УДК 622.281.74

д.т.н. Новиков А. О.,
к.т.н. Шестопалов И. Н.,
Дрипан П. С.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, dripanps@mail.ru)

РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПОСОБА УСТАНОВКИ АНКЕРА В НАПРАВЛЯЮЩИЙ ШПУР ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Экспериментально подтверждена ранее теоретически обоснованная возможность установки анкера в направляющий шпур с помощью динамической нагрузки. Впервые методом прямых испытаний установлены эмпирические зависимости времени установки анкера и усилия его извлечения из шпура, учитывающие соотношения диаметров анкера и направляющего шпура, механические характеристики горной породы и глубину установки анкера. Это позволило обосновать расчетные параметры предлагаемого способа установки анкеров.

Ключевые слова: *породный массив, анкер, шпур, нагрузка для извлечения, способ установки, время установки анкера.*

Как показывают статистические данные о травматизме [1] в угольной отрасли (рис. 1), 31,4 % несчастных случаев происходят от обрушений горных пород в забойной части протяженных выработок при ведении подготовительных работ из-за несвоевременной установки или отсутствия временного крепления. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы на угольных шахтах является установка анкерной крепи сразу после выемки породы в забое. Технологичность и высокий уровень механизации ее возведения позволяют повысить в 2–3 раза темпы ведения работ, обеспечить высокий уровень безопасности производства. В условиях шахт Донбасса наибольшее распространение получили сталеполимерные анкеры, технология установки которых и параметры крепи определяются в соответствии с действующими нормативными документами [2–4]. Однако до 50 % затрат на установку таких анкеров приходится на стоимость ампул с полимерной смолой, с помощью которой они закрепляются в шпурах. В этой связи исследования, направленные на разработку технологий возведения и конструкций анкеров, устанавливаемых безраспорным (бесклеевым) способом, что позволит снизить затраты на крепление выработок, являются перспективными и актуальными.

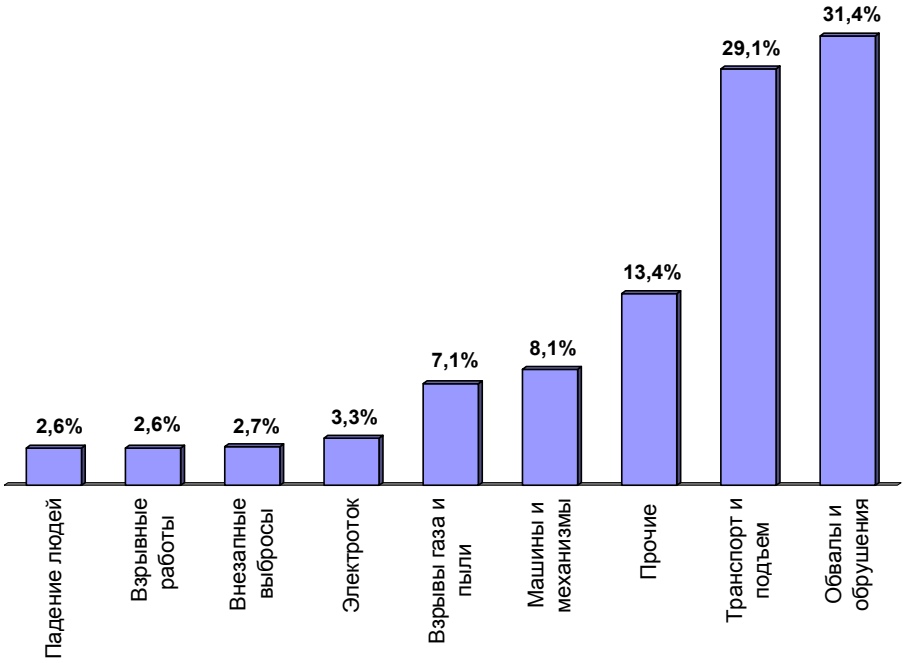
В настоящее время в мировой практике строительства и поддержания горных выработок применяется большое количество безраспорных конструкций анкеров [5], которые, впрочем, не получили широкого применения. Среди основных причин такого положения следует выделить необходимость изготовления анкеров из высокопрочных упругих сталей, а также потребность в дорогом дополнительном оборудовании для их установки. Так, предложенный в США способ установки анкеров путем их силового вдавливания в породный массив с помощью гидравлической установки не нашел промышленного использования по тем же причинам, а также из-за невозможности обеспечить необходимое пространственное расположение устанавливаемого анкера [6].

В ДонНТУ был предложен и запатентован способ закрепления породного массива стальным анкером с диаметром большим, чем диаметр направляющего шпура [7]. Теоретически в работах [8, 9] для различных горно-геологических и горнотехнических условий были обоснованы оптимальные соотношения диаметров анкера и шпура, при которых для установки потребуется

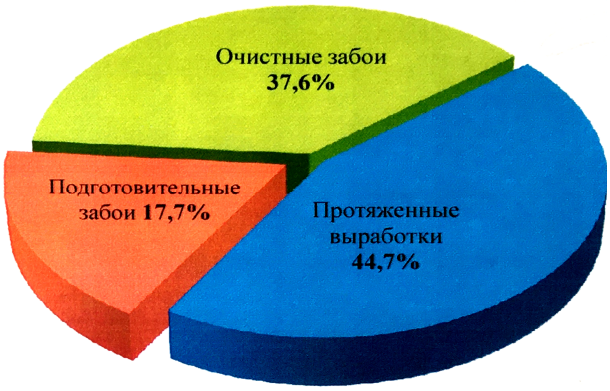
минимальная нагрузка, а возникающие при этом напряжения в породах и анкере не превысят предельных значений. В этой связи проведение шахтных исследований, позволяющих проверить адекватность выполненных ранее теоретических исследований по определению параметров способа установки анкеров и установить нагрузки, необходимые для их извлечения, является актуальной научной задачей.

Цель работы — экспериментально подтвердить теоретически установленные закономерности процесса установки в породный массив анкера большего диаметра, чем диаметр направляющего шпура, под действием динамической нагрузки, а также установить величину усилия закрепления анкеров в шпурах.

Идея работы заключается в использовании шахтных экспериментальных исследований для подтверждения теоретически установленных закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния в системе «анкер — массив», а также установления нагрузок, необходимых для извлечения анкеров для обоснования технических параметров способа их установки.



а



б

Рисунок 1 Причины (а) и локализация (б) производственного травматизма на угольных шахтах

Объект исследования — геометрические параметры и механические характеристики анкера и породного массива.

Предмет исследования — закономерности взаимодействия стального анкера и породного массива при его установке в породу бесклеевым способом в направляющий шпур с диаметром меньшим, чем диаметр анкера, под действием динамической нагрузки.

Исходя из вышеизложенного, **задачами исследований** являются:

– проведение шахтного эксперимента по установке стальных анкеров в горный массив под действием динамической нагрузки;

– подтверждение опытным путем технической возможности реализации способа установки анкера в направляющий шпур меньшего диаметра, чем диаметр анкера;

– определение времени установки анкера и усилия для его извлечения из шпура в зависимости от соотношения диаметров анкера и направляющего шпура, механических характеристик горной породы и глубины установки анкера, что позволит обосновать основные параметры предлагаемого способа.

Натурные испытания проводились в условиях северного откаточного ходка второй северной лавы (рис. 2) учебной шахты техникума им. Е. Т. Абакумова (г. Донецк). Выработка расположена на глубине 20 м в коренных породах и закреплена трехзвенной податливой арочной крепью типа КМП-А3 из СВП22. Шаг установки рам крепи — 1,0 м. Размеры выработки в свету: ширина — 2,8 м, высота — 2,3 м (рис. 3).

Выработка проведена по следующим породам: верхний слой — сланец песчаный мощностью 1,0 м, крепостью по шкале проф. М. М. Протодьяконова f = 4; нижний слой — песчаник мощностью 1,3 м и крепостью f = 5. В почве выработки залегает сланец глинистый мощностью 1,2 м, крепостью f = 3. Угол залегания пород — 10º.

Для проведения испытаний использовались гладкостенные сплошные анкеры круглого поперечного сечения длиной 0,5–1,5 м и диаметром 0,033–0,036 м.

Шпуры длиной 0,7–1,8 м бурились по забою и в почву выработки электрическим перфоратором типа DWT-HAMMER BH-1500 (рис. 4, *а*).

Перед началом бурения шпуров с помощью шаблона осуществлялась их разметка. С целью снижения отклонений стенок шпуров от проектного положения (постоянный диаметр по длине шпура) бурение осуществлялось в два этапа. Сначала бурение осуществлялось с помощью штанги с коронкой диаметром 0,02 м. Далее шпур расширялся до диаметра 0,03 м. Для обеспечения соосности продольной оси шпура и анкера при установке устье шпура на глубину 0,07–0,10 м расширялось до диаметра устанавливаемого анкера.

Соотношение диаметров анкера и шпура составляло $k_o = d_a / d_ш = 1{,}1–1{,}2$.

Закрепление анкеров в породе осуществлялось с помощью отбойного молотка типа SturmRH–2519 (рис. 4, *б*) со следующими характеристиками: частота ударов — 1300 ударов/мин, энергия удара — 45 Дж. Масса насадки — 3,36 кг. В ходе установки выполнялся хронометраж секундомером.

С целью повышения достоверности результатов по извлечению анкеров из пород использовались следующие методики и приборы:

– гидравлический пресс-насос ГПНВ-5 (метод прямых испытаний) (рис. 5, *а*);

– ручная лебедка ТП-1 (рис. 5, *б*) и механический динамометр (метод прямых испытаний);

– упорный рычаг и высоконапорное гидравлическое оборудование фирмы Holmatro (рис. 5, *в*): гидравлический домкрат HJ20G-5 с маслонасосом FTW1800BE и манометром и ОБМГ 81-160 (косвенный метод испытаний);

– устройство для извлечения анкеров (рис. 5, *г*), состоящее из тянущего гидроцилиндра, маслонасоса FTW1800BE и манометра ОБМГ 81-160 (метод прямых испытаний).

Все оборудование перед началом испытаний прошло поверку.

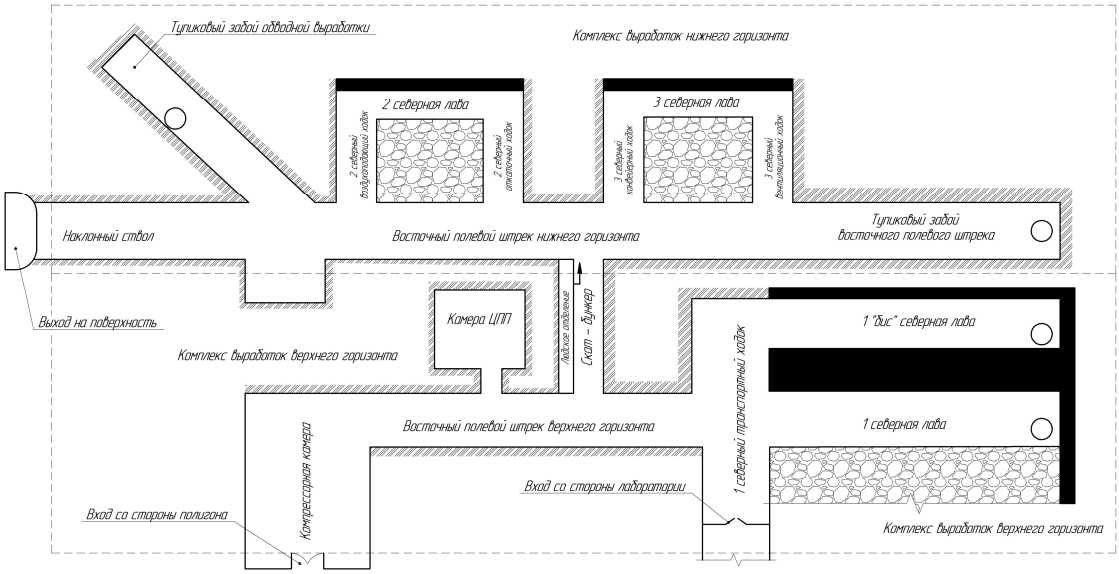


Рисунок 2 Схема выработок учебной шахты

Рисунок 3 Общий вид забоя выработки на экспериментальном участке

а

б

Рисунок 4 Внешний вид перфоратора DWT-HAMMER BH-1500 (а)
и отбойного молотка SturmRH-2519 (б)

а

б

в

г

Рисунок 5 Извлечение анкера из почвы с помощью: гидравлического пресс-насоса ГПНВ-5 (а); ручной лебедки ТП-1 и механического динамометра (б); упорного рычага и гидравлического домкрата (в); тянущего гидроцилиндра, маслонасоса и манометра (г)

При выполнении экспериментов значения трех искомых переменных изменялись в пределах:

– отношение диаметров анкера (d_a) и шпура ($d_ш$) $k_0 = d_a / d_ш$: 1,1; 1,15; 1,2;

– механические характеристики горных пород определялись в лабораторных условиях на образцах цилиндрической формы, полученных выбуриванием керна. Соотношение высоты образцов к диаметру — не менее двух. Первоначально определяли прочность пород на одноосное сжатие (вдоль слоистости пород). Затем для определения модуля упругости проводились испытания в режиме многократного нагружения на сжатие и разгрузку. По графикам деформирования образцов породы, через соотношения приращений напряжений и деформаций определяли модуль упругости.

Модули упругости и прочности на одноосное сжатие песчаника, песчаного сланца и глинистого сланца соответственно $E_n = 3{,}6 \cdot 10^4$; $1{,}9 \cdot 10^4$; $1{,}1 \cdot 10^4$ МПа; $\sigma_{сж} = 53$; 39; 28 МПа.

– механические характеристики материала анкера: модуль упругости $E_a = 20 \cdot 10^4$ МПа;

– длина анкеров $l = 0{,}5$; 1,0 и 1,5 м.

С целью сокращения количества экспериментов использовалась методика их планирования [10]. Для получения регрессионных зависимостей экспериментальные значения несущей способности анкера и времени их установки от безразмерных факторов обрабатывались с помощью программы Statistica.

Основные результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения несущей способности анкеров и времени их установки

N_s, *кН*	$k_o = d_a / d_ш$	E_n / E_a	l_a / d_a	$T_{уст}$, *с*
59,8	1,1	0,178	15,15	107
69,4	1,15	0,095	29,41	71
53,4	1,2	0,054	41,67	67
58,9	1,15	0,095	14,71	45
63,4	1,1	0,178	30,30	159
83,7	1,15	0,095	44,12	104
59,0	1,2	0,054	13,89	24
53,4	1,2	0,054	27,78	46
71,0	1,1	0,178	45,45	215

Примечания: N_s — несущая способность анкера, кН; k_o — отношение диаметра анкера к диаметру шпура, ед.; E_n — модуль упругости породы, МПа; E_a — модуль упругости материала анкера, МПа; $l_а$ — длина анкера, м; d_a — диаметр анкера, м; $T_{уст}$ — время установки, с.

Тогда, зависимость для определения несущей способности анкера $N_s = f(k_0;\ E_n / E_a;\ l_a / d_a)$ имеет вид:

$$N_S = 920,6 - 706,9 \cdot k_0 - \\ -501 \cdot E_n / E_a + 0,36 \cdot l_a / d_a \text{, кН,}$$

$$\left(R^2 = 0,69;\ F = 3,75\right),$$

где k_0 — отношение диаметра анкера к диаметру шпура, ед.; E_n — модуль упругости породы, МПа; E_a – модуль упругости материала анкера, МПа; $l_а$ — длина анкера, м; d_a — диаметр анкера, м; R^2 — коэффициент детерминации; F — критерий Фишера.

Зависимость для определения времени установки анкера в шпур:

$$T_{уст} = f\left(k_0; E_n / E_a; l_a / l_0\right),$$

$$T_{уст} = 1442,2 \cdot E_n / E_a + 705,4 \cdot k_0 + \\ +2,4 \cdot l_a / d_a - 946,2 \text{, с,}$$

$$\left(R^2 = 0,97;\ F = 50,1\right).$$

Область применения полученных зависимостей: диаметр шпура — 0,03 м; диаметр анкера — 0,033–0,036 м; длина анкера — 0,5–1,5 м; Модуль упругости пород — (1,1–3,56) · 10^4 МПа; прочность пород на одноосное сжатие — 28–53 МПа.

Выводы:

1. Впервые при проведении натурных исследований в условиях северного откаточного ходка второй северной лавы подземного учебного полигона техникума им. Е. Т. Абакумова (г. Донецк) подтверждена техническая возможность реализации способа закрепления породного массива стальным анкером с диаметром большим, чем диаметр направляющего шпура.

2. Впервые при проведении натурного эксперимента установлены эмпирические зависимости времени установки анкера и усилия его извлечения из шпура, учитывающие соотношения диаметров анкера и направляющего шпура, механические характеристики анкера и горной породы, а также глубину установки анкера.

3. Полученные результаты позволяют разработать методику определения параметров анкеров, устанавливаемых с помощью динамической нагрузки в направляющий шпур с диаметром меньшим, чем у анкера.

Библиографический список

1. Деревянский, В. Ю. Анализ смертельного травматизма на угольных шахтах по опасным производственным факторам и основные направления его профилактики [Текст] /

В. Ю. Деревянский, В. Е. Герасименко, В. Л. Овчаренко // Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий [Электронный ресурс] : сборник научных трудов ГВУЗ «ДонНТУ». — Донецк : ГВУЗ «ДонНТУ», 2015. — С. 3–8.

2. Булат, А. Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А. Ф. Булат, В. В. Виноградов. — Днепропетровск : Вильпо, 2010. — 372 с.

3. СОУ 10.1.05411357.010:2014. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. — 84 с.

4. СТП (02070826) (26319481). Методика определения параметров анкерных породо-армирующих систем для обеспечения устойчивости горных выработок [Текст] / Н. Н. Касьян [и др.]. — Донецк — Доброполье, 2010. — 27 с.

5. Широков, А. П. Теория и практика применения анкерной крепи [Текст] / А. П. Широков. — М. : Недра, 2012. — 381 с.

6. Харрелл, М. В. Новый гидравлический способ установки анкерных болтов [Текст] / М. В. Харелл // Mining Congress Journal. — 1971. — № 6.

7. Пат. 55763 Україна, МПК E 21 D 20/00. Способ установки анкера / Н. Н. Касьян, А. О. Новиков, Ю. А. Петренко, П. С. Дрипан, И. Н. Шестопалов, С. Ю. Гладкий, Д. Д. Выговский ; заявитель и патентообладатель Донецкий нац. техн. ун-т. — № u200901503 ; заявл. 23.02.2009 ; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12. — 6 с.

8. Новиков, А. О. Математическая модель внедрения анкера в породный массив под нагрузкой [Текст] / А. О. Новиков, П. С. Дрипан // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. — Донецк, 2018. — № 3 (55). — С. 91–101.

9. Дрипан, П. С. Устойчивость анкера при установке в породный массив под действием динамической нагрузки [Текст] / П. С. Дрипан // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. — Донецк, 2019. — № 3 (56). — С. 37–45.

10. Новиков, А. О. Бесклеевой способ закрепления анкера под действием статической нагрузки // А. О. Новиков, П. С. Дрипан, И. Г. Старикова // Научный вестник НИИГД «Респиратор» : науч.-техн. журн. — Донецк, 2021. — Вып. 1 (58). — С. 59–67.

© Новиков А. О.
© Шестопалов И. Н.
© Дрипан П. С.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТИ Литвинским Г. Г., д.т.н., проф., зав. каф. СЗПСиГ ДонНТУ Борщевским С. В.

Статья поступила в редакцию 09.08.2021.

Doctor of Technical Sciences Novikov A. O., PhD in Engineering Shestopalov I. N., Dripan P. S.
(DonNTU, Donetsk, DPR, dripanps@mail.ru)

THE RESULTS OF MINE STUDYING THE WAY OF INSTALLING AN ANCHOR IN A GUIDE DRILL HOLE OF A SMALLER DIAMETER UNDER THE DYNAMIC LOAD

The previously theoretically justified possibility of installing an anchor with a smaller diameter in a guide drill hole using a dynamic load has been experimentally confirmed. For the first time, the empirical dependences of the anchor installation time and the effort of its extraction from the drill hole, considering the ratio of the anchor diameters and the guide drill hole, the mechanical characteristics of the rock and the depth of the anchor installation, were determined by direct tests. This allowed us to justify the design parameters of the proposed glue-free method of installing anchors.

Key words: *rock mass, anchor, drill hole, load, deformation, stress, installation method.*