workings in the mined-out area [Ohrana vyrabotok glubokih shaht v vyrabotannom prostranstve]. K. : Tekhnika. 1978. 178 p. (rus)

5. Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of undermining developments at coal deposits [Pravila ohrany sooruzhenij i prirodnyh ob'ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornyx razrabotok na ugol'nyh mestorozhdeniyah]. Mezhotraslevoj nauch. centr VNIMI. SPb. 1998. 291 p. (rus)

6. Yakobi O. Mining pressure management practice [Praktika upravleniya gornym davleniem]. M. : Nedra. 1987. 566 p. (rus)

7. Koretskaya E. G. Presence of strong and thick rock layers in the roof of mined coal layers of mines in Lugansk region [Nalichie krepkih i moshchnykh porodnykh sloev v krovle razrabatyvaemykh ugol'nykh plastov shaht Luganskoj oblasti]. Markshejders'ke zabezpechennya geotekhnologij : dopovidi naukovo-praktichnoï konferencii studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih. Dnipropetrovs'k, 23–24 kvitnya 2014 r. Dnipropetrovs'k : NMU. 2014. Pp. 69–75. (rus)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Averin Gennadiy Alekseyevich**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Geotechnology and Industrial Safety  
Donbas State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia,  
e-mail: galagena1959@yandex.ru

**Dotsenko Olga Gennadievna**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Geotechnology and Industrial Safety  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia

**Koretskaia Elena Gennadievna**, Assistant Lecturer of the Department of Industrial Innovation Management  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia