

Министерство образования и науки Украины
Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

На правах рукописи

Камышацкий Александр Федорович

УДК 622.241

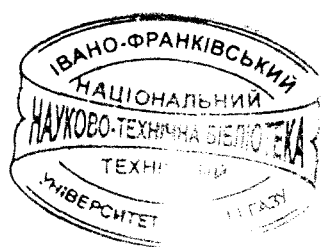
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

05.15.10 – Бурение скважин

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

Давиденко Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор

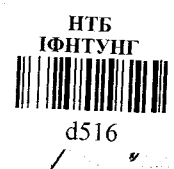


Всі підписки дисертації ідентичні за змістом
Вчений секретар спец. вченої ради Д.М.052.02
Дніпропетровськ - 2014
01.07.2014р.

Ковбальок І.М.

516

Взем



кожа Л.М. посвідчення
 / В. Труцюк / 01.07.14.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1	
СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	9
1.1 Анализ применения промывочных жидкостей при бурении скважин	9
1.2 Оценка способов обработки промывочных жидкостей при бурении скважин	14
1.3 Существующие конструкции кавитационных диспергаторов для обработки промывочных жидкостей	19
1.4 Процесс получения кавитационных колебаний давления жидкости	26
1.5 Цель и задачи исследований	32
РАЗДЕЛ 2	
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ Обработки ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН	34
2.1 Исследование процесса кавитационного диспергирования	34
2.3 Обоснование параметров и разработка конструкции кавитационного диспергатора	47
2.3.1 Обоснование гидравлических характеристик кавитационного диспергатора	50
2.3.2 Обоснование частоты кавитационных колебаний	62
2.4 Эффективность работы кавитационного диспергатора	71
Выводы к разделу 2	75
РАЗДЕЛ 3	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИИ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ	77

3.1 Лабораторные исследования процесса возникновения кавитации при обтекании конуса потоком жидкости	77
3.1.1 Методика лабораторных исследований.....	77
3.1.2 Результаты лабораторных исследований	81
3.2 Стендовые исследования частотной характеристики кавитационного диспергатора.....	86
3.2.1 Методика стендовых исследований.....	86
3.2.2 Результаты стендовых исследований частотной характеристики кавитационного диспергатора	88
3.3 Стендовые исследования процесса кавитационного диспергирования.....	92
3.3.1 Методика стендовых исследований.....	92
3.3.2 Результаты стендовых исследований процесса кавитационного диспергирования	94
3.4 Анализ результатов экспериментальных исследований кавитационного диспергатора.....	99
Выводы к разделу 3	100
РАЗДЕЛ 4	
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА И ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ	
4.1 Обоснование технологических схем использования кавитационного диспергатора.....	101
4.2. Методика проведения производственных испытаний.....	104
4.3 Результаты проведения производственных испытаний	110
Выводы к разделу 4	113
ВЫВОДЫ.....	115

	4
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117
ПРИЛОЖЕНИЯ	126
Приложение А Акт стендовых испытаний кавитационного диспергатора...	127
Приложение Б Акт экспериментальных исследований влияния работы кавитационного диспергатора на технологические свойства промывочных жидкостей при приготовлении.....	132
Приложение В Акт производственных испытаний кавитационного диспергатора.....	137
Приложение Г Методические рекомендации по применению кавитационного диспергатора при приготовлении промывочных жидкостей.....	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. 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 с 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 совершенствования.

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.

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.

Необходимость разработки технологии обработки промывочных жидкостей с использованием новых перспективных устройств, реализующих процесс диспергирования исходных компонентов, и определяют актуальность проводимых исследований.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа связана с научным направлением кафедры техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета и является составной частью научных исследований, выполненных в рамках хоздоговорной темы 040331 «Проектирование технологии и научно-техническое сопровождение бурения гидрогеологических скважин в Харьковской, Полтавской, и Запорожской областях».

Цель и задачи исследований. Цель исследований заключается в обосновании параметров устройства для обработки промывочных жидкостей при бурении скважин и разработке технических решений, которые обеспечат повышение технико-экономических показателей бурения скважин.

Для достижения сформулированной цели поставлены и решены следующие задачи.

1. Анализ существующих технико-технологических решений в области обработки промывочных жидкостей с использованием гидродинамической кавитации.
2. Теоретические исследования процесса кавитационного диспергирования.
3. Проведение экспериментальных исследований устройства и технологии кавитационного диспергирования.
4. Разработка методических рекомендаций по использованию кавитационного диспергатора для обработки промывочных жидкостей.

Объект исследований – процесс обработки промывочных жидкостей при бурении скважин.

Предмет исследований – параметры устройства для обработки промывочных жидкостей с использованием гидродинамической суперкавитации.

Методы исследований. При выполнении работы применен комплексный метод исследований, который включает обработку и обобщение литературных и патентных источников, проведение теоретических, экспериментальных исследований и производственную апробацию. При проведении теоретических исследований использовались элементы теории гидродинамики и сплошной среды, а также методы математического моделирования. Экспериментальные исследования содержали в себе лабораторное моделирование процесса обработки промывочных жидкостей с использованием гидродинамической суперкавитации. Оценка их результатов проводилась в производственных условиях.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые введен параметр k_3 (коэффициент запираания потока), позволяющий управлять режимом работы устройства для обработки промывочных жидкостей при бурении скважин.
2. Впервые установлена и экспериментально подтверждена зависимость частоты кавитационных колебаний от коэффициента запираания потока k_3 .
3. Впервые установлена и экспериментально подтверждена зависимость времени диспергирования от частоты кавитационных колебаний.
4. Впервые разработана методика определения геометрических и гидравлических параметров устройства для обработки промывочных жидкостей при бурении скважин.

Научные положения которые выносятся на защиту.

- частота кавитационных колебаний связана экспоненциальной зависимостью с коэффициентом запираания потока, рациональное значение которого находится в пределах 0,6 – 08;

- время диспергирования прямо пропорционально числу циклов обработки, количество которых уменьшается по гиперболическому закону с ростом частоты кавитационных колебаний.

Практическое значение полученных результатов заключается в разработке новой конструкции устройства для обработки промывочных жидкостей и методических рекомендаций по его применению при бурении скважин.

Разработаны методические рекомендации по использованию устройства для обработки промывочных жидкостей, которые были утверждены Государственной геологической службой Украины, применялись при бурении скважин в Поисково-съёмочной экспедиции № 46 КП «Кировгеология» в г. Первомайске Николаевской области.

Личный вклад соискателя. Автор самостоятельно сделал обзор состояния вопроса повышения эффективности промывки скважин за счет обоснования параметров устройства и технологии для обработки промывочных жидкостей, сформулировал задачи исследования, научные положения, выполнил теоретическую часть работы, принимал непосредственное участие в проведении экспериментальных исследований и производственных испытаний.

Апробация результатов диссертационной работы и ее основные разделы доложены на научно-технических конференциях «Нестереновские чтения» (Днепропетровск, 2000); «Эпштейновские чтения» (Днепропетровск, 2004); «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения» (Киев, 2004; 2005, 2009).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 12 работ в научных специализированных изданиях, получено 2 патента Украины.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ применения промывочных жидкостей при бурении скважин

Бурение геологоразведочных скважин является одним из основных источников получения геологической информации. Применяемая при этом промывочная жидкость представляет собой основополагающий фактор в технологии сооружения скважины. От качества и соответствия промывочных жидкостей геолого-техническим условиям зависит скорость бурения, предотвращение аварий и осложнений, получение качественного кернового материала, износостойкость бурового оборудования и инструмента и, в конечном счете, стоимость сооружения скважины.

Выбор промывочной жидкости, наиболее полно подходящей к каждой конкретной ситуации, осуществляется с учетом предъявляемых к ним требований, выполнение которых обеспечивается большим количеством функций [89]:

- 1) очищение забоя от разрушенной горной породы и вынос ее на поверхность;
- 2) удерживание частиц разрушенной горной породы во взвешенном состоянии в стволе скважины при прекращении циркуляции;
- 3) закрепление неустойчивых стенок скважины и предохранение ствола от обрушения;
- 4) оказание физико-химического воздействия на горные породы;
- 5) охлаждение породоразрушающего инструмента;
- 6) снижение энергетических затрат на бурение за счет смазывающего действия;
- 7) передача энергии забойным машинам (при их использовании);
- 8) обеспечение нормальных условий вскрытия и освоения продуктивных горизонтов.

Для эффективного выполнения этих функций в различных геолого-технических условиях бурения скважин промывочные жидкости должны обладать определенными значениями показателей технологических свойств (вязкость, водоотдача, плотность), определяемых ее компонентным составом.

Большинство промывочных жидкостей состоит из двух или большего числа фаз, между которыми существуют реальные поверхности раздела, такие промывочные жидкости называются гетерогенными системами. Значительная часть гетерогенных систем - дисперсные системы.

Степень раздробленности дисперсной фазы характеризуется дисперсностью - величиной обратной поперечному размеру частицы d , (m^{-1}). Чем выше степень дисперсности, тем больше общая поверхность раздела фаз. Общая поверхность твердой фазы в промывочной жидкости может достигать десятков и сотен квадратных метров на 1 г массы.

Промывочные жидкости могут классифицироваться:

- по количеству компонентов системы;
- по составу дисперсионной среды;
- по составу дисперсной фазы;
- по составу и свойствам химических реагентов.

Большая часть необработанных химическими реагентами промывочных жидкостей представляют собой трехкомпонентную систему, состоящую из жидкой дисперсионной среды (воды), основной активной коллоидообразующей твердой фазы и инертных включений в виде частиц разбуриваемых пород.

В табл. 1.1 приведена классификация промывочных жидкостей по составу дисперсионной среды и дисперсной фазы. [89]

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.

Таблица 1.1 – Классификация промывочных жидкостей по составу дисперсионной среды и дисперсной фазы

Группа промывочной жидкости по составу дисперсионной среды	Основной компонент дисперсной фазы		
	Глины	Карбонатные, сульфатные и другие твердые породы	Продукты переработки нефти
1. Водные промывочные жидкости	<p><i>Глинистые растворы</i></p> <p>1) не обработанные химическими реагентами;</p> <p>2) обработанные химическими реагентами:</p> <p>а) без дополнительных компонентов дисперсной фазы;</p> <p>б) утяжеленные;</p> <p>в) известковые;</p> <p>г) силикатно-солевые;</p> <p>д) эмульсионные.</p>	<p><i>Естественные водные растворы</i></p> <p>1. Естественные карбонатные растворы:</p> <p>а) грубые водные суспензии;</p> <p>б) обработанные химическими реагентами.</p> <p>2. Естественные сульфатные растворы:</p> <p>а) грубые водные суспензии;</p> <p>б) обработанные химическими реагентами.</p>	
	<i>Аэризованные растворы</i>		
2. Неводные промывочные жидкости			<p>Растворы на нефтяной основе:</p> <p>а) на дизелетоплевой основе;</p> <p>б) нефте-эмульсионные.</p>
3. С газообразной дисперсионной средой	Газообразные очистные агенты		

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.

Реологические свойства промывочной жидкости играют решающую роль в успешном осуществлении буровых работ, в частности это вязкость, которая и является основным технологическим свойством промывочных жидкостей. От этих свойств и зависят главным образом технико-экономические показатели бурения скважин. Неудовлетворительные реологические свойства могут привести к серьезным осложнениям: образование пробок в стволе скважины, забивание шламом призабойной зоны ствола, снижение механической скорости бурения, размыв стенок ствола, прихват бурильной колонны, поглощение промывочной жидкости и др. Влиять на реологические свойства промывочной жидкости возможно тремя способами:

- изменением содержания дисперсной фазы;
- применение химических реагентов;
- повышение степени дисперсности дисперсной фазы, уже присутствующей в растворе.

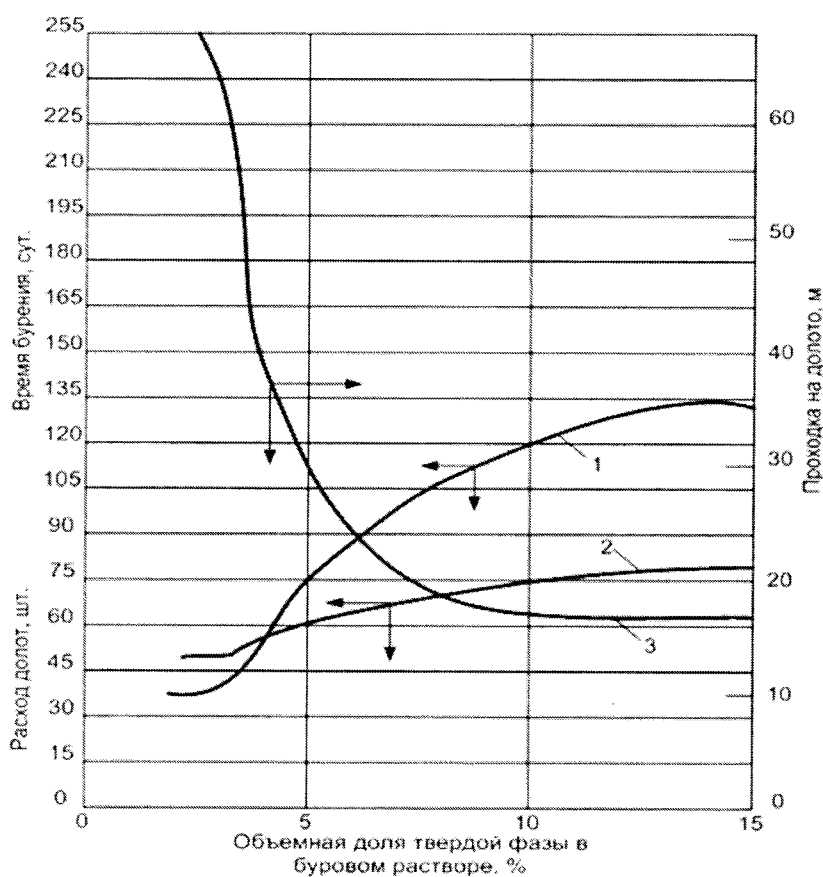
В процессе бурения скважин происходит ухудшение технологических свойств промывочных жидкостей за счет перехода выбуренных частиц шлама в раствор: ухудшается очистка забоя, увеличиваются гидродинамические сопротивления и потери давления в циркуляционной системе скважины [53]. На рис. 1.1 приведены зависимости основных показателей бурения от содержания твердой фазы в буровом растворе [14].

С увеличением содержания твердой фазы в буровом растворе можно бороться тремя способами:

- регулирование процесса диспергирования с помощью химических реагентов;
- разбавление промывочной жидкости;
- удаление выбуренной породы при помощи механических средств.

Однако, химическая обработка стоит дорого, а разбавление приводит к повышенному расходу основных химических реагентов, используемых для регулирования свойств самого раствора. [83]

Наибольшее распространение получил процесс удаления выбуренной породы при помощи механических средств: различных сит и гидроциклонных установок. Трудности при применении механических средств очистки связаны в основном с необходимостью установки на буровой дополнительного громоздкого оборудования, которое требует автономные системы привода и соответственно влечет за собой повышение расхода энергии и стоимости бурения.



1 – расход долот; 2 – время бурения; 3 – проходка на долото

Рисунок 1.1 – Влияние содержания твердой фазы в буровом растворе на технико-экономические показатели бурения [14]

Таким образом, особое внимание реологическим свойствам промывочных жидкостей следует уделять как на стадии приготовления, так и в процессе бурения скважин.

1.2 Оценка способов обработки промывочных жидкостей при бурении скважин

Высокая степень раздробленности дисперсной фазы в промывочных жидкостях обуславливает развитие поверхности раздела. Поэтому управление технологическими свойствами промывочных жидкостей связано, прежде всего, с комплексом явлений на поверхностях твердых частиц, находящихся в дисперсионной среде. Для того, чтобы в промывочной жидкости поверхность раздела имела значительную площадь, необходимо обеспечить высокую степень раздробленности дисперсной фазы. Добиться этого можно двумя путями: дроблением кусков вещества до требуемой дисперсности или объединением молекул и ионов в агрегаты соответствующих размеров [5].

Диспергирование при этом всегда является не механическим, а физико-химическим процессом образования новой поверхности раздела фаз и сопровождается уменьшением свободной поверхностной энергии измельчаемых частиц вследствие взаимодействия их с молекулами дисперсионной среды.

В практике бурения скважин применяются разнообразные технологические приемы для приготовления промывочных жидкостей. Наиболее широкое распространение получили механический и гидравлический способы.

К механическим устройствам относятся механические глиномешалки. Преимущество таких глиномешалок заключается в простоте конструкции. Недостатками являются низкое качество промывочных жидкостей, сравнительно невысокая производительность, трудность выполнения ремонта и обслуживания.

В бурении большое значение имеет гидравлический способ приготовления глинистых растворов, при котором для разрушения твердой фазы используется

только кинетическая энергия струи. К такого рода устройствам относятся гидромониторные и эжекторные гидросмесители.

Гидромониторные глиномешалки различного типа используют при бурении глубоких скважин. Производительность таких глиномешалок 40 - 120 м³/ч, давление жидкости перед насадками гидромониторов 4 - 10 МПа.

Такие устройства не позволяют за один цикл получить высококачественный глинистый раствор, поэтому в процессе приготовления суспензия несколько раз циркулирует по замкнутому циклу: буровой насос – смеситель – запасной резервуар – буровой насос.

Эжекторные гидросмесители не обеспечивают достаточно тонкого диспергирования дисперсной фазы, поэтому при их использовании необходимо длительное перемешивание механическим или гидравлическим путем и многократная циркуляция.

Следует отметить, что качество глинистого раствора, приготовленного гидравлическими методами, довольно низкое. Несмотря на тонкий помол, частицы глинопорошка в процессе перемешивания с водой должны пройти дальнейшее диспергирование. Однако такое диспергирование происходит недостаточно интенсивно. За счет броуновского движения происходит частичная диспергация глины, но качество раствора остается хуже, чем при приготовлении в лопастных глиномешалках [89].

Основным достоинством гидросмесителей является высокая производительность. К недостаткам относится низкое качество раствора и относительная сложность конструкции.

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, позволяет 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, являются взаимосвязанными и включают: электрический барьер и адсорбционно-сольватный барьер. Регулирование агрегативной устойчивости осуществляется введением в 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 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 небезопасна, 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 [5]:

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

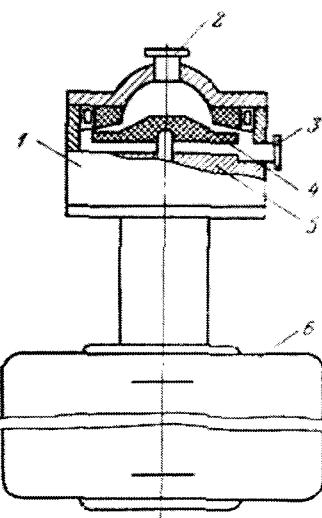
Дополнительной диспергацией твердой фазы можно при одном и том же ее содержании в 2-3 раза увеличить вязкость, в 1,5 раза уменьшить водоотдачу, кроме того, уменьшается содержание песка, улучшается стабильность. Процесс диспергирования позволяет сократить количество твердой фазы в промывочной жидкости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

Методы дополнительного диспергирования делятся на гидродинамические и механико-гидравлические. Устройства, реализующие механогидравлические методы воздействия, представляют собой в основном аппараты с жестко закрепленными мелющими элементами (рис. 1.2). Эксплуатация таких аппаратов связана с постоянным износом рабочих элементов, что, в конечном счете, приводит к выходу из строя устройства в целом. В этом отношении более перспективными являются гидродинамические методы диспергирования. Основной фактор измельчения частиц при гидродинамическом воздействии - кавитационный эффект, возникающий в поле переменного давления потока жидкости.

Примером гидравлического диспергатора является устройство, принцип действия которого основан на соударении двух струй жидкости, направленных навстречу друг другу (рис. 1.3).

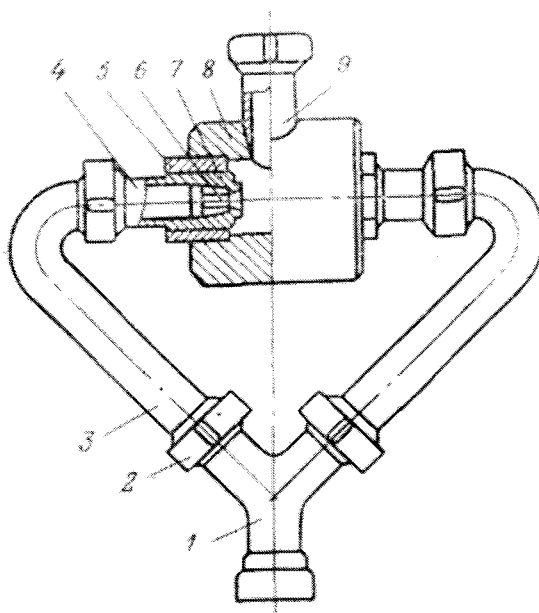
516





1- корпус; 2- падающий патрубок; 3- сливной патрубок; 4- неподвижный диск;
5- подвижный диск; 6- электродвигатель

Рисунок 1.2 – Дисковый измельчитель



1 – тройник; 2 – быстроразъемные соединения; 3 – труба изогнутая; 4 – патрубок;
5 – гайка; 6 – насадка; 7 – заглушка; 8 – корпус; 9 – патрубок отводной

Рисунок 1.3 - Струйный диспергатор

Струйный диспергатор состоит из корпуса 5, в который вмонтированы два патрубка 4 с насадками 6, удерживаемыми заглушками 7. Гайками 5 патрубки

крепятся к корпусу. Глинистый раствор подается через тройник 1, быстроразъемные соединения 2, по изогнутым трубкам 3 к насадкам 6. В корпусе 8 происходит встреча потоков, обработанный раствор отводится по патрубку 9. У выходной кромки вследствие понижения давления образуются газовые пузырьки, которые, захлопываясь в зоне встречи струй, создают скачки давления, достигающие десятков и сотен МПа.

Существующие диспергаторы обладают рядом недостатков: использование дополнительной энергии на привод, значительные гидравлические потери в струйных диспергаторах и др. Все чаще для приготовления устойчивых промывочных жидкостей стали использоваться кавитационные генераторы, в основу работы которых положено явление кавитации.

1.3 Существующие конструкции кавитационных диспергаторов для обработки промывочных жидкостей

Трестом "Полтаванефтегазразведка" при бурении скважин № 4 и № 19 проводили испытание ультразвукового диспергатора. Принцип его работы заключался в следующем (рис. 1.4): поток жидкости, выходя с большой скоростью из сопла 1 и ударяясь об острие пластины 2, вызывает в жидкости ультразвуковые колебания и создает у пластины бурную кавитационную зону. Материалы, входящие в состав дисперсной фазы раствора, интенсивно разрушаются под действием частых и сильных гидравлических ударов, осуществляемых в водной среде [48].

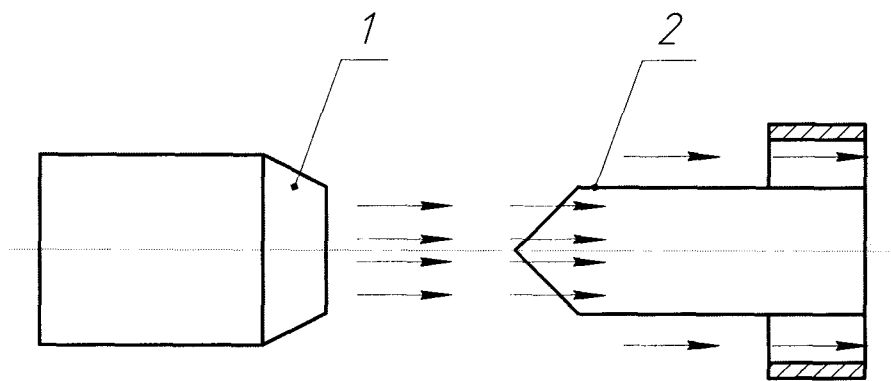


Рисунок 1.4 – Схема работы ультразвукового диспергатора

Происходит интенсивное диспергирование измельченных материалов. Основной характеристикой ультразвукового диспергатора является излучаемая частота колебаний. Для воды и маловязких жидкостей она приближенно равна:

$$f = 0,5Q_D / F h, \text{ Гц}, \quad (1.1)$$

где Q_D - действительная производительность насоса, м³/с;

F - площадь сопла, м²;

h - расстояние от сопла до пластины, м.

Проверка растворов, приготовленных обычным способом и с помощью ультразвукового диспергатора, на стабильность показала, что через 10 суток в приготовленном обычным способом эмульсионном растворе, несмотря на наличие в нем эмульгатора, наблюдалось значительное отделение чистой нефти. В то время как в растворе, приготовленном при помощи ультразвукового диспергатора, ни отстоя нефти, ни расслоения твердой фазы отмечено не было [48].

Для получения устойчивых тонкодисперсных суспензий и эмульсий широкое распространение получил способ обработки тампонажных и промывочных растворов с использованием гидродинамических излучателей (рис. 1.5). Основным элементом гидродинамического излучателя является вихревая камера. Закручивание потока вызывают центробежные силы, которые прижимают жидкость к поверхности вихревой камеры. Вследствие этого струи на выходе из вихревой камеры образуют конус потока, растекающегося с большой скоростью. Внутри этого конуса при действии центробежных сил и радиального растекания потока возникает относительное разрежение, которое распространяется внутрь вихревой камеры. Такое переменное чередование разрежения и сжатия приводит к возбуждению ультразвукового поля.

При прерывании струи снижается давление в вихревой камере до величины равной давлению насыщенных паров - возникает кавитация, играющая основную роль при образовании тонкодисперсных суспензий и эмульсий. Производительность излучателей может изменяться от 15 до 35 л/с за счет изменения количества подаваемой жидкости и установки сменных тангенциальных вкладышей [42].

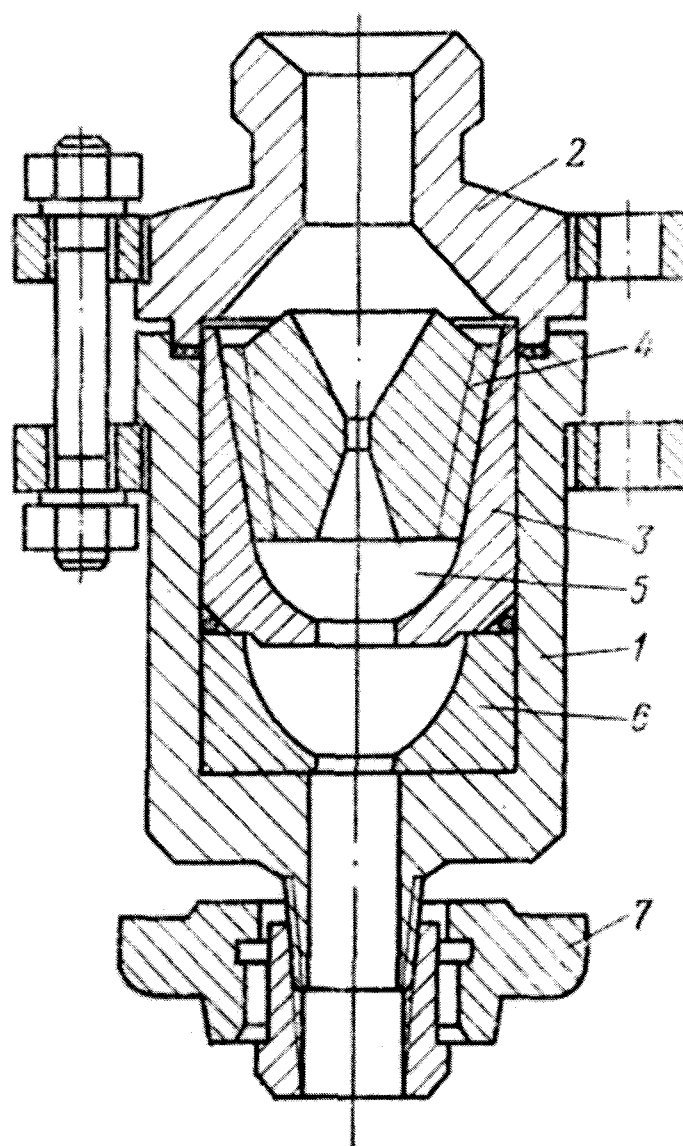
Техническая характеристика гидродинамического излучателя [72]

Необходимая скорость истечения	25-30 м/с
Перепад давления на излучателе	2-3 МПа
Частота колебаний давления	20 кГц

Основной недостаток такого излучателя заключается в большой энергоёмкости процесса диспергирования из-за значительных гидравлических сопротивлений.

При приготовлении промывочных жидкостей используется смеситель-диспергатор (рис. 1.6). Смеситель-диспергатор включает следующие основные части: напорную камеру 5, соединенную с ней посредством конфузора 4 смесительную камеру 1, патрубок 6 инжектируемого материала, снабженный запорным устройством 7, и входной нагнетательный патрубок 8. Внутри центрального нагнетательного патрубка 9 установлен стержень 10. В патрубке инжектируемого материала 6 образуется разрежение, в результате чего происходит транспортирование дисперсной фазы из бункера в зону смешения. При этом запорный элемент полностью открыт. При обтекании потоком жидкости стержня 10 на его торце образуется зона пониженного давления, что приводит к возникновению кавитационного эффекта. На торце стержня, образовавшейся кавитационной камерной, генерируются кавитационные пузырьки, которые отрываются и потоком уносятся в зону повышенного давления, где они захлопываются. В результате возникновения кавитации происходит интенсивное смешивание и диспергирова-

ние дисперсной фазы и дисперсионной среды. На конце патрубка инжектируемого материала образуется дополнительная зона пониженного давления, которая также вызывает кавитацию в потоке, тем самым усиливает диспергирующее воздействие [59].



1 – корпус излучателя; 2 – крышка; 3 – съемный стакан; 4 – тангенциальный вкладыш; 5 – вихревая камера; 6 – усилитель пульсаций; 7 – быстроразъемный замок

Рисунок 1.5 – Конструкция гидродинамического излучателя

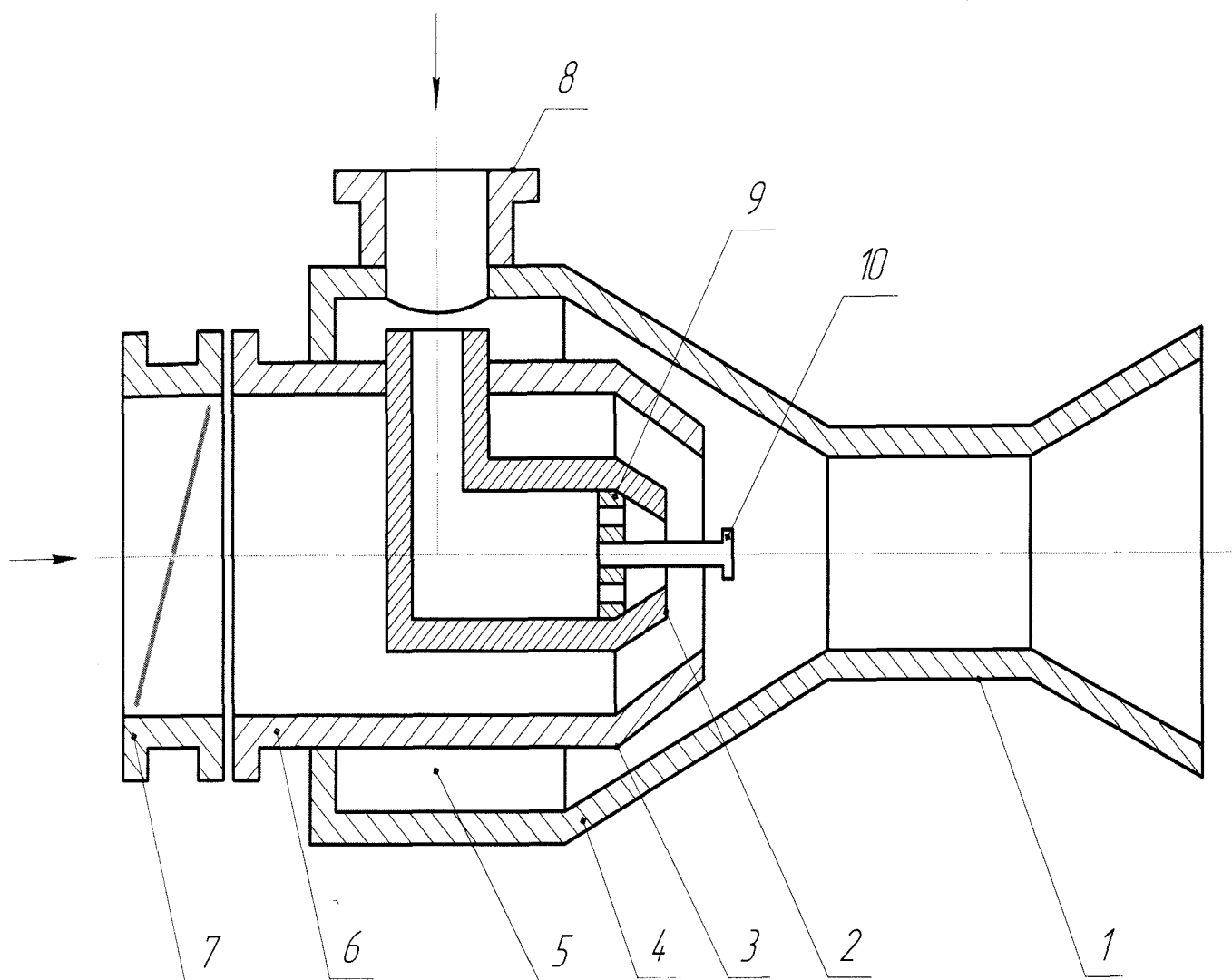


Рисунок 1.6 – Конструктивная схема смесителя-диспергатора

Техническая характеристика смесителя-диспергатора [59]

Рабочее давление	0,3-0,4 МПа
Производительность по раствору	100-150 м ³ /ч
Диаметр всасывающего патрубка	100 мм
Диаметр входного нагнетательного патрубка	100 мм
Диаметр сменного сопла центрального нагнетательного патрубка	20; 25; 30; 35 мм

Диаметр стержня	15-20 мм
Габаритные размеры	1200x350x600
Масса	50 кг

Основными недостатками смесителя-диспергатора являются:

- невозможность регулирования интенсивности и характера кавитационного процесса;
- сложность настройки в связи с тем, что кавитация возникает только при условии определенного положения стержня по отношению к конфузoram.

В работах [1, 2, 12, 27, 31, 41, 45, 51, 61, 62, 63, 66, 68, 69, 90] рассматривается возможность использования в буровых процессах классического устройства для генерирования кавитации – трубки Вентури. Подробный обзор результатов этих исследований практически невозможно включить в рамки настоящей работы. Принципиальная схема работы трубки Вентури приведена на рис.1.7.

Трубка Вентури состоит из конфузора, критического сечения малого диаметра и диффузора. Ее работа заключается в преобразовании стационарного потока в пульсирующий, что достигается при прохождении потока от критического сечения к диффузору. При этом происходит падение давления и возникает кавитация.

Как показали исследования, приведенные в работе [61, 62], с возникновением кавитации сопротивление трубки Вентури будет увеличиваться пропорционально степени развития кавитации, а расход сохраняется постоянным независимо от дальнейшего снижения давления на выходе из трубки Вентури. Таким образом, регулирование режимов работы такого кавитационного генератора возможно лишь изменением его геометрических размеров (диаметра критического сечения и угла раскрытия диффузора).

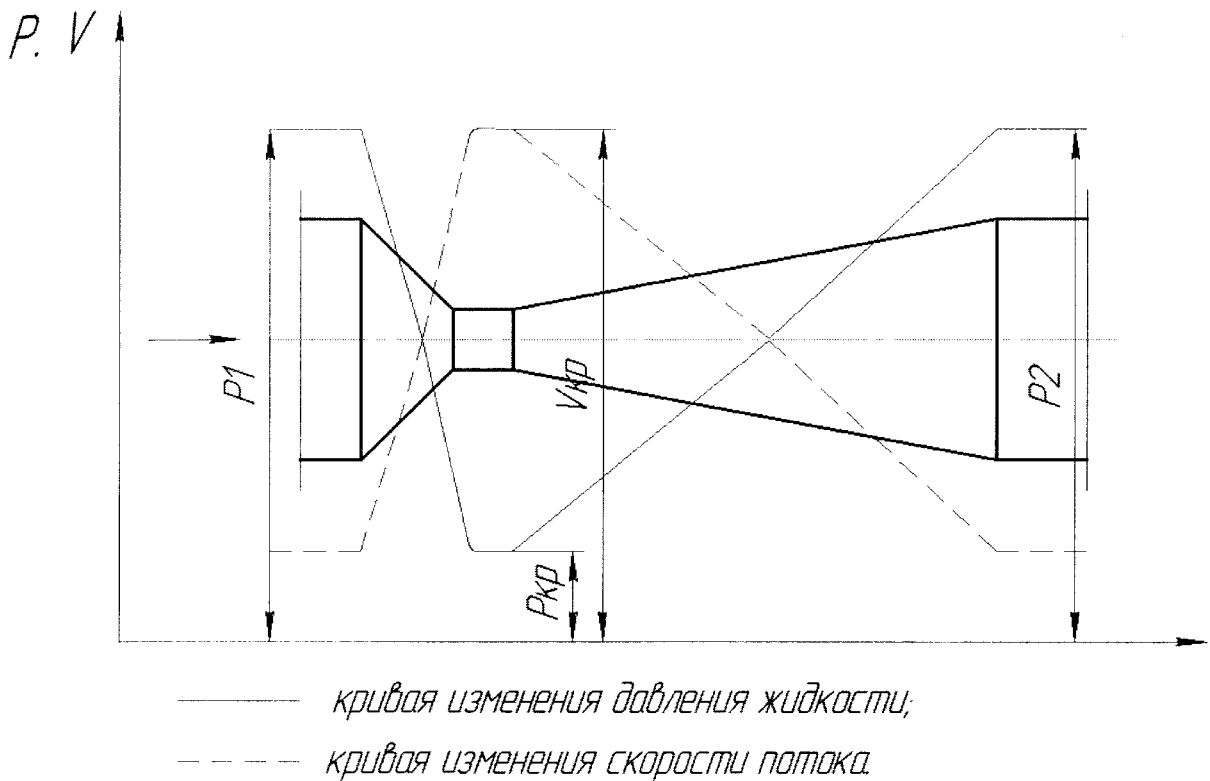
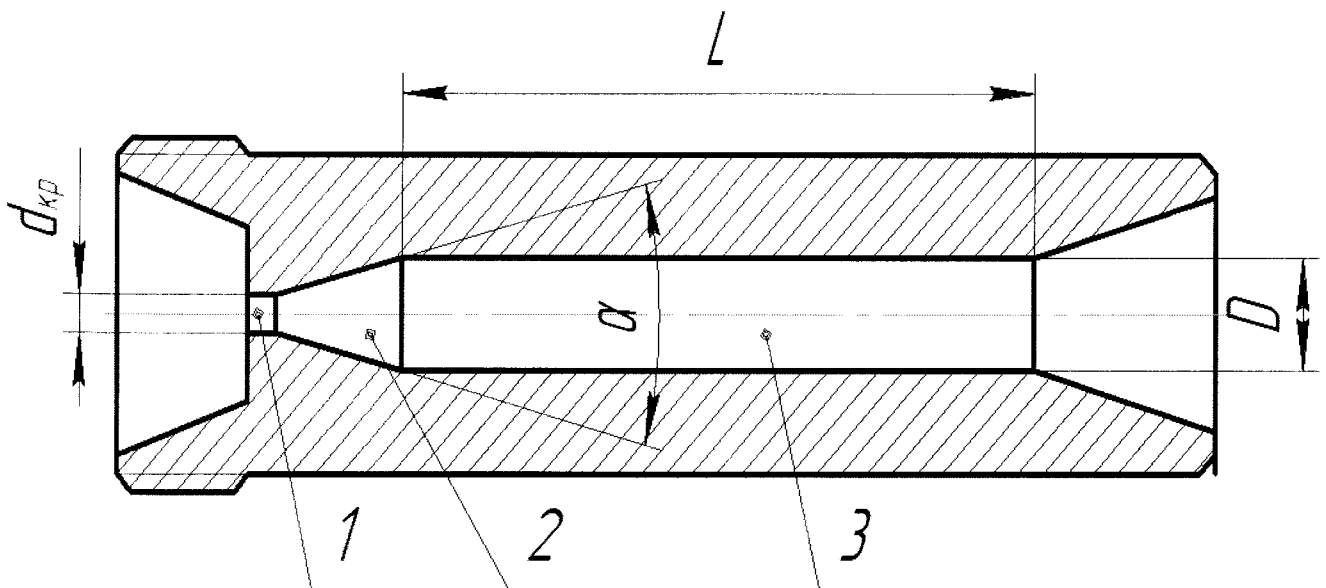


Рисунок 1.7 – Схема работы трубки Вентури

На основе трубки Вентури Институтом геотехнической механики был разработан генератор импульсов давления (ГИД) (рис. 1.8) [63].



1 - критическое сечение генератора с минимальным диаметром; 2 - диффузор;
 3 – последиффузорный проточный канал

Рисунок 1.8 – Генератор импульсов давления (ГИД):

Использование простых по конструкции кавитационных генераторов в практике приготовления буровых промывочных растворов позволит получать устойчивые дисперсные системы и значительно сократить время их приготовления. Применение их целесообразно распространить на приготовление различных типов промывочных растворов, что позволит снизить стоимость химической обработки и повысить стабильность показателей технологических свойств промывочных жидкостей.

1.4 Процесс получения кавитационных колебаний давления жидкости

Наиболее широкое применение в практике приготовления устойчивых дисперсных систем получила ультразвуковая кавитация [77]. Однако, как показали исследования, затраты энергии на получение полей кавитационных пузырьков в ультразвуковых излучателях на порядок выше, чем в гидродинамических кавитационных аппаратах. Это связано с быстрым затуханием ультразвуковых колебаний в жидкостях, и особенно в пузырьковых смесях и суспензиях, если излучающие поверхности вынесены из зоны обработки.

Расположение излучающих поверхностей в зоне обработки приводит к их быстрому кавитационному разрушению. Значительные энергозатраты и разрушение рабочих органов существенно ограничивают применение ультразвуковых аппаратов в технологиях.

В связи с этим, для кавитационной обработки жидких сред более перспективными являются гидродинамические аппараты, в которых кавитация возникает при взаимодействии потоков между собой или с различными кавитаторами [79]. Особо следует отметить эффективность использования явления суперкавитации - создание каверн значительных размеров, замыкающихся за пределами рабочих органов, что предотвращает кавитационное разрушение последних.

Кавитационно-кумулятивное взаимодействие позволяет интенсифицировать многие технологические процессы, протекающие в жидких средах. Определяющим фактором использования гидродинамической кавитации является диспергирование - разрушающее механическое действие кумулятивных микроструек путем высокоскоростного проникновения их в частицы дисперсной фазы. Следует отметить, что в суперкавитирующих аппаратах интенсивность кавитационного взаимодействия определяется в основном режимом течения в хвостовой части каверн и в меньшей степени зависит от свойств обрабатываемой жидкости, а затраты энергии при этом в 10-15 раз меньше, чем при использовании ультразвука. [81]

По характеру образования кавитационных пузырьков и способу их создания все гидродинамические кавитационные аппараты можно условно разделить на два класса [81]:

1. Обеспечивающие создание кавитационных пузырьков из зародышей кавитации при инерционном воздействии на жидкую среду.
2. Обеспечивающие создание их в зонах нестационарного замыкания суперкаверн, образующихся при обтекании различных кавитаторов.

К первому классу относятся различного рода гидродинамические излучатели (ГДИ), работа которых основана на генерировании ультразвуковых колебаний в диапазоне частот от 2 до 35 кГц. Механизм излучения может быть различным в зависимости от конструкции ГДИ. Наибольшее распространение получили пластинчатые излучатели, состоящие из прямоугольного сопла и заостренной в сторону струи пластины, которая крепится в узловых точках либо консольно. На практике вхождение пластины в резонанс с колебаниями струи легко достигается регулировкой скорости истечения и изменением расстояния между соплом и пластиной. Существует множество модификаций таких излучателей: стержневые, мембранные, с кольцевыми соплами и т.д. К этому же классу относятся так называемые роторно-пульсационные аппараты (РПА), основными рабочими элементами которых являются соосно расположенные цилиндры с системой прорезей и отверстий либо лопастей, пластин и т.д. Работа их сводится к

периодическому прерыванию или неполному перекрыванию струй жидкости, что достигается чередованием прорезей статора и ротора при вращении последнего.

Аналогичным образом работают различного рода дезинтеграторы, состоящие из вращающихся навстречу друг другу дисков или дезмембраторы, имеющие по одному вращающемуся и одному неподвижному диску. В этих аппаратах интенсивное механическое воздействие на жидкую среду сопровождается ее кавитационной обработкой.

К этому же классу относятся виброкавитационные, акустические, вибровкакумультиразвуковые, жидкоструйные и тому подобные мельницы, принцип работы которых основан на получении из зародышей кавитации полей кавитационных пузырьков на вибрирующих поверхностях и струях. В последние годы появились работы с предложениями использовать гидродинамическую кавитацию для интенсификации технологических процессов посредством винтовых мешалок, которые работают в области высоких оборотов с образованием пузырьковой кавитации на лопастях. Используются традиционные 2-х, 3-х, и 6-тилопастные одноступенчатые и двухступенчатые, а также турбинные открытые и закрытые мешалки.

Основным недостатком всех аппаратов первого класса, кроме струйных, является интенсивный кавитационный износ их рабочих поверхностей, генерирующих (из зародышевых ядер) кавитационные пузырьки, большая часть которых схлопывается на этих же поверхностях. Другим недостатком является слабая степень регулирования интенсивности кавитационной обработки, так как количество ядер кавитации в исходной жидкости регулировать затруднительно. Кроме того, размеры образующихся в таких аппаратах кавитационных пузырьков, от которых в основном зависит интенсивность кавитационно-кумулятивной обработки, также практически не поддаются регулированию. Время нахождения ядра кавитации в зоне разрежения, необходимое для образования пузырька требуемых размеров, в таких аппаратах может изменяться в очень малых пределах и связано с частотой пульсаций, вибраций и т.д. Конечно, процессы кавитационно-

кумулятивной обработки в таких аппаратах можно интенсифицировать повышением статического давления, подбором оптимальной температуры, газосодержания, вязкости, частоты колебаний и другими факторами, однако основной параметр, определяющий кинетику кавитационного воздействия - первоначальный размер (перед схлопыванием) кавитационных пузырьков - может изменяться в весьма нешироких пределах и зачастую далек от оптимального.

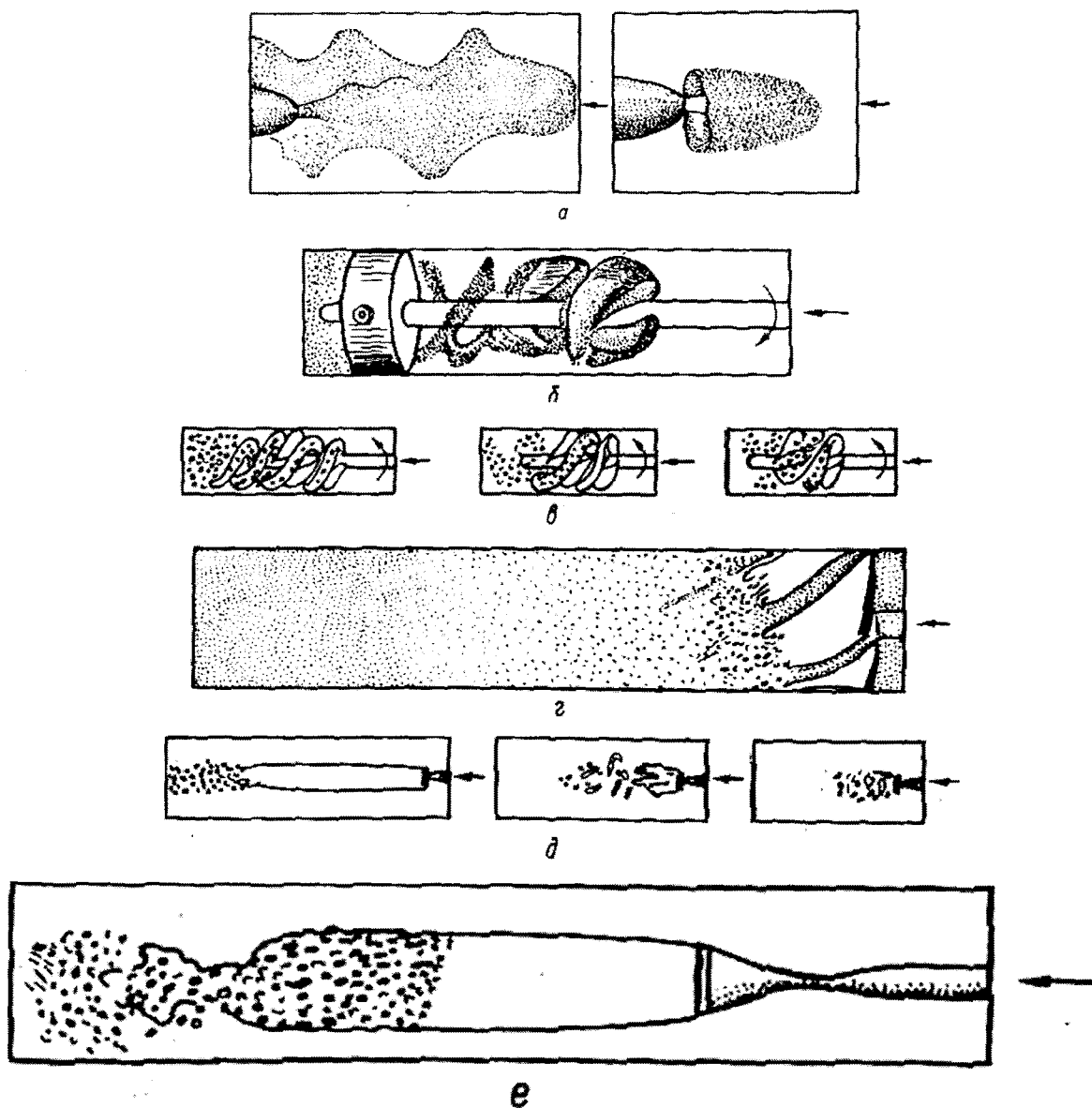
Ко второму классу гидродинамических кавитационных аппаратов относятся различные суперкавитирующие аппараты. Суперкаверны можно эффективно создавать в потоке жидкости несколькими способами: с помощью неподвижных статических кавитаторов в виде конусов, пластин, винтовых колес с лопастями суперкавитирующего профиля (СК-профиля) и пр.; посредством вращающихся крыльчаток; с помощью встречных струек – струйного кавитатора, предложенного Л.И. Седовым [67].

На рис. 1.9 показаны примеры типичных режимов суперкавитационного обтекания [81].

Принцип действия суперкавитационных механизмов (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 [88]. Определяющими факторами являются количество и размеры образующихся кавитационных пузырьков. Для того чтобы получить кавитационные пузырьки оптимальных по технологическому воздействию размеров необходимо создать каверну с определенным характером нестационарного движения в ее хвостовой части [81, 88].

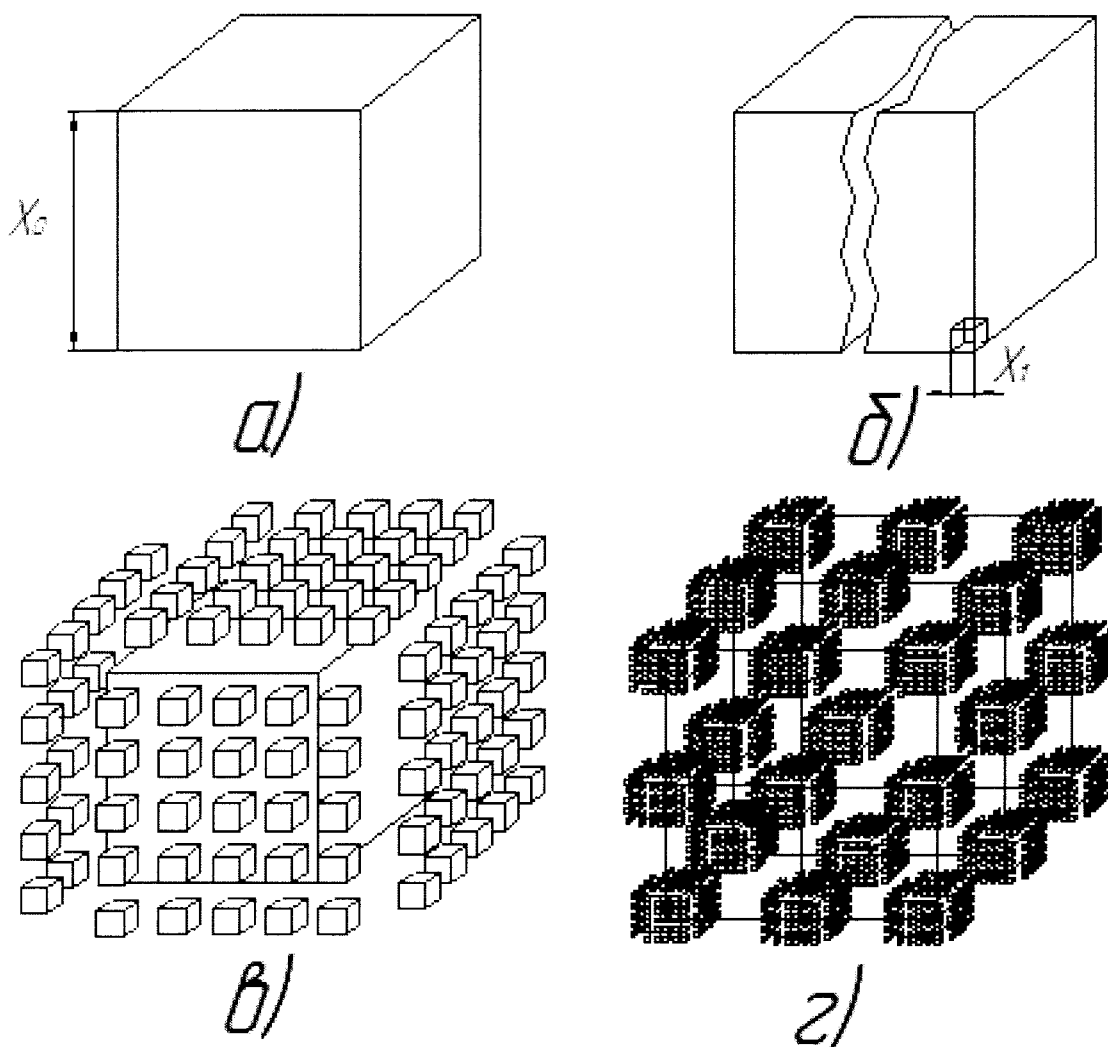
Таким образом, в суперкавитационных аппаратах необходимое количество кавитационных микропузырьков заданных размеров генерируется самой суперкаверной и практически не зависит от физических параметров жидкости, т.е. от количества кавитационных зародышей.

На рис. 1.10 приведена сравнительная схема разрушения частицы суспензии для различных методов диспергирования.



а - струйного кавитатора Л.И. Седова; б - лопастей СК- турбины; в - лопастей СК- насоса; г - неподвижной крыльчатки; д - пластины; е - конуса

Рисунок 1.9 – Типичные режимы суперкавитационного обтекания



а) исходная частица; б) механическое диспергирование; в) использование ультразвуковой кавитации; г) использование гидродинамической кавитации

Рисунок 1.10 – Схема разрушения частицы дисперсной фазы для различных методов диспергирования

Наиболее перспективными являются гидродинамические аппараты, в которых кавитация возникает при взаимодействии потоков между собой или с различными кавитаторами [75, 76].

1.5 Цель и задачи исследований

Обобщение и анализ исследований по применению гидродинамической кавитации для интенсификации различных технологических процессов, протекающих в жидких средах, указывает на перспективность этого метода для приготовления промывочных жидкостей при бурении скважин. В настоящее время кавитационно-кумулятивное воздействие на процессы перемешивания, диспергирования, эмульгирования и т.д. в гомогенных и жидких гетерогенных системах еще недостаточно хорошо изучены.

Ранее использовались режимы пузырьковой кавитации, создаваемой с помощью ультразвука. Интенсифицирующее действие ультразвука общеизвестно. Однако ультразвуковая кавитация на предприятиях с большим объемом производства применения не нашла вследствие ряда причин: значительных энергозатрат на генерацию кавитационных пузырьков, быстрого затухания ультразвуковых волн в технологических суспензиях, ограничения локального воздействия зоной колебаний излучающей поверхности, разрушения рабочих поверхностей кавитацией и пр. От этих недостатков совершенно свободна суперкавитационная технология.

Простота, высокая надежность и эффективность СК-аппаратов, их универсальность открывает широкие возможности для их использования при бурении скважин. В частности, для приготовления промывочных жидкостей с целью улучшения их технологических свойств.

Таким образом, основываясь на вышесказанном, целью данной диссертационной работы является обоснование параметров устройства для обработки промывочных жидкостей при бурении скважин и разработке технических решений, которые обеспечат повышение технико-экономических показателей бурения скважин.

Данная цель предусматривает решение таких задач:

1. Анализ существующих технико-технологических решений в области приготовления промывочных жидкостей с использованием гидродинамической кавитации.

2. Теоретические исследования процесса кавитационного диспергирования.

3. Проведение экспериментальных исследований устройства и технологии кавитационного диспергирования.

4. Разработка методических рекомендаций по использованию кавитационного диспергатора для обработки промывочных жидкостей.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ Обработки ПРОМЫВочНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

2.1 Исследование процесса кавитационного диспергирования

Интенсификация технологических процессов в суперкавитационных (СК) аппаратах происходит благодаря наложению на обычные процессы смешения, эмульгирования, диспергирования, гомогенизации кавитационно-кумулятивного воздействия от схлопывания микропузырьков [89].

Весь процесс в любом СК - аппарате можно разбить на следующие составные части [74, 76]:

1. Создание суперкаверн оптимальных размеров, предотвращающих кавитационное разрушение рабочих органов аппаратов, с заданной частотной характеристикой нестационарного хвоста каверны.
2. Образование в зоне замыкания суперкаверн полей кавитационных пузырьков, причем количество и размер последних определяются режимом работы и конструкцией рабочих органов аппарата и могут изменяться в весьма широких пределах: по диаметру - от 5 мм до 50 мкм, по количеству - от 1000 до $30 \cdot 10^6$ пузырьков в секунду через 1 см² поперечного сечения потока за каверной.
3. Схлопывание кавитационных пузырьков с образованием кумулятивных микроструек, диаметры которых могут быть в пределах 5 - 200 мкм, скорость в пределах от 50 до 1500 м/с; давление в точках схлопывания может достигать $(1 - 1,5) \cdot 10^3$ МПа.

В зависимости от назначения аппарата, дальнейшие процессы могут проходить по-разному. Если в жидкости нет твердой фазы и жидкость гомогенна, то кумулятивные микроструйки, проникая в неё, распадаются на микровихри большой интенсивности, как при обычном распространении затопленной струи.

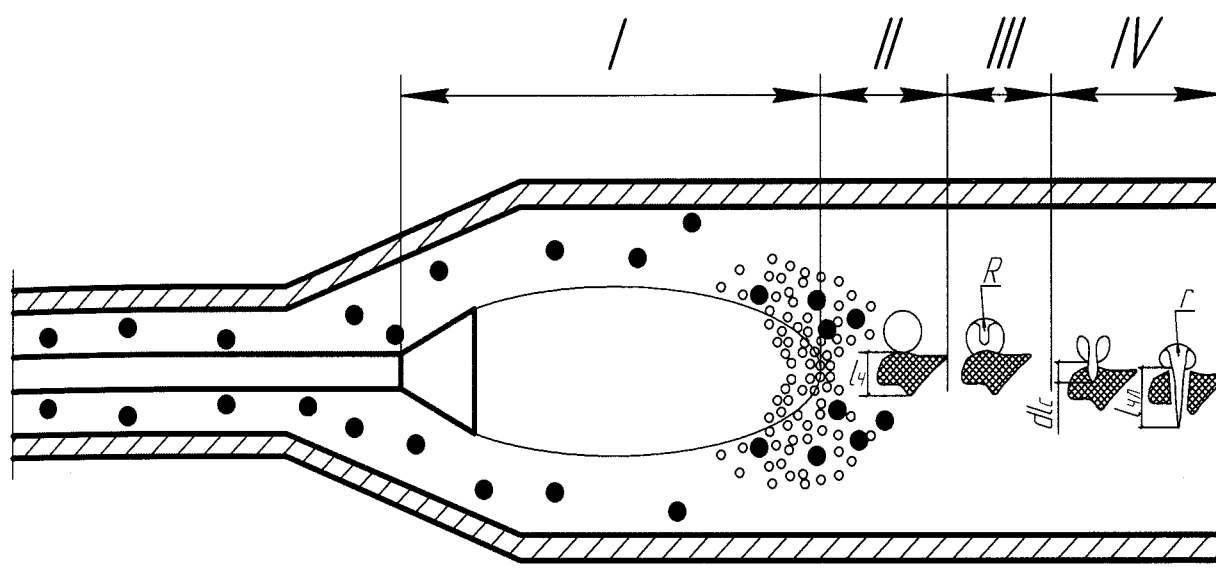
Если жидкость гетерогенна, то есть в ней находятся две или более несмешиваемых жидкостей, например, масло и вода с целью получения эмульсий, то необходимо рассматривать процессы разрушения капель на границах кавитационных микровихрей вследствие больших касательных напряжений [76]. При диспергировании в жидкости твёрдых либо упругих волокнистых частиц определяющим является уже не образование микровихрей, а гидродинамическое проникновение кумулятивной микроструи в материал. Если глубина проникания больше характерного размера частиц, происходит их разрушение. При обратном соотношении для разрушения частиц время кавитационной обработки необходимо увеличить.

На рис. 2.1 показана физико-механическая модель кавитационного диспергирования в СК - аппарате с неподвижным кавитатором в виде конуса. При обтекании конуса создаётся суперкаверна, в зоне замыкания, которой образуются кавитационные пузырьки. Однако кумулятивные микроструи, возникающие при схлопывании пузырьков, служат для диспергирования частиц, содержащихся в потоке.

Многочисленные гипотезы, объясняющие природу кавитационного воздействия, во многом противоречивы в самом принципе, принимаемом за основу объяснения кинетики процессов: механический, коррозионно-химический, смешанный. В настоящее время большинство исследователей склоняется к гипотезе кавитационного воздействия за счет механических сил, а остальные факторы (химические, термические, электрические и т. д.) являются следствием этого и сопутствуют механическому воздействию. В рамках концепции о механическом воздействии существуют две основные гипотезы: по первой - оно определяется ударными волнами, генерируемыми схлопывающимися пузырьками (сферическое схлопывание); по второй - оно является следствием ударов и проникания кумулятивных струек жидкости, образуемых при замыкании пузырьков (несферическое схлопывание). [74 - 82]

Экспериментальные исследования процесса схлопывания пузырьков в реальных жидкостях показывают, что при этом происходит потеря сферической устойчивости - образуются "вмятины" и кумулятивные струйки [74 - 76].

Указанные механические воздействия будут сопровождаться различными физико-химическими процессами.



I – суперкаверна; *II* – кавитационные пузырьки; *III* – зарождение кумулятивных струек – начало схлопывания; *IV* – зона диспергирования

Рисунок 2.1 – Физико-механическая модель кавитационного диспергирования

Проникновение струи и её распространение в безграничной жидкости достаточно хорошо изучено, что позволяет определить все параметры микротурбулентного смешения при проникании кумулятивных струек в жидкость. Однако при кавитационном диспергировании возникает вопрос, какая необходима скорость кумулятивной струйки V_k , чтобы разрушить частицу дисперсной фазы.

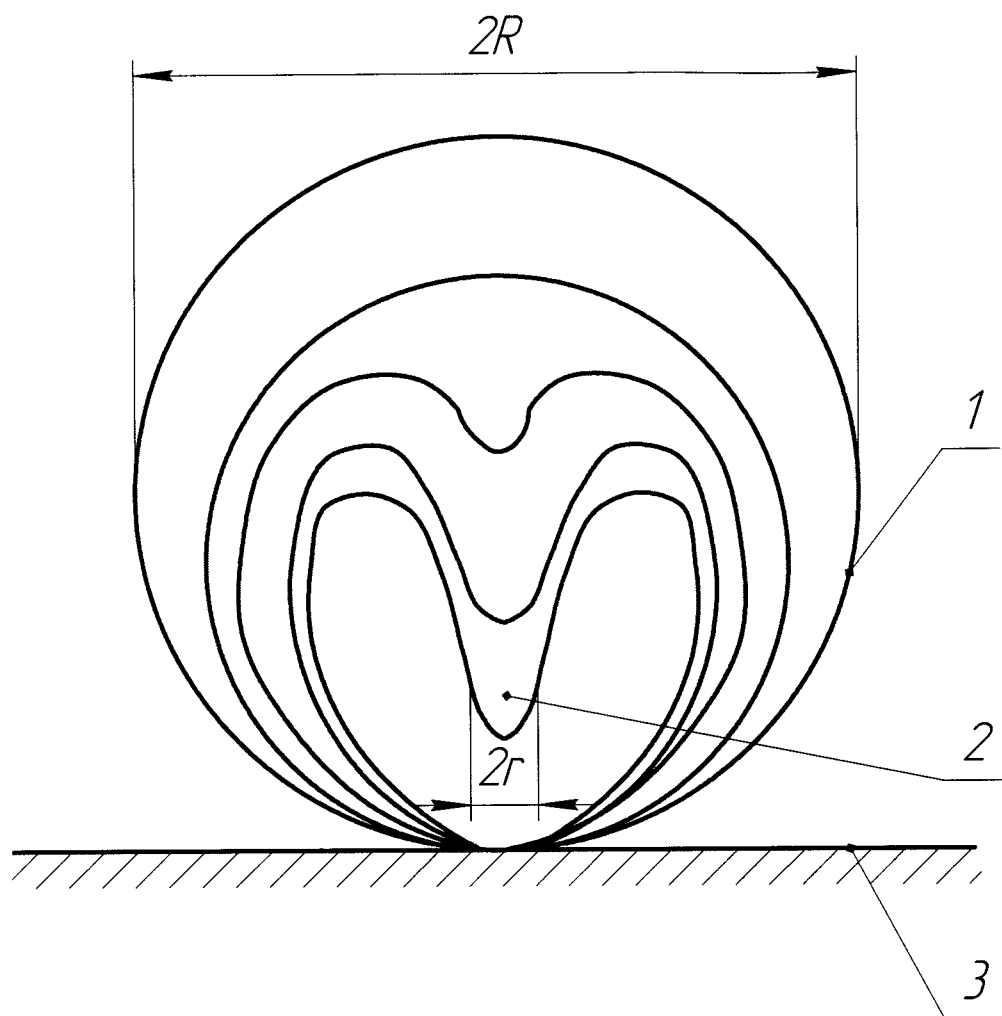
В основу разработки теории диспергирования положен процесс схлопывания кавитационных пузырьков с образованием кумулятивных струй на поверхности твердой частицы [76-78].

В кавитационный диспергатор поступает предварительно подготовленная суспензия, в которой диспергируемая фаза распределена равномерно по всему

объему. Такая предварительная подготовка суспензии происходит в обычной мешалке. При этом размеры дисперсной фазы составляют величины порядка 0,1-1 мм и значительно превосходят размеры кавитационных пузырьков, которые колеблются в пределах 50-250 мкм. При движении кавитационных пузырьков, оторвавшихся от хвоста каверны, в потоке происходит пульсация из объема, в результате чего появляется флотационный эффект [76]. Благодаря пульсациям, пузырек захватывает твердую частицу суспензии, которая начинает ускорено двигаться к пузырьку. Очевидно, что в момент столкновения частицы суспензии с пузырьком, последний деформируется, в результате чего происходит схлопывание кавитационного пузыря с образованием кумулятивной струи. Поскольку масса частицы намного превышает массу кавитационного пузыря, то возникшая при этом кумулятивная струйка будет двигаться навстречу поверхности частицы [75-78].

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 $P_d = 1.8 \cdot \sigma_t$, с учетом сил инерции его величина увеличивается до $P_d = 4.5 \cdot \sigma_t$, где σ_t - предел текучести материала дисперсной фазы [75-78].

На рис. 2.2. показана расчетная схема схлопывания кавитационного пузырька.



1 – кавитационный пузырек; 2 – кумулятивная струйка; 3 – поверхность частицы дисперсной фазы

Рисунок 2.2 – Схема формирования кумулятивной струйки при схлопывании кавитационного пузырька

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

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_k \cdot (V_{kc} - U)^2, \quad (2.1)$$

где U - скорость контактной поверхности пузырька;

V_{kc} – скорость кумулятивной струйки;

ρ_k - плотность жидкости в кумулятивной струйке.

В то же время, принимая, что материал частицы при ударе начинает течь, из уравнения Бернулли для материала частицы получаем:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot U^2 + P_\partial, \quad (2.2)$$

где ρ_c - плотность материала суспензии; P_∂ -- динамический предел текучести (по экспериментальным данным с учетом сил инерции равен $4,5 \cdot \sigma_\partial$) [76]; σ_∂ - предел текучести материала дисперсной фазы.

Тогда приравниваем:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_k \cdot (V_{kc} - U)^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot U^2 + P_\partial \quad (2.3)$$

Отсюда неизвестная скорость контактной поверхности равна:

$$U^2 \cdot (\rho_k - \rho_c) + 2 \cdot U \cdot V_{kc} \cdot \rho_k + \rho_k \cdot V_{kc}^2 = P_\partial. \quad (2.4)$$

Решив данное квадратное уравнение, найдем неизвестную скорость контактной поверхности:

$$U = \frac{\sqrt{\rho_k \cdot P_\partial + \rho_c \cdot \rho_k \cdot V_{kc}^2 - \rho_c \cdot P_\partial - V_{kc} \cdot \rho_k}}{\rho_k - \rho_c}, \quad (2.5)$$

При установившемся процессе за один и тот же достаточно малый промежуток времени $d\tau$ контактная поверхность пройдет путь, равный $dl_u = U \cdot d\tau$. Кумулятивную струйку можно представить в виде жидкого клина. За промежуток

$d\tau$ размер струйки в результате контакта с поверхностью частицы увеличивается на величину $dl_c = V_{kc} \cdot d\tau$ (рис. 2.2). Кумулятивная струйка, прошивая пузырёк, изменяет свою форму от $2R$ до $2r$ - наименьшего радиуса. Тогда время $d\tau$ определится из равенства [76]:

$$d\tau = dl_u / U = dl_c / V_{kc} . \quad (2.6)$$

Отсюда глубина проникновения струйки будет:

$$l_c = \int_{2r}^{2R} \frac{U}{V_{kc}} \cdot dl_c . \quad (2.7)$$

Скорости V_{kc} и U являются функциями радиуса схлопывающегося пузырька. Интегрирование полученного выражения позволяет определить глубину проникновения l_c струйки в частицу при условии жесткого упругого удара для случая, когда частица касается пузырька, а соударение происходит при длине струйки, равной начальному диаметру пузырька:

$$l_c = 2 \cdot R . \quad (2.8)$$

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_c будет больше или равна среднему l_c размеру частицы суспензии.

Поэтому для осуществления условия разрушения частицы за один удар при известном размере частицы l_c необходимо получать кавитационные пузырьки такого радиуса R , чтобы глубина проникновения была больше размера частицы:

$$l \geq l_q \quad (2.9)$$

Подставляя в (2.7) значение скорости проникновения и скорости кумулятивной струйки, получаем значение глубины проникновения струйки в частицу суспензии [76]:

$$l = \int_{2r}^{2R} \left(\frac{\sqrt{\rho_k \cdot P_o + \rho_c \cdot \rho_k \cdot V_{kc}^2 - \rho_c \cdot P_o - V_{kc} \cdot \rho_k}}{V_{kc}(\rho_k - \rho_c)} \right) dR. \quad (2.10)$$

По рассчитанной глубине проникновения можно судить о степени проникновения кумулятивной струйки в частицу дисперсной фазы промывочной жидкости. Решив интеграл (2.10), получим формулу для определения глубины проникновения кумулятивной струйки в частицу:

$$l = \frac{\sqrt{\rho_k \cdot P_o + \rho_c \cdot \rho_k \cdot V_{kc}^2 - \rho_c \cdot P_o - V_{kc} \cdot \rho_k}}{V_{kc}(\rho_k - \rho_c)} \cdot (2 \cdot R - 2 \cdot r). \quad (2.11)$$

Учитывая условие разрушения частицы за один удар (2.9), принимаем:

$$l = 2 \cdot R. \quad (2.12)$$

Приравняв выражения (2.11) и (2.12), определим необходимую для разрушения частицы дисперсной фазы скорость кумулятивной струйки:

$$V_{kc} = \frac{\sqrt{(4 \cdot \rho_k \cdot (R^2 - R \cdot r) + \rho_k \cdot r^2 - \rho_c \cdot R^2) \cdot P_o \cdot (R - r)}}{4 \cdot \rho_k \cdot (R^2 - R \cdot r) + \rho_k \cdot r^2 - \rho_c \cdot R^2}. \quad (2.13)$$

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

$$t_1 = \frac{l_0}{V_{kc}}. \quad (2.14)$$

Определим начальное число частиц в определенном объеме дисперсной фазы V :

$$n = \frac{V}{V_0}, \quad (2.15)$$

где V – объем дисперсной фазы, м³;

V_0 – начальный объем одной частицы дисперсной фазы, м³.

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

$$T = t_1 \cdot n = \frac{l_0 \cdot V}{V_{kc} \cdot V_0}, \text{ с.} \quad (2.16)$$

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:

$$T = \frac{l_0 \cdot V}{V_{kc} \cdot V_0 \cdot f}, \quad (2.17)$$

где f - частота кавитационных колебаний.

Приняв, что с каждым актом разрушения начальный объем одной частицы дисперсной фазы V_0 будет уменьшаться как минимум в 2 раза, обозначим объем

частицы, полученной после первого разрушения как V_1 , после второго - V_2 , после i -го соответственно - V_i . Тогда можно определить общее время для диспергирования определенного объема V дисперсной фазы с начальным размером частиц l_0 и объемом V_0 до размера l_i и объема V_i при постоянной частоте кавитационных колебаний давления жидкости в потоке $f = const$.

$$\sum T_i = \frac{l_0 \cdot V}{V_{kc} \cdot V_0 \cdot f} + \frac{(l_0/2) \cdot V}{V_{kc} \cdot (V_0/2) \cdot f} + \frac{(l_0/4) \cdot V}{V_{kc} \cdot (V_0/4) \cdot f} + \dots + \frac{(l_0/i) \cdot V}{V_{kc} \cdot (V_0/i) \cdot f}, \quad (2.18)$$

Выражение (2.18) представляет собой геометрическую прогрессию, знаменатель которой равен 1, тогда сумма первых i членов будет равна:

$$\sum T_i = i \cdot \frac{l_0 \cdot V}{V_{kc} \cdot V_0 \cdot f}, \text{ с.} \quad (2.19)$$

В графическом виде зависимость (2.19) приведена на рис. 2.3. Расчет проведен в математическом редакторе *Mathcad 13* для следующих исходных данных: $\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_c = 3200 \text{ кг/м}^3$; радиус микропузырька при схлопывании уменьшается в 10 раз; начальный размер частиц дисперсной фазы равен $l_0 = 0,0001 \text{ м}$; частота кавитационных колебаний $f = const$; динамическая прочность частиц дисперсной фазы $P_a = 100 \text{ МПа}$; число полных циклов обработки $i = 10$.

Определим общее время для диспергирования определенного объема V 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.

$$\sum T_i = \frac{l_0 \cdot V}{V_{kc} \cdot V_0 \cdot f} + \frac{1}{n} \cdot \frac{(l_0/2) \cdot V}{V_{kc} \cdot (V_0/2) \cdot f} + \frac{1}{n^2} \cdot \frac{(l_0/4) \cdot V}{V_{kc} \cdot (V_0/4) \cdot f} + \dots + \frac{1}{n^{i-1}} \cdot \frac{(l_0/i) \cdot V}{V_{kc} \cdot (V_0/i) \cdot f}, \quad (2.20)$$

Выражение (2.20) представляет собой геометрическую прогрессию, знаменатель которой равен $\frac{1}{n}$, тогда сумма первых i членов будет равна:

$$\sum T_i = \frac{l_0 \cdot V}{V_{kc} \cdot V_0 \cdot f} \cdot \frac{\left[1 - \left(\frac{1}{n}\right)^{i-1} \cdot \frac{1}{n}\right]}{\left(1 - \frac{1}{n}\right)}, \text{ с.} \quad (2.21)$$

Для упрощения выражения (2.21) принимаем $V_0 = l_0^3$ и диспергируемый объем - $V = 1 \text{ м}^3$.

$$\sum T_i = \frac{1}{V_{kc} \cdot l_0^2 \cdot f} \cdot \frac{\left[1 - \left(\frac{1}{n}\right)^{i-1} \cdot \frac{1}{n}\right]}{\left(1 - \frac{1}{n}\right)}, \text{ с.} \quad (2.22)$$

Подставив в формулу (2.24) выражение для определения скорости кумулятивной струйки (2.13) получим:

$$\sum T_i = \frac{1}{l_0^2 \cdot f \cdot \left[\frac{\sqrt{(4 \cdot \rho_k \cdot (R^2 - R \cdot r) + \rho_k \cdot r^2 - \rho_c \cdot R^2) \cdot P_0 \cdot (R - r)}}{4 \cdot \rho_k \cdot (R^2 - R \cdot r) + \rho_k \cdot r^2 - \rho_c \cdot R^2} \right]} \times \frac{\left[1 - \left(\frac{1}{n}\right)^{i-1} \cdot \frac{1}{n}\right]}{\left(1 - \frac{1}{n}\right)} \quad (2.23)$$

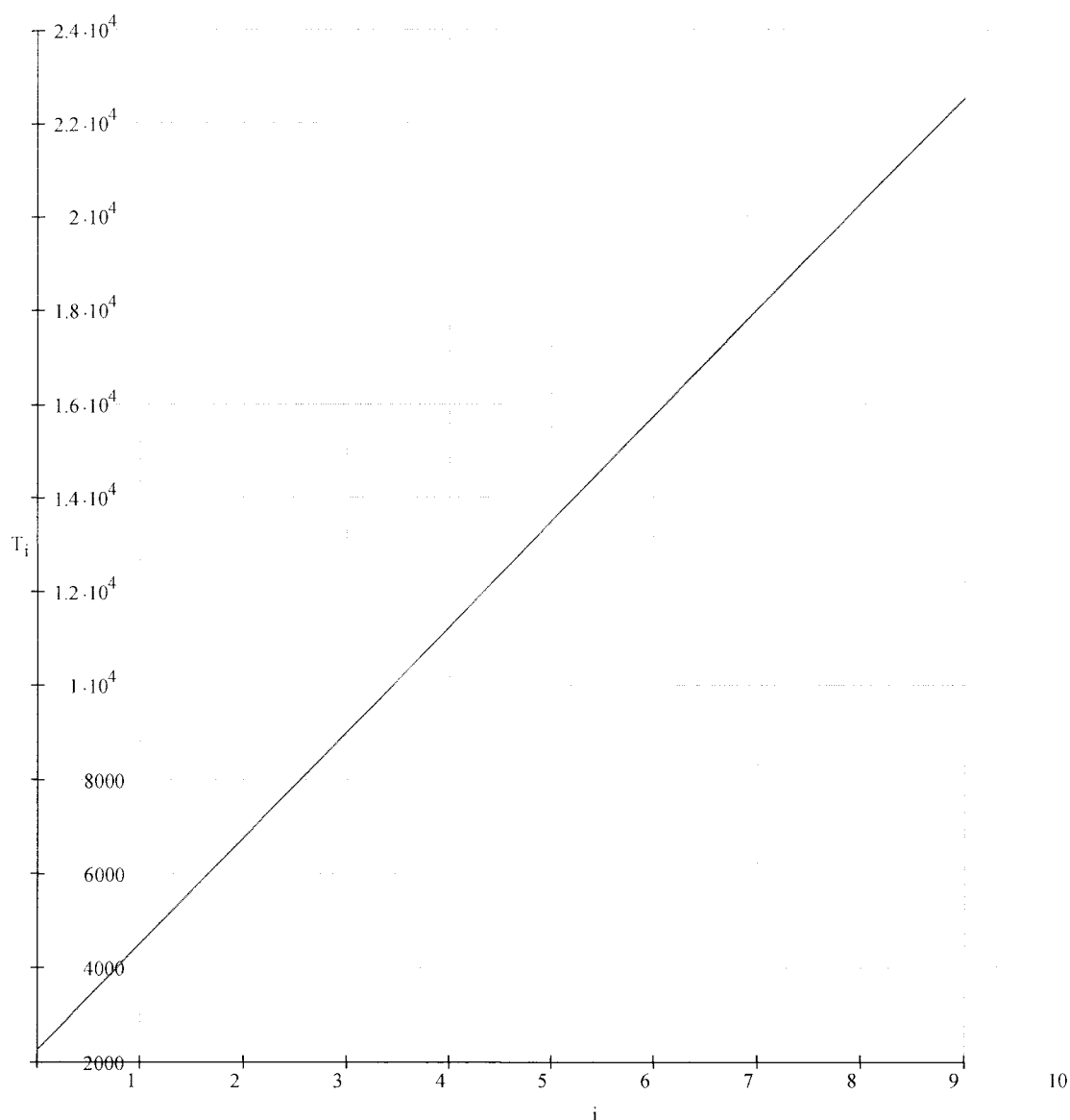


Рисунок 2.3 - Зависимость времени диспергирования T_i (с) от числа циклов обработки i при $f=const$

Анализ выражения (2.23) показывает:

- 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).

В графическом виде зависимость (2.23) приведена на рис. 2.4. Расчет проведен в математическом редакторе *Mathcad 13* для следующих исходных данных: $\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_c = 3200 \text{ кг/м}^3$; радиус микропузырька уменьшается в 10 раз; начальный размер частиц дисперсной фазы равен $l_0 = 0,0001 \text{ м}$; начальная частота кавитационных колебаний $f = 100 \text{ Гц}$; динамическая прочность частиц дисперсной фазы $P_d = 100 \text{ МПа}$; увеличение частоты кавитационных колебаний давления жидкости в потоке с каждым циклом в $n=2$ раз; число полных циклов обработки $i = 10$.

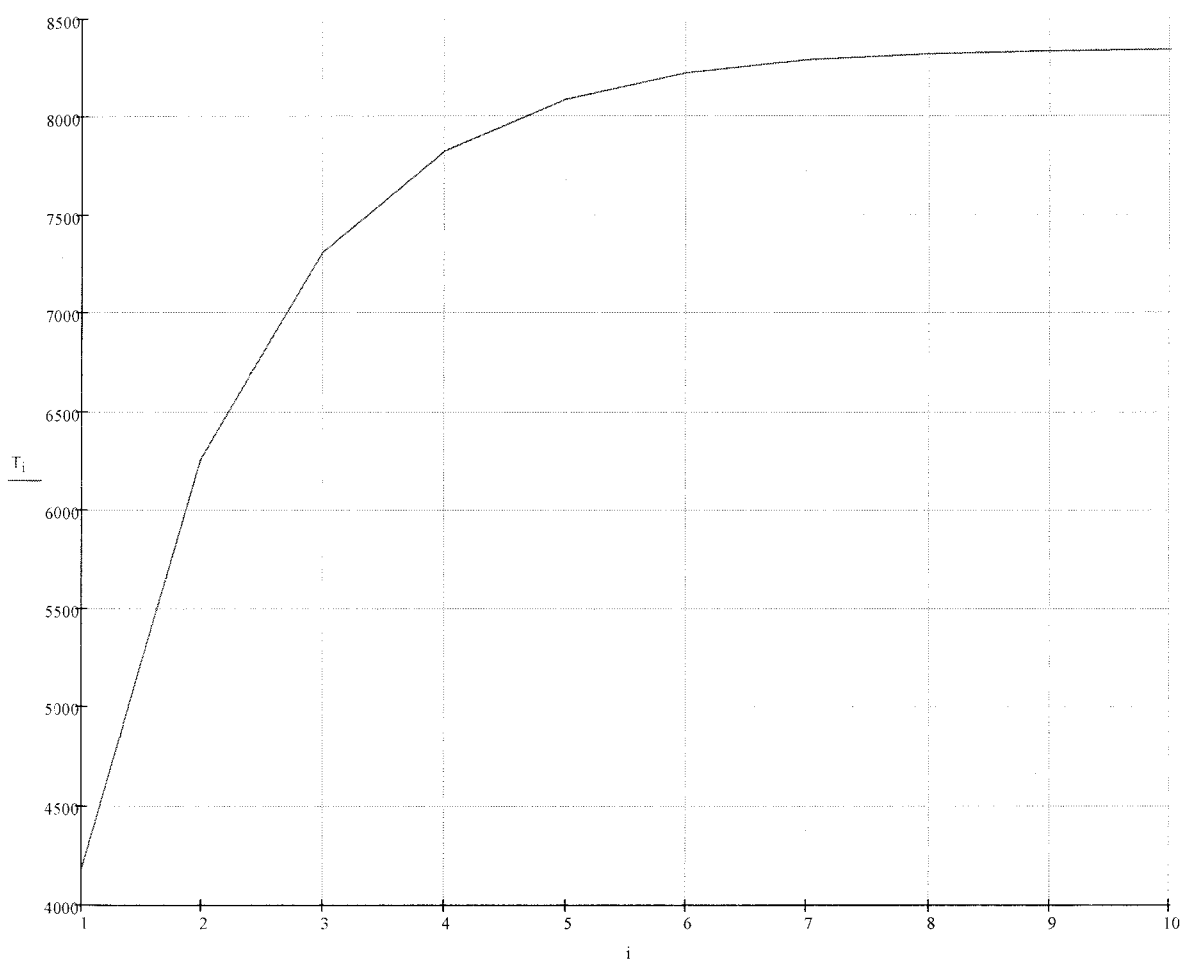


Рисунок 2.4 – Зависимость времени диспергирования T_i (с) от числа циклов обработки i при переменной частоте кавитационных колебаний

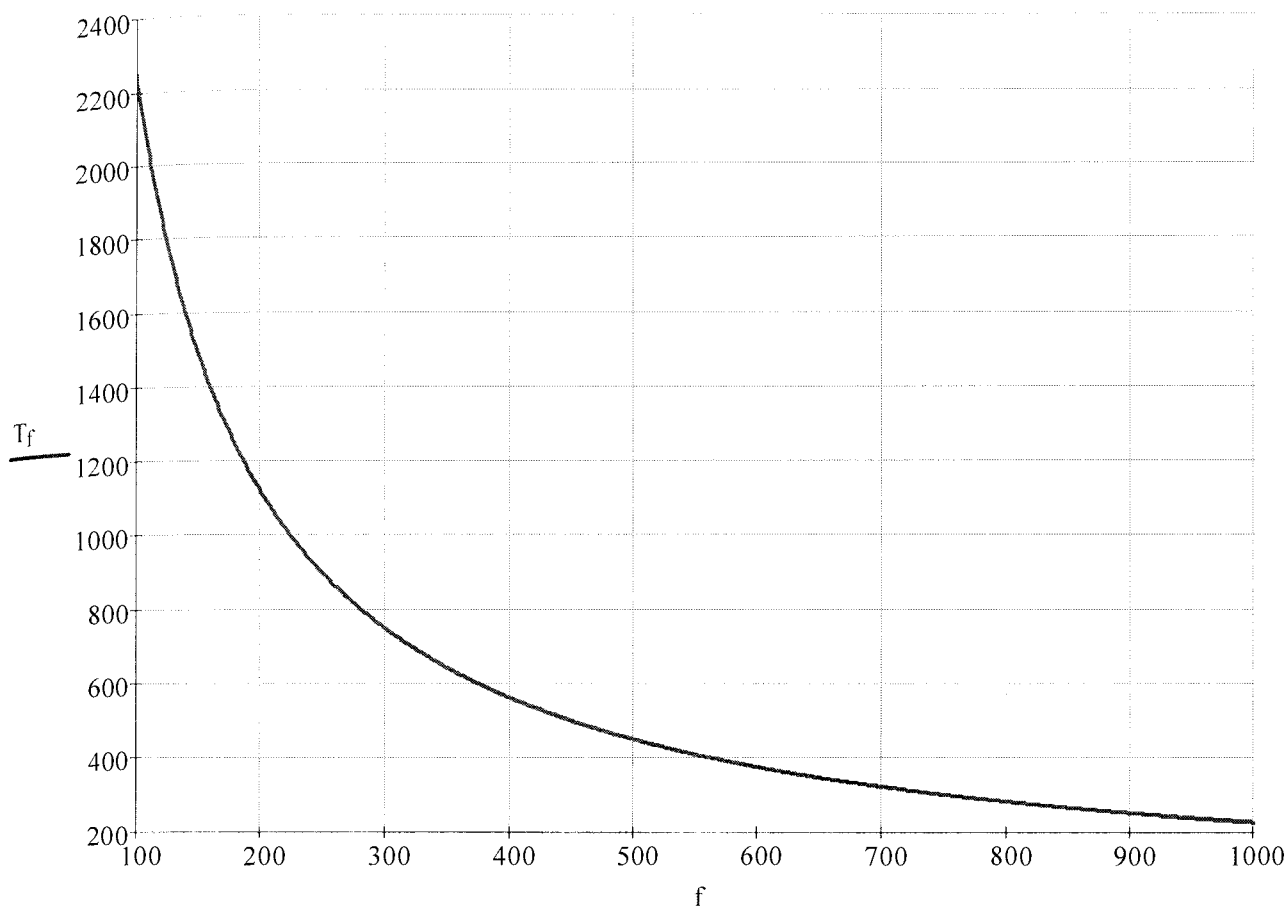


Рисунок 2.5 – Зависимость времени диспергирования T_f (с) от частоты кавитационных колебаний f (Гц) для одного цикла обработки

2.3 Обоснование параметров и разработка конструкции кавитационного диспергатора

Решению проблемы диспергирования жидких гетерогенных сред посвящено множество разработок.

Анализируя различные конструкции диспергаторов и объединяя их по такому признаку, как энергоемкость разрушения и эффективность диспергирования, можно заключить, что гидродинамические кавитационные аппараты наиболее полно отвечают предъявляемым требованиям.

Когда местное давление жидкости в некоторой точке падает ниже величины, соответствующей давлению насыщенного пара при данной окружающей

температуре, тогда жидкость переходит в другое состояние, образуя, в основном, фазовые пустоты, которые называются кавитационными пузырями. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время сжатия, пузырек захлопывается, излучая при этом ударную волну.

Анализ способов получения кавитационных колебаний давления жидкости позволил уточнить классификацию устройств для генерации кавитационных колебаний (рис. 2.6), составленную Сердюком Н.И. [45, 68, 69].

В соответствии с приведенной классификацией, кавитация может возникать в двух случаях: при повышении температуры (кипение) и при понижении давления. По условиям образования кавитация делится на гидродинамическую, электродинамическую и комбинированную. Гидродинамическая кавитация используется для генерирования кавитационного поля энергию самого движущегося потока, что и делает ее наиболее перспективной, с точки зрения применения для приготовления промывочных жидкостей. В свою очередь гидродинамическая кавитация подразделяется на инерционную и суперкавитирующую. Инерционная кавитация достаточно хорошо изучена, наиболее ярким представителем генераторов такого рода является трубка Вентури. В данной работе в качестве генератора кавитационных колебаний предложено использовать суперкавитационный генератор в виде конуса обтекания. Основным преимуществом суперкавитационных генераторов, по сравнению с инерционными генераторами, является простота регулирования режима работы кавитационного диспергатора.

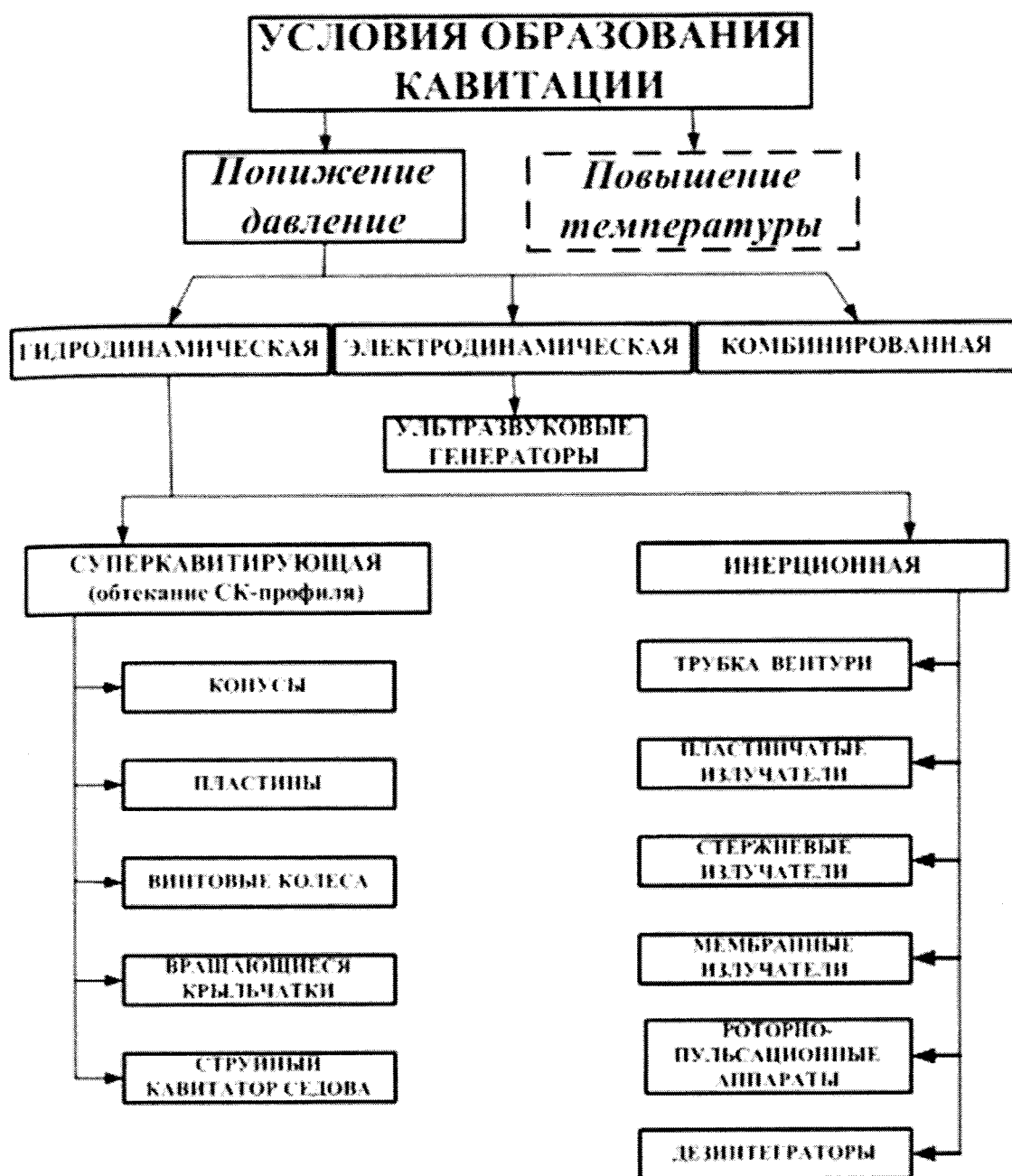


Рисунок 2.6 – Классификация устройств для генерирования кавитационных колебаний.

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:

1) определение скорости и коэффициента гидравлического сопротивления в зоне конуса обтекания;

2) нахождение оптимальных гидродинамических режимов работы и геометрических параметров кавитационного диспергатора.

2.3.1 Обоснование гидравлических характеристик кавитационного диспергатора

Схема для расчета основных гидравлических и конструктивных параметров кавитационного диспергатора показана на рис. 2.7.

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

$$H = P_0 + \frac{\rho \cdot V_0^2}{2} = P_1 + \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} + \Delta h_{0-1} \quad (2.26)$$

где H – давление, развиваемое насосом; ρ – плотность промывочной жидкости;

Δh_{0-1} – потери в конфузоре;

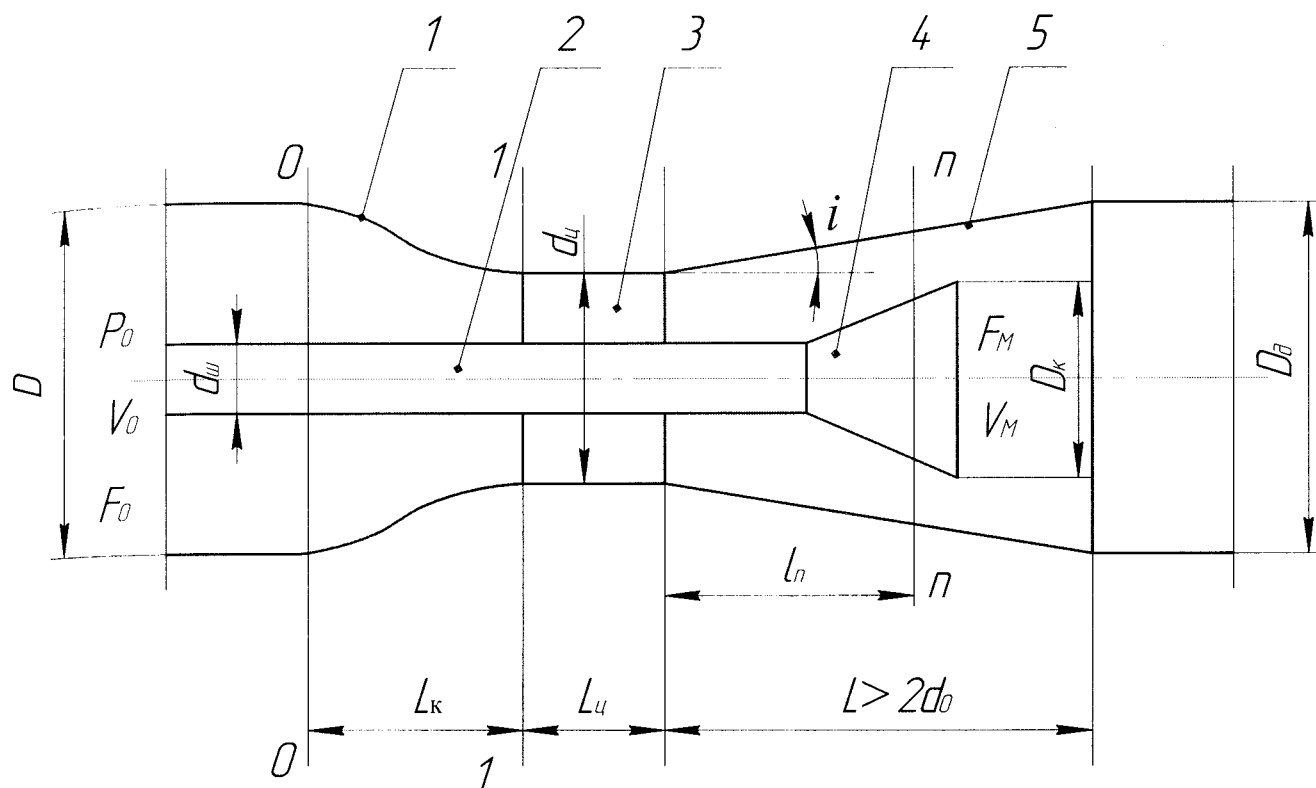
$$Q_0 = Q_1 = Q_i, V_0 F_0 = V_1 F_1 = V_i F_i, \quad (2.27)$$

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

$$\Delta h_{0-1} = \frac{\xi_k \cdot \rho \cdot V_1^2}{2}. \quad (2.28)$$

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 [76, 80, 81]. Длину конфузора следует выбирать равной диаметру трубы в сечении 0-0 (рис. 2.8). Угол наклона диффузора принимается из условия отсутствия кавитации на стенках генератора, в соответствии с рекомендациями [76, 81] угол наклона диффузора составляет $i \leq 2,5^\circ$, а длина участка диффузора – $L \geq 2 \cdot d_0$.



1 – конфузор; 2 – шток; 3 – цилиндрическая часть с критическим диаметром; 4 – конус обтекания; 5 – диффузор

Рисунок 2.7 – Расчетная схема параметров кавитационного диспергатора

Для конфузора, профиль которого образован синусоидой, коэффициент гидравлических потерь равен $\xi_{\kappa}=0,02$; коэффициент гидравлических потерь диффузора – $\xi_{\Delta}=0,03$; коэффициент гидравлических потерь для цилиндрической части соответственно равен $\xi_{\Delta}=0,04$ [81].

Гидравлические потери на конусе (кавитаторе) находятся по формуле:

$$\Delta h_{\kappa} = \xi_{\kappa} \frac{\rho \cdot V_{\kappa}^2}{2}, \quad (2.29)$$

где V_{κ} – скорость в месте обтекания конуса потоком жидкости в диффузоре.

Общие потери на кавитационном диспергаторе равны:

$$\Delta h_{\text{кд}} = (\xi_{\text{к}} + \xi_{\text{д}} + \xi_{\text{ц}}) \frac{\rho \cdot V_{\text{ц}}^2}{2} + (\xi_{\text{кав}}) \frac{\rho \cdot V_{\text{кав}}^2}{2}. \quad (2.30)$$

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 [76, 81], получим зависимость коэффициента гидравлических потерь на кавитаторе от угла раскрытия конуса при постоянном числе кавитации (рис. 2.8).

Минимальные гидравлические потери будут соответствовать углам раскрытия конуса $15^\circ - 20^\circ$ 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 автором вводится коэффициент запирания потока – k_3 , который равен:

$$k_3 = \frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{д}}} = \frac{D_{\text{к}}^2}{D_{\text{д}}^2}, \quad (2.31)$$

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

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

$$V_k = \frac{Q}{0,785 \cdot d_k^2 \cdot (1/k_3 - 1)}, \text{ м/с} \quad (2.32)$$

где d_k - диаметр конуса; Q - расход промывочной жидкости.

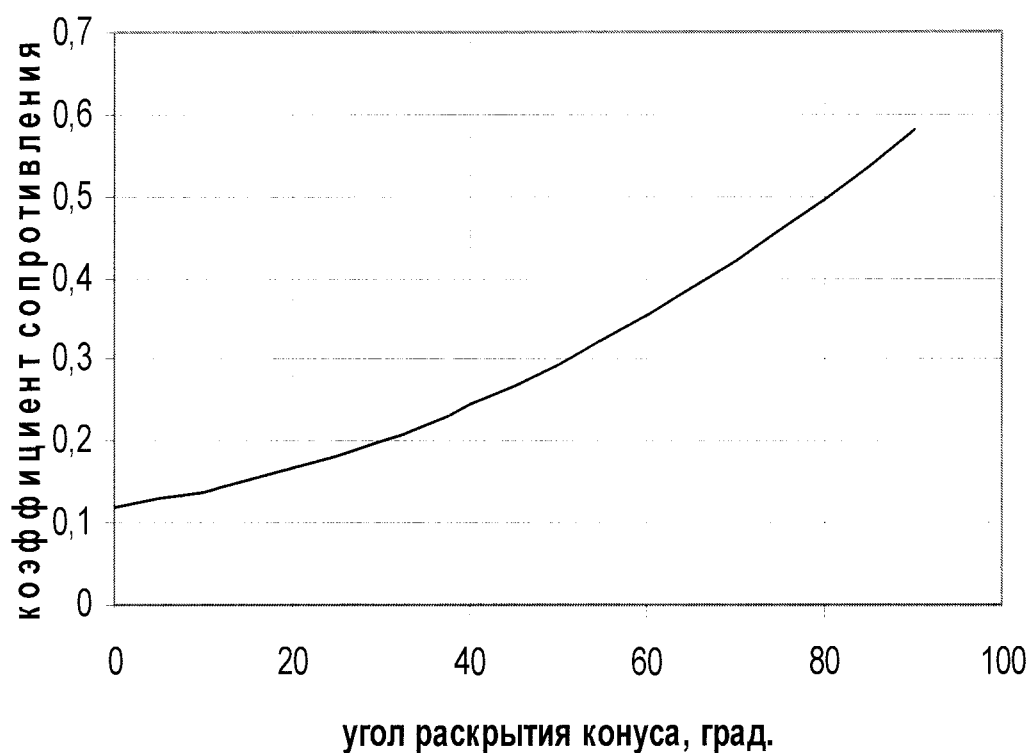


Рисунок 2.8 – Зависимость коэффициента гидравлических потерь на кавитаторе от угла раскрытия конуса

Исходные данные для расчета:

- диаметр конуса обтекания – 0,025 м;
- коэффициент запираания потока – 0-0,95;
- подача промывочной жидкости – 0,001; 0,002; 0,003 м³/с.

Результаты расчета скорости обтекания приведены в виде графической зависимости на рис. 2.10 и в виде числовых значений в табл. 2.1.

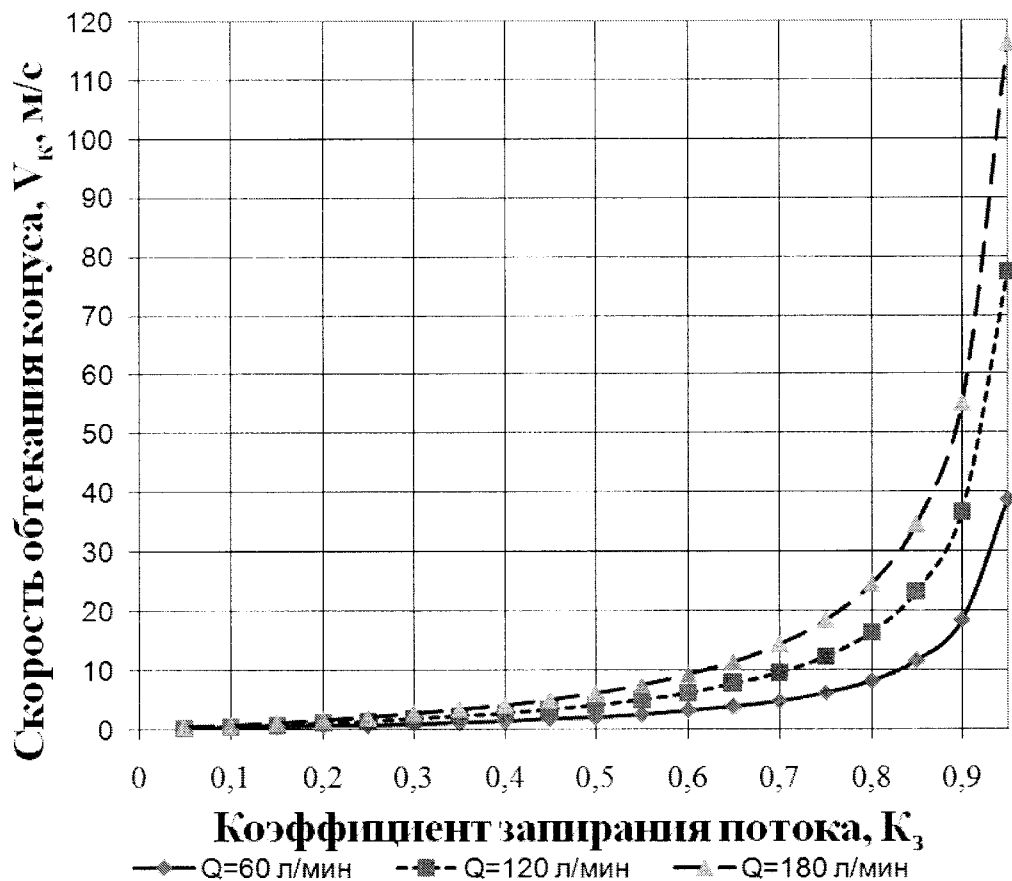


Рисунок 2.9 – Зависимость скорости обтекания конуса от коэффициента запырения потока для различных значений подачи насоса Q

Как видно по графику (рис. 2.9), рациональный диапазон изменения коэффициента запырения потока находится в пределах $k_3=0,6-0,8$, 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 запырения потока кавитационного диспергатора, необходимо определить перепад давления на кавитационном диспергаторе. Для того чтобы воспользо-

ваться выражением для определения перепада давления на кавитационном диспергаторе (2.30), необходимо определить скорость потока в цилиндрической части кавитационного диспергатора.

Учитывая уравнение неразрывности потока, скорость потока в цилиндрической части кавитационного диспергатора равна

$$V_{ц} = \frac{Q}{0,785 \cdot (d_{ц}^2 - d_{ш}^2)}, \text{ м/с} \quad (2.33)$$

где $d_{ц}$ - диаметр цилиндрической части кавитационного диспергатора, м;

$d_{ш}$ - диаметр штока, м; Q – расход промывочной жидкости, м³/с.

Результаты расчета скорости потока в цилиндрической части кавитационного диспергатора приведены в виде графической зависимости на рис. 2.10.

Таблица 2.1 – 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

Коэффициент записания 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
0,45	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

Результаты расчета скорости при различной подаче и в виде числовых значений приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Зависимость скорости потока в цилиндрической части кавитационного диспергатора от различных значений подачи насоса Q

Скорости потока в цилиндрической части кавитационного диспергатора при различной подаче насоса, м/с		
0,001 м ³ /с	0,002 м ³ /с	0,003 м ³ /с
1,7	3,5	5,2

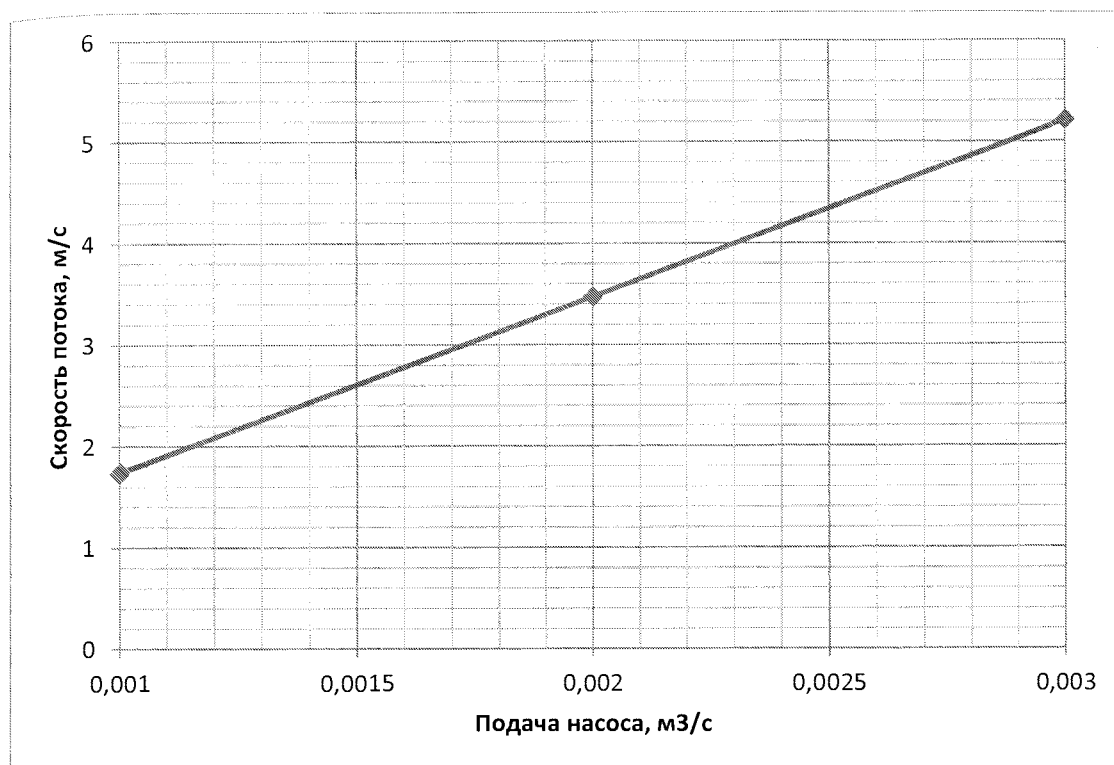


Рисунок 2.10 – Зависимость скорости потока в цилиндрической части кавитационного диспергатора от различных значений подачи насоса Q

Используя формулу (2.30), определяем общие потери на кавитационном диспергаторе. Результаты приведены в табл. 2.3-2.5.

Таблица 2.3 – Потери давления (Па) при $Q=0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ для различных значений коэффициента запирания

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент запирания потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,005	2404,12	12170,88	35767,48	86548,47	194734,07	438151,65	1060218,81	3115745,06	15773459,37
0,01	150,26	760,68	2235,47	5409,28	12170,88	27384,48	66263,68	194734,07	985841,21
0,015	29,68	150,26	441,57	1068,50	2404,12	5409,28	13089,12	38465,99	194734,07
0,02	9,39	47,54	139,72	338,08	760,68	1711,53	4141,48	12170,88	61615,08
0,025	3,85	19,47	57,23	138,48	311,57	701,04	1696,35	4985,19	25237,53

0,03	1,86	9,39	27,60	66,78	150,26	338,08	818,07	2404,12	12170,88
0,035	1,00	5,07	14,90	36,05	81,11	182,49	441,57	1297,69	6569,54
0,04	0,59	2,97	8,73	21,13	47,54	106,97	258,84	760,68	3850,94
0,045	0,37	1,86	5,45	13,19	29,68	66,78	161,59	474,89	2404,12
0,05	0,24	1,22	3,58	8,65	19,47	43,82	106,02	311,57	1577,35
0,055	0,16	0,83	2,44	5,91	13,30	29,93	72,41	212,81	1077,35
0,06	0,12	0,59	1,72	4,17	9,39	21,13	51,13	150,26	760,68
0,065	0,08	0,43	1,25	3,03	6,82	15,34	37,12	109,09	552,27
0,07	0,06	0,32	0,93	2,25	5,07	11,41	27,60	81,11	410,60
0,075	0,05	0,24	0,71	1,71	3,85	8,65	20,94	61,55	311,57
0,08	0,04	0,19	0,55	1,32	2,97	6,69	16,18	47,54	240,68
0,085	0,03	0,15	0,43	1,04	2,33	5,25	12,69	37,30	188,86
0,09	0,02	0,12	0,34	0,82	1,86	4,17	10,10	29,68	150,26
0,095	0,02	0,09	0,27	0,66	1,49	3,36	8,14	23,91	121,04
0,1	0,02	0,08	0,22	0,54	1,22	2,74	6,63	19,47	98,58

Анализ табл. 2.3-2.5 показывает:

1) при изменении коэффициента запираания потока:

- от 0,6 до 0,7 – потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются в 2,4 раза;

- от 0,7 до 0,8 — потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются в 2,9 раза;

- от 0,8 до 0,9 – потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются в 5 раз.

2) при уменьшении диаметра конуса обтекания:

- от 0,025 до 0,02 м – потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются в 2,5 раза;

- от 0,02 до 0,015 м — потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются в 3 раза;

- от 0,015 до 0,01 м – потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются в 5 раз;

- от 0,01 до 0,005 м – потери давления на кавитационном диспергаторе увеличиваются в 16 раз.

Таблица 2.4 – Потери давления (Па) при $Q=0,002 \text{ м}^3/\text{с}$ для различных значений коэффициента запираания

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент запираания потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,005	9616,50	48683,52	143069,93	346193,90	778936,27	1752606,60	4240875,22	12462980,24	63093837,48
0,01	601,03	3042,72	8941,87	21637,12	48683,52	109537,91	265054,70	778936,27	3943364,84
0,015	118,72	601,03	1766,30	4274,00	9616,50	21637,12	52356,48	153863,95	778936,27
0,02	37,56	190,17	558,87	1352,32	3042,72	6846,12	16565,92	48683,52	246460,30
0,025	15,39	77,89	228,91	553,91	1246,30	2804,17	6785,40	19940,77	100950,14
0,03	7,42	37,56	110,39	267,12	601,03	1352,32	3272,28	9616,50	48683,52
0,035	4,01	20,28	59,59	144,19	324,42	729,95	1766,30	5190,75	26278,15
0,04	2,35	11,89	34,93	84,52	190,17	427,88	1035,37	3042,72	15403,77
0,045	1,47	7,42	21,81	52,77	118,72	267,12	646,38	1899,55	9616,50
0,05	0,96	4,87	14,31	34,62	77,89	175,26	424,09	1246,30	6309,38
0,055	0,66	3,33	9,77	23,65	53,20	119,71	289,66	851,24	4309,39
0,06	0,46	2,35	6,90	16,70	37,56	84,52	204,52	601,03	3042,72
0,065	0,34	1,70	5,01	12,12	27,27	61,36	148,48	436,36	2209,09
0,07	0,25	1,27	3,72	9,01	20,28	45,62	110,39	324,42	1642,38
0,075	0,19	0,96	2,83	6,84	15,39	34,62	83,77	246,18	1246,30
0,08	0,15	0,74	2,18	5,28	11,89	26,74	64,71	190,17	962,74
0,085	0,12	0,58	1,71	4,14	9,33	20,98	50,78	149,22	755,42
0,09	0,09	0,46	1,36	3,30	7,42	16,70	40,40	118,72	601,03
0,095	0,07	0,37	1,10	2,66	5,98	13,45	32,54	95,63	484,14
0,1	0,06	0,30	0,89	2,16	4,87	10,95	26,51	77,89	394,34

Таблица 2.5 – Потери давления (Па) при $Q=0,003 \text{ м}^3/\text{с}$ для различных значений коэффициента запираания

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент запираания потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,005	21637,12	109537,91	321907,33	778936,27	1752606,60	3943364,84	9541969,25	2804170 5,55	1419611 34,33
0,01	1352,32	6846,12	20119,21	48683,52	109537,91	246460,30	596373,08	1752606 ,60	8872570 ,90
0,015	267,12	1352,32	3974,16	9616,50	21637,12	48683,52	117802,09	346193, 90	1752606 ,60
0,02	84,52	427,88	1257,45	3042,72	6846,12	15403,77	37273,32	109537, 91	554535, 68
0,025	34,62	175,26	515,05	1246,30	2804,17	6309,38	15267,15	44866,7 3	227137, 81
0,03	16,70	84,52	248,39	601,03	1352,32	3042,72	7362,63	21637,1 2	109537, 91
0,035	9,01	45,62	134,07	324,42	729,95	1642,38	3974,16	11679,1 8	59125,8 4
0,04	5,28	26,74	78,59	190,17	427,88	962,74	2329,58	6846,12	34658,4 8
0,045	3,30	16,70	49,06	118,72	267,12	601,03	1454,35	4274,00	21637,1 2
0,05	2,16	10,95	32,19	77,89	175,26	394,34	954,20	2804,17	14196,1 1
0,055	1,48	7,48	21,99	53,20	119,71	269,34	651,73	1915,29	9696,14
0,06	1,04	5,28	15,52	37,56	84,52	190,17	460,16	1352,32	6846,12
0,065	0,76	3,84	11,27	27,27	61,36	138,07	334,09	981,82	4970,45
0,07	0,56	2,85	8,38	20,28	45,62	102,65	248,39	729,95	3695,36
0,075	0,43	2,16	6,36	15,39	34,62	77,89	188,48	553,91	2804,17
0,08	0,33	1,67	4,91	11,89	26,74	60,17	145,60	427,88	2166,16
0,085	0,26	1,31	3,85	9,33	20,98	47,21	114,25	335,74	1699,71
0,09	0,21	1,04	3,07	7,42	16,70	37,56	90,90	267,12	1352,32
0,095	0,17	0,84	2,47	5,98	13,45	30,26	73,22	215,17	1089,32
0,1	0,14	0,68	2,01	4,87	10,95	24,65	59,64	175,26	887,26

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- наиболее рациональное значение коэффициента запираания (с точки зрения минимальных гидравлических сопротивлений) для работы кавитационного диспергатора находится в пределах 0,6-0,8;

- коэффициент запираания потока не должен превышать 0,8, иначе может произойти резкий скачок давления в нагнетательной линии, что, в свою очередь, приведет к аварийной ситуации;

- 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.

Таким образом, с точки зрения оптимальных гидравлических характеристик кавитационного диспергатора:

- 1) коэффициент запираания должен быть равен 0,8 и менее;
- 2) диаметр «конуса обтекания» должен быть равен 0,015 м и более.

2.3.2 Обоснование частоты кавитационных колебаний

Природа кавитационных колебаний, возникающих при обтекании конуса, аналогична природе хорошо известных в гидродинамике так называемых струхалевых частот. Для этих колебаний характерна линейная зависимость частоты f от скорости набегающего потока V и обратно пропорциональная зависимость от характерного геометрического размера (гидравлического диаметра d_2):

$$f = \frac{Sr \cdot V}{d_2}, \quad (2.34)$$

где Sr - число Струхалея, 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 $200 < Re < 200000$ действует эмпирический закон постоянства числа Струхалия: $Sr \approx 0,2 - 0,3$.

Для определения числа Струхалия определим фактическое число Рейнольдса Re .

$$Re = \frac{\rho_{\text{пр}} V d_{\Gamma}}{\eta_{\text{пл}}} \quad (2.35)$$

где $\rho_{\text{пр}}$ – плотность промывочной жидкости, кг/м^3 ;

V – скорость отекания конуса жидкостью, м/с (определяется по формуле 2.32);

d_{Γ} – гидравлический диаметр, который равняется разнице диаметров $d_{\Gamma} = D_o - d_{\kappa}$, м , с учетом коэффициента запираания потока:

$$d_{\Gamma} = d_{\kappa} \left(\frac{1}{\sqrt{\kappa_{\Gamma}}} - 1 \right)$$

D_o – диаметр диффузора, м ;

d_{κ} – диаметр основания конуса, м ;

$\eta_{\text{пл}}$ – динамическая вязкость промывочной жидкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$$\eta_{\text{пл}} = 0,033 \cdot 10^{-3} \rho_{\text{пр}} - 0,022 \quad (2.36)$$

Динамическая вязкость будет равна:

- для технической воды $\eta_{\text{пл}} = 0,033 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 - 0,022 = 0,011$, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

- для глинистого раствора $\eta_{\text{пл}} = 0,033 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 - 0,022 = 0,018$, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Определим числа Рейнольдса Re для разных коэффициентов запираания потока при различных подачах насоса. Результаты расчета сведены в табл. 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6 – Зависимость числа Рейнольдса от коэффициента запираания потока для различных значений подачи насоса Q (техническая вода)

Коэффициент запираания потока	Число Рейнольдса		
	0,001 м ³ /с	0,002 м ³ /с	0,003 м ³ /с
0,05	846,5	1693,1	2539,6
0,1	1112,9	2225,9	3338,8
0,15	1293,2	2586,4	3879,7
0,2	1431,5	2862,9	4294,4
0,25	1544,1	3088,2	4632,3
0,3	1639,3	3278,7	4918,0
0,35	1721,9	3443,7	5165,6
0,4	1794,7	3589,4	5384,0
0,45	1859,8	3719,7	5579,5
0,5	1918,8	3837,5	5756,3
0,55	1972,5	3945,1	5917,6
0,6	2022,0	4043,9	6065,9
0,65	2067,7	4135,4	6203,0
0,7	2110,2	4220,3	6330,5
0,75	2149,9	4299,7	6449,6
0,8	2187,1	4374,2	6561,2
0,85	2222,1	4444,2	6666,3
0,9	2255,2	4510,3	6765,5
0,95	2286,5	4572,9	6859,4

Таблица 2.7 - Зависимость числа Рейнольдса от коэффициента запираания потока для различных значений подачи насоса Q (глинистый раствор)

Коэффициент запираания потока	Число Рейнольдса		
	0,001 м ³ /с	0,002 м ³ /с	0,003 м ³ /с
0,05	620,8	1241,6	1862,4
0,1	816,1	1632,3	2448,4
0,15	948,4	1896,7	2845,1
0,2	1049,7	2099,5	3149,2
0,25	1132,3	2264,7	3397,0
0,3	1202,2	2404,3	3606,5
0,35	1262,7	2525,4	3788,1
0,4	1316,1	2632,2	3948,3
0,45	1363,9	2727,8	4091,6
0,5	1407,1	2814,2	4221,3
0,55	1446,5	2893,1	4339,6
0,6	1482,8	2965,5	4448,3
0,65	1516,3	3032,6	4548,9
0,7	1547,5	3094,9	4642,4
0,75	1576,6	3153,1	4729,7
0,8	1603,9	3207,7	4811,6
0,85	1629,5	3259,1	4888,6
0,9	1653,8	3307,6	4961,4
0,95	1676,7	3353,5	5030,2

Таким образом, число Рейнольдса попадает в диапазон $200 < Re < 200000$, поэтому можем определить число Струхалия по эмпирическому закону постоянства числа Струхалия: $Sr \approx 0,2 - 0,3$, для расчетов принимаем $Sr = 0,2$.

Окончательно формула для расчета частоты кавитационных колебаний

примет вид:

$$f = \frac{Sr \cdot Q}{0,785 \cdot d_k^3 (1/k_s - 1)(1/\sqrt{k_s} - 1)}, \text{ Гц} \quad (2.37)$$

Результаты расчета частоты кавитационных колебаний по формуле 2.37 приведены в табл. 2.8-2.10.

Таблица 2.8 – Частота кавитационных колебаний (Гц) при $Q=0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ для различных значений коэффициента запираания

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент запираания потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,005	105	412	1058	2338	4921	10506	24360	69072	339122
0,01	13	52	132	292	615	1313	3045	8634	42390
0,015	4	15	39	87	182	389	902	2558	12560
0,02	2	6	17	37	77	164	381	1079	5299
0,025	1	3	8	19	39	84	195	553	2713
0,03	0	2	5	11	23	49	113	320	1570
0,035	0	1	3	7	14	31	71	201	989
0,04	0	1	2	5	10	21	48	135	662
0,045	0	1	1	3	7	14	33	95	465
0,05	0	0	1	2	5	11	24	69	339
0,055	0	0	1	2	4	8	18	52	255
0,06	0	0	1	1	3	6	14	40	196
0,065	0	0	0	1	2	5	11	31	154
0,07	0	0	0	1	2	4	9	25	124

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент записания потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
<i>0,075</i>	0	0	0	1	1	3	7	20	100
<i>0,08</i>	0	0	0	1	1	3	6	17	83
<i>0,085</i>	0	0	0	0	1	2	5	14	69
<i>0,09</i>	0	0	0	0	1	2	4	12	58
<i>0,095</i>	0	0	0	0	1	2	4	10	49
<i>0,1</i>	0	0	0	0	1	1	3	7	42

В табл. 2.8-2.10 жирным шрифтом отмечены значения частот со значениями 100 Гц и выше.

Таблица 2.9 - Частота кавитационных колебаний (Гц) при $Q=0,002 \text{ м}^3/\text{с}$ для различных значений коэффициента записания

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент записания потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
<i>0,005</i>	209	824	2116	4676	9841	21013	48721	138144	678243
<i>0,01</i>	26	103	264	585	1230	2627	6090	17268	84780
<i>0,015</i>	8	31	78	173	364	778	1804	5116	25120
<i>0,02</i>	3	13	33	73	154	328	761	2159	10598
<i>0,025</i>	2	7	17	37	79	168	390	1105	5426
<i>0,03</i>	1	4	10	22	46	97	226	640	3140
<i>0,035</i>	1	2	6	14	29	61	142	403	1977
<i>0,04</i>	0	2	4	9	19	41	95	270	1325
<i>0,045</i>	0	1	3	6	13	29	67	189	930

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент запираия потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,05	0	1	2	5	10	21	49	138	678
0,055	0	1	2	4	7	16	37	104	510
0,06	0	0	1	3	6	12	28	80	393
0,065	0	0	1	2	4	10	22	63	309
0,07	0	0	1	2	4	8	18	50	247
0,075	0	0	1	1	3	6	14	41	201
0,08	0	0	1	1	2	5	12	34	166
0,085	0	0	0	1	2	4	10	28	138
0,09	0	0	0	1	2	4	8	24	116
0,095	0	0	0	1	1	3	7	20	99
0,1	0	0	0	1	1	3	6	17	85

По приведенным результатам расчета частоты кавитационных колебаний (табл. 2.8-2.10) подбирается диаметр «конуса обтекания» в зависимости от необходимой частоты кавитационных колебаний и числа режимов работы (в зависимости от коэффициента запираия) для заданной производительности насоса Q .

Таблица 2.10 - Частота кавитационных колебаний (Гц) при $Q=0,003 \text{ м}^3/\text{с}$ для различных значений коэффициента запираия

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент запираия потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,005	314	1237	3174	7015	14762	31519	73081	207217	1017365
0,01	39	155	397	877	1845	3940	9135	25902	127171
0,015	12	46	118	260	547	1167	2707	7675	37680

Диаметр конуса обтекания $d_k, \text{ м}$	Коэффициент записания потока								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,02	5	19	50	110	231	492	1142	3238	15896
0,025	3	10	25	56	118	252	585	1658	8139
0,03	1	6	15	32	68	146	338	959	4710
0,035	1	4	9	20	43	92	213	604	2966
0,04	1	2	6	14	29	62	143	405	1987
0,045	0	2	4	10	20	43	100	284	1396
0,05	0	1	3	7	15	32	73	207	1017
0,055	0	1	2	5	11	24	55	156	764
0,06	0	1	2	4	9	18	42	120	589
0,065	0	1	1	3	7	14	33	94	463
0,07	0	0	1	3	5	11	27	76	371
0,075	0	0	1	2	4	9	22	61	301
0,08	0	0	1	2	4	8	18	51	248
0,085	0	0	1	1	3	6	15	42	207
0,09	0	0	1	1	3	5	13	36	174
0,095	0	0	0	1	2	5	11	30	148
0,1	0	0	0	1	2	3	9	26	127

Данный подход позволил разработать программу для определения характеристик кавитационного диспергатора в зависимости от:

- производительности насоса;
- числа ступеней регулировки режима работы кавитационного диспергатора.

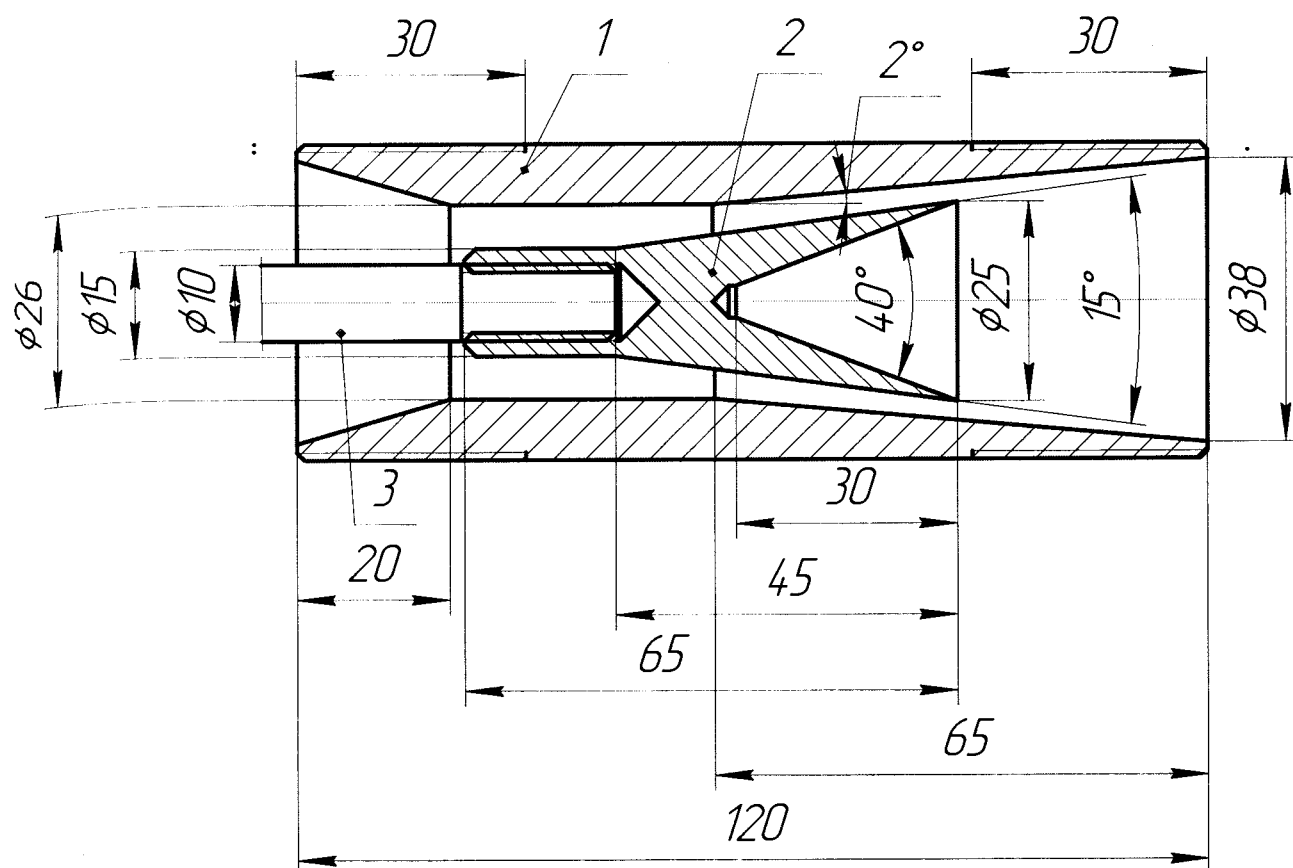
Программа разработана в приложении Microsoft Office Excel 2007, а табл. 2.8-2.10 являются частными случаями для трех различных значений подач поршневого насоса геологоразведочного сортамента.

Таким образом, для конкретных условий работы кавитационного диспергатора программа определяет диаметр «конуса обтекания», диаметр диффузора для каждого режима работы (коэффициента запираения) и частоту кавитационных колебаний.

С учетом проведенных аналитических и теоретических исследований, был разработан экспериментальный образец кавитационного диспергатора (рис.2.11), новизна которого подтверждена патентом Украины [68].

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 регулирования 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.

Конус обтекания 2 выполнен полым для увеличения объема образуемой суперкаверны, что, в свою очередь, влечет увеличение количества кавитационных микропузырьков (так как микропузырьки образуются по всей поверхности кавитационной каверны) и, соответственно, повышает интенсивность процесса кавитационного диспергирования.



1 - нипель специального сечения; 2 – конус обтекания; 3 – шток

Рисунок 2.11 – Экспериментальный образец кавитационного диспергатора

Техническая характеристика экспериментального образца кавитационного диспергатора

Диаметр конуса обтекания, мм	25
Диапазон изменения коэффициента записания	0,6-0,8
Частота кавитационных колебаний, Гц	100-1600
Производительность насоса, м ³ /с	0,001-0,003

2.4 Эффективность работы кавитационного диспергатора

В качестве критерия оценки эффективности различного типа исследуемых кавитационных диспергаторов был принят удельный расход энергии [73]:

$$J = \rho \cdot g \cdot \Delta h_{\text{кв}}, \text{ Дж/м}^3 \quad (2.38)$$

где ρ - плотность жидкости, кг/м³;

$\Delta h_{\text{кв}}$ – потери давления на кавитационном диспергаторе, Па.

Более эффективным кавитационным диспергатором будет считаться тот, в котором для достижения одинакового качества промывочной жидкости потребуется меньший удельный расход энергии.

Используя формулу (2.38), определяем удельный расход энергии на кавитационном диспергаторе. Результаты приведены в виде графической зависимости на рис. 2.13 и в виде числовых значений в табл. 2.11.

Таблица 2.11 - Зависимость удельного расхода энергии на кавитационном диспергаторе от коэффициента запираания потока для различных значений подачи насоса Q

Коэффициент запираания потока	Удельный расход энергии на кавитационном диспергаторе, кДж/м ³		
	0,001 м ³ /с	0,002 м ³ /с	0,003 м ³ /с
0,6	6,06	24,25	54,57
0,65	8,51	34,03	76,56
0,7	12,57	50,29	113,15
0,75	19,82	79,27	178,36
0,8	34,08	136,33	306,73

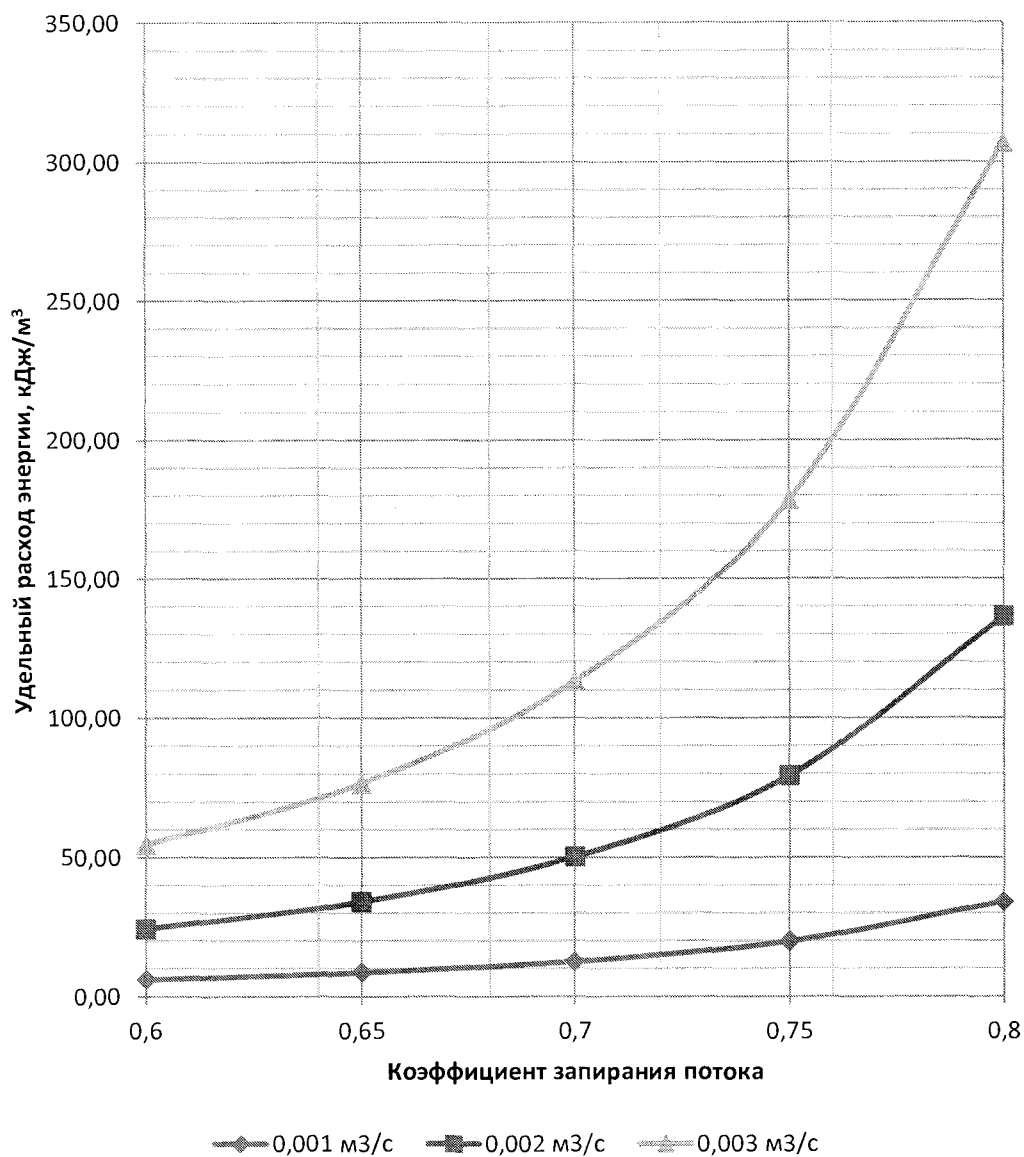


Рисунок 2.13 – Зависимость удельного расхода энергии на кавитационном диспергаторе от коэффициента записания потока для различных значений подачи насоса Q

Для оценки эффективности кавитационных диспергаторов также можно использовать значение мощности, затрачиваемой на создание кавитации[73]:

$$W_k = \rho \cdot g \cdot \Delta h_{кд} \cdot Q, \text{ Вт} \quad (2.39)$$

где ρ - плотность жидкости, кг/м³; $\Delta h_{кл}$ – потери давления на кавитационном диспергаторе; Q – подача насоса, м³/с.

Используя формулу (2.39), определяем мощность кавитационного диспергатора. Результаты приведены в виде графической зависимости на рис. 2.14 и в виде числовых значений в табл. 2.12.

Таблица 2.12 – Зависимость мощности кавитационного диспергатора от коэффициента запираания потока для различных значений подачи насоса

Коэффициент запираания потока	Мощность, затрачиваемая на создание кавитационного поля, Вт		
	0,001 м ³ /с	0,002 м ³ /с	0,003 м ³ /с
0,6	6,06	48,51	163,71
0,65	8,51	68,05	229,67
0,7	12,57	100,58	339,46
0,75	19,82	158,54	535,08
0,8	34,08	272,65	920,20

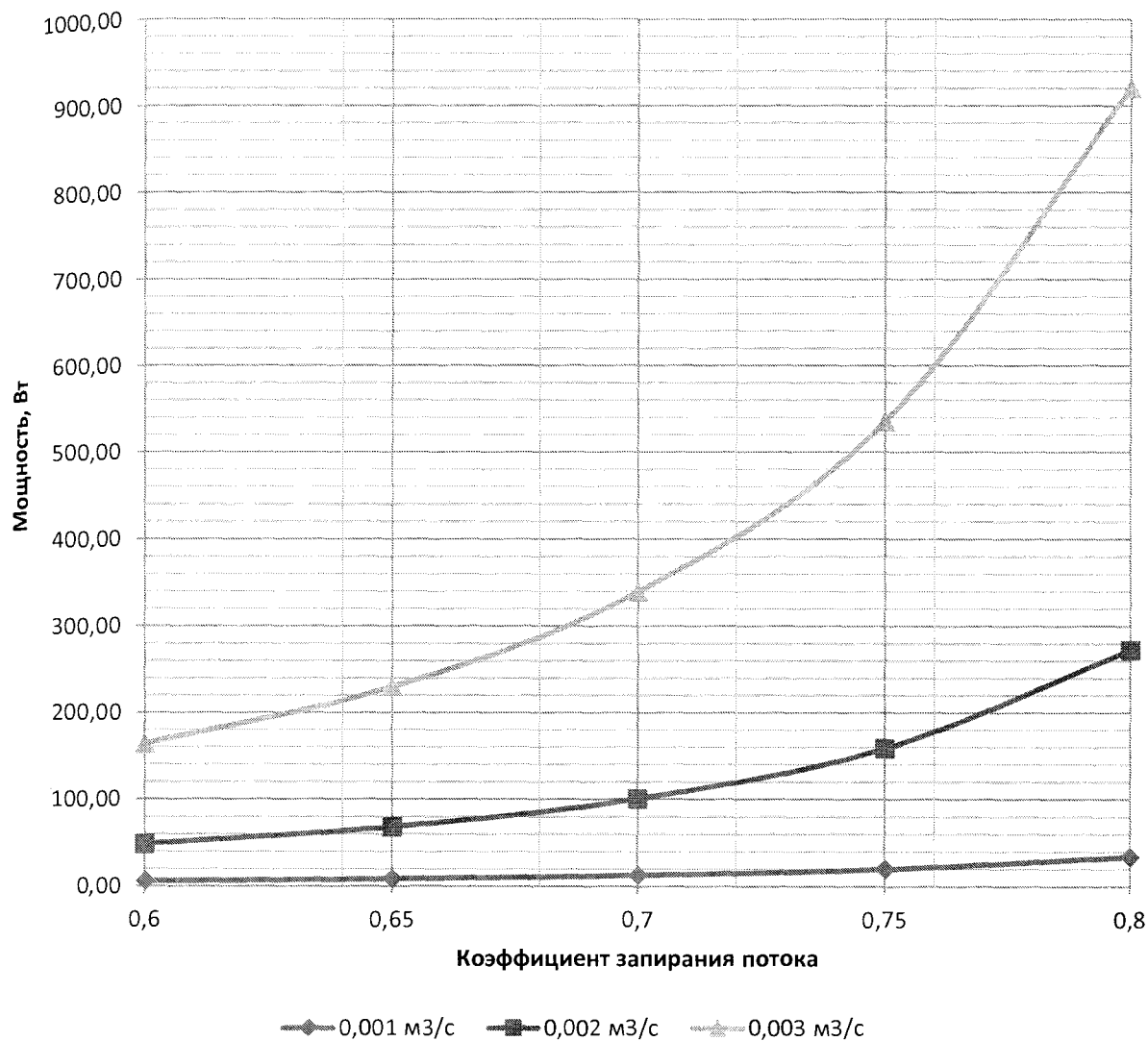


Рисунок 2.14 – Зависимость мощности кавитационного диспергатора от коэффициента записания потока для различных значений подачи насоса

Выводы к разделу 2

1. Коэффициент гидравлического сопротивления тем меньше, чем меньше угол раскрытия конуса α , таким образом, наиболее рациональным будет использование конус с минимальным углом раскрытия 15° - 20° .
2. Диспергирующее действие кавитации основано, в первую очередь, на механическом воздействии кумулятивных струек, образующихся при схлопывании кавитационных микропузырьков.

3. Регулирование интенсивности кавитационного диспергирования осуществляется изменением коэффициента запираания потока κ_3 .

4. Рациональный диапазон изменения коэффициента запираания потока находится в пределах $\kappa_3=0,6-0,8$, т.к. в данном диапазоне интенсивность изменения скорости обтекания имеет максимальное значение, что позволит регулировать интенсивность кавитационного воздействия в широких пределах.

5. Время кавитационной обработки исходного материала напрямую зависит от частоты кавитационных колебаний, регулирование которой производится изменением коэффициента запираания потока κ_3 .

РАЗДЕЛ 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИИ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

3.1 Лабораторные исследования процесса возникновения кавитации при обтекании конуса потоком жидкости

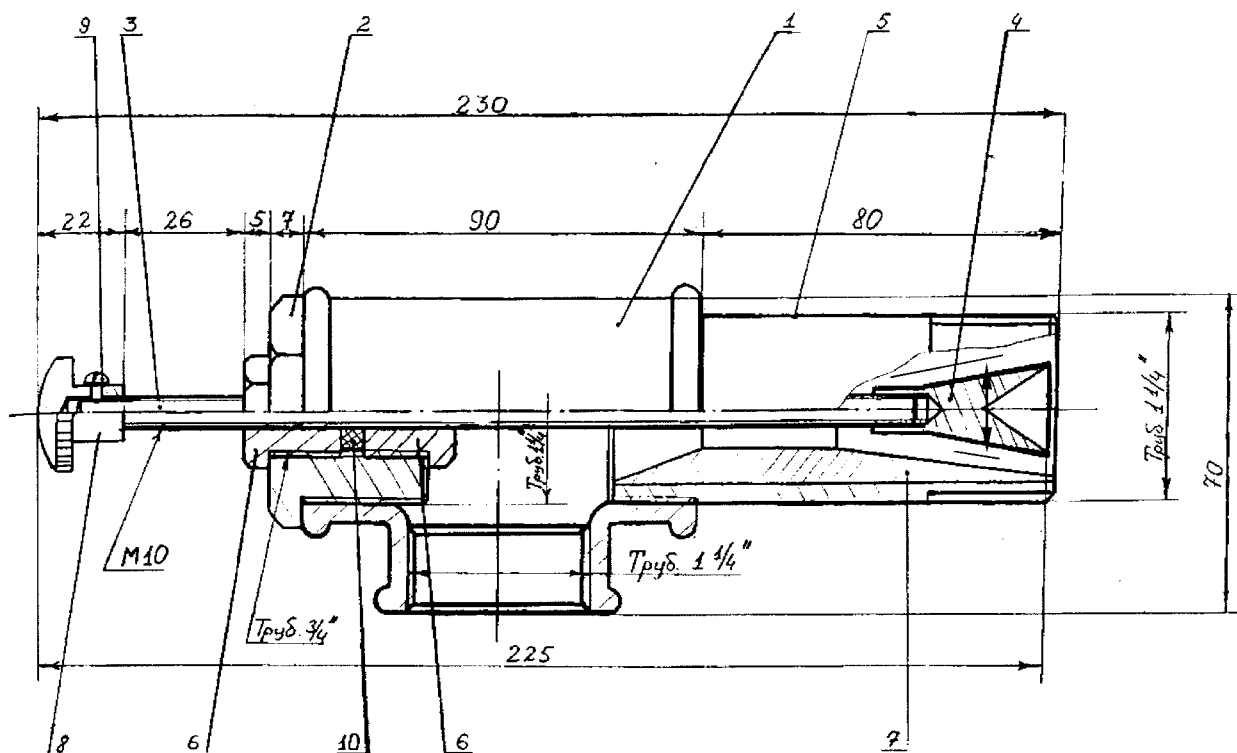
3.1.1 Методика лабораторных исследований

Объектом исследований является экспериментальный образец кавитационного диспергатора (рис. 3.1) [21]. Кавитационный диспергатор состоит из корпуса 1, в котором на стержне 3 расположен конус обтекания 4. Конус 4 выполнен с возможностью осевого перемещения в конфузоре трубы 5.

Техническая характеристика кавитационного диспергатора

Частота кавитационных колебаний давления, Гц	0 – 1600
Коэффициент запирания потока	0,6 – 08
Длина каверны, мм	0 – 100
Диаметр корпуса, мм	42
Диаметр конуса-обтекания $d_{кр}$, мм	25
Угол раскрытия конуса-обтекания, град	15
Угол раскрытия диффузора, град	15
Рабочий перепад давления, МПа	0,03-0,5
Длина генератора (max), мм	300
Масса, кг	не более 2,0

Лабораторные испытания проведены на стенде кафедры техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета.



1 – корпус; 2, 6 – переходники; 3 – стержень; 4 – конус обтекания;
5 – труба; 7 – втулка; 8 – ручка; 9 – винт; 10 – уплотнение

Рисунок 3.1 – Экспериментальный образец кавитационного диспергатора

Целью лабораторных исследований является проверка работоспособности кавитационного диспергатора и определение зависимости между длиной каверны и подачей промывочной жидкости.

Стенд включает: кавитационный диспергатор, вихревой насос 2В-1,6 (техническая характеристика приведена в табл. 3.1), отстойник, всасывающий и нагнетательный трубопроводы. Схема стенда приведена на рис. 3.2. Рабочая характеристика насоса 2В-1,6 приведена на рис. 3.3.

В процессе исследований измерялись следующие рабочие параметры:

- 1) давление на входе и выходе кавитационного диспергатора;
- 2) длина каверны;
- 3) подача промывочной жидкости.

Таблица 3.1 - Техническая характеристика насоса 2В-1,6 [36]

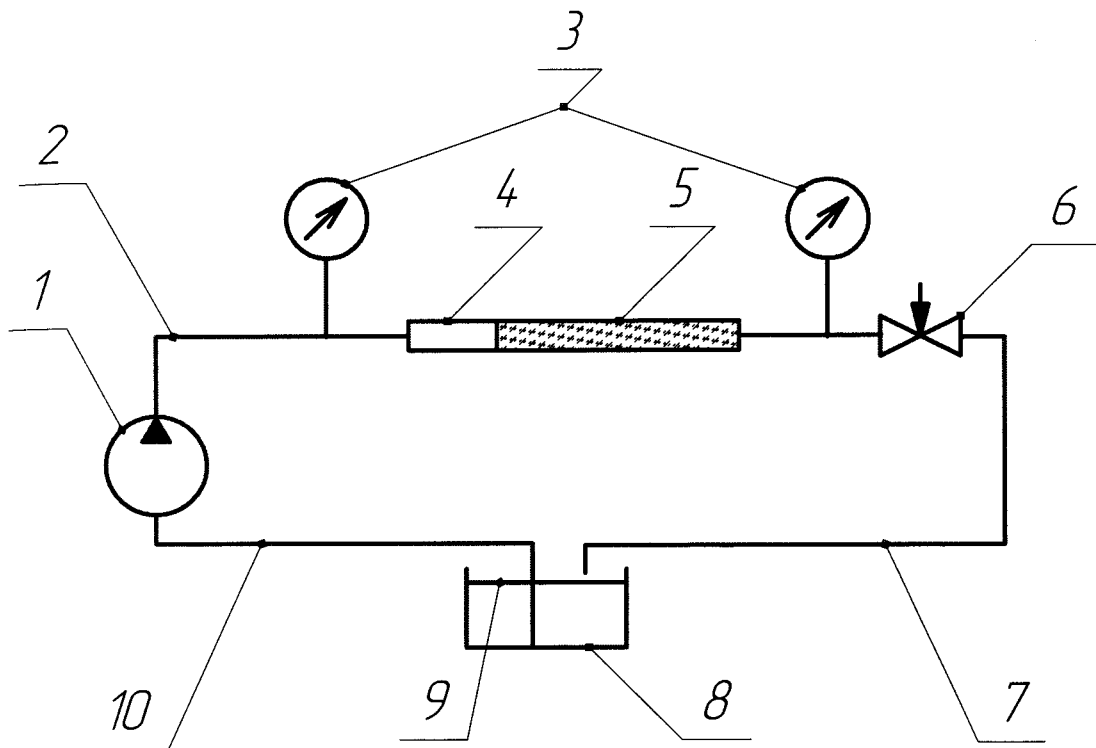
Подача Q		Полный напор H, м	Число оборотов n в минуту	Мощность N, кВт		КПД насоса, %	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м	Диаметр рабочего колеса, мм
м ³ /ч	л/с			На валу насоса	Электродвигателя			
6	1,7	54	1450	3,5	4,5	27	6,0 – 4	175
8	2,2	40		2,7		32		
10	2,8	26		2,0		35		

В процессе проведения исследований экспериментальный образец кавитационного диспергатора 4 подключается к нагнетательному трубопроводу 2 стенда, гидравлическая схема которого показана на рис. 3.2.

Насос 1, всасывая техническую воду 9 через всасывающий трубопровод 10, подает ее по нагнетательному трубопроводу 2 на кавитационный диспергатор 4. Изменение подачи насоса и подпор регулируется вентилем 6. Давление на входе и выходе кавитационного диспергатора 4 измерялось манометрами 3.

В процессе исследования определялась длина каверны в зависимости от коэффициента запираания потока с помощью линейки через прозрачную часть трубопровода 5.

Изменение коэффициента запираания потока k_3 производится перемещением конуса-обтекания 4 в диффузоре втулки 7 (рис. 3.1). Измерение экспериментальных величин проводилось для $k_3=0,6$, $k_3=0,7$, $k_3=0,8$.



1 – насос; 2 – нагнетательный трубопровод; 3 – манометры; 4 – кавитационный диспергатор; 5 – прозрачная часть трубопровода; 6 – вентиль; 7 – слив; 8 – отстойник; 9 – техническая вода; 10 – всасывающий трубопровод

Рисунок 3.2 – Гидравлическая схема стенда для проведения исследований экспериментального образца кавитационного диспергатора:

Схема изменения коэффициента запирания путем осевого перемещения конуса-обтекания в диффузоре втулки диспергатора приведена на рис. 3.4.

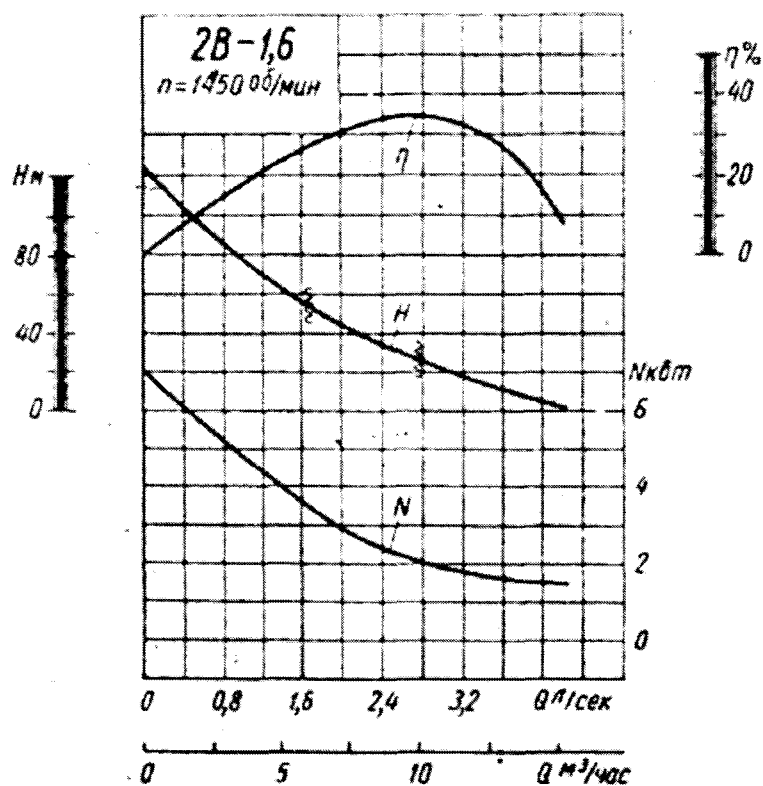
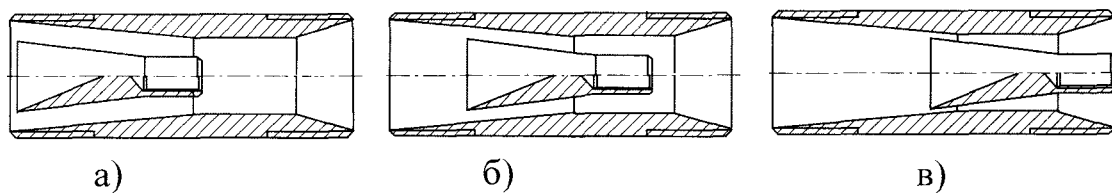


Рисунок 3.3 – Характеристика насоса 2В-1,6 [36]



а) $k_3=0,6$; б) $k_3=0,7$; в) $k_3=0,8$

Рисунок 3.4 – Схема изменения коэффициента запираия путем осевого перемещения конуса-обтекания в диффузоре корпуса диспергатора

3.1.2 Результаты лабораторных исследований

При проведении лабораторных испытаний проводилась фотосъемка процесса образования кавитационной каверны. На рис. 3.5 приведены фотографии

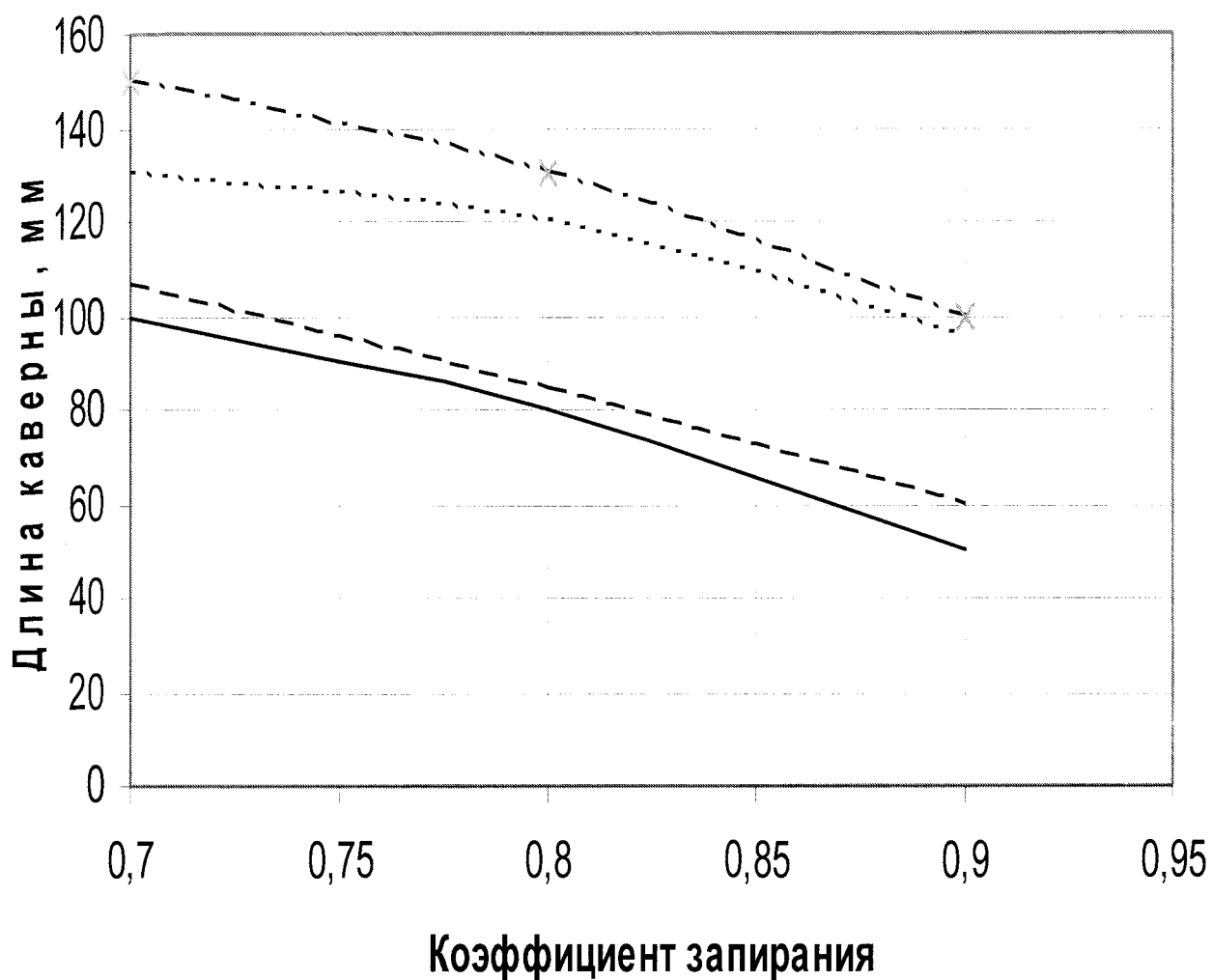
стенда и конуса обтекания. На рис. 3.6 приведены фотографии процесса обтекания конуса потоком жидкости при различных режимах работы. В табл. 3.2 приведены результаты лабораторных исследований.

Измерение длины каверны производилось линейкой с последующим масштабированием.

Таблица 3.2 Характерные показатели режима работы кавитационного диспергатора

Номер опыта п/п	Режим работы насоса		Режим работы кавитационного диспергатора		Длина каверны, мм
	Подача, м ³ /с	Давление (на выходе), МПа	Давление на выходе, МПа	Коэффициент запираания потока	
1	0,0008	0,2	0,21	0,6	100
2	0,0008	0,26	0,27	0,7	80
3	0,0008	0,3	0,29	0,8	50
4	0,001	0,3	0,29	0,6	106
5	0,001	0,33	0,32	0,7	84
6	0,001	0,38	0,37	0,8	60
7	0,0014	0,36	0,34	0,6	130
8	0,0014	0,38	0,37	0,7	120
9	0,0014	0,4	0,38	0,8	95
10	0,0016	0,4	0,36	0,6	150
11	0,0016	0,45	0,38	0,7	130
12	0,0016	0,47	0,35	0,8	100

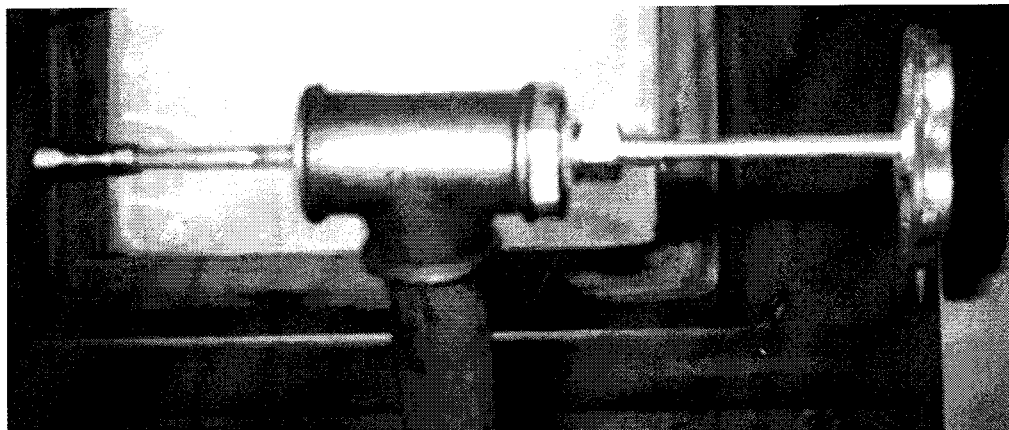
Анализ табл. 3.2 показывает, что с увеличением коэффициента запитания длина суперкаверны уменьшается с одинаковой интенсивностью для различных величин подач насоса рис. 3.5.



1 - подача насоса 0,8 л/с; 2 - подача насоса 1,0 л/с; 3 - подача насоса 1,4 л/с; 4 - подача насоса 1,6 л/с.

Рисунок 3.5 – Зависимость длины каверны от коэффициента запитания (линии Тренда)

Максимальный перепад давления на кавитационном диспергаторе не превысил 0,2 МПа.



а)



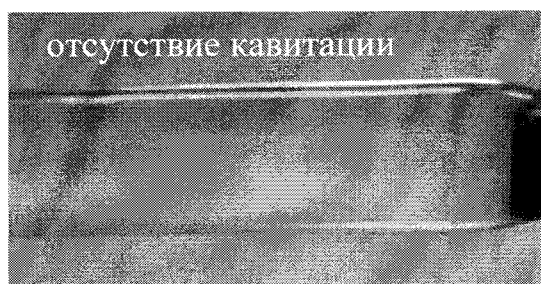
б)

а) конус-обтекания; б) общий вид стенда

Рисунок 3.6 – Стенд для проведения лабораторных исследований

На рис. 3.7 показаны фотографии работы кавитационного диспергатора для различных режимов. Как видно из приведенного материала при увеличении коэффициента запираания потока интенсивность кавитации увеличивается, а

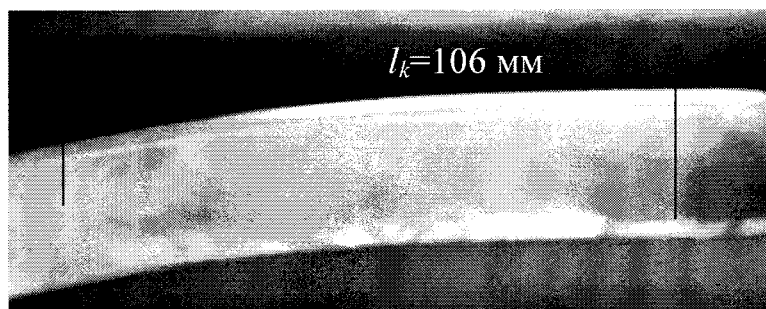
длина суперкаверны уменьшается до полного исчезновения. Это происходит из-за резкого скачка гидравлических сопротивлений.



а)



б)



в)



г)

а) без кавитации $Q=1,2$ л/с, $k_3=0,95$, $l_k=0$ мм; б) кавитация при $Q=0,8$ л/с, $k_3=0,8$, $l_k=80$ мм; в) кавитация при $Q=1$ л/с, $k_3=0,7$, $l_k=106$ мм; г) кавитация при $Q=1,6$ л/с, $k_3=0,7$, $l_k=150$ мм.

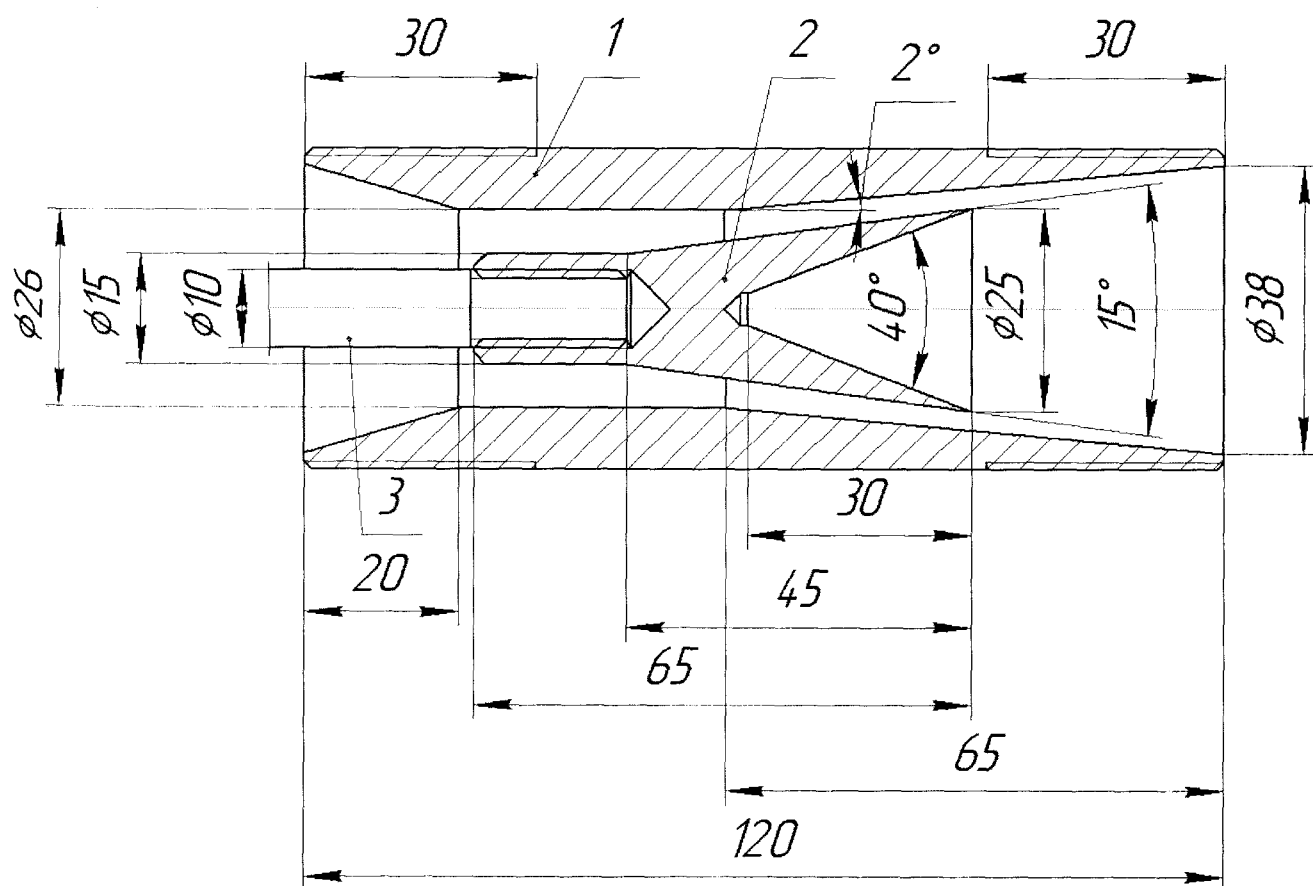
Рисунок 3.7 – Характерные режимы обтекания

3.2 Стендовые исследования частотной характеристики кавитационного диспергатора

Стендовые испытания экспериментального образца кавитационного диспергатора проводились на специальном стенде, расположенном в Институте технической механики НАН Украины г. Днепропетровска.

3.2.1 Методика стендовых исследований

Объектом исследований является экспериментальный образец кавитационного диспергатора (рис. 3.6).



1 – корпус; 2 – конус-обтекания; 3 – стержень

Рисунок 3.8 – Экспериментальный образец кавитационного диспергатора:

Экспериментальный образец кавитационного диспергатора изготовлен на основе методики проектирования конструктивных параметров и в соответствии с теоретическими рекомендациями, приведенными в главе 2.

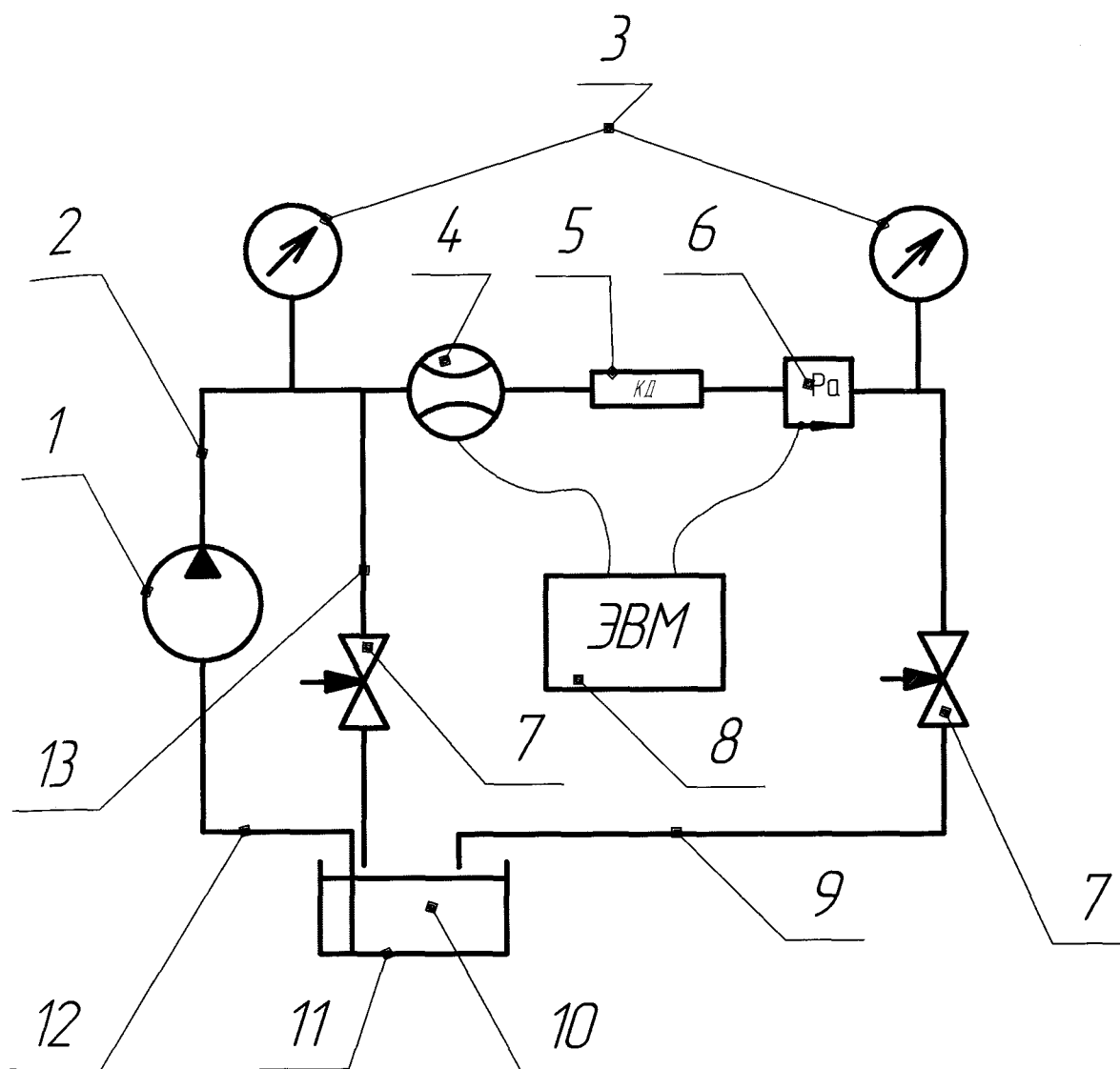
Целью стендовых исследований является определение фактических параметров его рабочей характеристики.

Стендовые испытания экспериментального образца кавитационного диспергатора проводились на специальном стенде. Стенд включает: кавитационный диспергатор, насос буровой НБ-32, отстойник, всасывающий и нагнетательный трубопроводы, измерительная аппаратура. Схема стенда приведена на рис. 3.7.

В процессе исследований измерялись следующие рабочие параметры:

- давление на входе и выходе кавитационного диспергатора;
- частота кавитационных колебаний;
- амплитуда кавитационных колебаний.

При проведении исследований определялись 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) и непосредственной записи результатов испытаний на ЭВМ. Изменение коэффициента запираания потока в кавитационном диспергаторе осуществляется путем осевого перемещения конуса-обтекания в диффузоре корпуса диспергатора (рис. 3.8).



1 – насос; 2 – нагнетательный трубопровод; 3 – манометры; 4 – расходомер; 5 – кавитационный диспергатор; 6 – датчик колебаний давления жидкости; 7 – задвижка; 8 – ЭВМ; 9 – выкидная линия; 10 – техническая вода; 11 – отстойник; 12 – всасывающая линия; 13 – сливная линия для регулирования подачи

Рисунок 3.9 – Гидравлическая схема стенда

3.2.2 Результаты стендовых исследований частотной характеристики кавитационного диспергатора

Результаты экспериментальных испытаний кавитационного диспергатора приведены в табл. 3.3, и рис. 3.10 – 3.12.

Коэффициент закипания потока изменялся в пределах 0,6-0,8, подача насоса регулировалась в пределах 0,001 - 0,003 м³/с.

Таблица 3.3 – Результаты экспериментальных испытаний кавитационного диспергатора

Подача насоса, м ³ /с	Коэффициент закипания	Частота колебаний, Гц		
		Теория	Эксперимент	
0,001	0,6	84	1	75
			2	70
			3	65
	0,7	195	1	175
			2	180
			3	170
	0,8	553	1	440
			2	460
			3	470
0,002	0,6	168	1	145
			2	140
			3	150
	0,7	390	1	345
			2	350
			3	360
	0,8	1105	1	950
			2	980
			3	960
0,003	0,6	252	1	215
			2	210
			3	225
	0,7	585	1	500

Подача насоса, м ³ /с	Коэффициент записания	Частота колебаний, Гц		
		Теория	Эксперимент	
	0,8	1658	2	510
			3	490
			1	1400
	0,8	1658	2	1420
			3	1450
			1	1400

На каждом из рисунков приводятся зависимость частоты кавитационных колебаний от коэффициента записания потока как для теоритических, так и для экспериментальных данных.

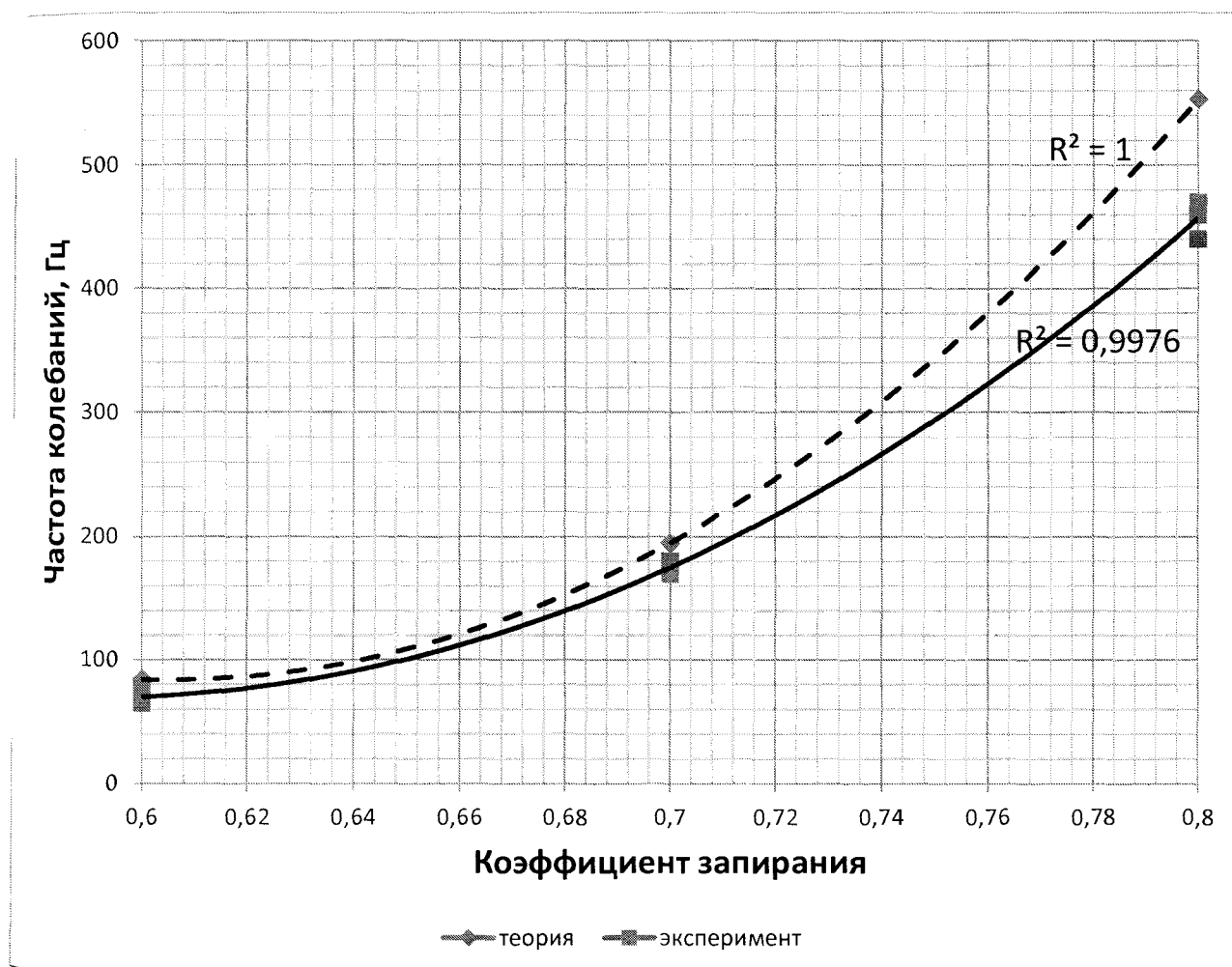


Рисунок 3.10 – Зависимость частоты кавитационных колебаний от коэффициента записания при $Q=0,001$ м³/с

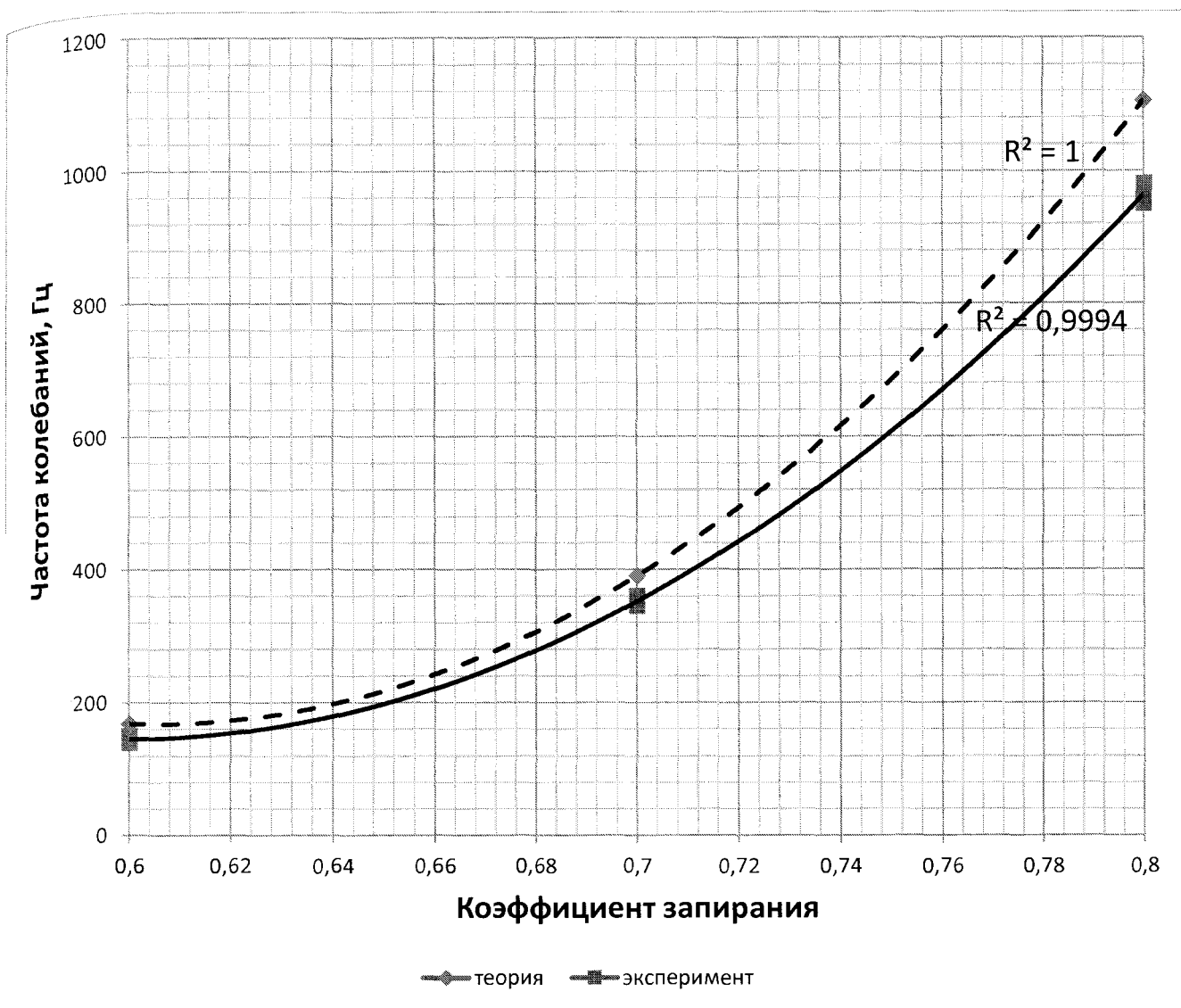


Рисунок 3.11 – Зависимость частоты кавитационных колебаний от коэффициента запираания при $Q=0,002 \text{ м}^3/\text{с}$

При проведении эксперимента на каждом положении конуса обтекания проводилось по три замера. При этом разброс экспериментальных данных не превысил 10%. Так же по графикам видно, что частота кавитационных колебаний рассчитанная теоретически оказалась выше результатов, полученных экспериментальным путем.

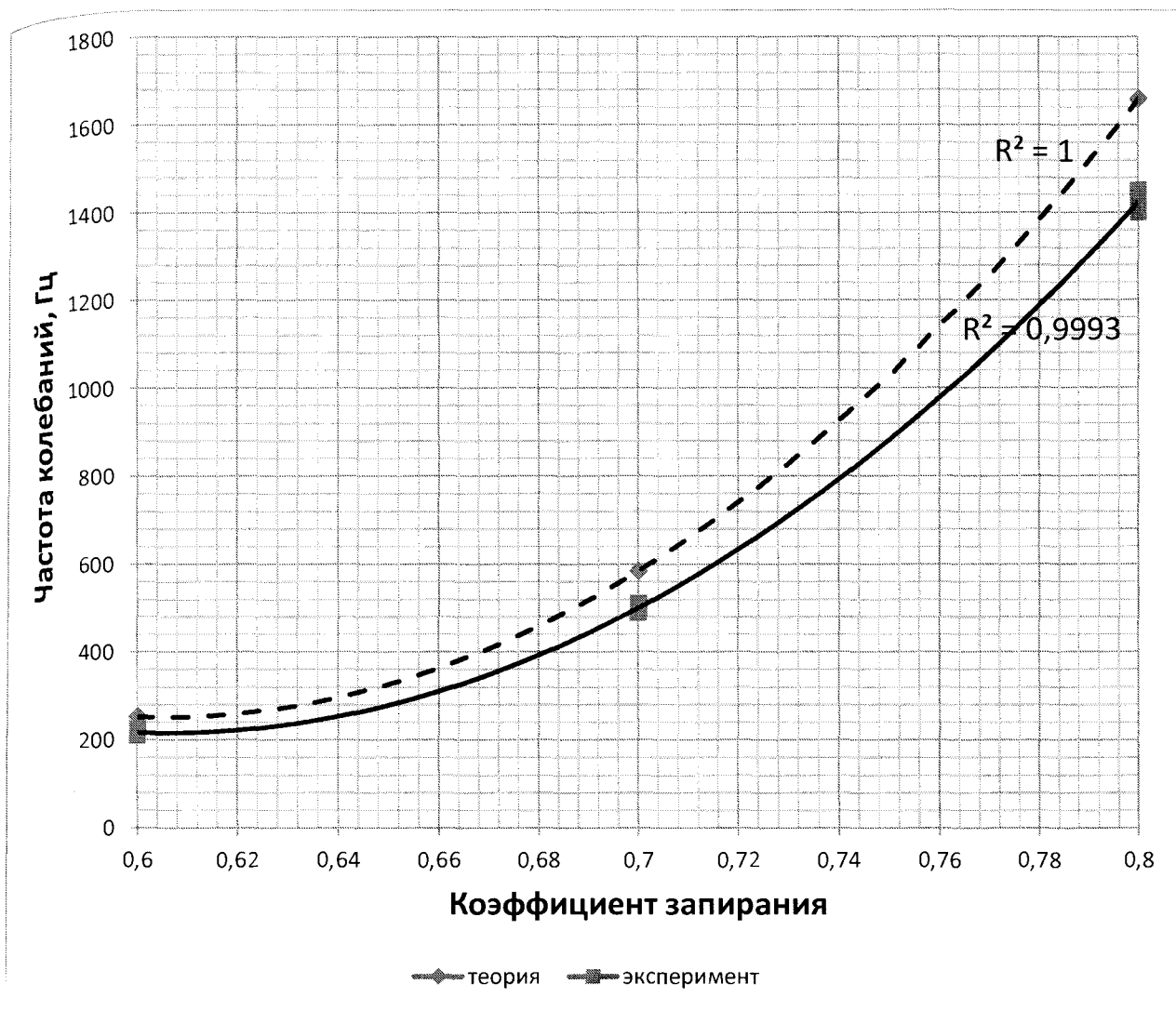


Рисунок 3.12 – Зависимость частоты кавитационных колебаний от коэффициента запитания при $Q=0,003 \text{ м}^3/\text{с}$

3.3 Стендовые исследования процесса кавитационного диспергирования

3.3.1 Методика стендовых исследований

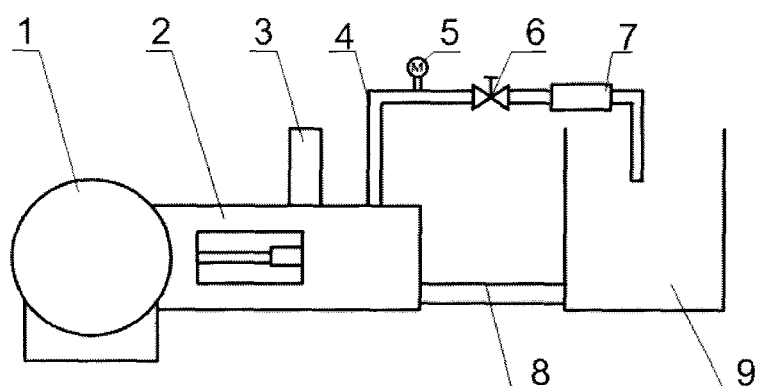
Стендовые испытания экспериментального образца кавитационного диспергатора проводились на специальном стенде, расположенном в корпусе № 9

НГУ. Стенд включает: кавитационный диспергатор, плунжерный насос НБ2 (техническая характеристика приведена в табл. 3.4), отстойник, всасывающий и нагнетательный трубопроводы. Схема стенда приведена на рис. 3.13.

Целью стендовых исследований является определение влияния кавитационного диспергатора на свойства промывочной жидкости.

Таблица 3.4 - Техническая характеристика насоса НБ2

Производительность, л/мин	63
Давление, МПа	4
Число цилиндров, шт.	3
Диаметр плунжера, мм	28
Ход плунжера, мм	45
Высота всасывания, м	не более 5
Приводная мощность, кВт	3
Гидравлическая мощность, кВт	2



– электродвигатель; 2 - насос; 3 – компенсатор; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – манометр; 6 – кран; 7 – кавитационный диспергатор; 8 – всасывающий трубопровод; 9 – отстойник

Рисунок 3.13 – Схема стенда

В процессе исследований измерялись следующие технологические параметры промывочной жидкости: условная вязкость, водоотдача, плотность.

Измерение проводились с помощью стандартного оборудования, применяемого как на глиностанциях, так и непосредственно на буровой.

Экспериментальный образец кавитационного диспергатора присоединяется к нагнетательному трубопроводу стенда (рис. 3.13). Промывочная жидкость подается насосом по замкнутой схеме циркуляции. В процессе исследования определяются влияние работы кавитационного диспергатора на технологические свойства промывочной жидкости, путем отбора проб через определенное число циклов обработки.

В качестве базы сравнения принимается приготовление промывочной жидкости с помощью гидродинамического генератора – трубка Вентури.

При проведении исследований велся журнал наблюдений. Результаты исследований обработаны на ЭВМ с применением методов математической статистики.

3.3.2 Результаты стендовых исследований процесса кавитационного диспергирования

Исследования проводились на двух промывочных жидкостях: глинистый раствор, карбонатный раствор (на основе мела).

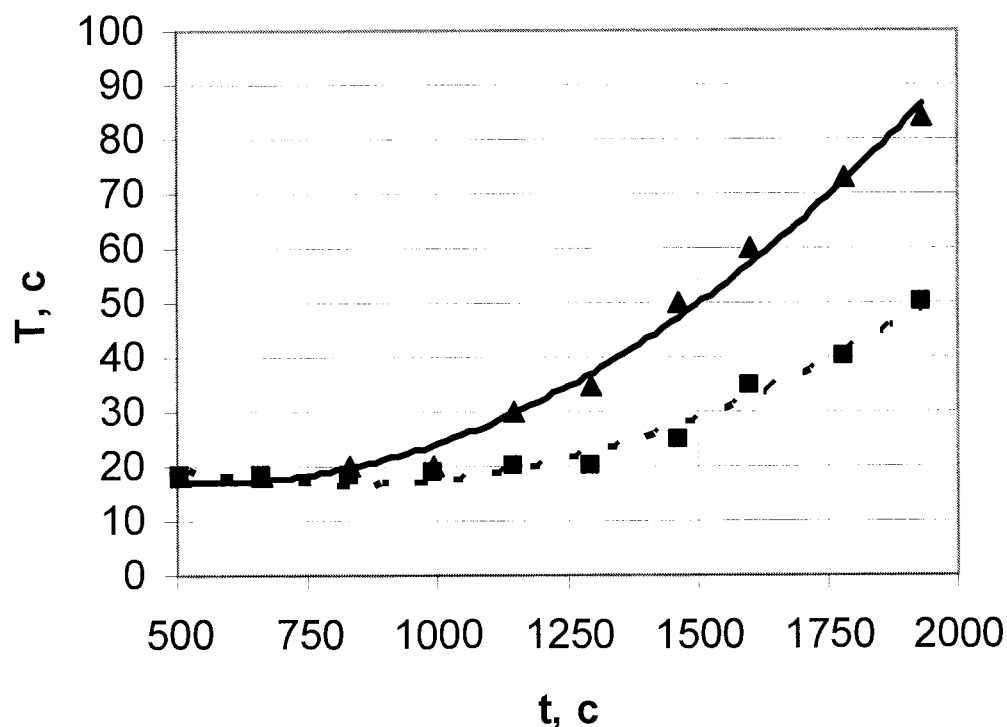
Результаты экспериментальных испытаний кавитационного диспергатора приведены в журналах проведения исследований (таблица 3.5 и рис. 3.14 - 3.17).

Анализ результатов экспериментальных испытаний влияния кавитационного диспергатора на технологические свойства промывочных жидкостей показывает, что его использование позволило увеличить интенсивность роста технологических свойств в сравнении с применением трубки Вентури.

Перепад давления на кавитационном диспергаторе измерялся с помощью манометров на входе и выходе кавитационного диспергатора, в зависимости от изменения коэффициента запираания потока от 0,6 до 0,8. При этом перепад давления на трубке Вентури составил 1-2 МПа. Таким образом кавитационный диспергатор является наиболее выгодным с энергетической точки зрения для приготовления промывочных жидкостей с улучшенными технологическими параметрами.

Таблица 3.5 - Показатели режима работы

Номер опыта п/п	Подача насоса, м ³ /с	Режим работы кавитационного диспергатора		Режим работы трубки Вентури
		Коэффициент запираания потока	Перепад давления, МПа	Перепад давления, МПа
1	0,001	0,6	0,01	1,1
2	0,001	0,7	0,02	1,1
3	0,001	0,8	0,04	1,1
4	0,002	0,6	0,03	1,7
5	0,002	0,7	0,05	1,7
6	0,002	0,8	0,15	1,7
7	0,003	0,6	0,7	2,1
8	0,003	0,7	0,18	2,1
9	0,003	0,8	0,4	2,1



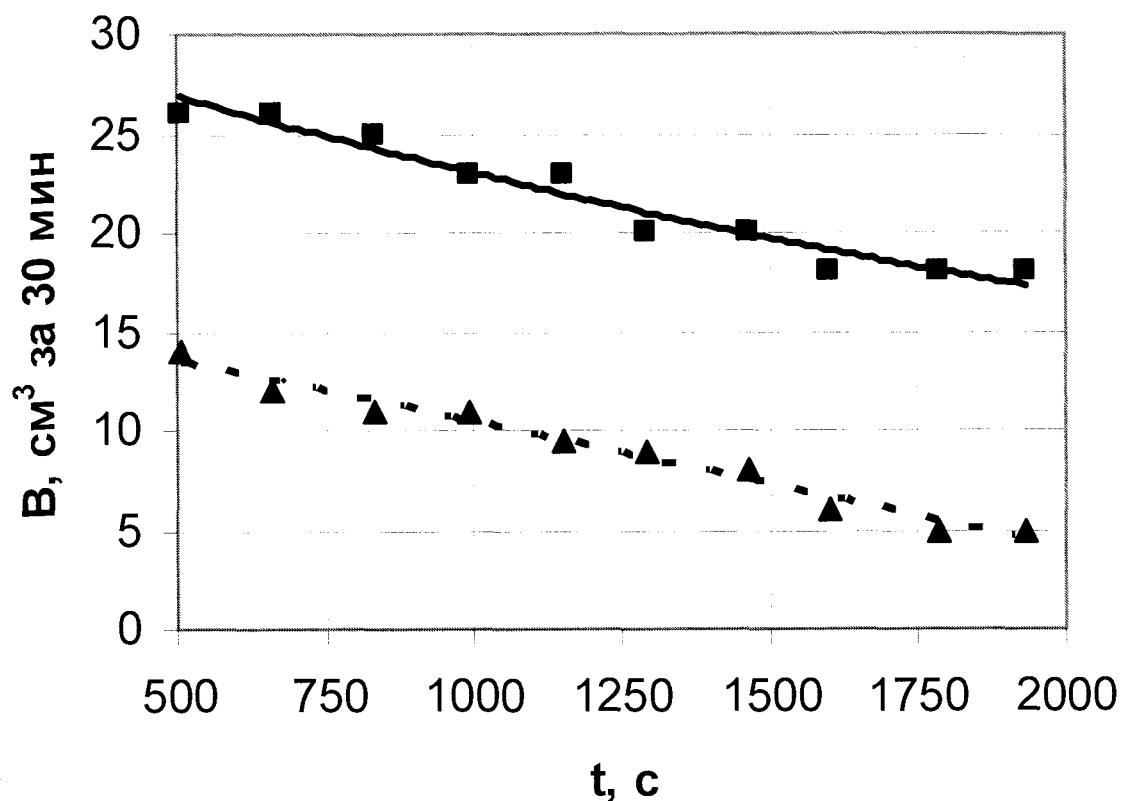
— - обработка кавитационным диспергатором;

..... - обработка с помощью трубки Вентури

Рисунок 3.14 – Влияние времени обработки на условную вязкость глинистого раствора

Как видим из рис 3.14 при обработке кавитационным диспергатором условная вязкость возрастает более интенсивно, это связано в первую очередь с возможностью регулировать интенсивность обработки в процессе приготовления промывочной жидкости.

Управления процессом диспергирования дало возможность изменять интенсивность кавитации, а именно количество кавитационных пузырьков в потоке и соответственно частоту кавитационных колебаний давления жидкости, тем самым ускорив процесс диспергирования.

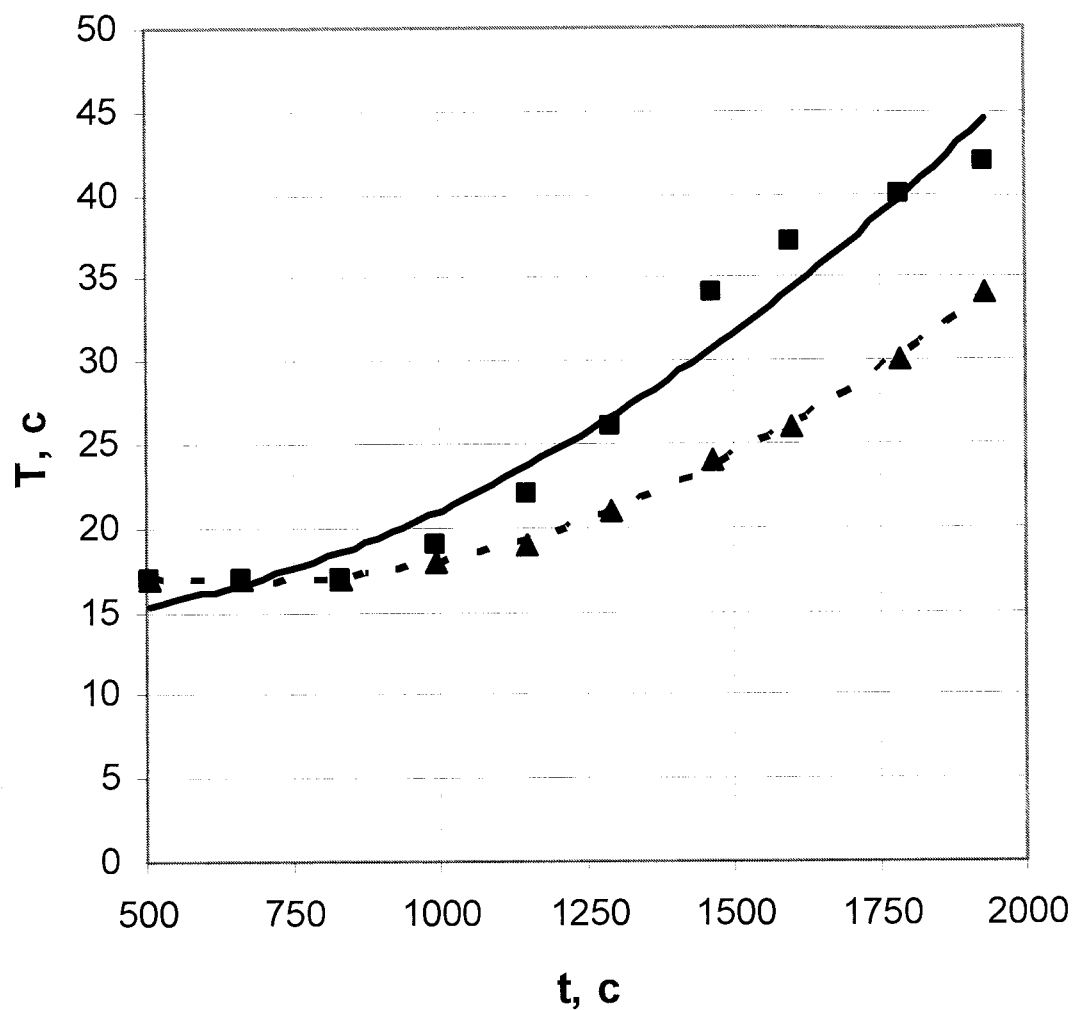


- - обработка с помощью трубки Вентури;
- - обработка кавитационным диспергатором

Рисунок 3.15 - Влияние времени обработки на водоотдачу глинистого раствора

Как видим из рис 3.15 при обработке кавитационным диспергатором водоотдача снижается интенсивно, это связано также с возможностью регулировать интенсивность обработки в процессе приготовления промывочной жидкости.

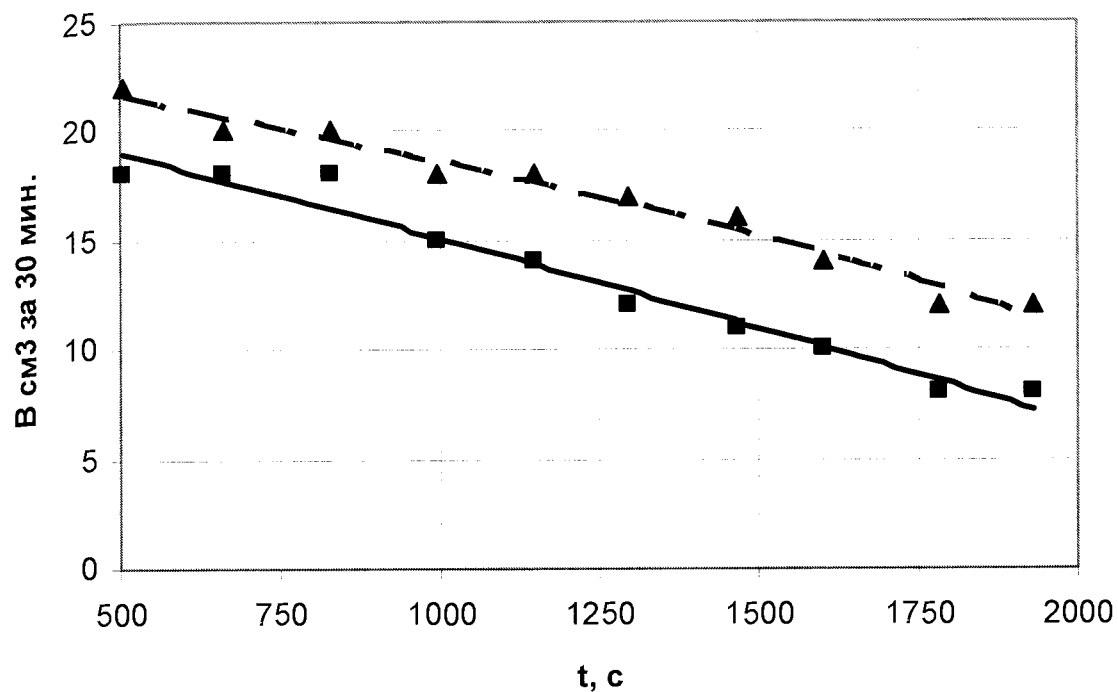
Число циклов обработки как для трубки Вентури, так и для кавитационного диспергатора было одинаковым.



- - обработка кавитационным диспергатором;
- - обработка с помощью трубки Вентури

Рисунок 3.16 – Влияние времени обработки на условную вязкость мелового раствора

Эксперименты показали, что характер изменения характерен для различных промывочных с различной дисперсной фазой и определяется лишь временем обработки и частотой кавитационных колебаний.



- обработка кавитационным диспергатором;
 обработка с помощью трубки Вентури.

Рисунок 3.17 - Влияние времени обработки на водоотдачу мелового раствора

3.4 Анализ результатов экспериментальных исследований кавитационного диспергатора

Для аппроксимации экспериментальных распределений полученных данных использована стандартная программа обработки опытных данных на ПЭВМ. Результаты расчетов выводились на печать в виде таблиц и графиков с соответствующей статистической диагностикой. Статистическая обработка данных велась на PC Pentium IV в приложении Microsoft Office Excel 2007.

Выводы к разделу 3

На основании проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Кавитационный диспергатор позволяет получить гидродинамические колебания давления жидкости, частота которых может колебаться от 60 Гц до 1600 Гц с амплитудой до 1 МПа.

2. Данная конструкция кавитационного диспергатора позволяет регулировать режим работы в широких пределах (60 – 1600 Гц) изменением коэффициента запираания потока k_3 .

3. Применение кавитационного диспергатора позволяет получать суспензии с более высокой степенью дисперсности, чем при применении в качестве кавитационного генератора трубки Вентури или при механическом перемешивании.

4. При использовании экспериментального образца кавитационного диспергатора энергетические затраты на приготовление промывочных жидкостей на 50 % меньше, чем при использовании трубки Вентури, вследствие меньшего перепада давления.

5. Использование кавитационного диспергатора позволяет снизить расход исходных компонентов для приготовления промывочной жидкости на 20%.

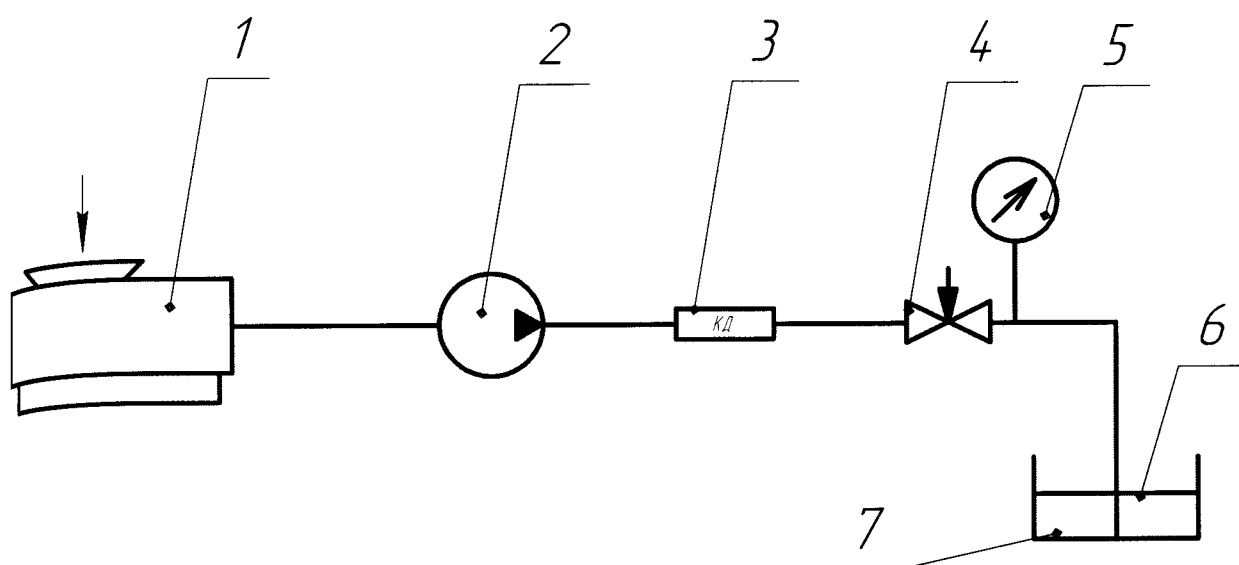
РАЗДЕЛ 4

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА И ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

4.1 Обоснование технологических схем использования кавитационного диспергатора

Как отмечалось в предыдущих главах, особая роль в процессе приготовления промывочных жидкостей играет дополнительное диспергирование, т.к. в основном цикле практически невозможно достичь полной диспергации дисперсной фазы без дополнительных энергетических затрат. Поэтому предлагается следующая технологическая схема включения кавитационного диспергатора (рис. 4.1). В соответствии с предложенной схемой, кавитационный диспергатор 3 включается в технологическую линию непосредственно после аппарата для первичного измельчения исходных компонентов 8, при этом нагнетание производится стандартным буровым насосом 1 по нагнетательной линии 2. Регулирование режима диспергирования осуществляется созданием подпора задвижкой 5, величина которого контролируется с помощью манометра 4. Далее по выкидной линии 6 раствор поступает в отстойник 7.

Предлагаемая технологическая схема позволит непосредственно на буровой получать промывочную жидкость высокого качества без применения сложного оборудования и дополнительных затрат энергии, т.к. в кавитационном диспергаторе используется энергия самого движущегося потока, также позволит значительно снизить или (по возможности) исключить применение химических реагентов. Простота управления процессом дополнительного диспергирования исключает необходимость присутствия специального обслуживающего персонала на буровой.



1 – аппарат для первичного измельчения; 2 – насос; 3 – кавитационный диспергатор; 4 – задвижка; 5 – манометр; 6 – промывочная жидкость; 7 – отстойник

Рисунок 4.1 - Схема включения кавитационного диспергатора на стадии дополнительной диспергации очистных агентов

Для поддержания проектных параметров очистного агента в процессе бурения предлагается использовать эффект гидродинамической кавитации. Сам процесс заключается в дополнительном диспергировании выбуренной породы за счет разрушающего действия кавитационных пузырьков. Так, к примеру, расход коагулянтов при применении гидродинамической кавитации можно снизить на 30 %. Дополнительное же диспергирование твердой фазы позволит поддерживать свойства очистных агентов при дальнейшем их разбавлении на проектном уровне без применения специальных химических реагентов.

Для реализации предложенной технологии предлагается замкнутая схема включения кавитационного диспергатора рис. 4.2. Принцип работы такой схемы заключается в следующем: насос 1 подает очистной агент из отстойника 7 через фильтр 8 всасывающей линии 9 по нагнетательной линии 2 на кавитационный диспергатор 3, далее раствор по выкидной линии 6 попадает снова в отстойник 7. Регулирование интенсивности обработки осуществляется посредством задвижки 5, а контроль процесса – манометром 4.

Обработка очистных агентов по такой схеме производится в процессе спускоподъемных операций и реализуется простым переключением насоса на вспомогательную замкнутую линию.

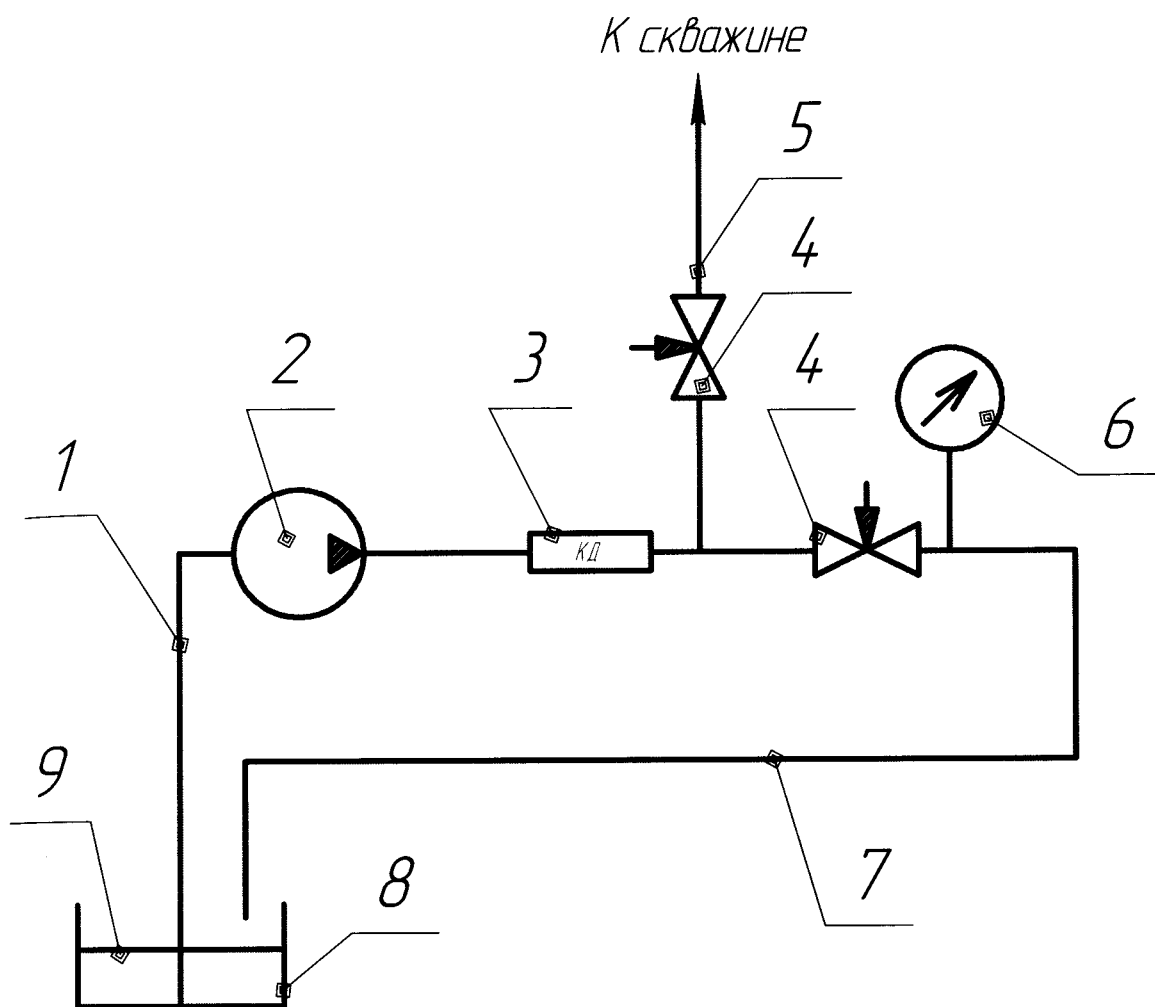
Применение такой схемы обработки также позволит изменять и поддерживать свойства очистных агентов с ростом глубины скважины (изменении геологических условий бурения) за счет регулирования степени дисперсности исходных компонентов раствора и выбуренной породы.

Приготовление промывочных жидкостей с использованием кавитационного диспергатора требует соблюдения стандартных правил техники безопасности при проведении геологоразведочных работ.

Кроме общих правил, необходимо выполнять следующие требования:

1. Обслуживающий персонал должен быть ознакомлен с конструкцией кавитационного диспергатора, принципом его работы и схемой установки.
2. Запрещается проводить какие-нибудь ремонтные работы при работающем промывочном насосе.
3. При работе с кавитационным диспергатором следует строго придерживаться разработанной технологии обработки промывочных жидкостей при бурении скважин.
4. Все работы должны проходить с соблюдением правил техники безопасности.

Схема включения кавитационного диспергатора при замкнутом цикле обработки очистных агентов рис. 4.2 применяется на стадии спускоподъемных операций и служит для регенерации промывочной жидкости.



1 – всасывающая линия; 2 – насос; 3 – кавитационный диспергатор; 4 – задвижка; 5 – отводная линия; 6 – манометр; 7 – выкидная линия; 8 – отстойник; 9 – промывочная жидкость

Рисунок 4.2 - Схема включения кавитационного диспергатора при замкнутом цикле обработки очистных агентов

4.2. Методика проведения производственных испытаний

На основании исследований Национального горного университета, предложена технология обработки очистных агентов гидродинамическими импульсами высокой интенсивности. В качестве генератора гидродинамических импульсов используется кавитационный диспергатор, разработанный на кафедре

ники разведки месторождений полезных ископаемых. Предлагаемая технология не требует дополнительного оборудования буровой установки, а использует привычное оборудование и инструмент, применяемый на любой как самоходной и стационарной буровых установках. Устройство не имеет движущихся частей и монтируется на стандартных резьбовых соединениях.

Объектом испытаний является технология обработки очистных агентов гидродинамическими импульсами высокой интенсивности (далее «технология»), реализуемая с помощью кавитационного диспергатора (рис. 4.3).

Технологическая характеристика диспергатора

Подача, м ³ /с	$0,6 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-3}$
Перепад давления, МПа	0,1...2,0
Среднее давление в импульсе, МПа	до 1
Число циклов обработки:	
максимальное	5
минимальное	до получения раствора с необходи-

мыми технологическими свойствами

Целью производственных испытаний является определение технико-экономических показателей работы кавитационного диспергатора.

Задачами исследований являются:

- определить влияние кавитационной обработки промывочной жидкости на расход исходных компонентов при ее приготовлении и в процессе бурения;
- определение влияния работы кавитационного диспергатора на технологические параметры промывочной жидкости.

Технические характеристики диспергатора

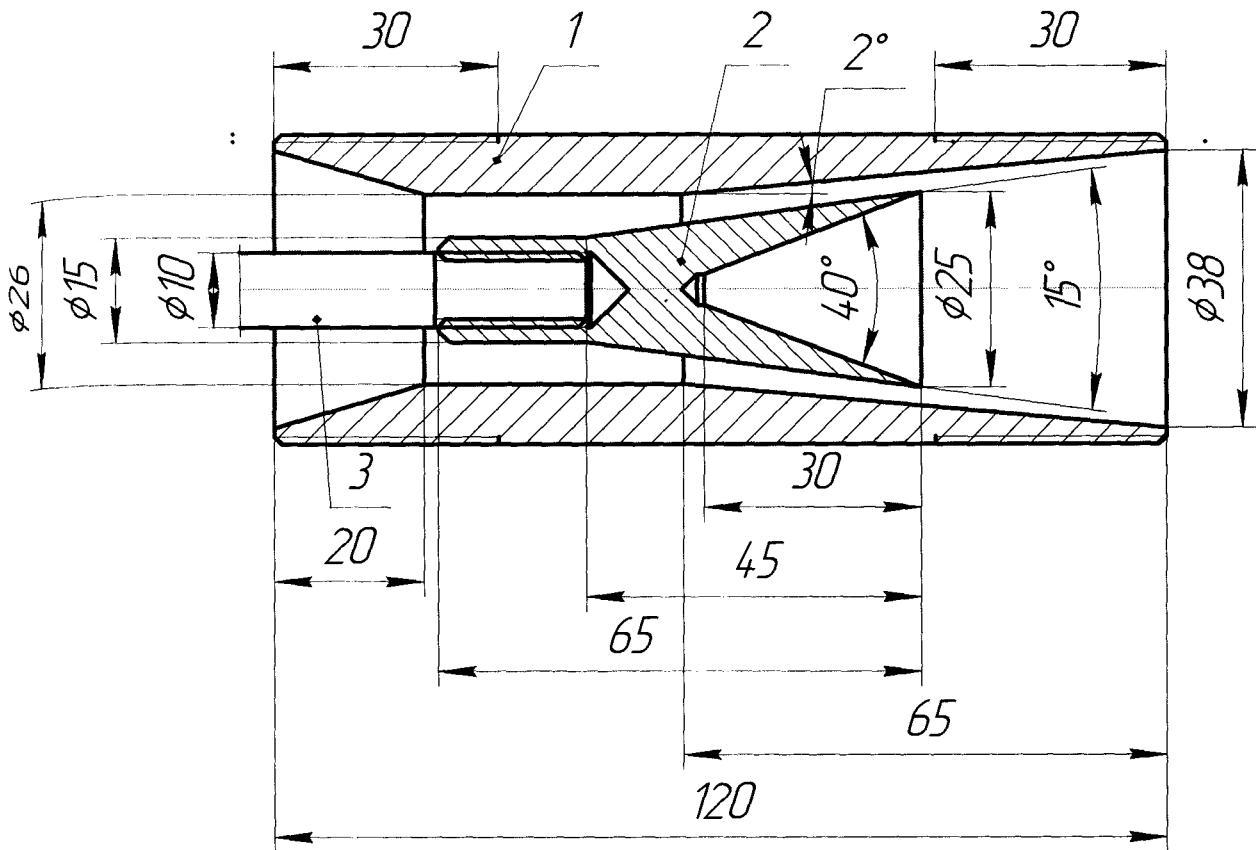
Диаметр корпуса, мм	50
Диаметр конуса обтекания, мм	25
Угол раскрытия диффузора, град	15

Длина (max), мм

300

Масса, кг

не более 2,0



1 - сопло специального сечения; 2 - конус обтекания; 3 - шток

Рисунок 4.3 – Экспериментальный образец кавитационного диспергатора

Испытания проводятся в соответствии с программой и методикой при бурении скважин в Поисково-съёмочной экспедиции № 46 КП "Кировгеология".

Геолого-технические условия бурения

Верхняя часть разреза скважин в основном сложена мягкими породами III - IV категории по буримости, склонными к поглощению и набуханию. Поэтому в верхнем интервале скважины в качестве промывочной жидкости применяется нормальный глинистый раствор. Бурение нижележащих толщ горных пород ведется в большинстве случаев алмазным породоразрушающим инструментом, поэтому для промывки на этом интервале используется малоглинистый раствор с

добавлением отработанного эмульсола. Усредненные данные о геологическом разрезе приведены в табл. 4.1.

В процессе испытаний измерялись следующие рабочие параметры:

- расход исходных компонентов при приготовлении промывочной жидкости и в процессе бурения;
- технологические параметры промывочной жидкости (вязкость, водоотдача, плотность).

Обработку промывочной жидкости следует проводить в два этапа:

- при приготовлении промывочной жидкости;
- в процессе бурения, при проведении СПО.

Для проведения испытаний система промывки оборудовалась дополнительной линией, в которую включался кавитационный диспергатор.

Для нагнетания промывочной жидкости использовался насос НБ4-320/63

Техническая характеристика насоса НБ4-320/63

Подача, л/мин – 32; 55; 105; 125; 180;320

Давление, МПа – 6,3;6,3;6,3;6,3;5,5;3,0

Диаметр цилиндра (плунжера), мм – 45; 80

Тип привода – А2-72-6

Мощность, кВт – 22

Масса, кг – 950

Для определения технологических параметров промывочной жидкости применялись стандартные приборы:

- плотность – ареометр;
- условная вязкость – прибор СПВ-5;
- водоотдача – прибор ВМ-6.

В качестве базы сравнения приняты технологические параметры промывочной жидкости, применяемой при бурении скважины с характерными для экспедиции горно-геологическими условиями.

Технологические свойства глинистого раствора

Плотность – 1,2 кг/м³;

Условная вязкость – 30 с

Водоотдача – 12 см³ за 30 мин.

Технологические свойства малоглинистого раствора с отработанным Эмульсолом

Плотность – 1,05 кг/м³;

Условная вязкость – 22 с

Водоотдача – 12 см³ за 30 мин.

При проведении исследований велся журнал наблюдений.

Отбор проб промывочной жидкости производился через каждые 10 мин. обработки в течение 60 мин.

Обработка и анализ материалов наблюдения проведены с учетом необходимости решения поставленных задач и требований методики на ЭВМ.

Верхняя часть разреза сложена осадочными породами.

Общая глубина скважины составляет 250 м.

Таблица 4.1 - Усредненные данные о геологическом разрезе

Горная порода	Мощность, м	Категория по буримо- сти	Возможные осложнения	Тип п/ж
Суглинок	5	III		Глинистый раствор
Известняк	20	IV		
Глины	10	IV		
Мергели	10	IV		
Известняки	40	IV	Карст, по- глощение п/ж	
Песок глауконитовый	5	VI		Малоглинистый раствор с обрабо- танным эмульсолом
Алевролиты, аргил- литы	45	VIII		
Песчаники с просло- ями алевролитов	50	IX		
Гравелиты	5	IX		
Гнейсы, кристалосланцы, мигматиты	30	IX		
Граниты, пегматоид- ные граниты	30	IX	Зоны трещи- новатости	
Итого	250	X		

Основная часть разреза сложена крепкими иногда трещиноватыми породами. Применяется два вида промывочной жидкости: в верхнем интервале – нормальный глинистый раствор, в интервале крепких трещиноватых пород – малоглинистый с добавлением эмульсола.

4.3 Результаты проведения производственных испытаний

Средний перепад давления на кавитационном диспергаторе составил 0,5 МПа. 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.

Результаты производственных испытаний кавитационного диспергатора приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты производственных испытаний кавитационного диспергатора

№ скв.	Тип п/ж	Расход материалов на 1 м ³				Технологические свойства промывочной жидкости			
		Глина, кг	УЩР, кг	КМЦ, кг	Эмульсол, л	Время обработки, мин	Плотность, г/см ³	Вязкость, с	Водоотдача, см ³ за 30 мин
С применением кавитационного диспергатора	Глинистый раствор	340	100	6	-	20	1,2	30	10
						30	1,2	33	10
						40	1,2	38	8
						60	1,2	40	8
	Малоглинистый раствор с отработанным эмульсолом	90	120	8	8	20	1,05	24	10
						30	1,05	28	9
						40	1,05	30	8
						60	1,05	31	7,5
Без применения кавитационного диспергатора	Глинистый раствор	380	140	8	-	-	1,2	30	12
	Малоглинистый раствор с отработанным эмульсолом	100	150	10	10	-	1,05	22	12

Анализ результатов производственных испытаний (табл. 4.2) показывает, что применение кавитационного диспергатора позволило снизить расход материалов и реагентов на приготовление промывочных жидкостей с поддержанием технологических свойств на проектном уровне. Однако, при проведении производственного эксперимента наблюдалась немного меньшая интенсивность изменения технологических параметров промывочных жидкостей, чем при стендовых исследованиях процесса кавитационного диспергирования (рис. 4.4 – 4.7). Это объясняется, в первую очередь, влиянием постоянного изменения количества дисперсной фазы в промывочной жидкости за счет насыщения ее выбуренной породой (шламом).

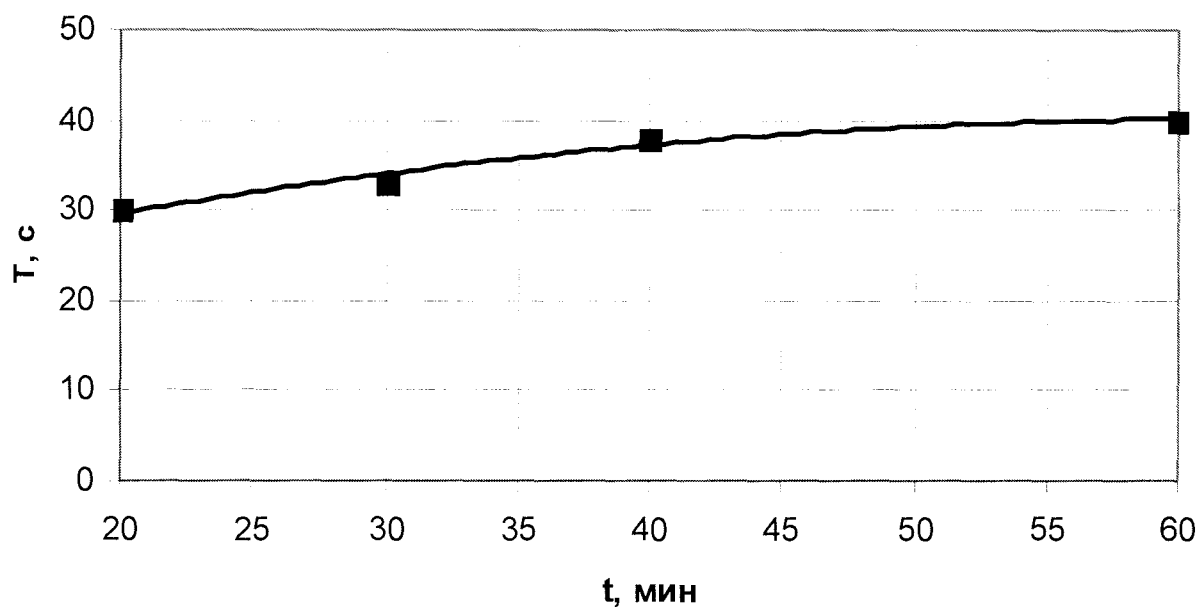


Рисунок 4.4 – Влияние времени обработки на условную вязкость глинистого раствора

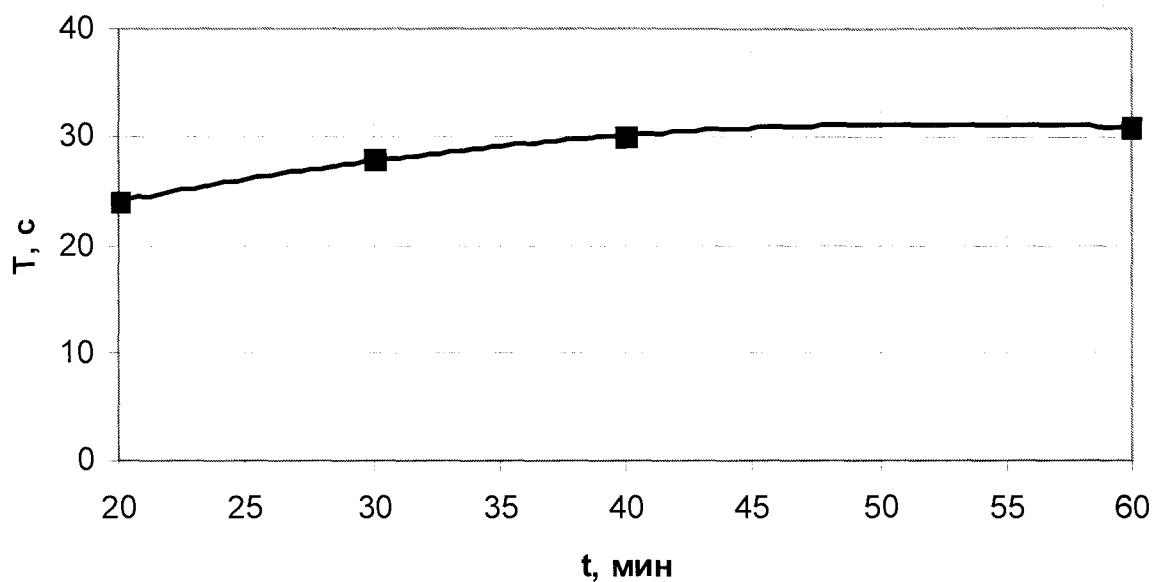


Рисунок 4.5 – Влияние времени обработки на условную вязкость малоглинистого раствора с отработанным эмульсолом

Как видно из рис. 4.4 и рис.4.5 с увеличением времени обработки условная вязкость как глинистого, так и малоглинистого раствора, обработанного эмульсолом возрастает.

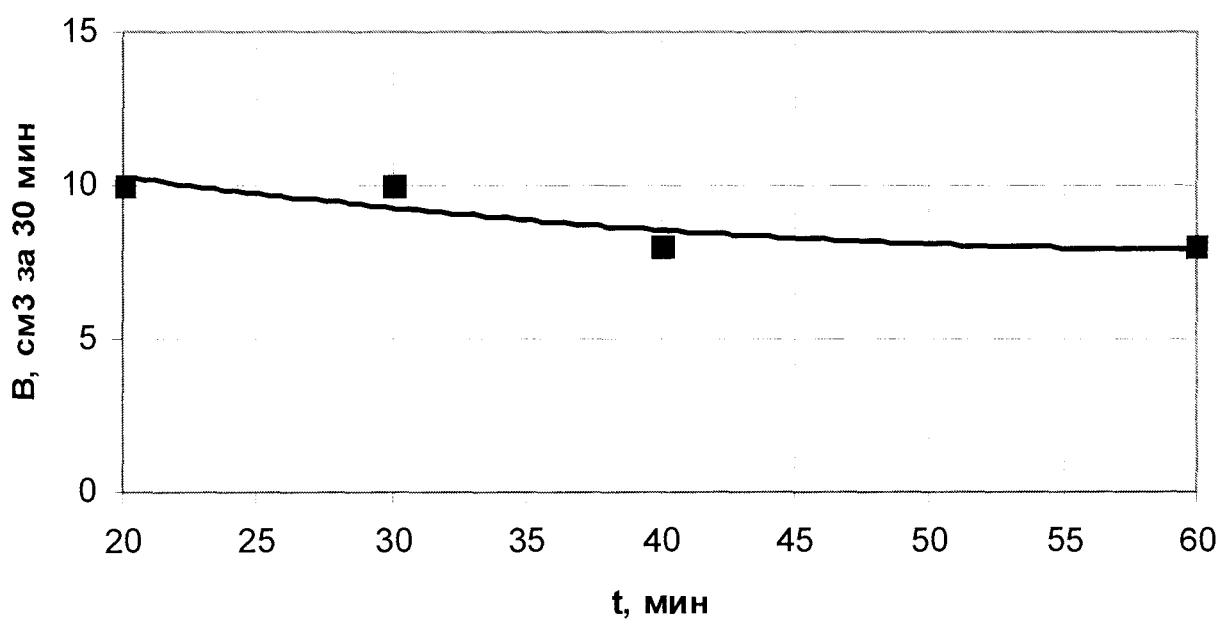


Рисунок 4.6 – Влияние времени обработки на водоотдачу глинистого раствора

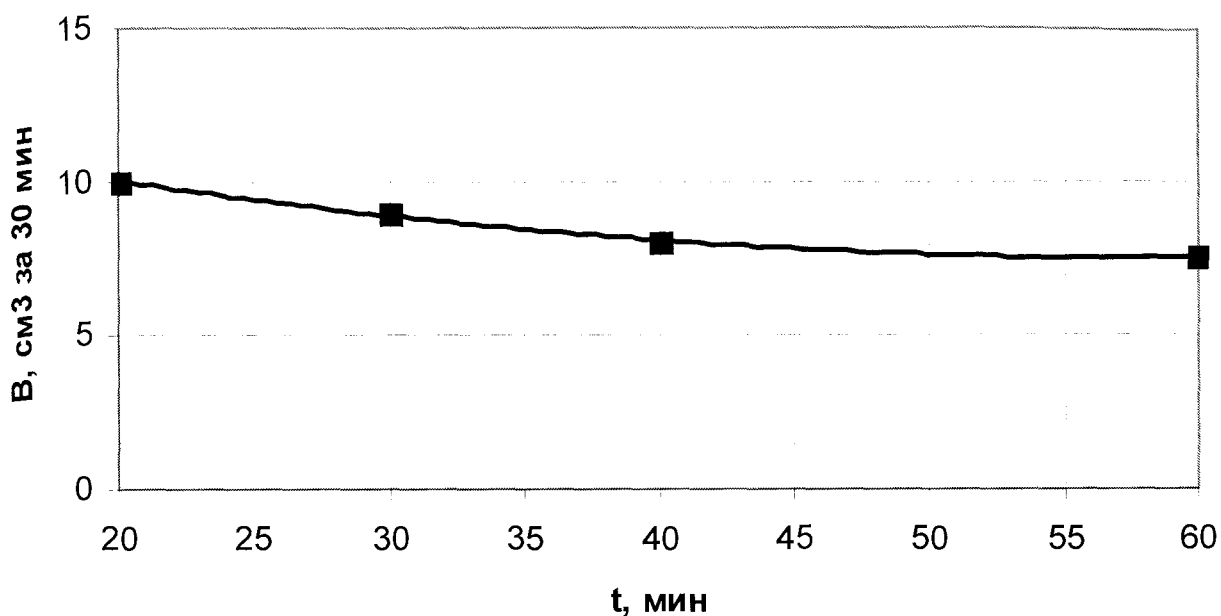


Рисунок 4.7 – Влияние времени обработки на водоотдачу малоглинистого раствора с отработанным эмульсолем

На рис. 4.6 и рис.4.7 с увеличением времени обработки водоотдача уменьшается как глинистого, так и малоглинистого раствора, обработанного эмульсолем возрастает.

Увеличение условной вязкости и уменьшение водоотдачи обработанных растворов в первую очередь связано с дополнительным диспергированием дисперсной фазы в растворах.

При этом снизился как расход исходных компонентов для приготовления промывочной жидкости, так и химических реагентов для их обработки.

Выводы к разделу 4

1. Использование кавитационного диспергатора позволяет снизить расход исходных компонентов и реагентов для приготовления промывочной жидкости поддержания ее технологических свойств в процессе бурения на 20-30%.

2. Стоимость приготовления 1 м³ промывочной жидкости с использованием экспериментального образца кавитационного диспергатора снижается до 30%.

3. 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

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований дано решение актуальной задачи, заключающейся в разработке технологии приготовления стойких тонкодисперсных промывочных жидкостей за счет использования эффекта гидродинамической суперкавитации. В работе получены такие основные результаты.

1. 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.

2. Установлено, что минимальный перепад давления на кавитационном диспергаторе обеспечивается при выполнении тела обтекания в виде конуса с малыми углами раскрытия.

3. Предложенная принципиально новая конструкция кавитационного диспергатора, новизна которой подтверждена патентом Украины.

4. Для разработанного кавитационного диспергатора основной управляемой величиной, которая определяет интенсивность кавитационной обработки, является коэффициент запирания k_z , рациональное значение которого находится в пределах 0,6 – 0,8.

5. На основании теоретических исследований установлено, что время диспергирования дисперсной фазы для единичного цикла обработки обратно пропорционально частоте кавитационных колебаний.

6. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать методические рекомендации по применению кавитационного диспергатора для приготовления промывочных жидкостей при бурении скважин.

7. Разработанные и примененные в условиях производства рекомендации позволили уменьшить затраты материалов для приготовления 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.

8. Кавитационный диспергатор обеспечивает эффективное диспергирование компонентов, которые входят в состав промывочной жидкости, и может быть рекомендуемый к широкому использованию в практике буровых работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авдудевский В.С. Исследование отрыва ламинарного пограничного слоя на конусе под углом атаки / В.С. Авдудевский, К.И. Медведев // Изв. АН СССР, МЖГ, 1966. - № 3. - С. 48-56.
2. Астарита Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей / Дж. Астарита, Дж. Маруччи. - М.: Мир, 1978. - 309 с.
3. Ахмадеев Р.Г. Химия промывочных и тампонажных жидкостей / Р.Г. Ахмадеев, В.С. Данюшевский – М.: Недра, 1981. – 152 с.
4. Беннетт О.К. Гидродинамика, теплообмен, массообмен / О.К. Беннетт, Д.Е. Майерс. – М.: Энергия, 1971. – 748 с.
5. Бессонов Ю.Д. Среда и ее роль в процессах проведения скважин / Ю.Д. Бессонов, А.Н. Давиденко // Сб. докладов юбилейной научной конференции, посвященной Ф.А.Шамшеву. – Санкт-Петербург, 1993. – С. 139 – 141.
6. Биркгоф Г. Гидродинамика. - М: Иностран. лит., 1963. - 244 с.
7. Биркгоф Г. Струи, следы и каверны / Г. Биркгоф, Э. Сараптонелло //Пер. с англ. - М.: Мир, 1964. - 381 с.
8. Брагинский Л.Н. Перемешивание в жидких средах / Л.Н. Брагинский, В.И. Бечачев, В.М. Барабаш – Л.: Химия, 1984. - 336 с.
9. Гавриленко Н.М. Поверхностно-активные антифрикционные добавки при бурении скважин / Н.М. Гавриленко, А.Н. Давиденко, Н.А. Дудля. – Киев: Наукова думка, 1990. – 104 с.
10. Ганин И.П. Кавитация и возможности ее применения в горном деле и геологоразведке / И.П. Ганин, Н.И. Сердюк // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1996. №3. – С. 124-124.
11. Гегузин Я. Е. Пузыри. - М.: Наука, 1985. - 495 с.
12. Грей Дж.Р. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) / Дж.Р. Грей, Г.С. Дарли // пер. с англ. – М.: Недра, 1985, 509 с.
13. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена / А.А. Гухман - М.: Высш. шк., 1967. - 333 с.

14. Давиденко А.Н. Влияние водных сред на разрушение горных пород. // Сб. докладов межгосударственной конференции «Механика горных пород при бурении» / А.Н. Давиденко – Агой-Грозный, 1992. – С. 117 – 119.
15. Давиденко А.Н. Влияние промывочных жидкостей на трение и износ бурового инструмента / А.Н. Давиденко // Системные технологии. Региональный международный сборник научных работ. Вып. 2 (10). – Днепропетровск, 2000. – С. 81 – 84.
16. Давиденко А.Н. Исследование влияния промывочной жидкости на устойчивость ствола скважины / А.Н. Давиденко // НТС ДонГТУ, серия «Горно-геологическая» - 2000. – Вып. 23. – С. 3 – 6.
17. Давиденко А.Н. Экологизация принятия решений при бурении / А.Н. Давиденко // Сб. научн. трудов НГА Украины, 5, том 3, «Проблемы экологии горного производства и обеспечение безопасности жизнедеятельности». - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. – С. 90 – 91.
18. Давиденко А.Н. Справочник по химической обработке буровых растворов / А.Н. Давиденко, А.Н. Дудля – Днепропетровск: Изд. ДГИ, 1994. – 120 с.
19. Давиденко А.Н. Использование гидродинамической кавитации для приготовления тонкодисперсных растворов при бурении скважин / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Науковий вісник Національної гірничої академії України № 6. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2002, с.59 - 61.
20. Давиденко А.Н. Опыт применения кавитационного диспергатора для приготовления промывочной жидкости / / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Наукові праці ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна. Вип. . – Донецьк, ДонДТУ, 2006. – с. .
21. Давиденко А.Н. Экспериментальные исследования кавитационного диспергатора / / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып. 7. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, 2004. – с. 34 – 36.

22. Давиденко А.Н. Влияние работы кавитационного диспергатора на технологические свойства буровых растворов / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып. 8. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, 2005.
23. Давиденко А.Н. Опыт применения кавитационного диспергатора для приготовления промывочной жидкости / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Наукові праці ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна. Вип.105. – Донецьк, ДонДТУ, 2006. – с.25-28.
24. Давиденко А.Н. Регулирование технологических свойств промывочных жидкостей / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Проблемы геологии и освоения недр: Сборник научных трудов XII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых , посвященного 100-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири и 90-летию создания Сибгеолкома в России . – Томск , 2008. – С. 532-534.
25. Давиденко А.Н. Эффективная технология освоения гидрогеологических скважин / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий, А.С. Змиевский // Проблемы геологии и освоения недр : Сборник научных трудов XII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых , посвященного 100-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири и 90-летию создания Сибгеолкома в России . – Томск , 2008. – С. 534-536.
26. Давиденко А.Н. Изменение свойств промывочных жидкостей в процессе бурения / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов.- Вып.12. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины 2009.С.85-89.
27. Давиденко А.Н. Управление свойствами промывочных жидкостей с помощью кавитационного диспергатора / А.Н. Давиденко, А.Ф. Камышацкий // Горный журнал Казахстана №4 2013. – С. 54-56.

28. Дейли Дж. Механика жидкости / Дж. Дейли, Д. Харман - М.: Энергия, 1971.- 480 с.
29. Дьяконов Г. К. Вопросы теории и подобия в области физико-химических процессов / Г.К. Дьяконов - М.: Изд-во АН СССР. 1956. - 387 с.
30. Ельников П.И. Обработка промывочных жидкостей гидродинамическим способом / П.И. Ельников, В.Н. Калашников, В.А. Бобров // Совершенствование технологии и техники разведочных работ: Межвуз. науч. темат. сб. - Свердловск: СГИ, 1987, вып. 10. – С. 52-55.
31. Калашников В.Н. Ультразвуковое диспергирование буровых промывочных жидкостей / В.Н. Калашников, П.И. Ельников, Бобров В.А. // Совершенствование технологии и техники разведочных работ: Межвуз. науч. темат. сб. - Свердловск: СГИ, 1988, вып. 11.
32. Камышацкий А.Ф. Гидродинамическая обработка буровых очистных агентов / А.Ф. Камышацкий // Наукові праці ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна. Вип. 63. – Донецьк, ДонДТУ, 2003. – с. 81-84.
33. Камышацкий А.Ф. Применение кавитационных генераторов для приготовления эмульсионных растворов / А.Ф. Камышацкий // Науковий вісник Національної гірничої академії України № 5. – Днепропетровск: РИК НГА України, 2001, с.118.
34. Камышацкий А.Ф. Процесс диспергирования исходных компонентов промывочных жидкостей при гидродинамической обработке / А.Ф. Камышацкий // Науковий вісник Національного гірничого університету № 5. – Днепропетровск: РИК НГА України, 2004, с. 44 – 46.
35. Камышацкий О.Ф. Експериментальні дослідження роботи диспергатора / О.Ф. Камышацкий // Науковий вісник НГУ, № 7 2009, С.81-83.
36. Каргин В.А. Коллоидные системы и растворы полимеров / В.А. Каргин // Избр. труды. - М.: Наука, 1978. - 330 с.
37. Карпачева С. М. Основы теории и расчета горизонтальных пульсирующих аппаратов и пульсаторов / С.М. Карпачева, Л.С. Рагинский, В.М. Муратов // – М.: Атомиздат, 1981. – 192 с.

38. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин // Изд. 7-е. М.: Госхимиздат, 1960. – 681 с.
39. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хеммит // – М.: Мир, 1974.
40. Коваль А.Д. Влияние кавитационно-кумулятивного воздействия на коллоидно-химические свойства сырья для получения технического углерода / А.Д. Коваль, В.В. Монятовский, А.С. Самохвалов // Материалы науч.-техн. совещ. "Совершенствование сырьевой базы и повышение эффективности использования сырья в производстве технического углерода". – М.: ЦНИИТ-Энефтехим, 1990.
41. Кожевников А.А. Гидромеханический и эрозионный способы разрушения горных пород при бурении скважин / А.А. Кожевников, А.Н Давиденко // Обзор техн. и технол. геол. развед. работ; орг. производства. – М.: ВИЭМС, 1987. – 46 с.
42. Котлярский Л.Б. О кавитационных явлениях при работе акустического гидродинамического излучателя / Л.Б. Котлярский, Б.Г. Новицкий // – «Акустический журнал», 1963, т. 9, № 4, с. 65-81.
43. Кочин Н.Е. Теоретическая гидромеханика / Н.Е. Кочин, Н.А. Кибель, Н.Е. Розе // Т. 1. – М.: Гостехтеориздат, 1955.
44. Кудрявцев Б.Б. Диспергирующее действие кавитации / Б.Б.Кудрявцев // Коллоидн. журн., 1959, вып.1.
45. Куликов В.В. Применение кавитационной эрозии при бурении скважин / В.В. Куликов, С.И. Минаков, Н.И. Сердюк // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 2004. №4. – С. 54-56.
46. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / Кутателадзе С.С. – М.: Энергия, 1976. - 296 с.
47. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика / Левич В.Г. – М.: Физматгиз, 1959. - 699 с.

48. Левченко А.Т. Применение ультразвукового диспергатора для приготовления эмульсионных промывочных растворов / А.Т. Левченко, И.И. Чернышов, Ю.М. Новиков // – «Бурение», 1966, № 2, с. 20-22.
49. Лейбензон Л.С. Собрание трудов / Л.С. Лейбензон // Т. 3. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. - 678 с.
50. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский – М.: Наука, 1987. - 840 с.
51. Манько И.К. Влияние угла диффузора трубки Вентури на частоте и уровне максимальных значений давления высокочастотных кавитационных колебаний / И.К. Манько // – К.: Наукова думка, 1977.
52. Маргулис М.А. Звукотхимические реакции и сонолюминисценция / М.А. Маргулис – М.: Химия, 1986. – 288 с.
53. Меша В.М. Про оптимізацію складу і вмісту твердої фази у промивальній рідині в процесі первинного розкриття продуктивних горизонтів / В.М. Меша, Я.С. Коцкулич // Нафт. і газова пром-сть. – 2002. - № 4. – С. 20 – 21.
54. Морозова Л. А. Исследование структурно-механических свойств, устойчивости и методов их регулирования в нефтяных дисперсных системах: Автореф. дис. канд. техн. наук, 1983.
55. Немчин А.Ф. Суперкавитирующие аппараты / А.Ф. Немчин, Г.И. Сергеев, А.С. Мачинский // – М., 1988. – 40 с. – (Эксплуатация, модернизация и ремонт оборудования в нефтеперерабатывающей промышленности. Обзор/ЦНИИТ Энефтехим).
56. Огибалов П.М. Нестационарные движения вязкопластичных сред / П.М. Огибалов, А.Х. Мирзаджанзаде // – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. - 415 с.
57. Патент 68524 А Україна, МКИ 7 Е 21 В 21/06. Пристрій для приготування бурових рідин/ Давиденко О.М., Камишацький О.Ф. № 2003065862; Заявлено 24.06.2003; Опубл. 16.08.2004; Бюл. № 8. – 3 с.
58. Патент 68586 А Україна, МКИ 7 Е 21 В 21/06. Пристрій для розкальматациї привибійної зони гідрогеологічних свердловин/ Давиденко О.М., Камишацький О.Ф. № 2203142756; Заявлено 24.06.2003; Опубл. 16.08.2004; Бюл. № 8. – 3 с.

59. Перетяка П.В. Разработка технологии бурения скважин с обратной циркуляцией газожидкостных систем на россыпных месторождениях / Перетяка П.В.: Дис. канд. техн. наук: 05.15.10. – Днепропетровск, 1990. – 139 с.
60. Перник А.Д. Проблемы кавитации / Перник А.Д. – Л.: Судостроение, 1988. – 438 с.
61. Пилипенко В.В. Кавитационные автоколебания / Пилипенко В.В. – Киев: Наукова думка, 1989. – 316 с.
62. Пилипенко В.В. Исследование высокочастотных автоколебаний в гидравлической системе за кавитирующей трубкой Вентури / В.В. Пилипенко, В.А. Задонцев, И.К. Манько // Кавитац. колебания в насосных системах. – Киев: Наук. думка, 1976. – Ч.2. – С. 104 – 113.
63. Полищук А.В. Обоснование и определение рациональных параметров генераторов импульсов давления для гидроциклической обработки угольных пластов / Полищук А.В.: Дис. канд. тех. наук: 05.05.06. – Днепропетровск, 1989. – 142 с.
64. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах / Ребиндер П.А.: - М.: Наука, 1978. - 368 с.
65. Розенберг Л.Д. Кавитационная область / Л.Д. Розенберг // В кн. Физика и техника мощного ультразвука, книга II, Мощные ультразвуковые поля. – М.: Изд-во «Наука», 1968 – 267 с.
66. Рид Р. Свойства газов и жидкостей / Рид Р., Праустиц Дж., Шервуд Т. // Под ред. Б.И. Соколова. – Л.: Химия, 1982. – 529 с.
67. Сачков В.В. Ультразвуковая обработка бурового раствора с целью восстановления его структурно-механических свойств / Сачков В.В., Харив И.Ю. и др. // – «Бурение», 1973, № 7.
68. Седов Л.И. Механика сплошной среды / Седов Л. И. – М.: Наука, 1973. Т. 2. - 583 с.
69. Сердюк Н.И. Кавитационные способы декольматажа фильтровой области буровых скважин / Сердюк Н.И. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004. – 176 с.

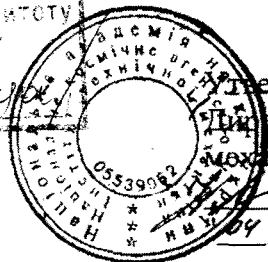
70. Сердюк Н.И. Перспективы использования эффекта кавитации для повышения эффективности буровых процессов / Сердюк Н.И. – М.: МГГРУ, 2005. – 26 с.
71. Смольский Б.М. Геодинамика и теплообмен нелинейновязкопластичных материалов / Б.М. Смольский, З.П. Шульман, А.С. Горисловец // – Минск, 1970. – 448 с.
72. Сологуб С.Я. Влияние среды на процесс зарождения и развития трещин отрыва / С.Я. Сологуб, А.Н. Давиденко и др. // Сб. научно-технической конференции «Проблемы научно-технического прогресса в бурении геологоразведочных скважин», - Томск, ТПИ, 1991. – С. 24 – 30.
73. Тампонажные растворы для глубоких скважин. – М.: Недра, 1976. – 120 с.
74. Ткаченко А.Н. Кавитационная техника и технология / А.Н. Ткаченко, И.М. Федоткин, В.А. Тарасов // – К.: Техника, 2001. – 462 с.
75. Федоткин И.М. Интенсификация технологических процессов / Федоткин И.М. - К.: Вища шк., 1999. – 200 с.
76. Федоткин И.М. Кавитационные энергетические аппараты и установки / И.М. Федоткин, И.С. Гулый // – К.: Арктур-А, 1998. – 136 с.
77. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технологии, их использование в промышленности (Теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов) / И.М. Федоткин, И.С. Гулый // Часть 1. – К.: Полиграфкнига, 1997. – 840 с.
78. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технологии, их использование в промышленности / И.М. Федоткин, И.С. Гулый // Часть 2. – К.: АО ОКО, 2002. – 898 с.
79. Федоткин И.М. Математическое моделирование, теории технологических процессов и их интенсификация / И.М. Федоткин, И.С. Гулый // Учеб. пособие. – К.: Арктур-А, 1998. – 416 с.
80. Федоткин И.М. Интенсификация процессов диспергирования гидродинамической кавитацией / И.М. Федоткин, И.С. Гулый // . – К.: Арктур-А, 1998. – 128 с.

81. Федоткин И.М. Использование кавитации в промышленности / И.М. Федоткин, И.С. Гулый, Н.И. Шапавалюк // – К.: Арктур-А, 1998. – 134 с.
82. Федоткин И.М. Использование кавитации в технике / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин // – К.: Из-во КГУ, 1984. – 68 с.
83. Федоткин И.М. Использование кавитации в технологических процессах / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин // . К.: Вища школа. 1984. – 67 с.
84. Фуглевич О.М. Вплив величини концентрації твердої фази в промивальній рідині на техніко-економічні показники буріння свердловин / О.М. Фуглевич, В.М. Меша // Нафт. і газова пром-сть. – 2001. - № 2. – С. 18 – 19.
85. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя, / Г. Шлихтинг // – М.: Наука, 1974. – 712 с.
86. Эпштейн Е.Ф. Влияние среды на процесс разрушения горных пород / Е.Ф. Эпштейн, А.Н. Давиденко // – Известия ВУЗов, Горный журнал, №7, 1980. С. 3 – 5.
87. Яске Н.Н. Анализ размерностей для определения зависимости структурно-механических свойств смесей от факторов воздействия на процесс их приготовления / Н.Н. Яске, О.М, Яхно, А.Д. Коваль, А.С. Самохвалов // Хим. технология. - 1992, № 6. - С. 67-69.
88. Яске Н.Н. Влияние кавитационной обработки на коллоидно-химические свойства сырья для получения технического углерода / Н.Н. Яске, О.М, Яхно, А.Д. Коваль, А.С. Самохвалов // Хим. технология. – 1991, № 4. – С. 67 – 71.
89. Ятров С.Н. Промывочные жидкости в бурении скважин / С.Н. Ятров – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 310 с.
90. Яхно О.М. Кавитация в переработке нефтепродуктов / О.М. Яхно, А.Д. Коваль, Л.И. Пищенко, В.П. Паскалов, Н.Н. Яске // – К.: Вища шк., 1999. – 261с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

КОПІЮ ОРИГІНАЛУ ПОСВІДЧУЮ
Вчений секретар Івано-Франківського
національного технічного університету
нафти і газу.

Дата: 15.05.14 Підпис: [Підпис]



Підтверджую

Директор Інституту технічної
механіки

д.т.н. Пилипенко О.В.

2004 р.

АКТ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА

Настоящий акт составлен о проведении стендовых исследований кавитационного диспергатора. Исследования проводились с 01 апреля по 10 мая 2004 г. в научно-исследовательской лаборатории Института технической механики г. Днепропетровска комиссией в составе: старший научный сотрудник, к.т.н. Манько И.К., научный сотрудник Запольский Л.Г. и аспирант Камышацкий А.Ф.

1. Цели и задачи исследований

Целью стендовых исследований является проверка работоспособности кавитационного диспергатора, определение фактических параметров его технической характеристики.

Задачами исследований являются:

- 1) проверка работоспособности кавитационного диспергатора и определение направлений для дальнейших исследований;
- 2) определение фактических значений параметров работы кавитационного диспергатора (частота и амплитуда колебаний).

2. Объект испытаний

Объектом исследований является экспериментальный образец кавитационного диспергатора (рис.1).

Техническая характеристика

Частота кавитационных колебаний, Гц	до 1600
Коэффициент запираания потока	0,44 – 1
Длина каверны, мм	0 – 100

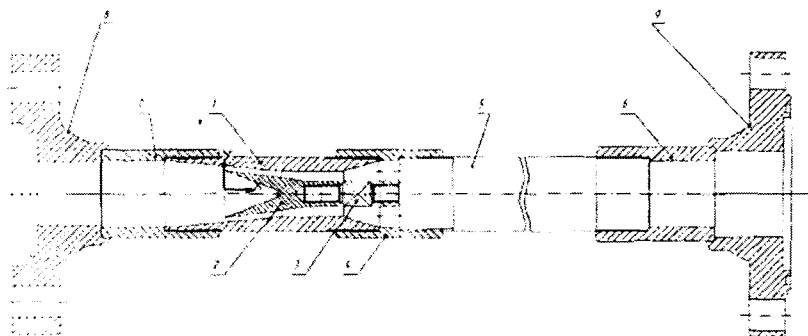


Рис. 1 - Экспериментальный образец кавитационного диспергатора: 1 – корпус; 2 – конус-обтекания; 3 – стержень; 4 – специальная муфта; 5 – труба; 6, 7 – переходники; 8, 9 – фланцы.

3. Методика проведения исследований

Работы выполнены на стенде Института технической механики – СВД – 6320, приведенного на рис.2.

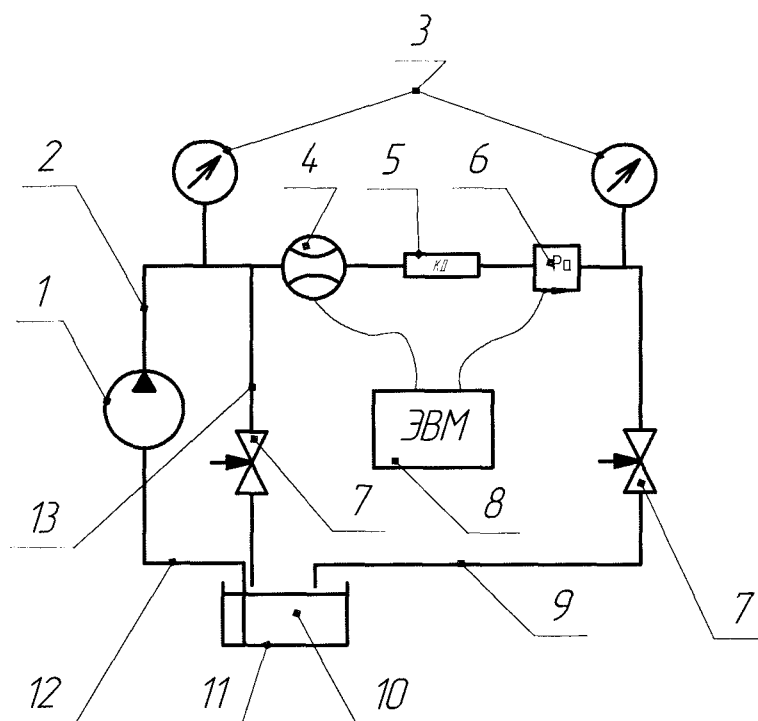


Рис. 1 Схема стенда: 1 – насос; 2 – нагнетательный трубопровод; 3 – манометры; 4 – расходомер; 5 – кавитационный диспергатор; 6 – датчик колебаний давления жидкости; 7 – задвижка; 8 – ЭВМ; 9 – выкидная линия; 10 – техническая вода; 11 – отстойник; 12 – всасывающая линия; 13 – сливная линия для регулирования подачи.

При проведении исследований определяются фактические значения параметров работы кавитационного диспергатора (амплитуда и частота кавитационных колебаний давления), путем осциллографирования процесса (с записью на ЭВМ) при различных режимах работы стенда (изменение подачи насоса и коэффициента запирания потока в кавитационном диспергаторе). Изменение коэффициента запирания потока в кавитационном диспергаторе осуществляется путем осевого перемещения конуса-обтекания в диффузоре корпуса диспергатора (рис.

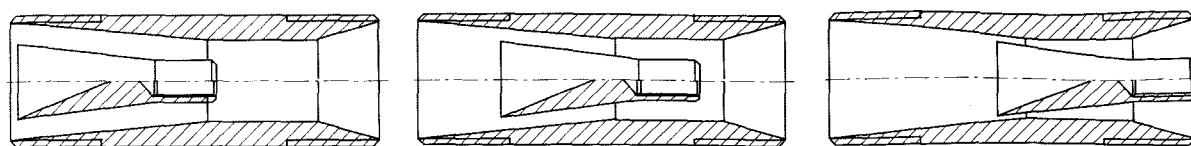


Рис. 3. Схема изменения коэффициента запирания путем осевого перемещения конуса-обтекания в диффузоре корпуса диспергатора: 1) $k_3=0,69$; 2) $k_3=0,79$; 3) $k_3=0,92$.

4. Результаты испытаний

Результаты экспериментальных испытаний кавитационного диспергатора приведены в протоколах проведения исследований (таблицы 1-2 и ис. 1).

Таблица 1.

№ опыта	P_1 , МПа	P_2 , МПа	Q , л/с	f , Гц
1	-	-	Замера нет	-
2	2,0	1,8	2,3	112
3	2,4	2,1	2,2	156
4	2,8	2,5	2,1	123
5	3,2	3,0	2,0	93
6	5,2	5,0	1,5	112
7	10,2	10,0	2,5	116
8	7,6	3,4	3,1	117

Таблица 2.

№ опыта	P_1 , МПа	P_2 , МПа	Q , л/с	f , Гц
1	11,0	2,6	3,00	1400
2	11,6	2,8	3,09	1600
3	11,6	3,7	3,00	1000
4	11,6	4,5	2,93	900
5	11,6	5,0	2,87	700
6	11,6	6,0	2,90	500
7	11,6	7,0	2,74	450
8	11,6	8,0	2,36	300
9	3,2	0,9	1,91	1100

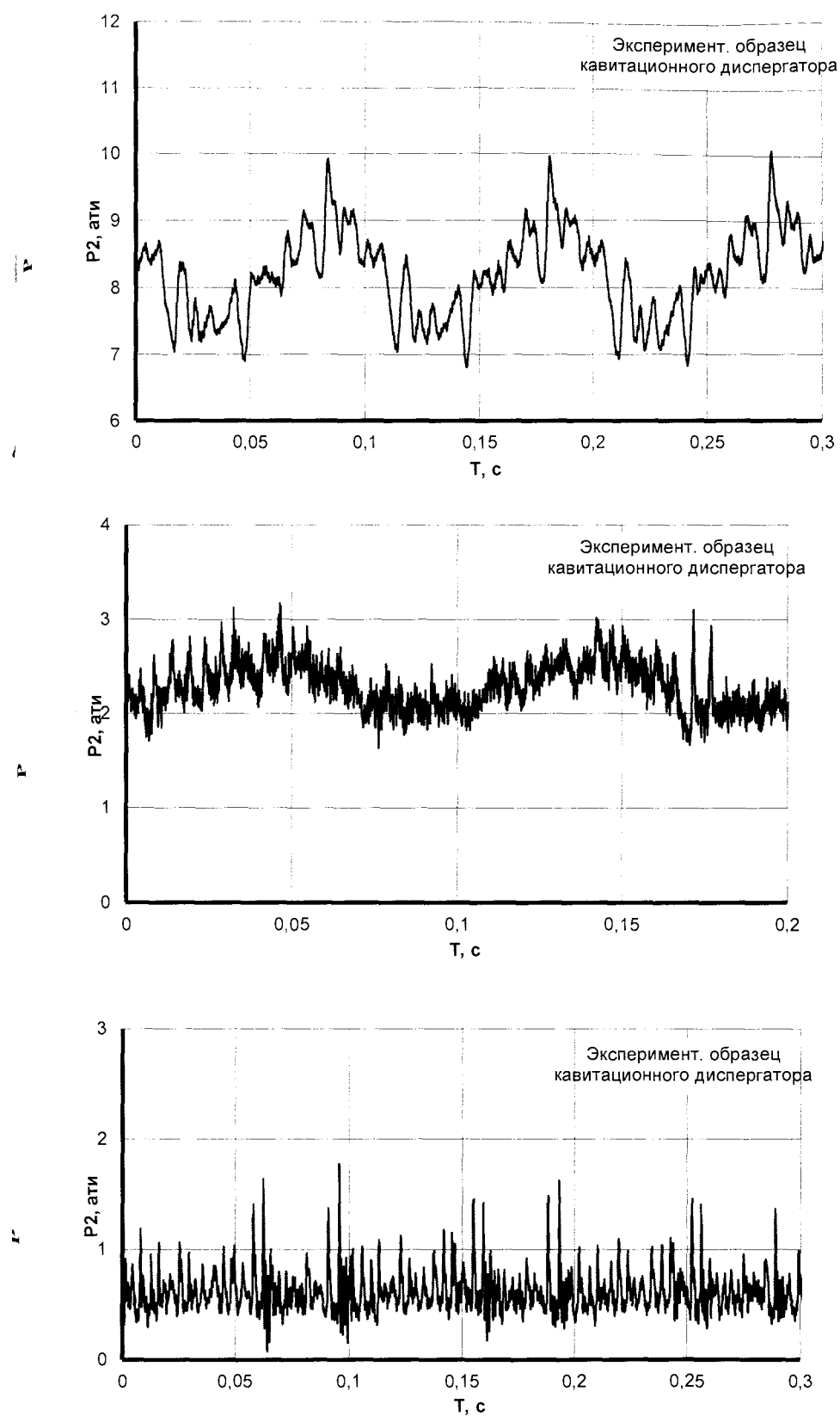


Рис.1 Характерные графики зависимости гидродинамических колебаний давления на выходе из кавитационного диспергатора во времени при различных режимах работы.

5. Выводы и предложения

На основании проведенных экспериментальных стендовых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Кавитационный диспергатор позволяет получить гидродинамические колебания давления жидкости, частота которых может колебаться от 60 Гц до 600 Гц.

2. Использование кавитационных диспергаторов при приготовлении буровых очистных агентов является перспективным направлением.

Старший научный сотрудник
Института технической
механики, к.т.н.



/И.К. Манько/

Научный сотрудник
Института технической
механики



/Л.Г. Запольский/

аспирант кафедры ТРМПИ
Национального горного
университета



/А.Ф. Камышацкий/

15.05.14

В.И. Бондаренко

Утверждаю
Проректор по научной
работе НГУ, проф.
В.И. Бондаренко



АКТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАБОТЫ
КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ
ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ

Комиссия в составе заведующего кафедрой техники разведки месторождений полезных ископаемых профессора Давиденко А.Н., доцента кафедры Вырвинского П.П. и ассистента Камышацкого А.Ф. в период с 01 по 11 февраля 2005 г. провела лабораторные испытания кавитационного диспергатора.

1. Цель испытаний

Целью стендовых исследований является определение влияния работы кавитационного диспергатора на технологические свойства промывочной жидкости.

2. Объект испытаний

Объектом исследований является экспериментальный образец кавитационного диспергатора.

Техническая характеристика

Частота кавитационных колебаний, Гц	0 – 2000
Амплитуда кавитационных колебаний, МПа	0 – 1000
Коэффициент запираания потока	0,44 – 1
Длина каверны, мм	0 – 100

3. Условия и порядок проведения испытаний

Стендовые испытания экспериментального образца кавитационного диспергатора проводились на специальном стенде рис. 1, расположенном в корпусе № 9 НГУ. Стенд включает: кавитационный диспергатор, плунжерный насос НБ2, отстойник, всасывающий и нагнетательный трубопроводы.

В процессе исследования определяется влияние работы кавитационного диспергатора на технологические свойства промывочной жидкости.

Исследования проводились на трех промывочных жидкостях: глинистый раствор, карбонатный раствор (на основе мела), эмульсия 10%-ая.

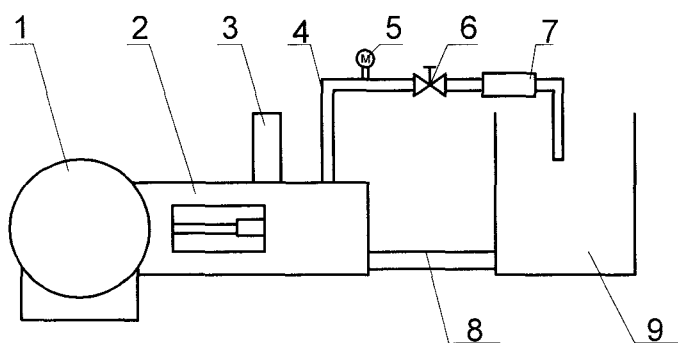


Рис. 1. Схема стенда: 1 – электродвигатель; 2 - насос; 3 – компенсатор; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – манометр; 6 – кран; 7 – кавитационный диспергатор; 8 – всасывающий трубопровод; 9 – отстойник.

Промывочные жидкости приготавливались двумя способами:

- с использованием в качестве кавитационного генератора трубки Вентури;
- с использованием исследуемого образца кавитационного диспергатора.

4. Результаты испытаний

Результаты экспериментальных испытаний кавитационного диспергатора приведены в журналах проведения исследований (таблицы 1 - 2 и рис. 1 - 4).

Таблица 1

Нормальный глинистый раствор

Номер опыта п/л	Режим работы насоса		Режим работы кавитационного диспергатора	Число циклов обработки, шт.	Время обработки, с	Технологические параметры промывочной жидкости		
	Подача, л/мин	Давление, МПа	Коэффициент запыления потока			Плотность, кг/м ³	Вязкость, с	Водоотдача, см ³ за 30 мин
С применением кавитационного диспергатора								
1	35	1,0	0,7	5	171	1200	нет изм.	нет изм.
2				10	342		нет изм.	нет изм.
3				15	505		18	12
4				20	660		18	11
5	35	1,5	0,8	5	831	1200	20	10
6				10	994		20	9
7				15	1149		30	6
8				20	1295		35	6
9	35	2,0	0,9	5	1466	1200	50	4,5
10				10	1600		60	4,5
11				15	1784		не течет	3
12				20	1930		не течет	3
С применением трубки Вентури								
1	35	4,0	-	5	171	1200	нет изм.	нет изм.
2				10	342		нет изм.	нет изм.
3				15	505		18	14
4				20	660		18	12
5				5	831		18	11
6				10	994		19	11
7				15	1149		20	9,5
8				20	1295		20	9,0
9				5	1466		25	8
10				10	1600		35	6
11				15	1784		40	5
12				20	1930		50	5

Меловой раствор

Номер опыта п/п	Режим работы насоса		Режим работы кавитационного диспергатора	Число циклов обработки, шт.	Время обработки, с	Технологические параметры промывочной жидкости		
	Подача, л/мин	Давление, МПа	Коэффициент запыления потока			Плотность, кг/м ³	Вязкость, с	Водоотдача, см ³ за 30 мин
С применением кавитационного диспергатора								
1	35	1,0	0,7	5	171	1200	нет изм.	нет изм.
2				10	342		нет изм.	нет изм.
3				15	505		17	18
4				20	660		17	18
5	35	1,5	0,8	5	831	1200	18	18
6				10	994		19	15
7				15	1149		22	14
8				20	1295		26	12
9	35	2,0	0,9	5	1466	1200	34	11
10				10	1600		37	10
11				15	1784		40	8
12				20	1930		42	8
С применением трубки Вентури								
1	35	4,0	-	5	171	1200	нет изм.	нет изм.
2				10	342		нет изм.	нет изм.
3				15	505		17	18
4				20	660		17	18
5				5	831		17	18
6				10	994		18	16
7				15	1149		19	15
8				20	1295		21	13
9				5	1466		24	11
10				10	1600		26	11
11				15	1784		30	10
12				20	1930		34	8

5. Выводы и предложения

На основании проведенных экспериментальных стендовых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение кавитационного диспергатора позволяет получать суспензии с более высокой степенью дисперсности, чем при применении в качестве кавитационного генератора трубки Вентури или при механическом перемешивании.

2. При использовании экспериментального образца кавитационного диспергатора энергетические затраты на приготовление промывочных жидкостей на 50 % меньше чем при использовании трубки Вентури, вследствие меньшего перепада давления.

3. Использование кавитационного диспергатора позволяет снизить расход расходных компонентов для приготовления промывочной жидкости на 20%.



заведующий кафедрой ТРМПИ, д.т.н. А.Н.Давиденко



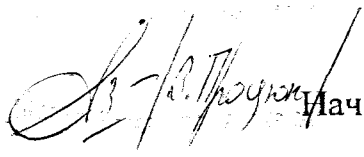
доцент, к.т.н. П.П.Вырвинский



ассистент А.Ф.Камышацкий

УТВЕРЖДАЮ

Б.О.С. 14



Начальник Поисково-съёмочной
экспедиции № 46 КП "Кировгеология"



А.П.Храмченко

28 января 2005 г.

АКТ

ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ
КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА

"28" января 2005

г. Первомайск

Комиссия в составе:

председатель Чайка В.И. - зам.начальника ПСЭ-46
члены комиссии Косюга В.И. – техрук буровых работ
Чагарова П.М. - инженер-технолог

Камышацкий А.Ф. – ассистент кафедры техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета назначенная приказом по Поисково-съёмочной экспедиции № 46 КП "Кировгеология" № 236 от 15 декабря 2004 г. в период с 21 декабря по 27 января 2005 г. провела производственные испытания экспериментального образца кавитационного диспергатора.

1. Цель испытаний

Целью производственных испытаний является определение технико-экономических показателей работы кавитационного диспергатора.

2. Объект испытаний

Объектом исследований является экспериментальный образец кавитационного диспергатора (рис.1).

Техническая характеристика

Частота кавитационных колебаний, Гц	до 2000
Коэффициент запираания потока	0,44 – 1
Длина каверны, мм	0 – 100

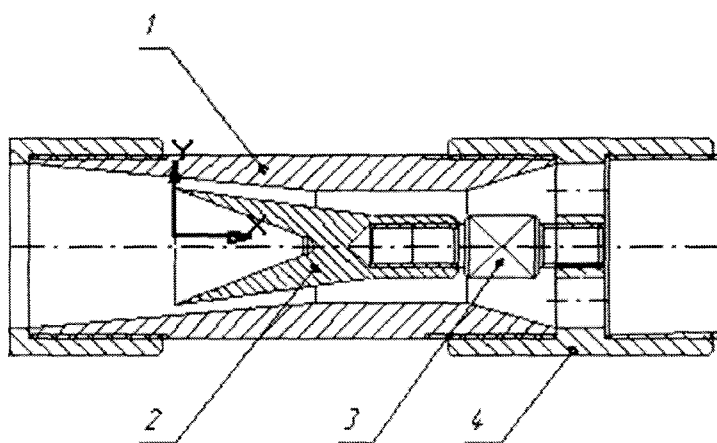


Рис. 1 - Экспериментальный образец кавитационного диспергатора:
1 – корпус; 2 – конус-обтекания; 3 – стержень; 4 – специальная муфта.

3. Геолого-технические условия бурения

Верхняя часть разреза скважин в основном сложена мягкими породами III -IV категории по буримости, склонными к поглощению и набуханию. Поэтому в верхнем интервале скважины в качестве промывочной жидкости применяется нормальный глинистый раствор. Бурение нижележащих толщ горных пород ведется в большинстве случаев алмазным породоразрушающим инструментом, поэтому для промывки на этом интервале используется малоглинистый раствор с добавлением отработанного эмульсола. Усредненные данные о геологическом разрезе приведены в табл. 1

Таблица 1

УСРЕДНЕННЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ

Горная порода	Мощность, м	Категория по буримо- сти	Возможные осложнения	Тип п/ж
Суглинок	5	III		Глинистый раствор
Известняк	20	IV		
Глины	10	IV		
Мергели	10	IV		
Известняки	40	IV	Карст, по- глощение п/ж	
Песок глауконитовый	5	VI		Малоглинистый раствор с отрабо- танным эмульсолом
Алевролиты, аргил- литфы	45	VIII		
Песчаники с просло- ями алевролитов	50	IX		
Гравелиты	5	IX		
Гнейсы, кристалосланцы, мигматиты	30	IX		
Граниты, пегматонд- ные граниты	30	IX	Зоны тре- щинновато- сти	
Итого	250	X		

4. Результаты испытаний

Средний перепад давления на кавитационном диспергаторе составил 0,5 МПа. 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.

Результаты производственных испытаний кавитационного диспергатора приведены в таблице 2.

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА

№ скв.	Тип п/ж	Расход материалов на 1 м ³				Технологические свойства промывочной жидкости			
		Глина, кг	УЩР, кг	КМЦ, кг	Эмульсол, л	Время обработки, мин	Плотность, г/см ³	Вязкость, с	Водоотдача, см ³ за 30 мин
№ 56006 С применением кавитационного диспергатора	Глинистый раствор	350	100	6	-	20	1,15-1,2	30	10
						30	1,15-1,2	33	10
						40	1,15-1,2	38	8
						60	1,15-1,2	40	8
	Малоглинистый раствор с отработанным эмульсолом	90	120	8	8	20	1,05	24	10
						30	1,05	28	9
						40	1,05	30	8
						60	1,05	31	7,5
№ 56022 Без применения кавитационного диспергатора	Глинистый раствор	370	140	8	-	1,2-1,25	30-35	10-12	
	Малоглинистый раствор с отработанным эмульсолом	100	150	10	10	-	1,05-1,1	22-25	12

5. Выводы и предложения

1. 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%.

2. Стоимость приготовления 1 м³ промывочной жидкости с использованием экспериментального образца кавитационного диспергатора снижается до 30%.

3. 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.


Приложение Г

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖЕНО
Голова державної геологічної служби
Д.С. Курський
15 березня 2005 року



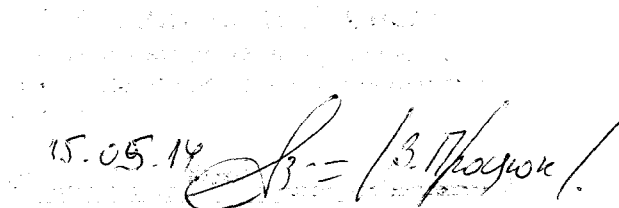
ЗАТВЕРДЖЕНО
Проректор з наукової роботи
Національного гірничого університету
проф. В.І. Бондаренко
15 березня 2005 року



МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

по використанню кавітаційного диспергатора при приготуванні
промивальних рідин

15.05.14



Дніпропетровськ 2005

1. Загальні відомості про приготування промивальних рідин

Буріння геологорозвідувальних свердловин є одним з основних джерел одержання геологічної інформації. Застосовуваний при цьому буровий розчин являє собою основний фактор у технології спорудження свердловини. Від якості відповідності промивних розчинів геолого-технічним умовам залежать швидкість буріння, запобігання аварій і ускладнень, одержання якісного керна матеріалу, зносостійкість бурового устаткування й інструмента і, у кінцевому рахунку, вартість спорудження свердловини.

Промивальні рідини являють собою фізико-хімічні системи, що складаються з однієї або декількох фаз. Більшість промивних рідин складаються з двох або більшого числа фаз, між якими існують реальні поверхні розділу - гетерогенні системи. Значна частина гетерогенних систем - дисперсні системи.

Ступінь роздробленості дисперсної фази характеризується дисперсністю - величиною зворотною поперечному розмірові частки - d , (см^{-1}). Чим вище ступінь дисперсності, тим більше загальна поверхня роздягнула фаз. Загальна поверхня твердої фази в промивній рідині може досягати десятків і сотень квадратних метрів на 1 г маси.

Дисперсність визначає багато властивостей дисперсних систем, зокрема водовіддачу, структурно-механічні властивості і стійкість промивних рідин. У певний час властивості дисперсної системи багато в чому залежать від змісту найбільш дрібних, колоїдних часток.

Велике значення в характеристиці дисперсних систем має інтенсивність молекулярної взаємодії між дисперсійним середовищем і дисперсійною фазою на границі роздягнула фаз, що визначає явище змочування. Змочування рідиною твердого тіла може розглядати як результат дії сил поверхневого натягу. Тому нестійкі системи можуть бути стабілізовані шляхом створення на частках дисперсної фази адсорбційних шарів деяких поверхнево-активних речовин. Такі речовини одержали назва стабілізаторів.

При готуванні промивної рідини механічних пристроях відбувається первинне здрібнювання дисперсної фази. Дисперсність буде залежати від її виду і

якості, вихідних розмірів часток, способу і тривалості здрібнювання й інших факторів. Однак повної диспергації в процесі готування не відбувається. Як показують дані численних досліджень, для кожного реального диспергуючого пристрою існує визначена тривалість процесу, збільшення якого вже не приводить до подальшого диспергування твердої фази і зміни властивостей дисперсної системи. Механічні впливи для цього занадто короткочасні, додаються лише до порівняно невеликої частини твердої фази.

Додатковою диспергацією твердої фази можна при тому самому її змісті в 3 рази збільшити структурну в'язкість, у 6-9 разів - динамічна напруга зрушення, у 1,5 рази зменшити водовіддачу, крім того, зменшується зміст піску, поліпшується стабільність. Процес диспергування дозволяє скоротити кількість твердої фази в промивній рідині при заданих структурно-механічних властивостях. Чим нижче якість глини, тим значніше ефект диспергування.

2. Технологія використання кавітаційного диспергатора

У процесі гідродинамічної кавітації диспергування вихідних компонентів забезпечується на молекулярному рівні за рахунок локальної енергії схлопування пухирців. У зв'язку з цим для інтенсифікації даного процесу й ефективності використання кавітації необхідне створення таких диспергаторів, що забезпечували б рівномірне по об'єму й інтенсивності схлопування пухирців у камерні, причому конструкції таких пристроїв і режим їхньої роботи повинні враховувати реологічні особливості промивальної рідини.

Основними технологічними параметрами процесу кавітаційного диспергування є:

- 1) число циклів кавітаційної обробки;
- 2) частота кавітаційних коливань, визначувана коефіцієнтом замикання потоку.

Результати розрахунку необхідної подачі бурового насоса і режимні параметри технології кавітаційної обробки промивальної рідини приведені в табл. 1.

Таблиця 1.

i	1	2	3	4	5
$f, \Gamma\text{ц}$	100	200	400	800	1600
$t_i, \text{с}$	2000	1000	500	250	125
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,0005	0,001	0,002	0,004	0,008

2.1. Конструкція кавітаційного диспергатора

При розробці кавітаційного диспергатора були сформульовані наступні вимоги, стосовно до специфіки готування промивних рідин:

- режимні параметри кавітаційного диспергатора повинні забезпечуватися існуючим номенклатурним рядом геологорозвідувального устаткування;
- кавітаційний диспергатор повинен мати можливість регулювання режимних параметрів роботи, що забезпечить універсальність застосування;
- високий ступінь працездатності;
- простота конструкції і керування.

З урахуванням приведених вимог, на кафедрі ТРРКК був розроблений кавітаційний диспергатор, новизна якого підтверджена патентом України (рис. 2).

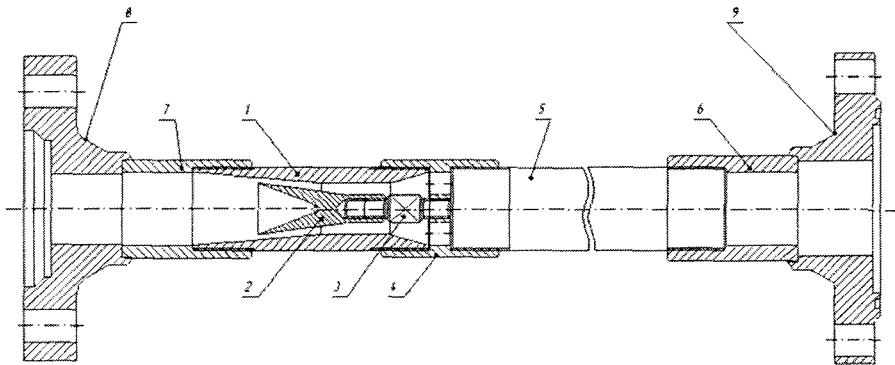


Рис. 2. Схема кавітаційного диспергатора для приготування промивальних рідин: 1 – ніпель спеціального перетину; 2 – конус-обтікання; 3 – змінна шпилька; 4 – муфта; 5 – заспокоювач; 6, 7 – приварні перехідники; 8 – фланець викидної лінії; 9 – фланець вхідної лінії.

Промивальна рідина по лінії, що подас, через заспокоювач 5 і муфту 4 подається в ніпель спеціального перетину 1 і, обтікаючи конус 2, надходить у висхідну лінію. При обтіканні конуса 2 відбувається утворення ділянки, у якому краплинна рідина цілком відсутня - з'являється суперкаверна. Для забезпечення можливості регулювання режимними параметрами роботи кавітаційного диспергатора конуса-обтікання 2 виконаний з можливістю осьового переміщення в дифузори ніпеля 1, шляхом заміни шпильки 3. При цьому розмір суперкаверни буде залежати від швидкості потоку, що набігає, і як наслідок від радіального зазору між конуса-обтікання і дифузоровим ніпелем 1. Виходячи з умови утворення мінімальних гідравлічних опорів при максимальній плавності регулювання кавітаційного диспергатора - конус-обтікання 2 і дифузори ніпеля 1 мають мінімальні кути розкриття обумовлені конструктивно.

Конус-обтікання 2 виконаний порожнім для збільшення обсягу утвореної суперкаверни, що у свою чергу волоче збільшення кількості кавітаційних мікропухирців (тому що мікропухирці утворюються по всій поверхні кавітаційної камери) і відповідно підвищує інтенсивність процесу кавітаційного диспергування.

Інтенсивність кавітаційної обробки буде залежати від геометричних характеристик суперкаверни і як наслідок - числа і розміру що утворюються кавітаційних мікропухирців за суперкаверною. Тому що регулювання розміру суперкаверни (інтенсивності кавітаційної обробки) здійснюється шляхом осьового переміщення "конуса-обтікання" 2 у дифузори ніпеля 2, то для характеристики інтенсивності процесу гідродинамічної кавітації вводиться коефіцієнт запирання потоку - k_3 , що дорівнює:

$$k_3 = \frac{F_k}{F_d} = \frac{D_k^2}{D_d^2}, \quad (1)$$

де F_k , F_d - відповідно площа перетину підстави "конуса-обтікання" і дифузора, m^2 ; D_k , D_d - відповідно діаметри "конуса-обтікання" і дифузора у визначеному перетині, м.

На мал. 3 приведений приклад зміни коефіцієнта запирання потоку для трьох положень (мінімальний, середній, максимальний) "конуса-обтікання" у дифузорі ніпеля.

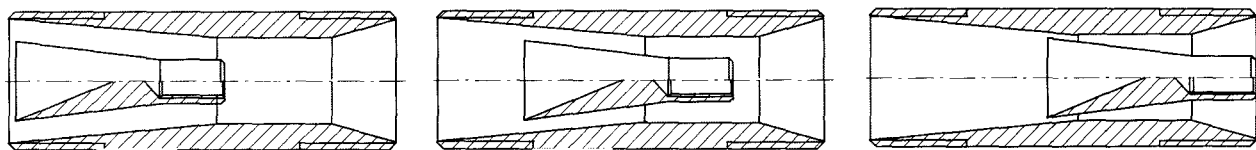


Рис. 3. Схема зміни коефіцієнта запирання шляхом осьового переміщення "конуса-обтікання" у дифузорі ніпеля: 1) $k_3=0,7$; 2) $k_3=0,8$; 3) $k_3=0,9$.

2.2. Технологічні схеми використання кавітаційного диспергатора

Як відзначалася раніше особлива роль у процесі готування очисних агентів має додаткове диспергування, тому що в основному циклі практично неможливо досягти повної диспергації дисперсної фази без додаткових енергетичних витрат. Тому пропонується наступна технологічна схема включення кавітаційного диспергатора рис. 4. Відповідно до запропонованої схеми кавітаційний диспергатор включається в технологічну лінію безпосередньо після апарата для первинного шрібнювання вихідних компонентів 8, при цьому нагнітання виробляється стандартним буровим насосом 1 по нагнітальній лінії 2. Регулювання режиму диспергування здійснюється створенням підпору засувкою 5, величина якого контролюється за допомогою манометра 4. Далі по викидній лінії 6 розчин надходить у відстійник 7.

Пропонована технологічна схема дозволить безпосередньо на буровій одержувати буровий розчин високої якості без застосування складного устаткування і додаткових витрат енергії, тому що в кавітаційному диспергаторі використовується енергія самого потоку, що рухається, і також дозволить значно знизити або (по можливості) виключити застосування хімічних реагентів. Простота керування процесом додаткового диспергування виключає необхідність присутності спеціального обслуговуючого персоналу на буровій.

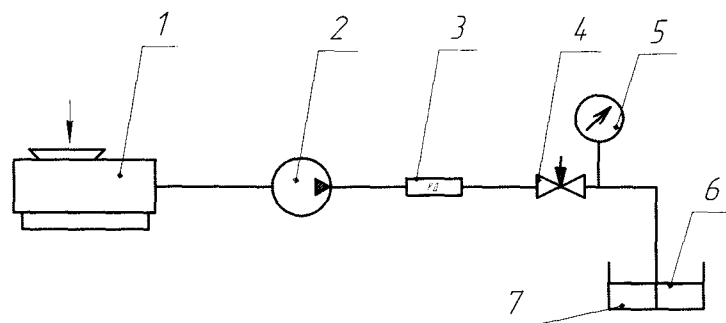


Рис. 4. Схема включення кавітаційного диспергатора на стадії додаткової диспергації очисних агентів: 1 - апарат для первинного здрібнювання; 2 - насос; 3 - кавітаційний диспергатор; 4 - кран; 5 - манометр; 6 – промивальна рідина; 7 - відстійник;

Очищення вибою свердловини від вибуреної породи являють собою складний гідродинамічний процес. Перехід вибурених часток шламу в розчин приводить до підвищення реологічних характеристик системи і погіршує очищення вибою, збільшує гідродинамічні опори і втрати тиску в циркуляційній системі свердловини. На рис. 5 приведені залежності основних показників буровлення від змісту твердої фази в буровому розчині.

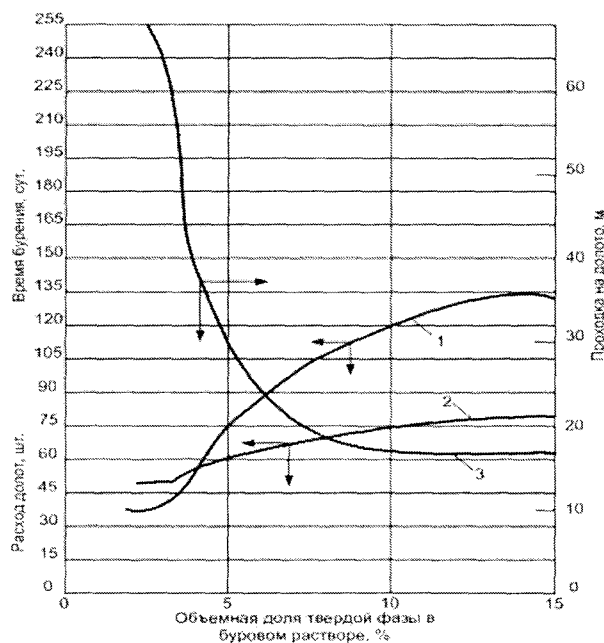


Рис. 5. Вплив твердої фази в буровому розчині на показники буріння:

1 - витрата доліт; 2 - час буровлення; 3 - проходка на долото.

Зі збільшенням змісту твердої фази в буровому розчині можна боротися двома способами: регулювання процесу диспергування за допомогою хімічних

реагентів або розведенням розчину. Однак хімічна обробка коштує дорого, а розведення приводить до підвищеної витрати основних хімічних реагентів, що використовуються для регулювання властивостей самого розчину.

Усе більш популярним став процес видалення вибуреної породи за допомогою механічних засобів: різних сит і гідроциклонних установок. Труднощі при застосуванні механічних засобів очищення зв'язані в основному з необхідністю установки на буровий додаткового громіздкого устаткування, що вимагає автономні системи приводу і відповідно спричиняє підвищення витрати енергії і вартості буріння.

Для підтримки проектних параметрів промивальної рідини в процесі буріння пропонується використовувати ефект гідродинамічної кавітації. Сам процес полягає в додатковому диспергуванні вибуреної породи за рахунок дії гідродинамічної кавітації. Так, приміром, витрата коагулянтів при застосуванні гідродинамічної кавітації можна знизити на 30 %. Додаткове ж диспергування твердої фази дозволить підтримувати властивості очисних агентів при подальшому їхньому розведенні на проектному рівні без застосування спеціальних хімічних реагентів.

Для реалізації запропонованої технології пропонується замкнута схема включення кавітаційного диспергатора рис. 6. Принцип роботи такої схеми полягає в наступному: насос 1 подає промивальну рідину із відстійника 7 через фільтр 8 усмоктувальної лінії 9 по нагнітальній лінії 2 на кавітаційний диспергатор 3, далі розчин по викидної лінії 6 попадає знову у відстійник 7. Регулювання інтенсивності обробки здійснюється за допомогою засувки 5, а контроль процесу манометром 4.

Обробка очисних агентів за такою схемою виробляється в процесі спуско-підйомних операцій і реалізується простим переключенням насоса на допоміжну замкнуту лінію.

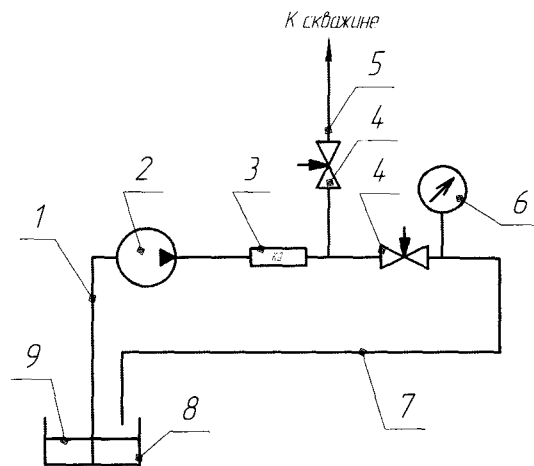


Рис. 6. Схема включення кавітаційного диспергатора при замкнутому циклі обробки промивальних рідин: 1 - нагнітальний трубопровід; 2 - насос; 3 - кавітаційний диспергатор; 4 - засувка; 5 - викидна лінія; 6 - манометр; 7 - усмоктувальна лінія; 8 - відстійник; 9 – промивальна рідина.

Застосування такої схеми обробки також дозволить змінювати і підтримувати властивості промивальної рідини з ростом глибини свердловини (зміні геологічних умов буріння) за рахунок регулювання ступеня дисперсності вихідних компонентів розчину і вибуреної породи.

3. Техніка безпеки при приготуванні промивальних рідин з використанням кавітаційного диспергатора

Приготування промивальних рідин з використанням кавітаційного диспергатора вимагає дотримання стандартних правил техніки безпеки при проведенні геологорозвідувальних робіт.

Окрім загальних правил необхідно виконувати наступні вимоги:

1. Обслуговуючий персонал повинен бути ознайомлений з конструкцією кавітаційного диспергатора, принципом його роботи та схемою установки.

2. Забороняється проводити будь-які ремонтні роботи при працюючому промивальному насосі.