

УДК 622.268.7 + 622.524



А. Ф. БОРЗЫХ,
доктор техн. наук
(Донбасский ГТУ)



В. О. ФОМИН,
инж.
(ООО «Донразработка»)



Э. В. КУКУЯШНЫЙ,
инж.
(ГП «Луганскуглереструктуризация»)

С закрытием угольных шахт увеличивается количество подлежащих ликвидации вертикальных стволов, имеющих выход на земную поверхность. Как показывает практика, выполнение типовых нормативных требований [1] по их ликвидации не гарантирует продолжительную устойчивость приустьевого зоны [2]. Основная причина – потеря опоры закладочного материала из-за усадки и образование

Взаимодействие распорного перекрытия, изолирующего земную поверхность от ликвидируемого вертикального ствола, с наносами

На основе натуральных наблюдений и математического моделирования установлены причины образования провалов земной поверхности вокруг ликвидированных по типовой схеме вертикальных стволов. С учетом количественных значений параметров провалов, положенных в основу условий обеспечения равновесной системы, разработано конусообразное монолитное распорное перекрытие ствола без его засыпки.

Ключевые слова: ствол, провал, полки-перекрытия, МКЭ, конусообразное распорное перекрытие, устойчивость.

Контактная информация: vova_sid@mail.ru

в верхней части ствола полости, способствующей нарастанию вокруг нее бокового давления наносов и выветренных слабых коренных пород [3]. Усадка закладочного материала в стволе также способствует частичному или полному разрушению опорных зон его полков-перекрытий.

Предусматриваемые в последующем дозасыпки ствола закладочным материалом не гарантируют устойчивость приустьевого зоны из-за непрекращающегося во времени образования пустотного зазора под изолирующими сооружениями. Более того, восстановление разрушенных полков-перекрытий в ликвидированном вертикальном стволе и его дозасыпка зависят от технологических трудностей, связанных со сложностями обеспечения безопасности выполнения ремонтно-восстановительных работ.

В связи с указанным возникает необходимость решения актуального научно-технического во-

проса сохранения устойчивости перекрытий, изолирующих земную поверхность от ликвидируемого вертикального ствола, повышения эффективности их функционирования во времени и снижения затрат. Одно из направлений обеспечения надежной изоляции земной поверхности от ликвидируемого ствола – разработка жесткой распорной конструкции перекрытия [4].

Цель статьи – обоснование параметров взаимодействия монолитного армобетонного распорного перекрытия, изолирующего земную поверхность от ликвидированного вертикального ствола, с наносами. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- на базе натуральных измерений определить характерные контуры провалов на земной поверхности, потенциальные причины их образования при типовой технологии сооружения пол-

ков-перекрытий приустьевой зоны ликвидированного вертикального ствола;

- установить оптимальные параметры распорного монолитного перекрытия и его взаимодействие с наносами;
- с помощью математического моделирования выявить характерные зоны напряжений и смещений пород вокруг типового и распорного монолитного изолирующих перекрытий, провести сравнительный анализ их распределения вокруг сопряжения ствола с земной поверхностью.

В качестве диагностической базы для исследования исходных условий и характеристик параметров образования провалов вокруг ранее ликвидированных согласно нормативным требованиям [1] вертикальных стволов с применением изолирующих от земной поверхности полков-перекрытий с полным заполнением закладочным материалом (рис.1) использованы натурные измерения, усредненные данные которых представлены в табл. 1. Измерения выполняли с помощью лазерного тахеометра NikonDTM-322 5", лазерного дальномера BoschGLM 50 и рулетки УС 50/5 с фиксацией диаметра ствола оградительными отвесами по внутреннему контуру его крепи.

Все 10 вертикальных стволов, расположенных в Алмазно-Марьевском угленосном районе Восточного региона Донбасса, имеют диаметр всвету 5,1–6,9 м (в среднем 5,85 м при коэффициенте вариации 10,8 %) и толщину бетонной крепи 0,3 – 0,6 м (в среднем 0,47 м, или 19,6 %). Во время ликвидации эти стволы заполняли закладочным материалом (породой из терриконов) и изолировали от земной поверхности плоскими полками-перекрытиями.

В результате ликвидации вокруг вертикальных стволов (по периметру приустьевых зон в пределах наносов и выветренных коренных пород) произошли провалы земной поверхности (рис. 2) глубиной в среднем 11,32 м при коэффициенте вариации 10 % и 0,28 м – 20,1 %. Минимальный диаметр провала в стволе составил 7,19 м (8,3 %), максимальный – на уровне земной поверхности 23,1 м (11,6 %), при ширине присечки коренных пород – в среднем 0,2 м (23,6 %). Усредненные параметры плоских армобетонных полков-перекрытий: на земной поверхности диаметр 6,79 м (8,6 %), толщина 0,55 м (22,5 %), ширина их опоры (заделки) 0,47 м (19,6 %); в стволе соответственно 6,32 м (9,5 %), 0,31 м (9,7 %), 0,24 м (19,7 %). Углы откоса бортов провалов изменялись в пределах от 52 до 58° при коэффициенте вариации 3,2 % (см. табл. 1).

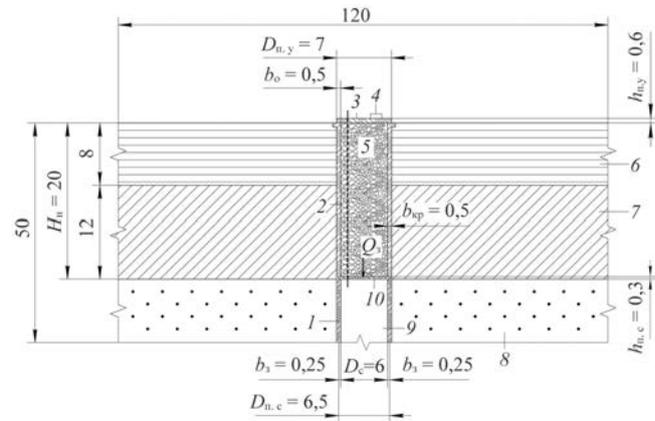


Рис. 1. Типовая технологическая схема изоляции ликвидированного вертикального ствола от земной поверхности: 1 – бетонная крепь; 2 – закладочный материал в устье ствола между его полками-перекрытиями; 3 – полочное перекрытие устья с углублением в крепи ствола для его заделки; 4 – люк для дозасыпки; 5 – газоотводная труба; 6 и 7 – наносы, представленные соответственно глиной и суглинком; 8 – коренные породы; 9 – ствол; 10 – полочное перекрытие ствола (размеры в метрах).

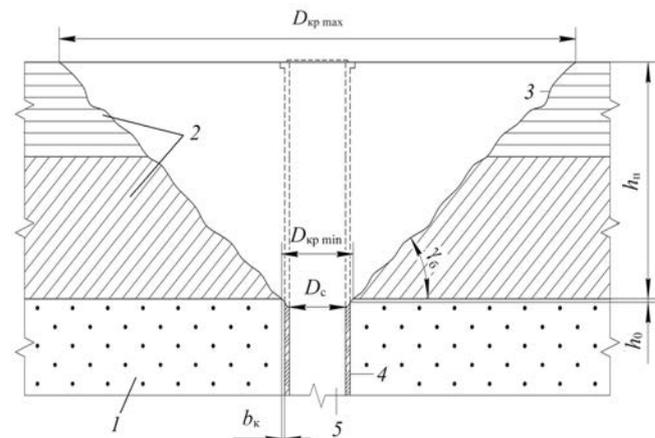


Рис. 2. Схема контура провала земной поверхности в приустьевой зоне ликвидированного вертикального ствола при типовой схеме его изоляции: 1 – коренные породы и их присечка в пределах провала; 2 – наносы; 3 – контур провала в наносах; 4 – крепь; 5 – ствол.

Представленные основные параметры, характеризующие провалы земной поверхности по коэффициентам их вариации 3,2 – 23,6 %, можно использовать для обоснования конусообразных конструкций распорного монолитного изолирующего сооружения, обеспечивающего устойчивость приустьевой зоны ликвидированного вертикального ствола без его засыпки. Зафиксированы потери устойчивости приустьевой зоны во всех обследованных ликвидированных вертикальных стволах,

Ликвидированный вертикальный ствол (шахта)	Диаметр всвету D_c , м	Толщина крепи $b_{кр}$, м	Провал					
			Присечка коренных пород			В наносах		Угол откоса бортов провала $\gamma_6 \dots^\circ$
			Глубина h_0 , м	Ширина b_k , м	Диаметр $D_{кр \min}$, м	Глубина $h_{п'}$, м	Диаметр $D_{кр \max}$, м	
Вспомогательный («Анненская»)	5,4	0,4	0,2	0,15	6,49	10,8	22,18	54
Вспомогательный № 2 («Анненская»)	6,0	0,5	0,3	0,2	7,40	11,7	23,19	56
Клетевой («Анненская-Глубокая»)	6,9	0,5	0,25	0,19	8,28	13,75	29,0	53
Скиповой («Анненская-Глубокая»)	5,0	0,6	0,27	0,18	6,55	10,43	20,1	57
Вентиляционно-скиповой (им. Ф. Э. Дзержинского)	6,2	0,3	0,28	0,2	7,19	12,72	25,01	55
Вентиляционно-вспомогательный (№ 6/6-бис)	6,1	0,45	0,22	0,15	7,3	10,68	21,7	56
Грузовой (№ 36)	5,1	0,51	0,4	0,29	6,7	10,0	21,23	54
Главный («Ломоватская-Южная»)	5,3	0,46	0,25	0,16	6,53	10,35	19,47	58
Вентиляционный («Ломоватская-Южная»)	5,7	0,62	0,35	0,27	7,49	10,78	24,33	52
Вспомогательный (№ 2-5 «Каменка»)	6,8	0,38	0,3	0,21	7,98	12,0	24,79	55

поскольку диаметры их полков-перекрытий меньше аналогичных на уровнях пересекаемых коренных пород наносов и земной поверхности, разница между которыми составила соответственно 0,87 и 16,31 м.

Результаты проведенных исследований с учетом принципиально новых технических решений [4] и аналитического подхода к определению усло-

вий равновесия [5] положены в основу повышения устойчивости системы «монолитный конусообразный полков-перекрытие – породный массив приустьевой зоны – крепь ствола», обеспечивающей продолжительную сохранность земной поверхности.

Устойчивое состояние конусообразного распорного монолитного изолирующего полков-перекрытия в приустьевой зоне сопряжения ликвидированного вертикального ствола с земной поверхностью достигается при условиях (рис. 3):

$$H_{п} = H_{н} + h_0 + 0,5 D_{в.о} \operatorname{tg} \xi; \quad (1)$$

$$D_{в.о} = 2(H_{н} + h_0) / \operatorname{tg} \gamma_c + D_{н.о} \geq D_{кр \max}; \quad (2)$$

$$D_{н.о} \geq D_{кр \min} = D_c + 2(b_{кр} + b_k); \quad (3)$$

$$\gamma_c = \gamma_6 / k_y \leq \gamma_{6 \max}; \quad (3)$$

$$R_3 + R_4 + \sin \gamma_c (F_1 + F_2) + \cos \gamma_c (R_1 + R_2) - G_{п} = 0, \quad (4)$$

где $H_{п}$ – высота перекрытия ствола, м;
 $H_{н}$ – мощность наносов, м;
 h_0 и b_k – предельная глубина и ширина присечки коренных пород 0,28 и 0,2 м (см. табл. 1);
 $D_{в.о}$ и $D_{н.о}$ – диаметры верхнего и нижнего оснований перекрытия, м;
 ξ – угол наклона верхнего основания перекрытия для стока атмосферных осадков (принимается равным 4°);
 γ_c – угол наклона боковой поверхности перекрытия, \dots° ;

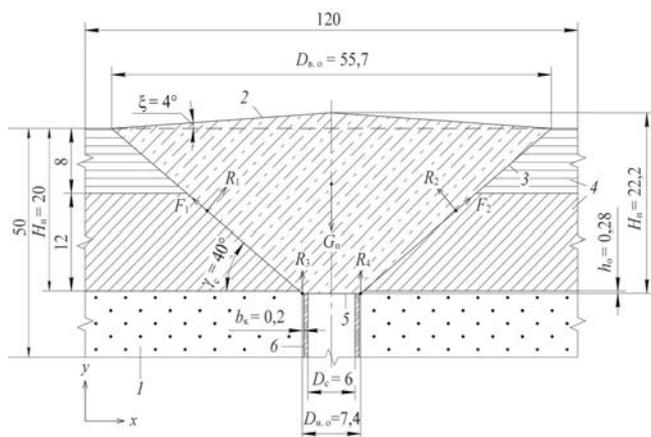


Рис. 3. Схема модели в вертикальном разрезе взаимодействия монолитного распорного конусообразного перекрытия, изолирующего ликвидированный вертикальный ствол от земной поверхности: 1 – коренные породы и их присечка; 2 и 5 – верхнее и нижнее основания распорного перекрытия; 3 – контур распорного монолитного перекрытия; 4 – наносы; 6 – крепь ствола (размеры в метрах).

Таблица 1

Полки перекрытий								
устья				ствола				
Ширина опоры b_{op} , м	Материал	Диаметр $D_{п.у}$, м	Толщина $h_{п.у}$, м	Материал	Диаметр $D_{п.с}$, м	Толщина $h_{п.с}$, м	Глубина заделки $b_з$, м	Удаление от земной поверхности $l_{п.с}$, м
0,4	Рельс Р-24, бетон	6,2	0,4	Двутавр № 22, бетон	5,8	0,3	0,2	10,2
0,5	Двутавр № 22, бетон	7,0	0,6	То же	6,5	То же	0,25	11,1
0,5	Швеллер № 20, бетон	7,9	0,47	»	7,4	»	0,25	12,0
0,6	Рельс Р-33, бетон	6,2	0,55	»	5,6	»	0,3	10,3
0,3	Сварной СВП-22, бетон	6,8	0,52	»	6,5	»	0,15	12,2
0,45	Рельс Р-53, бетон	7,0	0,6	»	6,55	»	0,22	10,4
0,51	Арматура, бетон	6,12	0,45	»	5,61	»	0,26	10,0
0,46	Рельс Р-24, бетон, плиты	6,22	0,7	»	5,76	»	0,23	10,1
0,62	Рельс Р-33, арматура, бетон	6,94	0,8	Рельс Р-24, бетон	6,32	»	0,31	10,5
0,38	Арматура, бетон	7,56	0,4	То же	7,18	0,4	0,19	11,8

$D_{кр\ min}$ и $D_{кр\ max}$ – расчетные значения критических значений минимального и максимального диаметров разрушения околоствольного приустьевого массива [2], м;

D_c – диаметр ликвидируемого вертикального ствола всвету, м;

$b_{кр}$ – толщина крепи, м;

γ_6 и γ_{6max} – углы естественного откоса расчетный ($52-57^\circ$) и максимально допустимый ($40-50^\circ$) [6];

$k_y = 1,04...1,43$ – коэффициент запаса устойчивости наносов [5];

$R_1...R_4$ – опорные реакции, МН;

F_1 и F_2 – максимальные силы сопротивления между боковыми поверхностями изолирующего перекрытия и приустьевым породным массивом, МН;

$G_{п}$ – вес изолирующего перекрытия, МН.

Количественные значения указанных величин с учетом расчетных схем были использованы для математического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) приустьевой зоны высотой и шириной соответственно 120 и 50 м с (см. рис. 1) конусообразным монолитным распорным [4] полком-перекрытием ликвидируемого вертикального ствола (см. рис. 3). С использованием МКЭ [7] в конкретных горно-геологических условиях (табл. 2) заложения вспомогательного вертикального ствола шахты «Ново-Павловская Восточная» получены изополя напряжений и смещений приустьевой зоны породного массива, а также его крепи. В качестве нагрузки учитывались вес Q_3 закладочного материала и монолитно-

Таблица 2

Параметр	Глина	Суглинок	Песчаник	Бетон класса В30
Модуль Юнга, МПа	4	20	41000	32460
Коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения	3	3	3	-
Сцепление, МПа	0,02	0,008	36	-
Предельное напряжение при одноосном растяжении, МПа	0,002	0,0008	3,6	1,2
Коэффициент Пуассона	0,4	0,33	0,26	0,3
Угол внутреннего трения, ... ^o	14	29	30	-
Объемный вес, Н/м ³	17000	17000	26500	25000

го конусообразного распорного перекрытия $G_{\text{п}}$, соответственно равные 14 и 443 МН.

Графическая интерпретация результатов моделирования показана на рис. 4 и 5. На основании моделирования НДС рассматриваемой равновесной системы установлено, что наибольшие горизонтальные $U_{\text{г}}$ (рис. 4, а) и вертикальные $U_{\text{в}}$ смещения (рис. 4, б) в крепи ствола составляют соответственно 19,5 и 3 мм на удалении от земной поверхности 12,4 м, а на остальном участке до его полка-перекрытия их максимальные значения не превышают соответственно 14 и 340 мм. Выявлено, что эквивалентные растягивающие напряжения $N_{\text{р}}$ в крепи и закрепном пространстве (рис. 4, в) увеличиваются по мере удаления от земной поверхности. Так, на глубинах 0,1 – 12 и 12,1 – 9,4 м они составляют соответственно 0,01 – 2 и 2,1 – 27 МПа при максимальных 27,1 – 300 МПа, сосредоточенных в месте заделки полка-перекрытия ствола на глубине от земной поверхности 19,4 – 20 м, образуя по контуру крепи зону растягивающих напряжений, распространяющуюся вглубь породного массива до 6 м. При этом на удалениях до 0,8 м растягивающие напряжения уменьшаются с 300 до 38 МПа, 0,8 – 6 м – с 37,9 до 2 МПа.

Из результатов моделирования (см. рис. 5) следует, что по всей конструкции монолитного конусообразного распорного перекрытия приустьевой зоны ликвидируемого вертикального ствола и приустьевого массива растягивающие напряжения не превышают 1,7 МПа. В месте заделки его нижнего основания на глубине 20 м горизонтальные и вертикальные напряжения (см. рис. 5, а и б) составляют соответственно 2,67 мм в крепи, 16 мм – в массиве и 0,16 мм – в конструкции, 1 мм – в перекрытии, аналогично – в крепи, 50 мм – в массиве. Максимальные растягивающие напряжения, равные 15 МПа (см. рис. 5, в), возникают в крепи ствола и по периметру окружающего его породного массива на уровне нижнего основания конусообразного распорного изолирующего перекрытия шириной и высотой соответственно 1 и 1,5 м.

Результаты математического моделирования подтверждают, что причина нарушения изоляции вертикального ствола, ликвидированного по типовой схеме, выражающаяся в образовании провалов земной поверхности, – это разрушение полка-перекрытия из-за превышения возникающих в нем растягивающих напряжений (см. рис. 4), равных 2 – 300 МПа, которые превышают допустимые нагрузки на бетон в 1,01 – 150 раз. Это указывает на

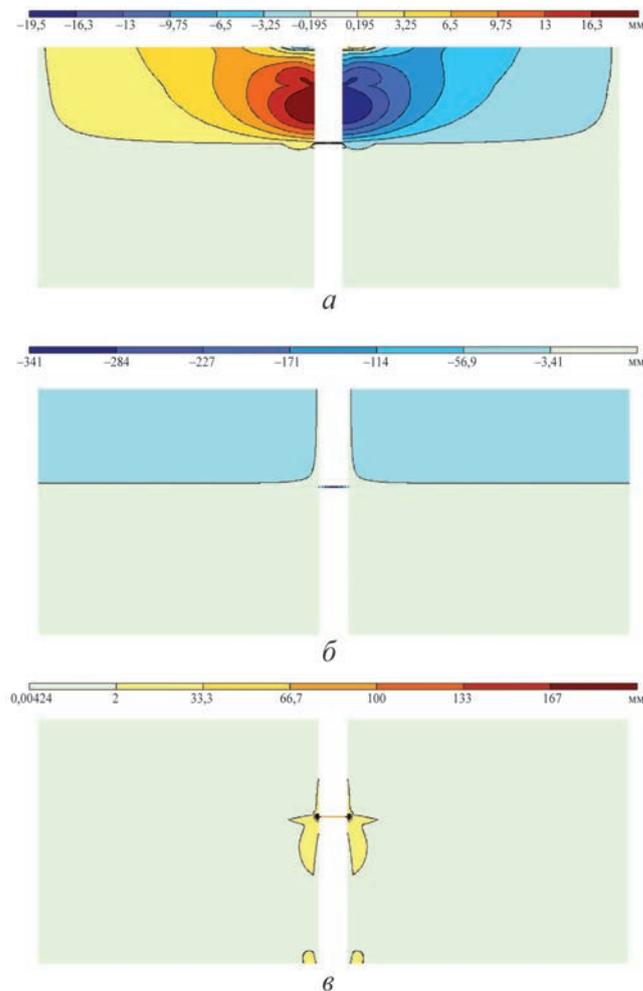


Рис. 4. Графическая интерпретация по результатам математического моделирования напряженно-деформированного состояния приустьевого массива ликвидированного вертикального ствола, изолированного от зеленой поверхности по типовой схеме: а и б – изополя горизонтальных $U_{\text{г}}$ и вертикальных $U_{\text{в}}$ смещений; в – изополя эквивалентных растягивающих напряжений $N_{\text{р}}$.

достоверность результатов натуральных наблюдений в части установления причин разрушения типового плоского изолирующего перекрытия вертикального ствола при его взаимодействии с геомеханической оградительной системой приустьевой зоны.

Разработанная конструкция монолитного конусообразного изолирующего перекрытия, по форме и размерам отвечающая условиям устойчивости распорной системы, может на длительное время обеспечить изоляцию от земной поверхности ликвидированного вертикального ствола без его засыпки.

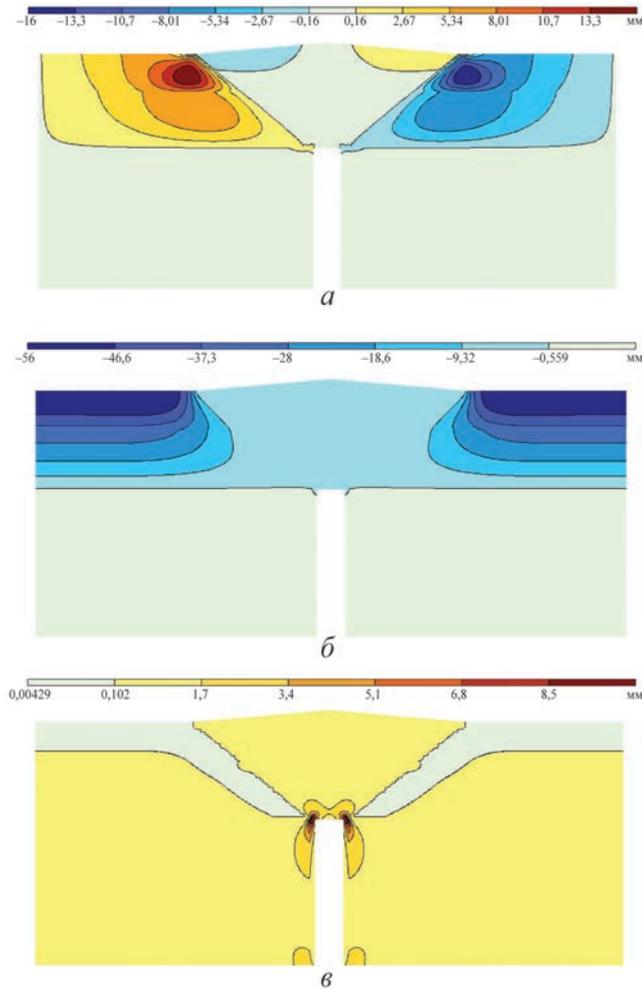


Рис. 5. Графическая интерпретация по результатам моделирования напряженно-деформированного состояния приустьевого массива ликвидированного вертикального ствола, изолированного распорным монолитным конусообразным перекрытием: *a* и *б* – изополя горизонтальных U_h и вертикальных U_v смещений; *в* – изополя эквивалентных растягивающих напряжений N_p .

Выводы. Основная причина образования провалов на земной поверхности вокруг ликвидированных по типовой схеме вертикальных стволов – несоответствие прочностных характеристик и габаритных размеров их плоских полков-перекрытий условиям эксплуатации, а также образование пустотной зоны между ними и закладочным материалом. Натурными измерениями установлены форма

и основные усредненные количественные значения провалов: глубина, максимальный и минимальный диаметры, присечка коренных пород, угол естественного откоса бортов, которые положены в основу определения параметров распорного конусообразного монолитного сооружения, изолирующего вертикальный ствол от земной поверхности. Математическим моделированием подтверждены разработанные исходные условия обеспечения равновесия изолирующего монолитного конусообразного перекрытия ликвидированного вертикального ствола. Проведенные исследования рекомендуют использовать при принятии новых технических решений по ликвидации вертикальных стволов без их засыпки с использованием монолитных конусообразных распорных перекрытий, повышающих надежность и продолжительное функционирование, а также способствующих снижению затрат на реализацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила* ликвидации стволов угольных шахт: КД 12.12.005–2001, КД 12.12.006–2001. – Донецк: Минтопэнерго, 2001. – 122 с. – (Нормативный документ Минтопэнерго Украины).
2. *Фомин В. О.* Потенциально опасные зоны провалов на поверхности вокруг ликвидированных стволов / В. О. Фомин // *Уголь Украины*. – 2011. – № 8. – С. 17–21.
3. *Голдин С. В.* Аварийные ситуации в районе расположения устьев вертикальных стволов / С. В. Голдин // *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. – 2010. – № 6. – С. 313–323.
4. *Пат.* 101061, МПК 51 E 21 D 1/00, E 21 F 15/00. Кріплення устя й спосіб його спорудження при будівництві й ліквідації вертикального стовбура / Борзих А. П., Фомін В. О.; заявник і патентовласник Донбаський ДТУ. – № А 2011 04667; заявл. 15.04.11; опубл. 25.02.13, Бюл. № 5.
5. *Дашко Р. Э.* *Механика горных пород* / Р. Э. Дашко. – М.: Недра, 1987. – 264 с.
6. *Пронский Д. В.* Устойчивость приустьевых зон ликвидированных вертикальных выработок / Д. В. Пронский, В. О. Фомин, Э. В. Кукуяшный // *Уголь Украины*. – 2013. – № 9. – С. 18–21.
7. *Примеры* расчета и проектирования: учеб. пособие. *Лира® 9.4* / [В. Е. Борисов, Ю. В. Гензерский, Ю. Д. Гераймович и др.]. – К.: ФАКТ, 2008. – 280 с.