

**А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий, А.К. Судаков**

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН**



*Разработана технология приготовления промывочных жидкостей. Обоснована перспективность использования гидродинамической суперкавитации для приготовления промывочных жидкостей при бурении скважин. Теоретические исследования позволили обосновать параметры и разработать конструкцию кавитационного диспергатора. Результаты теоретических исследований нашли подтверждение в ходе практических исследований и стали базой для создания методики приготовления промывочной жидкости и конструкции кавитационного диспергатора, опробованных в производственных условиях.*

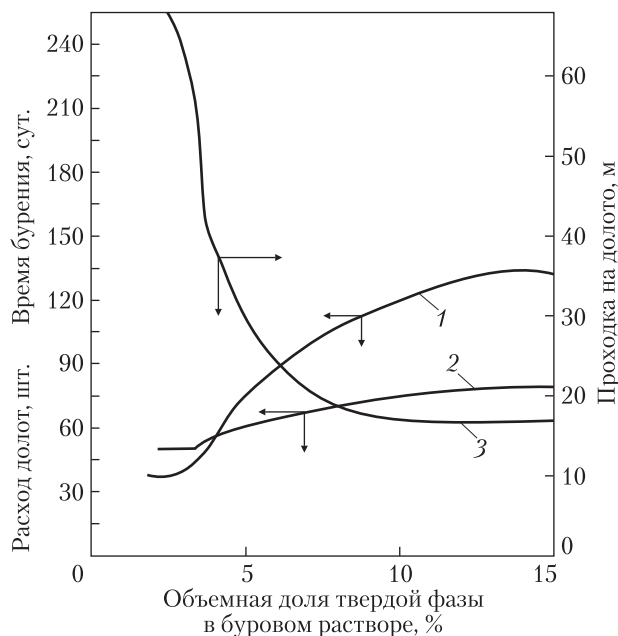
*Ключевые слова:* бурение скважин, скважина, промывочная жидкость, гидродинамическая суперкавитация, кавитационный диспергатор.

Промывочные жидкости являются неотъемлемым элементом технологии бурения скважин различного назначения. От их качества и соответствия геолого-техническим условиям зависит величина технико-экономических показателей бурения. Развитие технологии бурения скважин различного назначения неразрывно связано с совершенствованием промывочных жидкостей, которые представляют собой сложные полидисперсные гетерогенные системы. Они обеспечивают не только вынос разрушенной горной породы из забоя скважины на поверхность, а и одновременно выполняют ряд других важных функций. От соответствия свойств промывочных жидкостей определенным условиям зависят технико-экономические показатели бурения скважин. Общая доля затрат на приготовление промывочных жидкостей составляет от 5 до 14 % стоимости проходки скважин. К промывочным жидкостям предъявляются требования с учетом

комплекса геологических, технологических и организационных факторов, что обуславливает определенные требования к используемым для приготовления жидкостей машинам, принципу действия, производительности и многому другому, что вызывает необходимость их модернизации и усовершенствования.

Разнообразие, а иногда и противоречивость требований к промывочным жидкостям, непостоянство геолого-технических условий бурения скважин вызывают необходимость применения в каждом конкретном случае промывочных жидкостей с определенными технологическими свойствами, которые и определяют их функциональность. 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).

Основная часть (до 80 %) промывочных жидкостей, применяемых при бурении скважин,



**Рис. 1.** Влияние твердой фазы в буровом растворе на технико-экономические показатели бурения: 1 — расход долота; 2 — время бурения; 3 — проходка на долото

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.

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, являются взаимосвязанными и включают электрический барьер и адсорбционно-солеватный барьер. Регулирование агрегативной устойчивости осуществляется введением с промывочную жидкость специальных химических 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 зависят 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, экологическая опасность основной части химических реагентов и др.

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 является получение качественных систем с высокой устойчивостью.

При приготовлении промывочных жидкостей существующими способами полной диспергации дисперсной фазы не происходит. Вследствие этого процессы дополнительного диспергирования дисперсной фазы промывочных жидкостей с использованием различных диспергаторов становятся актуальными. Процесс диспергирования позволяет сократить количество твердой фазы в промывочной жидкости при заданных структурно-механических свойствах. Чем ниже качество глины, тем значительнее эффект диспергирования.

На рис. 1 приведены зависимости основных показателей бурения от содержания твердой фазы в буровом растворе. Существующие диспергаторы обладают рядом недостатков: использование дополнительной энергии на привод, значительные гидравлические потери в струйных диспергаторах и др. В современных методах обработки устойчивых промывочных жидкостей используются кавитационные ге-

нераторы, в основу их работы положено явление кавитации.

Проведенный анализ показал, что самой перспективной для обработки промывочных жидкостей является суперкавитация (СК), которая возникает при обтекании осесимметричных тел потоком жидкости. Принцип действия СК-механизмов заключается в том, что при обтекании соответствующего кавитатора образуется суперкаверна, замыкание которой происходит непосредственно в потоке достаточно далеко от рабочих поверхностей аппарата. Нестационарная хвостовая часть каверны генерирует поля кавитационных микропузырьков, которые при схлопывании интенсифицируют процесс диспергирования. При этом рабочие поверхности аппарата не подвергаются кавитационной эрозии и срок их службы не зависит от режимов кавитационной обработки. Определяющими эффект факторами являются количество и размеры образующихся кавитационных пузырьков.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для расчета основных параметров кавитационного диспергатора решено совместно уравнение Бернулли и уравнения сплошности для сечений 0–0 и 1–1 (см. рис. 2).

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

где  $H$  — давление, развиваемое насосом,  $\rho$  — плотность промывочной жидкости,  $\Delta h_{0-1}$  — 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,  $F_i = F_1 - F_{ш}$  ( $F_{ш}$  — площадь сечения направляющего штока);

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

где  $\xi_k$  — коэффициент гидравлических потерь в конфузоре.

При переходе от широкой части конфузора к узкой происходит падение давления, для сни-

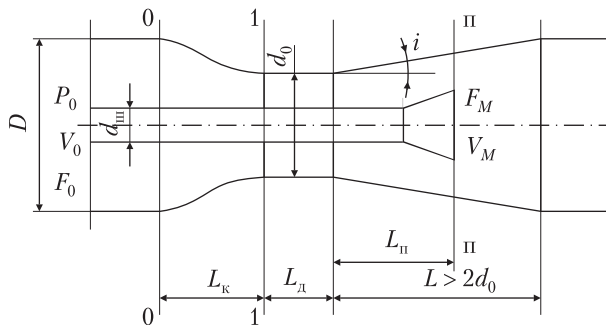


Рис. 2. Расчетная схема кавитационного диспергатора

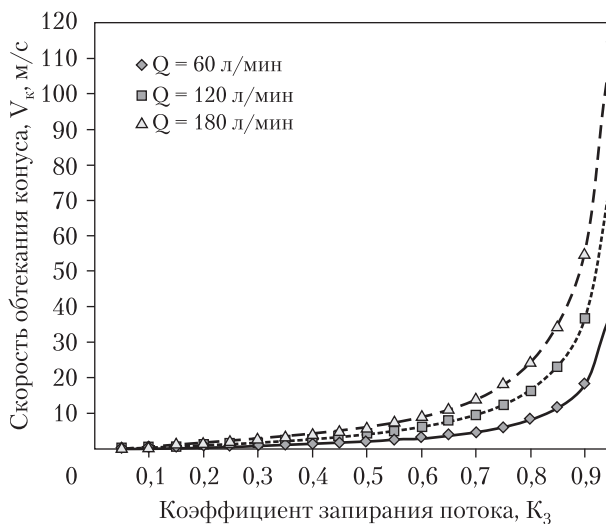


Рис. 3. Расчетная скорость обтекания конуса от коэффициента записания потока

жения перепада давления конфигурация конфузора должна иметь вид синусоиды. Длину конфузора следует выбирать равной диаметру трубы в сечении 0–0 (см. рис. 3).

Угол наклона диффузора принимается из условия отсутствия кавитации на стенках генератора, в соответствии с рекомендациями угол наклона диффузора составляет  $\gamma \leq 25^\circ$ , а длина участка диффузора —  $L_d \geq 2d$ .

Гидравлические потери на конусе (кавитаторе) находятся по формуле

$$\Delta h_k = \xi_{кав} \frac{\rho V_{кав}^2}{2}, \quad (4)$$

где  $V_{кав}$  — скорость в месте обтекания конуса потоком жидкости в диффузоре.

Общие потери на кавитационном диспергаторе равны:

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

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

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 от 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  $F_{\kappa}$ ,  $F_{\text{д}}$  — соответственно площадь сечения основания конуса-обтекания и диффузора;  $D_{\kappa}$ ,  $D_{\text{д}}$  — соответственно диаметры основания конуса-обтекания и диффузора в определенном сечении.

Таблица 1

Расчетные значения частоты кавитационных колебаний

Диаметр конуса обтекания, $d_{\kappa}$ , м	Коэффициент запираания потока		
	0,6	0,7	0,8
0,025	$Q = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$		
	84	195	553
	$Q = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}$		
	168	390	1105
	$Q = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}$		
	252	585	1658

С учетом уравнения неразрывности потока и коэффициента запираания потока скорость обтекания конуса запишем равной

$$V_k = \frac{Q}{0,785 d_k^2 (1/k_3 - 1)}, \text{ м/с}, \quad (7)$$

где  $d_k$  — диаметр конуса;  $Q$  — расход промывочной жидкости.

В графическом виде выражение (7) представлено на рис. 3.

Из рис. 3 выходит, что рациональный диапазон изменения коэффициента запираания потока находится в пределах  $K_3 = 0,6–0,8$ , поскольку в данном диапазоне интенсивность изменения скорости имеет максимальное значение, что позволяет регулировать интенсивность кавитационного воздействия в широких пределах.

Природа кавитационных колебаний, возникающих при обтекании конуса, аналогична природе хорошо известных в гидродинамике так называемых *струхалевых частот*. Для этих колебаний характерна линейная зависимость частоты от скорости набегающего потока и обратно пропорциональная зависимость от характерного геометрического размера (гидравлического диаметра):

$$f = \frac{SrV}{d_i}, \quad (8)$$

где  $Sr$  — число Струхалия (безразмерная величина, один из критериев подобия нестационарных течений жидкостей, характеризующий постоянство протекания процессов во времени).

Число Струхалия является функцией числа Рейнольдса  $Re$ , и в диапазоне  $200 < Re < 200\,000$  действует эмпирический закон постоянства числа Струхалия:  $Sr \approx 0,2–0,3$ . Окончательно формула для расчета частоты кавитационных колебаний примет вид

$$f = \frac{SrQ}{0,785 d_k^3 (1/k_3 - 1) (1/\sqrt{k_3} - 1)}, \text{ Гц}. \quad (9)$$

Результаты расчета частоты  $f$  для условий  $d_{\kappa} = 0,025 \text{ м}$ ,  $Sr \approx 0,25$ ,  $k_3 = 0,6–0,8$ ,  $Q = 0,001–0,003 \text{ м}^3/\text{с}$  приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что рациональный диапазон работы кавитационного диспергатора по коэффициенту запирания находится в пределах 0,6–0,8; с уменьшением диаметра «конуса обтекания» потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются, а их наиболее интенсивный рост наблюдается при уменьшении диаметра «конуса обтекания» от 0,015 м и менее.

При соударении струйки с частицей дисперсной фазы возникающее давление должно преодолевать не только локальную прочность частицы, но и её силы инерции. В условиях кумулятивного воздействия материал твёрдых частиц может вести себя как жидкость. Динамический предел текучести по экспериментальным данным равен  $P_d = 1,8 s_{\tau}$ , с учетом сил инерции его величина увеличивается до  $P_d = 4,5 s_{\tau}$ , где  $s_{\tau}$  — предел текучести материала дисперсной фазы.

На рис. 4 показана расчетная схема схлопывания кавитационного пузырька.

При внедрении струйки в частицу давление на контактной поверхности составит в случае жесткого удара

$$P = \frac{1}{2} \rho_k (V_{kc} - U)^2, \quad (10)$$

где  $U$  — скорость контактной поверхности,  $\rho_k$  — плотность жидкости в кумулятивной струйке,  $V_{kc}$  — скорость кумулятивной струйки.

Принимая, что материал частицы при ударе начинает течь, из уравнения Бернулли для материала частицы получаем

$$P = \frac{1}{2} \rho_c U^2 + P_d, \quad (11)$$

где  $\rho_c$  — плотность материала суспензии,  $P_d$  — динамический предел текучести.

Тогда находим

$$\frac{1}{2} \rho_k (V_{kc} - U)^2 = \frac{1}{2} \rho_c U^2 + P_d. \quad (12)$$

Преобразовав выражение (10), получим

$$U = \frac{\sqrt{\rho_k P_d + \rho_c \rho_k V_{kc}^2 - \rho_c P_d - V_{kc} \rho_k}}{\rho_k - \rho_c}. \quad (13)$$

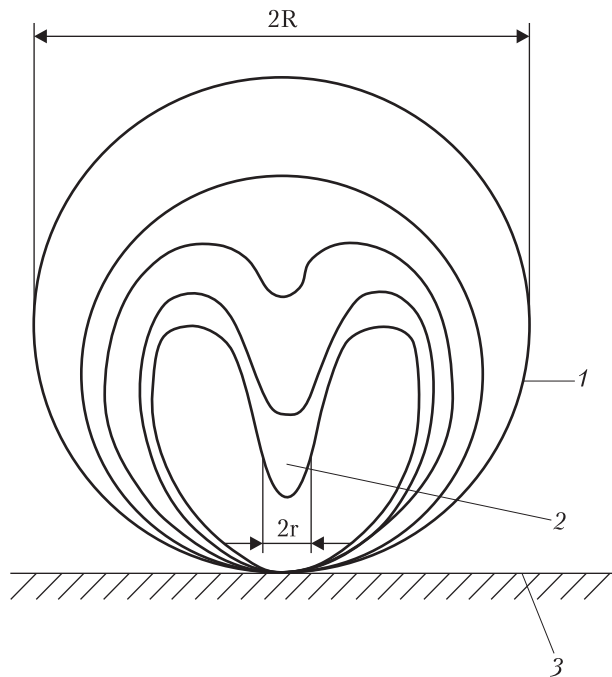


Рис. 4. Расчетная схема схлопывания кавитационного пузырька: 1 — кавитационный пузырек; 2 — кумулятивная струйка; 3 — поверхность частицы дисперсной фазы

При установившемся процессе за один и тот же достаточно малый промежуток времени  $d\tau$  контактная поверхность пройдет путь, равный  $dl_u = U d\tau$ . Кумулятивную струйку можно представить в виде жидкого клина. За промежуток  $d\tau$  размер струйки в результате контакта с поверхностью частицы увеличивается на величину  $dl_c = V_{kc} d\tau$ . Кумулятивная струйка, прошивая пузырёк, изменяет свою форму от  $2R$  до  $2r$  — наименьшего радиуса. Тогда время  $d\tau$  определится из равенства

$$d\tau = dl_u / U = dl_c / V_{kc}. \quad (14)$$

Глубина проникновения струйки равна

$$l = \int_{2r}^{2R} \left( \frac{\sqrt{\rho_k P_d + \rho_c \rho_k V_{kc}^2 - \rho_c P_d - V_{kc} \rho_k}}{V_{kc} (\rho_k - \rho_c)} \right) dR. \quad (15)$$

Скорости  $V_{kc}$  и  $U$  являются функциями радиуса схлопывающегося пузырька. Интегри-

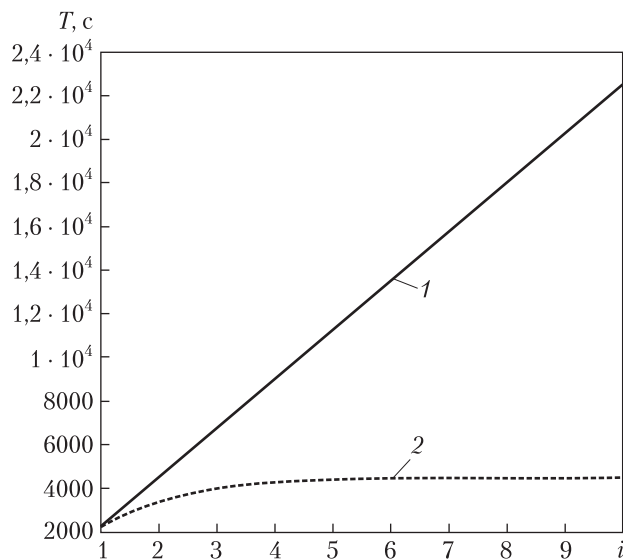


Рис. 5. Зависимость времени диспергирования  $T$  от числа циклов обработки  $i$ : 1 – при  $f = const$ ; 2 – при переменной частоте кавитационных колебаний

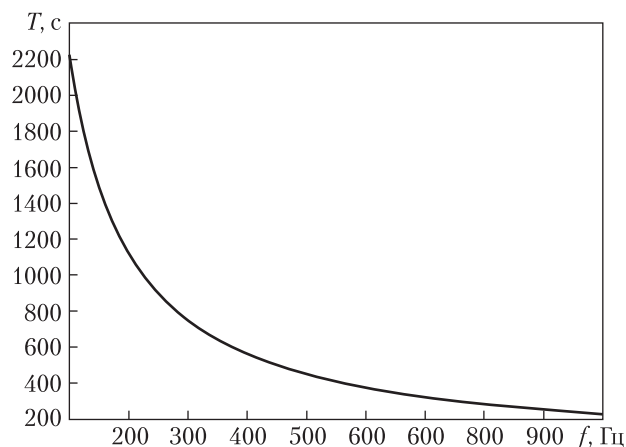


Рис. 6. Зависимость времени диспергирования дисперсной фазы от частоты кавитационных колебаний для единичного цикла обработки

равнение полученного выражения позволяет определить глубину проникновения  $l_{2\pi}$  струйки в частицу при условии жесткого упругого удара для случая, когда частица касается пузырька, а соударение происходит при длине струйки, равной начальному диаметру пузырька:

$$l_c = 2R. \quad (16)$$

При полном схлопывании пузырька под наименьшим его радиусом  $r$  следует понимать радиус струйки. Разрушение частицы за один удар струйки произойдет в том случае, если глубина проникновения  $l$  будет больше или равна среднему  $l_q$  размеру частицы суспензии. Поэтому для осуществления условия разрушения частицы за один удар при известном размере частицы  $l_q$  необходимо получать кавитационные пузырьки такого радиуса  $R$ , чтобы глубина проникновения была больше размера частицы:

$$l_{2R} \geq l_q. \quad (17)$$

Решив интеграл (15), получим формулу для определения глубины проникновения кумулятивной струйки в частицу:

$$l = \frac{\sqrt{\rho_k P_d + \rho_c \rho_k V_{kc}^2 - \rho_c P_d - V_{kc} \rho_k} \times V_{kc} (\rho_k - \rho_c) \times (2r - 2R). \quad (18)$$

Учитывая условие разрушения частицы за один удар, получим

$$l = 2R. \quad (19)$$

Приравняв выражения (18) и (19), определим необходимую для разрушения частицы дисперсной фазы скорость кумулятивной струи:

$$V_{kc} = \frac{\sqrt{(4\rho_k(R^2 - Rr) + \rho_k r^2 - \rho_c R^2)P_d(R-r)}}{4\rho_k(R^2 - Rr) + \rho_k r^2 - \rho_c R^2} \quad (20)$$

Зная скорость проникновения кумулятивной струи в частицу и ее размер, определим время, необходимое для единичного акта разрушения частицы с начальным характерным размером  $l_0$ :

$$t_1 = \frac{l_0}{V_k}. \quad (21)$$

Запишем начальное число частиц в определенном объеме дисперсной фазы  $V$ :

$$n = \frac{V}{V_0}, \quad (22)$$

где  $V$  – объем дисперсной фазы,  $V_0$  – начальный объем одной частицы дисперсной фазы.

Время, необходимое для диспергирования всех частиц дисперсной фазы, определяется формулой

$$T = t_1 n = \frac{l_0 V}{V_{kc} V_0}, \quad (23)$$

Однако при расчете времени диспергирования всего объема дисперсной фазы следует учесть число частиц, диспергируемых одновременно, которое равно частоте кавитационных колебаний. Тогда время, необходимое для диспергирования всех частиц дисперсной фазы, равно

$$T = \frac{l_0 V}{V_{kc} V_0 f}, \quad (24)$$

где  $f$  — частота кавитационных колебаний.

Приняв, что с каждым актом разрушения начальный объем частиц дисперсной фазы  $V_0$  будет уменьшаться как минимум в 2 раза, определим зависимость времени диспергирования  $T$  от числа циклов обработки  $i$  при  $f = const$ :

$$\sum T_i = i \frac{l_0 V}{V_{kc} V_0 f}, \quad (25)$$

Общее время для диспергирования определенного объема дисперсной фазы с начальным размером частиц  $l_0$  и объемом  $V_0$  до размера  $l_i$  и объема  $V_i$  при увеличении частоты кавитационных колебаний давления жидкости в потоке с каждым циклом в  $n$  раз равно:

$$\sum T_i = \frac{l_0 V}{V_{kc} V_0 f} \frac{\left[ 1 - \left( \frac{1}{n} \right)^{i-1} \frac{1}{n} \right]}{\left( 1 - \frac{1}{n} \right)}, \quad (26)$$

В графическом виде зависимости (25) и (26) приведены на рис. 5 и 6.

Расчет проведен для следующих начальных условий: радиус микропузырька при схлопывании уменьшается в 10 раз; начальный размер частиц дисперсной фазы —  $l_0 = 0,0001$  м; динамическая прочность частиц дисперсной фазы  $P_{\sigma} = 100$  МПа; число полных циклов обработки  $i = 10$ .

Анализ зависимостей приведенных на рис. 5 и 6 показывает, что:

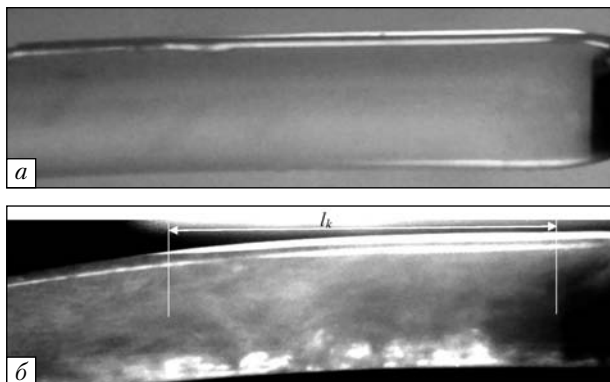


Рис. 7. Обтекание конуса потоком жидкости при: а — без кавитации  $Q = 1,2$  л/с,  $k_3 = 0,95$ ,  $l_k = 0$  мм; б — кавитация при  $Q = 1,6$  л/с,  $k_3 = 0,7$ ,  $l_k = 150$  мм

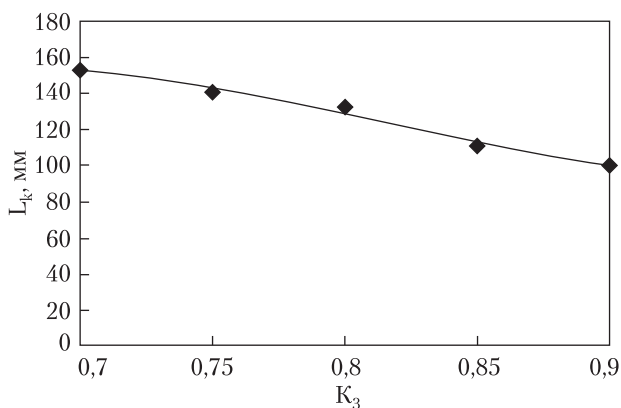


Рис. 8. Характерная зависимость длины каверны от коэффициента запитания при подаче насоса  $0,0016$  м<sup>3</sup>/с

- ✦ время диспергирования обратно пропорционально количеству кавитационных пузырьков в потоке (частоте кавитационных колебаний), образующихся в единицу времени;
- ✦ число частиц дисперсной фазы в потоке с каждым актом разрушения возрастает, следовательно, для поддержания интенсивности диспергирования на постоянном уровне необходимо изменять число кавитационных пузырьков в потоке (частоту кавитационных колебаний).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении исследований проверялась работоспособность кавитационного дисперга-

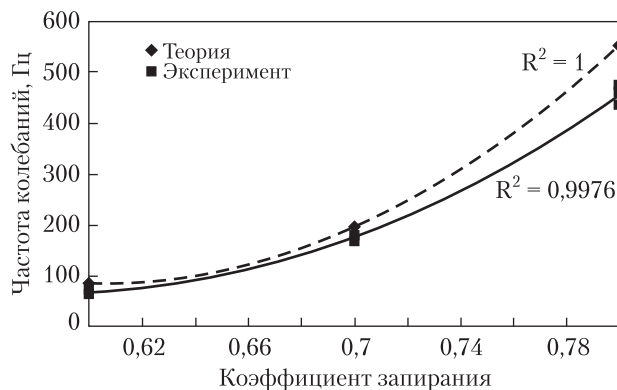


Рис. 9. Зависимость частоты кавитационных колебаний от коэффициента запираания при  $Q = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$

тора и определялись геометрические параметры каверны в зависимости от коэффициента запираания потока с помощью фотография.

Стенд включал: кавитационный диспергатор, технические характеристики которого приведены ниже; вихревой насос 2В-1,6; отстойник; трубопроводы.

**Технические характеристики диспергатора**

Диаметр корпуса, мм	50
Диаметр конуса обтекания, мм	25
Угол раскрытия диффузора, град.	15
Длина (макс.), мм	300
Масса, кг	не более 2,0

На рис. 7 приведены фотографии процесса обтекания конуса потоком жидкости при разных режимах работы.

Исследования показали, что с увеличением коэффициента запираания длина суперкаверны  $l_k$  уменьшается с одинаковой интенсивностью для разных значений подачи насоса (см. рис. 8). Максимальный перепад давления на кавитационном диспергаторе не превысил 0,2 МПа.

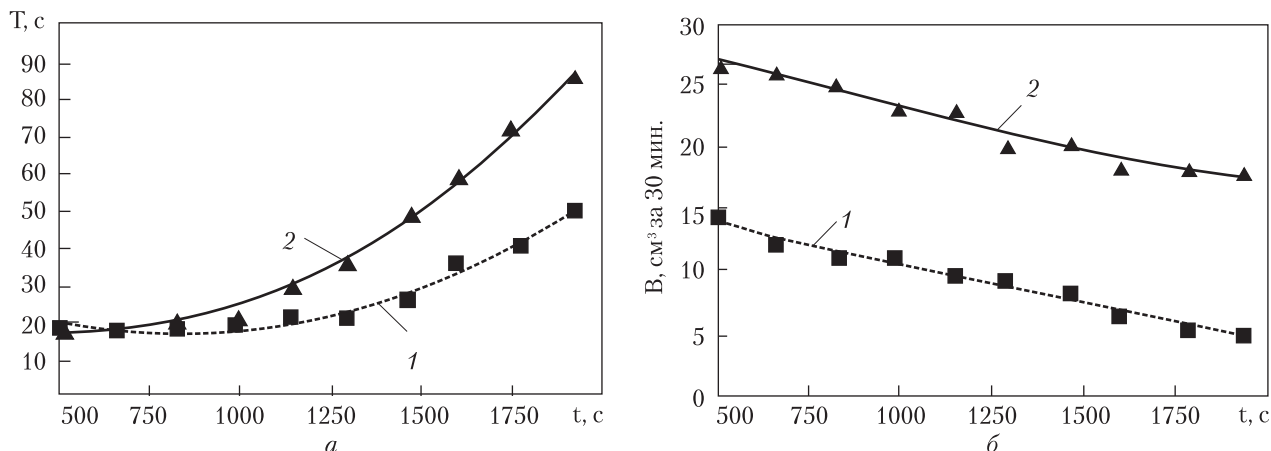
При проведении исследований определяются фактические значения параметров работы кавитационного диспергатора (амплитуда и частота кавитационных колебаний давления) путем осциллографирования процесса при различных режимах работы стенда (изменение подачи насоса и коэффициента запираания потока в кавитационном диспергаторе). Стенд включа-

Таблица 2

**Усредненные данные о геологическом разрезе**

Горная порода	Мощность, м	Категория по буримости	Возможные осложнения	Тип п/ж
Суглинок	5	III	Карст, поглощение п/ж	Глинистый раствор
Известняк	20	IV		
Глины	10	IV		
Мергели	10	IV		
Известняки	40	IV		
Песок глауконитовый	5	VI	Зоны трещиноватости	Малоглинистый раствор с отработанным эмульсолом
Алевролиты, аргиллиты	45	VIII		
Песчаники с прослоями алевролитов	50	IX		
Гравелиты	5	IX		
Гнейсы, кристалосланцы, мигматиты	30	IX		
Граниты, пегматоидные граниты	30	IX		
Итого	250	X		





**Рис. 10.** Влияние времени обработки на: *а* – условную вязкость глинистого раствора; *б* – на водоотдачу глинистого раствора; 1 – обработка с помощью трубки Вентури; 2 – обработка кавитационным диспергатором

ет: кавитационный диспергатор, насос, отстойник, всасывающий и нагнетательный трубопроводы, измерительная аппаратура.

На рис. 9 приведены результаты экспериментальных исследований частотной характеристики кавитационного диспергатора при подаче насоса  $Q = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ . Расхождение экспериментальных данных с теоритическими находится в пределах 15–20 %. Аналогичные результаты получены и для подач насоса  $Q = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $Q = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Анализ результатов стендовых исследований влияния кавитационного диспергатора на технологические свойства промывочных жидкостей показывает, что его использование позволило увеличить интенсивность роста технологических свойств по сравнению с применением трубки Вентури (рис. 10).

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Целью производственных испытаний являлось определение технико-экономических показателей работы кавитационного диспергатора. В результате проверки было определено:

- ✦ влияние кавитационной обработки промывочной жидкости на расход исходных компонентов при ее приготовлении и в процессе бурения;

- ✦ влияние работы кавитационного диспергатора на технологические параметры промывочной жидкости.

Испытания проводились в условиях Поисково-съёмочной экспедиции № 46 КП «Кировгеология». Усредненные данные о геологическом разрезе приведены в табл. 2.

В качестве базы сравнения были приняты технологические параметры промывочной жидкости, применяемой при бурении скважины с характерными для экспедиции горно-геологическими условиями. Кавитационный диспергатор был включен в дополнительную нагнетательную линию и использовался для дополнительного диспергирования исходных компонентов промывочной жидкости как на стадии приготовления, так и в процессе бурения.

В результате производственных испытаний установлено, что:

- ✦ использование кавитационного диспергатора позволяет снизить расход исходных компонентов и реагентов для приготовления промывочной жидкости и поддержания ее технологических свойств в процессе бурения на 20–30 %;
- ✦ стоимость приготовления 1 м<sup>3</sup> промывочной жидкости с использованием экспериментального образца кавитационного диспергатора снижается до 30 %;

✦ кавитационный диспергатор обеспечивает эффективное диспергирование компонентов, входящих в состав промывочной жидкости, и может быть рекомендован к широкому использованию в практике буровых работ при применении в качестве промывочных жидкостей различных дисперсных систем.

### ВЫВОДЫ

В работе на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований дано решение актуальной задачи, заключающейся в разработке технологии обработки стойких тонкодисперсных промывочных жидкостей за счет использования эффекта гидродинамической суперкавитации, а именно:

- ✦ обоснован тот факт, что при приготовлении промывочных жидкостей наиболее перспективной с энергетической точки зрения является гидродинамическая суперкавитация, которая возникает при обтекании осесимметричных тел потоком жидкости;
- ✦ установлено, что минимальный перепад давления на кавитационном диспергаторе обеспечивается при выполнении тела обтекания в виде конуса с малыми углами раскрытия;
- ✦ разработана принципиально новая конструкция кавитационного диспергатора, новизна которой подтверждена патентом Украины;
- ✦ для разработанного кавитационного диспергатора основной управляемой величиной, которая определяет интенсивность кавитационной обработки, является коэффициент запыления  $k_3$ ;
- ✦ на основании теоретических исследований установлено, что время диспергирования дисперсной фазы для единичного цикла обработки обратно пропорционально частоте кавитационных колебаний;

- ✦ проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать методические рекомендации по применению кавитационного диспергатора для обработки промывочных жидкостей при бурении скважин;
- ✦ разработанные и примененные в условиях производства рекомендации позволили уменьшить затрату материалов для обработки промывочных жидкостей при бурении скважин в среднем на 20–30 %. Методические рекомендации приняты и одобрены к использованию Государственной геологической службой Министерства экологии и природных ресурсов Украины;
- ✦ кавитационный диспергатор обеспечивает эффективное диспергирование компонентов, которые входят в состав промывочной жидкости, и может быть предложен к широкому использованию в практике буровых работ.

*О.М. Давиденко, О.Ф. Камышацкий, А.К. Судаков*

Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»,  
Дніпропетровськ

### ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРИГОТУВАННЯ ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН

Розроблено технологію приготування промивальних рідин. Обґрунтована перспективність використання гідродинамічної суперкавітації для приготування промивальних рідин при бурінні свердловин. Теоретичні дослідження дозволили обґрунтувати параметри і розробити конструкцію кавітаційного диспергатора. Результати теоретичних досліджень знайшли підтвердження в ході практичних досліджень і стали базою для створення методики приготування промивальної рідини і конструкції кавітаційного диспергатора, випробуваних у виробничих умовах.

*Ключові слова:* буріння свердловин, свердловина, промивальна рідина, гідродинамічна суперкавітація, кавітаційний диспергатор.

*A.N. Davydenko, A.F. Kamyshatsky, A.K. Sudakov*

State Higher Educational Institution «National Mining University», Dnipropetrovsk

**INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR PREPARING WASHING LIQUID DURING WELL DRILLING**

Technology of washings liquid preparation is worked out. Prospects of the hydrodynamic supercavitation use for preparation of washing liquids during well drilling are substantiated. Theoretical research make it possible to set pa-

rameters and work out the construction of cavitation dispersator. The results of theoretical research found their confirmation during practical examinations and became the basis for creation of the technique of washing liquid preparation and construction of cavitation dispersator tested in production conditions.

*Keywords:* well drilling, well, washing liquid, hydrodynamic supercavitation, cavitation dispersator.

Стаття надійшла до редакції 27.05.15