

ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 622.233.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПНЕВМОУДАРНИКА С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ШЛАМОТРАНСПОРТОМ

А. А. Липин, Ю. П. Харламов, В. В. Тимонин

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Приведены результаты экспериментальных исследований пневмоударника с обратной циркуляцией очистного агента. Определены рациональные значения зазора между призабойным пакером и стенками скважины. Предложено техническое решение для повышения эффективности работы циркуляционной системы.

Буровой снаряд, кольцевой пневмоударник, обратная циркуляция, очистной агент, циркуляционная система, призабойный пакер, воздушная завеса

Бурение скважин с применением погружных пневмоударников с обратной циркуляцией очистного агента в ряде зарубежных стран (Германия, Великобритания, США) производится на протяжении уже более двух десятилетий. Перспективность этого способа проходки скважин высоко оценена и признана специалистами как в России, так и за рубежом [1]. Ведущими европейскими и мировыми производителями погружных пневмоударных машин, такими, как WIRTH (ФРГ), Sandvik AB, Atlas Copco (Швеция), Numa (США), хорошо известными на рынке буровой техники, выпускается типоразмерный ряд пневмоударников, называемых кольцевыми по форме ударного элемента. Они предназначены для полного сбора всего бурового шлама на забое путем концентрации его в центральном шламопроводе пневмоударника, соединенном с внутренней трубой двойной буровой колонны [2]. Это является существенным достоинством таких машин при современных требованиях к охране окружающей среды. При использовании пневмоударников с центральным шламотранспортом вместо колонковых буров при геолого-разведочном бурении на твердые полезные ископаемые значительно повышается достоверность и производительность геологических проб [3]. Изложенное свидетельствует о важности развития этого направления в технике и технологии бурения, которое специалисты практически единодушно характеризуют как революционный прорыв [1, 4].

Лидирующие позиции в общей мировой тенденции развития буровых снарядов с центральным транспортом шлама занимает Институт горного дела СО РАН [5, 6]. В начале 80-х годов XX в. его сотрудниками при взаимодействии с СКБ "Геотехника" (Москва) созданы пневмоударники ПКР-190/60 и ПК-132 с центральным шламотранспортом, превосходящие по своим ха-

рактикам и технологичности изготовления разработанные значительно позже зарубежные аналоги. Испытания пневмоударников типа ПКР-190/60 проводились в Ягоднинской геологоразведочной экспедиции ПГО “Севостгеология” при разведке россыпного золота и продемонстрировали их несомненные преимущества перед буровыми снарядами с периферийным выносом шлама по скорости бурения, производительности и достоверности геологических проб.

Достоверность опробования устанавливалась в натуральных условиях при бурении скважин на правой террасе ручья “Порфиновый” в Ягоднинской ГРЭ ПГО “Севостгеология”. Геологическое строение террасы представлено делювиальными отложениями мощностью от 0.5 до 2.0 м и подстилающими их песчано-глинистыми сланцами средней трещиноватости с прожилками кварца. Породы находились в мерзлом состоянии, а скважины характеризовались незначительными водопритоками со статическим уровнем 2–4 м от поверхности.

На первом этапе в пробуренные на глубину 20–25 м скважины опускались свинцовые навески массой до 1 г, после чего проводилась их забутовка и последующее разбуривание с отбором проб и их обработкой на промприборе “Проба-2м” с доводкой по установленной технологии. Извлекаемость навесок из пяти опытов стабильно составляла не менее 90 % [4].

Образец пневмоударника ПК-132 прошел опытно-промышленную проверку в Южной Якутии. В ходе испытаний установлено, что кольцевые пневмоударники в сочетании с двойной бурильной колонной особенно эффективны в разрезах с высоким содержанием валунно-галечных отложений, прослоек глинистых пород и наличием интенсивных водопритоков. Последнее достигается за счет реализованного в пневмоударниках реверсирования потока энергоносителя [4].

Проведенные испытания выявили надежность и работоспособность опытных образцов отечественных кольцевых пневмоударников. По результатам приемочных испытаний они были рекомендованы в серийное производство, освоению которого помешал распад СССР и дальнейшие события 90-х годов XX в.

При современном состоянии дел [7] в области создания кольцевых пневмоударников одной из основных задач является повышение эффективности выноса выбуренной породы через центральную шламотранспортную магистраль. Чем полнее его сбор на забое для последующей транспортировки через центральную трубу, тем более кольцевой пневмоударник соответствует своему назначению. Поэтому тщательная проработка циркуляционной системы, которая является ключевым звеном, влияющим на эффективность работы пневмоударника с обратной циркуляцией очистного агента, представляется актуальной задачей.

Для определения наиболее значимых параметров циркуляционной системы проведено экспериментальное исследование ее рабочего процесса, по результатам которого оценивалось влияние на эффективность выноса породного материала размеров выхлопных и шламособорных отверстий, а также их конфигурация и место расположения относительно дна забоя, размеры и расположение призабойного пакера, конфигурация и размеры выхлопных пазов, наличие или отсутствие эжекционных отверстий в транспортной магистрали. Для исследования циркуляционной системы пневмоударника с центральным шламотранспортом в лаборатории бурения ИГД СО РАН создан стенд (рис. 1) [8], конструкция которого защищена патентом РФ [9].

Стенд состоит из имитатора бурового снаряда, имитатора бурового инструмента, имитатора скважины, а также адаптера. Имитатор бурового снаряда представляет собой две коаксиально расположенные трубы — наружную 1 и внутреннюю 2, образующие напорный 3 и выхлопной 4 тракты и соединенные с буровым инструментом 6. Центральный канал бурового инстру-

мента 10 сообщен с забоем рядом наклонно направленных от периферии к центру воздухо-сборных каналов 11. Имитатор скважины 5 выполнен в виде полиуретановой трубы с внутренним диаметром 138 мм, загерметизированной с нижнего торца, и образует с наружной трубой имитатора бурового снаряда затрубное пространство. На наружной поверхности бурового инструмента 6 установлен забойный пакер 12, разделяющий затрубное пространство на верхнюю и нижнюю призабойную зоны.

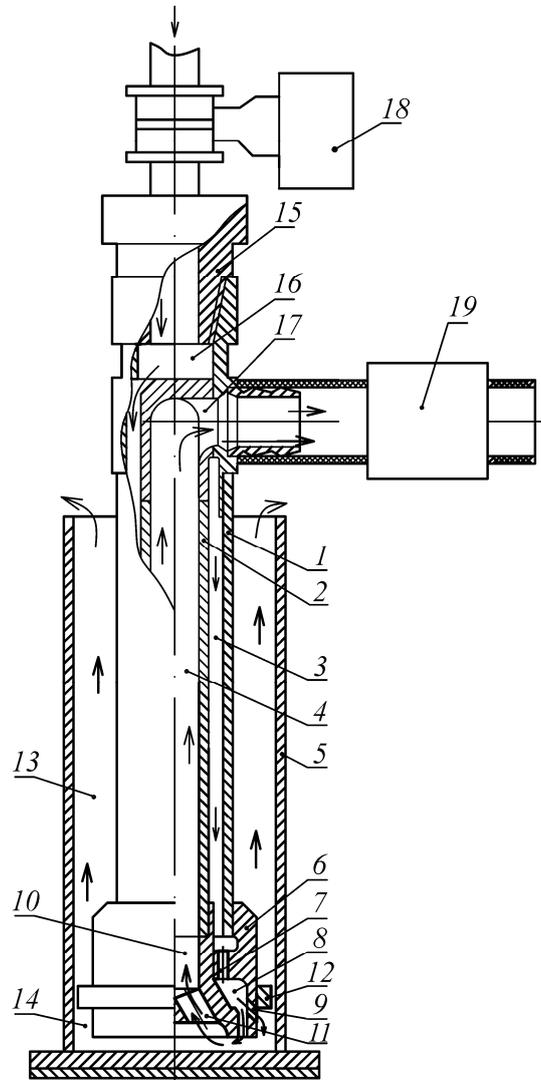


Рис. 1. Стенд для исследования бурового снаряда с обратной циркуляцией очистного агента: 1 — наружная труба имитатора бурового снаряда; 2 — внутренняя труба имитатора бурового снаряда; 3 — напорный тракт; 4 — выхлопной тракт; 5 — имитатор скважины; 6 — имитатор бурового инструмента; 7 — продувочные отверстия; 8 — кольцевая камера; 9 — наклонные продувочные отверстия; 10 — центральный канал; 11 — воздухо-сборные каналы; 12 — забойный пакер; 13, 14 — верхняя и нижняя зоны затрубного пространства; 15 — адаптер; 16, 17 — напорный и выхлопной каналы адаптера; 18, 19 — расходомеры

При помощи адаптера 15 стенд присоединен к универсальному стенду для испытания буровых снарядов. Напорный канал 16 адаптера связан с напорной магистралью энергоносителя универсального стенда и соединен с напорным трактом 3 имитатора бурового снаряда. Выхлопной канал 17 адаптера служит для отвода отработанного энергоносителя из выхлопного

тракта 4 имитатора бурового снаряда. Для измерения расхода очистного агента, подаваемого в напорный канал имитатора бурового снаряда, и расхода отработанного сжатого воздуха, проходящего по выхлопному каналу имитатора бурового снаряда, использованы расходомеры 18 и 19.

Циркуляционная система стенда представлена в виде напорного канала 16 адаптера 15, напорного тракта 3 имитатора бурового снаряда, продувочных отверстий 7, кольцевой камеры 8, центрального канала 10, наклонно направленных от периферии к центру бурового инструмента 6 воздухоборных каналов 11, выхлопного тракта 4 имитатора бурового снаряда и выхлопного канала 17 адаптера 15 (см. рис. 1).

Работает стенд следующим образом. При открытии магистрали по напорному каналу адаптера подается очистной агент (сжатый воздух), количество которого измеряется расходомером 18. Далее по напорному каналу имитатора бурового снаряда сжатый воздух поступает через продувочные отверстия, кольцевую камеру, зазор между буровым инструментом и дном имитатора бурового снаряда, а затем через воздухоборные каналы в центральный канал бурового инструмента, осуществляя продувку бурового инструмента и выхлопного канала имитатора бурового снаряда. Отработанный сжатый воздух по выхлопным каналам имитатора бурового снаряда и адаптера поступает к расходомеру 19 и затем выхлопывается в атмосферу.

Разделение потока очистного агента при помощи адаптера на напорный и выхлопной тракты позволяет получить зависимость расхода отработанного очистного агента из выхлопного канала адаптера от расхода очистного агента, продуваемого через имитатор снаряда (назовем ее коэффициентом эффективности K_3). Эта зависимость дает возможность оценить влияние основных геометрических размеров пневмоударника и бурового инструмента на работу циркуляционной системы. Использование имитатора пневмоударника позволяет в ходе экспериментов варьировать эти размеры в широком диапазоне, добиваясь наилучших значений двух критериев эффективности работы циркуляционной системы: соотношения расходов исходящего из адаптера и входящего в него сжатого воздуха, а также скорости восходящего потока в шламотранспортной магистрали.

При известном из показаний расходомера 18 значении расхода, поступающего в напорную магистраль, эффективность работы циркуляционной системы имитатора и пневмоударника оценивалась по показаниям расходомера 19, регистрирующего количество и скорость движения выхлопываемого через центральную трубу воздуха. Чем выше эти значения, тем более качественной будет работа циркуляционной системы кольцевого пневмоударника.

Конструкция имитатора снаряда позволяет изменять следующие параметры (рис. 2):

- расстояние от нижней кромки призабойного пакера до дна забоя $b1$;
- расстояние от выхлопных отверстий буровой коронки до дна забоя $b2$;
- расстояние от дна забоя до шламосборных отверстий буровой коронки $b3$;
- зазор между пакером и стенкой скважины путем изменения его диаметра $d2$.

Изменяя диаметр втулки 2, можно варьировать площадь выхлопного тракта. Имеется также возможность изменять в ходе экспериментов диаметр, количество и расположение шламосборных отверстий.

Проведенные на стенде эксперименты показали незначительную зависимость эффективности работы циркуляционной системы имитатора от параметров $b2$, $b3$, а также от конфигурации выхлопных и всасывающих отверстий. Так, при тройном увеличении параметра $b2$ (с 6 до 18 мм) коэффициент эффективности K_3 возрастает в среднем лишь на 3 %, так же как и при двойном увеличении параметра $b3$ (с 15 до 30 мм). Варьирование конфигурации шламосборных отверстий вообще не привело к изменению величины K_3 .

Последующие эксперименты показали, что наиболее значимое влияние на работу циркуляционной системы оказывает конструкция призабойного пакера, а именно его диаметр и расположение относительно дна забоя. Уменьшение диаметра призабойного пакера всего на 2 мм (со 136 до 134 мм) при неизменном диаметре скважины привело к снижению средней величины K_3 на 50 %. При увеличении параметра b_1 с 14 до 34 мм наблюдалось снижение среднего значения K_3 на 25.5 %. Следовательно, чем ближе к забою расположена нижняя кромка пакера и чем больше приближен его диаметр к диаметру скважины, тем эффективнее работает циркуляционная система имитатора бурового снаряда.

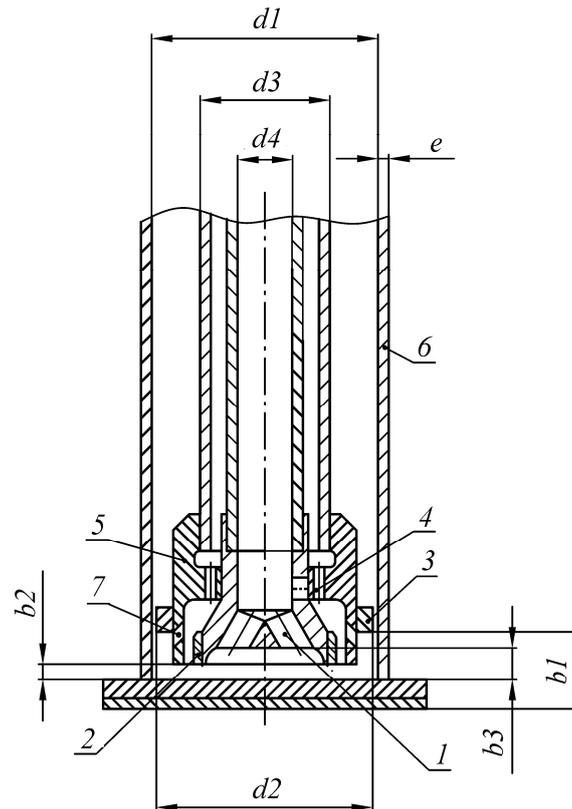


Рис. 2. Геометрические параметры имитатора бурового снаряда: 1 — шламособорное отверстие; 2 — втулка; 3 — призабойный пакер; 4 — эжекционное отверстие; 5 — буровой инструмент; 6 — имитатор скважины; 7 — экранное отверстие

Основным фактором, определяющим диаметр призабойного пакера, является диаметр бурового инструмента. Идеальным с точки зрения эффективности работы циркуляционной системы представляется пакер с диаметром, равным диаметру бурового долота, а значит, и скважины. Однако в реальных условиях бурения практически невозможно оснастить пневмоударник таким пакером в связи с неизбежным механическим износом бурового инструмента, который приведет к постепенному уменьшению его диаметра. Следовательно, использование призабойного пакера с диаметром, равным диаметру буровой коронки, рано или поздно вызовет заклинивание пневмоударника в скважине. Отсюда следует вывод о необходимости зазора между пакером и стенками скважины для обеспечения работоспособности пневмоударника в течение всего срока службы бурового долота при незначительном снижении эффективности работы циркуляционной системы пневмоударника.

Для разрешения возникающего противоречия предложено техническое решение, заключающееся в отводе части выхлопываемого на забой воздуха в зазор между пакером и стенкой скважины. В результате его применения в забойной части создается воздушная завеса, препятствующая попаданию бурового шлама в затрубное пространство. Для опробования этого технического решения на имитаторе пневмоударника в нижней части его бурового инструмента выполнен ряд наклонных от центра к периферии продувочных каналов 7 (см. рис. 2), создающих экран противодавления.

Испытания предложенного технического решения на имитаторе показали, что коэффициент эффективности циркуляционной системы повышается на 5–20 %.

В ходе экспериментов имитатор пневмоударника продувался с открытыми и закрытыми продувочными каналами, при этом все остальные параметры оставались неизменными. Результаты экспериментов представлены на рис. 3.

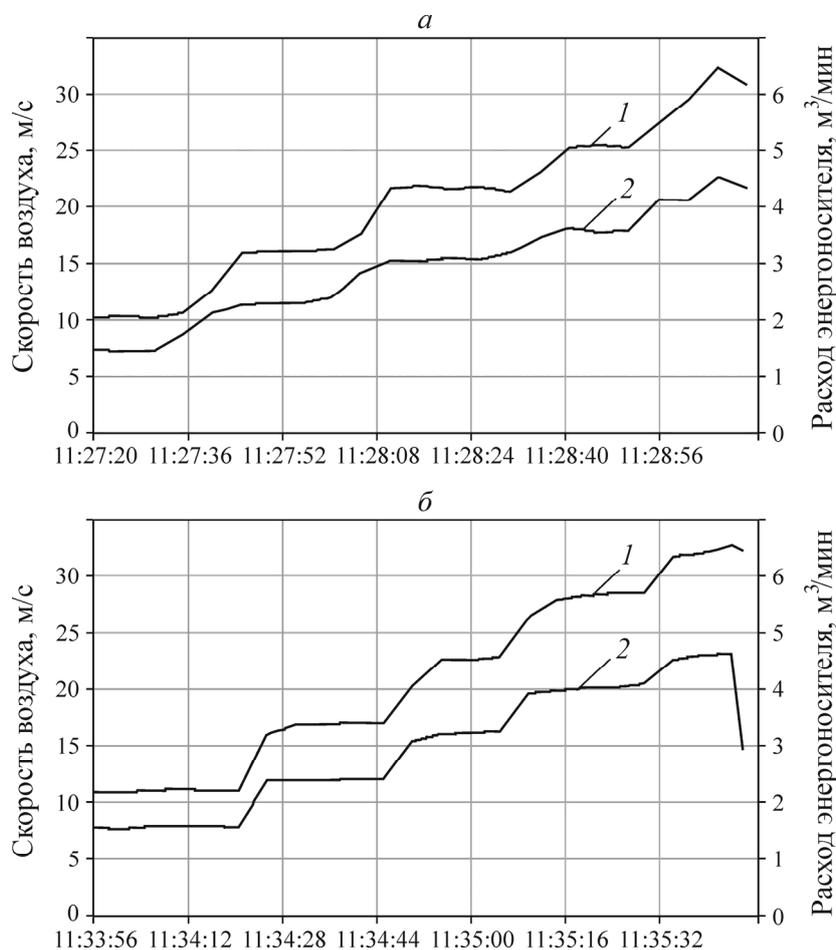


Рис. 3. Показания расходомера DS-300 при закрытых (а) и открытых (б) продувочных отверстиях имитатора пневмоударника: 1 — расход энергоносителя; 2 — скорость воздуха

Расход энергоносителя на выходе из центральной шламотранспортной магистрали увеличился ступенчато, в связи с чем кривые на рис. 3 имеют соответствующий вид. Значения расхода энергоносителя на входе оставались одинаковыми для обоих экспериментов. Некоторое несовпадение интервалов подачи по времени, прослеживаемое на графиках, на результаты эксперимента влияния не оказывала.

На рис. 3б зафиксированы показания расходомера DS-300 при открытых продувочных отверстиях имитатора пневмоударника, когда часть выхлопываемого воздуха отводится для создания воздушной завесы. Нетрудно заметить, что обе кривые расположены в целом выше значений, прослеживаемых на предыдущем (резкое снижение скорости воздуха, отмеченное на нижней кривой, вызвано перекрытием напорной магистрали по окончании эксперимента). Это свидетельствует о повышении эффективности работы циркуляционной системы имитатора пневмоударника.

Полученные результаты экспериментов использованы при модернизации кольцевого пневмоударника ПК-132 с целью повышения эффективности его работы. Учитывая наибольшую значимость таких факторов, как диаметр и расположение призабойного пакера, а также положительное влияние воздушной завесы, в конструкцию пневмоударника внесены соответствующие изменения. Их суть заключается в том, что в нижней части призабойного пакера 8 (рис. 4) выполнен ряд наклонных радиальных каналов 10, сообщающихся через кольцевую камеру 9 с продувочными пазами 13 бурового долота б, по которым часть выхлопываемого на забой воздуха отводится в затрубное пространство для создания там воздушной завесы, препятствующей попаданию бурового шлама в зазор между пакером и стенками скважины.

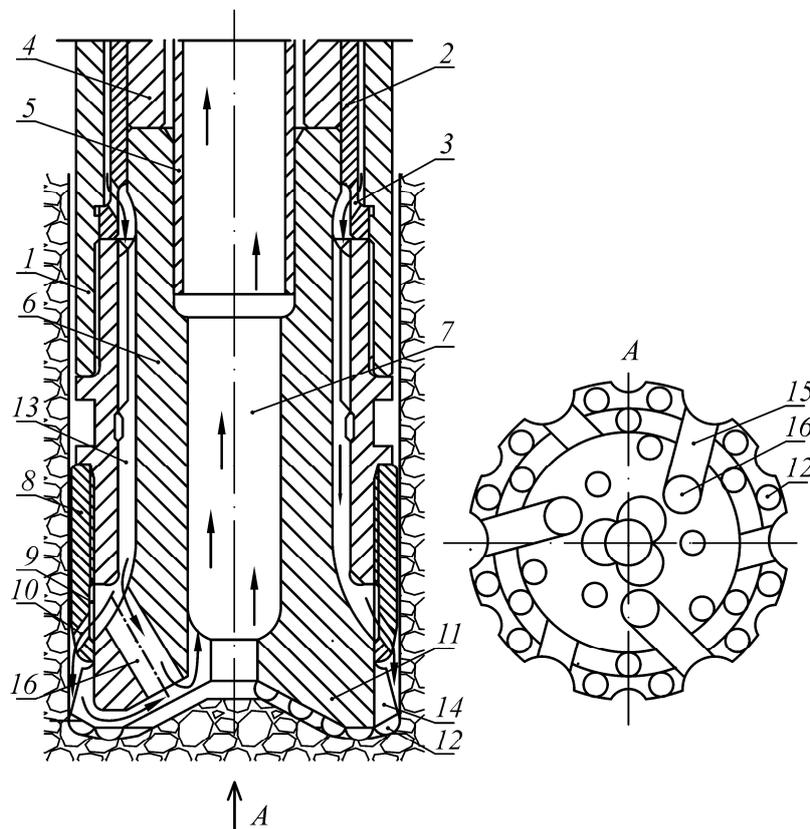


Рис. 4. Забойная часть пневмоударника с обратной циркуляцией очистного агента: 1 — корпус; 2 — гильза; 3 — выхлопные отверстия; 4 — ударник; 5 — центральная шламотранспортная труба; 6 — буровое долото; 7 — центральный шламприемный канал; 8 — призабойный пакер; 9 — кольцевая камера; 10 — продувочные каналы; 11 — головная часть бурового долота; 12 — породоразрушающие вставки; 13–15 — продувочные пазы; 16 — продувочные каналы

Циркуляционная система продувки забоя отработанным в снаряде энергоносителем, способствующая эффективной очистке забоя скважины, дополнена также продувочными пазами

14, 15 и наклонно направленными от периферии к центру продувочными отверстиями 16 бурового долота 6.

Результативность такого технического решения опробована на опытном образце пневмоударника ПК-132. Этот буровой снаряд устанавливался на универсальный стенд лаборатории бурения ИГД СО РАН, имитатором скважины служила труба диаметром 135 мм. Проведены эксперименты с пневмоударником без воздушного экрана и с тем же пневмоударником, оснащенный продувочными экранными каналами. Результаты представлены на рис. 5.

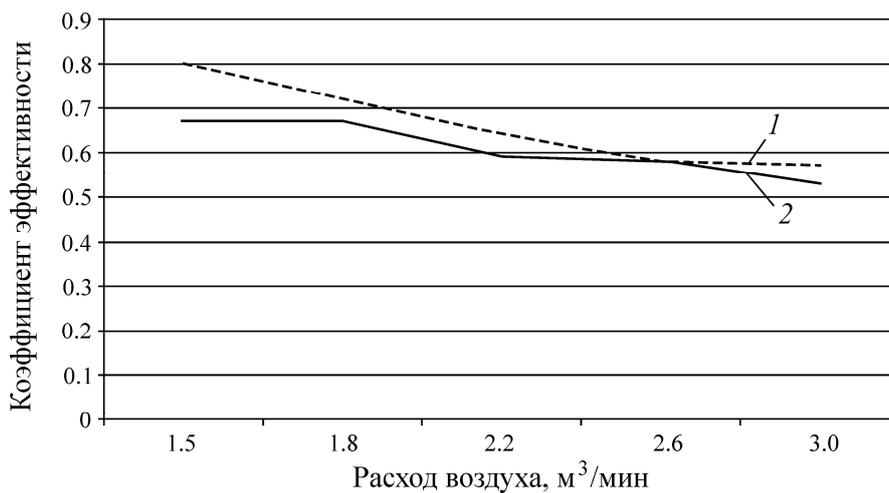


Рис. 5. Значения коэффициента эффективности при испытаниях пневмоударника ПК-132: 1 — с экраном противодавления; 2 — без экрана противодавления

Кривые на этом графике показывают отношение расхода энергоносителя на выходе из шламотранспортной магистрали к его расходу на входе в пневмоударник. Отчетливо видно, что при одинаковом расходе воздуха для пневмоударника ПК-132 значения коэффициента эффективности расположены выше при оснащении его экранными каналами.

ВЫВОДЫ

1. Разработан стенд-имитатор бурового снаряда, позволяющий достоверно воспроизводить работу циркуляционной системы пневмоударника с обратной циркуляцией очистного агента.

2. Установлено, что наиболее значимыми конструктивными факторами, оказывающими влияние на эффективность работы циркуляционной системы, являются расстояние от забоя до призабойного пакера и величина зазора между стенками скважины и пакером. Уменьшение зазора между стенками скважины и пакером позволяет достичь максимального показателя эффективности работы циркуляционной системы.

3. Предложено техническое решение, дающее возможность повысить эффективность выноса шлама через центральную трубу посредством отвода части выхлопываемого воздуха на забой через затрубное пространство для создания экрана, опробование которого в лабораторных условиях на экспериментальном образце пневмоударника ПК-132 показало целесообразность его применения в конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Экспресс-информация** «Техника, технология и организация геологоразведочных работ». — М.: ВИЭМС, 1991. — № 2.

2. **Пневмоударное** бурение геологоразведочных скважин снарядами с центральным шламотранспортом / Сб. тр. конф. “Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды”. Т. 2. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2009.
3. **Сыкчин М. Е.** Исследование влияния эжекторного устройства на работу кольцевого пневмоударника // ФТПРПИ. — 1992. — № 3.
4. **Смоляницкий Б. Н., Данилов Б. Б.** Погружные геологоразведочные пневмоударники с центральным шлагопроводом // Горные машины и автоматика. — 2002. — № 5.
5. **Патент № 2067148 РФ.** Кольцевой пневмоударник / А. А. Липин, Б. Н. Смоляницкий // Оpubл. в БИ. — 1996. — № 7.
6. **Патент № 2109124 РФ.** Погружная ударная машина для бурения скважин кольцевым забоем / А. А. Липин, С. А. Зима // Оpubл. в БИ. — 1998. — № 11.
7. **Харламов Ю. П.** Состояние и перспективы сооружения свайных фундаментов при обустройстве нефтегазовых месторождений в Южной Якутии / Сб. тр. конф. “Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды”. Т. 2. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2009.
8. **Харламов Ю. П., Тимонин В. В.** Создание стенда для исследования циркуляционной системы пневмоударника с обратной циркуляцией очистного агента / Сб. тр. конф. “Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды”. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012.
9. **Патент № 111182 РФ, Е21В 4/14 (2006.01).** Стенд для исследования бурового снаряда с обратной циркуляцией шлама / Ю. П. Харламов, Н. Н. Заболоцкая // Оpubл. в БИ. — 2011. — № 34.

Поступила в редакцию 10/1 2013