

УДК 622.233

Промывка при бурении восстающих скважин

Юшков И. А.* , Юшков А. С., Серомаха П. Г.

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Поступила в редакцию 11.03.09, принята к печати 08.11.09.

Аннотация

Рассмотрены особенности промывки восстающих скважин из подземных горных выработок. Основная цель исследований заключается в определении минимального расхода жидкости, необходимого для очистки скважины от частиц выбуренной породы. Установлено, что угол наклона скважины, равный 23 градуса обеспечивает скорость потока, большую, чем критическая скорость заиливания (зашламования) трубопровода, рассчитанная по методикам гидротранспортирования разрушенной горной породы. Доказано, что для очистки забоя достаточно безнапорного потока промывочной жидкости в количестве 10 л/мин. Для проверки полученных зависимостей создан экспериментальный стенд. Проведенные на моделях бурового снаряда опыты подтверждают сформулированные в статье выводы. В ходе эксперимента также установлено, что врашающаяся бурильная труба препятствует процессу осадконакопления шлама.

Ключевые слова: промывка, восстающая скважина, расход жидкости, очистка забоя.

В процессе работ по добыче угля в шахтах Донбасса бурят большое количество восстающих скважин (в основном дегазационных). Очистка скважин от разрушенной породы (шлама, штыба) может осуществляться путем продувки или промывки. Первый способ удобен, так как практически везде имеются трубопроводы подачи сжатого воздуха, но небезопасен при пересечении скважинами угольных пластов в связи с низкой степенью охлаждения долота и возможностью перегрева и возгорания угля. Практически повсеместно применяется промывка водой, подаваемой насосами при замкнутой системе циркуляции, или непосредственно от шахтного водопровода со сливом выходящей воды в систему шахтного водоотлива. В обоих случаях по понятным причинам желателен минимально возможный расход (подача) воды.

Благоприятным фактором является то, что в отличие от вертикальных и наклонных скважин шлам в восстающей скважине смывается по наклонному руслу, то есть подача жидкости должна быть достаточной для охлаждения долота и обеспечения движения шлама по дну ствола скважины. Очевидно, что в этом случае достаточна подача, обеспечивающая безнапорный поток жидкости. Применение напорного потока приведет лишь к повышенному расходу воды и энергозатрат.

Вопросы теории безнапорных потоков в трубопроводах детально рассмотрены применительно к гидромеханизации горных работ [1] и канализационных систем [2, 3]. Ближе к рассматриваемому вопросу находятся канализационные системы, так как гидротранспорт пород предполагает относительно большие размеры транспортируемых кусков породы и ориентируется на определенную производительность трубопровода.

Целью работ, выполненных на кафедре технологии и техники геологоразведочных работ Донецкого национального технического университета в рамках темы статьи, являлось:

- 1) определение минимальной величины подачи воды, при которой обеспечивается как охлаждение долота, так и очистка скважины от шлама;
- 2) экспериментальная проверка достаточности принятых рекомендаций.

От величины подачи непосредственно зависит степень охлаждения породоразрушающего инструмента. Наиболее опасен нагрев алмазных коронок и долот, так как алмазы теряют

* E-mail: ttgr@pop.dgtu.donetsk.ua

прочность из-за нагрева в большей степени, чем твердосплавные вставки или зубцы шарошечных долот. Кроме того, при алмазном и твердосплавном бурении величина трения скольжения значительно выше, чем у шарошечных долот.

Разработчики алмазных коронок [4] отмечают, что «расход жидкости, необходимый для предотвращения температурных изменений в алмазных зернах и так называемого прижога коронок невелик (5-7 л/мин)». Другой источник [5] указывает, что «при работе в режиме «мокрого» трения температура на торце матрицы не превышает 200°C, что не опасно для алмазов». Экспериментальные работы, выполненные в ПГО «Севкавгеология» [6] установили, что вполне достаточным как для охлаждения коронок, так и для очистки скважины является расход 10 л/мин при условии, что в области забоя искусственно создается подпор жидкости.

Основными зависимостями, определяющими режим движения жидкости при безнапорном потоке, являются [2, 3] формула Шези, гидравлический радиус и уклон дна скважины. Формула Шези выглядит как:

$$Q = \omega C \sqrt{iR}, \quad (1)$$

где Q – расход жидкости;

ω – площадь живого сечения потока;

i – уклон ствола скважины;

R – гидравлический радиус;

C – коэффициент Шези.

Коэффициент C определяется по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости,

y – коэффициент, определяемый по формуле $y = 1,5\sqrt{n}$.

Для рассматриваемых условий бурения может быть принят коэффициент шероховатости $n = 0,02$, установленный для желобов, вырубленных в скале. Тогда коэффициент $y = 0,212$.

Гидравлический радиус равен:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (3)$$

где χ – смоченный периметр – длина контура сливного сечения по стенкам скважины.

Применительно к круглому сечению смоченный периметр равен длине дуги, зависящий от радиуса скважины r и центрального угла φ :

$$l = 0,017453r\varphi, \quad (4)$$

Уклон скважины определяется по формуле:

$$i = \frac{h}{l} = \sin \eta, \quad (5)$$

где h – разница высот устья и забоя скважины на длине l ,

η – угол наклона.

Для подсчетов производительности трубопроводов важным считается показатель наполнения:

$$a = \frac{h_n}{H}, \quad (6)$$

где h_n – высота сегмента, заполненного жидкостью,

H – высота предельного наполнения (для трубы $H=D$).

В геометрии величина h_n называется стрелкой и связана с центральным углом φ выражением:

$$h_n = 2r \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{4}. \quad (7)$$

Минимальный уклон i_{\min} связан с критической скоростью потока $V_{кр}$, при которой не создается «заиления» - накопления осадков в русле потока:

$$i_{\min} = \frac{\lambda}{4R} \frac{V_{кр}^2}{2g}. \quad (8)$$

Особенностью потока в скважине является то, что в русле (сечении скважины) находится буровая труба, занимающая значительный объем. Это затрудняет расчеты, так как условия, для которых предназначены формулы (1) - (6), не предполагают нахождения в русле потока каких-либо обтекаемых тел. Выведение зависимостей для таких условий могло бы быть предметом специального исследования, но вряд ли имеет прикладное значение.

Буровая труба при бурении изогнута, прижата гребнем полуволны к стенке скважины и в процессе вращения за каждый оборот снаряда последовательно проходит стадии, показанные на рис. 1.

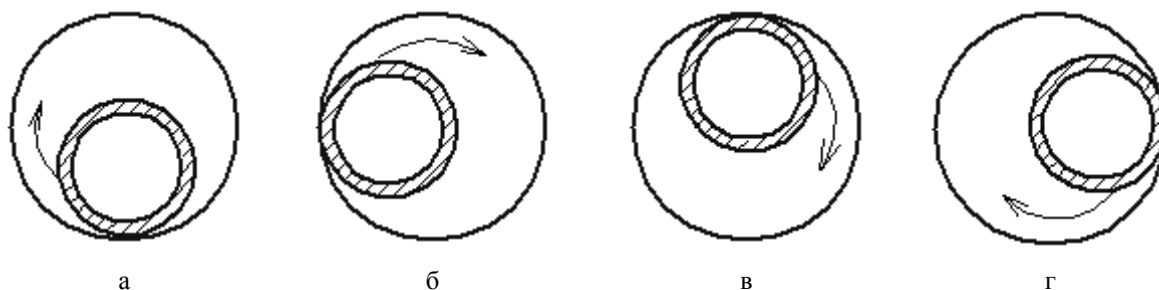


Рис. 1. Положение вращающейся буровой трубы в скважине

Очевидно, что в положении *a* труба находится только 25 % времени. В положениях *б*, *в*, *г* при достаточно больших центральных углах нижняя часть русла свободна от препятствия и расчет может быть выполнен по классическим зависимостям. В худшем варианте поток из-за переменных сопротивлений будет иметь пульсирующий характер.

Выполненный согласно зависимостям (1) – (6) расчет границы между напорным и безнапорным потоком для наиболее распространенных сочетаний диаметров скважины и труб и угла наклона скважины 5° показал (табл. 1), что расходы, при которых создается напорный поток, значительно превышают обычно применяемые. Таким образом, поток в восстающих скважинах всегда безнапорный. Исключение составляет сочетание диаметров 93/89 мм, при котором расход составляет менее 4 л/мин.

Табл. 1. Расход жидкости, соответствующий напорному потоку

Диаметр скважины, мм	Диаметр буровых труб, мм	Площадь живого сечения, м ²	Гидравлический радиус, м	Коэффициент Павловского	Расход	
					м ³ /с	л/мин
76	50	0,002572	0,0065	17,19126	0,001054	63,2
93	50	0,004827	0,01075	19,1262	0,002831	169,8
76	42	0,003149	0,0085	18,19729	0,001562	93,7
93	89	0,000571	0,001	11,56032	0,000062	3,7
130	89	0,007049	0,01025	18,93405	0,003995	239,7

Это свидетельствует о том, что для создания подпора в призабойной зоне с целью заполнения зоны работы долота по всему сечению забоя достаточно за долотом установить короткий отрезок колонковой трубы. Она будет служить также и для предотвращения искривления скважины.

Другая серия расчетов преследовала цель установить для разных углов наклона условия, соответствующие расходу 10 л/мин и скорость потока для этих условий (табл. 2, рис. 2).

Табл. 2. Скорость потока жидкости при расходе 10 л/мин

Угол наклона, град	Угол сегмента, град	Площадь сегмента, м ²	Смоченный периметр, м	Гидравлический радиус, м	Коэффициент Павловского	Скорость потока, м/с
5	89	0,000399	0,05899	0,00676	17,337	0,42
10	81,6	0,000314	0,05409	0,00579	16,779	0,53
15	77,7	0,000273	0,0515	0,00531	16,467	0,61
20	75,2	0,000249	0,04985	0,00499	16,26	0,67
23	74	0,000238	0,04905	0,00485	16,159	0,70
25	73,25	0,000231	0,04856	0,00476	16,095	0,72

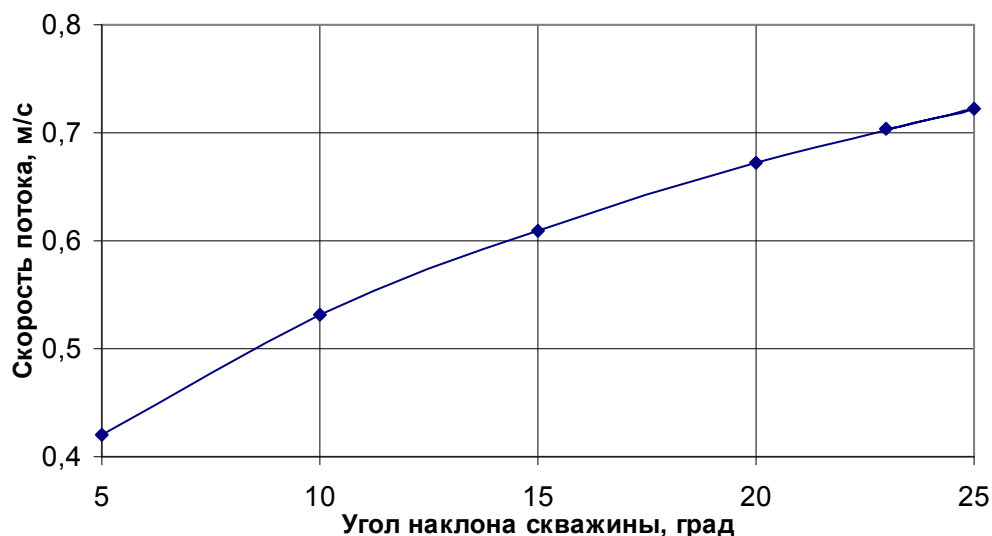


Рис. 2. График зависимости скорости потока от угла наклона восстающей скважины при расходе жидкости 10 л/мин

Для канализационных систем нормативная критическая (незаиляющая) скорость установлена в размере 0,7 м/с.

Такой скорости, применительно к скважине, соответствует угол наклона 23°. Очевидно, что для любых больших углов наклона беспрепятственный вынос шлама при расходе 10 л/мин гарантирован.

Критическая скорость потока может быть определена по эмпирической формуле [2]:

$$V_{кр} = 1,57^m \sqrt[m]{R}, \quad (9)$$

где m - определяется из выражения $m=3,5+0,5R$.

Для гидравлического радиуса $R = 0,006764$, соответствующего подаче 10 л/мин и углу наклона 5° (см. табл. 2) критическая скорость составляет:

$$V_{кр} = 1,57^{3,503} \sqrt[3,503]{0,006764} = 0,38, \text{ м/с,}$$

Эта величина меньше реальной скорости потока 0,42 м/с и, следовательно, осадконакопления может не происходить и при угле наклона 5°.

Для уточнения условий очистки скважины были проведены эксперименты, для чего разработан и изготовлен стенд (рис. 3). Скважину имитировала стеклянная труба с внутренним диаметром 55 мм. Трубу закрепили в стойке – универсальном столе УСИ-2, имеющем шкалу для установки и изменения угла наклона скважины.

В качестве шлама использовался мелкозернистый песок с преобладанием частиц диаметром 0,1–0,25 мм. Песок подавался с помощью смесителя через воронку. К смесителю был присоединен нагнетательный трубопровод.

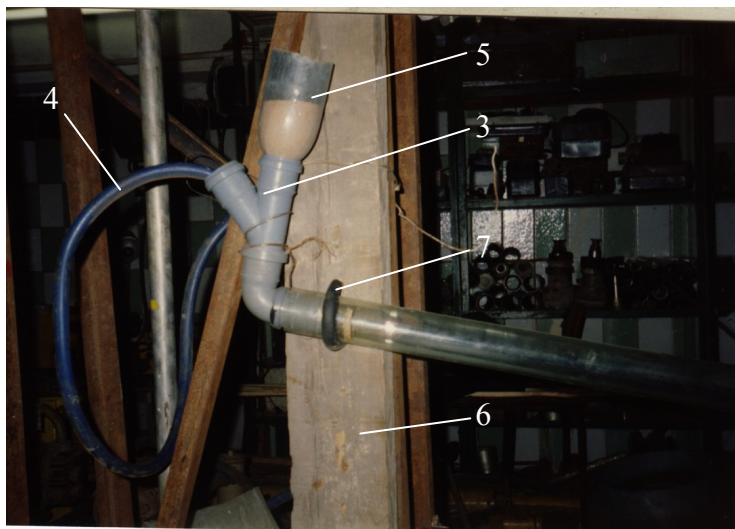
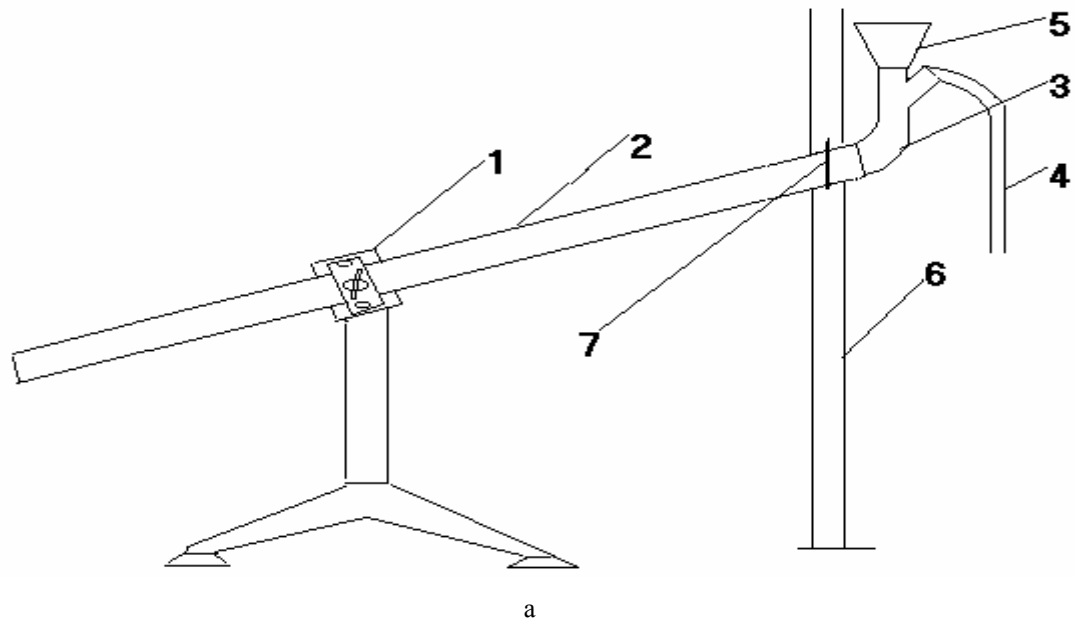


Рисунок 3 – Экспериментальный стенд

а - схема стенда; б - смеситель; в – общий вид стенда;

1 – стойка - универсальный стол УСИ-2; 2 – стеклянная труба; 3 – смеситель;

4 – нагнетательный трубопровод; 5 – воронка для подачи песка; 6 – опорная балка; 7 – хомут;

Подача песка составляла около $280 \text{ см}^3/\text{мин}$. Количество подаваемого песка рассчитано, исходя из условий, что диаметр бурения равен 55 мм (внутренний диаметр экспериментальной трубы), скорость разрушения породы около 5 м/час (8,33 см/мин), а коэффициент разрыхления - 1,4.

Вода в эксперименте подавалась буровым насосом НБ4-320/63 с регулировкой расхода трехходовым краном. Расход измерялся объемным способом с помощью мерного сосуда. Попытка подавать воду от водопровода не удалась, так как расход не превышал 3–6 л/мин.

Стеклянная труба позволяла визуально наблюдать поток и выполнять измерения смоченного периметра и высоты наполнения, для чего на ее наружной поверхности была нанесена разметка.

На первом этапе экспериментальных исследований наблюдалось поведение потока в пустой трубе. Формирование осадка наблюдалось только при уменьшении угла наклона до 2 градусов. Уровень жидкости в трубе составил 10 мм. Расчетное живое сечение $\omega = 0,0002949 \text{ м}^2$. Скорость потока составила $V=0,565 \text{ м/с}$.

Полученные данные показывают хорошую сходимость с теоретическими расчетами.

На втором этапе в условную скважину была помещена легкосплавная бурильная труба ЛБТН-42 диаметром 42 мм. При всех задаваемых углах наклона от 15° до 3° наблюдался осадок в узком зазоре между нижней частью трубы и стенкой скважины. Максимальная длина дуги, определяющая уровень осадка изменялась в указанных пределах углов наклона от 55 до 120 мм, но при всех углах осадконакопление после достижения определенного максимального значения уровня прекращалось и поток шел поверх осадка.

Практического значения данный этап исследований не имел, так как в процессе бурения труба вращается, но показательным является факт выноса всех частиц шлама после выпадения некоторой его части в осадок.

На третьем этапе осуществлялось вращение бурильной трубы вручную с частотой примерно 120 об/мин, что соответствует приблизительно первой скорости буровых станков. Из-за малых габаритов экспериментального стенда вращался короткий прямолинейный отрезок бурильной трубы, находящийся на лежащей стенке скважины, в то время как в реальных условиях колонна труб изогнута, а гребни полуволин изгиба обращаются вокруг оси скважины.

Какие-либо измерения осуществить во взмученной смеси было невозможно, но наблюдалось полное отсутствие осадконакопления и визуально отмечалось уменьшение скорости выноса частиц с уменьшением угла наклона.

Выводы

1. Процесс движения шлама вниз по восстающей скважине небольшого диаметра подчиняется классическим законам гидравлики, используемым для расчетов движения жидкости в трубах и лотках большого размера.
2. подача воды в количестве 10 л/мин является достаточной для охлаждения долот и выноса шлама.
3. В процессе бурения вращающиеся трубы взмучивают шламный поток и препятствуют осадконакоплению.

Библиографический список

1. Лобанов, Д.П. Гидромеханизация геологоразведочных и горных работ /Д.П.Лобанов, А.Е.Смолдырев – М.: Недра, 1974. – 296 с.
2. Федоров, Н.Ф. Канализация: учебное пособие /Н.Ф. Федоров, С.М. Шифрин. – М.: Высшая школа, 1968. – 592 с.
3. Канализационные сети и сооружения (проектирование и расчет) /[Н.Ф. Федоров и др.] – Л.: Госстройиздат, 1961. – 315 с.

4. Справочное руководство мастера геологоразведочного бурения / [Г.А. Блинов и др.] – Л.: Недра, 1983. – 400 с.
5. Сулакшин, С.С. Бурение геологоразведочных скважин: справочное пособие. – М.: Недра, 1991. – 334 с.
6. Колосов, Д.П. Техника и технология бурения восстающих скважин / Д.П. Колосов, И.Ф. Глухов. – М.: Недра, 1988. – 150 с.

© Юшков И. А., Юшков А. С., Серомаха П. Г., 2010.

Анотація

Розглянуто особливості промивання свердловин, що повстають, з підземних гірських вибоків. Основна мета досліджень полягає у визначенні мінімальної витрати рідини, необхідної для очищення свердловини від часток вибуреної породи. Установлено, що кут нахилу свердловини, який складає 23 градуси забезпечує швидкість потоку, більшу, ніж критична швидкість замулювання (зашламування) трубопроводу, розрахована по методиках гідротранспортування зруйнованої гірської породи. Доведено, що для очищення вибою досить безнапірного потоку промивної рідини в кількості 10 л/хв. Для перевірки отриманих залежностей створений експериментальний стенд. Проведені на моделях бурового снаряда дослідження підтверджують сформульовані в статті висновки. У ході експерименту також установлено, що бурильна труба яка обертається перешкоджає процесу опадонакопичення шламу.

Ключові слова: промивання, свердловини що повстають, витрати рідини, очищення вибою.

Abstract

Washing features of rising boreholes from underground mining developments are considered. The main objective of probes is in definition of the minimum expense of the liquid that is needed for clearing the hole from particles of the destroyed rock of breed. It is established that the discharge angle of a chink equal of 23 degrees provides speed of a stream, bigger, than critical speed silt accumulation (deposit's accumulation of the destroyed rock) the pipe duct, calculated on techniques of hydrotransportation of the destroyed rock. It is proved that it is enough for clearing of a face unpressured head stream of a washer fluid in number of 10 l/minutes. For the check of the received dependences the experimental stand is created. Completed experiments on models of a chisel shell confirm the conclusions formulated in article. During experiment also established that the rotating drill pipe tube interferes with deposit's accumulation process of the destroyed rock.

Keywords: washing, rising boreholes.