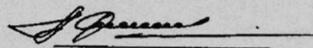


0-772628

УДК 622.227

На правах рукописи



Сливченко Анатолий Фёдорович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ И МЕТОДОВ КАНАТНО-КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА СКВАЖИН**

Специальность: 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Бугульма - 2008

Работа выполнена в Альметьевском государственном нефтяном институте

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент АН РТ,
Юсупов Изиль Галимзянович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, с.н.с.
Габдуллин Рафагат Габделвалеевич

кандидат технических наук
Хузин Ринат Раисович

Ведущая организация: ООО «Башнефть-Геопроект»

Защита диссертации состоится **27 ноября 2008 г.** в **14⁰⁰** часов на заседании диссертационного совета Д.222.018.01. в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ОАО «Татнефть» по адресу: 423236, Республика Татарстан, г. Бугульма, ул. М.Джалиля, д.32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Татарского научно-исследовательского и проектного института нефти

Автореферат разослан 22 октября 2008 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000510508

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

Льова И.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Выполнение мероприятий по добыче нефти на поздних стадиях разработки нефтяных месторождений в значительной степени сопряжено с ремонтом скважин. В 2006 г. количество таких ремонтов по отрасли составило порядка 60тыс. Растущая потребность в них, обусловленная изменяющимися условиями разработки нефтяных месторождений и складывающейся в связи с этим ситуацией по добыче нефти, ставит перед службой капитального ремонта скважин (КРС) задачу по производству скважино-ремонтов в минимальные сроки, позволяющие увеличить добычу нефти и сократить затраты. Решение данной задачи требует не только эффективного использования имеющихся производственных мощностей службы капитального ремонта скважин (КРС), но и наращивания ее научно-производственного потенциала. В связи с этим разработка методов технологии и технических средств, направленных на повышение эффективности и качества капитального ремонта скважин, увеличение добычи нефти и снижение затрат за счет ускорения ремонтов скважин, является актуальной.

Цель работы. Создание комплекса технических средств и методов канатно-кабельной технологии в целях повышения эффективности капитального ремонта скважин, увеличения добычи нефти и уменьшения затрат.

Основные задачи исследований.

1. Исследование состояния техники и технологии капитального ремонта скважин;
2. Исследование влияния основных факторов ККТ на технико-экономические показатели КРС и разработка методики исследования процесса разобшения внутри колонного пространства скважины канатно-кабельным методом;
3. Исследование процесса формирования цементных мостов, устанавливаемых в заданном интервале скважины канатно-кабельным способом, и разработка методов предотвращения смещения со

скважинной жидкостью тампонажного раствора в момент его излития из желонки;

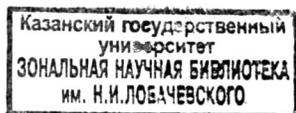
4. Исследование факторов, определяющих несущую способность цементного моста и разработка технологии установки мостов;
5. Исследование влияния взрыва, применяемого в качестве привода ряда канатно-кабельных устройств, на параметры цементного раствора и скважинных жидкостей;
6. Исследование результатов опытно-промышленного внедрения технических средств и методов канатно-кабельной технологии КРС, оценка их технологической и экономической эффективности.

Методы решения задач.

Теоретические и экспериментальные исследования, анализ и обобщение результатов практического внедрения в производство.

Научная новизна работы.

1. Установлена взаимосвязь между базовыми технико-экономическими показателями службы ремонта скважин, раскрывающая и обосновывающая эффективность внедрения экспресс-методов ремонта скважин. На основании установленной взаимосвязи для оперативной оптимизации производства ремонта скважин и эффективного управления им, как на основе трубной, так и канатно-кабельной технологий, предложена номограмма.
2. Разработаны методика и стенды для экспериментальных исследований доставки канатно-кабельным способом цементного раствора в скважину и формирования разделительного моста с требуемой несущей способностью в зависимости от внутреннего диаметра скважины, скважинной жидкости и воздействующей на мост нагрузки.
3. Предложены методы и технические средства, предотвращающие смешение цементного раствора со скважинной жидкостью и повышающие надежность и эффективность ремонтно-изоляционных работ по канатно-кабельной технологии.



4. Выявлена зависимость прочности цементного камня на изгиб от степени смешения тампонажного раствора со скважинной жидкостью при канатно-кабельной технологии. Предложены формулы для определения необходимых параметров тампонажного раствора в целях образования цементного камня требуемой прочности.
5. Экспериментальными исследованиями доказано, что взрывной метод, используемый в качестве привода ряда канатно-кабельных устройств, не оказывает отрицательного влияния на параметры тампонажного раствора и скважинных флюидов.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Новые научные представления о технологических процессах ремонтно-восстановительных работ по канатно-кабельной технологии.
2. Критерии оперативной оптимизации производства ремонта скважин, основанные на взаимосвязи основных технико-экономических показателей службы КРС.
3. Методические решения и результаты исследования процессов формирования разделительных мостов, устанавливаемых в скважине канатно-кабельным методом, позволяющие определять необходимые параметры тампонажного раствора и прогнозировать гарантированную несущую способность формирующегося на его основе моста.
4. Комплекс технических средств и агрегаты канатно-кабельной технологии, ускоряющие процесс, надежность и эффективность ремонтно-изоляционных работ и способствующих увеличению добычи нефти и уменьшению затрат.

Практическая значимость.

1. Разработаны комплекс технических средств и методы канатно-кабельной технологии капитального ремонта скважин.
2. Разработаны специальные агрегаты канатно-кабельных методов.
3. Разработана «Инструкция по изоляции вод контейнерной доставкой тампонирующих материалов на забой скважины» [11].

4. Разработан руководящий документ по "Оптимальной технологии ремонтно-восстановительных работ в скважинах с применением кабельно-контейнерных систем" (РД 39/02-0147585-009-87), [14].
5. Разработана номограмма для оптимизации производства КРС и эффективного управления им как на основе трубной, так и канатно-кабельной технологий.
6. Разработаны "Инструкции по ТБ для бригад КРС" при применении канатно-кабельных методов ремонта скважин.
6. Разработаны нормы трудовых и материальных затрат канатно-кабельных методов ремонта скважин.
7. Предложены методы предотвращения смешения цементного раствора со скважинной жидкостью и повышения качества устанавливаемых мостов канатно-кабельными методами.

Реализация работы в промышленности. С 1973 г. при непосредственном участии автора разрабатывались и внедрялись технические средства и специальные агрегаты, технологические схемы, инструкции и руководящие документы канатно-кабельных методов ремонта скважин.

В целях повышения эффективности использования ККТ КРС были организованы бригады, участок, послужившие началом создания в ОАО «Татнефть» Актюбинского Управления канатно-кабельных и пакерных методов.

Экономический эффект за 2006 год по ОАО "Татнефть" от внедрения канатно-кабельной технологии КРС составил 21.2 млн. руб.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались: на Всесоюзных курсах по повышению квалификации руководителей высшего звена (г.Москва,1976г.), на расширенном заседании секции добычи нефти и газа научно-технического Совета Миннефтепрома (г.Небит-Даг, 1978г.), на Всесоюзном совещании Центрального и Тюменского областного правления НТО нефтяной и газовой промышленности (г.Тюмень, 1980 г.), в школе по обмену передовым производственным опытом лучших мастеров бригад о подземному и

капитальному ремонту скважин на тему «опыт работы в области техники и технологии ремонта скважин» (г.Москва, ВДНХ, 1984г.), на Всесоюзном координационном совещании в области техники и технологии ремонтно-изоляционных работ (г.Туапсе, 1984-1985г.), на Всесоюзном отраслевом совещании по ремонту и освоению скважин при ВНИИКРнефть (п.Дивноморский, 1989 г.), на научном семинаре кафедры РНГМ Уфимского нефтяного института (г.Уфа, 1991г.), на Всесоюзном научно-техническом совещании при ВНИИКРнефть по проблеме «Техника и технология ремонта и освоения скважин» (п.Дивноморский, 1991г.), на совещании Укрзарубежнефтегаз по технологии ремонта скважин и воздействия на пласт с использованием инструментов, спускаемых в скважину на кабель-канате (г.Феодосия, 1993г.), на Всероссийской научной-практической конференции «Большая нефть XXI века» (АГНИ, 2006г), на семинаре гл.инженеров и специалистов ОАО «Татнефть» по теме «Пути повышения эффективности строительства скважин в ОАО «Татнефть» (Альметьевское УБР, 2007г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ общим объемом 23,2 п.л. В том числе 4 публикации в изданиях, содержащихся в перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ. Получено 24 авторских свидетельств и патентов, издано учебное пособие «Канатно-кабельная технология капитального ремонта скважин» (АГНИ, 2004 г., 220с.), издано 2 руководящих документа по применению канатно-кабельной технологии. Основные разработки канатно-кабельной технологии отмечены четырьмя серебряными и семью бронзовыми медалями ВДНХ, работе «Комплекс оборудования канатно-кабельной технологии ремонта скважин» присуждена премия имени академика И.М. Губкина.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов и рекомендаций. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, включая 23 таблицы, 67 рисунков, библиографический список использованной литературы, состоящий из 63 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследований, изложены основные задачи исследований, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

Отмечено, что значимый вклад в развитие техники и технологии КРС внесли отечественные и зарубежные ученые: А.Д. Амиров, Х.А. Асфандияров, Ю.М., Басарыгин, Ю.Е. Батурин, А.И. Булатов, Р.Г. Габдуллин, К.М. Гарифов, В.И. Грайфер, В.Е. Доброскок, Г.П.Зозуля, Р.К. Ишкаев, К.А. Карапетов, М.Л. Кисельман, А.М. Клеев, П.Н Лаврушко, Г.В. Молчанов, Р.Х. Муслимов, В.К. Петухов, С.А. Рябокоть, Сулейманов А.Б., Ш.Ф. Тахаутдинов, В.А. Харьков, В.А. Шумилов, В.М. Юдин, И.Г. Юсупов, А.С. Яшин, Н.Р. Besner, G.R. Gray, E. Duglas, G. Kemp и др.

В первой главе отмечается, что на всех стадиях разработки нефтяных и газовых месторождений поддержание работоспособности эксплуатационного фонда скважин является неперенным условием стабильной добычи нефти. Это ставит перед службой КРС задачу по осуществлению ремонтов скважин в минимальные сроки, с наименьшими материально-техническими затратами и потерей добычи нефти.

Внедрение канатно-кабельных методов КРС показывает, что одна технологическая операция, выполненная этим методом, сокращает время пребывания скважины в ремонте на 3-4 %.

Приводится динамика КРС за 1961-2010г. (на 2007-2010г. прогнозируется), применяемые техника и методы трубной технологии, характеризующие содержание решаемых задач и потенциальные возможности службы КРС ОАО «Татнефть».

Анализ баланса календарного времени бригад КРС показывает, что 44,6 % от основного времени (23,9 % от общего) приходится на спуско-подъемные операции (СПО). Уменьшение этого времени и, следовательно, времени пребывания скважин в ремонте, может быть достигнуто за счет внедрения экспресс-методов ремонта скважин.

Обзор отечественной и зарубежной литературы, информационный и патентный поиск (более 200 патентов и изобретений) показали, что на долю США приходится 70%, а СНГ - 26% (преимущественно Россию) от всех технологических операций КРС, выполняемых при помощи устройств, спускаемых в скважину на гибком элементе.

На основе теоретических, экспериментальных и промышленных исследований дается обоснование разработки и внедрения канатно-кабельной технологии КРС, что будет способствовать решению стоящей перед службой ремонта скважин задачи – не снижая эффективности работ сократить время пребывания скважин в ремонте и тем самым увеличить добычу нефти и снизить затраты на ремонт.

Разработанные автором теоретические положения, интегрирующие основные технико-экономические показатели производства ремонта скважин, позволяют количественно оценить эффективность предлагаемого мероприятия.

Исходя из поставленной задачи, канатно-кабельная технология основывается на следующих принципах: достижение технологической цели, ускорение ремонта скважины, уменьшение материально-технических затрат.

Доминирующим фактором ККТ является *ускорение ремонта скважин*, характеризующее собой уменьшение времени пребывания скважины в ремонте, непосредственно влияет на темпы восстановления работоспособности фонда скважин и, следовательно, на добычу нефти. В связи с этим, более глубокое исследование этого фактора, определение его влияния на ТЭП работы службы ремонта скважин (СРС), имеет большое практическое значение.

Ускорение КРС определяется соотношением времени пребывания скважины в ремонте до и после внедрения канатно-кабельной технологии:

$$Y = \frac{t_{npT}}{t_{npK}} \quad (1)$$

где t_{npT} и t_{npK} - время пребывания скважины в ремонте при трубной и канатно-кабельной технологии ремонта скважин.

С учетом найденной взаимосвязи показателей ускорение может быть выражено:

$$y = \frac{\Pi_2}{\Pi_1} = \frac{t_{p1}}{t_{p2}} = \frac{t_{np1}}{t_{np2}} = \frac{N_{e1}}{N_{e2}} = \frac{N_{n1}}{N_{n2}} \quad (1.2)$$

Полученные соотношения дают возможность количественно оценить эффективность применения канатно-кабельной технологии и ее влияние на ТЭП работы службы ремонта скважин.

Так, например, для производства того же количества скважино-ремонтов с применением ККТ требуется меньшее число рабочих вахт и грузоподъемных агрегатов соответственно на:

$$\Delta N_e = N_{e1} \cdot \left(\frac{y-1}{y} \right) \quad (1.3)$$

$$\Delta N_n = N_{n1} \cdot \left(\frac{y-1}{y} \right) \quad (1.4)$$

где N_{e1} , N_{n1} - количество рабочих вахт и грузоподъемных агрегатов соответственно до внедрения ККТ.

На основе полученных зависимостей построена номограмма (рис.1) для эффективного управления производством КРС как с применением, так и без применения канатно-кабельных методов, определения базовых показателей работы службы ремонта скважин: необходимого количества вахт (N_e) для производства планируемого объема скважино-ремонтов (N_p), необходимого количества для этого грузоподъемных агрегатов (N_n) при заданной сменности (C) работы бригад, производительность труда бригад (Π), среднюю продолжительность ремонта (t_p) и времени пребывания скважины в ремонте (t_{np}).

Номограмма также раскрывает значимость внедрения ККТ и позволяет количественно оценить его эффективность.

Промысловые исследования показали, что применение ККТ на современном этапе может сократить продолжительность КРС на 9-12 %.

Средняя успешность ККМ за годы внедрения составила 90 %.

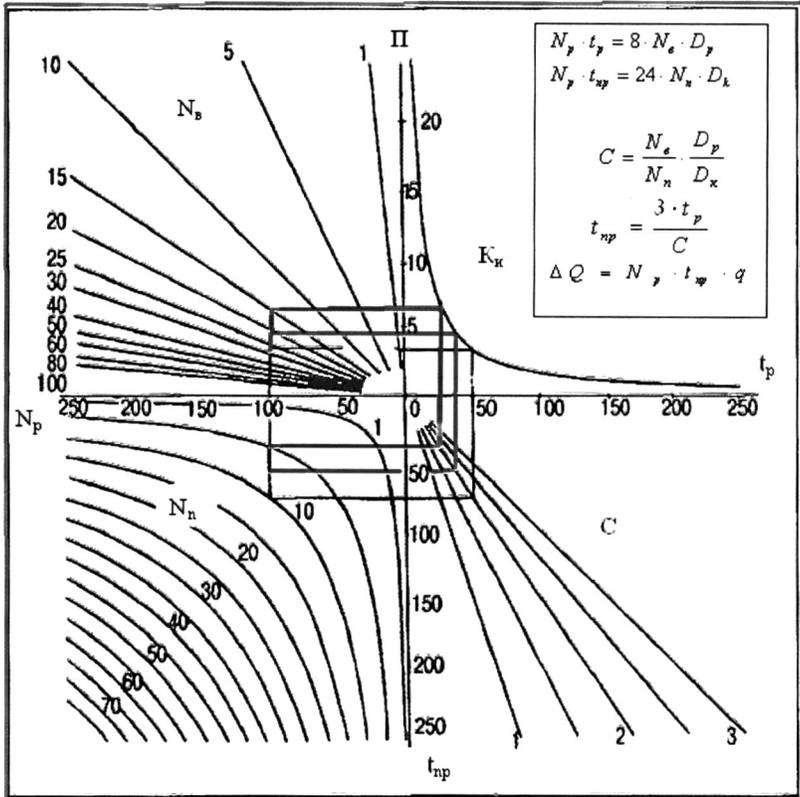


Рисунок 1 - Номограмма для оптимизации, анализа и оценки производства ремонта скважин.

N_p – заданное количество скважино-ремонтов;

N_n - потребное количество вахт для производства заданного количества скважино-ремонтов;

N - потребное количество рабочих подъемников;

t - продолжительность скважино-ремонта, час;

t - время пребывания скважины в ремонте, час;

Π – производительность труда бригады ремонта скважин, рем/вахту;

C - коэффициент сменности;

K_k - коэффициент использования рабочего времени;

D_k, D_p - соответственно количество календарных и рабочих дней в расчетном периоде;

q - дебит средней скважины;

ΔQ - упущенная добыча нефти из-за пребывания скважин в ремонте.

По мере развития канатно-кабельной технологии будет расширяться диапазон охвата ею ремонтных процессов КРС и время пребывания скважин в ремонте будет сокращаться.

Во второй главе описаны методика и стенды для проведения экспериментов по исследованию процесса формирования цементных мостов в скважине, устанавливаемых при помощи канатно-кабельных устройств; разработка и исследование методов предотвращения смешения тампонажного раствора со скважинной жидкостью при установке цементных мостов; исследование факторов, определяющих несущую способность цементного моста; исследование влияния взрыва, применяемого в качестве привода ряда канатно-кабельных устройств, на параметры тампонажных материалов и скважинных жидкостей.

Разобшение ствола скважины по ККТ обеспечивается доставкой в заданный интервал контейнерным устройством определенной порции тампонажного раствора. Тампонажный раствор изливается под действием перепада давления, обусловленного разностью плотностей раствора и скважинной жидкости, или принудительно вытесняется из загрузочной камеры. В обоих случаях происходит замещение скважинной жидкости тампонажным раствором в определенном объеме ствола скважины. Различные по физико-химическим свойствам жидкости вступают в контакт, в результате чего имеет место их взаимное перемешивание. Для исследования этого явления с целью нахождения мер по снижению его отрицательного влияния на качество цементного камня и эффективность разобшения ствола скважины разработана методика проведения исследований и сконструированы установки, моделирующие основные аспекты канатно-кабельной технологии.

Проведенными исследованиями установлено, что в момент излива тампонажной смеси из желонки на обеих границах раздела жидкого тампона и скважинной жидкости имеет место завихрение струй, стимулирующих их перемешивание. По окончании истечения водоцементной суспензии в скважину степень взаимного проникновения компонентов смеси в верхней части резко

снижается. Пограничный слой уплотняется и образуется четкая граница раздела, перемещение которой характеризует погружение верхней части моста.

В начальный момент в нижней части происходит быстрое падение фронтального слоя тампонажного раствора в скважинной жидкости. При этом образуется вихревое движение, развивающее поверхность контакта, через которую осуществляется массообмен (рис.2). В результате цементный раствор непрерывно разбавляется водой, увеличивается водоцементное отношение и изменяются параметры тампонажной смеси.

Скорость срыва пограничного слоя является одной из характеристик стабильности цементного раствора. Непрерывно срывающиеся с нижней границы раздела "цементный раствор-скважинная жидкость" струи формируют подвижную переходную зону с изменяющейся плотностью - от исходной плотности цементного раствора до плотности скважинной жидкости.

Скорость движения микротоков снижается по мере приближения к участкам с минимальной разностью плотностей. В динамике весь этот процесс представляет собой совокупность накладывающихся друг на друга линий тока, связанных с менее интенсивным движением ядра тампонажной смеси.

Его перемещение в среде пресной воды под действием гравитационных сил оказывает поршневое воздействие на поверхность раздела, вследствие чего имеет место проникновение воды через целик цементного раствора (рис.3, показано стрелкой). Установлено, что жидкие цементные мосты в зависимости от типа скважинной жидкости погружаются с начальной скоростью от 2,2 до 90 м/ч (рис.4).

Независимо от типа скважинной жидкости погружение жидкого цементного тампона более чем на величину своей исходной высоты вызывает полную потерю его первоначальных свойств.

Изменение водоцементного отношения исходной тампонажной смеси влияет на процесс гидратации, в результате чего меняется количество связанной воды в образующемся цементном камне, его плотность и прочность. Для

определения текущего водоцементного отношения при смешении со скважинной жидкостью найдена зависимость:

$$(BЦ) = \rho_{ж}(n-1) \left[\frac{1}{\rho_{ц}} + \frac{(BЦ)_1}{\rho_{в}} \right] + (BЦ)_1 \quad (2.1)$$

где $(BЦ)_1$ - исходное водоцементное отношение цементного раствора,

$\rho_{ж}, \rho_{ц}, \rho_{в}$ - плотность скважинной жидкости, цемента и воды затворения,

n - отношение текущего объема тампонажной смеси к ее первоначальному объему.

Установлено, что прочность цементного камня на изгиб в зависимости от водоцементного отношения описывается формулой:

$$\sigma_u = A \cdot (BЦ)^m \quad (2.2)$$

где A и m - численные коэффициенты, находятся опытным путем для каждого конкретного вида цемента;

σ_u - прочность камня на изгиб, МПа.

На основании проведенных исследований формирования мостов разработаны методы предотвращения перемешивания тампонажной смеси со скважинной жидкостью. Это может достигаться созданием в нижней части жидкого тампона пробки из материалов, способных быстро загустевать, и, тем самым, препятствовать погружению и размыву еще не затвердевшей тампонажной смеси. В качестве ускорителя сроков схватывания при этом может использоваться раствор хлористого кальция. Оптимальный структурирующий эффект дают смеси с объемной концентрацией хлористого кальция близкой к 10%. При этом сроки схватывания сокращаются в 1,2 ÷ 3 раза. В качестве материалов, способных быстро загустевать, предложен ряд реагентов (жидкое стекло, фенолят натрия) Самым надежным способом предотвращения перемешивания тампонажной смеси со скважинкой жидкостью является применение разделительных манжетных пробок (РМП), выполняющих роль искусственного забоя, на который изливается цементный раствор. Этот способ реализован в тампонажном снаряде [8], который в работе зарекомендовал себя лучшим образом.

Отмеченные исследования явились отправным пунктом в разработке метода определения несущей способности цементных мостов, устанавливаемых в скважинах при помощи канатно-кабельных устройств. Произведена сравнительная оценка действующих на цементный мост напряжений (рис.5) при изменении его геометрических размеров (высоты h и диаметра D): от $h < D$ (цементная пластина) до $h > D$ (цементный мост).

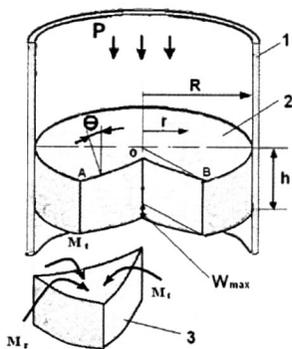


Рисунок 5 - Расчетная схема цементного моста.

- 1 – обсадная колонна; 2 – цементный мост;
 3 – фрагмент цементного моста с действующими моментами изгиба в окружном и радиальном направлениях.

P – распределенная нагрузка (давление);

M_r – изгибающий момент в окружном направлении;

M_t – изгибающий момент в радиальном направлении;

W_{max} – максимальный прогиб ($r = 0$);

θ - угол изгиба.

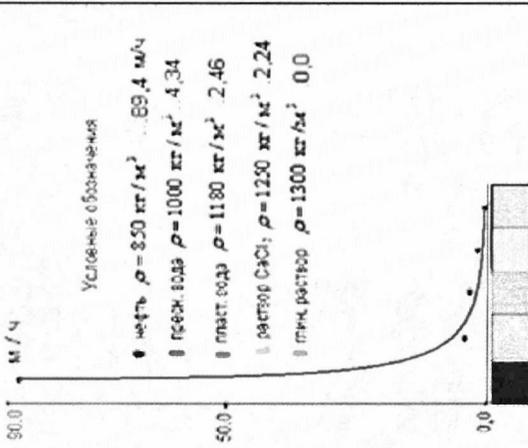
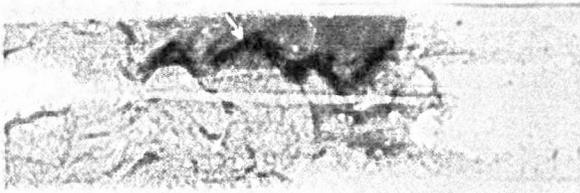
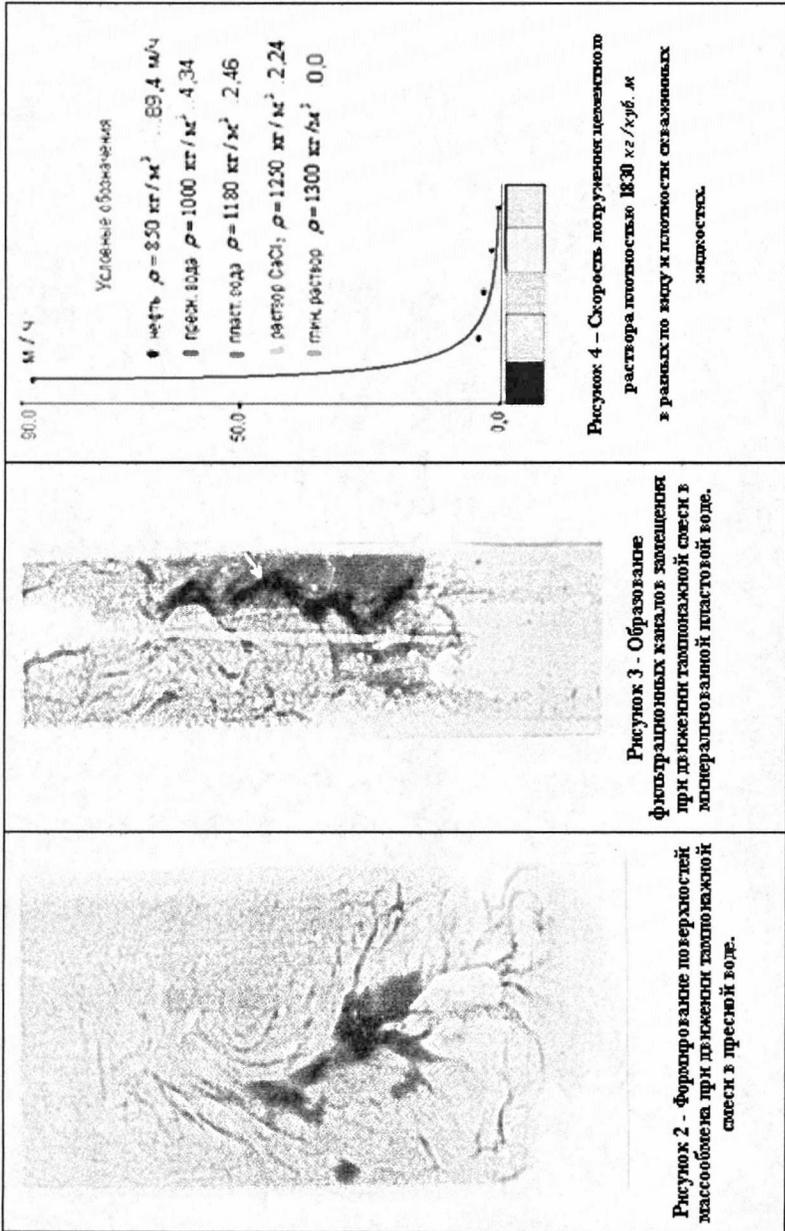


Рисунок 4 - Скорость движения элементов раствора по отношению к скорости 1000 кг/м^3 в равных по вязкости средах.

Дифференциальное уравнение изгиба круглой равномерно нагруженной пластины имеет вид:

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} (r, \theta) \right] = -\frac{Pr}{2D} \quad (2.3)$$

где r - текущий радиус;

θ - угол поворота между нормалью к изогнутой поверхности и осью симметрии;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad \text{- цилиндрическая жесткость пластины при изгибе;}$$

E - модуль упругости цементного камня ($E = 15 - 40$) $\cdot 10^3$ МПа;

μ - коэффициент Пуассона ($\mu = 0,13 - 0,22$).

Последовательно интегрируя уравнение (2.3) с учетом граничных условий находим уравнения прогиба (2.4) и угла поворота пластины (2.5):

$$v = \frac{P}{64D} (R^2 - r^2)^2 \quad (2.4), \quad \theta = -\frac{Pr}{16D} (R^2 - r^2) \quad (2.5)$$

Связь между изгибающими моментами в радиальном (M_r) и окружном (M_t) направлениях и углом θ представляется зависимостями:

$$M_r = D \left(\frac{d\theta}{dr} + \mu \frac{\theta}{r} \right), \quad (2.6) \quad M_t = D \cdot \left(\frac{\theta}{r} + \mu \cdot \frac{d\theta}{dr} \right) \quad (2.7)$$

Подставляя в данные уравнения значения θ , находим моменты изгиба, затем соответствующие напряжения на поверхности пластины:

$$\sigma_i = \frac{6M_i}{h^2} \quad (2.8)$$

Максимальное напряжение будет у контура защемления ($r = R$):

$$\sigma_{\pi} = 0,75P \left(\frac{R}{h} \right)^2 \quad (2.9)$$

Предельное давление, при котором на контуре пластины возникают напряжения, равные $[\sigma_{\pi}]$, находим из выражения (2.9):

$$P_{\pi} = \frac{[\sigma_{\pi}]}{0,75} \left(\frac{h}{R} \right)^2 \quad (2.10)$$

Графически данная зависимость при $[\sigma_{\pi}] = 2,6$ МПа показана на рис. 6.

С другой стороны, согласно расчетной схемы моста $[\tau] \geq \frac{\pi R^2}{2\pi R h} \cdot P_{cp}$, откуда предельное давление, при котором происходит сдвиг моста, будет равно:

$$P_{cp} = \frac{4 \cdot h}{D} \cdot [\tau], \quad (2.11)$$

Графически данная зависимость при $[\tau] = 1$ МПа показана на рис.6.

Из сопоставления графических зависимостей напряжений следует, что точка их пересечения (А) соответствует граничному значению h / D , выше которого преобладающим при определении несущей способности моста становятся напряжение сдвига (среза), а ниже – напряжение изгиба. Поскольку для реальных мостов, устанавливаемых канатно-кабельным методом, $h / D > 1$, то расчет их следует производить на сдвиг (срез). Сущность расчета заключается в определении минимальной высоты моста, отвечающей предельному давлению:

$$h = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\tau]} \quad (2.12)$$

В реальных условиях внутренняя поверхность обсадной колечны смочена скважинной жидкостью (нефтью, водой, эмульсией), покрыта пленкой парафина, из-за чего резко снижается величина удельной несущей способности моста, что в свою очередь требует увеличения высоты цементного моста.

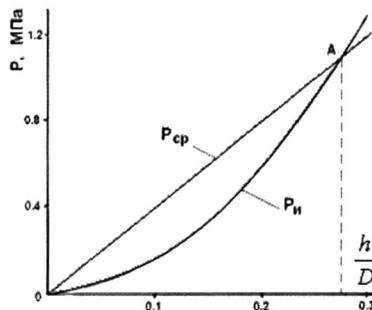


Рисунок 6 – Изменение допустимого давления на мост в зависимости от соотношения его высоты и диаметра

$P_{и}$ - разрушающее давление при изгибе;
 $P_{ср}$ – разрушающее давление при сдвиге.

В целях определения влияния скважинной жидкости и состояния поверхности сцепления цементного камня с металлом на величину $[\tau]$ был проведен ряд опытов на натуральных образцах обсадных труб диаметром 114, 127 и 168 мм.

Для приготовления тампонажного раствора использовался цемент Стерлитамакского ПО "СОДА".

В качестве скважинной жидкости применялись пластовая минерализованная и пресная вода. Была сконструирована установка и разработана методика по проведению исследований. Источником давления служил стенд испытания НЦ-108 форсунок дизельного двигателя. Образец обсадной трубы с предварительно установленной внутри разделительной манжетной пробкой заполнялся скважинной жидкостью. Затем в среде скважинной жидкости на разделительную манжетную пробку изливался тампонажный раствор.

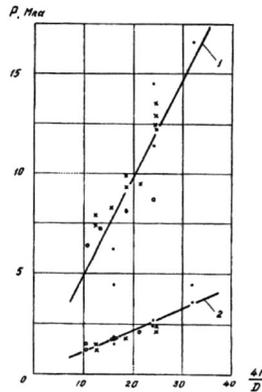


Рисунок 7 - Зависимость допустимого давления на цементный мост от его геометрических размеров и скважинной жидкости.

1 – минерализованная пластовая вода;
2 – нефть.

Условные обозначения диаметра эксплуатационной колонны:
 \bullet – 0,100 м; \times – 0,127 м; \circ – 0,168 м.

Цементная пробка после затвердевания в течении суток при нормальной температуре подвергалась воздействию вытесняемого усилия, создаваемого путем нагнетания насосом воды.

Максимальное давление, при котором происходило нарушение герметичности пробки, фиксировалось образцовым манометром, снабженным дополнительной стрелкой-регистром.

В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии для случаев установки мостов в трубах, заполненных пластовой водой (2.12) и в трубах, внутренняя поверхность которых предварительно обрабатывалась нефтью (2.13):

$$P_s = 0,5 \cdot \frac{4 \cdot h}{d} \quad (2.13)$$

$$P_n = 0,1 \cdot \frac{4 \cdot h}{d} \quad (2.14)$$

Коэффициент корреляции равен 0,8-0,9.

Графически эти зависимости представлены на рис.7.

При смоченной поверхности сцепления нефтью и парафином $[\tau]$ уменьшается в 5÷6 раз.

С учетом изложенного при вычислении высоты моста в формулу (2.14) необходимо вводить поправочный коэффициент $K = \frac{\tau_s}{\tau_n} = 5 \div 6$.

Исследование процесса замещения тампонажной смесью скважинной жидкости в момент установки моста контейнерными устройствами указало на необходимость внесения дополнительной поправки в его расчетную высоту. Это обусловлено тем, что скважинная жидкость, занимая "мертвый" объем V_m , значение которого для каждого контейнерного устройства является определенным, вовлекается в перемешивание, в результате чего эффективная высота моста уменьшается и, следовательно, снижается его несущая способность. На основании этого определены поправочные коэффициенты, корректирующие расчетную высоту моста с учетом потерь цементного раствора, обусловленных перемешиванием.

Исходя из наиболее неблагоприятных условий в нефтепромысловой практике разобщающие мосты следует устанавливать высотой не менее 7,5 м.

Применение энергии взрыва в качестве привода ряда технических устройств канатно-кабельной технологии потребовало проведения исследования воздействия его на параметры тампонажных материалов и скважинных жидкостей.

Разработанная совместно с А.М.Клевым методика исследования основывается на известных положениях теории взрыва. Эксперименты проводились при помощи специально разработанных взрывных камер. Установлено, что удельная поверхность обработанного взрывом цементного порошка увеличивается в зависимости от величины заряда. Увеличение удельной поверхности обуславливает более плотную упаковку частиц твердой фазы и ускорение реакции гидратации. Повышение дисперсности цементного порошка также приводит к улучшению фильтруемости цементных растворов, снижению их водоотдачи, повышению антикоррозийных свойств и прочности камня.

Экспериментальными исследованиями доказано, что взрывной метод, применяемый для привода ряда канатно-кабельных устройств, не оказывает отрицательного влияния на параметры тампонажного раствора и скважинных флюидов

В третьей главе освещаются разработки комплекса технических средств и методов канатно-кабельной технологии КРС. На основании анализа структуры отдельных видов работ и процессов КРС определены технологические операции, выполнение которых на данном этапе возможно канатно-кабельными методами.

Классификация разработанных технических средств канатно-кабельной технологии для производства технологических операций при КРС приведена на рисунке 8.

Анализ применения канатно-кабельных устройств использованием специальной техники (насосных агрегатов, автоцистерн, цементосмесителей)

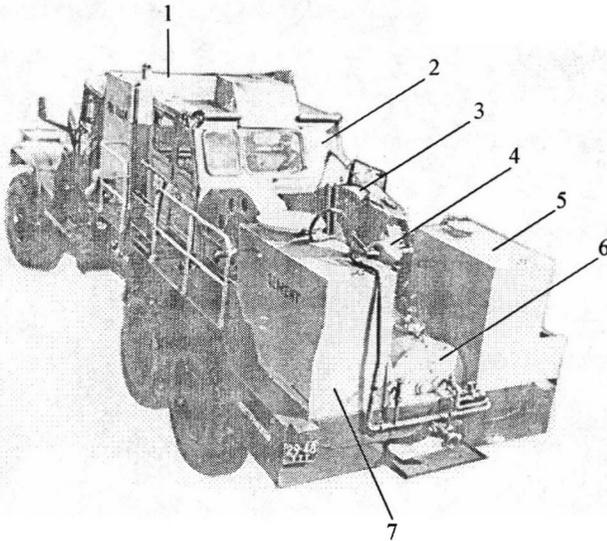


Рисунок 9 - Агрегат канатно-кабельных методов КРС.

(экспонировался на ВДНХ СССР, отмечен серебряной медалью)

- 1 – емкость для технической воды;
- 2 – пульт управления;
- 3– однобарабанная лебедка с кабелеукладчиком;
- 4 – шнековый механизм;
- 5 – емкость для реагентов;
- 6 – механическая мешалка;
- 7 – емкость для цемента.

База агрегата.....	автомобиль высокой проходимости КРАЗ-255Б
Объем смесительной емкости, м ³	0,4
Плотность приготавливаемого раствора, кг/м ³	до 2000
Время приготовления, мин.....	15-20
Частота вращения вала мешалки, об/мин.....	до 65
Объем емкости для технологич. жидкости, м ³	2
Объем емкости для реагента, м ³	0,8
Объем бункера для цемента, м ³	0,8
Тяговое усилие лебедки, кН.....	80

указал на необходимость разработки специального агрегата канатно-кабельных методов, совмещающего в себе функции перечисленной техники.

При участии автора были разработаны агрегаты АКМ-1, АКМ-2, АЭМРС (рис.9). Создание указанных агрегатов послужило основой для разработки институтом "ТАТНИИНЕФТЕМАШ" агрегата установки мостов АУМ и агрегата изоляционных работ АИР-2500.

Разработаны "Инструкция по изоляции вод контейнерной доставкой тампонирующих материалов на забой скважины" [11] и "Оптимальная технология ремонтно-восстановительных работ в скважинах с применением кабельно-контейнерной системы" (РД 39/02-0147585-009-87) [14].

В четвертой главе освещаются результаты промышленного внедрения канатно-кабельной технологии КРС и рассчитывается ее экономическая эффективность.

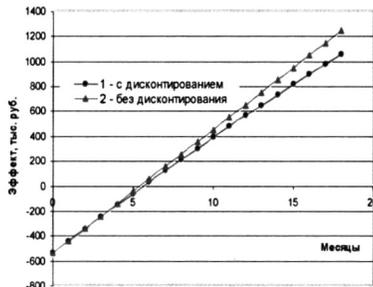


Рисунок 10 - Окупаемость инвестиций в послеремонтный период работы скважины.

В результате теоретических исследований автором получена зависимость экономической эффективности инвестиций, вкладываемых в ремонт конкретной скважины, от организационных, технических и экономических показателей:

$$\mathcal{E}_n = \left\{ \frac{\alpha_1(\alpha_n - 1)}{\alpha_1 - 1} \sum_{i=1}^n D_k - \left[\frac{S_p}{(q_2 - q_1)(p - v)} + \frac{3 \cdot t_p \cdot q_1}{C \cdot (q_2 - q_1)} \right] \right\} (q_2 - q_1)(p - v) \quad (4.1)$$

Данная зависимость показывает (рис.10), что с уменьшением продолжительности скважино-ремонта (t_p) - за счет внедрения канатно-

кабельной технологии КРС – сокращается срок окупаемости затрат в послеремонтный период эксплуатации скважины.

Определена экономическая эффективность канатно-кабельных методов по видам работ путем сравнения затрат на выполнение работ трубными и канатно-кабельными методами с учетом дополнительной добычи за счет сокращения времени пребывания скважин в ремонте.

Экономический эффект за 2006 год по ОАО "Татнефть" от внедрения канатно-кабельной технологии КРС составил 21.2 млн. руб.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлена взаимосвязь базовых технико-экономические показателей, раскрывающая эффективность внедрения экспресс-методов ремонта скважин. Построена номограмма, позволяющая оптимизировать производство ремонта скважин и эффективно управлять им, как на основе трубной, так и канатно-кабельной технологий.
2. Исследованы процесс установки разделительного цементного моста в заданном интервале скважины желонкой и механизм его формирования. Определено, что жидкие мосты погружаются с начальной скоростью от 2,2 до 90 м/ч в зависимости от вида скважиной жидкости.
3. Разработан метод определения гарантированной несущей способности цементного моста, устанавливаемого канатно-кабельным способом. Определено, что высота моста в нефтяных скважинах должна быть не менее 7,5 м.
4. Разработаны, испытаны и внедрены технические средства и методы канатно-кабельной технологии КРС, включая специальные агрегаты.
5. Исследовано влияние взрыва, применяемого в качестве источника энергии привода ряда канатно-кабельных устройств, на параметры цемента, буровых растворов и нефти.
6. Предложены формулы для прогнозирования параметров цементного камня в зависимости от водоцементного отношения.

7. Издано учебное пособие «Канатно-кабельная технология капитального ремонта скважин» и ряд руководящих документов по канатно-кабельным методам, получено 23 авторских свидетельства и патента на изобретения.
8. Получена зависимость эффективности инвестиций, вкладываемых в ремонт конкретной скважины, от сокращения времени ремонта скважины за счет внедрения канатно-кабельной технологии.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Сливченко, А.Ф. Совершенствование некоторых видов ремонтных работ в скважинах [Текст] / Клеев А.М., Шерман Е.С. Сливченко А.Ф.// Научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство», № 9.- М, 1976 .- С. 68-71.
2. Сливченко, А.Ф. Исследование забоя скважин печатями, спускаемыми на кабеле [Текст] / А.М. Клеев, А.Ф. Сливченко, Ф.Ш. Сулейманов // Реферат. научно-техн. сб «Нефтепромысловое дело».- М:ВНИИОЭНГ, 1977.- С.30-33.
3. Сливченко, А.Ф. Желонка с генератором давления [Текст] / Садыков И.Ф., Фролов Г.П., Сливченко А.Ф., Садыков М.И., Загиров М.М.// Научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство», № 4 .- М,1984 .- С.68-69.
4. Сливченко, А.Ф. Организация производства ремонта скважин [Текст]/ Ш.Ф.Тахаудинов, А.Ф. Сливченко, М.Ш. Залытов // Научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство», № 7 .- М, 1998 .- С.40-42.
5. Взрывная тампонажная желонка [Текст]: авт. св. № 618983 СССР : М. Кл.2 Е 21 В 33/132 / Р.Т. Булгаков, Р.А.Максутов, А.М. Клеев, И.Г. Юсупов, М.Х. Гильманов, А.Ф. Сливченко, А.С.Калимуллин, А.Г.Гарифуллин; заявитель Альметьевское управл. по капит. рем. скв. и повышению нефтеотдачи пластов - № 2098801/22-03 ; заявл. 20.01.75; опубл.[ДСП].
6. Устройство для подачи реагентов в скважину [Текст]: авт. св. № 579809 СССР : М. Кл. 2 Е 21 В 43/00 / Р.Т. Булгаков, Р.А. Максупов, А.М. Клеев, А.Ф. Сливченко, М.Х. Гильманов, И.Г. Юсупов, А.А. Баздырев; заявитель Альметьевское управл. по капит. рем. скв. и повышению нефтеотдачи пластов.- № 2148486/22-03; заявл. 18.06.75; опубл.[ДСП].

7. Пакер [Текст] : авт. св. № 659725 СССР : Е 21 В 33/32 / А.Ф. Сливченко, В.И. Комягин; заявитель Альметьевское управл. по капит. рем. скв. и повышению нефтеотдачи пластов.- № 2374842/22-03; заявл. 21.06.76; опубл. 30.04.79, Бюл. № 16.
8. Тампонажный снаряд для установки мостов в скважинах [Текст]: авт св. № 1234590 СССР (пат. 1234590 Рос. Федерация, зарегистр. 21.10.93) : Е 21 В 33/14 33/132 / А.Ф. Сливченко, Т.С. Камильянов, Р.Г. Гинатуллин; заявитель и патентообладатель Альметьевское управл. по капит. рем. скв. и повышению нефтеотдачи пластов.- № 3796409/22-03 ; заявл. 29.09.84; опубл. 30.05.86, Бюл. № 20.
9. Устройство для очистки забоя скважины [Текст]: авт. св. 874964 СССР : М. Кл.³ Е 21 В 21/100, Е 21 В 23/00 / А.Ф. Сливченко, Б.Т. Лотфуллин, А.П. Демчук ; заявитель Альметьевское управл. по капит. рем. скв. и повышению нефтеотдачи пластов.- № 2884780 / 22-03; заявл. 07.01.80; опубл. 23.10.81, Бюл. № 39.
10. Гидравлическое устройство для измерения периметра внутренней поверхности обсадной колонны [Текст]: авт. св. № 1420362 СССР (пат. 1420362 Рос. Федерация, зарегистр. 21.10.93); G 01 В 13/10 / А.Ф. Сливченко, Т.С. Камильянов Р.Г. Гинатуллин, М.Г. Хуснетдинов; заявитель и патентообладатель Альметьевское управл. по капит. рем. скв. и повышению нефтеотдачи пластов .- № 3954226/25-28; заявл. 07.06.85; опубл. 30.08.88, Бюл. № 32.
11. Сливченко, А.Ф. Инструкция по изоляции вод контейнерной доставкой тампонирующих материалов на забой скважины [Текст] / Р.Т. Булгаков, Р.А. Максутов, А.М. Клеев, А.Ф. Сливченко, А.С. Калимуллин, В.Н. Каменев, М.Т. Бьков, И.Г. Юсупов, А.Ш. Газизов // Бугульма: ТатНИПИнефть, 1975 - 39 с.
12. Сливченко, А.Ф. Оборудование для ремонта скважин [Текст] /А.Ф. Сливченко // Реферат. научно-техн. сб., Серия «Машины и нефтяное оборудование».- М:ВНИИОЭНГ, 1980.- вып. 7.- С.9-12.
13. Сливченко, А.Ф. Эффективность внедрения канатно-кабельной технологии при ремонте нефтяных скважин [Текст] / А.Ф.Сливченко // Сб. тезисов докладов научн.-техн. конфер. по повышению эффективности ремонта

- скважин на нефтяных месторождениях Татарии.- Альметьевск: ПО «Татнефть»: Татарское областное правление НТО, 1984.- С.54-57.
14. Сливченко, А.Ф. Оптимальная технология ремонтно-восстановительных работ в скважинах с применением кабельно-контейнерной системы [Текст]: РД 39/02 – 0147585 – 009 – 87: Утв. ПО «Татнефть» / А.М. Клеев, А.В. Козлов, К.С. Смеркович, Э.В. Смирнов, А.Ф. Сливченко, Р.Ф.Латыпов, Г.С. Каримов // Бугульма: ТатНИПИнефть, 1987.- 45 с.
15. Сливченко, А.Ф. Пути повышения эффективности ремонта скважин в условиях рыночной экономики [Текст] / Ш.Ф. Тахаутдинов, А.Ф. Сливченко, М.Ш. Зяятов // Альметьевск: АГНИ: Сб. «Ученые записки», Т.2, 2004.- С.70-74.
16. Сливченко, А.Ф. Канатно-кабельная технология капитального ремонта скважин [Текст]: Учебное пособие для вузов по подготовке специалистов-нефтяников / А.Ф.Сливченко, Ш.Ф. Тахаутдинов //Альметьевск: АГНИ, 2004.- 220 с.
17. Сливченко, А.Ф. Моделирование установки разделительных мостов в скважине канатно-кабельным методом [Текст] / А.Ф. Сливченко // Альметьевск: АГНИ: Сб. «Материалы научной сессии ученых по итогам 2006 года», 2007.- С.69-73.
18. Сливченко, А.Ф. Исследование технико-технологических факторов канатно-кабельной технологии капитального ремонта скважин [Текст] / Сливченко А.Ф., Клеев А.М. // Альметьевск: АГНИ: Сб. «Ученые записки», Т.6, 2008.- С.10-27.

Подписано в печать 16.10.2008 г.

Формат 60x84/16

Печать RISO 1,75 уч.-изд.л. 1,9 ус.печ.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 91

ТИПОГРАФИЯ
АЛЬТЕТЬЕВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
НЕФТЯНОГО ИНСТИТУТА
423452, Татарста, г.Альметьевск, ул.Ленина, 2