

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

А.Н.Давиденко, А.Ф.Камышацкий

Национальный горный университет, 49005, г. Днепропетровск, пр. Карла Маркса 19

Показано, що використання механічних і гідравлічних способів диспергації не забезпечує повного диспергування твердої фази промивальної рідини. Пропонується здійснювати гідродинамічну дію на промивальну рідину, при якій створюється кавітаційний ефект.

Регулювання інтенсивності кавітаційного диспергування здійснюється шляхом зміни коефіцієнта перекриття потоку промивальної рідини.

Промывочная жидкость рассматривается как неотъемлемый элемент технологии бурения скважин. Общая доля затрат на их приготовление составляет от 5 до 14% стоимости проходки скважин. Основная часть (до 80%) промывочных жидкостей, применяемых при бурении скважин, имеет твердую дисперсную фазу, а у 60% основным компонентом дисперсной фазы является глина. Это связано с тем, что такие промывочные жидкости отвечают большинству требований, предъявляемых к ним с точки зрения выполнения возложенных функций.

Анализ имеющихся производственных и аналитических данных показывает, что от качества и соответствия промывочных жидкостей геолого-техническим условиям зависят скорость бурения, предотвращение аварий и осложнений, получения качественного кернового материала, износостойкость бурового оборудования и инструмента и, в конечном счете, стоимость сооружения скважины.

В значительной степени технологические свойства промывочных жидкостей определяются их устойчивостью, т.е. сохранением во времени основных параметров дисперсной системы: дисперсности (удельной поверхности) и равномерного распределения дисперсной фазы в дисперсной среде (одинаковая плотность по объему). Знание основных факторов устойчивости дисперсных систем и причин, ведущих к ее нарушению, позволяют обоснованно управлять свойствами промывочных жидкостей при бурении.

Различают кинетическую и агрегативную устойчивость дисперсных систем. Под агрегативной устойчивостью понимают способность частиц дисперсной фазы оказывать сопротивление слиянию и тем самым удерживать определенную дисперсность. Основные факторы, влияющие на агрегативную устойчивость, хорошо изучены. Они являются взаимосвязанными и включают электрический и адсорбционно-солеватный барьеры. Регулирование агрегативной устойчивости осуществляется введением в промывочную жидкость специальных химических

It has been shown that the use of hydraulic methods of dispersion doesn't ensure full dispersion of solid phase of drilling mud. Fluid dynamic impact on drilling mud is suggested in order to create cavitation effect.

Regulation of the intensity of cavitation dispersion is carried out through changing of drilling mud flow choking coefficient.

ких реагентов, которые создают на поверхности твердых частиц адсорбционно-гидратные оболочки, что и препятствует слиянию частиц при столкновении. Подбор химических реагентов и характер образования адсорбционно-гидратных оболочек зависит от химического и минерального состава как дисперсионной среды, так и дисперсной фазы. Такое регулирование агрегативной устойчивости промывочных жидкостей является достаточно эффективным, однако имеет ряд недостатков: высокая стоимость химических реагентов, основная часть химических реагентов – экологически небезопасны и т.д.

Под кинетической устойчивостью понимают способность дисперсных частиц удерживаться во взвешенном состоянии под влиянием их броуновского движения, т.е. устойчивость по отношению к массово-гравитационным силам. Кроме броуновского движения факторами кинетической устойчивости являются:

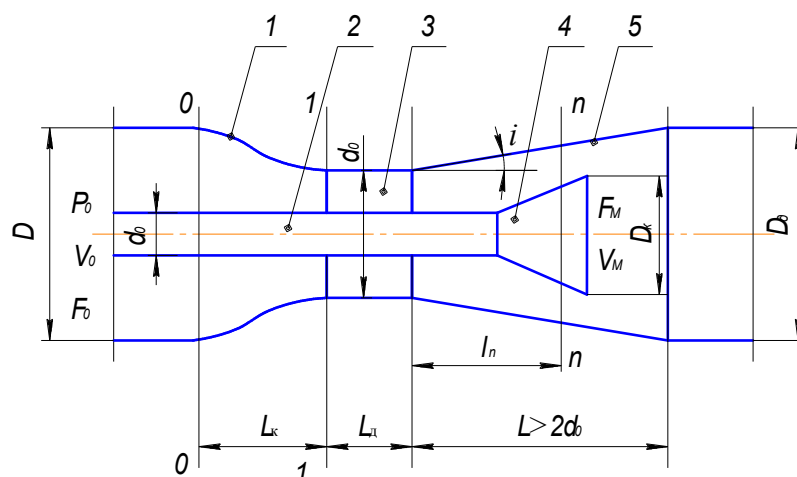
– дисперсность (наиболее важный фактор: чем выше дисперсность, тем больше устойчивость);

– вязкость;

– разность плотностей дисперсионной среды и дисперсной фазы.

Таким образом, наиболее перспективным направлением в получении промывочных жидкостей с улучшенными технологическими свойствами является получение высокодисперсных систем с высокой устойчивостью.

При использовании для приготовления промывочных жидкостей механических или гидравлических способов полной диспергации дисперсной фазы в процессе приготовления не происходит. Для каждого реального диспергирующего устройства существует определенная длительность процесса, увеличение которой уже не приводит к дальнейшему диспергированию твердых частиц и изменению свойств дисперсной системы. Механические воздействия для этого слишком кратковременны, прилагаются лишь к сравнительно небольшой части твердой фазы. Вследствие этого актуальность



1 – конфузор; 2 – шток; 3 – критическое сечение; 4 – конус обтекания; 5 – диффузор

Рисунок 1 – Схема расчета кавитационного диспергатора

получают процессы дополнительного диспергирования дисперсной фазы промывочных жидкостей, использующие различные диспергаторы.

Дополнительной диспергацией твердой фазы можно при одном и том же ее содержании в 2-3 раза увеличить вязкость, в 1,5 раза уменьшить водоотдачу; кроме того, уменьшается содержание песка, улучшается стабильность. Процесс диспергирования позволяет сократить количество твердой фазы в промывочной жидкости при заданных структурно-механических свойствах. Чем ниже качество глины, тем значительнее эффект диспергирования.

Основной фактор измельчения частиц при гидродинамическом воздействии — кавитационный эффект, возникающий в поле переменного давления потока жидкости.

Существующие диспергаторы обладают рядом недостатков: использование дополнительной энергии на привод, значительные гидравлические потери в струйных диспергаторах и др. В современных методах приготовления устойчивых промывочных жидкостей используются кавитационные генераторы, в основу работы которых положено явление кавитации. Наиболее перспективной для приготовления промывочных жидкостей является суперкавитация, возникающая при обтекании осесимметричных тел потоком жидкости. [1, 2].

При разработке кавитационного диспергатора были сформулированы следующие требования, применительно к специфике приготовления промывочных жидкостей при бурении скважин:

- режимные параметры кавитационного диспергатора должны обеспечиваться существующим номенклатурным рядом геологоразведочного оборудования;

- кавитационный диспергатор должен иметь возможность регулирования режимных параметров работы, что обеспечит универсальность применения;

- высокая степень работоспособности;

- простота конструкции и управления.

Метод расчета основных параметров кавитационного диспергатора состоит из следующих этапов:

- определение скорости и коэффициента гидравлического сопротивления в зоне конуса обтекания;

- нахождение оптимальных гидродинамических режимов работы и геометрических параметров кавитационного диспергатора.

Схема для расчета основных параметров кавитационного диспергатора показана на рис. 1.

Для расчета основных параметров кавитационного диспергатора решим совместно уравнение Бернулли и уравнения сплошности для сечений 0-0 и 1-1.

$$H = P_0 + \frac{\rho \cdot V_0^2}{2} = P_1 + \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} + \Delta h_{0-1}, \quad (1)$$

где: H – давление развиваемое насосом; ρ – плотность промывочной жидкости; Δh_{0-1} – потери в конфузоре;

$$Q_0 = Q_1 = Q_i, \quad V_0 F_0 = V_1 F_1 = V_i F_i, \quad (2)$$

где: F_0, F_1, F_i – соответствующие площади сечений, $F_i = F_1 - F_{ш}$, где $F_{ш}$ – площадь сечения направляющего штока,

$$\Delta h_{0-1} = \frac{\xi_k \cdot \rho \cdot V_1^2}{2}, \quad (3)$$

где ξ_k – коэффициент гидравлических потерь в конфузоре.

При переходе от широкой части конфузора к узкой происходит падение давления. Для снижения перепада давления конфигурация конфузора должна иметь вид синусоиды. Длину конфузора следует выбирать равной диаметру трубы в сечении 0-0 (рис. 1). Угол наклона диффузора принимается из условия отсутствия кавитации на стенках генератора. В соответствии с рекомендациями угол наклона диффузора составляет $\gamma \leq 2,5^\circ$, а длина участка диффузора –

$$L_d \geq 2 \cdot d.$$

Для конфузора, выполненного в виде синусоиды, коэффициент гидравлических потерь равен $\xi_{\kappa}=0,02$; коэффициент гидравлических потерь диффузора – $\xi_{\text{д}}=0,03$; коэффициент гидравлических потерь для цилиндрической части соответственно равен $\xi_{\text{ц}}=0,04$.

Гидравлические потери на конусе (кавитаторе) рассчитываются по формуле:

$$\Delta h_{\kappa} = \xi_{\text{кав}} \frac{\rho \cdot V_{\text{кав}}^2}{2}, \quad (4)$$

где $V_{\text{кав}}$ – скорость в месте обтекания конуса потоком жидкости в диффузоре.

Общие потери на кавитационном диспергаторе равны:

$$\Delta h_{\text{КД}} = (\xi_{\kappa} + \xi_{\text{д}} + \xi_{\text{ц}}) \frac{\rho \cdot V_{\text{ц}}^2}{2} + (\xi_{\text{кав}}) \frac{\rho \cdot V_{\text{кав}}^2}{2}, \quad (5)$$

где $\xi_{\text{кав}}$ – коэффициент гидравлических потерь на кавитаторе (конусе).

Коэффициент $\xi_{\text{кав}}$ определяется экспериментально для различных углов раскрытия конуса. Проанализировав экспериментальные данные, приведенные в работах, получим зависимость коэффициента гидравлических потерь на кавитаторе от угла раскрытия конуса при постоянном числе кавитации (рис. 2).

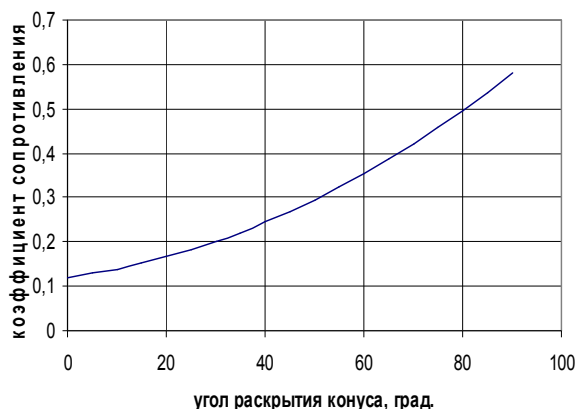


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента гидравлических потерь на кавитаторе от угла раскрытия конуса

Минимальные гидравлические потери будут соответствовать углам раскрытия конуса 15° – 20° и соответственно равны

$$\xi_{\text{кав}} = 0,15 - 0,16.$$

Интенсивность кавитационной обработки будет зависеть от геометрических характеристик суперкаверны и, как следствие, числа и размера образующихся кавитационных микропузырьков за суперкаверной. Так как регулирование размера суперкаверны (интенсивности кавитационной обработки) осуществляется путем осевого перемещения конуса обтекания в диффузоре, то для характеристики интенсивности процесса гидродинамической кавитации вводится коэффициент запираания потока – k_3 , который равен:

$$k_3 = \frac{F_{\kappa}}{F_{\text{д}}} = \frac{D_{\kappa}^2}{D_{\text{д}}^2}, \quad (6)$$

где: F_{κ} , $F_{\text{д}}$ – соответственно площадь сечения основания «конуса-обтекания» и диффузора, м^2 ; D_{κ} , $D_{\text{д}}$ – соответственно диаметры основания конуса обтекания и диффузора, м .

Учитывая уравнение неразрывности потока с учетом коэффициента запираания потока, скорость обтекания конуса равна

$$V_{\kappa} = \frac{Q}{0,785 \cdot d_{\kappa}^2 \cdot (1/k_3 - 1)}, \quad \text{м/с}, \quad (7)$$

где: d_{κ} – диаметр конуса; Q – расход промывочной жидкости.

Исходные данные для расчета:

- диаметр конуса обтекания – $0,025 \text{ м}$;
- коэффициент запираания потока – $0-0,95$;
- подача промывочной жидкости – $0,001$; $0,002$; $0,003 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты расчета скорости обтекания приведены в виде графической зависимости на рис. 3 и в виде числовых значений в табл. 1.

Таблица 1 — Зависимость скорости обтекания конуса от коэффициента запираания потока для различных значений подачи насоса Q

Коэффициент запираания потока	Скорости обтекания конуса при различной подаче насоса, м/с		
	0,001 м ³ /с	0,002 м ³ /с	0,003 м ³ /с
0,05	0,107275	0,214549	0,321824
0,1	0,226469	0,452937	0,679406
0,15	0,359685	0,719371	1,079056
0,2	0,509554	1,019108	1,528662
0,25	0,679406	1,358811	2,038217
0,3	0,873521	1,747043	2,620564
0,35	1,097501	2,195002	3,292504
0,4	1,358811	2,717622	4,076433
0,45	1,667632	3,335263	5,002895
0,5	2,038217	4,076433	6,11465
0,55	2,491154	4,982307	7,473461
0,6	3,057325	6,11465	9,171975
0,65	3,785259	7,570519	11,35578
0,7	4,755839	9,511677	14,26752
0,75	6,11465	12,2293	18,34395
0,8	8,152866	16,30573	24,4586
0,85	11,54989	23,09979	34,64968
0,9	18,34395	36,6879	55,03185
0,95	38,72611	77,45223	116,1783

Как видно по графику (рис. 3), оптимальный диапазон изменения коэффициента запираания потока находится в пределах $k_3=0,7-0,95$, т.к. в данном диапазоне интенсивность изменения скорости имеет максимальное значение, что позволит регулировать интенсивность кавитационного воздействия в широких пределах.

Однако, для определения оптимального диапазона изменения коэффициента запираания потока кавитационного диспергатора, необходимо определить его влияние на коэффициент гидравлических сопротивлений.

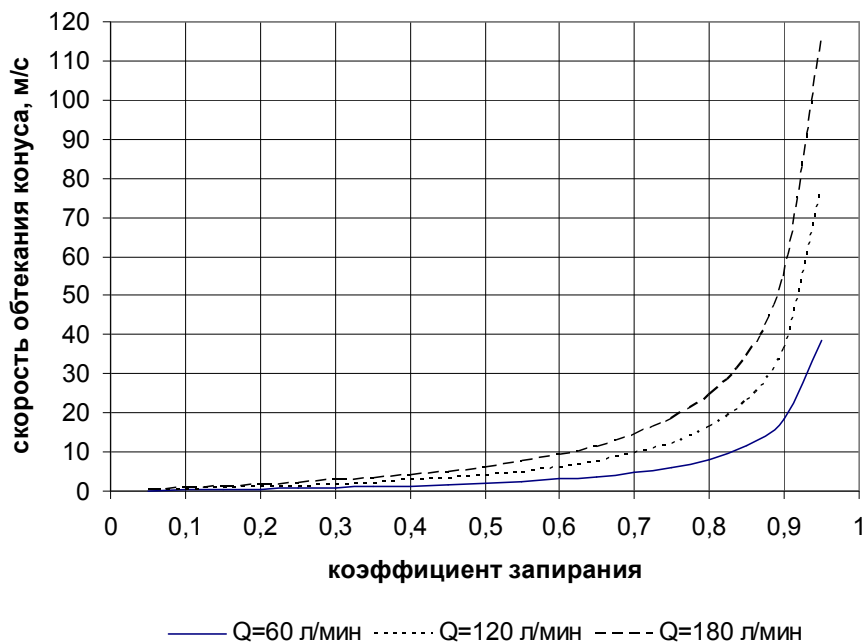


Рисунок 3 — Зависимость скорости обтекания конуса от коэффициента запирания потока для различных значений подачи насоса Q

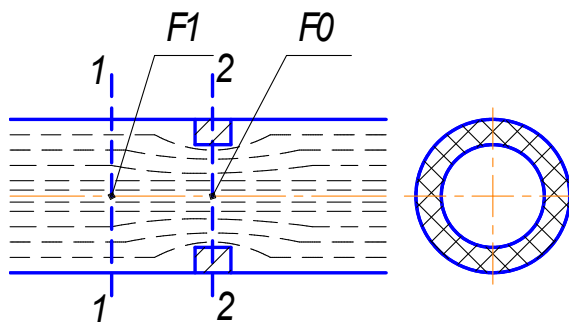


Рисунок 4 — Расчетная схема

Известна формула определения коэффициента гидравлических сопротивлений для внезапного сужения проточного канала:

$$\xi = \left[1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - \frac{F_0}{F_1}}} \right]^2 \cdot \left[\frac{F_1}{F_0} - 1 \right]^2, \text{ м/с}, \quad (8)$$

Расчетная схема для формулы 8 показана на рис. 4.

Площадь сечения 1-1 равна

$$F_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2, \text{ м/с}. \quad (9)$$

Площадь сечения 2-2 равна

$$F_0 = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2, \text{ м/с}. \quad (10)$$

Данная расчетная схема позволяет перейти к коэффициенту запирания потока

$$\frac{F_0}{F_1} = \frac{D_\delta^2 - D_\kappa^2}{D_0^2} = (1 - k_3), \text{ м/с}. \quad (11)$$

Тогда коэффициент гидравлических сопротивлений для диффузора, запираемого конусом обтекания, будет равен

$$\xi = \left[1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - (1 - k_3)}} \right]^2 \cdot \left[\frac{1}{(1 - k_3)} - 1 \right]^2. \quad (12)$$

Зависимость коэффициента гидравлических сопротивлений от коэффициента запирания потока приведена на рис. 5.

Как видно из графика, при изменении коэффициента запирания потока:

- от 0,6 до 0,7 – коэффициент гидравлических сопротивлений увеличится в 2 раза;
- от 0,7 до 0,8 – коэффициент гидравлических сопротивлений увеличится в 2,1 раза;
- от 0,8 до 0,9 – коэффициент гидравлических сопротивлений увеличится в 5 раз;
- от 0,9 до 0,95 – коэффициент гидравлических сопротивлений увеличится в 4,3 раза.

Анализируя полученную зависимость (рис. 5) можно сделать следующие выводы:

- наиболее оптимальный диапазон работы кавитационного диспергатора (с точки зрения минимальных гидравлических сопротивлений) находится в пределах 0,7-0,9;

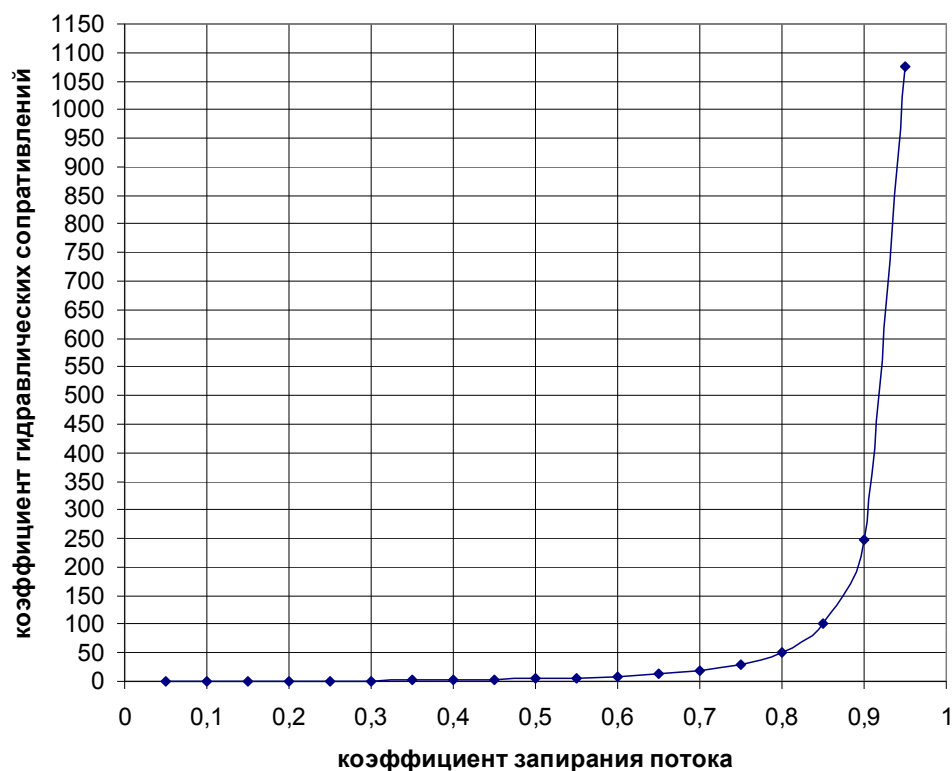
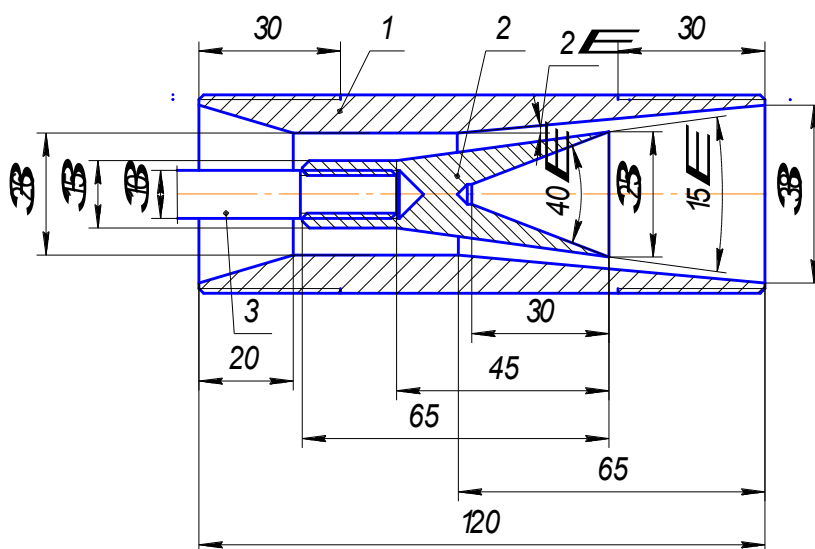


Рисунок 5 — Зависимость коэффициента гидравлических сопротивлений от коэффициента записания потока



1 – ниппель специального сечения; 2 – конус обтекания; 3 – шток

Рисунок 6 — Экспериментальный образец кавитационного диспергатора

- коэффициент записания потока не должен превышать 0,9, иначе может произойти резкий скачок давления в нагнетательной линии, что, в свою очередь, приведет к аварийной ситуации.

Сопоставив зависимости на рис. 3 и рис. 5, для условий получения максимальной интенсивности регулирования режима работы кавитационного диспергатора при минимальных гидравлических сопротивлениях, получим рабочий диапазон изменения коэффициента записания потока – 0,7-0,9.

С учетом проведенных аналитических и теоретических исследований был разработан экспериментальный образец кавитационного диспергатора (рис. 6), новизна которого подтверждена патентом Украины [3].

Промывочная жидкость по подающей линии поступает в ниппель специального сечения 1 и, обтекая конус 2, поступает в выкидную линию. При обтекании конуса 2 происходит образование участка, в котором капельная жидкость полностью отсутствует – появляется суперкаверна. Для обеспечения возможности регули-

рования режимными параметрами работы кавитационного диспергатора конус обтекания 2 выполнен с возможностью осевого перемещения в диффузоре ниппеля 1, путем перемещения штока 3. При этом размер суперкаверны будет зависеть от скорости набегающего потока и, как следствие, от радиального зазора между конусом обтекания и диффузором ниппеля 1.

Вывод

Регулирование интенсивности кавитационного диспергирования осуществляется путем изменения коэффициента запыления потока k_3 . Оптимальный диапазон изменения коэффициента запыления потока находится в пределах $k_3=0,7-0,9$, т.к. в данном диапазоне интенсивность изменения скорости обтекания имеет максимальное значение, что позволит регулировать интенсивность кавитационного воздействия в широких пределах.

УДК 621.673.001

ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ТРУБОПРОВІДІВ БАНДАЖАМИ З ПОЛІМЕРНО-КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

А.М.Найда

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)42166,
e-mail: andr@kl.if.ua

Предложена эффективная технология ремонта трубопроводов бандажками из полимерно-композитных материалов, которая проводится без остановки работы трубопровода. По данной технологии используются полимерно-композитные бандажки на основе отечественных материалов, которые предназначены для проведения ремонтных работ на нефтегазопроводах, имеющих локальные дефекты тела трубы (коррозии, механические повреждения, внутритрубное расслоение) и сварных швов.

Запропонована технологія ремонту трубопроводу з використанням бандажів з полімерно-композитних матеріалів призначена для підвищення довговічності, відновлення працездатності, ізоляції трубопроводів з корозійними і механічними пошкодженнями, дефектами зварних швів без зупинки експлуатації трубопроводу за зниження робочого тиску до $(0,3-0,4)P_{роб}$ (регламентується нормативно-технічними вимогами для забезпечення безпечного проведення ремонту, а також включення в роботу конструкції [1-4]).

Дана технологія поширюється на ремонт полімерно-композитними матеріалами дефектних сталевих труб нафтогазпромислових трубопроводів діаметром до 300 мм з робочим тиском до 6,27 МПа, тобто це можуть бути високонапірні, середньонапірні, низьконапірні, безнапірні трубопроводи (викидні лінії, що

Литература

- 1 Федоткин И.М. Интенсификация технологических процессов. – К.: Вища шк., 1999. – 200 с.
- 2 Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитационные энергетические аппараты и установки. – К.: Арктур-А, 1998. – 136 с.
- 3 Пат. 68524 А Україна, МКИ 7 Е 21 В 21/06. Пристрій для приготування бурових розчинів / Давиденко О.М., Камишацький О.Ф. Опубл. 16.08.2004; Бюл. № 8. – 3 с.

There is a suggestion of an efficient technology of repairing of pipelines by bandages made of polymeric-composite material, which is executed without stop of working of the pipeline. In the given technology, polymeric-composite bandages are used on the base of domestic materials, which are intended for making of the repair work on oil and gas pipelines, which have local defects of the body of the pipe (the corrosions, mechanical damages, inside pipe body stratification) and welded seams.

транспортують продукцію свердловини від її гирла до групової замірної установки; нафтогазозбірні колектори, розташовані від АГЗУ до ДНС; нафтозбірні колектори, розташовані від ДНС до центрального пункту збору (ЦПЗ); газозбірні колектори, що транспортують газ від пункту сепарації до компресорної станції, розташованої поряд з ЦПЗ).

До зв'язуючого компаунда в полімерно-композитному бандажі відноситься епоксидний зв'язувач ЕДТ-10 ОСТ 92-0957, в який можна додавати прискорювач полімеризації 2,4,6-три (діметиламіно) (метил) фенол УПО 60612 згідно ТУ 6-00209817.035, каталізатор диметиланілін технічний згідно ГОСТ 2168-78.

Матеріал бандажка – конструкційна склотканина структури 10 на замаслювачі №80 Т-10-80 згідно з ГОСТ 19170-73.