ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(10):35-43

УДК 622.281.74.001.2 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-35-43

ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АНКЕРНЫХ КРЕПЕЙ ФРИКЦИОННОГО ТИПА

А.А. Зубков[1], В.Н. Калмыков[2], И.М. Кутлубаев[2], М.С. Найденова[2]

[1] ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия
[2] Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия, e-mail: ptmr74@mail.ru

Аннотация: В настоящее время наметилась тенденция к переходу на прогрессивные технологии крепления горных выработок [1—2]. Это обусловлено появлением новых конструкций анкерных крепей, в первую очередь, фрикционного типа [3—7]. Данный тип крепи обеспечивает: сокращение времени установки до нескольких минут, способность нагружаться сразу после установки, экономичность. Как показывает зарубежный опыт, перспективным является их использование для крепления выработок на месторождениях, склонных к горным ударам [8—9], а также при реализации комбинированных геотехнологий [10]. Активно исследуются различные конструктивные варианты, в частности, с полимерным покрытием [11—12]. Функционирование фрикционной анкерной крепи определяется способностью выдерживать заданные нагрузки всеми ее составляющими и их конструктивными элементами. При этом несущую способность фрикционной анкерной крепи следует определять как наименьшее из трех параметров, определяющих нагрузочную способность: стержня, опорной плиты, упора, выполняемого на стержне анкера. Определение численных значений параметров выполняется расчетным способом или экспериментально. В результате проведенных исследований установлено, что лимитирующим фактором является несущая способность упора. В связи с этим при выборе фрикционных анкерных крепей следует в первую очередь обращать внимание именно на этот параметр. Фактическая нагрузочная способность упора определяется его конструкцией и качеством выполнения сварного шва. Наиболее стабильный, прочный шов формируется при соединении упора со стержнем автоматической и полуавтоматической дуговой сваркой. Увеличение допускаемой нагрузки на упор может быть обеспеченно за счет реализации комбинированного варианта. В этом случае частичная разгрузка сварного шва достигается специальной конструкцией хвостовой части стержня анкера.

Ключевые слова: фрикционный анкер, опорный узел, несущая способность, сварной шов, эксперимент, опорная плита, допускаемое усилие.

Для цитирования: *Зубков А. А., Калмыков В. Н., Кутлубаев И. М., Найденова М. С.* Обоснование характеристик анкерных крепей фрикционного типа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 35–43. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-35-43.

Validation of friction-anchored rock bolt characteristics

A.A. Zubkov[1], V.N. Kalmykov[2], I.M. Kutlubaev[2], M.S. Naydenova[2]

[1] JSC UralEnergoResurs, Magnitogorsk Russia
[2] G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia e-mail: ptmr74@mail.ru

Abstract: There is a trend toward advanced rock bolting technologies these days [1, 2] owing to novel rock bolt types, for the first turn, friction-anchored rock bolts [3–7]. Rock bolts of this type ensure:

© А.А. Зубков, В.Н. Калмыков, И.М. Кутлубаев, М.С. Найденова. 2019.

installation time of a few minutes, taking of load immediately after installation and economic efficiency. As international practice shows, it is promising to use friction-anchored rock bolts as reinforcement in rockburst-hazardous mines [8, 9] and as a part of hybrid technologies [10]. Various structural alternatives are extensively studied, for instance, polymer coating [11, 12]. Performance of friction-anchored rock bolting is governed by its ability to withstand loads by all components and their elements. The load-bearing capacity of a friction-anchored rock bolt should be determined as the least load-carrying capacity of the shaft, plate and nut. Numerical values of these load-carrying capacities are either calculated or found experimentally. The research shows that the limiting factor is the load-carrying capacity of the nut. Thus, this is the parameter of the top concern in selection of friction-anchored rock bolts. The actual load-carrying capacity of the nut is governed by its structure and weld quality. The most stable and strongest weld is when the nut and the shaft are connected by automatic or semiautomatic arc welding. It is possible to increase allowable loading of the nut by using a compound variant. In this case, the partial unloading of the weld is achieved through special design of the tailpiece of the anchor shaft.

Key words: friction-anchored rock bolt, mounting group, load-carrying capacity, weld, experiment, face plate, allowable force.

For citation: Zubkov A. A., Kalmykov V. N., Kutlubaev I. M., Naydenova M. S. Validation of friction-anchored rock bolt characteristics. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):35-43. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-35-43.

Введение

Анкеры с фрикционным способом закрепления типа Split Set широко используются для крепления горных выработок, начиная с 1978 г. (рис. 1, *а*). Мировой и отечественный опыт их применения показал перспективность этого экономичного и современного способа крепления [7, 13—15]. В РФ первыми промышленное производство и практическое использование было освоено ООО «УралЭнергоРесурс». В 2008 г. была закреплена выработка в шахте Учалинского ГОКа с использованием анкерной крепи, реализующей технические решения по патенту № 95029 (рис. 1, *б*) [16].

С введением 01.06.2016 изменений № 1 в ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные. Общие технические условия» применение крепей с фрикционным закреплением получило законный характер. В частности, в п. 5.1.5а определены технические требования. При этом основным из них является несущая способность крепи $P_{на}$, определенная для скальных пород не менее 50 кН. Фактическая величина $P_{на}$ может быть существенно больше. На российском рынке представ-

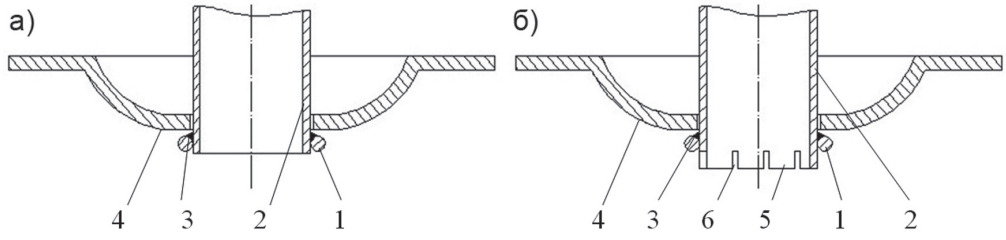

Рис. 1. Анкерные крепи с фрикционным способом закрепления: конструктивное решение в соответствии с патентом US № 4126004 (а); конструктивное решение в соответствии с ПМ № 95029 (б); 1 — опорное кольцо, 2 — стержень, 3 — сварной шов, 4 — опорная плита, 5 — секторы, 6 — технологический паз

Fig. 1. Friction bolting anchor supports: a—structural solution in accordance with US No 4126004 patent; b—structural solution in accordance with UM No 95029 patent; 1 — support ring, 2 — rod, 3 — weld, 4 — base plate, 5 — sectors, 6 — technological groove

лены крепи отечественных и зарубежных предприятий. При этом число российских производителей анкерной крепи постоянно возрастает. Данное обстоятельство является, несомненно, положительным аспектом, поскольку позволяет потребителям оптимизировать свои затраты. При выборе изготовителя крепи определяющим фактором следует считать обоснованность заявляемых характеристик. Применительно к комбинированным крепям работоспособность определяется не только нагрузочной способностью стержня анкера, но и прочностными параметрами опорного узла и плиты.

Оценка влияния факторов, определяющих работоспособность фрикционного анкера

При составлении паспорта крепления подземной выработки следует основываться на значении несущей способности крепи, определяемой конструкционными параметрами конструктивных элементов и характеристиками сталей.

Несущая способности крепи $P_{на}$ есть наименьшее из двух значений

$$P_{на} = \min(F_{сд}, P_{ка}),$$

где $F_{сд}$ — сопротивление сдвигу анкера в шпуре, кН; $P_{ка}$ — способность конструктивных элементов воспринимать нагрузку, кН.

Наименьшая величина сопротивления анкера сдвигу в шпуре равна суммарной силе трения на поверхности контакта

$$F_{сд} = F_{тр}. \quad (1)$$

Сила трения определяется состоянием поверхности шпура и величиной распределенного давления. При этом соотношение (1) соблюдается на начальном этапе нагружения крепи. В последующем за счет поперечного смещения пород относительно оси шпура значение $F_{сд}$ увеличивается.

Нагрузочная способность конструктивных элементов определяется как минимальная из трех составляющих

$$P_{ка} = \min(P_{пл}, P_{ст}, P_{уп}), \quad (2)$$

где $P_{пл}$ — нагрузочная способность опорной плиты; $P_{ст}$ — нагрузочная способность стержня анкера; $P_{уп}$ — нагрузочная способность упора.

ГОСТ 31559-2012 регламентирует толщину опорной плиты не менее 4 мм (п. 5.1.5а.8). Форма опорной плиты стандартом не определена. Основной вариант, используемый на практике, имеет выступающую часть, выполненную в форме части сферической поверхности (см. рис. 1). Нагрузочная способность опорной плиты, как правило, определяется опытным путем [17]. Для оценки влияния геометрических параметров на нагрузочную способность были проведены экспериментальные исследования. Варьировались размеры опорной поверхности и высота сферической части H.

Установлено, что изменение размеров плоской части от 150×150 до 200×200 не влияет на нагрузочную способность.

Для определения влияния высоты были исследованы три варианта высоты H: 24 мм, 28 мм, 34 мм. Размеры диаметров по поверхности сопряжения сферической и плоской поверхностей различались не значительно и составляли 125±2 мм.

Установленные зависимости усилия ведущей к потере формы сферической части представлены на рис. 2.

Величину $P_{пл}$ следует принимать равной силе, соответствующей начальной фазе потери формы сферической поверхности. При H = 34 мм предельная нагрузочная способность опорной плиты составляет $P_{пл}$ = 102 кН.

Увеличение высоты H более 34 мм нецелесообразно, т.к. сопряжено с искажением геометрии опорной части, обусловленной глубокой вытяжкой. При необходимости получения больших значений $P_{пл}$ следует использовать плиту с большей толщиной.

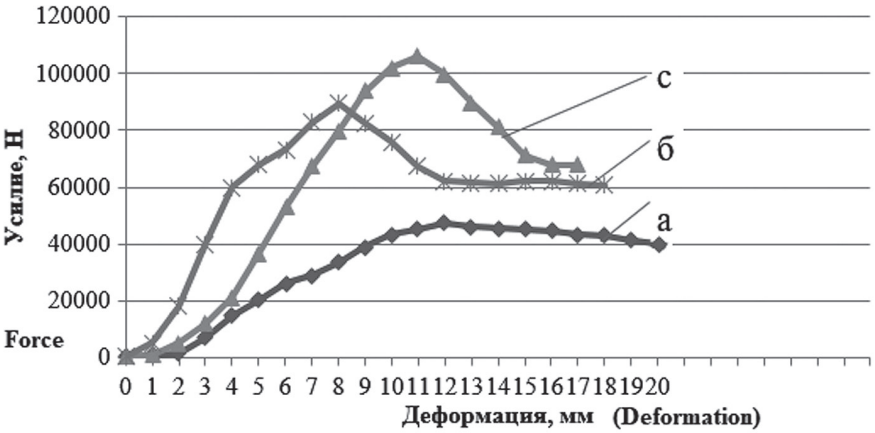

Рис. 2. Изменения усилия воспринимаемого опорной плитой с размерами 200×200×4 мм, $d_{отв}$ = 51,5 мм: H = 24 мм (а); H = 28 мм (б); H = 34 мм (в)

Fig. 2. Force variation taken by the base plate with dimensions 200×200×4 mm, $d_{отв}$ = 51,5 mm: a —H = 24 mm, b — H = 28 mm, c — H = 34 mm

В отношении несущей способности стержня анкера $P_{ст}$ следует различать допускаемое усилие — $[P_{ст}]$ и усилие, ведущее к ее разрушению — $P^{I}_{ст}$. Исходя из обеспечения требуемого уровня безопасности, следует принимать $P_{ст} = [P_{ст}]$.

Величина $[P_{ст}]$ определяется по формуле:

$$[P_{ст}] = [\sigma] \cdot S_{сеч} \qquad (3)$$

где $[\sigma]$ — допускаемое напряжение материала стержня, Па,

$$[\sigma] = \sigma_{т} / n;$$

$\sigma_{т}$ — предел текучести материала стержня, Па; n — коэффициент безопасности, n = 1,1—1,2; $S_{сеч}$ — площадь поперечного сечения стержня анкера, м^2. Величина определяется толщиной стенки t и длиной развертки сечения стержня L.

Зависимость (3) справедлива для участков стержней, расположенных на удалении от упора. В зоне, непосредственно примыкающей к упору, ее величина снижается за счет изменения структуры металла, обусловленной сварным швом. Расчетное значение для анкера, изготавливаемого из Ст 20 с $d_{ст}$ = 46 мм, t = 3 мм и шириной паза b = 12 мм, составляет $[P_{ст}]$ = 96,2 кН.

Нагрузка, ведущая к разрушению стержня, определяется по зависимости

$$P^{I}_{ст} = \sigma_{в} \cdot S_{сеч}, \qquad (4)$$

где $\sigma_{в}$ — временное сопротивление материала стержня.

Несущая способность упора $P_{уп}$ зависит от конструкции опорного узла (рис. 1). При соединении упора со стержнем по варианту, представленному на рис. 1, *а*, расчет выполняется на срез по сечению, проходящему через биссектрису прямого угла и имеющего катет шва k.

Из условия прочности $\dfrac{\left[P_{уп}\right]}{k * l} \le R_{wf}$ следует

$$[P_{уп}] = R_{wf} \cdot k \cdot l \qquad (5)$$

где R_{wf} — расчетное сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами; l — длина сварного шва; R_{wf} = 180 МПа; k = 1,2 t [18].

В существующих анкерных крепях сварной шов выполняется по внешней поверхности стержня. Предельная величина длины сварного шва определяется диаметром стержня и уменьшается на ширину паза b:

$$l = \pi \cdot d_{ст} - b.$$

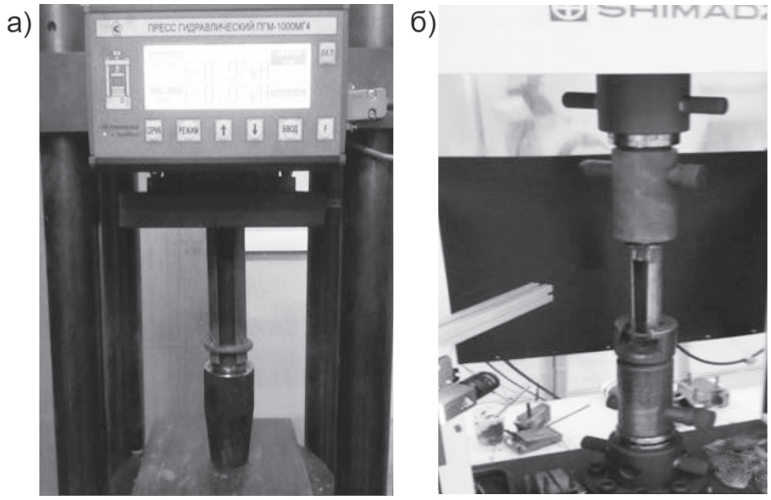

Рис. 3. Формирование (а) и испытание (б) упора
Fig. 3. Formation (a) and test (b) of the stop

После соответствующих подстановок допускаемое усилие упора определяется по зависимости:

$$[P_{уп}] = 216 \cdot t \cdot (\pi \cdot d_{ст} - b) \qquad (6)$$

Подстановкой в (5) вместо расчетного сопротивления R_{wf} нормативного сопротивления R_{wun} рассчитывается нагрузка $P^{I}_{уп}$, ведущую к разрушению упора, выполненного по варианту рис. 1, *а*.

В анкерах, выполняемых в соответствии с ПМ № 95029, при установке формируется комбинированный упор из секторов 5 (рис. 1, *б*). Аналитическое определение несущей способности такого упора требует учета сложной совокупности факторов. В связи с этим нагрузочная способность упора определялась экспериментально (рис. 3). На рис. 4 представлены итоговые результаты изменения усилия, воспринимаемого двумя типами упоров, выполненных на анкере с диаметром 46 мм. Соединение кольцевого элемента со стержнем выполнялось полуавтоматической дуговой сваркой. Фактическое значение $\sigma_т$ материала стержня составляло 272 МПа. Разруше-

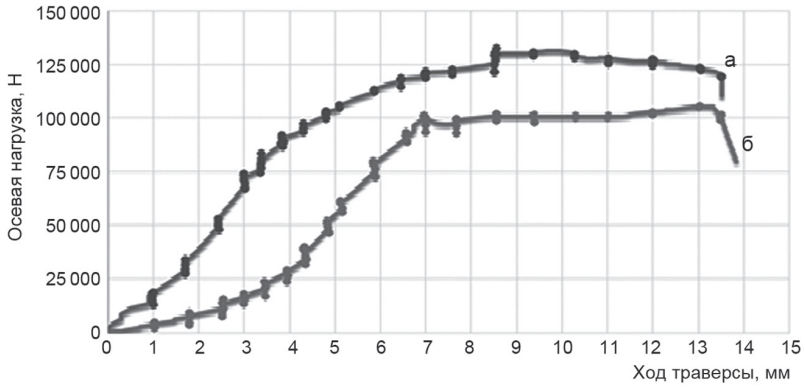

Рис. 4. Изменение усилия, воспринимаемого комбинированным упором для анкера с внешним диаметром 46 мм: с комбинированным упором (а); без формирования комбинированного упора (б)
Fig. 4. Force variation taken by the combined stop for an anchor with an outer diameter of 46 mm: a — with combined stop, b — without forming a combined stop

Рис. 5. Образцы упоров после испытаний
Fig. 5. Samples of stops after tests

ния имели место преимущественно по сварному шву (рис. 5).

Исходя из полученных результатов, с учетом коэффициента безопасности для варианта с комбинированным упором для стали с $\sigma_т$ > 250 МПа, можно рекомендовать $[P_{уп}]$ = 94 ... 102 кН, без дополнительного упора 80—90 кН.

Результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются с расчетными данными. Допускаемое усилие упора $[P_{уп}]$, выполняемого по варианту 1, *а* (без комбинированного упора), рассчитанное по зависимости (6) для анкера с диаметром $d_{ст}$ = 46 мм, t = 3 мм, b = 12 мм составляет 78,6 кН.

Выпуском фрикционных анкеров в настоящее время занимается достаточное количество отечественных и зарубежных производителей. Некоторые фирмы своеобразным способом осуществляют информационное сопровождение своей продукции. В частности, в публикации [19] утверждается о достижении нагрузки 200 кН на фрикционный анкер, установленный в шпур. При этом диаметр анкера и материал для изготовления не обозначен.

Судя по информации с официального сайта того же производителя (http://www.oksib.ru/krep-ankernaya-frikcionnaya-tipa-atf-w-profilya, обращение 11.09.18 г.), выпускаются анкеры с максимальными параметрами $d_{ст}$ = 48 мм, t = 3,2 мм и достигнутой несущей способностью 260 кН.

Расчет по зависимости (3) показывает, что необратимое удлинение стержня начинается при нагрузке 117,6 кН (Ст 20 $[\sigma_т]$ = 245 МПа, ГОСТ1050-2013). При этом разрывное усилие для той же стали (Ст 20 $\sigma_в$ = 410 МПа, ГОСТ1050-2013) составляет 197,7 кН. Превышение заявляемой несущей способностью анкера максимального разрывного усилия стержня — информация к размышлению для потенциальных потребителей.

Выводы

Комбинированные анкерные крепи фрикционного типа являются перспективным вариантом закрепления поверхности выработок. Их надежное функционирование обеспечивается выполнением совокупности требований к прочности составляющих элементов.

Заявляемая несущая способность анкерной крепи определяется нагрузочной способностью конструктивных элементов: стержня, упора и опорной плиты. При этом из трех параметров лимитирующим является нагрузочная способность упора.

Прочность упора зависит от технологии, используемой для его соединения со стержнем и способом разгрузки сварного шва после установки анкера.

Оценку применимости комбинированной анкерной крепи по показателю несущей способности следует выполнять по нагрузочной способности упора. Данный показатель следует отображать в сертификатах на анкерную крепь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еременко В. А., Айнбиндер И. И., Марысюк В. П., Наговицин Ю. Н.* Разработка инструкции по выбору типа и параметров крепи выработок рудников Талнаха на основе количественной оценки состояния массива горных пород // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 101—106.

2. *Копытов А. И., Лебедев А. А., Утробин Б. А.* Разработка рациональной технологии крепления горных выработок в удароопасных условиях // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 1. — С. 10—14.

3. *Масаев Ю. А., Масаев В. Ю., Филина Л. Д.* Новые разработки в области крепления и повышения устойчивости породных обнажений в горных выработках // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2015. — № 1. — С. 41—44.

4. *Загороднюк В. П.* Пути совершенствования сталеполимерной анкерной крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 5. — С. 375—378.

5. *Вознесенский А. С., Вознесенский Е. А., Корякин В. В., Красилов М. Н.* Принципы построения и перспективы развития устройств контроля массива горных пород и крепления вокруг выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 1. — С. 199—206.

6. *Ремезов А. В., Жаров А. И.* Один анкер решает несколько задач // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2012. — № 4. — С. 29—32.

7. *Зубков А. А., Латкин В. В., Неугомонов С. С., Волков П. В.* Перспективные способы крепления горных выработок на подземных рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — СВ S1-1. — С. 106—117.

8. *Balg C., Roduner A.* Geobrugg AG: ground support applications Int. Ground Support Conf. AGH University Lungern Switzerland. 2013. 11—13 September.

9. *Potvin Y.* High Energy Absorption (HEA) mesh — a yieldable high load support system for demanding ground support applications. An ACG/UWA presentation published on YouTube. 18 July, 2012.

10. *Калмыков В. Н., Григорьев В. В., Волков П. В.* Изыскание вариантов систем разработки для выемки прибортовых запасов при комбинированной геотехнологии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. — 2010. — № 1. — С. 17—22.

11. *Komurlu E., Kesimal A., Colak U.* Polyurea type thin sprayon liner coating to prevent rock bolt corrosion / Proc., 8th Asian Rock Mechanics Symp., Japanese Society for Rock Mechanics, Sapporo, Japan, 2014, pp. 1389—1397.

12. *Komurlu E., Kesimal A., Colak U.* Effect of polyurea type thin spray-on liner on support performance of rock bolts // J. Chamber Min. Eng. Turkey. 2015, 53, pp.13—18.

13. *Калмыков В. Н., Латкин В. В., Зубков А. А., Неугомонов С. С., Волков П. В.* Технологические особенности возведения усиленной комбинированной крепи на подземных рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 15. — С. 63—69.

14. *Зубков А. А., Зубков А. В., Кутлубаев И. М., Латкин В. В.* Совершенствование конструкции и технологии установки крепей с фрикционным закреплением // Горный журнал. — 2016. — № 5. — С. 48—52.

15. *Неугомонов С. С., Волков П. В., Жирнов А. А.* Крепление слабоустойчивых пород усиленной комбинированной крепью на основе фрикционных анкеров типа СЗА // Горный журнал. — 2018. — № 2. — С. 31—34. DOI: 10.17580/gzh.2018.02.04.

16. *Зубков А. А., Зубков А. Е.* Патент РФ № 95029, 25.06.2009. Анкерная крепь. 10.06.2010. Бюл. № 16.

17. *Charette F., Bennett A.* The importance of the face plate as part of an engineered holistic ground support scheme in dynamic conditions In J Wesseloo (ed.) / Proceedings of the Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining, Australian Centre for Geomechanics Perth, 2017, pp. 709—722.

18. *СП 16.13330.2011* Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменением № 1).

19. *Фрикционный* анкер нового поколения / Научно-практическая конференция с международным участием «Эффективность и безопасность горнодобывающей промышленности 2017», Челябинск, 19 октября 2017 г. Сборник тезисов докладов. — Челябинск: Промиздат, 2017. — С. 42—43. ГИАБ

REFERENCES

1. Eremenko V. A., Aynbinder I. I., Marysyuk V. P., Nagovitsin Yu. N. Development of guidelines for the selection of type and parameters of the lining workings of the Talnakh mines based on quantitative assessment of rock mass. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 10, pp. 101—106. [In Russ].

2. Kopytov A. I., Lebedev A. A., Utrobin B. A. Development of rational technology of mine workings fastening in shock-hazardous conditions. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no 1, pp. 10—14. [In Russ].

3. Masaev Yu. A., Masaev V. Yu., Filina L. D. New developments in the field of fastening and increasing the resistance of rock outcrops in mines. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015, no 1, pp. 41—44. [In Russ].

4. Zagorodnyuk V. P. Ways of improvement of steel-polymer anchor support. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 5, pp. 375—378. [In Russ].

5. Voznesenskiy A. S., Voznesenskiy E. A., Koryakin V. V., Krasilov M. N. Principles of construction and prospects of development of devices of control of the massif of rocks and fastening around developments. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 1, pp. 199—206. [In Russ].

6. Remezov A. V., Zharov A. I. Single anchor solves several problems. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2012, no 4, pp. 29—32. [In Russ].

7. Zubkov A. A., Latkin V. V., Neugomonov S. S., Volkov P. V. Perspective ways of securing mining in the underground mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014. CB S1-1, pp. 106—117. [In Russ].

8. Balg C., Roduner A. Geobrugg AG: ground support applications *Int. Ground Support Conf. AGH* University Lungern Switzerland. 2013. 11—13 September.

9. Potvin Y. High *Energy Absorption (HEA) mesh — a yieldable high load support system for demanding ground support applications*. An ACG/UWA presentation published on YouTube. 18 July, 2012.

10. Kalmykov V. N., Grigor'ev V. V., Volkov P. V. Exploration of options for development systems for removing the cut off parts of the inventory when combined geotechnology. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. 2010, no 1, pp. 17—22. [In Russ].

11. Komurlu E., Kesimal A., Colak U. Polyurea type thin sprayon liner coating to prevent rock bolt corrosion. *Proc., 8th Asian Rock Mechanics Symp.*, Japanese Society for Rock Mechanics, Sapporo, Japan, 2014, pp. 1389—1397.

12. Komurlu E., Kesimal A., Colak U. Effect of polyurea type thin spray-on liner on support performance of rock bolts. *J. Chamber Min. Eng. Turkey*. 2015, 53, pp.13—18.

13. Kalmykov V. N., Latkin V. V., Zubkov A. A., Neugomonov S. S., Volkov P. V. Technological peculiarities of the strengthened combined support in underground mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. CB 15, pp. 63—69.

14. Zubkov A. A., Zubkov A. V., Kutlubaev I. M., Latkin V. V. Improving the design and technology of installation of roof supports are available with a friction fastening. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 5, pp. 48—52.

15. Neugomonov S. S., Volkov P. V., Zhirnov A. A. Mount weakly stable species combined enhanced support on the basis of the friction anchor in the BACK. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 2, pp. 31—34. DOI: 10.17580/gzh.2018.02.04. [In Russ].

16. Zubkov A. A., Zubkov A. E. *Patent RU 95029*, 25.06.2009.

17. Charette F., Bennett A. The importance of the face plate as part of an engineered holistic ground support scheme in dynamic conditions In J Wesseloo (ed.). *Proceedings of the Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining*, Australian Centre for Geomechanics Perth, 2017, pp. 709—722.

18. *SP 16.13330.2011 Stal'nye konstruktsii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81* (s Izmeneniem № 1)* [Steel structure. Updated version of Building Codes and Regulations II-23-81 change No 1].

19. Фрикционный анкер нового поколения. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem «Effektivnost' i bezopasnost' gornodobyvayushchey promyshlennosti 2017»*, Chelyabinsk, 19 October 2017, Collection of abstracts. Chelyabinsk, Promizdat, 2017, pp. 42—43. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зубков Антон Анатольевич, канд. техн. наук, зам. директора,
ООО «УралЭнергоРесурс»,
Калмыков Вячеслав Николаевич[1], д-р техн. наук, профессор,
Кутлубаев Ильдар Мухаметович[1], д-р техн. наук, профессор, e-mail: ptmr74@mail.ru,
Найденова Марина Сергеевна.[1], аспирант,
[1] Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова.
Для контактов: Кутлубаев И.М., e-mail: ptmr74@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.A. Zubkov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director,
JSC UralEnergoResurs, 455000, Magnitogorsk, Russia,
V.N. Kalmykov[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
I.M. Kutlubaev[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: ptmr74@mail.ru,
M.S. Naydenova[1], Graduate Student, e-mail: bonzulik@yandex.ru,
[1] G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Magnitogorsk, Russia.
Corresponding author: I.M. Kutlubaev, e-mail: ptmr74@mail.ru.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КАНАЛА АКУСТИЧЕСКОГО АНЕМОМЕТРА НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

(2019, СВ 14, 24 с.)

Шкундин Семен Захарович[1] — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: shkundin@mail.ru,
Беликов Дмитрий Сергеевич — аспирант, инженер, e-mail: beldser@gmail.com,
[1] НИТУ «МИСиС».

Рассмотрена проблема повышения точности измерений акустического анемометра — прибора, осуществляющего оценку скоростей и расходов воздушных потоков. Важность данной проблемы обусловлена применением анемометров в системах безопасности добывающих отраслей промышленности, где предъявляются высокие требования к контролю вентиляционных систем шахт. Освещены основные проблемы в области теоретической анемометрии, выделены наиболее актуальные задачи и предложены методы их решения, направленные на повышение точности измерений. Представлено математическое описание анемометрического канала, учитывающее геометрию реального измерительного прибора, исследовано влияние формы фланца волновода на величину отражений от его концов, произведена оценка погрешности, вносимой в результаты измерений акустического анемометра.

INVEST GAT ON OF NFLUENCE OF ACOUST C ANEMOMETER CHANNEL GEOMETRY ON MEASUREMENT ACCURACY

S.Z. Shkundin[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: shkundin@mail.ru,
D.S. Belikov[1], Graduate Student, Engineer, e-mail: beldser@gmail.com,
[1] National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

The problem of increasing the accuracy of measurements of acoustic anemometer-a device that assesses the speeds and flow rates of air flows. The importance of this problem is due to the use of anemometers in the safety systems of mining industries, where high requirements for the control of ventilation systems of mines. The main problems in the field of theoretical anemometry are highlighted, the most urgent problems are highlighted and the methods of their solution aimed at improving the accuracy of measurements are proposed. The mathematical description of anemometer channel, taking into account the real geometry of the measuring device, the influence of the shape of the flange of the waveguide on the value of reflections from the ends, the estimation of the error introduced in the measurement results of acoustic wind instruments.