

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВА ПО ОЧИСТКЕ СТВОЛА СКВАЖИНЫ

А. Игнатов^{1*}

Кафедра техники разведки месторождений полезных ископаемых, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина
*Ответственный автор: e-mail A_3000@i.ua, тел. +380562466346, факс: +380562466346

TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE DEVICE FOR BORE HOLE CLEANING

A. Ighnatov^{1*}

¹Techniques Prospect of Deposits Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine
*Corresponding author: e-mail A_3000@i.ua, tel. +380562466346, fax: +380562466346

ABSTRACT

Purpose. Rationale for structural and technological parameters of the device for processing the bore hole vuggy zone departing from the set dependences of active jets formation while streamlining the blade element.

Methods. Laboratory and theoretical research allowed to establish the regularities of active jets formation while streamlining the blade element of the special device and their influence on the technological indexes of the process of bore holes plugging.

Findings. The necessity to conduct pilot research of the device for the interval cleaning of bore hole is well-proven with the purpose to obtain an adequate physical model of its work. The actual types of liquid flowing through the blade system and its interaction with slime vuggy agglomerates have been identified. The terms ensuring stable mode of streamlining the device working unit are considered. The research resulted in determining certain technologically reasonable geometrical characteristics, which provide acceptable modes of processing vuggy zones. Areas of further research are outlined.

Originality. A reliability of work of device for processing bore hole index is an observance in his construction of fully certain geometrical correlations, corresponding to the steady mode of moving away of vuggy agglomerates.

Practical implications. The results obtained by theoretical and laboratory research can be applied for developing effective technology of fixing and plugging the bore holes with high technical and economic indexes. Data on the study of the mode of streamlining the blade element form the basis for the development of rational mode parameters of cleaning vuggy zones of a bore hole.

Keywords: bore hole, vuggy, clay-mud agglomerates, device for processing, slope angle, active stream, flowrate

1. ВВЕДЕНИЕ

Решение многогранных вопросов крепления и тампонирувания скважин осуществимо только на основе коренного совершенствования существующих приемов и методов и создания новейших. При этом весьма влиятельным обстоятельством выступает качество выполнения подготовительных операций и его важнейшая составляющая – заключительная обработка ствола скважины (Ashok, Ambrus, Van Oort, Zeneo & Behounek, 2015). Исходя именно из этих аспектов, и была создана серия устройств поинтервальной очистки, в частности гидравлических (Davidenko & Ighnatov, 2015).

Установление принципа действия и составление детальной технологической характеристики является совершенно необходимым условием правильного применения и эксплуатации устройства по подготовке ствола скважины к креплению.

Учитывая принадлежность рассматриваемого механизма к классу гидравлических, вполне оправданным будет подход к решению вопросов о его расчете, конструировании и изготовлении, основанный на факторе обеспечения достижения определенных показателей работы. Среди них можно выделить следующие основные: число оборотов, гидравлическая активность вызванных потоков, степень воздействия. Вместе с тем, в большинстве случаев устройство будет

работать на режимах, резко отличающихся от проектируемых. Это связано с огромным разнообразием и неопределенностью скважинных условий. Следовательно, уже на этапе создания машины необходимо знать возможные изменения показателей работы и предельные границы ее эффективного использования.

Практика обнаруживает (Hydraulics, 1992), что существующие методы расчета гидравлических устройств, и в особенности использующих принцип непрерывного взаимодействия в движущемся потоке, позволяют аналитически определять их работу лишь приближенно и в строго неизменяющихся условиях. Наряду с этим, проведенные исследования выявили многофакторность и динамичность не только самого процесса шламакопления в кавернах, но и их очистки. Надежность работы устройства будет определяться как характером взаимодействия лопастного узла с жидкостью, так и силовым влиянием вызванных активных струй во всем многообразии обуславливающих обстоятельств.

Анализ литературных источников (Shterenlikht, 1984) и опытное изучение показали, что механизм обтекания профиля лопасти в каждом конкретном случае строго индивидуален и практически не может быть описан или рассчитан только аналитически. Сам объект обработки – шламовые скопления формируются в результате целого комплекса взаимосвязанных процессов, о которых объективно имеются лишь примерные представления. Что же касается вопросов удаления кавернозных отложений, то проведенные исследования позволили установить ряд основополагающих свойств, учет которых даст возможность верно направлять и корректировать не только технологический режим подготовки ствола скважины к креплению, но и сам процесс его сооружения (Davidenko, Ratov, Ighnatov & Tulepbergenov, 2016).

Таким образом, можно считать доказанной необходимость органичного сочетания стендовых исследований и теоретического анализа работы устройства по очистке ствола скважины, результатом которого будет создание высокопроизводительной технологии, обеспечивающей приемлемые показатели процесса бурения и эксплуатации месторождений полезных ископаемых (Budnikov, Bulatov & Makarenko, 1996).

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Несмотря на широкое распространение лопастных машин, процесс их работы изучен недостаточно – это связано со значительными трудностями количественного (а во многих случаях и качественного) определения многих параметров.

В связи с обозначенными обстоятельствами на кафедре техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета был проведен цикл экспериментов, посвященных изучению качественных и количественных гидромеханических параметров исполнительного органа устройства поинтервальной очистки в широком диапазоне конструктивных и технологических характеристик (Davuydenko & Ignatov, 2015).

Для проведения опытов была разработана и заявлена как изобретение специальная стендовая уста-

новка, позволяющая выполнять комплексные исследований как работы лопастного элемента устройства, так и процесса шламакопления в кавернозных зонах, принципиальная схема которой представлена Рисунке 1.

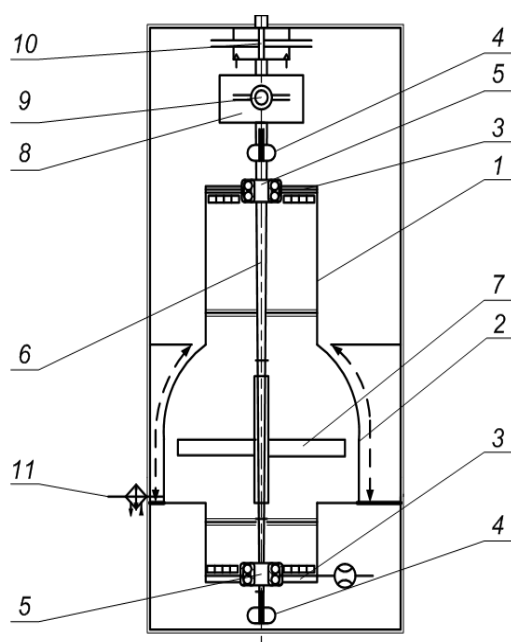


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментального стенда для исследований устройства по подготовке ствола скважины к креплению

Обсадная труба 1, как основной элемент стенда (Рис. 1), выполнена из оптически прозрачного пластикового материала в виде сборной конструкции; ее средней части 2 придана диаметральной конфигурация в соответствии с профильной формой ствола скважины, а противоположные концы перекрыты съемными крышками-заглушками 3, имеющими присоединительные муфты 4 для соединения с магистральными трубопроводами и подшипниковые узлы позиционирования 5 для размещения приводного вала 6, включающего лопастной исполнительный орган 7. В верхнем конце обсадной трубы расположен блок вращателя 8 с вариатором 9, позволяющим менять число оборотов от 10 до 500 мин⁻¹, и механизм подачи 10, а в нижнем – контрольно-измерительный блок 11, с возможностью перемещения его в осевом и радиальном направлениях.

В подавляющем большинстве машин, использующих в качестве рабочего элемента лопасти, их количество довольно велико, что определяющим образом сказывается на характере гидродинамических процессов. В противоположность отмеченному, рациональный диапазон числа лопастей n для рассматриваемого устройства составляет 2–4. Это существенно усложняет как теоритическое, так и опытное изучение функционирования механизма.

Для построения физической модели работы устройства устанавливался действительный характер течения жидкости сквозь лопастную систему, на основе которого возможно уточнение аналитических зависимостей.

Детальными экспериментальными исследованиями выявлен ряд конструктивных параметров, непосредственно влияющих на степень активности вызванных потоков по отношению к воздействию на шламовые образования, среди которых: угол входа потока на лопасть θ_1 , угол схода потока с лопасти θ_2 , ширина лопасти b . Принятая приближенная схема обтекания рабочего элемента, образованного в результате использования винтовой поверхности, представлена на Рисунке 2, при этом на нем показано распределение скоростей в относительном и абсолютном движениях. Строго говоря, θ_1 и θ_2 выражают предельные значения углов, а переход между ними осуществляется плавно в аксиальном направлении.

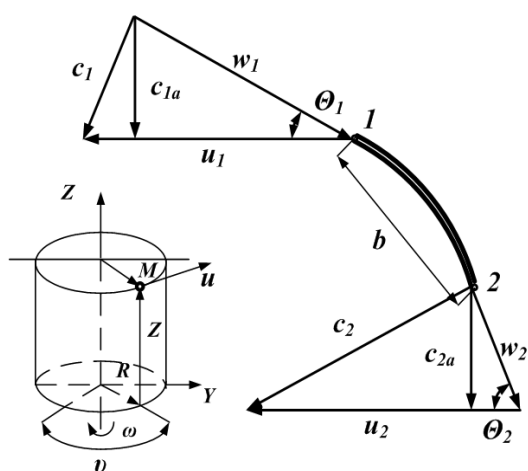


Рисунок 2. Приближенная схема обтекания рабочего элемента устройства поинтервальной очистки скважины в цилиндрической системе координат

В цилиндрической системе координат (Deuch & Zayankin, 1984) вектор абсолютной скорости \vec{c} (Рис. 2) может рассматриваться как геометрическая сумма трех взаимно ортогональных компонентов скорости:

$$\vec{c} = \vec{c}_R + \vec{c}_u + \vec{c}_Z, \quad (1)$$

где:

R – расстояние от рассматриваемой точки до оси вращения устройства;

u – переносная (окружная) скорость;

Z – координата, связанная с осью вращения.

Положение точки M будет определяться радиусом R , углом ν и координатой Z .

Для получения требуемых расчетных характеристик с целью сравнения их с экспериментально полученными, необходимо установить форму потока сквозь рассматриваемое устройство и она будет, в данном случае, осесимметричной:

$$\frac{\partial c_R}{\partial \vartheta} = \frac{\partial c_u}{\partial \vartheta} = \frac{\partial c_Z}{\partial \vartheta}, \quad (2)$$

где: ϑ – потенциальная функция скорости.

В потенциальном потоке с цилиндрическими поверхностями течения $c_R = 0$, тогда, полагая $R = R_i$:

$$\frac{\partial c_Z}{\partial R} = 0, \quad c_{Zi} = c_Z = const, \quad (3)$$

т.е. в осесимметричном потенциальном цилиндрическом потоке осевая составляющая абсолютной скорости должна быть по сечению постоянной. Таким образом, правильность принятой схемы распределения скоростей подтверждается теоретически.

Далее необходимо внести ясность в вопрос о том, какой скоростью необходимо характеризовать режим движения активных струй: относительной (профильной) скоростью w , абсолютной скоростью c или ее осевой составляющей c_a (аксиальной скоростью), а также в каких точках устройства необходимо определять эту величину. Совершенно очевидно, что положительно указанная проблема может быть решена только на основе непосредственного опытного изучения процесса воздействия формируемых устройством активных потоков на шламовые скопления при варьировании влияющих признаков. Что же касается свойств самих кавернозных отложений, то их определяющими параметрами будут угол откоса φ , который в свою очередь зависит от коэффициента кавернозности K , а также гранулометрический состав.

Принимая во внимание наличие рационального диапазона конструктивных параметров лопастного элемента (в частности θ), были проведены исследования по определению степени воздействия активных струй на кавернозные скопления, выраженной интегральным показателем – минимально необходимым временем обработки. Тщательными опытами доказано, что при обработке кавернозных зон существует предельно достигаемый уровень очистки, который можно оценить как параметром φ , так и $V_{ин}$ (объем шламовых скоплений).

Рисунок 3 дает представление о продолжительности временных интервалов обработки кавернозных зон. Непосредственно из анализа экспериментальных зависимостей следует: с уменьшением угла φ и частоты вращения лопастного элемента, условия удаления шламовых скоплений заметно ухудшаются; за пределами рационального диапазона необходимой частоты вращения устройства процесс обработки кавернозных зон будет происходить на невыгодных режимах, не обеспечивающих оперативное достижение приемлемых технологических показателей. Кроме того, обобщение полученных результатов исследований позволит прогнозировать итоги подготовительных мероприятий. В связи с ограниченностью возможности представления материалов исследований и их значительным объемом, приведен только один из характерных графиков, полученный для условий работы лопастного элемента с $\theta_1 = 25^0$ и $\theta_2 = 50^0$. В то же время отмеченные зависимости практически сохраняют свою тенденцию для всего диапазона рациональных угловых параметров лопастного элемента при соблюдении определенных соотношений между θ_1 и θ_2 .

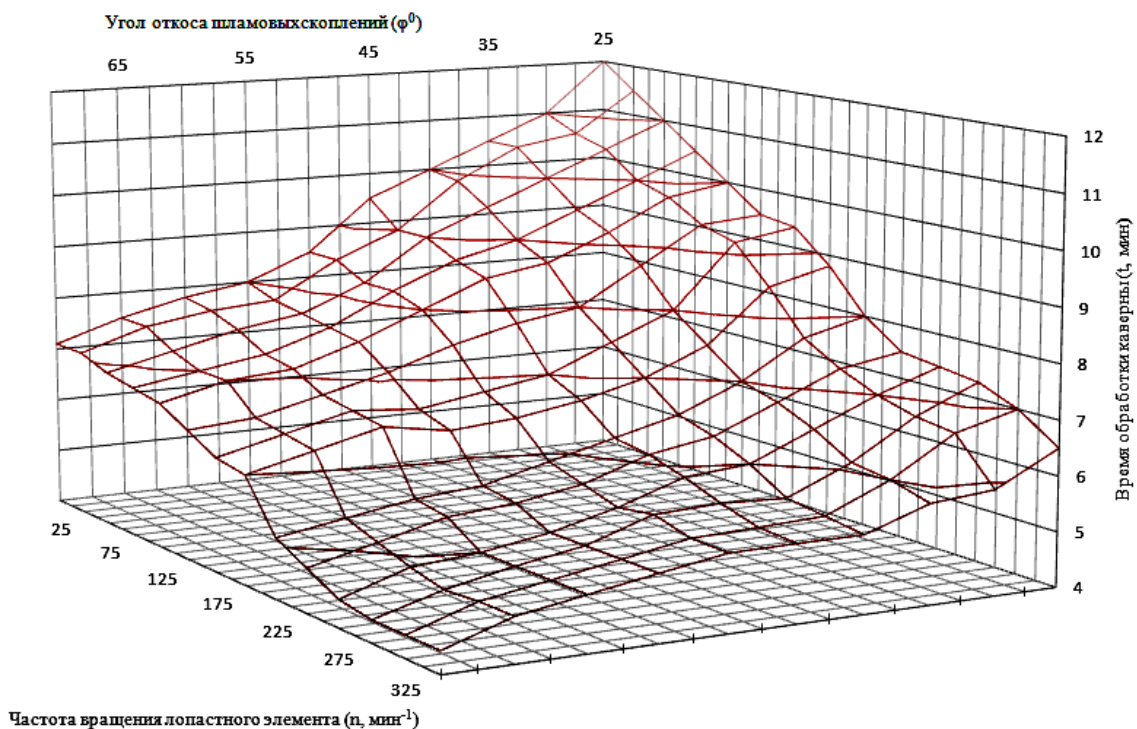


Рисунок 3. Время обработки кавернозных зон скважины

Проведенные стендовые исследования выявили связь между устойчивостью режима обтекания рабочего органа устройства (постоянство значений скорости и отсутствие резких пульсаций) и геометрическими характеристиками лопастного элемента. В Таблице 1 представлены значения вызванных скоростей активных струй в интервале $n = 150 - 200 \text{ мин}^{-1}$ при различных соотношениях между θ_1 и θ_2 в их рациональном диапазоне.

Таблица 1. Скоростная характеристика потока при переменных θ_1 и θ_2

Угол входа потока на лопасть, градусы	Угол выхода потока с лопасти, градусы			
	θ_1	θ_2		
		50	55	60
25	8.74	9.29	8.41	7.95
30	8.81	8.61	8.34	8.16
35	8.92	8.65	8.57	8.22

Изучая данные Таблицы 1, можно увидеть, что соотношение в паре θ_1 и θ_2 решающим образом оказывает влияние на значение достигаемых скоростей активных потоков, а именно: чем больше отличие между значениями угловых параметров, тем ниже скорость; при разнице в величинах углов превышающей 35° происходит довольно интенсивное падение скоростей; для данного конструктивного исполнения лопастного элемента существует вполне определенная ее угловая характеристика, обеспечивающая получение предельных значений скорости.

Было также обнаружено существенное изменение режима обтекания рабочего элемента устройства при различных значениях ширины лопасти b ; с ее увели-

чением наблюдается снижение скоростей, а в случае разницы между θ_1 и θ_2 , составляющей более 30° , резкое падение скоростей сопровождается и значительным отклонением направления действия активных потоков, что практически полностью изменяет ход процесса удаления шламовых скоплений. Данное обстоятельство было дополнительно изучено.

Рисунок 5 представляет собой результаты исследования влияния ширины лопастного элемента на величину вызванной скорости.

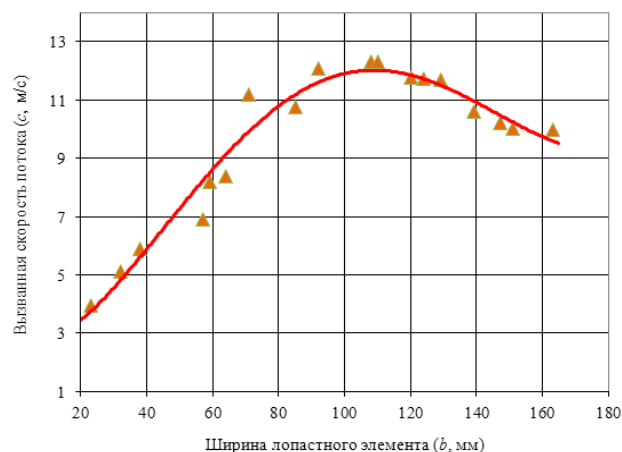


Рисунок 4. Зависимость величины вызванной скорости потока от значения ширины лопастного элемента устройства

Анализируя данные по влиянию ширины лопастного элемента на величину вызванной скорости (Рис. 4) можно отметить, что для данного конструктивного признака существует рациональное значение, соответствующее максимуму достигаемых ско-

ростей активных потоков. Также была установлена причина этого обстоятельства. В выбранной серии образцов рабочих элементов устройства производилось изучение характера обтекания посредством визуализации течения. Такой подход хорошо себя зарекомендовал при аэродинамических экспериментах и позволяет оперативно получать требуемые данные. Для этого поверхность лопастей покрывалась налетом каолина, а после его высыхания она обрызгивалась летучей жидкостью (этилсалицилатом или сафролом). Лопасть ставилась в поток воздуха при постоянном контроле скорости испарения. Места активного движения струй воздуха по профилю лопасти отмечались побелением налета каолина. Это позволило обнаружить, что с увеличением ширины рабочего элемента и разницы в значениях его угловых параметров в средней части лопасти движения потока практически прекращаются, образуется, условно говоря, собственный профиль, способствующий возникновению новых форм обтекания со всеми отмеченными последствиями (Falkovich, 2009).

Довольно интересные результаты показали исследование влияния вязкости жидкости на величину вызванной скорости потока. Данные отмеченных опытов представлены в виде графических зависимостей на Рисунке 5.

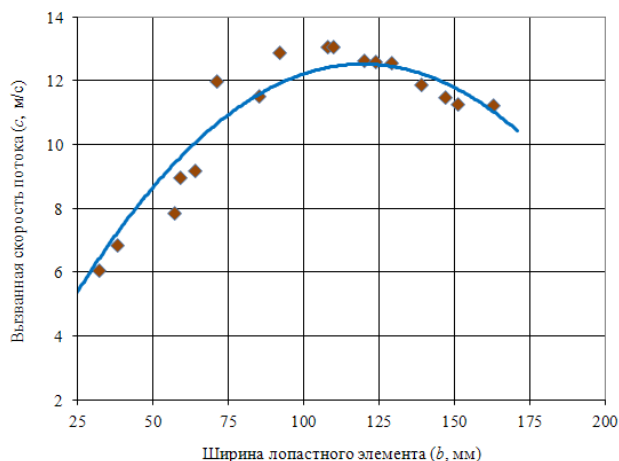


Рисунок 5. Зависимость величины вызванной скорости потока от значения ширины лопастного элемента устройства при переменной вязкости

Данные Рисунка 5 дают совершенно отчетливое представление о наличии прямой зависимости между реологическими параметрами промывочной жидкости и геометрической характеристикой лопастного элемента. Повышения вязкости жидкости способствует не только росту величин вызванных скоростей, но и стабилизации режима обтекания профиля, что выражается в меньшем отклонении потока, снижении его пульсаций, а кроме того, ширина лопасти может быть увеличена без нарушения режима течения. Данное обстоятельство приобретает существенное значение в случае больших диаметральных размеров кавернозных интервалов.

3. ВЫВОДЫ

Стеновые исследование гидравлических машин, и в частности устройства поинтервальной очистки ствола скважины, являются надежным инструментом не только анализа режима их работы, но и позволяют еще на этапе проектирования осуществлять корректировку отдельных технологических характеристик, получать информацию о возможных изменениях показателей результативности применения.

Важным обстоятельством осуществления возможности построения физической модели работы рассматриваемого устройства является установление действительных форм течения жидкости сквозь лопастную систему и взаимодействия со шламовыми кавернозными скоплениями, на основе которых может быть произведено уточнение аналитических зависимостей.

Одними из основных показателей степени эффективности воздействия активных потоков являются угол откоса шламовых скоплений φ и частота вращения лопастного элемента.

Устойчивость режима обтекания рабочего органа устройства, определяемая постоянством значений скорости и отсутствием резких пульсаций, будет иметь место только в случае соблюдения вполне определенных геометрических параметров лопастного элемента.

Для каждого из возможных и технологических обоснованных вариантов конструктивного исполнения лопастного элемента существует вполне определенная его угловая характеристика, обеспечивающая получение предельных значений скорости.

Учет реологических параметров промывочной жидкости должен осуществляться на основе его корреляционной связи с геометрической характеристикой лопастного рабочего органа устройства.

Разработка высокопроизводительной технологии обработки кавернозных интервалов скважины при ее креплении может быть реализована исключительно на основе тщательных комплексных стеновых исследований, позволяющих максимально полно моделировать геолого-технические условия проводки и исследовать рабочие параметры устройства по очистке осложненных интервалов с учетом всего спектра особенностей его функционирования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает признательность сотрудникам кафедры техники разведки месторождений полезных ископаемых, в той или иной мере принимавшим участие в проведении стеновых исследований и в особенности ее профессорам А.Н. Давиденко, А.А. Кожевникову, а также профессору кафедры аэрологии и охраны труда В.И. Голинько за ценную методическую помощь.

REFERENCES

- Ashok, P., Ambrus, A., Van Oort, E., Zenero, N., & Behounek, M. (2015). Plug the value leak: Fix your drilling data. *World Oil*, 236(10), 35-42.
- Budnikov, V., Bulatov, A., & Makarenko, P. (1996). *Problemy mekhaniki i zakanchivaniia skvazhin*. Moskva: Nedra.
- Davidenko, A., Ratov, B., Ighnatov, A., & Tulepbergenov, A. (2016). K voprosu o neobkhodimosti obrabotki kavernozykh zon skvazhin. *Vestnik KazNITU*, 114(2), 139-147.

Davydenko, O., & Ignatov, A. (2015). Some features of work of device on preparation of bore hole to fastening. *Mining of Mineral Deposit*, 9(4), 500-506. <http://dx.doi.org/10.15407/mining09.04.500>

Deych, M., & Zaryankin, A. (1984). *Gidrogazodinamika*. Moskva: Energoatomizdat.

Falkovich, G. (2009). Fluid Mechanics. <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511794353>

Hydraulics. (1992). Moline, IL.

Shterenlikht, D. (1984). *Hidravlika*. Moslva: Energoatomizdat.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів пристрою для обробки кавернозної зони стовбура свердловини виходячи зі встановлених залежностей формування активних струменів при обтіканні лопатевого елемента.

Методика. Лабораторними і теоретичними дослідженнями встановлені закономірності формування активних струменів при обтіканні лопатевого елемента спеціального пристрою та їх вплив на технологічні показники процесу тампонування свердловин.

Результати. Доведена необхідність проведення стендових досліджень пристрою поінтервального очищення стовбура свердловини з метою отримання адекватної фізичної моделі його роботи. Встановлено дійсні форми течії рідини крізь лопатеву систему і взаємодії з шламовими кавернозними скупченнями. Розглянуті умови стійкості режиму обтікання робочого органу пристрою. Показана наявність цілком визначених і технологічно обґрунтованих геометричних характеристик, що забезпечують отримання прийнятних режимів обробки кавернозних зон. Перераховані напрями подальших досліджень.

Наукова новизна. Показником надійності роботи пристрою для обробки стовбура свердловини є дотримання в його конструкції цілком певних геометричних співвідношень, що відповідають стійкому режиму видалення кавернозних скупчень.

Практична значимість. Отримані результати стендових і аналітичних досліджень можуть бути покладені в основу створення ефективної технології кріплення та тампонування стовбура свердловини з високими техніко-економічними показниками. Дані по вивченню режиму обтікання лопатевого елемента є базовими для розробки раціональних режимних параметрів процесу очищення кавернозних інтервалів свердловини.

Ключові слова: свердловина, каверна, шламові скупчення, пристрій для обробки, кут укосу, активний струмінь, швидкість потоку

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Обоснование конструктивных и технологических параметров устройства для обработки кавернозной зоны ствола скважины исходя из установленных зависимостей формирования активных струй при обтекании лопастного элемента.

Методика. Лабораторными и теоретическими исследованиями установлены закономерности формирования активных струй при обтекании лопастного элемента специального устройства и их влияние на технологические показатели процесса тампонирувания скважин.

Результаты. Доказана необходимость проведения стендовых исследований устройства поинтервальной очистки ствола скважины с целью получения адекватной физической модели его работы. Установлены действительные формы течения жидкости сквозь лопастную систему и взаимодействия со шламовыми кавернозными скоплениями. Рассмотрены условия устойчивости режима обтекания рабочего органа устройства. Показано наличие вполне определенных и технологически обоснованных геометрических характеристик, обеспечивающих получение приемлемых режимов обработки кавернозных зон. Перечислены направления дальнейших исследований.

Научная новизна. Показателем надежности работы устройства для обработки ствола скважины является соблюдение в его конструкции вполне определенных геометрических соотношений, соответствующих устойчивому режиму удаления кавернозных скоплений.

Практическая значимость. Полученные результаты стендовых и аналитических исследований могут быть положены в основу создания эффективной технологии крепления и тампонирувания ствола скважины с высокими технико-экономическими показателями. Данные по изучению режима обтекания лопастного элемента являются базовыми для разработки рациональных режимных параметров процесса очистки кавернозных интервалов скважины.

Ключевые слова: скважина, каверна, шламовые скопления, устройство для обработки, угол откоса, активная струя, скорость потока

ARTICLE INFO

Received: 11 April 2016

Accepted: 9 June 2016

Available online: 30 June 2016

ABOUT AUTHORS

Andrii Ighnatov, Senior Instructor of the Techniques Prospect of Deposits Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 9/409, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: A_3000@i.ua