

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ГЛИНИСТО-ШЛАМОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИЗ КАВЕРНОЗНЫХ ЗОН СКВАЖИН

А. Игнатов^{1*}

¹Кафедра техники разведки месторождений полезных ископаемых, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина
*Ответственный автор: e-mail A_3000@i.ua, тел. +380562466346, факс: +380562466346

RESEARCH INTO PARAMETERS CHARACTERIZING THE PROCESS OF WITHDRAWING CLAY-MUD FORMATIONS FROM BORE HOLE VUGGY ZONES

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. Substantiating technological parameters of the device for processing vuggy zone in the bore hole, based on the obtained dependences describing formation and withdrawal of clay-mud agglomerates and their influence on the results of plugging bore holes.

Methods. As a result of carrying out laboratory and theoretical researches, principles governing formation of clay-mud agglomerates and their influence on the technological indexes of building bore holes have been determined.

Findings. Reasons for the phenomenon of bore hole plugging are analyzed. It is shown that boring works efficiency is directly related to the quality of carrying out operations on bore hole casing. Influence of agglomerate slope angle and coefficient of rugosity on the volume of clay-mud pastes in the complicated intervals has been studied. Impact of the clay phase on the strength indexes of plugging stone has been analyzed. Validity of the obtained data has been confirmed by methods of mathematical statistics. The mechanism defining the impact of active drilling liquid streams on the vugular sludge agglomerate has been investigated. Further areas of research into perfecting the technology of bore holes' casing have been identified.

Originality. The quality of works on casing and plugging implementing the device for processing the bore hole is determined by the reduction of the sludge agglomerate slope angle in proportion to vugg thickness.

Practical implications. The results obtained by theoretical and laboratory research can be applied for developing effective technology of casing and plugging the bore holes with high technical and economic indexes. The data received as the result of the study of sludge accumulation in vuggs form the basis for the development of the rational mode parameters for the process of drilling bore holes.

Keywords: bore hole, vugg, clay-mud agglomerates, device for processing, slope angle, clay, mud fluid

1. ВВЕДЕНИЕ

Эффективность применения устройства по обработке кавернозных зон скважины зависит, прежде всего, от правильности задания его выходных характеристик, обуславливаемых необходимостью возможно полного удаления глинисто-шламовых образований из осложненных интервалов. На пути к решению вопросов о проектировании технологических условий работы обозначенного устройства стоит задача определения тех закономерностей разрушения и удаления содержимого каверн, которые должны быть методично учтены и отражены в рекомендациях по подготовке ствола скважины к креплению (Ashok,

Ambrus, Van Oort, Zenero & Behounek, 2015). В связи с тем, что основным функциональным параметром устройства является его вращение, с целью формирования лопастным органом активных струй жидкости, разрушающих глинисто-шламовые пасты (Davidenko, Ighnatov & Yatsyk, 2010) возникает необходимость детального исследования вопросов влияния физико-химических свойств кавернозных накоплений на свойства тампонажного камня и процесс их удаления. Гидродинамические факторы потока должны быть подобраны в полном соответствии с механизмом разрушения и всем спектром многообразных характеристик кавернозных образований.

В качестве основополагающих свойств частиц, слагающих глинисто-шламовые накопления необходимо отметить следующие: форма и размер отдельных агрегатов, а также их плотность, кроме того, изучению следует подвергнуть и влияние свойств циркулирующего очистного агента на процесс шламоудаления. Обозначенные задачи могут быть разрешены только на основе экспериментально-теоретических исследований, результатом которых должны стать обоснованные инженерные методы проектирования технологии обработки ствола скважины на этапе подготовки его к креплению и тампонированию.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ промысловых данных позволяет утверждать следующее: кавернообразование является одним из самых распространенных видов осложнений при проводке скважин (Budnikov, Bulatov & Makarenko, 1996). Наличие в стволе скважины местных уширений грозит возникновением аварийных ситуаций и существенно снижает технико-экономические показатели эксплуатации месторождений. Установлено, что размер каверн в диаметре составляет 0.5 – 0.8 м, достигая 1.0 м и более при высоте (мощности) от 3 – 5 до 150 м. Такие интервалы являются объектами интенсивного шламонакопления, которое является функцией многих геолого-технических и технологических параметров. Инженерная методика определения объема глинисто-шламовых скоплений должна базироваться на его прямой зависимости от структурно-механических свойств продуктов разрушения и очистного раствора, посредством которого они концентрируются в кавернах, что и было показано лабораторными исследованиями. Реально контролируемым параметром состояния ствола скважины является

безразмерный коэффициент кавернозности K , выражающий увеличение диаметра ствола скважины по сравнению с номинальным диаметром породоразрушающего инструмента (1):

$$K = \frac{V_\phi}{V_m} = \frac{D_\phi}{D_m} \quad (2)$$

где:

V_ϕ и V_m – фактический и теоретический (номинальный) объемы скважины соответственно, m^3 ;

D_ϕ и D_m – диаметры ствола скважины и породоразрушающего инструмента соответственно, м.

Ведущей характеристикой, определяющей процесс шламонакопления в кавернозной зоне скважины, является также и угол их откоса ϕ , значения которого варьируют в пределах от 20 до 60° и вплоть до 70°. При этом как лабораторные, так и промысловые исследования (Budnikov, Bulatov & Makarenko, 1996) показывают практически равномерное увеличение мощности глинисто-шламовых скоплений в направлении от оси скважины к стенке каверны. Максимальных значений угол откоса накоплений достигает при коэффициенте кавернозности $K \geq 2$.

В связи с обозначенным, в качестве критерия эффективности работы устройства по очистке каверн может быть выбран угол откоса, который в результате обработки должен быть снижен до предельного значения.

Стратиграфический разрез месторождения и сведения о механизме шламонакопления в кавернах, полученные в результате стендовых исследований, позволяют прогнозировать его последствия с достаточной степенью точности (Рис. 1).

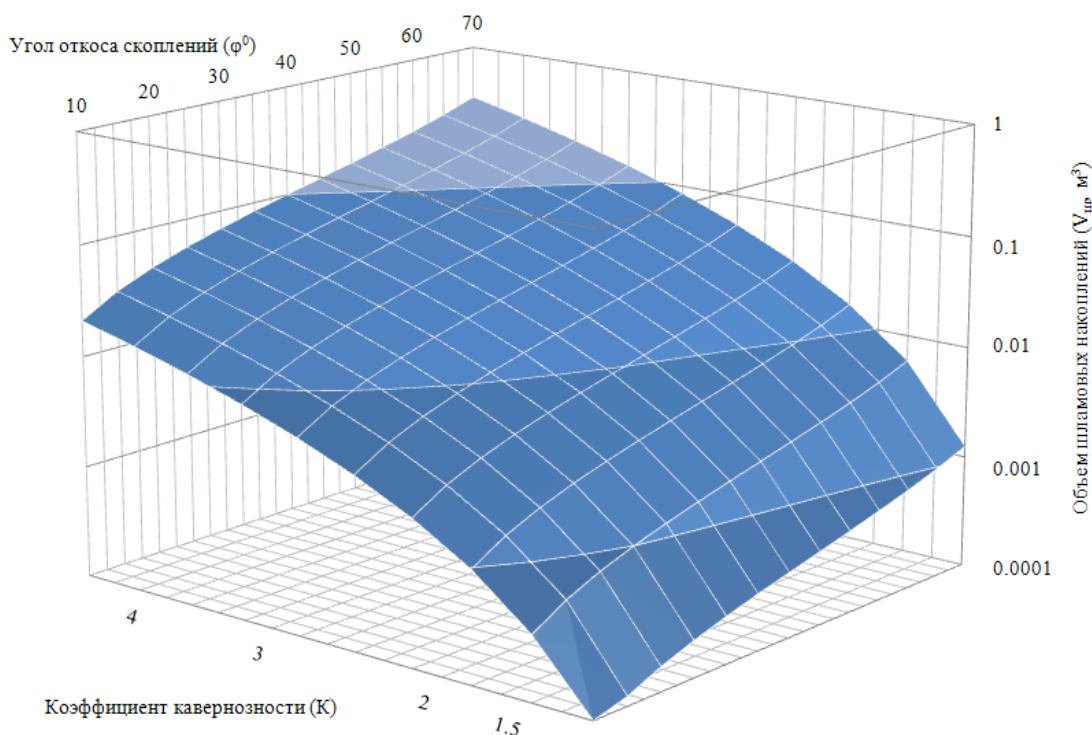


Рисунок 1. Объем шламовых скоплений в кавернозном интервале скважины

Рисунок 1 иллюстрирует зависимость прогнозируемого объема шламовых скоплений от K и φ . Становится очевидной существенность влияния указанных выше факторов на результаты аккумуляции продуктов разрушения в кавернах, выраженной в объеме глинисто-шламовых паст, размерность которого на графике, для удобства анализа данных, показана в логарифмическом масштабе. Из Рисунка 1 четко видна подчиненность интенсивности шламонакопления коэффициенту кавернозности, при его значении $K \geq 3$. Таким образом, при наличии в геологическом разрезе сооружаемой скважины зон глинистых разностей, слабосцементированных пород, тектонических нарушений, карстовых пустот, являющихся мощным фактором возникновения каверн значительных размеров, необходимо предусматривать ограничения и определенные профилактические мероприятия в технологии бурения, а также особенно тщательно подходить к вопросам подготовки ствола скважины к креплению.

Данные по результатам шламонакопления (Рис. 1), полученные на основе экспериментально-теоретических исследований, являются базовыми при проектировании технологических операций, предшествующих спуску обсадной колонны, связанных с применением рассматриваемого устройства для очистки каверн.

Необходимость удаления шламовых скоплений из каверн связана с недопустимостью их смешивания с тампонажным раствором, поступающим в затрубное пространство скважины. Однако, в результате несовершенства подготовительных операций, довольно часто происходит активное взаимопроникновение глинисто-шламовых паст и тампонажного раствора, что ведет к снижению показателей технологических свойств тампонажного камня. Степень влияния на свойства тампонажного раствора и камня посторонних примесей определяется их концентрацией. На Рисунке 2 представлена зависимость объема глинисто-шламовых паст, а следовательно и их концентрации, от показателей состояния ствола скважины и кавернозных скоплений.

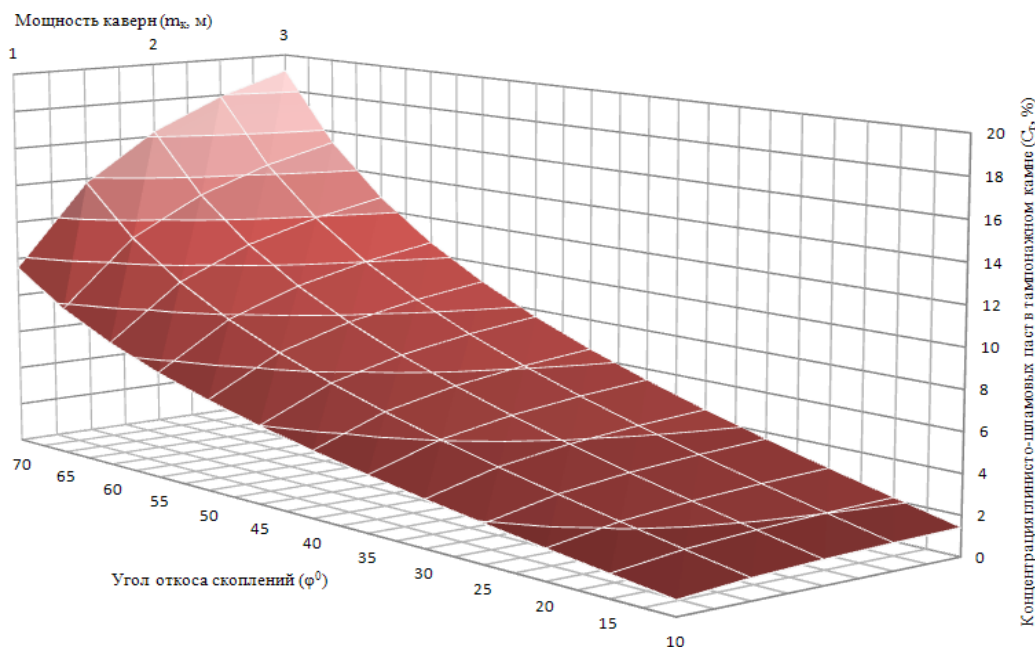


Рисунок 2. Содержание глинисто-шламовых паст в тампонажном камне

На основании представленных данных (Рис. 1) можно сделать заключение, что по мере нарастания угла откоса кавернозных скоплений φ , являющегося производной как коэффициента кавернозности K так и мощности каверны, происходит интенсивное повышение концентрации глинисто-шламовых паст в тампонажном растворе, а в последствие и камне. Приведенные сведения, характеризуют рассматриваемые явления только в небольшом диапазоне мощностей каверн от 1 до 3 м, по мере ее увеличения концентрация продолжает расти. Следует отметить, что данные для графиков были составлены на основе стендовых исследований и теоретических расчетов с учетом многообразия явлений шламонакопления и факторов ему сопутствующих, а именно: удаление глинистой корки со стенок скважины, разработка уступов каверн и т.д.

Установленные факты потребовали дальнейших исследований, направленных на выяснение степени влияния глинисто-шламовых отложений на технологические свойства тампонажного камня.

Изучению были подвергнуты образцы тампонажного камня, изготовленного в виде кубиков, изготовленных на основе портландцемента, произведенного по стандарту ДСТУ Б В. 2.7 – 88 – 99 (ГОСТ 1581 – 96) с помощью модельной установки, имитирующей работу цементно-смесительной машины. При затворении тампонажного цемента изменялось водоцементное отношение и в состав вводились добавки посторонних примесей в виде глин. В качестве активных наполнителей были выбраны бентонитовые глины с высоким содержанием группы монтмориллонита, которые подобны по составу не только глинистым разностям, но и используемым для пригото-

ления буровых промывочных жидкостей глинопо-рошкам, кроме того, использовались иллитовые и каолиновые добавки, соответствующие гидрослюдистым и каолиновым породам, а также глинистым сланцам различного генезиса.

Общепринятыми лабораторными способами контроля изучался предел прочности кубиков тампонажного камня при одноосном сжатии на полуавтоматическом гидравлическом прессе серии “KD”, что является рабочей методикой определения показателей процесса тампонирувания скважин. Порядок проведения испытаний соответствовал нормам ДСТУ Б В. 2.7 – 86 – 99 (ГОСТ 26798.1 – 96).

Рисунок 3 представляет собой результаты исследований прочности тампонажного камня, и выражает ее процентное снижение по сравнению с прочностью контрольных образцов, изготовленных из тампонажного портландцемента без введения перечисленных посторонних примесей.

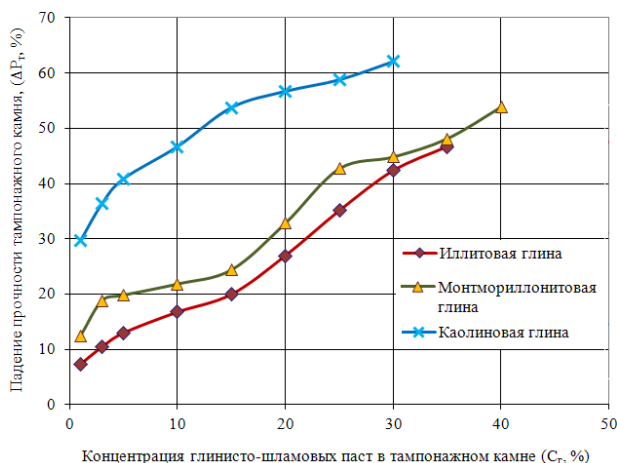


Рисунок 3. Зависимость прочности тампонажного камня от содержания посторонних примесей

Образцы для исследований были изготовлены в виде кубов с размером 50×50×50 мм, в количестве не менее 12 штук по видам примесей и в каждом численном значении концентрации. Выдерживались они во влажных условиях (это в некоторой мере моделирует нахождение тампонажного камня в скважине при твердении), в течение 28 суток.

Контрольные точки значений процентного снижения прочности образцов тампонажного камня были получены с привлечением аппарата математической статистики (Shmoiylova, 2002). Кроме того, прочностные характеристики корректировались с учетом условий формирования образцов и их испытания.

Данные представленные на Рисунке 3 вполне определенно свидетельствуют о значительности влияния примесей на механические свойства тампонажного камня при их поступлении в твердеющий раствор даже при концентрациях не превышающих 10%.

Для оценки достоверности полученных результатов использовался коэффициент вариации, определяемый по формуле:

$$V = \frac{\delta}{\sigma_{сж.ср}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где:

δ – стандартная ошибка определения среднего значения предела прочности при одноосевом сжатии, Па;

$\sigma_{сж.ср}$ – среднее значение предела прочности при одноосевом сжатии, Па.

На Рисунке 4 представлено расчетное значения коэффициента вариации для условий проводившихся исследований.

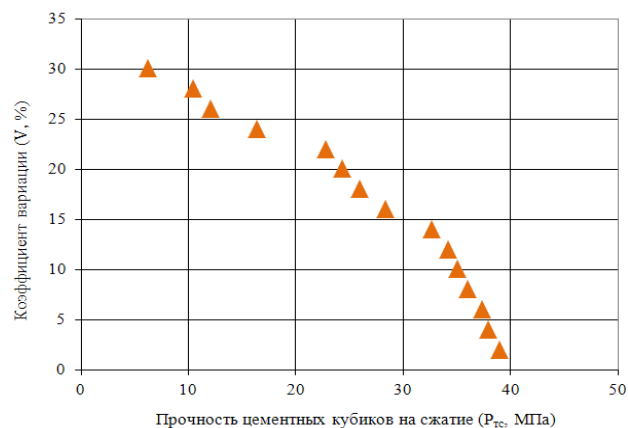


Рисунок 4. Коэффициент вариации при испытании образцов тампонажного камня на одноосное сжатие

Анализируя значения коэффициента вариации (Рис. 4) можно отметить, что оно не превышает 33%, следовательно, совокупность результатов исследований может считаться однородной (Freedman, 2005).

Условия работы устройства по очистке каверн, как механизма разрушающего и удаляющего шламовые скопления, определяются следующей системой выражений:

$$\begin{cases} \sum Q = \sum R \Rightarrow n_p = 1 \\ \sum Q < \sum R \Rightarrow n_p < 1, \\ \sum Q > \sum R \Rightarrow n_p > 1 \end{cases} \quad (3)$$

где:

$\sum Q$ – сумма сил вызывающих перемещение частиц шлама;

$\sum R$ – сумма сил препятствующих перемещению частиц шлама;

n_p – коэффициент равновесия шламовых частиц, находящихся в кавернозных скоплениях.

В зависимости от того, какое из условий (3) будет реализовано, следовательно ему будут протекать процессы взаимодействия активного потока, формируемого исполнительным органом устройства. Очевидно, что только выполнение последнего из условий (3) обеспечит выполнение задачи по очистке кавернозных интервалов (Hydraulics, 1992).

Исследование параметров процесса удаления глинисто-шламовых паст проводилось на специально оборудованном стенде, который, кроме прочего, включает отрезок фасонной трубы, позволяющий имитировать как сам процесс шламакопления в каверне, так и механизм ее очистки с помощью ло-

пастного исполнительного органа, моделируемого в широких диапазонах гидродинамических характеристик (Shterenlikht, 1984).

В результате большого числа опытов для имеющейся экспериментальной установки было установлено среднее минимально необходимое значение

периода обработки кавернозной зоны $t = 10$ мин. Приведенный показатель принят для дальнейшего изучения вопросов шламоудаления.

Рисунок 5 содержит сведения о результатах исследования работы устройства по удалению глинисто-шламовых скоплений.

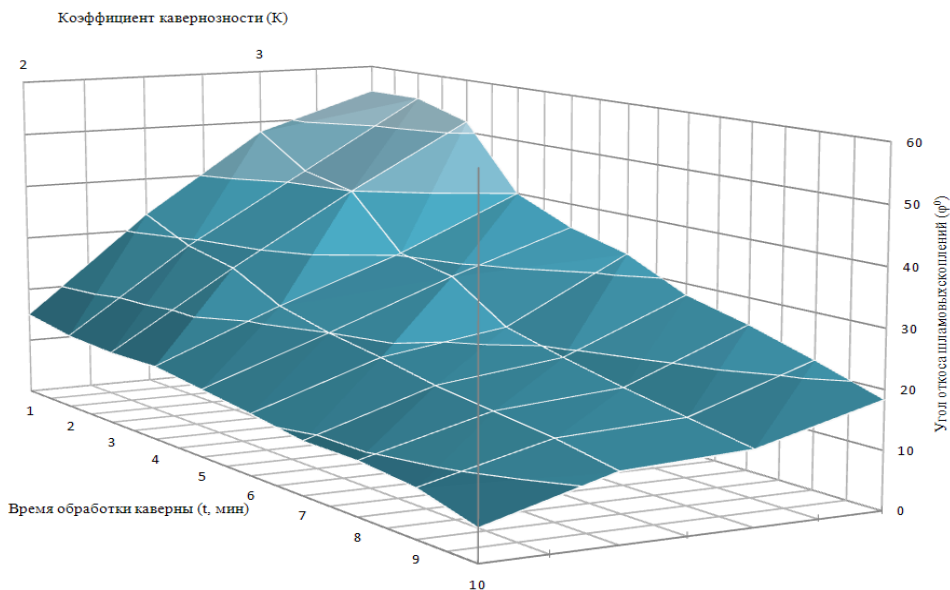


Рисунок 5. Результаты обработки кавернозных зон

Из представленных на Рисунке 5 данных видно, что на начальном этапе обработки каверны происходит размыв глинистой корки, обволакивающей шламовые скопления, протекающий практически без удаления частиц разрушенной породы. Далее следует фаза разрушения и удаления кавернозных образований той или иной степени интенсивности; особенно больших скоростей этот процесс достигает в случае предельных значений угла откоса φ и меры кавернозности K , что связано как с более напряженным скоростным полем потока жидкости, так и большей неустойчивостью частиц породы в крутых склонах скоплений. По мере выполаживания шламовых образований процесс их удаления несколько замедляется, что следует учитывать при обработке кавернозных скоплений со средними значениями угла φ , в этом случае цикл работы устройства должен быть увеличен.

В целом, для разработки адекватной технологии подготовки ствола скважины к креплению, процесс изучения шламоудаления должен быть более детализирован в соответствии с геолого-техническими и технологическими условиями бурения.

3. ВЫВОДЫ

Процесс кавернообразования и последующего шламонакопления в осложненных интервалах является одним из самых тяжелых видов осложнений при сооружении скважин, кардинально влияющий не только на производство буровых работ, но также и на продолжительность срока ее безремонтной службы.

При сооружении скважин в толщах глинистых разностей необходимо предусматривать комплекс меро-

приятий, обеспечивающий предотвращение интенсивного кавернообразования.

Основным параметром, характеризующим и определяющим процесс шламонакопления в кавернозной зоне скважины, является угол откоса глинисто-шламовых скоплений φ , который в свою очередь зависит от коэффициента кавернозности K .

При смешивании тампонажного раствора с глинисто-шламовыми пастами происходит резкое падение эксплуатационных показателей тампонажного камня в затрубном пространстве скважины, что грозит возникновением в ней аварий и ее потерей.

Удаление шламовых скоплений при работе устройства по обработке каверн происходит в несколько этапов, продолжительность и содержание которых определяются состоянием ствола скважины и технологическим режимом ее бурения.

Для разработки эффективной методики обработки кавернозных интервалов скважины при ее креплении необходимо более детально изучить влияние геолого-технических условий на результаты шламонакопления и исследовать рабочие параметры устройства очистке осложненных интервалов с учетом технологических особенностей его функционирования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам кафедры техники разведки месторождений полезных ископаемых и в особенности ее профессорам А. Н. Давиденко, А. А. Кожевникову, а также профессору кафедры строительства, геотехники и геомеханики А. Н. Шашенко за ценную помощь в проведении экспериментальных исследований.

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). Retrieved from <http://www.worldoil.com/-magazine/2015/october-2015>
- Budnikov, V., Bulatov, A., & Makarenko, P. (1996). *Problemy mekhaniki i zakanchivaniia skvazhin*. Moscow: Nedra.
- Davidenko, A., Ighnatov, A., & Yatsyk, V. (2010). *Device for processing tube of bore hole*. U.A. Pat. 90,541.
- Freedman, D. (2005). *Statistical models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hydraulics*. (1992). Moline, IL.
- Shmoylova, R. (2002). *Obschaya teoriya statistiki*. Moscow: Finansy i statistika.
- Shterenlikht, D. (1984). *Hidravlika*. Moscow: Energoatomizdat.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Обґрунтування технологічних параметрів пристрою для обробки кавернозної зони свердловини, виходячи зі встановлених залежностей формування і видалення глинисто-шламових скупчень та їх впливу на результати тампонування свердловин.

Методика. Лабораторними і теоретичними дослідженнями встановлені закономірності формування глинисто-шламових скупчень і їх впливу на технологічні показники будівництва свердловин.

Результати. Проаналізовані причини явища каверноутворення в стовбурі свердловини. Показана пряма залежність ефективності бурових робіт від якості проведення операцій по кріпленню свердловин. Вивчений вплив кута укосу скупчень і коефіцієнта кавернозності на об'єм шламових паст в ускладнених інтервалах. Розглянута дія глинистої фази на показники міцності тампонажного каменю. Методами математичної статистики доказана достовірність отриманих даних. Досліджений механізм дії активних потоків промивальної рідини на кавернозні скупчення шламу. Перераховані напрями подальшої роботи в області вдосконалення технології кріплення свердловин.

Наукова новизна. Показником якості робіт по кріпленню і тампонуванню, при використанні пристрою для обробки стовбура свердловини, є зниження кута укосу шламових скупчень пропорційно потужності каверн.

Практична значимість. Отримані результати теоретичних і лабораторних досліджень можуть бути покладені в основу створення ефективної технології кріплення і тампонування стовбура свердловини з високими техніко-економічними показниками. Дані по вивченню шламоскупчення в кавернах є базовими для розробки раціональних режимних параметрів процесу буріння свердловин.

Ключові слова: свердловина, каверна, глинисто-шламові скупчення, пристрій для обробки, кут укосу, глина, промивальна рідина

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Обоснование технологических параметров устройства для обработки кавернозной зоны скважины, исходя из установленных зависимостей формирования и удаления глинисто-шламовых скоплений и их влияния на результаты тампонирувания скважин.

Методика. Лабораторными и теоретическими исследованиями установлены закономерности формирования глинисто-шламовых скоплений и их влияния на технологические показатели строительства скважин.

Результаты. Проанализированы причины явления кавернообразования в стволе скважины. Показана прямая зависимость эффективности буровых работ от качества проведения операций по креплению скважин. Изучено влияние угла откоса скоплений и коэффициента кавернозности на объем шламовых паст в осложненных интервалах. Рассмотрено действие глинистой фазы на показатели прочности тампонажного камня. Методами математической статистики доказана достоверность полученных данных. Исследован механизм воздействия активных потоков промывочной жидкости на кавернозные скопления шлама. Перечислены направления дальнейшей работы в области совершенствования технологии крепления скважин.

Научная новизна. Показателем качества работ по креплению и тампонируванию, при использовании устройства для обработки ствола скважины, является снижение угла откоса шламовых скоплений пропорционально мощности каверн.

Практическая значимость. Полученные результаты теоретических и лабораторных исследований могут быть положены в основу создания эффективной технологии крепления и тампонирувания ствола скважины с высокими технико-экономическими показателями. Данные по изучению шламонакопления в кавернах являются базовыми для разработки рациональных режимных параметров процесса бурения скважин.

Ключевые слова: скважина, каверна, глинисто-шламовые скопления, устройство для обработки, угол откоса, глина, промывочная жидкость

ARTICLE INFO

Received: 30 November 2015

Accepted: 20 January 2016

Available online: 30 March 2016

ABOUT AUTHOR

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