

УДК 622.28

Кладко Владимир Иванович

аспирант,
Донбасский государственный технический
институт ДонГТИ,
г. Алчевск,
заместитель директора по производству
ПП «Шахтоуправление Краснодонское»
94407, Луганская Народная Республика,
г. Краснодон, ул. Комсомольская, 5
e-mail: Vladimir.Kladko@krasnodoncoal.com

**ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ
ИСПЫТАНИЯ ПОДАТЛИВОЙ
ТРУБОБЕТОННОЙ СТОЙКИ (СПТБ)***Аннотация:*

Рассмотрена стойка как основной элемент крепи горных выработок. Описаны основные особенности конструкций и недостатков шахтных стоек, обоснованы основные технические критерии при их конструировании. Предложена новая конструкция податливой шахтной стойки трения с применением прогрессивного в строительстве трубобетона. Сформулированы главные параметры новой шахтной стойки, область применения и оценка эффективности предложенной стойки.

Ключевые слова: подготовительные выработки, крепление, шахтная стойка, трубобетон, критерии эффективности, конструкция, узел податливости, предварительный распор, параметры стойки.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.01.055

Kladko Vladimir I.

postgraduate student,
Donbass State Technical Institute DonGTI,
Alchevsk city,
deputy director for production
of PP "Mine Administration Krasnodonskoe",
Lugansk People's Republic,
94407 Krasnodon, 5 Komsomolskaya Str.
e-mail: Vladimir.Kladko@krasnodoncoal.com

**PILOT AND INDUSTRIAL TESTS
OF THE PLIABLE PIPE-CONCRETE
RACK (PPCR)***Abstract:*

The article considers the rack as the main element of the lining of mine workings. The main design features and shortcomings of mine racks are described, the main technical criteria for their design are substantiated. A new design of a pliable shaft friction rack with the use of pipe concrete, which is progressive in construction, is proposed. The main parameters of the new mine rack, the scope of application and the evaluation of effectiveness of the proposed rack are formulated.

Key words: development workings, fastening, mine rack, pipe concrete, efficiency criteria, design, compliance unit, pre-expansion, rack parameters.

Актуальность и цель исследований

Конструкции крепи выработок прошли длительный путь развития и совершенствования. От простейшей исходной крепи в виде стойки шло постоянное увеличение многообразия их типов и усложнение конструкций [1].

Стойка являет собой исторически первую крепь – самую простую и доступную (рис. 1). Постепенно, путем усложнения, стойка получила развитие, обеспечивая безопасность горных работ.



Рис. 1. Крепление горных выработок деревянными стойками

Область применения шахтных стоек весьма обширна: их используют как временные и постоянные элементы крепи при сооружении капитальных и подготовительных горных выработок, в очистных выработках и на сопряжениях лавы, а также как крепь усиления для поддержания, охраны подготовительных горных выработок в зонах временного и неустановившегося опорного давления вблизи лавы. Этим обусловлен такой спрос на различные типы шахтных стоек [2, 3].

Конструкции шахтных стоек в настоящее время сохраняют традиционные решения, в их развитии наблюдается определенный застой. Многообразие конструкций свидетельствует об отсутствии оптимального устройства (стойки). Этим обусловлен непрекращающийся конструкторский поиск, проблема разработки новых конструкций стоек крепи для подготовительных горных выработок остается актуальной [3].

Цель исследования – опытно-промышленные испытания податливой трубобетонной стойки (СПТБ).

Идея работы состоит в промышленной проверке новой конструкции раздвижной шахтной стойки, снабженной усиленным узлом податливости и распорным устройством [1].

Объектом исследования является шахтная стойка СПТБ, предмет исследований – ее технико-экономические показатели в шахтных условиях.

Основные технические требования к стойке

Основные требования к стойкам обусловлены условиями деформационно-силового взаимодействия с массивом горных пород и предопределяются их контактным взаимодействием с породами.

Силовое взаимодействие требует

- высокой грузонесущей способности;
- рабочего сопротивления крепи не ниже 70...80 % от предельного;
- максимального значения предварительного распора;
- быстрого набора рабочего сопротивления при нагрузке;
- простоты разгрузки крепи от давления при ее извлечении;
- возможности контроля усилий в крепи и управления ими.

Для деформационного взаимодействия с массивом стойки нужно

- обеспечивать максимально возможную раздвижность при установке;
- иметь плавную, без рывков и ударов, податливость;
- сохранять продольную устойчивость сжатых элементов;
- не деформировать (сминать или раздавливать) породы на контакте с опорами.

Основным направлением повышения работоспособности шахтных стоек является улучшение их силового критерия, что требует пересмотра их конструкций. Особенно это касается узлов податливости, рабочее сопротивление которых намного ниже несущей способности главных элементов стоек.

Особенности конструкции и порядок установки новой шахтной стойки

С учетом сформулированных требований была разработана конструкция новой стойки трения – стойка податливая трубобетонная (СПТБ). Стойка СПТБ по конструкции относится к раздвижным податливым стойкам, работающим по принципу трения, а по рабочей характеристике – к стойкам постоянного сопротивления.

Особенности новой конструкции крепи заключаются в следующем:

- поперечный профиль стойки выполнен из стандартных круглых труб;
- наличие простого и надежного устройства предварительного распора;
- податливость стойки равна ее максимальной раздвижности;
- увеличено число поверхностей трения в узле податливости;
- удобный и быстрый монтаж-демонтаж;
- возможно многократно использовать.

Стойка СПТБ (рис. 2) состоит из корпуса 2, штока (выдвижной части) 1, узла податливости (замка) 3-8.

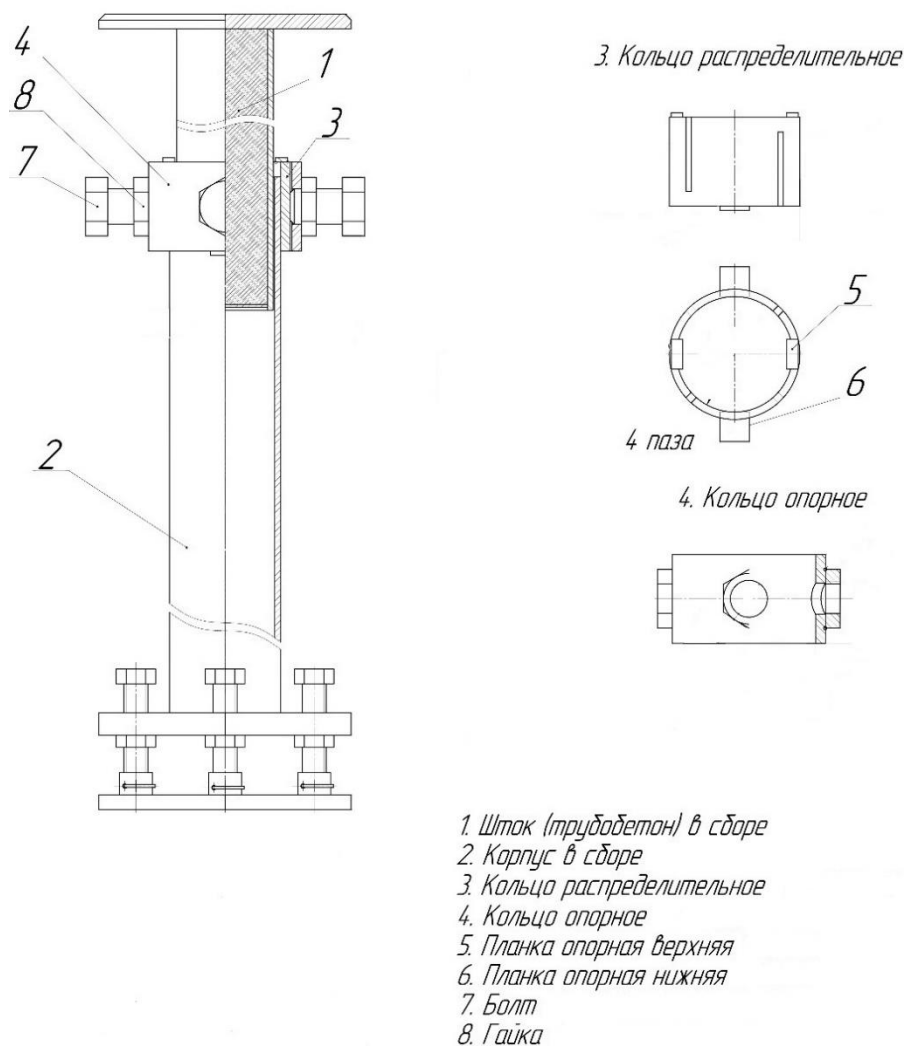


Рис. 2. Конструкция стойки СПТБ

Порядок установки стойки СПТБ:

1. Стойку СПТБ доставляют к месту возведения в собранном виде:
 - шток 1 полностью введен в корпус 2,
 - болты узла податливости 7 поджаты для фиксации штока 1 в корпусе 2;
 - распорные болты на нижней двойной опоре в верхнем положении (плиты поджать друг к другу).

2. Нижнюю опору при монтаже установить на деревянную плашку размером 200×200×30.

3. Шток 1 поднимают до упора его верхней опоры через такую же деревянную доску в кровлю.

4. Шток 1 фиксируют узлом податливости в корпусе диагонально симметричной затяжкой зажимных болтов с помощью переносного ударного гайковерта, снабженного ограничителями крутящего момента до 65 Нм.

5. Производят предварительный распор стойки путем диагонально-симметричного закручивания распорных болтов на нижней опоре вплоть до момента начала подвижки штока в корпусе стойки (рис. 3).

Время установки и демонтажа стойки составляет до 5 мин.

Принцип работы стойки СПТБ.

При нагрузке на стойку со стороны пород шток 1 удерживается силами трения, возникающими в результате зажатия распределительного кольца 3 в верхней части трубы корпуса 2 симметрично размещенными силовыми болтами 7, взаимодействующими с опорным кольцом 4. Пока нагрузка на стойку не превышает ее рабочее сопротивление, заданное силовыми болтами 7, стойка работает в упругом режиме.

Как только нагрузка окажется равной рабочему сопротивлению стойки, начинается ее работа в податливом режиме путем проскальзывания штока 1 относительно верхней части корпуса 2 в узле податливости 3 - 8 с преодолением сил сопротивления трения.

Сдвигение стойки происходит при постоянном рабочем сопротивлении на всем пути запаса податливости, длина которого может достигать почти половины высоты стойки.

Устройство предварительного распора стойки представлено на рис. 3 и состоит из двух стальных опор верхней и нижней квадратной формы и четырех распорных болтов, закрепленных на нижней плите опоры стойки в приваренных к ней бонках. Крепление выполнено с помощью внецентренных шплинтов, вставленных в отверстия в бонках и входящих в кольцевую проточку на конце каждого распорного болта. Применяются стандартные шплинты. Данное устройство позволяет регулировать длину стойки при ее установке и создать предварительный распор, близкий к рабочему сопротивлению стойки. Тем самым стойка уже в момент монтажа будет обладать предварительным распором, равным расчетному рабочему сопротивлению, что наиболее эффективно с позиций управления горным давлением.

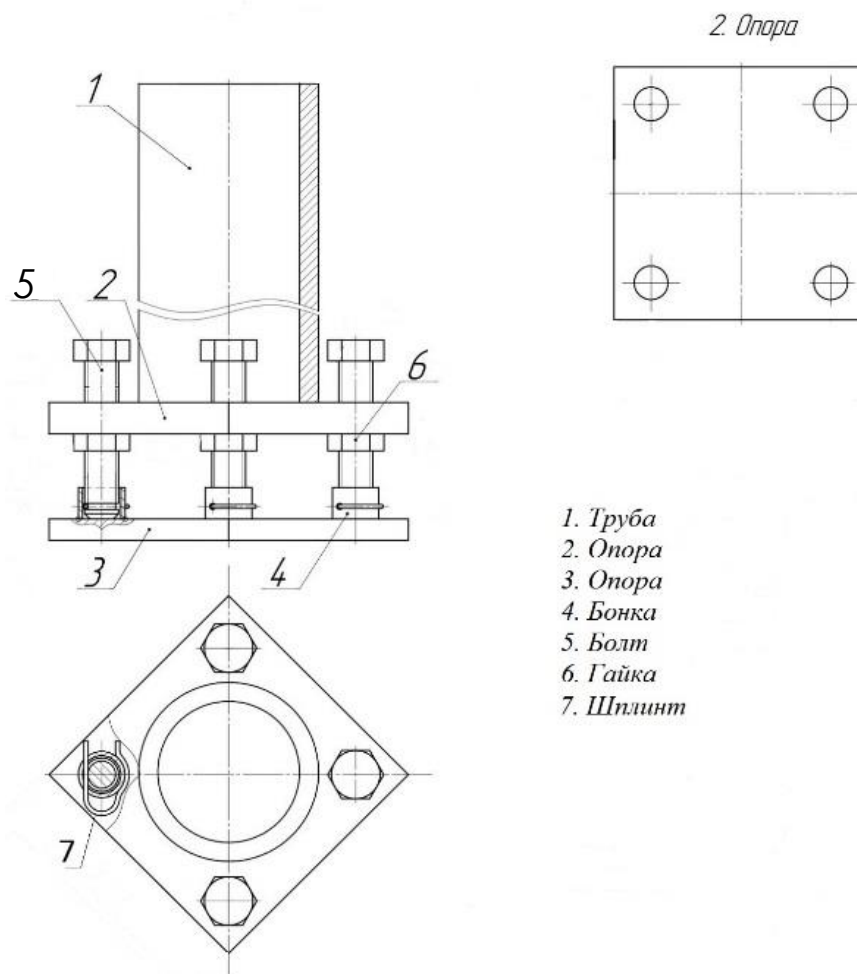


Рис. 3. Устройство предварительного распора стойки СПТБ

Стойки устанавливаются под металлические верхняки, деревянные распилы или штрипсы с затяжкой перпендикулярно плоскостям напластования, для чего они снабжаются соответствующими верхними опорами. Нижнюю опору стойки помещают на почву, очищенную от земника, кусков угля и породы на деревянную подкладку (демпфирующее устройство).

Используя данные [1, 2], определим показатели технико-экономической эффективности стойки:

- силовой критерий эффективности:

$$K_F = \frac{\gamma \cdot N_c \cdot 100 \%}{[\sigma] \cdot M_c} = \frac{7,85 \cdot 35}{23,5 \cdot 10^3 \cdot 0,05} 100 \% = 23,6 \% , \quad (1)$$

- деформационный критерий эффективности:

$$K_D = \frac{2 \cdot U \cdot 100 \% \cdot 2 \cdot 1 \cdot 100 \%}{L \cdot 3} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 100 \% \cdot 2 \cdot 1 \cdot 100 \%}{3} = 66,7 \% \quad (2)$$

- критерий работоспособности:

$$K_W = \frac{K_F \cdot K_D}{100 \%} = \frac{23,6 \cdot 66,7}{100 \%} = 15,8 \% \quad (3)$$

где $U=1$ м – конструктивная податливость стойки;

$L=3,0$ м – длина стойки;

$\gamma = 7,87$ – плотность стали, т/м³;

$[\sigma]=23500$ – расчетное сопротивление проката из стали С235, т/м²;

$N_c=35,0$ – рабочее сопротивление стойки, т;

$M_c=0,05$ – масса стойки, т.

Сравнивая полученные показатели новой трубобетонной стойки трения с соответствующими показателями существующих стоек трения, можно видеть, что стойка СПТБ находится среди лучших показателей. Это доказывает перспективность использования предложенной стойки взамен существующих.

Затраты на изготовление новой стойки СПТБ в условиях ПП «Краснодонский ремонтно-механический завод» укрупненно показаны в табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица затрат на изготовление стойки СПТБ

№ п/п	Статьи затрат по номенклатуре, установленной для соответствующих отраслей промышленности	Себестоимость, руб
1	Материалы	6 037,69
2	Возвратные отходы (вычитаются)	1,83
	Итого затрат на материалы	6 035,85
3	Оплата труда	929,88
3.1.	Основная заработная плата	573,47
3.2.	Дополнительная заработная плата	235,12
3.3.	Отчисления на соцстрах	121,29
4	Накладные расходы	1 496,75
	Итого заводская себестоимость	8 462,48

Условия испытаний стойки СПТБ на шахте «Самсоновская-Западная»

По причине давно назревшей необходимости отказа от морально устаревших и низкоэффективных арочных рамных крепей из профиля СВП предлагается переход к стоечно-анкерным комбинированным конструкциям крепи с прямоугольными или полигональными формами горных выработок [4].

Планируется проведение шахтных испытаний описанной выше стойки СПТБ в вентиляционной сбойке № 1 гор. 1180 м пласта k_2^H шахты «Самсоновская-Западная» (рис. 4, 5).

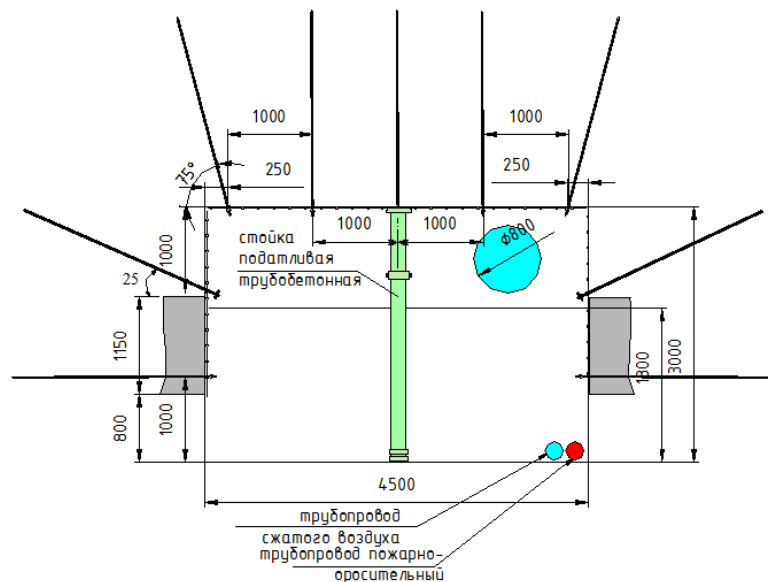


Рис. 4. Сечение вентиляционной сбойки № 1 в 20 – 25 м от забоя при установке стоек СПТБ

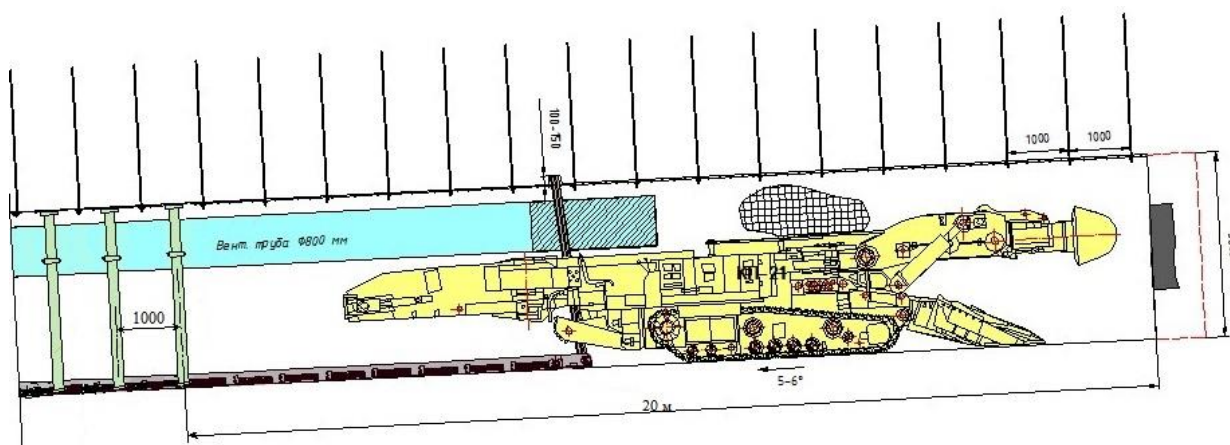


Рис. 5. Продольный разрез вентиляционной сбойки № 1 с установкой комбинированной стоечно-анкерной крепи

В соответствии с расчетом параметров крепи проектный шаг установки анкерной крепи в кровле при проходке 1 м, в ряду 9 анкеров: 5 – в кровлю (три центральных под углом 90° , два крайних под наклоном 75°), по 2 анкера в левый и в правый бока выработки, верхний – под углом $20 - 25^\circ$, нижний – горизонтальный. Шаг рядов анкерной крепи принят 1 м. Пространство между рядами анкеров затягивается сеткой-затяжкой размерами $1,0 \times 2,0$ м. При смещениях пород $U_M = 300$ мм для исключения перегрузок

анкерной крепи с частичным закреплением необходимы податливые или демпфирующие элементы до 35 мм.

Стойки СПТБ устанавливаются в соответствии с порядком, описанным в разделе 3, через 1 м между анкерными рядами на одинаковом расстоянии от них с отставанием от груди забоя подготовительной выработки не более 20 м, обеспечивающем работу комбайна. На верхнюю и под нижнюю опоры подкладываются демпфирующие опоры (отрезки доски толщиной 30 мм квадратной формы со сторонами 200 – 300 мм).

На шахте ранее были проведены выработки в подобных горно-геологических условиях, в которых для поддержания паспортного сечения приходилось вести работы по подрывке пород почвы. Поэтому стойки СПТБ выполняют еще одну важную функцию по предотвращению пучения пород почвы.

Ожидаемый эффект применения комбинированной анкерной крепи позволит эксплуатировать выработку весь срок ее службы без дополнительных работ по ее ремонту и восстановлению сечения и значительно снизить затраты на поддержание выработки в паспортном состоянии.

Важным аспектом является снижение стоимости крепежных материалов, необходимых для проведения 1 м выработки по сравнению с применением арочной крепи КМП-А3/13,3 (такого же сечения) с шагом установки крепи 0,8 м (плотностью – 1,25 рам на метр). При использовании стоечно-анкерной комбинированной конструкции крепи затраты составляют 21880 руб на 1 м. При использовании рамной крепи КМП-А3/13,3 с крепью усиления из деревянных стоек соответствующие затраты составили 35250 руб на 1 м, то есть на 38 % дороже.

Кроме того, важно учесть затраты на поддержание выработки в паспортном состоянии, при использовании рамной арочной крепи. Из имеющегося на шахте опыта, затраты на поддержание составили 4195 руб на 1 м при высоте подрывки 0,9 м, ширине 4,5 м (подрывку производит горнорабочий по ремонту горных выработок отбойным молотком). Общие затраты на материалы при проведении и поддержании при эксплуатации выработки составят, соответственно, 21880 руб и 39445 руб на 1 м (на 80 % дороже), что показывает не только конструктивную, но и финансовую целесообразность данного исследования.

Выводы

1. Были выявлены основные недостатки шахтных стоек и показана необходимость их замены на более прогрессивные типы.
2. Разработана новая конструкция шахтной трубобетонной стойки (СПТБ) с узлом податливости трения высокого постоянного сопротивления, компактным и конструктивно простым устройством предварительного распора стойки до уровня ее рабочего сопротивления. Полученные показатели технической эффективности новой трубобетонной стойки трения значительно превосходят соответствующие показатели существующих стоек трения и гидравлических стоек (по силовому критерию и показателю работоспособности).
3. Новая стойка обладает наиболее широкой областью применения для крепления, поддержания и охраны подготовительных горных выработок. СПТБ может служить базовой конструкцией при разработке комбинированной стоечно-анкерной крепи горных выработок.
4. Задачи дальнейших исследований состоят в проведении шахтных испытаний, выпуске опытно-промышленной партии стоек, разработке их параметрического ряда и ТУ по изготовлению и применению с последующим авторским сопровождением промышленного внедрения стоек СПТБ и комбинированной стоечно-анкерной крепи в подготовительных горных выработках различного назначения.

Список литературы

1. Литвинский Г.Г., 2019. Горная крепь – эволюция развития и критерии технической эффективности. *Сборник научных трудов ДонГТУ*. Алчевск: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», № 58, С. 5 – 19.
2. Литвинский Г.Г., 2019. Шахтная трубобетонная стойка (СТБ). *Сборник научных трудов ДонГТУ*. Алчевск: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», № 60, С. 5 – 16.
3. Каретников В.Н., Клейменов В.П., Нуждихин А.Г., 1989. *Крепление капитальных и подготовительных горных выработок. Справочник*. Москва: Недра, 571 с.
4. Булат А.Ф., Виноградов В.В., 2002. *Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Ин-т геотехнической механики НАН Украины Центр анкерного крепления*. Днепропетровск, С. 372.
5. Смирнов А.В., 2018. *Геомеханическое обоснование безопасной технологии подземной добычи угля в неустойчивых вмещающих породах. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова*. Шахты, С. 349.
6. Arthur J., 2002. Support of Coal Mines in the United Kingdom. *Proceedings of the 21 International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, WV, P. 161 – 168.
7. British standard 7861, Strata reinforcement support system components used in coal mines: Part 2: 2009. *Specification for flexible systems for roof reinforcement* / British Standards Institution. London, 2009, 56 p.
8. Sdvyzhkova, Babets D., Kravchenko K., O. Smirnov A., 2015. Rock state assessment at initial stage of longwall mining interms of poor rocks of Western Donbass. *Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining (A Balkema book)*. D.: Litograf, p. 65 – 71.
9. Смирнов А.В., Аверин А.П., 2017. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12, С. 28 – 36. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-28-36.
10. Шашенко А.Н., Смирнов А.В., Хозяйкина Н.В., 2017. Оценка начального поля напряжений при проектировании подземных выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12, С. 37 – 49. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-37-49.

References

1. Litvinskii G.G., 2019. Gornaya krep' – evolyutsiya razvitiya i kriterii tekhnicheskoi effektivnosti [Mountain support – evolution of development and criteria of technical efficiency]. *Sbornik nauchnykh trudov DonGTU*. Alchevsk: GOU VPO LNR "DonG-TU", № 58, P. 5 – 19.
2. Litvinskii G.G., 2019. Shakhtnaya trubobetonnyaya stoika (STB) [Shaft pipe concrete rack (STB)]. *Sbornik nauchnykh trudov DonGTU*. Alchevsk: GOU VPO LNR "DonG-TU", № 60, P. 5 – 16.
3. Karetnikov V.N., Kleimenov V.P., Nuzhdikhin A.G., 1989. Kreplenie kapital'nykh i podgotovitel'nykh gornykh vyrabotok [Fastening of capital and preparatory mine workings. Guidelines]. *Spravochnik*. Moscow: Nedra, 571 p.
4. Bulat A.F., Vinogradov V.V., 2002. Oporno-ankernoe kreplenie gornykh vyrabotok ugol'nykh shakht [Support-anchor fastening of mining workings of coal mines]. *In-t geotekhnicheskoi mekhaniki NAN Ukrainy Tsentр ankernogo krepleniya*. Dnepropetrovsk, P. 372.
5. Smirnov A.V., 2018. Geomekhanicheskoe obosnovanie bezopasnoi tekhnologii podzemnoi dobychi uglya v neustoichivykh vmeshchayushchikh porodakh [Geomechanical substantiation of the safe technology of underground coal mining in unstable host rocks]. *Yuzhno-Rossiiskii gosudarstvennyi politekhnicheskii universitet (NPI) im. M.I. Platova*. Shakhty, P. 349.

6. Arthur J., 2002. Support of Coal Mines in the United Kingdom. *Proceedings of the 21 International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, WV*, P. 161 – 168.

7. British standard 7861, Strata reinforcement support system components used in coal mines: Part 2: 2009. *Specification for flexible systems for roof reinforcement* / British Standards Institution. London, 2009, 56 p.

8. Sdvyzhkova, Babets D., Kravchenko K., O. Smirnov A., 2015. Rock state assessment at initial stage of longwall mining interms of poor rocks of Western Donbass. *Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining* (A Balkema book). D.: Litograf, p. 65 – 71.

9. Smirnov A.V., Averin A.P., 2017. Obespechenie ustoichivosti podgotovitel'nykh vyrabotok v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh [Ensuring the stability of preparatory workings in difficult mining and geological conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12, P. 28 – 36. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-28-36.

10. Shashenko A.N., Smirnov A.V., Khoziaikina N.V., 2017. Otsenka nachal'nogo polya napryazhenii pri proektirovanii podzemnykh vyrabotok [Evaluation of the initial stress field during design of underground workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12, P. 37 – 49. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-37-49.