

УДК 622.831:838.5

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.144.199>**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ
ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА АВАРИЙНУЮ ДЕГАЗАЦИОННУЮ СКВАЖИНУ****¹Садовенко И.А., ¹Тимошук В.И., ¹Загриценко А.Н., ¹Деревягина Н.И.**¹Национальный технический университет «Днепровская политехника»**ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОГО ВПЛИВУ ОЧИСНИХ
РОБІТ НА АВАРІЙНУ ДЕГАЗАЦІЙНУ СВЕРДЛОВИНУ****¹Садовенко І.О., ¹Тимошук В.І., ¹Загриценко А.М., ¹Деревягіна Н.І.**¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»**ESTIMATION OF PARAMETERS OF HYDROGEOMECHANICAL INFLUENCE
OF EXTRACTION WORKS ON EMERGENCY DEGASATION WELL****¹Sadovenko I.O., ¹Tymoshchuk V.I., ¹Zahrytsenko A.N., ¹Dereviahina N.I.**¹National Technical University "Dnipro Polytechnic"

Аннотация. В работе обоснованы параметры безопасного гидрогеомеханического влияния очистных работ на аварийную дегазационную скважину с учётом механизма движения водопесчаной смеси в дегазационную сбойку. Используются результаты аналитических решений, физического моделирования и опытно-промышленного эксперимента. Трансцендентное аналитическое соотношение найдено между шириной раскрывшейся трещины в скважине, функцией напора воды и коэффициентом фильтрации песка, при котором сохраняется устойчивость контакта «трещина-песок». Эти данные подтверждены масштабным экспериментом на шахтном поле, а переход в критическую фазу движения водопесчаной смеси в горную выработку исследован на физической модели с многократной фиксацией фазы самоторможения конуса выплыва.

Для оценки гидрогеомеханического состояния породного массива в зоне проектируемого защитного целика вокруг дегазационной скважины использована численная геомеханическая модель, реализованная на базе метода конечных элементов в упруго-пластической постановке. Установлено, что проникающая способность водонасыщенного бучакского песка тормозится при раскрытости трещин с относительной деформацией массива до 0,01 (эквивалентно 10-ти кратностям подработки), а сдвиговые горизонтальные деформации на порядок меньше зафиксированных геофизическими данными непосредственно после аварии. Отработка лавы со стороны поля смежной шахты более активно влияет на опасное сечение «бучакский песок-карбон». Отсутствие превышения достигнутых уровней деформаций их критических величин $\varepsilon = 0,003-0,005$, как на контуре аварийной скважины, так и в целом в границах защитного целика, свидетельствует о сохранении целостности породной толщи слоёв на контакте «бучак-карбон», а также тампонажного материала в затрубном пространстве аварийной скважины. В условиях развития деформаций ползучести отмечается некоторое «смягчение» перемещений по контуру дегазационной скважины. Результаты проведённых исследований свидетельствуют о возможности отработки лав № 126, 128, 130 ш. «Юбилейная» и 175-й лавы ш. «Степная» в пределах нормативного целика вокруг дегазационной скважины.

Ключевые слова: водопесчаная смесь, тампонаж, геомеханическое влияние, моделирование, параметры безопасности горных работ

Введение. В число основных направлений обеспечения безопасности ведения горных работ входит прогнозирование и защита выработок от аварийных притоков подземных вод и их затопления. Несмотря на большой опыт предупреждения прорывов воды из зон обрушений [1], тектонических нарушений [2] и ликвидации последствий аварий [3-4], эти вопросы остаются актуальными из-за сложности изменения гидрогеологических условий во времени, а также технологических особенностей разработки месторождения, параметров сдвижения горных пород, динамики горного давления и пр.

Угольное месторождение в Западном Донбассе характеризуется весьма сложными гидрогеологическими условиями его освоения, которые усугубляются рядом факторов техногенного характера. Так, на поле шахты «Юбилейная»

ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь» после вскрытия сбойкой дегазационной скважины Д-62П обнаружено её аварийное состояние – обрыв обсадной колонны, некачественный тампонаж. Водоприток через затрубное пространство в горные выработки пласта С₆ достиг 95 м³/час. Зафиксирован вынос песка из бучакского водоносного горизонта в объёме 3000 м³. Для ликвидации аварии специализированным предприятием выполнен тампонаж скважины. Однако оставался нерешённым вопрос о безопасном ведении очистных работ в пределах нормативных границ у скважины Д-62П. Поэтому целью настоящих исследований является оценка безопасных параметров гидрогеомеханического влияния очистных работ на аварийную дегазационную скважину. Для этого в два этапа решены следующие задачи:

- 1) анализ механизма движения водопесчаной смеси с учётом ликвидационных работ;
- 2) численное моделирование гидрогеомеханического влияния очистных работ на скважину Д-62П и обоснование безопасных параметров ведения очистных работ.

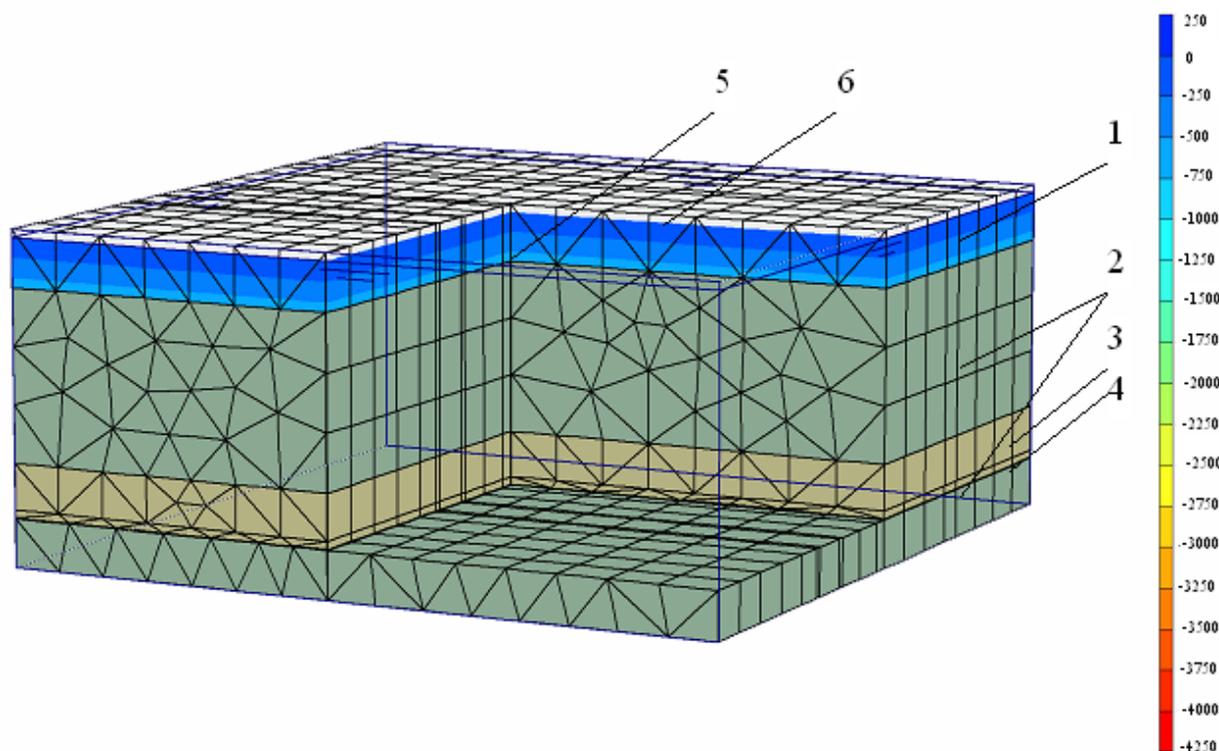
Экспериментальная часть. При решении первой задачи использованы опытно-эксплуатационные данные, физическое моделирование и аналитические решения. Из практики эксплуатации водозаборных сооружений известно, что вокруг сетчатого или щелевого фильтра образуется защитная зона (обратный фильтр), из которой вымываются мелкие фракции зернистой водоносной породы, а более крупные прилегают к отверстиям или щелям, препятствуя дальнейшему выносу материала. Наиболее надёжным параметром, контролирующим эффект образования обратных фильтровых зон, считается значение диаметра фракции d_{50} в зерновом составе водоносных пород. Оценка проникающей способности бучакских песков подтверждает [5], что раскрытость фильтрующих щелей равная $1,5 d_{50} = 0,115$ мм обеспечивает образование обратной фильтровой зоны при соотношении $d_{50}/d_{10} > 2$. В процессе движения водопесчаной смеси формируются воронки без образования пустот в бучакских песках.

В работе [6] найдено трансцендентное аналитическое соотношение между шириной раскрывшейся трещины в скважине, функцией напора воды и коэффициентом фильтрации песка, при котором сохраняется устойчивость контакта «трещина-песок». Эти данные подтверждены масштабным экспериментом на шахтном поле [7], а переход в критическую фазу движения водопесчаной смеси в горную выработку исследован на физической модели [8] с многократной фиксацией фазы самоторможения конуса выплыва.

Самоторможение конуса выплыва водопесчаной смеси и глиноцементной массы привели к герметизации аварийной скважины и дегазационной сбойки. Это подтверждено авторами натурным обследованием горных выработок.

Для оценки гидрогеомеханического состояния породного массива в зоне проектируемого защитного целика вокруг дегазационной скважины использована численная геомеханическая модель, реализованная на базе метода конечных элементов в упруго-пластической постановке.

Структура модели представлена слоистой неоднородной толщей с заданными контактами между расчётными слоями в соответствии с геологическим строением породного массива (рис. 1). Размеры моделируемой области по координатным осям x , y и z установлены с учётом минимального влияния границ модели на её напряженно-деформированное состояние и составили соответственно $1000 \times 1000 \times 310$ м.



1 – бучакский песок; 2 – аргиллит; 3 – алевролит; 4 – угольный пласт; 5 – дегазационная скважина; 6 – уровень воды

Рисунок 1 – Структура моделируемой области

Геостатическое давление, соответствующее глубине ведения горных работ при отработке пласта C_6 лавами 126, 128, 130 шахты «Юбилейная» и 175 лавой шахты «Степная», определено весом вышележащей толщи пород, суммарная мощность которой задана согласно данным о геологическом строении толщи.

Значения физико-механических характеристик породных слоёв в численной модели установлены по данным, полученным на этапе разведки шахтного поля (табл. 1). Параметры прочности в пределах контактных плоскостей приняты в соответствии с указанной таблицей.

Для учёта влияния гидростатического давления на напряженно-деформированное состояние подрабатываемого массива в численной модели задавалось условие обводнения водопроницаемых бучакских отложений в кровле углеводящей толщи до отметки $+100,0$ м, а также соответствующее ему распределение гидравлических напоров на контуре дегазационной скважины по треугольной эпюре. Залегающая под обводнённой толщей бучакских отложений аргиллит-алевролитовая толща рассматривалась как условно непроницаемая.

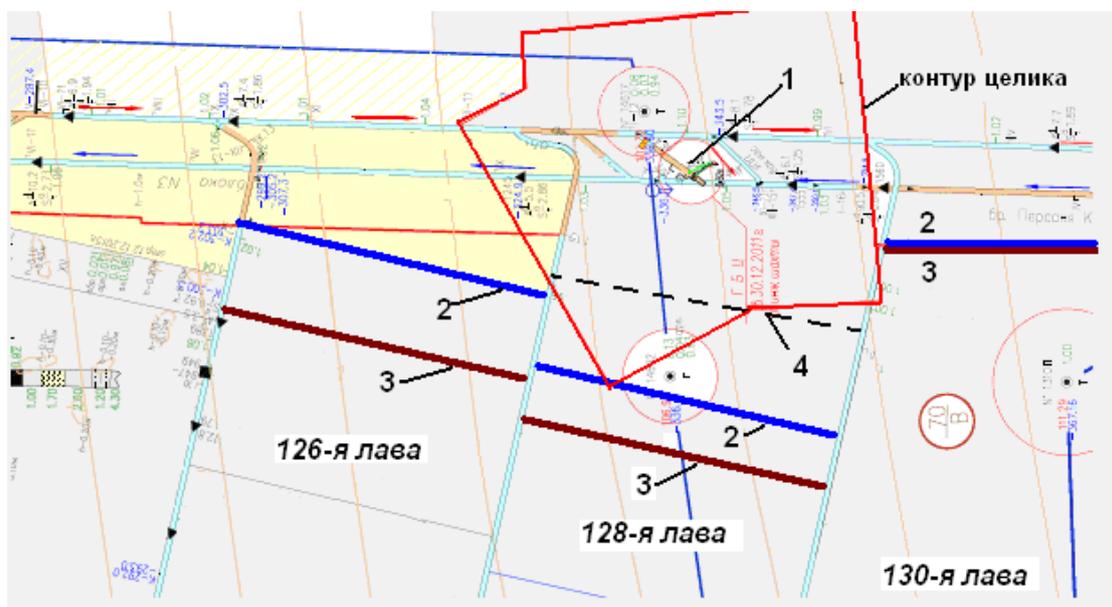
Очистная выемка моделировалась с коэффициентом разрыхления 1,2 вынимаемой мощности угольного пласта.

Таблица 1 – Расчётные значения физико-механических характеристик слагающих горный массив пород

Наименование	Удельный вес, γ , кН/м ³	Модуль деформации, E , кПа	Коэффициент Пуассона, ν , дол. ед.	Удельное сцепление, C , кПа	Угол внутреннего трения, φ , град	Прочность на растяжение, T , кПа
Песок	19,0	76500	0,30	67,0	27,5	0,0
Алеврит	24,6	9600000	0,20	7500,0	37,0	1400,0
Аргиллит	26,6	13500000	0,20	4600,0	25,5	1000,0
Уголь	12,5	2870000	0,26	7800,0	39,0	1700,0

Численное моделирование гидрогеомеханического состояния породного массива выполнено для двух периодов (2016 и 2018 годов). *Первый* предусматривал следующие варианты положения контуров лав 126, 128, 130 шахты «Юбилейная» и 175 лавы шахты «Степная» (рис. 2):

- вариант 1 – скорректированное (предложенное) относительно целика положение лав 126, 128, 130 ш. «Юбилейная» без отработки 175 лавы ш. «Степная»;
- вариант 2 – положение лав 126, 128, 130 шахты «Юбилейная» до корректировки целика без отработки 175 лавы шахты «Степная»;
- вариант 3 – положение лав 126, 128, 130 шахты «Юбилейная» до корректировки целика с отработкой 175 лавы шахты «Степная».



1 – дегазационная скважина и сбойка, 2 – скорректированный (нормативный) контур целика, 3 – проектные линии остановки лав без влияния на скважину, 4 – граница целесообразной остановки 128-ой лавы

Рисунок 2 – Фрагмент плана горных работ

Объёмное напряженно-деформированное состояние породного массива на участке целика контролировалось величинами перемещений (рис. 3, рис. 4), деформаций и напряжений в породном массиве и в плоскости контакта бучак-карбон при приближении линии забоя лав 126, 128, 130 шахты «Юбилейная» и 175 лавы шахты «Степная» к целику. Значения параметров, характеризующих состояние породного массива, приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры напряженно-деформированного состояния породного массива в зоне влияния очистной выработки (экстремальные значения)

Параметры	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Значения параметров в пределах моделируемой области			
Полные напряжения, кПа	$-43,41 \cdot 10^3$	$-38,15 \cdot 10^3$	$-45,67 \cdot 10^3$
Горизонтальные напряжения по оси X, кПа	$-26,00 \cdot 10^3$	$-26,90 \cdot 10^3$	$-28,46 \cdot 10^3$
Вертикальные напряжения по оси Y, кПа	$-71,37 \cdot 10^3$	$-64,22 \cdot 10^3$	$-86,70 \cdot 10^3$
Горизонтальные напряжения по оси Z, кПа	$-32,88 \cdot 10^3$	$-33,80 \cdot 10^3$	$-33,56 \cdot 10^3$
Горизонтальные деформации по оси X, %	$-88,49 \cdot 10^{-3}$	$-193,09 \cdot 10^{-3}$	$-193,24 \cdot 10^{-3}$
Горизонтальные деформации по оси Z, %	$-306,23 \cdot 10^{-3}$	$1330 \cdot 10^{-3}$	$7470 \cdot 10^{-3}$
Значения параметров в плоскости контакта бучак-карбон			
Перемещения, м	$6,21 \cdot 10^{-3}$	$18,60 \cdot 10^{-3}$	$19,97 \cdot 10^{-3}$
Относительные сдвиговые напряжения, дол.ед.	$35,67 \cdot 10^{-3}$	$104,82 \cdot 10^{-3}$	$104,84 \cdot 10^{-3}$
Перемещения на контуре скважины, м	$1,77 \cdot 10^{-3}$	$6,66 \cdot 10^{-3}$	$16,48 \cdot 10^{-3}$
Сдвиговые напряжения на контуре скважины, кПа	-4,05	-9,20	-12,76
Сдвиговые напряжения на контуре скважины по оси Z, кПа	-4,88	-24,26	-65,69
Относительные сдвиговые напряжения на контуре скважины, дол.ед.	$5,85 \cdot 10^{-3}$	$32,23 \cdot 10^{-3}$	$81,72 \cdot 10^{-3}$

Согласно результатам моделирования при приближении контуров лав 126, 128, 130 шахты «Юбилейная» к дегазационной скважине в интервале от скорректированного контура целика до его первоначального положения происходит ожидаемый рост деформаций, связанный с вовлечением в зону геомеханического влияния породной толщи в окрестности целика. При этом характерным для процессов деформирования является преобладающий рост растягивающих деформаций в направлении оси лава – целик (ось Z), с концентрацией их максимумов в плоскости контакта бучак-карбон.

Величины перемещений точек моделируемого массива на контуре дегазационной скважины в плоскости контакта бучак-карбон возрастают от 1,77 мм (вариант 1) до 6,66 мм (вариант 2) при приближении контуров лав 126, 128, 130 шахты «Юбилейная» к целику. В случае отработки 175 лавы шахты «Степная» (вариант 3) перемещения на этом контуре достигают величины 16,48 мм (рис. 3, рис. 4).

Второй этап (2018 г.) выполнен по результатам фактической отработки 126-лавы и, соответственно, идентификации математической модели гидрогеомеханического влияния на аварийную дегазационную скважину при следующих вариантах положения лав:

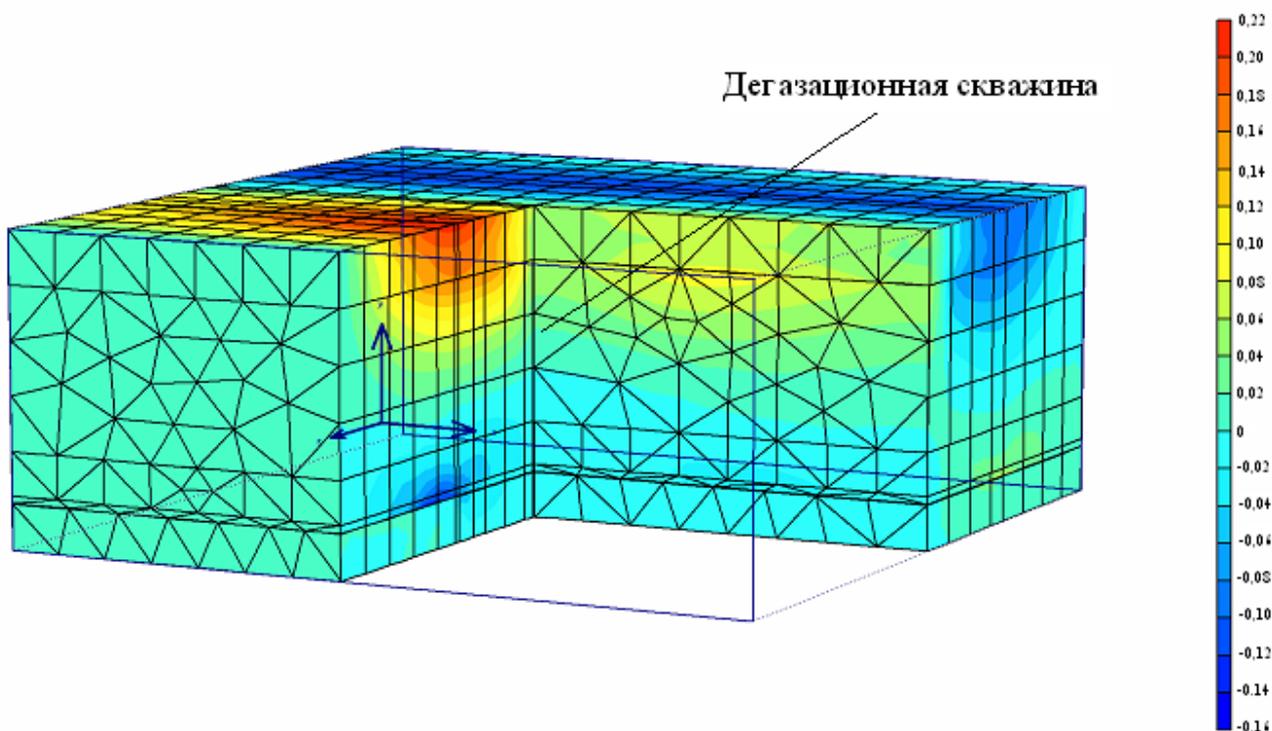


Рисунок 3 – Горизонтальные перемещения (вариант 3), м

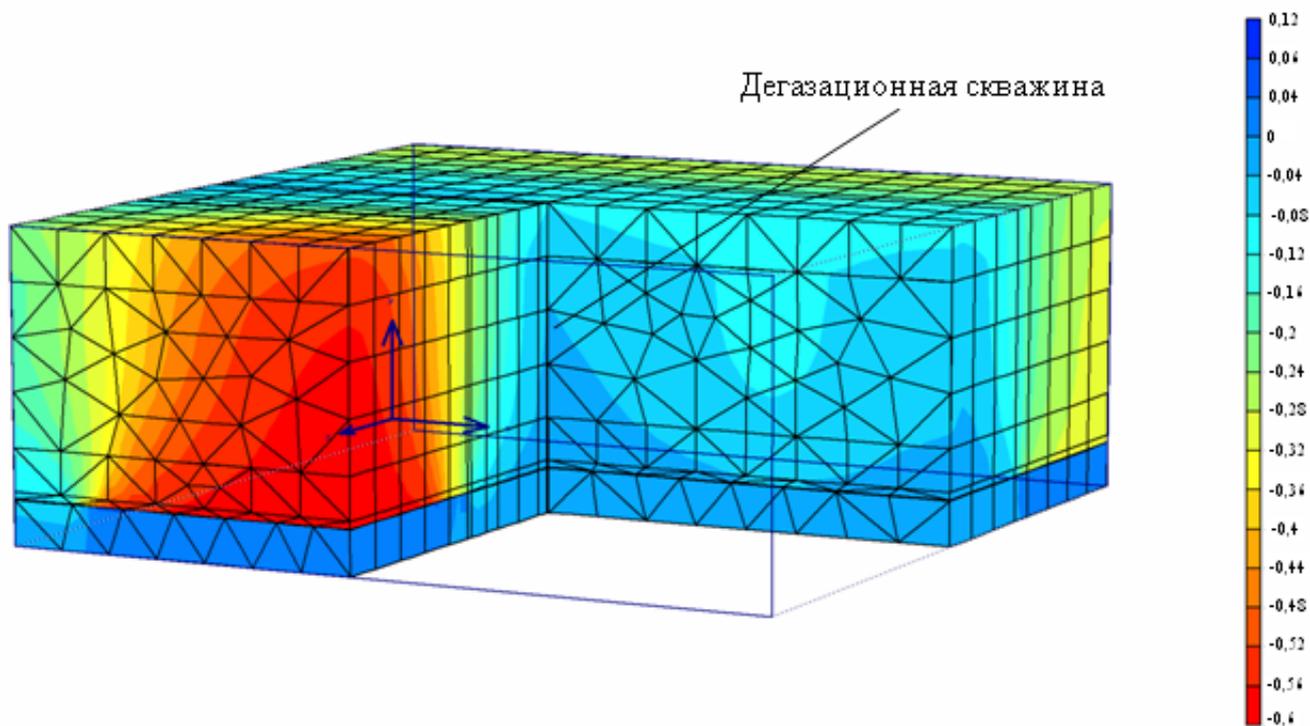


Рисунок 4 – Вертикальные перемещения (вариант 3), м

- 126-я и 128-я – на линии остановки у контура защитного целика (соответственно, варианты 1* и 2*);
- при доработке 128-ой в пределах контуров целика (вариант 3*);
- при доработке 128-й лавы в условиях приращения деформаций ползучести в зоне сдвижения на 10 % и 20 % (варианты 4* и 5*, соответственно).

Характер деформирования породного массива в окрестности защитного целика и аварийной скважины при отработке 126-й и 128-1 лав ш. «Юбилейная»

иллюстрируется значениями параметров, приведенными в табл. 3. Горизонтальные и вертикальные перемещения по варианту 4* приведены на рис. 5 и рис. 6.

Таблица 3 – Параметры деформирования породного массива в зоне влияния очистной выемки и на контакте бучак-карбон вблизи дегазационной скважины

Расчетные параметры	Вариант расчёта				
	1*	2*	3*	4*	5*
Максимальные вертикальные перемещения (оседания), м	0,239	0,260	0,260	0,289	0,318
Максимальные горизонтальные деформации, %	0,064	0,074	0,075	0,076	0,077
Перемещения в плоскости бучак-карбон, м	0,0016	0,0017	0,0049	0,0045	0,0044
Сдвиговые деформации в плоскости бучак-карбон, %	0,037	0,055	0,055	0,058	0,062

По результатам моделирования установлено, что положение зоны максимумов сдвиговых деформаций находится на удалении порядка 100...200 м от аварийной дегазационной скважины (рис. 5, рис. 6).

Величины перемещений точек породного массива на контуре скважины в плоскости контакта бучак-карбон возрастают от 1,6 мм (вариант 1*) до 1,7 мм (вариант 2*) при приближении 126-й и 128-й лав шахты «Юбилейная» к контуру защитного целика. При доработке 128-й лавы в границах защитного целика (вариант 3*) и приближении её контура к аварийной скважине на расстояние до 130 м перемещения на контуре дегазационной скважины достигают величины 4,9 мм.

В условиях развития деформаций ползучести на участке отработки 126-й лавы отмечается некоторое «смягчение» перемещений в плоскости бучак-карбон на контуре дегазационной скважины при доработке 128-й лавы в контурах защитного целика, которое выражается в снижении перемещений от 4,9 до 4,4 мм при росте сдвиговых деформаций в прискважинной зоне (со стороны обрабатываемой 128-й лавы) от 0,055% до 0,062%.

Выводы и рекомендации. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности отработки лав №126, 128, 130 ш. «Юбилейная» и 175-й лавы ш. «Степная» в пределах нормативного целика вокруг дегазационной скважины. При этом зафиксированы следующие параметры гидрогеомеханического влияния горных работ на водоизоляционную защиту аварийной скважины:

- сдвиговые горизонтальные деформации более чем на порядок меньше, зафиксированных геофизическими данными в процессе обследования скважины непосредственно после аварии;
- отработка 175 лавы ш. «Степная» более активно влияет на опасное сечение «бучак-карбон», но горизонтальные перемещения в 5-10 раз меньше, спровоцированных аварией;
- проникающая способность водонасыщенного бучакского песка тормозится при раскрытости трещин с относительной деформацией массива до 0,01

(эквивалентно 10-ти кратностям подработки), а полученные значения деформаций при моделировании на один порядок меньше.

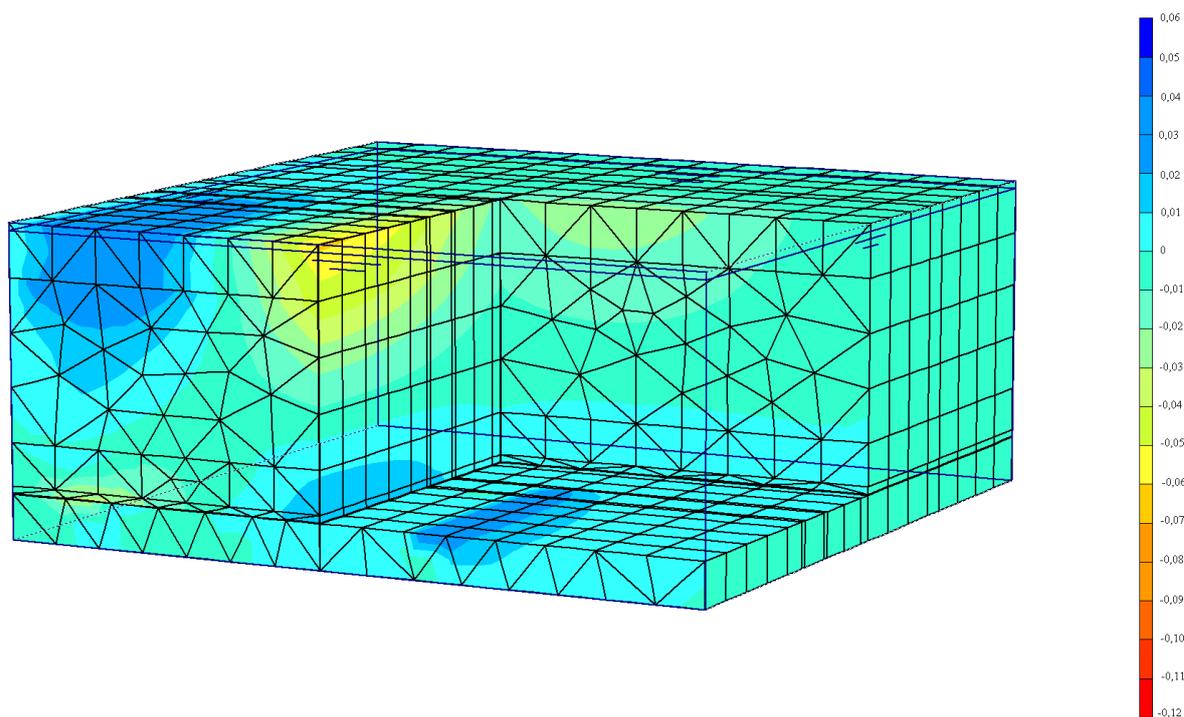


Рисунок 5 – Горизонтальные перемещения в углеродном массиве, м (вариант 4*)

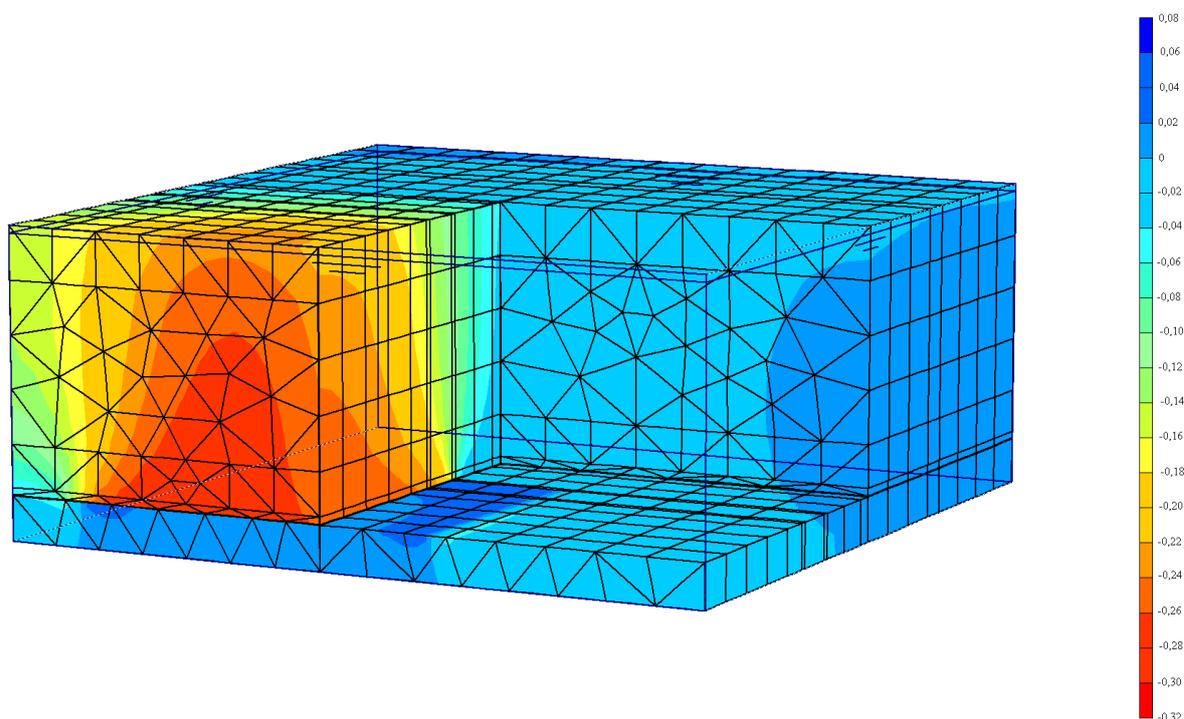


Рисунок 6 – Вертикальные перемещения в углеродном массиве, м (вариант 4*)

Для всех рассмотренных вариантов характерным является отсутствие превышения достигнутых уровней деформаций их критических величин $\varepsilon = 0,003-0,005$, как на контуре аварийной скважины в плоскости контакта бучак-карбон, так и в целом в границах защитного целика. В условиях сдвижения породной кровли при отработке 126-й и 128-й лав это свидетельствует о сохранении

целостности породной толщи слоев на контакте бучак-карбон, а также тампонажного материала в затрубном пространстве аварийной скважины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милетенко Н.А. К вопросу о прорывах воды в горные выработки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. С. 107-111.
2. Обоснование параметров безопасного пересечения горными выработками крупноамплитудного тектонического нарушения / И.А. Садовенко и др. *Уголь Украины*. 2017. №3. С. 17-24.
3. Усаков С.В., Крутиков А.В., Мельник Д.Е. Обеспечение промышленной безопасности при разработке Соколовского железорудного месторождения подземным способом в условиях обводненной налегающей толщи. *Проблемы недропользования*. 2018. № 4. С 82-89.
4. Cocker M.D., Orris G.J. World Potash Developments. Proceedings of the 48th Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals 2012, Phoenix, Arizona. 2013. P. 1-16.
5. Природоохранные и гидрогеомеханические аспекты оценки и использования водозащитных свойств горных пород / И.А. Садовенко и др. *Известия Днепропетровского горного института*. М.: Недра, 1990. С. 126-131.
6. Садовенко И.А. Расчетный метод определения раскрытости трещин расслоения в экспериментальных скважинах. *Известия вузов. Горный журнал*. 1991. №8. С. 16-19.
7. Экспериментальные исследования защитных свойств подрабатываемых горных пород в Западном Донбассе / И.А. Садовенко и др. *Известия вузов. Горный журнал*. 1990. №2. С. 3-6.
8. Садовенко И.А. Научные основы управления геофильтрационным состоянием породного массива вокруг горных выработок: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. Днепропетровск, 1992. 288 с.

REFERENCES

1. Miletenko, N.A. (2007), "On the issue of water breakthroughs in the mine workings", *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, pp. 107-111.
2. Sadovenko, I.A., Zagritsenko, A.N., Podvigina, Ye.O. and Timoshchuk, V.I. (2017), "Justification of the parameters of safe crossing by the mine workings of large-amplitude tectonic disruption", *Ugol Ukrainy*, no. 3, pp. 17-24.
3. Usakov, S.V., Krutikov, A.V. and Melnik, D.E. (2018), "Ensuring industrial safety in the development of the Sokolovsky iron ore deposit by the underground method in the conditions of a flooded overburden", *Problemy nedropolzovaniya*, no. 4, pp. 82-89.
4. Cocker, M.D. and Orris, G.J. (2013), "World potash developments", *Proceedings of the 48th Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals*, Phoenix, Arizona, pp. 1-16.
5. Sadovenko, I.A., Antropsev, A.M., Antonov, Yu.I. and Timoshchuk, V.I. (1990), "Environmental and hydro-mechanical aspects of the assessment and use of water-protective properties of rocks", *Izvestiya Dnepropetrovskogo gornogo instituta*, pp. 126-131.
6. Sadovenko, I.A. (1991), "Computational method for determining the separation of fractures in experimental wells", *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, no. 8, pp. 16-19.
7. Sadovenko, I.A., Antonov, Yu.I., Timoshchuk, V.I. and Matviyenko, A.A. (1990), "Experimental studies of the protective properties of earned rocks in the Western Donbass", *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, no. 2, pp. 3-6.
8. Sadovenko, I.A. (1992), "Scientific basis of management geofiltration state of the rock mass around the mine workings", *D. Sc. Thesis, Mine construction, Physical processes of mining*, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Садовенко Иван Александрович, д.т.н., профессор, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (НТУ «ДП»), Днепр, Украина

Тимошук Василий Ипполитович, к.т.н., доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (НТУ «ДП»), Днепр, Украина

Загриценко Алина Николаевна, к.т.н., доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (НТУ «ДП»), Днепр, Украина, alinanik@bigmir.net

Деревагина Наталья Ивановна, к.т.н., доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (НТУ «ДП»), Днепр, Украина, natali.derev@gmail.com

About the authors

Sadovenko Ivan Aleksandrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine

Timoshchuk Vasyl Ippolitovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine

Zahrytsenko Alina Mykolaivna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, alinanik@bigmir.net

Dereviahina Nataliia Ivanivna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, natali.derev@gmail.com

Анотація. В роботі обґрунтовані параметри безпечного гідрогеомеханічного впливу очисних робіт на аварійну дегазаційну свердловину з урахуванням механізму руху водопіскової суміші в дегазаційну збірку. Використано результати аналітичних рішень, фізичного моделювання та дослідно-промислового експерименту. Трансцендентне

аналітичне співвідношення знайдено між шириною розкриття тріщини в свердловині, функції напору води і коефіцієнтом фільтрації піску, при якому зберігається стійкість контакту «тріщина-пісок». Ці дані підтверджені масштабним експериментом на шахтному полі, а перехід в критичну фазу руху водопіскової суміші в гірничу виробку досліджений на фізичній моделі з багаторазовою фіксацією фази самогальмування конуса впливу.

Для оцінки гідрогеомеханічного стану породного масиву в зоні проєктованого захисного цілика навколо системи дегазації свердловини використана чисельна геомеханічна модель, реалізована на базі методу скінченних елементів в пружно-пластичній постановці. Встановлено, що проникаюча здатність водонасиченого бучакського піску гальмується при розкритості тріщин з відносною деформацією масиву до 0,01 (еквівалентно 10-ти кратності підробки), а зсувні горизонтальні деформації на порядок менше зафіксованих геофізичними даними безпосередньо після аварії. Відпрацювання лави з боку поля суміжної шахти більш активно впливає на небезпечний перетин «бучакський пісок-карбон». Відсутність перевищення досягнутих рівнів деформацій їх критичних величин $\varepsilon = 0,003-0,005$, як на контурі аварійної свердловини, так і в цілому в межах захисного цілика, свідчить про збереження цілісності породної товщі шарів на контакті «бучак-карбон», а також тампонажного матеріалу в затрубному просторі аварійної свердловини. В умовах розвитку деформацій повзучості відзначається деяке «пом'якшення» переміщень по контуру системи дегазації свердловини. Результати проведених досліджень свідчать про можливість відпрацювання лав № 126, 128, 130 ш. «Ювілейна» і 175-ої лави ш. «Степова» в межах нормативного цілика навколо системи дегазації свердловини.

Ключові слова: водопіскова суміш, тампонаж, геомеханічний вплив, моделювання, параметри безпеки гірничих робіт

Abstract. Parameters of safe hydrogeomechanical influence of extraction works on an emergency degasation well are justified in this paper considering the mechanism of movement of water-sand mixture to a degasation cross-cut. Results of analytical solutions, physical modeling and an experimental-industrial experiment are used. Transcendental analytical relation between the width of an opening crack, the function of water pressure and sand filtration coefficient is determined, which maintains the stability of a "crack-sand" contact. This data was confirmed by a large-scale experiment in the mine field, and a transition of water-sand mixture movement to a critical phase in a mine working was studied on a physical model with multiple fixation of a phase of self-braking of an outflow cone.

A numerical geomechanical model, implemented on a basis of a finite element method in elastic-plastic formulation was used to estimate a hydrogeomechanical state of the rock massif in a zone of a projected protective pillar around the degasation well. It was established that the permeability of water-saturated Buchak sand is braking during the openness of cracks with a relative deformation of a massif of up to 0.01 (equivalent to 10 multiplicities of underworking), and shear horizontal deformations are an order of magnitude less than those recorded by geophysical data immediately after the accident. Stope development from the side of a field of an adjacent mine more actively affects the dangerous "Buchak sand-Carbon" contact. Absence of exceeding levels of deformation of critical values of $\varepsilon = 0.003-0.005$, both on the contour of an emergency well, and within the protective pillar in general, indicates the preservation of integrity of rock stratum of layers on the "Buchak-Carbon" contact as well as the grouting material in the annulus of an emergency well. Under the conditions of development of creep deformations, there is a certain "mitigation" of displacements along the contour of a degasation well. The results of carried out research evidence a possibility of development of stopes №126, 128, 130 of Yubileynaya mine and a stope №175 of Stepnaya mine within limits of normative pillar around degasation well.

Keywords: water-sand mixture, grouting, geomechanical influence, modeling, safety parameters of mining works

Стаття поступила в редакцію 15.01.2019

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко