

2. С увеличением b и R_{opt} влияние зазора снижается, однако при этом снижается и величина полезного сигнала – интенсивности N регистрируемого гамма-излучения, что приводит к «зашумлению» сигнала, т. е. росту второй – случайной составляющей погрешности.

3. Для каждой геометрии измерений существует некоторый оптимальный выбор b и R_{opt} , при котором обе составляющих погрешности минимальны и приблизительно равны.

4. Для рассмотренной геометрии установлено, что оптимальными являются $b = 40$ мм и $R_{opt} = 4,1$ см. При этом время измерения желательнее увеличить до 2...4 с, что позволит получить результирующую абсолютную погрешность определения содержания Fe порядка 1 %.

5. Дальнейшее снижение влияния зазора без изменения аппаратной части возможно только при условии увеличения времени измерения, что может быть применимо, например, при разработке стационарных устройств определения содержания Fe в дробленой руде.

Библиографический список

1. Азарян А. А. Разработка методов и средств физико-технического контроля и управления качеством руд черных металлов при добыче и переработке: дис. ... д-ра техн. наук / А. А. Азарян. – Киев: НАН Украины, 1993.

2. Ядерная геофизика: лекции. Ч. 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studgeo.ksu.ru/ckfindercontent>.

3. Грищенко А.Н. Информационно-измерительная система оперативного использования данных каротажа / А. Н. Грищенко // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 31. – С. 218–220.

4. Азарян А. А. Модель геометрии измерения интенсивности рассеянного от горных пород гамма-излучения / А. А. Азарян // Институт проблем моделирования. Электронное моделирование. – Киев, 2010. – № 5. – С. 111–117.

Поступила 14.04.2016



УДК 622.241

Наука

А. А. Игнатов

ГВУЗ «Национальный горный университет»

Характеристика рабочих параметров устройства по подготовке скважин к креплению

Изложены причины кавернообразования в стволе скважины. Показана прямая зависимость эффективности буровых работ от качества проведения операций по креплению скважин. Изучено влияние геометрии рабочего органа устройства для очистки каверн на скоростные характеристики активного потока очистного агента. Полученные результаты могут быть положены в основу создания эффективной технологии крепления и тампонирования ствола скважины с высокими технико-экономическими показателями. (Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: скважина, каверна, глинисто-шламовые скопления, устройство для обработки, скоростная характеристика, очистной агент.

Reasons of the phenomenon caving are analysed in the tube of bore hole. Direct dependence of efficiency borings works is shown on quality of carrying out operations on timbering bore holes. Influence of geometry working organ device for processing cavities on velocity parameters of active stream of drilling mud is studied. By the methods of mathematical statistics confirmed authenticity of got data. The got results can be applied for making of effective technology of timbering and tamponing of tube of bore hole with high technical and economic indexes.

Key words: bore hole, cavity, clay-mud accumulations, device for processing, velocity parameter, drilling mud.

Введение

Получение высоких технико-экономических показателей на этапах сооружения и эксплуатации скважин возможно только при соблюдении

всех технологических требований и норм. Особенно жесткие условия предъявляются к мероприятиям, связанным с подготовкой скважины к креплению, от совершенства проведения ко-

торых напрямую зависит качество осуществления тампонажных работ. Вместе с тем успешное проведение указанных операций осложняется нарушением целостности ствола скважины, выражающееся, прежде всего, в наличии кавернозных зон, возникновение которых обусловлено множеством объективных геологических и субъективных технологических факторов [1]. К первой группе ведущих предпосылок образования каверн относятся геологические особенности формирования толщ пластов и свойства цементирующего вещества, а также естественная трещиноватость, пористость и закарстованность пород. Вторая группа объединяет факторы, связанные с особенностями циркуляционных процессов в стволе скважины при прокачивании очистного агента, механическом воздействии бурильной колонны и породоразрушающего инструмента на окружающие породы и т. д. Образующиеся кавернозные зоны, в силу гидродинамических особенностей транспортировки потоком очистного агента продуктов разрушения пород с забоя скважины на поверхность, являются объектами интенсивного шламонакопления. Следует отметить, что засорение каверн возможно и осыпавшимися с их стенок обломками пород. В результате наличия в очистном агенте глинистой фазы и ее довольно активного физического, а иногда и химического взаимодействия с продуктами разрушения в кавернозных интервалах формируются мощные глинисто-шламовые скопления. Их негативное влияние проявляется при поступлении в скважину тампонажного раствора, с которым они смешиваются в осложненных интервалах. Итогом таких процессов будет существенное понижение технологических свойств тампонажной смеси и как следствие – тампонажного камня. В связи с отмеченным перед устройством по очистке каверн ставится задача по разрушению и удалению глинисто-шламовых скоплений в период подготовки ствола скважины к креплению.

Целью настоящей работы является экспериментально-теоретическое изучение рабочих параметров устройства по подготовке скважин к креплению, а именно скоростных характеристик активных потоков, формируемых его рабочим органом, обеспечивающих разрушение и удаление глинисто-шламовых скоплений кавернозных интервалов.

Основной материал

Проведенные ранее исследования механизма функционирования устройства по подготовке скважин к креплению позволяют утверждать, что его лопастной исполнительный орган способствует возникновению направленных пото-

ков в объеме очистного агента, находящегося в стволе скважины [2]. В результате возникновения активных струй и их силового воздействия на частицы, слагающие глинисто-шламовые образования, происходит разрушение и удаление кавернозных скоплений. Таким образом, степень воздействия направленных потоков очистного агента будет определяться его скоростными характеристиками, являющимися производной гидродинамических особенностей рабочего элемента устройства по очистке каверн.

В связи с обозначенным на кафедре техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета были проведены исследования, посвященные изучению качественных и количественных гидромеханических параметров исполнительного устройства по подготовке скважин к креплению в широком диапазоне конструктивных характеристик [3].

Моделирование работы устройства по очистке каверн производилось на специально оборудованном стенде, который включает отрезок фасонной трубы. Она позволяет имитировать как сам процесс шламонакопления в каверне, так и механизм ее очистки. Кроме того, это также позволяет измерять выходные гидромеханические параметры активных потоков, формируемых с помощью рабочего органа изучаемого объекта.

Ввиду наличия значительного числа влияющих факторов и достаточной сложности экспериментального изучения исполнительного органа устройства для очистки каверн исследования проводили в несколько этапов:

1. Аналитический расчет функциональных параметров устройства.
2. Моделирование работы в жидкой среде.
3. Сравнение полученных результатов с теоретическими данными.

Экспериментальное моделирование разнообразных гидравлических машин (в особенности турбин), а также их отдельных рабочих органов широко применяется в промышленных и лабораторных исследованиях [4]. Тому причиной является малая доступность непосредственному инструментальному контролю многих параметрических характеристик устройств и чрезвычайная сложность протекающих в них процессов, которые во многих случаях невозможно оценить не только количественно, но и качественно. Все это приводит к необходимости осуществления некоторой идеализации и схематизации изучаемых объектов, что, однако, не влечет за собой искажения действительной картины функционирования тех или иных гидравлических машин. С целью облегчения и удешевления экспериментов допускается частичная за-

мена металлических исследуемых элементов гидравлических машин на легко выполнимые из пластмассовых или прочих подобных материалов. Сравнение результатов исследований, проводимых при такой постановке работ с одноименными данными, полученными в ходе промышленных испытаний, показывает их достаточно высокую степень точности и надежности.

При моделировании [5] гидромеханических явлений должны быть соблюдены геометрическое, кинематическое и динамическое подобия. Конструкция стенда по исследованию устройства для обработки ствола скважины позволяет моделировать его исполнительный орган в натуральную величину в пределах реально существующих соотношений, выражающихся коэффициентом кавернозности

$$K = \frac{V_\phi}{V_m} = \frac{D_\phi}{D_m}, \quad (1)$$

где V_ϕ и V_m – соответственно, фактический и теоретический (номинальный) объемы скважины, m^3 ; D_ϕ и D_m – соответственно, диаметры ствола скважины и породоразрушающего инструмента, m .

Таким образом, условия геометрического подобия выполнены.

Кинематическое подобие требует равенства полей скоростей в рассматриваемых потоках, а динамическое – предполагает, что моделируемые потоки описываются теми же дифференциальными уравнениями с граничными условиями, соответствующими реальным потокам, и это тоже достигается.

Конструкторское решение, положенное в основу работы устройства по очистке каверн, требует установления гидромеханически обоснованной формы исполнительного элемента и, как следствие, определения рациональной частоты его вращения.

Для проведения экспериментальных исследований работы устройства (рис. 1) была изготовлена серия моделей его исполнительного органа, которые отличались между собой соотношением параметров θ_1 и θ_2 (углов входа и выхода потока), подразделенных на несколько условных групп, а именно: 1) $\theta_1 = \theta_2$; 2) $\theta_1 < \theta_2$; 3) $\theta_1 = const, \theta_2 = var$; 4) с лопастями, расположенными параллельно оси устройства. Длина лопастей определялась согласно выражению (1). Контролируемыми параметрами были частота вращения n , выраженная через угловую скорость ω , относительная (профильная) скорость w , абсолютная скорость c и ее осевая составляющая c_a (аксиальная скорость) в точке 2 их схода с кромки рабочего органа.

Скорость распространения активных потоков изучалась в воде и растворах содержащих в качестве добавок бентонитовую глину или КМЦ; таким образом, достигались определенные значения плотности и вязкости.

Для измерения малых скоростей потока (до 10 м/с) использовалась гидромеханическая вертушка, а более высоких – шаровой зонд, принцип работы которых достаточно известен [4]; замеры в контрольных точках проводились не менее 5–10 раз в каждой.

Из геометрических соображений ясно, что в первой группе может быть только одна конструкция рабочего элемента с $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$. Стендовые испытания такой модели показали ее полное несоответствие аналитическим скоростным параметрам и крайне неустойчивый характер работы. Он проявлялся в неравномерности распределения скоростей по длине исполнительного органа, а для аксиальной – перемене вектора направления на противоположный (со средней части и к краю). Более детальный анализ работы такого рабочего элемента не представляет практического интереса, так как он, по указан-

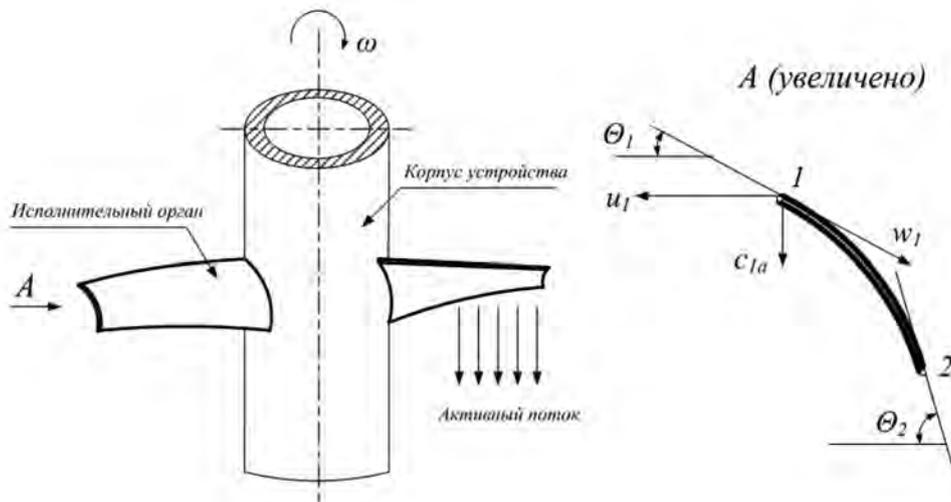


Рис. 1. Схема распределения скоростей при работе устройства

ным выше причинам, не может быть применен в устройстве.

Лабораторные исследования групп $\theta_1 < \theta_2$ и $\theta_1 = const, \theta_2 = var$ проводились в широком диапазоне изменения угловых характеристик.

В связи с наличием значительного числа опытных данных и ограниченностью возможности подробного их изложения, в качестве примера на рис. 2 рассмотрена зависимость изменения абсолютной скорости c активного потока при различных частотах вращения и положениях измерительных приборов относительно оси модели с использованием рабочей жидкости – воды.

Стендовые исследования модели устройства в потоке воды с исполнительным органом, имеющим углы входа $\theta_1 = 25^\circ$ и выхода $\theta_2 = 60^\circ$, показали, что значения абсолютной скорости формируемого им активного потока превышают таковые, полученные в результате теоретического расчета. В свою очередь, экспериментальные

данные для воды несколько ниже, чем для растворов, содержащих глину и КМЦ – это отражено на графике, показанном на рис. 3.

Важным фактом является то, что по мере увеличения значений угла входа потока в интервале $25 \leq \theta_1 \leq 35^\circ$ наблюдается постепенное приближение фактических значений абсолютной скорости к теоретическим и при $\theta_1 = 45^\circ$ разница в значениях не превышает $\pm 3-5\%$. С дальнейшим ростом θ_1 до 55° соотношение стендовых и расчетных параметров скоростного потока меняется на противоположное – аналитические превышают фактические. Указанные закономерности справедливы для углов выхода потока θ_2 , лежащих в пределах $50-65^\circ$, а кроме того, их отклонение в большую или меньшую стороны влечет за собой существенные изменения картины формирования активных потоков, что подтверждается данными рис. 4. Указанный рисунок свидетельствует о следующем: за рамками рационального диапазона углов θ_2 обтекание лопаст-

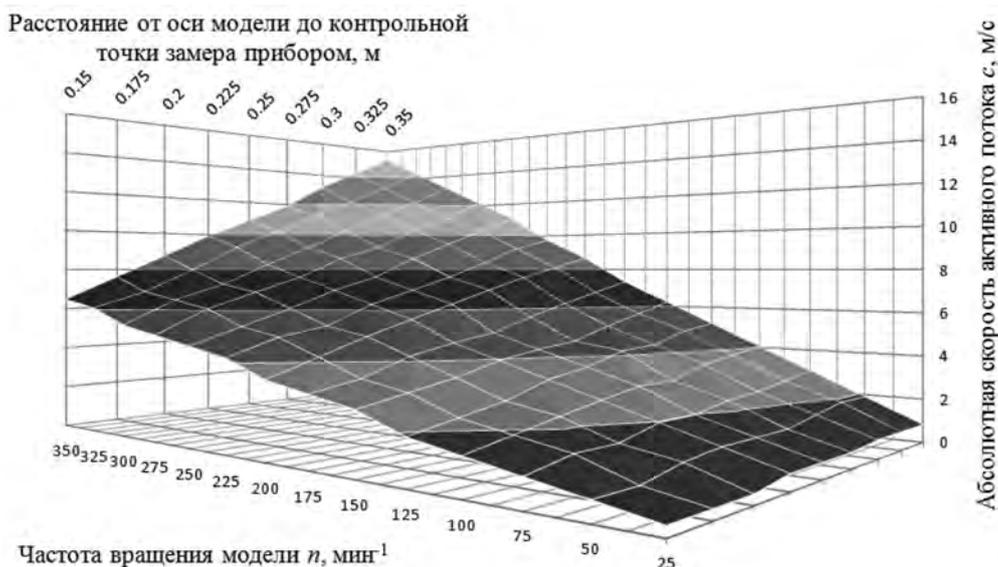


Рис. 2. Скоростная характеристика модели устройства с $\theta_1 = 25^\circ$ и $\theta_2 = 60^\circ$

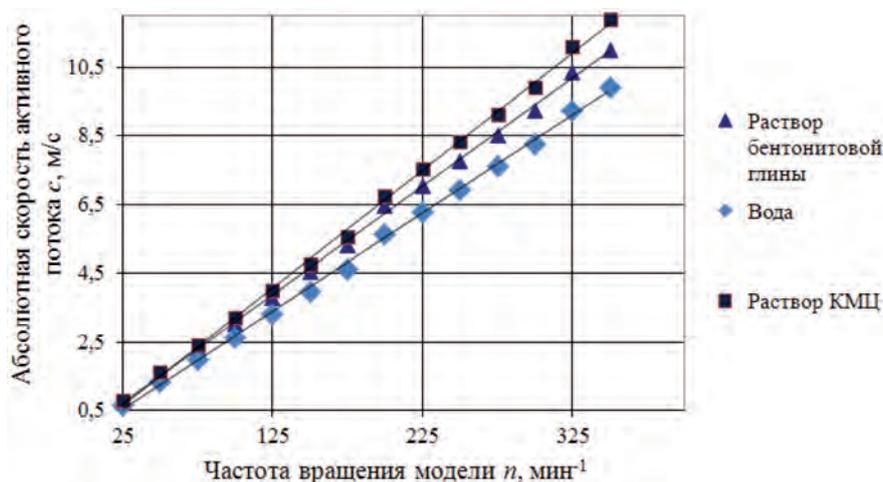


Рис. 3. Влияние добавок на величину абсолютной скорости для модели устройства с $\theta_1 = 25^\circ$ и $\theta_2 = 60^\circ$ (1/2 диаметра)

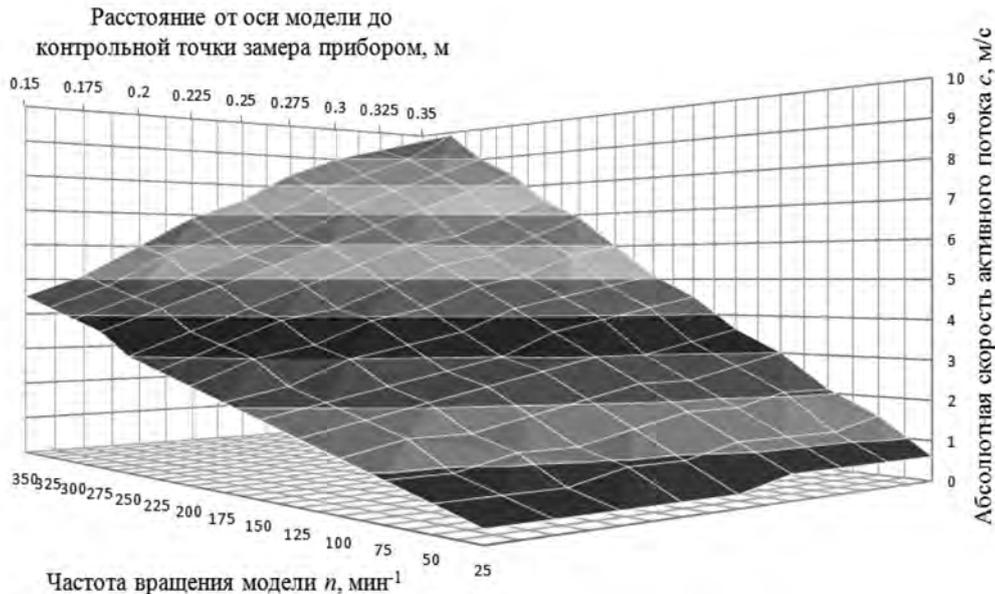


Рис. 4. Скоростная характеристика модели устройства с $\theta_1 = 40^\circ$ и $\theta_2 = 75^\circ$

ного органа будет происходить со значительными потерями в значениях абсолютной скорости c (ср. рис. 3), что должно быть учтено при проектировании и изготовлении устройства для очистки каверн.

В диапазоне $\theta_1 < 25^\circ$ конструктивного исполнения рабочего органа фактически определенная абсолютная скорость заметно снижается, а в сравнении с расчетной ее значения довольно сильно отличаются, причем это относится к углам выхода потока θ_2 , составляющим от 65° до 85° . При достижении θ_1 своего минимального значения и θ_2 максимального (вплоть до 90°) – наблюдается пик падения скоростей.

В условиях, когда θ_1 составляет $60-70^\circ$, а θ_2 , соответственно, – $75-85^\circ$, обтекание потоком рабочего органа происходит в режимах, близких к описанным для лопастного механизма с $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$.

В целом можно сказать, что приемлемые диапазоны скоростных характеристик лопастного исполнительного органа формируются при следующих значениях углов входа и выхода: $25 \leq \theta_1 \leq 55^\circ$, $50 \leq \theta_2 \leq 65^\circ$ – при соответствующих их соотношениях.

Стендовые исследования рабочего органа с лопастями, установленными параллельно оси устройства, показали, что при его вращении преобладающим является радиальное движение потока, а это практически исключает его применение в качестве исполнительного механизма.

Все получаемые стендовые характеристики устройства обрабатывались на основе положений математической статистики [6]. Анализ величин рассчитанных коэффициентов вариации свидетельствует о том, что по всем значениям скоростей они не превышают 11–15 %, следо-

вательно, совокупность полученных результатов исследований может считаться однородной.

Выводы

Выполнен анализ влияния частоты вращения устройства и геометрических параметров его исполнительного органа на реализуемые скоростные характеристики активного потока. В результате экспериментальных исследований выяснены рациональные диапазоны изменения углов установки лопастей. Установленные закономерности являются базовыми для дальнейшего изучения вопросов проектирования обоснованной методики подготовительных работ при тампонировании скважин.

Библиографический список

1. Будников В. Ф. Проблемы механики бурения и заканчивания скважин / В. Ф. Будников, А. И. Булатов, П. Г. Макаренко. – М.: Недра, 1996. – 496 с.
2. Давиденко А. Н. Некоторые особенности работы устройства по подготовке скважины к креплению / А. Н. Давиденко, А. А. Игнатов // Розробка родовищ: зб. наук. пр. – Д.: Літограф, 2015. – С. 501-06.
3. Пат. на вин. України 90541. Пристрій для обробки стовбура свердловини; E21B 37/02 / О. М. Давиденко, А. О. Ігнатов, В. В. Яцик. № а 2008 05093; заявл. 21.04.2008; опубл. 11.05.2010. Бюл. № 9. – 2 с.: іл.
4. Повх И. Л. Техническая гидромеханика / И. Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.
5. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Госхимиздат, 1961. – 829 с.
6. Налимов В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.

Поступила 25.03.2016