

Наибольшие допустимые значения коэффициента  $\gamma$  при заданном коэффициенте  $\mu$  необходимо определять для расчетного случая подъем груза для  $\mu \leq 0,8$  и спуск груза  $\mu \geq 0,8$ .

Для шахтных подъемных установок со шкивом трения при коэффициенте массивности  $\mu$  больше 1 необходимо регулировать настройки предохранительного торможения в зависимости от спуска или торможения груза.

#### Список литературы

1. Трибухин В.А. Обоснование параметров и режимов торможения шахтных подъемных машин с многомодульным дисковым тормозом: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / Трибухин Валерий Анатольевич; НИИ горной механики им. М.М.Федорова (НИИГМ им. М.М.Федорова). – Донецк, 2003. – 16 с: ил., табл. – Библиогр.:с. 17-18.
2. Димашко А.Д. Шахтные электрические лебедки и подъемные машины / Димашко А.Д., Гершиков И.Я., Кривневич А.А. – М.:Недра, 1973.- 310 с.
3. Вертикальный транспорт на горных предприятиях / [Потураев В.Н., Червоненко А.Г., Колосов Л.В., Безпалько В.В.] – М.:Недра, 1975.- 351с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Франчуком В.П.  
Надійшла до редакції 13.10.10*

УДК 622.281.742

© И.Н. Слащев, С.А. Курносков, Н.А. Иконникова,  
П.Е. Филимонов, А.А. Цикра

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НОВЫХ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ В НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ**

В статье приведены результаты научных исследований и промышленных испытаний новых способов повышения несущей способности анкерных систем в неустойчивых породах, технологий и технических средств нарезки профиля шпуров.

У статті наведені результати наукових досліджень і промислових випробувань нових способів підвищення несучої здатності анкерних систем у нестійких породах, технології і технічних засобів нарізки профілю шпурів.

The results of scientific research and industrial testing new ways to increase the load-bearing capacity of roof bolts system in unstable rocks, technology and technical equipment of cutting boreholes rifling.

В сложных горно-геологических условиях разработки угольных месторождений в неустойчивых породах арочная крепь по несущей способности и податливости практически исчерпала свои возможности, поэтому естественным направлением повышения эффективности поддержания подготовительных работ и обеспечения безопасности горных работ является дополнительная установка сталеполлимерных анкеров, которые обладают высокой несущей спо-

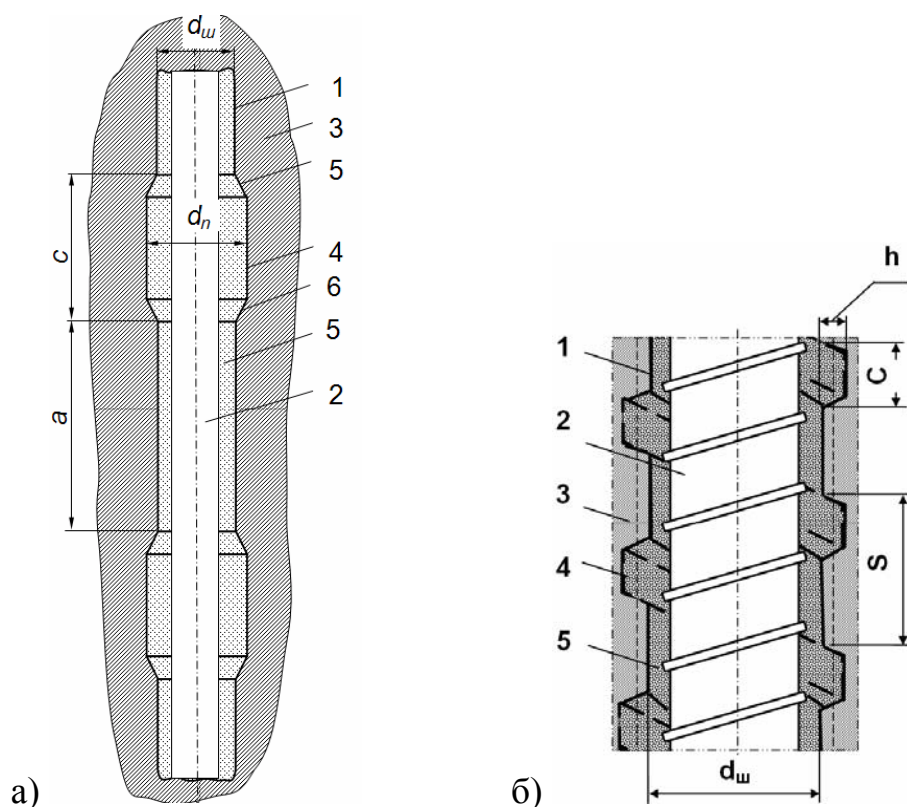
способностью. Следует отметить, что технология возведения сталеполимерной анкерной крепи хорошо отработана для устойчивых прочных пород, но рассчитана на минимальную податливость штанги анкера в пределах упругой деформации, что обеспечивает сохранение в монолитном состоянии армированного породного блока [1]. В неустойчивых породах (в том числе обводненных) или при слабой адгезии полимерного состава под действием горного давления происходит сдвиг анкера на контакте с породой вследствие недостаточной физической и химической связи с поверхностью шпура. В результате множественных разрушений контакта сталеполимерный анкер теряет до 90 % своей первоначальной несущей способности [2].

В зарубежной практике проходят испытания два основных способа повышения несущей способности анкеров [3], которые заключаются в нарезке ленточной резьбы в шпурах специальной резьбонарезной головкой или в завинчивании винтовых штанг с резьбонарезающими витками в шпуры с предварительно установленными в них ампулами закрепителя. Надо отметить, что данные способы дорогостоящие и требуют существенных изменений в оснастке и технологии анкерования: проектирования и инструментального производства размерного ряда резьбонарезных буров для шпуров различного диаметра; существенной модернизации буровых установок таким образом, чтобы строго выдерживать требуемые обороты и подачу инструмента; наладки производства штанг с резьбонарезающими витками и блоков автоматического управления для согласования подачи и вращения анкера в процессе его введения в шпур.

ИГТМ НАН Украины совместно с инженерно-техническими работниками АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» разработаны и внедряются в производство новые способы повышения несущей способности сталеполимерных анкеров в неустойчивых породах и буровые ставы для их реализации (патенты Украины № 28469, № 39204, № 41968, № 49822), основанные на физическом взаимодействии анкера с породной стенкой шпура при его страгивании под действием сил горного давления. Способы включают технологические операции по управляемому нарезанию поверхности шпуров для создания локальных зон сжатия при малых перемещениях анкеров [4, 5]. Технологии реализации данных способов основаны на том, что в процессе бурения система «буровой став – породный массив» представляет собой динамическую детерминированно-хаотическую систему, в которой детерминированными (определяемыми) являются проектируемые параметры: геометрические размеры шпура – диаметр, форма и рельеф поверхности стенок, а также технические и технологические параметры – скорость вращения и усилие подачи бурового оборудования, конструкция и механическая характеристика бурового става, тип бурового инструмента. В свою очередь к динамическим хаотически изменяющимся элементам системы можно отнести вибрацию бурового оборудования, упругие колебания буровой штанги и изменяющуюся прочность срезаемых пород в шпуре. Даже при бурении в благоприятных условиях создается вибрация, которая приводит к появлению случайного распределения микровыступов и микровпадин на стенках шпура, в результате чего формируется шероховатость, которая влияет на несущую способность системы анкерного крепления. То есть, процесс создания необходи-

мой формы шпура определяется детерминистическими законами, а наличие динамической составляющей данной системы и случайных факторов обуславливает степень его шероховатости.

Технология первого способа заключается в том, что в стандартный технологический процесс бурения шпуров вводится дополнительная операция – расщерливание на заданных глубинах нескольких полостей (рис. 1, а), форма, размеры, количество и расположение которых по длине шпура определяется с учетом прочностных характеристик полимерного закрепителя, породы и нормативных технологических требований на установку сталеполимерных анкеров.



1 – шпур; 2 – анкерная штанга; 3 – порода; 4 – полости; 5 – полимерный закрепитель; 6 – конические поверхности

Рис. 1. Способы повышения несущей способности сталеполимерных анкеров в неустойчивых породах: а – расщерливанием полостей; б – нарезкой одно- или трехзаходного винтового паза.

К началу анкерования горной выработки определяют диаметр шпура  $d_{ш}$ , диаметр пустоты разбуривания принимают равным  $d_n = (1,12 - 1,22)d_{ш}$ , высоту пустоты разбуривания определяют из соотношения:

$$C > P / (\tau_{cp}^{nc} \cdot \pi d_{ш}), \quad (1)$$

где  $P$  – усилие на растяжение, которое действует на анкер, кН;  $\tau_{cp}^{nc}$  – предельная прочность полимерного слоя закрепителя на срез, МПа.

Расстояние между пустотами разбуривания определяют из условия равновесия:

$$(a - b)/c = \tau_{cp}^{nc} / \tau_{cp}^{nc}, \quad (2)$$

где  $\tau_{cp}^n$  – предельная прочность породы на срез, МПа;  $b$  – допустимая величина сдвига анкера (податливость).

Получив исходные данные, бурят шпур 1 в породах 3 (рис. 1, а), извлекают буровые штанги, устанавливают буровую коронку со смещенным центром и разбуривают в шпуре 1 необходимое количество пустот 4 на высоту  $C$ , сохраняя максимальные обороты инструмента с учетом расстояния  $a$  между ними. При этом на входе и выходе полостей 4 образуются конические поверхности 6. После извлечения бурового инструмента из шпура устанавливают ампулы с полимерным закрепителем 5 и подают анкер 2 в шпур с вращением, обеспечивая качественное перемешивание компонентов закрепителя и его плотное проникновение в кольцевой зазор по всей длине анкера.

В процессе работы сталеполимерного анкера в режиме податливости, полимерные выступы внедряются в породу, смещая ее наружу и сжимая в пределах опорного слоя, что значительно повышает прочность закрепления анкера и увеличивает его сопротивление вытягиванию.

Второй способ значительно снижает затраты времени на подготовку шпура и повышает технологичность процесса анкерования за счет нарезки на стенках шпура одно- или трехзаходного винтового паза непосредственно в процессе бурения. Такой рельеф представляет собой винтовую впадину с шагом  $S$  (рис. 1, б). При смещении анкера относительно породы на величину, не превышающую шаг винтовой линии, в отличие от традиционной технологии закрепления в «гладких» шпурах, сохраняется 80-90 % его несущей способности.

Специализированное оборудование для реализации данного способа содержит штангу 1, адаптер 2 и буровой резец 3, размещенный с эксцентриситетом относительно адаптера, который располагается под углом  $\alpha$  относительно оси штанги (рис. 2). При этом расстояние отклонения оси адаптера от оси штанги в плоскости размещения буровой коронки равно эксцентриситету установки буровой коронки, который направлен в противоположную сторону от направления отклонения оси адаптера и принимается равным 1-3 мм.

К началу анкерования горной выработки определяют прочность пород и полимерного закрепителя, необходимый диаметр шпура. Проводят расчеты исходных данных: глубины паза  $h$ , значения которого принимают в диапазоне  $(0,05 - 0,10) d_{ш}$ , при этом наибольшую глубину принимают для менее крепких пород; ширины паза из соотношения (1); шага винтовой линии по формуле:

$$S = \frac{P}{k \tau_{cp}^n \pi (d_{ш} + 2h)} + C + l, \quad \text{мм}, \quad (3)$$

где  $l$  – предельная величина сдвига анкера под нагрузкой, мм;  $k$  – коэффициент заходности винтовой линии, который принимается равным 1 или 3 в зависимости от типа бурового става и прочности пород.



Рис. 2. Средства для управляемого профилирования стенок шпуров: а – схема специализированного бурового става; б – внешний вид в сборе; в – адаптер с эксцентриситетом; г – резец породный анкерный РПА-181.

Необходимая глубина винтового паза задается величиной эксцентриситета и углом разворота адаптера, а шаг винтовой линии – прочностью пород, скоростью вращения и подачи бурового инструмента. Размещение адаптера под углом относительно оси штанги позволяет получать заданный размер диаметра нарезки шпура и дает возможность нарезать шпур с пазом по винтовой линии, который выполняется одно- или трехзаходным.

В технологическом процессе буровой став выполняет четыре технологических операции: бурение и одновременную нарезку трехзаходного паза в шпурах, разрушает полимерную оболочку ампул с компонентами закрепителя, перемещивает его и центрирует анкер по оси шпура. Использование такого бурового става позволяет значительно повысить эффективность технологии анкерования и несущую способность анкерного крепления.

С целью оценки эффективности промышленного применения новых способов и средств повышения несущей способности анкерных систем в неустойчивых породах в условиях АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» проведены их широкомасштабные испытания. Методикой шахтных испытаний были предусмотрены: определение устойчивости подготовительных выработок, закрепленных рамно-анкерными крепями повышенной несущей способности, и оценка возможности их повторного использования путем проведения комплекса инструментальных измерений и геофизического мониторинга; отработка параметров режимов бурения и профилирования шпуров; выбор наиболее эффективных резцов для бурения шпуров под анкерное крепление и оценка их возможности создавать необходимый профиль, контроль рельефа поверхности шпуров с помощью кавернометра конструкции английской фирмы МРТ (погрешность из-

мерений 0,1 мм) с шагом перемещения замерного сечения через каждые 20-25 мм длины шпура.

Промышленные испытания проводились при установке анкерного крепления в кровле подготовительных выработок и при поддержании кровли угольного пласта на сопряжениях лавы (рис. 3).

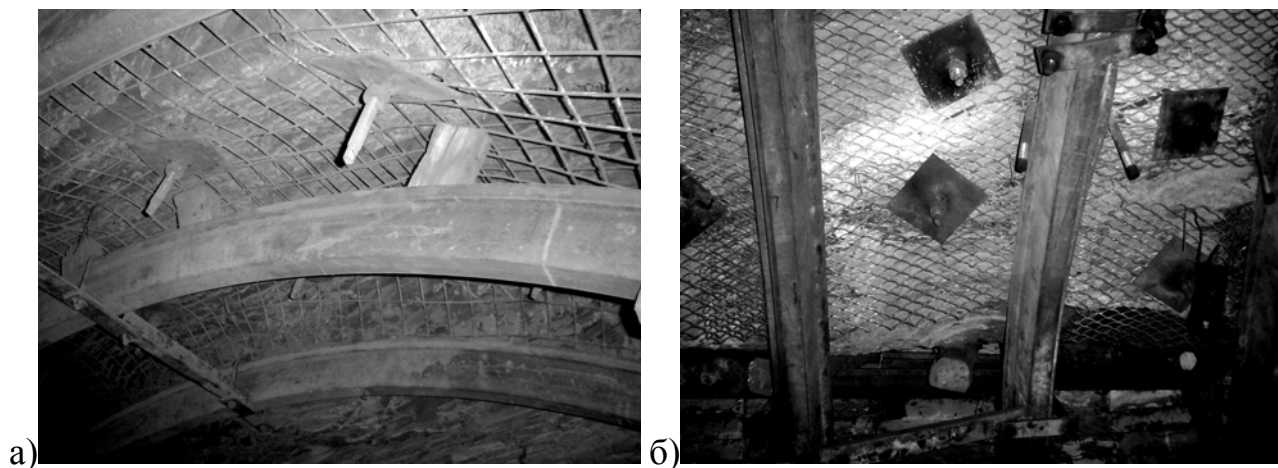


Рис. 3. Установка анкерных систем повышенной несущей способности в кровле штреков (а) и на сопряжении лава-штрек (б)

Применяемый на шахтах инструмент для бурения шпуров при установке анкерного крепления имеет различные технико-экономические характеристики, которые зависят от его прочности и износостойкости. Оптимальный режим бурения может быть обеспечен получением наилучших технико-экономических показателей (при данных условиях бурения) за счет управляемых параметров, которые можно изменять в процессе работы: осевой нагрузки на резец, частоты вращения, расхода и параметров бурового раствора, типа резца. При прочих равных условиях тип бурового резца может значительно повысить показатели работ при анкероании выработок.

Развитие техники бурения шпуров связано с дальнейшими научными исследованиями и широким промышленным применением различных конструкций буровых резцов с рациональными силовыми и энергетическими параметрами для пород различной крепости и абразивности. Поэтому для оценки показателей работы бурового инструмента и его соответствия техническим требованиям к бурению и профилированию шпуров на шахте им. А.Ф. Засядько проведены испытания и сравнение эффективности работы наиболее часто применяемых резцов РПА-32, РШ-181, РШ-183 и анкерного резца новой конструкции РПА-181 (рис. 4).

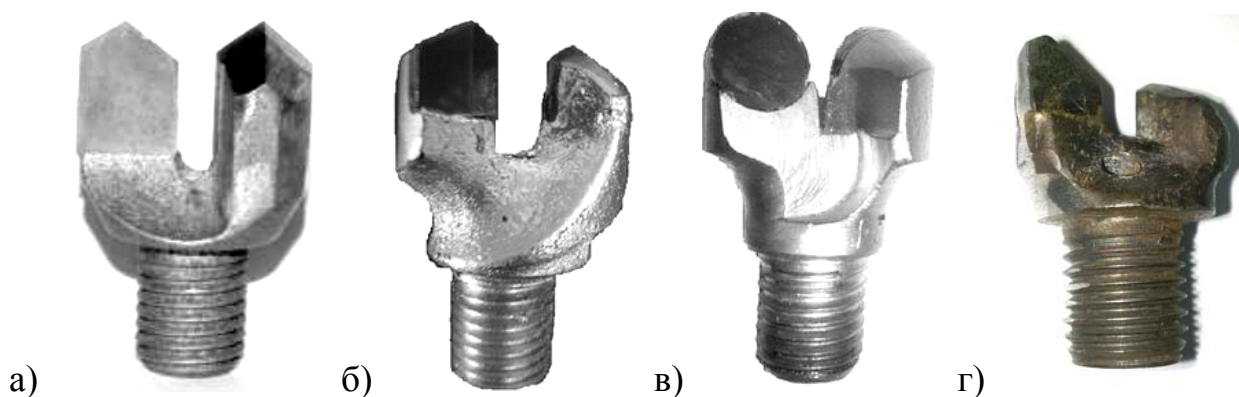


Рис. 4. Типы испытанных резцов для бурения шпуров под анкерное крепление:  
а – РПА-32; б – РШ-181; в – РШ-183; г – РПА-181

Буровой резец должен отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать стабильную работу при бурении пород с твердыми включениями;
- поддерживать тепловой режим работы твердосплавных пластин;
- эффективно удалять из шпура буровую мелочь;
- быть ремонтпригодным и иметь возможность повторного использования после заточки режущей кромки;
- обеспечивать скоростной режим бурения;
- иметь высокую износостойкость;
- в условиях необходимости повышения несущей способности анкеров в неустойчивых породах обеспечивать возможность управляемого изменения профиля шпура с образованием полостей или винтовых пазов.

Основными критериями оценки эффективности работы резцов при бурении и нарезке пазов для установки анкеров послужили следующие показатели: проходка ( $h$ ), соответствующая количеству метров, пробуренных данным резцом до полного износа; проходка за рейс ( $h_p$ ), соответствующая количеству метров, пробуренных резцом с момента спуска до момента подъема его с забоя; средняя механическая скорость проходки ( $v_m$ ), соответствующая количеству метров, пробуренных в единицу времени ( $t_m$ ); средняя рейсовая скорость проходки ( $v_p$ ), соответствующая средней скорости углубления скважины с учетом затрат времени на разрушение породы и замену изношенного резца новым.

Как видно из результатов промышленных испытаний буровых резцов (табл. 1), наивысшую работоспособность и скоростной режим бурения показали резцы РПА-181.

Анализ и изучение опыта работы резцами РПА-181 показал, что одним из факторов, оказывающих влияние на режущий контакт, послужила ориентация потока продувки по отношению к режущей кромке. Сопла отклоняют струю продувки вперед по отношению к оси вращения корпуса буровой коронки в сторону режущей кромки под углом  $45^\circ-50^\circ$ , что позволило более эффективно удалять штыб, индивидуально очищать и охлаждать каждое перо резца.

Таблица 1

Результаты промышленных испытаний резцов для бурения и профилирования шпуров для установки анкерного крепления

Тип резца	Каналы для продувки, шт	Режим	Пройдено, м	Израсходовано резцов, шт	Ср. время углубления забоя на 2,4 м, мин	Проходка, одним резцом $h$ , м	Отн. погрешность, $\delta(h)$ , %
РПА-32	1	бурения	864	38	4,9	22,7	$\pm 16,2$
		+ профилир.	Не пригоден	–	–	–	–
РШ-181	1	бурения	1089	42	4,3	25,9	$\pm 17,1$
		+ профилир.	Не пригоден	–	–	–	–
РШ-183	1	бурения	778	24	4,4	32,4	$\pm 19,3$
		+ профилир.	Не пригоден	–	–	–	–
РПА-181	2	бурения	1555	24	3,1	64,8	$\pm 14,2$
		+ профилир.	2352	38	3,6	61,9	$\pm 12,4$

В резце РПА-181 два продувочных отверстия, расположенных между двумя опорными пластинами, формируют эффект срыва струи в непосредственной близости от режущих кромок. Продувка области резания двумя соплами дает дополнительные преимущества, так как продувочный поток очень быстро отклоняется от выбуриваемой породы и не загрязняет шпур. Как показал опыт проходки шпуров, данный эффект особенно важен при бурении глинистых минералов (монтмориллонит), у которых в одной плоскости существует ионная (более прочная) связь, а в другой – молекулярная (менее прочная). Поэтому неустойчивые породы, содержащие монтмориллонит, легче разрушаются по плоскостям с молекулярной связью.

Следует обратить внимание на напайку, в отличие от других резцов она толще, и врезана в тело пера, что дало возможность, во-первых, повторно затачивать резец, во-вторых, существенно снизить вероятность срыва напайки. Конструктивные и технологические преимущества значительно увеличивают срок работы резца, обеспечивают возможность его ремонта и повторного использования.

Уменьшенная длина пера резца РПА-181 пропорционально снижает длину рычага, а следовательно снижает силу воздействия породы на основание перьев, что повышает прочность конструкции. Геометрия режущих лезвий и рассечки обеспечивает повышенную удельную нагруженность резца, увеличивая его ресурс и скорость бурения при одновременном снижении пылеобразования. По сравнению с другими испытанными резцами, при прочих равных условиях, износостойкость резцов РПА-181 в 2,4-2,6 раз больше, среднее время на углубление забоя ниже на 19-58 % (табл. 1). Кроме того, конструкция данного резца позволяет осуществлять целенаправленное профилирование стенок шпуров для установки анкерного крепления повышенной несущей способности в неустойчивых породах (рис. 5).





Рис. 5. Трехзаходный винтовой паз, полученный при управляемом профилировании шпуров резцом РПА-181

В результате промышленных испытаний новых способов и средств поддержания подготовительных выработок, проведенных в условиях неустойчивых вмещающих пород 13-ой восточной и 12-ой, 13-ой западных лав пласта  $I_1$ , 2-5-ых западных лав пласта  $I_4$ , восточной уклонной и 18-ой восточной лав пласта  $m_3$ , установлено, что существенное повышение устойчивости подготовительных выработок достигается без увеличения трудоемкости крепления. По данным комплексного мониторинга проявлений горного давления смещения кровли штреков, закрепленных комбинированными рамно-анкерными креплениями с повышенной несущей способностью анкеров, снизились в среднем на 56 %. Техничко-экономический анализ, проведенный для 2-ой и 3-ей западных лав пласта  $I_4$  показал, что фактический экономический эффект от применения данных технологий и техники крепления подготовительных выработок, только за счет роста нагрузки на очистной забой по газовому фактору, составил более 2 млн. грн. По результатам научных исследований ИГТМ НАН Украины и многолетнему опыту поддержания подготовительных выработок на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» новые способы повышения несущей способности анкерных систем рекомендованы к применению в условиях неустойчивых пород.

Выводы. Промышленные испытания показали, что в сложных горно-геологических условиях неустойчивых (в том числе обводненных) пород анкерные штанги следует устанавливать в шпуров, обеспечивающие повышенную связь сталеполлимерного анкера с породой. Образование таких шпуров реализуется технологиями и техническими средствами нарезки заданного рельефа стенок шпуров с применением специализированных буровых ставов и резцов. Лучшие показатели работы как при бурении, так и при профилировании шпуров имеют резцы породные анкерные РПА-181, которые обладают наиболее высокими техническими характеристиками: износостойкость выше аналогов в 2,4-2,6 раза, среднее время бурения 1 п. м. шпура ниже на 19-58 %, возможность целенаправленного изменения профиля стенок шпуров с образованием винтовых полостей.

#### Список литературы

1. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А. Ф. Булат, В. В. Виноградов. – Днепропетровск: «Вільпо», 2002. – 371 с.
2. Цикра, А.А. Разработка способов повышения несущей способности анкерной крепи при рамно-анкерном поддержании выработок в неустойчивых породах [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02 / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – 18 с.
3. Giraldo, L. Improved pull out strength of fully grouted roof bolts through hole geometry modification. // L. Giraldo, S. Cotten, J. Farrand / Proc. 24th Int. Conf. on Ground Control in Mng.-Morgantown, WVU, 2005.-Pp. 279 – 283.

4. Практический опыт повышения эффективности угледобычи и безопасности труда в сложных горно-геологических условиях [Текст] / И.Н. Слащев, С.А. Курносов, Е.А. Слащева и др. // Научный вестник НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2009. – № 11. – С. 20-25.

5. Курносов, С.А. Повышение несущей способности комбинированной рамно-анкерной крепи в сложных горно-геологических условиях [Текст] / С.А. Курносов, И.Н.Слащев, А.А. Цикра // Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2007. – Вып. 69. – С. 114-121.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.  
Надійшла до редакції 02.10.10*

УДК 622.276

© А.В. Инкин, Н.А. Максимова-Гуляева

## **ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ПРИ ЛИФТИРОВАНИИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ**

Разработана математическая модель извлечения вязкопластичной жидкости с помощью эрлифта. На ее основе установлено изменение свойств газожидкостной смеси вдоль ствола скважины, что позволило минимизировать расход энергии затрачиваемой на подъем жидкости.

Розроблена математична модель вилучення в'язкопластичної рідини за допомогою ерліфта. На її основі встановлена зміна властивостей газорідинної суміші уздовж стовбура свердловини, що дозволило мінімізувати витрату енергії, що витрачалась на підйом рідини.

With the help of airlift the mathematical model of viscoplastic fluid extraction is developed. As a result the liquid-gas mixture properties changing along a borehole, that has allowed to minimize power consumption on liquid lifting is assigned.

*Введение.* Широко применяемый в практике разработки нефтяных и газовых месторождений насосный подъем жидкостей из земных недр на дневную поверхность сопряжен с большими затратами энергии. Кроме того, установка насосов в скважинах малого диаметра, используемых при освоении локальных месторождений жидких полезных ископаемых, приводит к их быстрому износу и становится неэффективной. Альтернативным способом добычи вязких жидкостей является компрессорная эксплуатация скважин с применением воздушных подъемников – эрлифтов. При этом подъем жидкости происходит посредством подающегося в сжатом виде и смешиваемого с ней газообразного рабочего агента (газа, воздуха или пара).

Повышение рентабельности добычи вязких жидкостей возможно путем сокращения непроизводительных энергетических затрат, возникающих при неадекватном учете изменения гидродинамических параметров лифтируемой смеси по высоте подъемных труб. Поэтому определение особенностей восходящего потока, вызванных неравномерным распределением давления вдоль ствола скважины, является актуальной научно-практической задачей.

*Физические основы модели.* Схема работы воздушного подъемника для откачки вязкопластичной жидкости, приведена на рис. 1. В скважины, через которые планируется производить ее отбор, спускаются два ряда насосно-