
УДК 624.131.53:622.834

И.И. СТОРЧАК, зав. лаб., ГУ «Донуги»;
М.А. НЕСТЕРЧУК, начальник отд. Минугля и энергетики ДНР;
Донецк

БЕЗОПАСНЫЕ СРЕДСТВА ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА БАЗЕ ВТОРСЫРЬЯ ИЗ КРЕПЕЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Изложены конструктивные особенности средств поддержания подготовительных выработок со стороны выработанного пространства на базе вторсырья из крепежных материалов. Для их безопасного и эффективного применения впервые в научной практике разработаны методики расчета несущей способности как тумб, состоящих из деревянных модулей, так и металлических костров, позволяющие оптимизировать плотность их установки при разработке паспортов выемочных участков.

Ключевые слова: поддержание подготовительных выработок, опорно-поддерживающие устройства, вторсырьё от крепления выработок, несущая способность, тумба, металлические костры.

Устойчивость подготовительных выработок выемочных участков является одной из основных проблем подземной разработки угольных пластов, без решения которой невозможны обеспечение безопасности горных работ и повышение технико-экономической эффективности эксплуатации угольных шахт. Исследованиями ОАО «ШахтНИУИ» [1] в условиях шахт Донбасса РФ, обрабатывающих угольные пласты мощностью 0,85-2,0м, установлено, что при стоимости проведения 1км подготовительных выработок в пределах от 20 до 45 млн. руб. современным требованиям экономически эффективной и безопасной угледобычи наиболее полно отвечает технология поддержания выработок для повторного их использования. При этом определяющим моментом выбора средств и способов поддержания, повторно используемых подготовительных выработок является безопасность и дешевизна опорно-поддерживающих средств со стороны выработанного пространства лавы [2, 3].

В соответствии с исследованиями [4] к указанному безопасным и относительно дешевым средствам поддержания штреков со стороны выработанного пространства лавы относятся металлические костры на базе обработанных спецпрофилей СВП из погашаемых выработок и опорные тумбы, комплектуемые из блоков опорных (БОПВ).

В зарубежной практике [1, 5] аналогами опорных тумб, комплектуемых из блоков БОПВ, являются стойки однократного использования (BTS), предназначенные для поддержания кровли пласта у кромки выработанного пространства и бетонно-деревянные блоки (БДБ) диаметром 630-800мм.

Согласно данным исследований [1, 2], блоки БДБ (БОПВ) изготавливаются из обрезков деревянных рудничных стоек диаметром от 9 до 20 см, высотой от 100 до 200 мм. При этом зазоры между скрепляемыми элементами стоек заполняются клиньями, бетоном или глиняным раствором.

В соответствии с данными исследований [1] тумбы из блоков БДБ, диаметром от 630 до 800 мм и высотой 110-115 мм, весом 37-55 кг, с податливостью и несущей способностью 3000-4000 кН в настоящее время используются при охране 60% повторно используемых в штреках на шахтах Донбасса (РФ). Несмотря на широкое распространение этих тумб, являющихся аналогом тумб из опорных блоков БОПВ, разработанных ГУ «Донуги», до настоящего времени не имеется научно обоснованной методики расчета несущей способности тумбы как опорной конструкции, состоящей из опорных блоков.

Наряду с этим, металлические костры на базе отработанных спецпрофилей СВП из погашаемых выработок, нашедшие широкое применение в настоящее время в повторно используемых выработках выемочных участков на пластах l_6 и m_3 , располагаемых на глубинах от 960 до 1350м, из-за отсутствия в необходимом количестве рудничных деревянных стоек диаметром от 12 до 20 см для возведения бутокостров (кустокостров), ранее применяемых в охранных сооружениях рассматриваемых выработок, также не имеют необходимой методологии расчета их несущей способности, что затрудняет при разработке технологической проектной документации участка выбор необходимой их плотности установки.

В соответствии с исследованиями [5] BTS есть, не что иное, как заполненная твердеющим материалом (бетоном) телескопическая металлическая стойка. Область применения этих стоек относится к условиям, когда возведение околоштрековой охранной полосы из быстротвердеющих строительных материалов [3] экономически не оправдано. BTS представляет собой, имеющую механическую раздвижку и распор, индивидуальную стойку, которая после установки заполняется строительной твердеющей смесью, BTS – стойка однократного использования, обладающая несущей способностью до 1300 кН. Она состоит из 2-х отрезков стальных труб, один из которых перемещается внутри другого. Благодаря относительно малому собственному весу она может устанавливаться вручную. Внешняя труба оборудована: устройством раздвижки – шестигранной головкой с зевом ключа №36; ограничителем обратного хода, позволяющим

выполнять вращение только в одном направлении, так, что внутренняя стойка может только выдвигаться и распирается при установочном усилии 2 т. Для заполнения BTS служит кольцевой переходник.

Таким образом, для поддержания подготовительных выработок при повторном их использовании в настоящее время на шахтах ДНР к наиболее перспективным средствам, в соответствии с нормативным документом [4], относятся тумбы из блоков БОПВ [2, 4] и металлические костры на базе отработанных спецпрофилей СВП из погашаемых выработок в качестве опорных элементов охранных сооружений. Однако, для безопасного применения рассматриваемых опорных элементов из вторсырья, применяемого в креплении выработок, не существует методик расчёта.

Целью статьи является разработка методик расчета несущей способности тумб из блоков БОПВ и металлических костров на базе отработанных спецпрофилей СВП из погашаемых выработок.

На рис. 1 представлена конструкция тумбы из блоков БОПВ, а в табл. 1 [2] представлены основные параметры блоков БОПВ.

Таблица 1

Основные параметры блоков БОПВ

Обозначение	Диаметр, D , мм	Высота, H , мм	Диаметр обруча, d , мм	Наполни- тель	Масса, кг
БОПВ 1.000	600 ± 20	200 ± 5	6	Клинья деревянные, обрезки, колья	26,05 – 32,26
– 01			8		26,03 – 32,23
– 02		100 ± 5			13,01 – 16,11

На основании приемочных испытаний тумб из блоков БОПВ, проведенных в 11-й зап. лаве пл. l_4 в ОАО «Шахта Комсомолец Донбасса» в период с ноября 2015 по апрель 2016 года, были окончательно уточнены как конструктивные параметры блоков (диаметром не более 600 мм, высотой от 100 до 200 мм), так и подтверждена высокая несущая способность тумб из блоков БОПВ (не менее 3000 кН). Согласно экспериментальному паспорту выемочного участка 11-й зап. лавы пл. l_4 тумбы из блоков БОПВ были расположены за двухрядным деревянным органом рядом со стороны выработанного пространства в направлении выработки в виде 2-х рядов, прилегающих друг к другу, а блоки в тумбах были скреплены провололочной стяжкой, благодаря чему блоки БОПВ превращались в составные части тумб. При этом тумбы из блоков БОПВ в указанном расположении представляли собой охранные полосы участками не менее 10 м, между которыми для газоотвода из выработанного пространства оставались «окна». Для

обеспечения вентиляции в охраняемой подготовительной выработке по бровке последней выкладывалась чураковая перемычка на глиняной основе.

На основании положительных результатов приемочных испытаний тумб из блоков БОПВ ГУ «Донуги» была скорректирована конструкторская документация и разработано ИЗВЕЩЕНИЕ БОПВ.01-2016 об изменении технических условий ТУ У 25.1-00185790-108:2012.

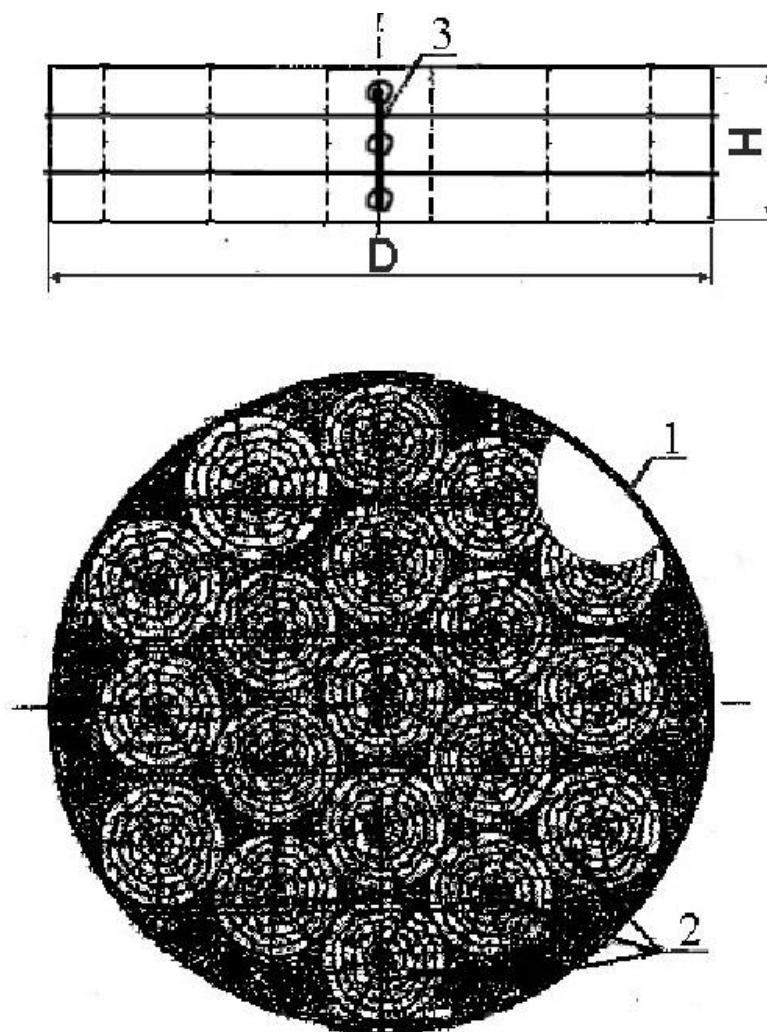


Рис. 1. Опорная тумба из блоков БОПВ:

1 – обруч стяжной, 2 – стойки деревянные, 3 – глиняный наполнитель

Кроме ИЗВЕЩЕНИЯ БОПВ.01-2016 ГУ «Донуги» на базе исследований [6, 7] была разработана специальная методика расчета несущей способности тумб из опорных блоков БОПВ, в основу которой положен расчет несущей способности сжатых стоек по коэффициенту снижения допус-

каемых напряжений. В результате этого получена окончательная формула проверки несущей способности тумб ($P_{н.т.}$, кН):

$$P_{н.т.} = 0,785 \cdot D^2 \cdot K_3 \cdot [200 - 7,76 \cdot l_T / D \cdot (K_3)^{0,5}], \quad (1)$$

где D – диаметр тумбы, состоящей из блоков БОПВ, см;

K_3 – коэффициент заполнения блока обрезками рудничных стоек, равный 0,66 – экспериментально установленная величина в ходе изготовления в условиях ОАО «Шахта «Комсомолец Донбасса» при проведении приемочных испытаний рассматриваемых тумб;

l_T – высота тумбы, равная мощности пласта, см.

Расчетами по формуле (1) для тумб из блоков БОПВ диаметром 60 см подтверждена высокая достоверность полученных результатов, расхождение между расчетными и экспериментальными величинами, полученными в лабораторных условиях ГУ «Донуги», – не более 9,8% (3433 кН против экспериментальных 3806 кН).

В соответствии с методологией нормативного документа [4] и исследований [6, 7] была разработана методика расчета несущей способности металлических костров на базе отработанных спецпрофилей СВП из погашаемых выработок. Указанные костры возводятся в соответствии с рекомендациями нормативного документа [8], а методика расчета их несущей способности на основании исследований [6, 7] сводится к следующему:

– радиус инерции поперечного сечения сопряженных друг с другом (наложенных друг на друга) отрезков из спецпрофиля СВП в костре (i , см) определяют по формуле:

$$i = (I_{\Sigma} / F_{\Sigma})^{0,5}, \quad (2)$$

где I_{Σ} – момент инерции сопряженных профилей в «нахлестке» костра, см⁴;

F_{Σ} – площадь сечений сопряженных профилей в «нахлестке» костра, см².

В табл. 2 исследований [9] приведены основные параметры спецпрофилей металлических рамных крепей, применяемых на шахтах Донбасса.

$I_{\Sigma, СВП}$ определяют в соответствии с исследованиями [6, 7] по формуле:

$$I_{\Sigma, СВП} = I_x + h^2 \cdot F, \quad (3)$$

где h – высота спецпрофиля, см.

Таблица 2

Основные параметры спецпрофилей металлических рамных крепей,
применяемых на шахтах Донбасса

Профиль	Площадь поперечного сечения F , см^2	Масса 1 м, кг	Момент инерции поперечного сечения спецпрофиля относительно оси X I_x , см^4	Момент сопротивления поперечного сечения спецпрофиля относительно оси X W_x , см^3	Пластический момент сопротивления поперечного сечения спецпрофиля относительно оси X $W_{x,пл}$, см^3	Момент инерции поперечного сечения спецпрофиля относительно оси Y I_y , см^4	Момент сопротивления поперечного сечения спецпрофиля относительно оси Y W_y , см^3
СВП17	21,73	17,1	243	50	69	382	58
КГВ18	23,46	18,42	359	64	85	396	58
СВП19	24,44	19,20	322	61	83	464	67
КГВ21	27,01	21,20	464	78	102	511	72
СВП22	27,91	21,90	429	75	99	566	78
КГВ26	32,86	25,79	674	102	138	775	98
СВП27	34,37	27,00	646	100	137	732	98
КГВ32	40,16	31,52	1038	143	190	1200	145
СВП33	42,53	33,39	1000	139	190	1230	148

Гибкость (λ) «нахлестки» концов спецпрофиля в костре определяют по формуле:

$$\lambda = \mu \cdot t / i, \quad (4)$$

где μ – коэффициент «заделки» сжимаемых стержней: $\mu = 0,5$ (для жестко «заделанных» концов стержня), $\mu = 0,7$ (для одного из шарнирно опертого конца стержня), $\mu = 1,0$ (для шарнирно опертых концов сжимаемого стержня),

$\mu = 2,0$ (для консольно закрепленного стержня);

t – мощность вынимаемого пласта (высота костра), м.

По найденной гибкости (λ) «нахлестки» концов спецпрофиля в костре (формула 4) по таблице 12 работы [7] определяют коэффициент снижения допустимых напряжений (φ) применительно к стали Ст5, из которой изготовлен спецпрофиль.

Несущую способность костра ($P_{н,т}$, кН) определяют по формуле:

$$P_{н,т} = 4 \cdot F \cdot [\sigma] \cdot \varphi, \quad (5)$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение, кГ/см^2 .

Ниже приведены примеры расчета несущей способности металлических костров из отрезков спецпрофилей СВП27 и СВП33.

Пример 1. Определить параметры костра высотой 1,65 м (мощность пласта l_6 в ОАО «Шахта им. А.Ф. Засядько») из спецпрофиля СВП27, в т.ч. его несущую способность:

– по формуле (3), используя данные табл. 2, определяют момент инерции сопряженных профилей в «нахлестке» костра (I_{Σ}):

$$I_{\Sigma, \text{СВП}} = 646 + 12,3^2 \cdot 34,37 = 5845,8373 \text{ см}^4;$$

– по формуле (2) определяют радиус инерции сопряженных профилей в «нахлестке» костра (i):

$$i = (I_{\Sigma} / F_{\Sigma})^{0,5} = [5845,8373 / (34,37+34,37)]^{0,5} = 9,2219898 \sim 9,23 \text{ см};$$

– по формуле (4) определяют гибкость «нахлестки» концов спецпрофиля в костре при коэффициенте «заделки» $\mu = 1,0$ (для шарнирно опертых концов сжимаемого стержня):

$$\lambda = \mu \cdot m / i = 1,0 \cdot 1,65 / 9,23 = 17,88 \sim 18.$$

По найденному значению λ в соответствии с таблицей 12 [7] для стали Ст5 коэффициент снижения допустимых напряжений (φ) составляет 0,95. Исходя из этого, несущая способность рассматриваемого металлического костра ($P_{н,т}$) из спецпрофиля СВП27 по формуле (5) составит:

$$P_{н,т} = 4 \cdot F \cdot [\sigma] \cdot \varphi = 4 \cdot (34,37+34,37) \cdot [2000] \cdot 0,95 = 522424 \text{ кг} = 522,424 \text{ Тс} = 5224,24 \text{ кН}.$$

Пример 2. Определить параметры костра высотой 1,65 м (мощность пласта l_6 в ОАО «Шахта им. А.Ф. Засядько») из спецпрофиля СВП33, в т.ч. его несущую способность:

– по формуле (3), используя данные табл. 2, определяют момент инерции сопряженных профилей в «нахлестке» костра (I_{Σ}):

$$I_{\Sigma, \text{СВП}} = 1000 + 13,7^2 \cdot 42,53 = 8982,4557 \text{ см}^4;$$

– по формуле (2) определяют радиус инерции сопряженных профилей в «нахлестке» костра (i):

$$i = (I_{\Sigma} / F_{\Sigma})^{0,5} = [8982,4557 / (42,53+42,53)]^{0,5} = 10,28 \text{ см};$$

– после этого по формуле (4) определяют гибкость «нахлестки» концов спецпрофиля в костре при коэффициенте «заделки» $\mu = 1,0$ (для шарнирно опертых концов сжимаемого стержня):

$$\lambda = \mu \cdot m / i = 1,0 \cdot 1,65 / 10,28 = 16,05 \sim 16.$$

Найденному значению λ в соответствии с таблицей 12 [7] для стали Ст5 коэффициент снижения допустимых напряжений (φ) составляет 0,95. Исходя из этого, несущая способность рассматриваемого металлического костра ($P_{н,т}$) из спецпрофиля СВП33 по формуле (5) составит:

$$P_{н,т} = 4 \cdot F \cdot [\sigma] \cdot \varphi = 4 \cdot (42,53+42,53) \cdot [2000] \cdot 0,95 = 668000 \text{ кГ} = 668 \text{ Тс} = 6680 \text{ кН}.$$

На основании изложенной методики и проведенных расчетов, очевидно, что несущая способность металлических костров из спецпрофилей типа СВП, выкладываемых в виде стандартных деревянных (четырёхугольных) костров, эквивалентна суммарной несущей способности четырех стоек, каждая из которых с геометрическими параметрами сечения ($I_{\Sigma, \text{СВП}}$) при высоте (длине), равной мощности пласта (m), располагаемых в «нахлестке» концов отрезков спецпрофилей СВП. При этом указанные «эквивалентные» стойки рассчитываются как сжатые стержни по коэффициенту снижения допускаемых напряжений [7].

ВЫВОДЫ

1. Исследованиями установлено, что для обеспечения безопасного и эффективного повторного использования выработок при отработке нижележащих выемочных столбов на высокогазоносных угольных пластах шахт в Донецко-Макеевском, Шахтерско-Торезском угольных регионах наиболее экономически оптимальными являются опорно-поддерживающие устройства кровли пластов у кромки выработанного пространства на базе вторсырья из материалов для крепления выработок (обрезков деревянных рудничных стоек и спецпрофилей СВП из погашаемых выработок). К таким устройствам относятся, разработанные ГУ «Донуги» и доведенные до широкомасштабного промышленного применения тумбы из опорных блоков БОПВ диаметром не менее 600 мм, высотой не менее 2,0 м, с несущей способностью не менее 3000 кН, а также научно обоснованные ГУ «Донуги» результаты практического применения металлических костров на базе отрезков спецпрофилей СВП в ОАО «Шахта им. А.Ф. Засядько» в части

разработки методики расчета их несущей способности;

2. При разработке конструкторской документации на тумбы из опорных блоков БОПВ, наряду с предварительным проведением лабораторных испытаний, возникла необходимость в разработке специальной методики расчета несущей способности тумб из опорных блоков (модулей), количество которых в тумбе варьируется в зависимости от изменяющейся мощности угольных пластов. В основу методики положен расчет сжатых стоек по коэффициенту снижения допускаемых напряжений.

3. В результате проведенных исследований ГУ «Донуги» впервые разработана уникальная методика расчета несущей способности, как тумб, так и металлических костров для угольной промышленности Донбасса. Моделированием нагрузок в горнотехнических и горно-геологических условиях поддержания повторно используемых выработок по пластам l_4 и m_3 установлено, что рассматриваемые металлические костры представляют собой «куст» из четырех стоек, с несущей способностью каждой из которых, например, для СВП27, равной 131Тс (1300 кН), а для СВП33 - 167,0 Тс (1670 кН). При этом рассматриваемые стойки – эквивалентны металлическим кострам и располагаются в 4-х «нахлестках» отрезков спецпрофиля в костре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов В.В. Эффективные средства и технологии поддержания выемочных подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях / В.В. Беликов // Уголь. – 2006. – № 7. – С. 19-21.

2. Извещение БОПВ.01-2015ПИ об изменении технических условий ТУ У 29.5-00185790-108:2011 Блоки БОПВ. – Донецк: Донуги, 2015. – 6 с.

3. Назимко В.В. О повторном использовании участков выработок, примыкающих к действующим лавам/ В.В. Назимко, Е.Н. Халимендилов, А. Б. Нечепоренко // Уголь Украины. – 2011. – №8. – С. 45-49.

4. Выемочные штреки, примыкающие к выработанному пространству и расположенные в зонах геологических нарушений. Технологические схемы поддержания: ОСТ-П 10.1.00185790.016:2016. – Донецк: Донуги, 2016. – 49 с.

5. Стойка однократного использования, предназначенная для поддержания кровли пласта у кромки выработанного пространства.–Глюкауф, 1991. – № 5/6.

6. Цимбаревич П.М. Рудничное крепление / П.М. Цимбаревич. – М. – Харьков; Углетехиздат, 1951. – 608 с.

7. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов / Феодосьев В. И. – М.: Физматгиз, 1963. – 539 с.

8. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35° : ОСТ-П 10.1-00185790-020:2016. – Донецк: Донуги, 2016. – 150 с.

9. Рамные крепи горных выработок (обзорная информация и справочные материалы). – Донецк: ДонУГИ, 1992. – 34 с.

Получено: 19.04.17

The design features of mine openings support facilities on the side of mined-out area on basis of recyclable materials from timber are set out. For the purpose of their safe and efficient use the methods for calculation of load-carrying capacity of both stands composed of wooden units and steel chock are developed for the first time in scientific practice, which allow optimization of their density by developing the chart of a working area.

Keywords: development workings support, supporting devices, recyclable material from road lining, load-bearing strength, stand, steel chocks.