

гата, находящегося на глубине 800 м в промывочной жидкости. Кроме того, при расположении бурового агрегата, как показано на рис. 4, он был практически недоступен для захвата его любым стандартным ловильным устройством, которое заводится в промывочный канал, т.к. верхняя часть бура находилась в каверне за пределами отвесной линии стенки скважины. Варианты подъема, путем затяжки бура канатной петлей, полукруглыми захватами и др. также не могли быть осуществлены, т.к. между агрегатом и стенками скважины не было никаких зазоров. Только принципиально новое высокоэффективное ловильное устройство, которое необходимо было разработать, могло быть заведено в отверстие бура, расположенное за пределами отвесной линии стенки скважины. Кроме того, в этом устройстве полностью исключались изгибные напряжения, что значительно повышало его грузонесущую способность, а надежность захвата обеспечивалась распором рычагов, стремительно возрастающую при увеличении нагрузки на ловильное устройство.

Библиографический список

1. **Разработка** ловильного устройства для ликвидации аварий при проходке вертикальных скважин / Шевченко Ф.Л., Петтик Ю.В., Улитин Г.М. и др. // Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля. - Донецк: ДонГТУ, №1, 2000. - С.101-105.
2. **Устранение** аварий при проходке стволов буровой установкой системы "WIRTH" / Шевченко Ф.Л., Петтик Ю.В., Улитин Г.М. и др // Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля - Донецк: ДонГТУ, №1, 2000. - С.101 – 105.
3. **Шевченко Ф.Л.** Будівельна механіка. Спеціальний курс. Динаміка пружних стержневих систем. – Донецьк: РІА ДонДТУ, 2000. -293 с.

© Шевченко Ф.Л., Петтик Ю.В., Улитин Г.М., 2001

УДК 622.24.085.5

Инж. ЮШКОВ И.А.

Донецкий государственный технический университет, г. Донецк, Украина

МЕТОД ПОИНТЕРВАЛЬНОГО БУРЕНИЯ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН ПОГРУЖНОЙ ПРОБООТБОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

В Донецком государственном техническом университете осуществляется разработка универсального комплекса бурового оборудования, предназначенного для бурения инженерно-геологических и разведочных скважин глубиной до 15-20 м в шельфовой зоне морей [7, 8].

Комплекс разработан для эксплуатации с малотоннажных буровых судов. Спускаемая на канате с помощью грузовой стрелы буровая установка представляет собой погружной снаряд, стабилизирующийся на дне с помощью складной опорной рамы. Базовый вариант установки предусматривает использование в качестве погружателя гидроударного механизма. Конструкция также позволяет оснащать буровой узлами для вдавливания или забивания колонкового набора.

Буровой снаряд функционирует в полуавтоматическом режиме, осуществляя последовательно сначала бескерновое гидромониторное бурение с углублением под весом снаряда, затем колонковое бурение или работу геофизического оборудования. Длина бескернового интервала бурения варьируется в любых пределах, ограниченных лишь возможностью размыва грунта. Переключение режимов работы осуществляется узлом распределе-

ния жидкости при разъединении механической связи между погружающимися снарядами и неподвижной опорой.

Разработанная методика предполагает осуществление буровых работ по схеме одно-рейсового бурения, предусматривающей погружение бурового снаряда в донные отложения за один спуск снаряда и последующее извлечение с потерей скважины. Данная схема наиболее приемлема для бурения неглубоких скважин, поскольку не предусматривает дорогостоящих мероприятий по креплению стенок скважины и созданию устойчивой связи между буровым судном и скважиной.

Буровой комплекс позволяет проводить:

1. *Бурение с отбором проб длиной по 2–5 м (бурение сокращенными рейсами)*

При первом спуске осуществляется отбор керна от уровня дна. На втором спуске без попадания в пробуренную скважину от уровня дна производится размыв до глубины, достигнутой на предшествующем рейсе, и отбор пробы. Укороченная длина рейса снижает вероятность наступления "свайного эффекта" и повышает качество отбираемых проб.

2. *Бурение с общей глубиной скважины до 20 м*

Технологическая схема аналогична предшествующей. В зависимости от пород длина рейса составляет 4–7 м, а число рейсов 3–5.

3. *Отбор пробы грунта в заданном интервале глубины*

После углубления бурового снаряда до требуемой глубины отбора пробы, происходит переключение узла распределения жидкости и осуществляется отбор керна.

4. *Бурение при малых глубинах моря (бурение в критическом мелководье)*

Длина колонкового набора (рейса), выбирается таким образом, чтобы гидровибрационный механизм находился погруженным под уровень моря. Технологическая схема не изменяется.

Область применения бурового снаряда ограничивается породами I–IV категорий по буримости (слабосвязные и несвязные песчано-глинистые донные отложения, илы, суглинки, супеси и др.).

Имеющаяся информация о применении струйных установок для размыва пород в горном деле, при гидравлическом и шароструйном бурении и бурении гидромониторными долотами, не дает четко сформулированного мнения о целесообразности применения высоконапорных, скоростных струй для размыва мягких пород. Это связано с тем, что: 1) большинство исследований рассматривает, в основном, процессы взаимодействия жидкости с крепкими породами, 2) одним из основополагающих факторов при расчетах гидромониторов является производительность процесса, обеспечиваемая большими, до 100 м/с скоростями потока [3, 5]. Насосные установки, обычно применяемые для функционирования промышленных гидромониторов и в нефтяном бурении, из-за ограниченности площадей бурового судна и больших энергозатрат неприменимы. В связи с этим проводились исследования, направленные на определение наиболее рациональной конструкции гидромониторного узла, способного обеспечивать устойчивое разрушение донных пород с использованием геологоразведочного бурового насоса при подачах жидкости 100–300 л/мин.

Принятое понятие о механизме гидромеханического разрушения породы базируется на выполнении соотношения, определяющего сдвиговые или сжимающе-растягивающие напряжения в породе. При этом рассматриваемая осевая нагрузка формируется либо под воздействием резца (шарошки), либо комбинированным воздействием инструмента и потока промывочной жидкости. При высокой скорости истечения из насадки струя промывочной жидкости будет оказывать механическое давление P на породу забоя, площадью F . Разрушение породы за счет механического сжатия происходит при условии

$$\frac{P}{F} > [\sigma_{сж}], \quad (1)$$

или

$$\frac{P}{F} > [\tau_{сдв}] \quad (2)$$

где $[\sigma_{сж}]$, $[\tau_{сдв}]$ - допускаемое напряжение соответственно сжатия (растяжения), сдвига. В то же время, экспериментальные исследования показывают, что разрушение породы часто происходит при значительно меньших значениях давления струи на забой, чем это необходимо для соблюдения условия (1) [2].

Указанные соотношения обычно применяются для описания процессов разрушения в связных крепких и твердых породах [5], что не всегда удобно для рыхлых или несвязных пород. Сложность и специфичность явления размыва заключается в том, что разрушение происходит не столько за счет сжатия или смятия, сколько из-за интенсивного нарушения целостности массива путем разъединения породы на частицы и "вырывания" отдельных агрегатов грунтовой массы. Основным параметром, определяющим эффективность гидравлического разрушения, в этом случае должно являться значение скорости жидкости, при которой происходит устойчивый размыв породы. Очевидно, что и для слабосвязных пород (к примеру, для глинистых грунтов и ила) такой подход к механизму разрушения является наиболее приемлемым.

Исследования, проведенные в ГрозНИИ А.В. Зубаревым, выявили определенное преимущество насадок круглого сечения перед щелевидными, а также показали незначительность влияния на характеристики гидромониторной струи стесненности пространства, в котором происходит распространение потока [2].

А.Б.Уваков доказал, что образование в процессе бурения забоя параболической формы резко снижает скорость бурения и показал предпочтительность ступенчатой или плоской формы забоя [4].

Турбулентное расширение одиночной струи формирует забой в виде воронки – параболической. Кроме того, скорость одноструйного потока жидкости снижается к границам зоны расширения и не всегда обеспечивает устойчивое разрушение. Очевидно, поток, способный эффективно осуществлять размыв породы, необходимо формировать установленным в колонковой трубе узлом с несколькими гидромониторными отверстиями.

Положение гидромонитора в корпусе бурового снаряда должно определяться двумя условиями:

- 1) максимальным перекрытием забоя скважины струями жидкости,
- 2) минимальным воздействием на распространяющийся поток внутренних стенок

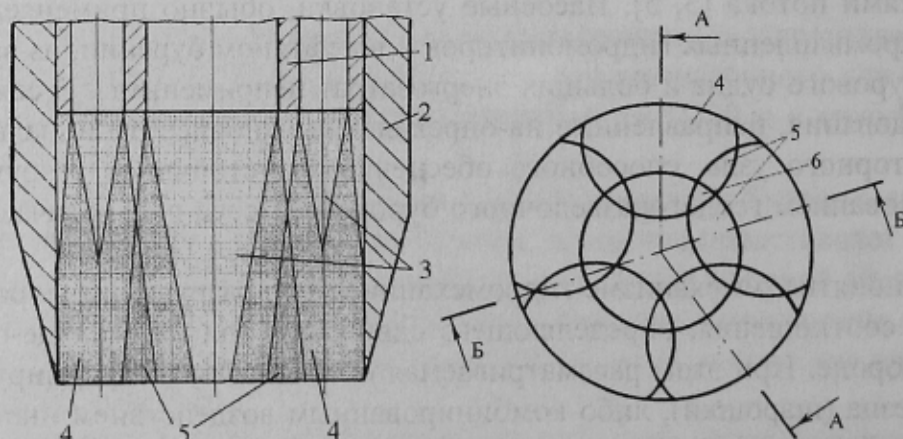


Рис. 1 – Схема распространения спутных турбулентных струй в полости колонковой трубы и зоне разрушения забоя

1 – узел гидромониторных насадок, 2 – колонковый набор бурового снаряда, 3 – потенциальные ядра струй, 4 – зона турбулентного расширения струи, 5 – зона смешения смежных струй, 6 – зона смешивания трех струй

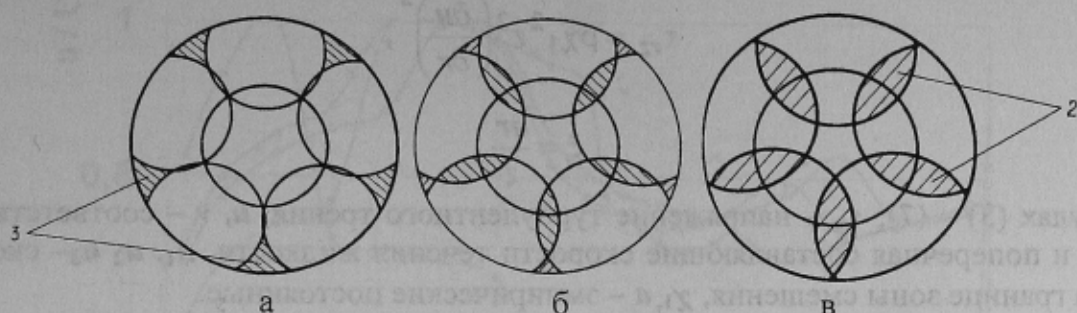


Рис. 2 – Сечение шестиструйного потока на выходе из колонкового набора при удалении гидромониторных отверстий от забоя на 60 мм (а), 70 мм (б) и 90 мм (в)

колонковой трубы.

Вне зависимости от внутреннего диаметра колонкового набора обеспечить вышеизложенные условия может конструкция узла насадок с центральным и несколькими периферийными отверстиями (рис. 1). На рис. 2 показано изменение структуры потока с увеличением расстояния от края режущего башмака бурового снаряда до отверстий. Как видно из схемы (рис. 2, а, зона 3), с удалением от забоя неперекрываемые участки забоя исчезают, а зоны смешения смежных потоков увеличиваются (рис. 2, в, зона 2). Для трубы с внутренним диаметром 90 мм, условию максимального перекрытия забоя удовлетворяет расстояние 70–75 мм (рис. 2, б). Дальнейшее приближение узла гидромониторных отверстий приводит к увеличению зон турбулентного смешения, а, следовательно, к чрезмерному соударению со стенкой трубы и потере энергии жидкостью.

Таким образом, зоной рационального расположения отверстий на основе анализа закономерностей расширения затопленной струи, можно считать расстояние 70 – 90 мм от забоя до гидромониторных отверстий.

Опираясь на предшествующие соображения отметим, что для большинства диаметров бурения число периферийных струй будет составлять 5 – 6.

Независимо от количества отверстий в потоке жидкости можно выделить участки турбулентного расширения струи и смешивания струй (рис. 1, 2). Для количественной оценки варианта расположения гидромониторных отверстий, а, следовательно, эффективности разрушения забоя, необходим расчет значений скорости по сечению потока. Значение продольной скорости на участке расширения описывается уравнениями, предложенными Л.Прандтлем и В.Голмином [6].

Для определения продольной скорости u в зоне смешения, используем последовательность решения, предложенную Г.Гертлером для слоя смешения плоских спутных (одинаково-направленных) потоков [6, 8]. Путем преобразования системы уравнений движения осесимметричного потока жидкости Л.Прандтля

$$u \frac{\partial u}{\partial z} + v \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial r} \tau_{rz}, \quad (3)$$

$$r \frac{\partial u}{\partial z} + r \frac{\partial v}{\partial r} = 0, \quad (4)$$

и используя граничные условия, учитывающие особенности распространения в кольцевом замкнутом пространстве, была получена зависимость для трех смешиваемых струй:

$$u = \frac{2u_1 + u_2 + u_3}{4} \left(1 + 2 \frac{2u_1 - u_2 - u_3}{2u_1 + u_2 + u_3} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\xi} e^{-z^2} dz \right), \quad (5)$$

где

$$\tau_{rz} = \rho \chi_1^2 z^2 \left(\frac{\partial u}{\partial r} \right)^2, \quad (6)$$

$$\xi = \frac{ar}{z}, \quad (7)$$

В формулах (3) – (7): τ_{rz} – напряжение турбулентного трения, u, v – соответственно продольная и поперечная составляющие скорости течения жидкости, u_1, u_2, u_3 – скорости потоков на границе зоны смешения, χ_1, a – эмпирические постоянные.

Безразмерные профили скорости потока по сечению А–А, истекающего из узла гидромониторных насадок в колонковую трубу диаметром 90 мм, представлены на рис. 3, а характеристика течения – в табл. 1.

Анализ профилей скорости (рис. 3) позволяет отметить:

- 1) увеличение расстояния между центральным и периферийными отверстиями с 31,5 мм до 39,6 мм привело к потере скорости в зоне смешения в среднем в 1,5 раза;
- 2) уменьшение межцентрового расстояния до 28 мм практически не изменило картины распределения скоростей в зоне смешения и не привело к существенному снижению скорости в зоне турбулентного расширения;
- 3) значение продольной составляющей скорости с приближением плоскости отверстий к забою увеличивается;
- 4) опытные значения скорости в зоне смешения отличаются от теоретических данных, что указывает на необходимость введения поправочного коэффициента.

Таблица 1 – Конструктивные параметры гидромониторных насадок

Условное обозначение на схеме	Расстояние от плоскости отверстий до забоя, м	Положение зоны смешения на схеме, r/R	Радиус расположения периферийных отверстий, мм
•	70	0,5 – 0,81	31,5
Δ	80	0,46 – 0,76	31,5
○	80	0,46 – 0,82	28
◆	100	0,2 – 0,68	39,6
×	70	0,5 – 0,82	31,5

При гидравлическом разрушении забоя формирование скважины происходит только за счет потока жидкости, взаимодействующего с породой. Исходя из вышеизложенных соображений о механизме разрушения забоя, изучение процессов по формированию подводной скважины целесообразнее проводить с использованием принципов теории расчета русловых деформаций и течений.

По аналогии с гидродинамическими процессами, движение восходящего потока жидкости по скважине можно считать кольцевым течением в пространстве между наружными стенками колонковой трубы и стволом скважины. Особенности рассматриваемого течения в сравнении с движением жидкости по трубам можно считать сравнительно большую шероховатость наружных стенок ствола и неизвестное значение диаметра скважины.

Известно, что на состояние стенок скважины независимо от способа бурения большое влияние оказывают физико-механические свойства буримых пород, находящихся под слоем воды: плотность в естественном сложении, пористость, консистенция, влажность и сцепляемость грунта [1]. Кроме этого, расчетная модель формирования ствола должна учитывать и специфическую особенность – нежесткую с позиций гидромеханики наружную стенку зазора. Струя жидкости, отраженная от забоя, поднимается вдоль снаряда,

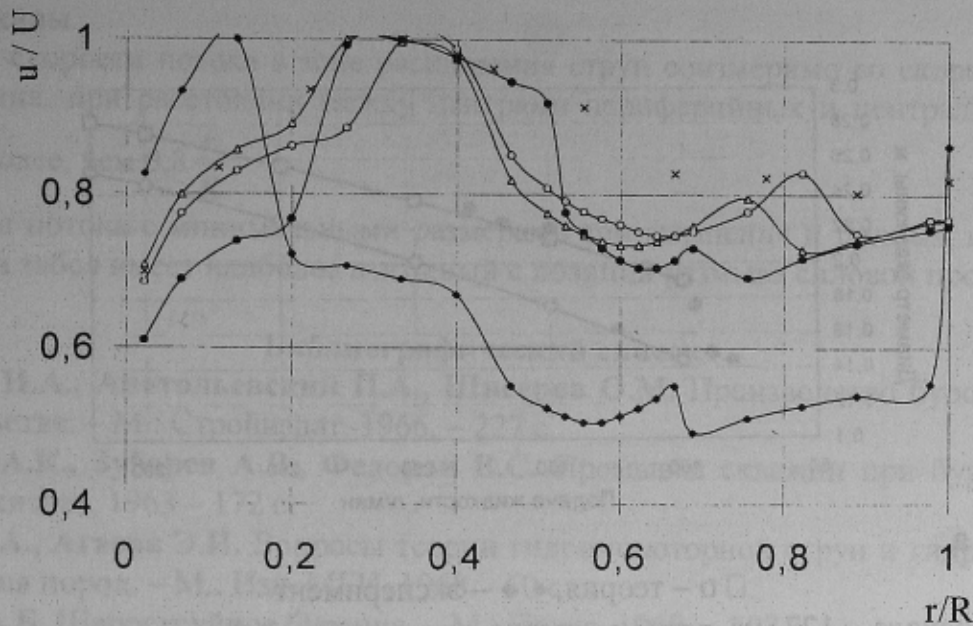


Рис. 3 – Безразмерная эпюра скорости потока в плоскости забоя при конструкции насадки с одним центральным ($\varnothing 10$ мм) и пятью периферийными отверстиями ($\varnothing 8$ мм);
 • ♦ Δ о – теоретические точки, × – опытные данные

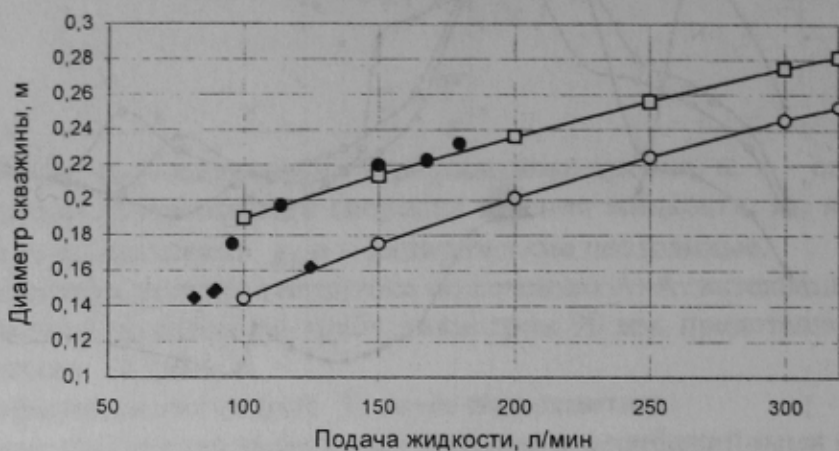
формируя при этом стенки скважины. Восходящий поток представляет собой жидкость, насыщенную частицами вымытой породы. Поскольку на поток влияет близость шероховатых стенок скважины и бурового снаряда, скорость распределяется по криволинейной зависимости с характерным уменьшением значения у стенок.

Проведенное исследование процесса формирования подводной скважины, описанного с позиций теории русловых деформаций, доказывает, что расширение ствола скважины прекращается, когда значение скорости вблизи стенки снижается до предельной неразмывающей скорости движения жидкости. Средний диаметр образованной гидроразмывом скважины определяется как [7]:

$$D = 2 \sqrt{\left(\frac{d_{сн}}{2}\right)^2 + \frac{K_n^{n+1} \left(\frac{1}{v}\right)^{n+1} \sqrt{\lambda} \cdot Q \cdot (0,7\delta)_{n+1} (0,088 K_1 K_2 \rho)^{\frac{n}{2(n+1)}}}{\pi \sqrt{8} (0,033 g \delta (\rho_r - \rho) + 0,007 C_H \cdot K_3)^{\frac{n}{2(n+1)}}}}, \quad (5)$$

где $d_{сн}$ – наружный диаметр бурового снаряда, λ – коэффициент гидравлического сопротивления для кольцевого зазора, Q – подача жидкости, K_1 – коэффициент, зависящий от формы обтекаемого тела и режима течения жидкости, K_2 – коэффициент, учитывающий пульсации скорости, K_3 – поправочный коэффициент, учитывающий неоднородность действия сил сцепления, возникающую из-за некомпактного расположения микрочастиц грунта, K_n и n – коэффициенты, зависящие от числа Рейнольдса, δ – средневзвешенный диаметр частиц грунта, ρ_r , ρ – плотность соответственно грунта и восходящего потока жидкости, v – вязкость восходящего потока жидкости, C_H – сцепляемость породы.

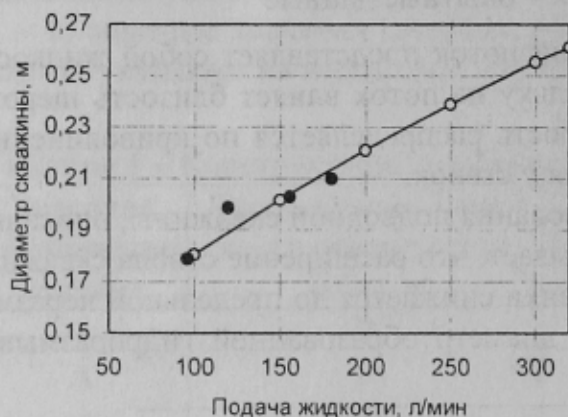
Для проверки полученной зависимости проводились опытные исследования, в ходе которых изучалось формирование скважины в образцах грунта, типичных для шельфовой зоны морей: песках крупно-, средне-, и мелкозернистых, суглинках и глинах различной консистенции. Достоверность получаемой информации обеспечивалась проведением серии параллельных опытов, при которых значения влажности, плотности сложения породы, скорости истечения жидкости из бурового снаряда выдерживались постоянными. Сравнение теоретических и опытных результатов приведено на рис. 4.



а

□ о – теория, • ♦ – эксперимент

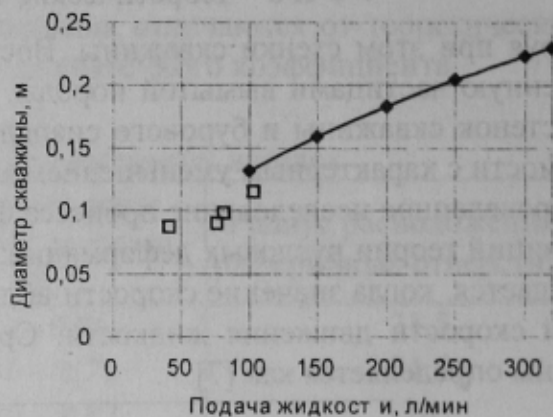
Диаметр снаряда – 127 мм, ряд □ • – песок мелкозернистый, сцепляемость 1000 Па, коэффициент пористости 0,55, ряд □ ♦ – песок мелкозернистый, сцепляемость 2000 Па, коэффициент пористости 0,55



б

о – теория, • – эксперимент

Диаметр снаряда – 127 мм, песок крупнозернистый, сцепляемость 2000 Па, коэффициент пористости 0,65



в

♦ – теория, □ – эксперимент

Диаметр снаряда – 89 мм, суглинок, коэффициент пористости 0,65

Рис. 4 – Зависимость диаметра формируемой гидроразрывом скважины от подачи жидкости

Анализ зависимостей (рис. 4) показывает:

- 1) возможность применения зависимости (5) для описания процессов формирования скважины размывом;
- 2) при одинаковом количестве подаваемой жидкости диаметр формируемой гидроразрывом скважины больше в породах с малыми значениями сцепляемости (коэффициента сцепления).

ВЫВОДЫ

1. Многоструйный напорный поток жидкости при подачах 100 – 300 л/мин обеспечивает разрушение путем размыва рыхлых несвязных и слабосвязных пород.
2. Рациональной можно считать конструкцию узла гидромониторного размыва с 5 – 6 струеформирующими отверстиями, расположенными на расстоянии 70 – 90 мм от за-

боя скважины.

3. Значение скорости потока в зоне расширения струи соизмеримо со скоростью в зоне смешивания, при расстоянии между центрами периферийных и центрального отверстий не более, чем $0,8 \frac{r}{R}$.
4. Структура потока с минимальными размерами зон смешения и полным перекрытием плоскости забоя имеет наиболее выгодный с позиций размыва силовой профиль

Библиографический список

1. Ганичев И.А., Анатолевский П.А., Шнееров О.М. Производство буровых работ в строительстве. – М.: Стройиздат, 1966. – 227 с.
2. Козодой А.К., Зубарев А.В., Федоров В.С. Промывка скважин при бурении. – М.: Гостоптехиздат, 1963 – 172 с.
3. Нурок Г.А., Агаева Э.И. Вопросы теории гидромониторной струи и гидравлического разрушения пород. – М.: Изд. МГИ, 1968. –60 с.
4. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1968. – 207 с.
5. Шавловский С.С. Основы динамики струй при разрушении горного массива. – М.: Наука. 1979. – 173 с.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя.– М.: Наука, 1974. – 711 с.
7. Юшков И.А. Исследование процесса формирования ствола подводной скважины при бурении гидроразрывом // Сб. науч. трудов ДонГТУ. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – Вып.17. — с. 44–49.
8. Юшков И.А. Обоснование условий гидромониторного бурения морских скважин погружным пробоотборником // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Межвуз. науч. темат. сб. – Екатеринбург: УГГГА, 1998. –Вып. 21.– с. 132–138.

© Юшков И.А., 2001

УДК 622.244.46: 622.248.3

Канд. техн. наук ЯКОВЛЕВ А.А.

Санкт-Петербургский государственный горный институт, г. Санкт-Петербург, Россия

ВЛИЯНИЕ ВОДО-ТВЕРДОГО ОТНОШЕНИЯ И СТЕПЕНИ АЭРАЦИИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ СМЕСЕЙ

Знание теплофизических свойств газожидкостных тампонажных смесей позволяет разрабатывать их с заранее заданными технологическими свойствами. Особое значение они приобретают при разработке технологии тампонирувания в породах с отрицательными температурами. Известно, что нарушение температурного режима в скважине приводит к потере сплошности тампонажного камня с окружающими породами, обсадными трубами [1] и в самом тампонажном камне [2, 3], а также к другим осложнениям (удлинение или сокращение срока твердения тампонажного раствора).

При использовании газожидкостных тампонажных смесей возможность развития указанных осложнений сохраняется.

Как указывается в работе [4], теплофизические свойства обычных тампонажных растворов остаются мало изученными. Данные по изменению теплоемкости, теплопроводности