

Адрес редакции: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.
«Нефтегазовое дело» e-mail: info@ngdelo.ru, http://www.ngdelo.ru

Учредитель журнала:
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной технический
университет



Редколлегия

Р.Н. Бахтизин — главный редактор
А.С. Верещагин
А.И. Владимиров
А.Г. Гумеров
Р.А. Исмаков

Н.Н. Карнаухов
И.Р. Кузеев. — отв. редактор
С.Е. Кутуков
А.Р. Латыпов
Ю.Г. Матвеев

М.Н. Рахимов
Р.Г. Ризванов
С.М. Султанмагомедов
Г. Такач
К.Р. Уразаков
М.М. Хасанов

А.Р. Хафизов
М.Х. Хуснияров
Н.Д. Цхадая
А.М. Шаммазов

Редакционно-издательский отдел

М.Л. Ахмадуллин
Т.С. Макарова
Р.Ш. Катанов
Р.Н. Аскарлов

Ю.Н. Савичева
С.Г. Утляков
Р.Ш. Абдеев

Адрес издательства

450055, г. Уфа, Пр. Октября, 144/3, «Нефтегазовое дело». Тел.: (347) 284-39-49.
Тираж 1000 экз. Формат 60×84 1/8.

Договор с РИНЦ 04-03/09 А от 04.03.2009
Свидетельство о регистрации средств массовой информации;
ПИ №77-14-085 от 29.11.2002.
Подписной индекс в общероссийском каталоге «Роспечать» 36443
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» 41215

РАЗРАБОТКА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ш.П.Кязымов Новые усовершенствованные скважинные штанговые насосы	11
М.И. Курбанбаев, М.В. Рыкус Новый технологический процесс утилизации жидких отходов при подготовке нефти на месторождении Узень	16
Ю.А. Котенев, А.П. Чижев, А.В. Чибисов, Ш.Х. Султанов, О.В. Терехов, В.Е. Андреев, С.А. Попов, Ш.С. Галимов Комплексирование методов увеличения нефтеотдачи в условиях высокотемпературных низкопроницаемых пластов 5	24

СБОР, ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

А.Р. Валеев, Г.Е. Коробков, В.Я. Саньков Экспериментальное исследование виброизолятора малой жесткости для защиты нефте- и газоперекачивающих агрегатов	29
Д.Д.Х. Наваррете, Ф.М.Мустафин Способ прокладки подземных трубопроводов в сейсмических районах	34
8 А.С. Тюсенков, Д.В. Кононов, Д.Е. Бугай, А.Б. Лаптев Оценка возможности применения пав для снижения подкисления нефти при перекачке водонефтяной эмульсии по трубопроводам	38

МАШИНЫ И АППАРАТЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

В.В. Шаяхметов, Р.Г. Абдеев Методология повышения надежности машин и оборудования нефтегазового комплекса на основе реорганизации процесса его эксплуатации	41
М.З. Ямилев, А.А. Гиззатуллин, О.А. Макаренко Расчет напряженно-деформированного состояния узла «труба-трубная решетка» при различных способах приварки трубок	47
И.В. Прахов, М.Г. Баширов, А.В. Самородов Исследование взаимосвязи режимов работы и характерных повреждений насосно-компрессорного оборудования с параметрами генерируемых двигателем электрического привода высших гармонических составляющих токов и напряжений	50

ЭКОЛОГИЯ И ПРОМБЕЗОПАСНОСТЬ

М.Е. Волкова, Р.Г. Ризванов, А.Н. Зотов Сейсмозащита технологических трубопроводов нефтеперерабатывающих заводов	55
О.А. Гареева, М.З. Ямилев, А.В. Лягов, П.В. Климов Повышение безопасности эксплуатации трубопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию	58
А.М. Козлитин, П.А. Козлитин Модели поражающего воздействия при пожарах разлива на мазутных резервуарах ТЭЦ	62

ПРИКЛАДНЫЕ И АКАДЕМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ю.А. Миключев, А.А. Гизатов, М.Н. Рахимов, О.А.Баулин Разработка эффективных реагентов для флотации углей	66
А.М. Файрушин, Д.В. Каретников, А.М. Салмин, Дж.А. Хаддад О влиянии параметров вибрационной обработки на свойства металла сварного соединения	70
Осман Бурхан Абд Аль Мажид, И.М. Колесников, Н.А. Сваровская Изменения эксплуатационных свойств товарных бензинов при хранении	76
И.Р. Кузеев, Е.В. Пояркова, Е.А. Наумкин Взаимосвязь механического поведения разнородных сварных соединений с морфологией их усталостных изломов	80
Р.Р. Гумеров, М.Н. Рахимов, В.В. Рагулин Сравнительный анализ технологий по предупреждению и удалению АСПО и матрица их применения на месторождениях ОАО «Газпром нефть»	87
В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев, А.Р. Валишин, М.К. Плеханов Напряжения на нефтеперекачивающих станциях	91

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

А.Д. Назыров, О.А.Баулин, Д.А. Ахмедзянов, Р.М. Мазитов, Е.А. Удалова Инновационное образование в технических вузах: прошлое и настоящее	95
--	----

ГУП НИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РБ



Отдел аналитической химии ГУП НИИ БЖД РБ, аккредитован Госстандартом России (Аттестат аккредитации испытательной лаборатории № РОСС. RU. 00001.510049)

Исследование проб неизвестного состава:

- хромато-масс-спектрометрическим методом;
- газовой хроматографией;
- атомно-абсорбционной спектрофотометрией;
- ИК-спектрометрией.

Разработка нормативной документации:

- разработка и внедрение методик количественного химического анализа для контроля за состоянием окружающей среды предприятия;
- подготовка отчетов для веществ в рамках регламента ЕС REACH.

Комплексное обследование загрязнения вредными веществами:

- природных и сточных вод;
- атмосферного воздуха;
- почв;
- донных отложений;
- отходов производства и потребления.

Экологическое обследование атмосферного воздуха:

- проведение замеров, измерений, анализов на источниках выбросов и на границах санитарно-защитных зон;
- определение параметров газопылевых потоков;
- оценка эффективности работы пылеулавливающих и газоочистных установок и их паспортизация.

Экология жилища:

- Проведение замеров на содержание паров ртути;
- Проведение измерений на содержание органических загрязнителей (формальдегид, бензол, толуол, фенол и др.).

Отдел промышленной экологии

Разработка проектной и рабочей документации:

- для полигонов твердых бытовых и промышленных отходов;

- установки переработки и обезвреживания отходов;
- по ликвидации объектов размещения отходов;
- по рекультивации техногенно нарушенных и загрязненных земель и объектов размещения отходов.

Разработка технологии рекультивации.

Разработка раздела «Мероприятия по охране окружающей среды».

Согласование проектов, авторский надзор.

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Имеется свидетельство СРО-П-РБ-0712 о допуске к определенному виду или видам работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства.

Отходы:

Исследование состава отходов, паспортизация отходов. Определение класса опасности отходов для окружающей среды и здоровья человека.

Разработка проекта нормативов образования отходов, лимитов на их размещение (ПНООЛР).

Подготовка документов на получение лицензии на осуществление деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, размещению отходов.

Разработка паспортов безопасности вещества.

Водные объекты:

Разработка проекта нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ и микроорганизмов со сточными водами (НДС).

Разработка проектов зон санитарной охраны питьевых водозаборов (ЗСО).

Моделирование процессов очистки сточных вод.

Разработка технологии очистки сточных вод.

Разработка проектной и рабочей документации для объектов:

- очистные сооружения;
- проливневая канализация;
- дренажные системы;

Согласование проекта, авторский надзор.

Промышленные выбросы и физические факторы воздействия:

Проведение инвентаризации источников выбросов.

Проведение замеров пылегазоочистного оборудования (ПГО). Составление паспортов на ПГО.

Разработка и согласование проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ).

Разработка и согласование проекта санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия.

Разработка мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ.

Проведение расчетов по физическим факторам воздействия.

Разработка мероприятий по снижению физического воздействия.

Отдел геоинформационных технологий

Анализ рисков и промышленная безопасность:

- разработка:
 - ПЛИАС;
 - ПЛИАРН;
 - декларации промышленной безопасности предприятия;
 - паспорта безопасности;
- услуги по разработке разделов прогнозирования опасных и аварийных ситуаций на объектах экономики.

Создание трехмерных моделей:

- создание трехмерных моделей технологических процессов и оборудования;
- разработка тренажерных комплексов для предприятий.

Геоинформационное обеспечение:

- создание и ведение массива мультимасштабных электронных карт;
- создание муниципальных ГИС, ГИС уровня предприятия;
- внедрение и интеграция ГИС ресурсов в бизнес процессы предприятия;
- мониторинг состояния водных объектов.

Отделом особо охраняемых природных территорий регулярно проводится:

- инвентаризация особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан;
- оценка ущерба растительному и животному миру;
- оценка экономического ущерба от заболеваемости населения, вызванного загрязнением окружающей среды;
- оценка рекреационной емкости и эколого-экономическая оценка перспектив рекреационной деятельности;
- разработка и эколого-экономическая оценка туристических и экскурсионных маршрутов на особо охраняемых и других природных территориях.

Ведется Государственный кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан.

Разрабатываются проекты освоения лесов для различных рекреационных объектов (базы отдыха, детские оздоровительные лагеря, санатории, курорты и т.д.).

ГУП НИИ БЖД РБ на базе собственного цеха утилизации промышленных и бытовых отходов осу-

ществляет деятельность по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, размещению отходов I-IV классов опасности на основании лицензии Ростехнадзора № ОП-41-00276.

Отходы, принимаемые отделом по обращению с опасными отходами на обезвреживание от сторонних организаций

Отходы потребления:

- аккумуляторы свинцовые отработанные неповрежденные, с не слитым электролитом;
- отработанные картриджи от оргтехники;
- оргтехника, электронное и офисное оборудование, потерявшее потребительские свойства;
- шины пневматические отработанные.

Ртутьсодержащие:

- люминесцентные, бактерицидные и энергосберегающие лампы;
- медицинские и промышленные термометры;
- приборы ртутные (вентили, игнитроны, различные контактные приборы и т.д.);
- отходы металлической ртути.

Органосодержащие:

- отходы твердых производственных материалов, загрязненные нефтяными и минеральными жирами продуктами;
- шламы нефти и нефтепродуктов;
- отходы синтетических и минеральных масел отработанных;
- медицинские отходы;
- отходы фото- и киноплёнки.

Уважаемые руководители предприятий и организаций всех видов собственности, приглашаем Вас к взаимовыгодному сотрудничеству!



450005, г. Уфа, ул. 8 Марта, 12/1
 тел.: 8 (347) 228-39-10
 факс: 8 (347) 228-39-13
 e-mail: info@nii-bgd.ru
 www.nii-bgd.ru, ниибжд.рф

27–29 марта 2012



Комплекс специализированных выставок

«Нефть. Газ. Химия» «Горное дело» «Сибирский GEO-форум»

НОВЫЕ СТРАТЕГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ!



Международный
Выставочно-деловой центр
имени Карима Мураджана

г. Красноярск, ул. Авиаторов, 19,

тел.: (391) 22-88-616,

nedra@krasfair.ru, www.krasfair.ru

Научно-производственное объединение

«ОргНефтеГаз»

предлагает Вам
свои услуги
по выполнению
следующих видов работ:

- Полное техническое диагностирование и экспертиза промышленной безопасности стальных резервуаров РВС;
- Комплексное коррозионное обследование магистральных газо- и нефтепроводов, обследование системы электрохимзащиты на эффективность работы;
- Техническая диагностика, экспертиза промышленной безопасности технологических и вспомогательных нефтепроводов НПС и ГПС;
- Диагностика линейной части магистральных газо- и нефтепроводов;
- Техническое освидетельствование и экспертиза промышленной безопасности грузоподъемных механизмов, механо-технологического оборудования, запорной арматуры;
- Техническое диагностирование дополнительного оборудования;
- Неразрушающий контроль объектов нефтегазового комплекса;
- Комплексная зачистка резервуаров от нефтешламов с применением специального оборудования и новейших технологий на самых выгодных условиях и в кратчайшие сроки;
- Проектирование производственных объектов нефтегазового комплекса;
- Разработка проектно-сметной документации по реконструкции жилых многоквартирных и производственных зданий на территории Российской Федерации;
- Комплексные строительные-монтажные работы по строительству и ремонту объектов трубопроводного транспорта.

450 000, г.Уфа, ул. Цурюпы 85
тел./факс: (347) 272-61-25,
275-27-94,
E-mail: OrgNefteGaz@mail.ru



(лицензия по экспертизе промышленной безопасности № ДЭ-00-010116,
СРО по проектированию, СРО по строительству)

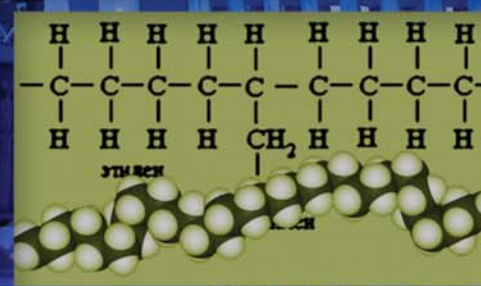


САЛАВАТНЕФТЕОРГСИНТЕЗ

традиции достижений - движение к лучшему!



Тел.: +7 34763 52803
http: www.snos.ru
E-Mail: snos@snos.ru
Сделано в России
Made in Russia
SNOLEN
СНОЛЕН



453256, Республика Башкортостан, г.Салават, ул.Молодогвардейцев, 30
Тел.: +7(3476) 39 21 09 Факс: +7(3476) 39 21 03 Телетайп: 350119 Победа
E-mail: snos@snos.ru www.snos.ru

- 1 нормативно-правовое и методическое обеспечение газораспределения и газопотребления
- 2 совершенствование финансового, административного, кадрового, технического менеджмента в газораспределительных организациях и региональных газовых компаниях
- 3 новые подходы к разработке схем газоснабжения регионов и городов: анализ эксплуатационных режимов, технические решения по модернизации и реконструкции газораспределительных сетей
- 4 инновационное проектирование объектов газораспределения и газопотребления: децентрализованное теплоснабжение, когенерация, использование газа в качестве моторного топлива
- 5 совершенствование системы учета и контроля поставок и потребления газа
- 6 научное и организационно-техническое сопровождение мероприятий по реализации положений киотского протокола в части фугитивной эмиссии метана
- 7 техническое диагностирование объектов газораспределения и газопотребления
- 8 экспертиза промышленной безопасности проектной документации, технических устройств, зданий и сооружений, деклараций промышленной безопасности
- 9 сварка металлических и полимерных труб: аттестация сварочных технологий, материалов, оборудования, специалистов и сварщиков
- 10 обучение, подготовка и повышение квалификации специалистов в области проектирования, строительства и эксплуатации объектов газораспределения и газопотребления
- 11 производство газового оборудования и приборной техники
- 12 полный комплекс строительно-монтажных и пусконаладочных работ по газификации: от комплектации до сдачи объекта «под ключ»



на правах рекламы

www.burintekh.com

 **БУРИНТЕХ**

Сотрудничество – ключ к успеху

НОВЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ СКВАЖИННЫЕ ШТАНГОВЫЕ НАСОСЫ

NEW MODIFIED OIL-WELL SUCKER-ROD PUMPS

Ш.П. Кязимов
НИПИ «Нефтегаз», ГНК,
Азербайджан

Sh.P. Kazimov
SRDI «Oil and gas»

Известно, что в настоящее время свыше 80% действующего фонда скважин эксплуатируется глубинно-насосным способом.

Это обусловлено, в основном, общим уменьшением пластовой энергии и падением пластового давления, нерентабельностью газлифтно-компрессорного способа, а также простотой конструкции насосной установки и несложностью ее обслуживания. В связи с этим, с целью нормализации работы насосной установки в статье рассмотрены 3 новых усовершенствованных типа скважинных насосов, уравнивающих нагрузку на головку балансира, штанговая насосная установка для глубоких скважин, а также насос с минимальным гидравлическим сопротивлением.

Предложенные конструкции скважинных насосов способствуют оптимизации глубинно-насосной эксплуатации в целом и росту добычи нефти.

It is known that at present than 80% of producing well stock is operated by sucker-rod pump method.

It is determined, generally, by total decrease of reservoir energy and formation pressure drop, unprofitability of gas lift compressor method of operation and also simple design of pump unit and simplicity of its service.

Therefore, in order to pump unit operation normalizing, 3 new modified types of well pump are considered in the article.

New types of pump decrease fluid leakage between ramming piston and chamber, set off the load on horsehead sucker-rod pumping unit for deep wells, and, as well, the pump with minimal hydraulic resistance.

Proposed constructions of bottom-hole pumps promote optimal bottom-hole pumping, in the whole, and oil production increase.

Ключевые слова: скважинный штанговый насос, утечки жидкости, конструкция, экономия металла, переменная нагрузка.

Key words: sucker-rod pump, fluid leakage, construction, metal saving, changing load.

Среди различных механизированных способов добычи нефти, применяемых в нефтедобыче, скважинные насосные способы занимают важное место. В настоящее время свыше 80% действующего фонда скважин эксплуатируется глубинно-насосным способом.

Наличие совершенного технологического штангового глубинно-насосного оборудования, позволяет поднять добычу нефти до нескольких сотен тонн в сутки.

На практике при использовании существующих СШНУ возникает ряд осложнений, которые приводят к снижению срока их службы [1].

С целью нормализации работы СШНУ и рационального использования потенциальных добывных возможностей нефтяных скважин были разработаны новые усовершенствованные скважинные штанговые насосы.

1. Вставной СШН, уравнивающий нагрузку на головку балансира станка-качалки

Скважинные штанговые насосные установки (СШНУ) состоят из скважинного насоса, штанговой колонны, насосно-компрессорной трубы, устьевого штока, сальника, подвески и привода, установленного над устьем скважины. Плунжер скважинного насоса приводится в возвратно-поступательное движение посредством штанговой колонны от привода. При ходе вверх и вниз подвески штанги, после окончания деформации штанговой колонны и труб, плунжер насоса приводится в соответствующее движение.

При откачке жидкости из скважины в подземной части насосной установки действуют следующие силы:

- статические силы столба жидкости, веса колонны штанг и труб;
- Архимедова сила, действующая на штанги, погруженные в жидкость, и уменьшающая вес штанг;
- силы инерции действующих масс штанг, труб и столба жидкости;
- силы трения.

Это происходит в основном из-за разности нагрузки в точке подвеса штанг при ходе вверх и вниз.

Для уравнивания нагрузки на головку балансира, уменьшения удлинения-сокращения колонны подъемных труб и штанг, обеспечения нормальной работы насоса и сохранения его произво-

дительности, разработан вставной штанговый насос[2], схема которого приводится на рисунке 1.

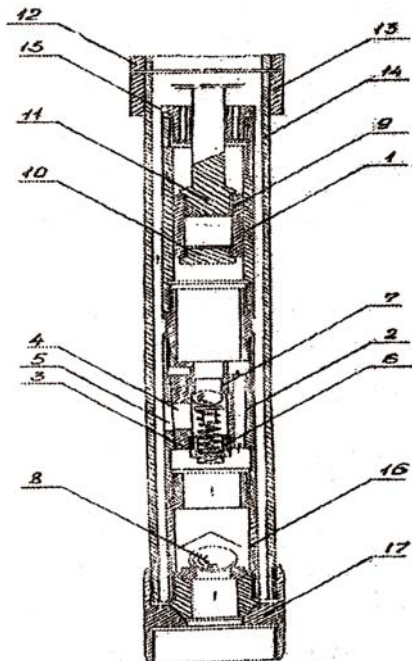


Рисунок 1. Скважинный штанговый насос, уравновешивающий нагрузку на головку балансира станка-качалки

Конструкция этого насоса такова, что при движении плунжера вверх-вниз нагрузка на колонну подъемных труб и штанг, а также на головку балансира меняется незначительно.

Насос в сборе состоит из двух узлов: верхнего — 18; нижнего — 16. К верхнему узлу 18 относится цилиндр-1, плунжер-9, пробка-10, шток-11 и центрирующий ниппель-15. К нижнему узлу 16 относится корпус нагнетательного клапана-2, тройник-3, пружина-6, седло-7, приемный клапан-8. Сбор и спуск насоса осуществляется в следующей последовательности.

К верхнему концу кожуха 14 из трубного насоса большего диаметра крепится переводник 13, а к нижнему концу — конусная муфта 17. Кожух 14 соединяется к концу насосно-компрессорных труб 12 и спускается в скважину до определенной глубины.

Верхний 18 и нижний 16 узлы насоса собираются отдельно в следующем порядке. В цилиндр 1 насоса вставляется плунжер 9, заглушенный пробкой 10 и штоком 11, соединенный к верхнему концу. Затем к верхнему концу цилиндра 1 крепят центрирующий ниппель 15 с отверстиями, которые дают возможность поступления жидкости из подъемника в полость цилиндра над плунжером при ходе вниз и, наоборот, при ходе плунжера вверх.

Вставной скважинный насос, уравновешивающий нагрузку на головку балансира станка-качалки

и снижающий деформацию штанг и труб, работает по следующему принципу: при ходе плунжера вверх открывается приемный клапан 8, и, ввиду того, что сила давления столба жидкости в НКТ и упругая сила пружины 6, действующие снизу на шарик нагнетательного клапана 2, прижимают его к седлу 7, закрывается отверстие нагнетательного клапана, и жидкость через проходные отверстия 4 в боках тройника 3 поступает в цилиндр. При движении плунжера вниз закрывается приемный клапан. Под действием давления, создаваемого жидкостью в цилиндре, шарик нагнетательного клапана отталкивается, и жидкость через отверстия 4 и 5 попадает в пространство между насосом и кожухом 14 и по подъемнику поднимается на поверхность.

Как видно из принципа работы насоса, при ходе плунжера вверх-вниз столб жидкости в подъемнике оказывает одинаковое давление как на трубы, так и на верхнюю часть плунжера. Именно из-за этого нагрузка, действующая на головку балансира, не меняется. Это же приводит к тому, что укорачивание-удлинение колонны труб и штанг не происходит, а также создаются условия для своевременного открытия-закрытия клапанов. По этой же причине производительность и коэффициент подачи насоса остаются постоянными.

Вставной скважинный насос имеет следующие положительные качества:

- Одинаковая нагрузка на головку балансира станка-качалки при ходе плунжера вверх и вниз;
- В результате одновременного открытия-закрытия приемного и нагнетательного клапанов, коэффициент наполнения насоса не меняется;
- Нет процесса удлинения-укорачивания подъемных труб и штанг;
- Нагрузка на электродвигатель при каждом ходе остается одинаковой, что приводит к увеличению срока его службы;
- Нет необходимости применения противовеса на станке-качалке, что приводит к значительной экономии металла.

2. Штанговая насосная установка для глубоких скважин с преобразующим механизмом в штанговой колонне.

Для добычи нефти из глубоких скважин с целью уменьшения нагрузки на подвески штанг СШНУ в конструкции колонны штанг авторами предложено применить преобразующий механизм[3] (рисунок 2). Колонна штанг делится на две части, и между этими частями устанавливается преобразующий механизм. Преобразующий механизм состоит из верхнего 3 и нижнего 5 гидроцилиндров с поршнями 4, 6. Гидроцилиндры 3 и 5 связаны между собой. При этом колонна насосно-компрессорных труб, независимо от глубины спуска насоса, собира-

ется со ступенчатыми диаметрами 114 и 89 мм, и преобразующий механизм на месте перехода устанавливается на седло. Шток 2 поршня 4 верхнего гидроцилиндра 3 закрепляется в нижнем конце колонны штанг 1, подвешенной на подвеске. От штока 7 поршня 6 нижнего гидроцилиндра 5 закрепляется верхний конец колонны штанг 8, на нижнем конце которой подвешен плунжер 9 скважинного насоса.

В крайнем нижнем положении подвески штанг оба клапана (приемный и нагнетательный) закрыты. При движении подвески штанг вверх, в момент окончания деформации колонны штанг, подвешенных на нем, начинают двигаться вверх поршень верхнего гидроцилиндра и вниз поршень нижнего гидроцилиндра, колонна штанг, подвешенных на нем, и плунжер насоса, при этом одновременно открывается нагнетательный клапан и вес жидкости полностью передается на трубы. Под тяжестью колонны штанг 8 с плунжерами 9 насоса опускается поршень 6 нижнего гидроцилиндра 5, и жидкость под ним перетекает под поршень 4 верхнего гидроцилиндра 3. На подвеске действует сила веса подвешенной на нем колонны штанг в жидкости и инерционные нагрузки от веса штанг

$$P_s = (P_{s2} + P_{s2}^i - P_{tr2} - P_{tr2}^i) - (P_{s1}$$

где P_{s2}, P_{s1} — вес колонны штанг в жидкости соответственно подвешенных на подвеске штанг и штока нижнего гидроцилиндра;

P_{s2}^i, P_{s1}^i — инерционные нагрузки веса колонны штанг;

P_{tr2}, P_{tr1} — силы трения в поршнях верхнего и нижнего гидроцилиндров;

P_{tr2}^i, P_{tr1}^i — силы трения в штоках верхних и нижних гидроцилиндров;

$P_{\lambda j}$ — местные гидравлические сопротивления рабочей жидкости.

Поршень 4 верхнего гидроцилиндра 3 движется вверх и одновременно поршень 6 нижнего гидроцилиндра 5 и плунжера насоса движутся вниз, это продолжается до достижения крайнего верхнего положения подвески штанг, где вся движущаяся система останавливается, и приемный клапан закрывается.

В начале хода вниз подвески штанг оба клапана (приемный и нагнетательный) закрыты. От тяжести колонны штанг 1, подвешенных на подвеске, опускается вниз поршень 4 верхнего гидроцилиндра 3, и рабочая жидкость под поршнем 4 верхнего гидроцилиндра 3 передается в межцилиндровое простран-

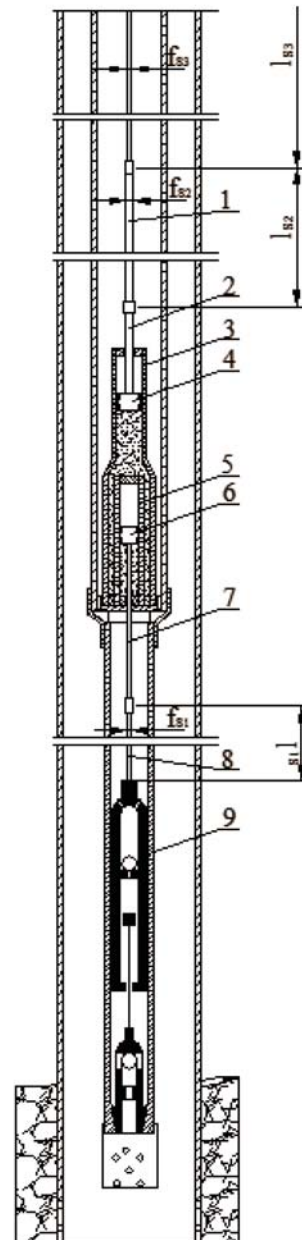


Рисунок 2. Скважинная штанговая насосная установка с преобразующим механизмом в штанговой колонне

ство под поршнем 6 нижнего гидроцилиндра 5, и от давления рабочей жидкости поршень 6 приводится в движение вверх. В начале движения вверх поршня 6 нижнего гидроцилиндра 5 оба клапана (приемный и нагнетательный) закрыты и нагрузка, создаваемая весом столба жидкости, передается на штангу 8, подвешенную на штоке 7 поршня 6 нижнего гидроцилиндра 5. Как только заканчивается деформация штанг 8 и труб, начинается движение плунжера насоса вверх вместе со штангами 8 и жидкостью, при этом одновременно открывается приемный клапан.

При движении подвески штанг вниз, действующая на нее сила будет равна

$$P_s = (P_{s2} + P_{s2}^i - P_{tr2} - P_{tr2}^i) - (P_{s1} + P_j + P_{s1}^i + P_{tr1} + P_{tr1}^i + P_{\lambda j})$$

где P_j — вес столба жидкости высотой от динамического уровня до устья скважины.

Для расчета инерционных нагрузок, возникающих на подвеске штанг при ходе вверх и вниз, деформация трубы не учитывается. При ходе подвески штанг вверх вес столба жидкости передается на трубы, а при ходе вниз — на штангу, подвешенную на штоке 7 поршня 6 нижнего гидроцилиндра 5, и на седло преобразующего механизма действует сила тяжести штанг, подвешенных на подвеске, равная весу столба жидкости и силе трения. Поэтому длина труб от устья скважин до седла преобразующего механизма не меняется. Деформация двухступенчатой колонны штанг, подвешенных на подвеске, может быть определена по формуле

$$\lambda_s = \frac{P_j + P_{tr2} + P_{tr2}^i}{E} \left(\frac{l_{s2}}{f_{s2}} + \frac{l_{s3}}{f_{s3}} \right);$$

где l_{s2}, l_{s3} — длины каждой ступени в колонне штанг, подвешенных на подвеске;

f_{s2}, f_{s3} — диаметр каждой ступени в колонне штанг, подвешенных на подвеске;

E — модуль упругости материала.

Для осуществления возвратно-поступательного движения плунжера скважинного насоса должны выполняться следующие условия:

$$P_{s2} + P_{s2}^i - P_{tr2} - P_{tr2}^i > P_{s1} + P_j + P_{s1}^i + P_{tr1} + P_{tr1}^i + P_{\lambda j};$$

$$P_{s1} > P_{tr1} + P_{tr1}^i + P_{\lambda j}.$$

Расчеты показывают, что в существующей конструкции при 3000м глубине максимальное усилие в точке подвеса штанги составляет 108,3 кН, при предложенной конструкции 86 кН.

Анализ показывает, что в СШНУ предложенной конструкции значительно уменьшаются нагрузки на подвеску штанг и крутящий момент на выходном валу редуктора, а также расход электроэнергии.

3. Скважинный штанговый насос с минимальным гидравлическим сопротивлением

Исследование изменения усилия в штангах и трубах при не заполнении цилиндра насоса показало, что при работе СШНУ силы, действующие на нижнюю часть колонны штанг и трубы, в этом случае имеют особый характер. Здесь напряжение

меняется как по величине, так и по знаку. Теория и практика штанговой насосной эксплуатации показывает, что не исключена возможность обрыва штанги и в нижней части колонны. Это происходит как из-за усталости материала штанг в результате действия знакопеременной нагрузки, так и потому, что в случае не заполнения цилиндра при ходе плунжера вниз происходит его удар о жидкость. При этом сильный изгиб штанг, наблюдаемый, в основном, при ударе плунжера о жидкость в случае не заполнения цилиндра насоса, приводит не только к их обрыву, но и способствует интенсивному истиранию трубы и пары плунжер-цилиндр.

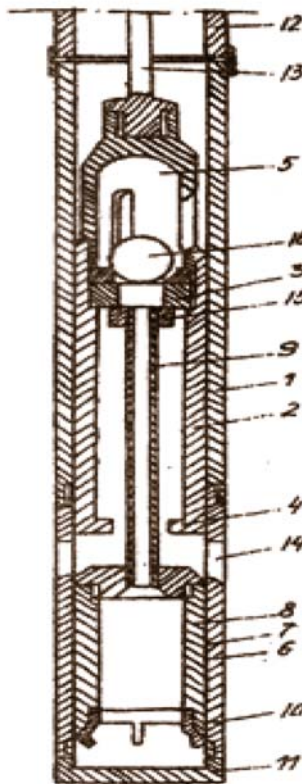


Рисунок 3. Схема скважинного штангового насоса с минимальным гидравлическим сопротивлением

Расчеты показывают, что эти дополнительные динамические ударные нагрузки весьма большие и необходимо разработать мероприятия для предупреждения возникновения или же снижения их.

Причины не заполнения цилиндра насоса различны. Основными из них являются низкое пластовое давление, сопротивление движению высоковязких и неньютоновских нефтей в клапанном узле насоса и вредное влияние свободного газа.

Для положительного решения вопроса, связанного с отрицательным влиянием первых двух указанных выше причин, предложено специальное техническое решение [4].

Предложенный скважинный штанговый насос (рисунок 3) содержит цилиндр 1, плунжер 2, снабженный кольцевым ограничителем 3 и буртиком 4, нагнетательный клапан 5, всасывающий клапан 6, затвор 7 всасывающего клапана, состоящий из полого поршня 8, полого штока 9 и фиксатора 10, заглушку 11 всасывающего клапана.

Скважинный штанговый насос на трубах 12 спускается в скважину и колонной штанг 13 соединяется с качалкой, установленной на устье скважины. Перед пуском скважины в работу полый плунжер 2 и затвор 7 всасывающего клапана 6 находятся в нижнем положении. При этом отверстие 14 на корпусе всасывающего клапана 6 остается в открытом положении и верхний торец полого поршня 8 находится на уровне отверстий 14. Цилиндр 1 насоса частично заполняется пластовой жидкостью и при ходе полого плунжера 2 вверх жидкость, находящаяся в стволе скважины, под давлением столба жидкости через отверстие 14 почти без сопротивления поступает в цилиндр 1 насоса. При этом, кольцевой буртик 4 на нижнем конце плунжера 1 зацепляет головку 15 на верхнем конце полого штока 9 и продолжает двигаться вверх совместно с полым поршнем 8, и затвор закрывает окна 14 всасывающего клапана 6.

При ходе полого плунжера 2 вниз, полый поршень, фиксированный при помощи фиксатора 10, остается на месте, и когда давление в цилиндре под нагнетательным клапаном 5 превышает давление над клапаном, открывается шарик 16, и жидкость из нижней части цилиндра переходит в верхнюю над плунжером. Продолжая движение вниз, плунжер 2 с кольцевым ограничителем 3 упирается в головку 15

полого штока 9 и совместно с полым поршнем 8 и фиксатором 10 движется до нижнего положения. При этом открывается окно 14 всасывающего клапана, и давление в цилиндре сравнивается с давлением в стволе скважины, и сразу шарик 16 садится на седло, закрывая клапан.

В дальнейшей работе насоса процесс повторяется. Предложенный насос имеет нижеследующие преимущества:

– всасывающий клапан насоса и затвор открывается принудительно, независимо от давления столба жидкости в скважине и заполнения цилиндра происходит без потери напора;

– выполнение затвора насоса с полым поршнем и полым штоком обеспечивает свободное движение затвора в цилиндре и повышение эффективности его работы при откачке жидкости с механическими примесями из скважин с низким динамическим уровнем;

– предотвращается возникновение динамических ударов плунжера о жидкость при ходе его вниз;

– в условиях эксплуатации скважин с искривленным и наклонно-направленным стволом данный насос проявляет себя с очень высоким эффектом.

Разработанные штанговые насосы применяются в скважинах ПО «Азнефть» и дают положительный результат.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Н.Адонин. Процессы глубинно-насосной нефтедобычи. М.: Недра, 1979. 164 с.

2. Пат. Аз. Респ. № И20070110, 2007. Скважинный штанговый насос. / Ш.П. Кязимов, М.А.Камиллов, С.А. Салимов и др.

3. Кязимов Ш.П., Байрамов С.Б., Алиев Н.Ш., Мустафаев Ш.И. Скважинная насосная установка. Пат. Азербайджанской Республики I 2008 0052, F04B 47/02; F04B 47/04. Б.И.- 2008.- № 3.

4. А. с. № 1779779 СССР. Скважинный штанговый насос. / Л.С.Мелик-Асланов, В.Ф.Лесничный, Ш.П.Кязимов и др.

*Ш.П.Кязимов
к.т.н., (НИПИ «Нефтегаз»,
ГНК, Азербайджан)
Sh.P.Kazimov
cand.tech.sci.,
(SRDI "Oil and gas")
Azerbaijan*

НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УТИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ НЕФТИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ УЗЕНЬ

УДК
665.666.0048

NEW TECHNOLOGICAL PROCESS OF FLUID WASTAGES UTILIZATION DURING THE OIL PREPARATION ON UZEN FIELD

М.И. Курбанбаев
М.В. Рыкус
АО «КазНИПИмунайгаз»
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет

M.I. Kurbanbaev,
M.V. Rykus
JSC «KazNIPImunaygas»,
Ufa State Petroleum Technical
University

Разработан технологический процесс утилизации жидких отходов при подготовке нефти путем закачки их в выработанные газовые горизонты месторождения Узень. Для организации специализированного полигона захоронения жидких отходов рекомендованы основные и резервные скважины под закачку. Выполнены расчеты давления закачки на весь срок эксплуатации полигона. Предложены варианты технологических комплексов по переработке нефтесодержащих осадков и утилизации отходов.

Work out a problem of fluid wastages utilization during the oil preparation by means of their injection in exhausted gas layers of Uzen field. The main and reserve injection wells are recommended for building of specialized tank of fluid wastages conservation. Computed of flowing pressure during the all time of tank exploitation. Recommended of technological scheme for oilbearing products refining and wastages utilization.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, нефть, вода, промежуточный слой, утилизация, жидкие отходы, очистка, асфальтены, закачка, резервуар, фильтрационно-емкостные свойства, транспортировка, нефтешлам.

Key words: water-oil emulsion, oil, water, intermediate layer, utilization, fluid wastages, refining, asphaltenes, injection, tank, poro-perm properties, transportation, oil waste.

В процессе подготовки нефти происходит разделение добываемой продукции на нефть, воду и промежуточный слой, представляющий собой водонефтяную эмульсию и механические примеси. На разных стадиях эксплуатации месторождения объем промежуточного слоя может составлять от одного до десяти процентов всей добываемой нефти. На месторождении Узень в настоящее время это 9 % или 180 м³/сут. Таким образом, за год образуется примерно 67700 м³ эмульсии. И вопрос утилизации, как и на любом крупном нефтедобывающем предприятии, стоит остро.

По данным геологической службы ПФ «Озенмунайгаз» в процессе подготовки нефти в виде эмульсии с примесью «сажи – модификация асфальтенов» теряется в среднем до 10 % всей добытой нефти. В настоящее время большая часть отходов перерабатывается установкой «Трикантер». Среднесуточная производительность этой установки равна 140 м³/сут. Остальная часть складывается в накопительных резервуарах. Количество накопленных на 01.11.2010г. жидких отходов при подготовке нефти в виде трудноразрушаемой водонефтяной эмульсии с примесью «сажи» приведено в таблице 1.

Таблица 1. Накопленный объем трудноразрушаемой водонефтяной эмульсии с примесью «сажи» на 01.11.2010 г.

№ п.п.	Объект	Резервуар	Вместимость, м ³	Объем отходов, м ³
1	ЦППН	РВС-1	20 000	10 000
		РВС-2	20 000	18 000
		РВС-4	20 000	18 000
		РВС-5	10 000	10 000
2	УПСВ-1	РВС-3	5 000	5 000
		РВС-4	5 000	3 000
3	УПСВ-2	РВС-1	5 000	5 000
		РВС-4	5 000	4 000
ИТОГО				73 000

Из приведенных цифр видно, что утилизации подлежат накопленные на 01.11.2010г. – 73 000 м³.

К настоящему времени в Казахстане еще не разработан единый нормативный документ по организации полигонов утилизации жидких отходов при подготовке нефти. Поэтому проведенные исследования базируются на перечисленных в списке литературы нормативных документах, и стандарте СТО Газпром 18-2005, «Гидрогеоэкологический контроль на специализированных полигонах размещения жидких отходов производства в газовой отрасли».

В условиях месторождения Узень наиболее предпочтительным вариантом является закачка жидких отходов подготовки нефти в выработанный 10-й газовый горизонт. Отложения продуктивной толщи этого горизонта подстилаются и перекрываются мощной толщей (до 26 м) глинистых отложений, залегающих на глубине в среднем 680 м. Общая толщина горизонта варьирует в пределах 17-29,5 м. Площадь газоносности - 15 км². Таким образом, при

минимальной мощности и пористости песчаников 0,30 объем выработанного пространства составляет 69 млн. м³.

Другим важным аспектом является рост геостатического напряжения в районе интенсивных отборов нефти и газа без полномасштабной компенсации закачки вытесняющего агента. Наблюдения, проводимые на Узенском геодинамическом полигоне, показали рост деформаций на отдельных участках поверхности месторождения до нескольких сантиметров в год, и увеличение сейсмической активности. Обратная закачка в выработанный 10-й горизонт будет способствовать снижению геостатического напряжения.

Следует отметить, что проведенный анализ геолого-гидрогеологических характеристик пластов показывает, что поглощающий горизонт не имеет гидравлической связи с залежью и при захоронении жидкости гидравлическое влияние нагнетания распространяется по всей непрерывно проницаемой части пласта.

В течение всего срока захоронения должны соблюдаться следующие условия:

- поглощающий горизонт должен быть перекрыт надежной изолирующей покрывкой;
- поглощающий горизонт должен обладать достаточно высокими фильтрационно-

емкостными свойствами для приема проектных объемов захороняемых жидких отходов производства;

- жидкие отходы производства должны быть локализованы в пределах установленных границ горного отвода;
- взаимодействие жидких отходов производства с пластовыми водами и породами поглощающего горизонта должно исключать необратимое снижение фильтрационных свойств поглощающего горизонта и нарушение устойчивости призабойной зоны; при установленной несовместимости определяют меры необходимой подготовки жидких отходов производства перед их захоронением.

Для организации специализированного полигона захоронения жидких отходов при подготовке нефти (СПЗЖ) рекомендуется использовать четыре скважины 10-го горизонта (№№ 102, 109, 306 и 6920). Конструкция и литологическое строение вскрытой толщи пород указанных скважин представлены на рисунке 1.

В качестве резервных необходимо предусмотреть еще четыре скважины (№№ 105, 111, 3122) – 6-го горизонта и № 222 – 8-го горизонта.

По всем скважинам необходимо провести комплекс исследований: геофизических — для опреде-

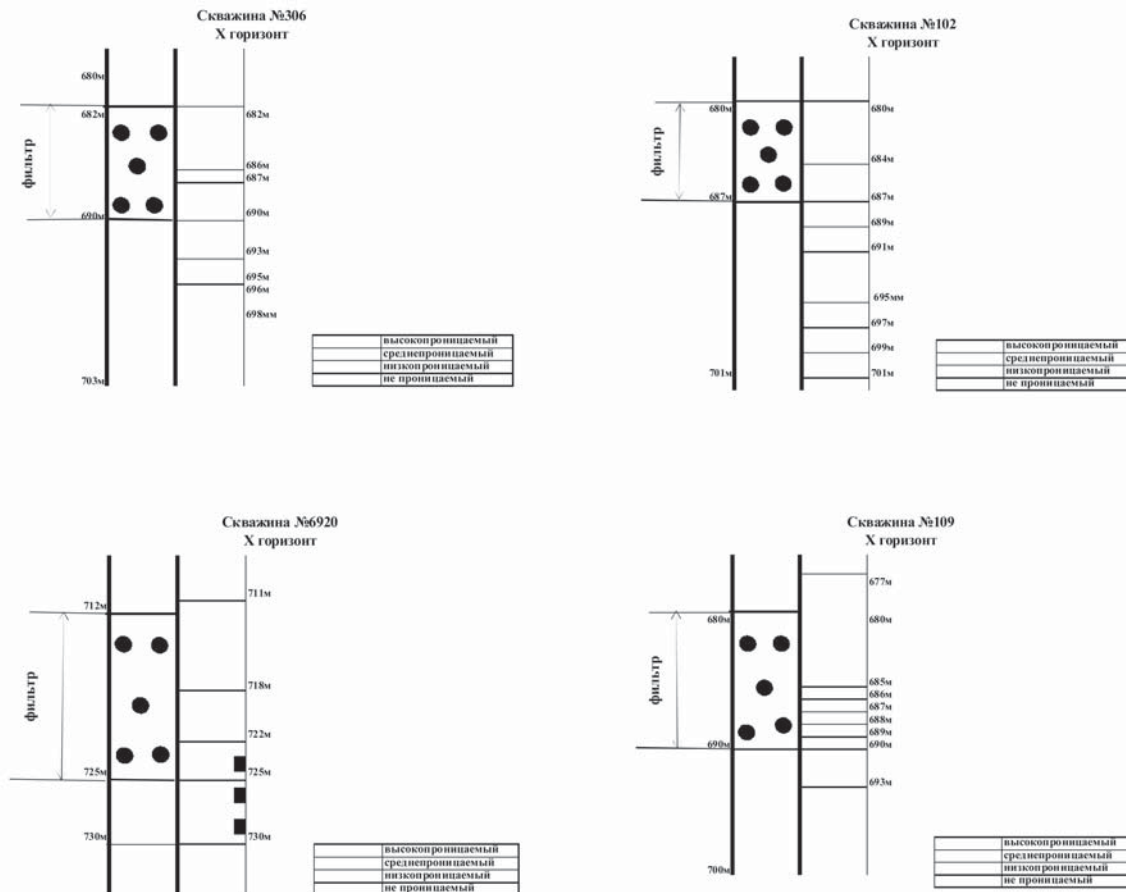


Рисунок 1. Конструкция и литологическое строение вскрытой толщи пород скважин

ления состояния эксплуатационной колонны, и гидродинамических — для уточнения параметров пласта. Основные характеристики нагнетательных скважин и поглощающего горизонта, полученные по данным гидродинамических исследований, включают: приемистость нагнетательных скважин; коэффициент приемистости, гидропроводность, пьезопроводность, проницаемость.

Проведен расчет подземного растекания жидких отходов производства.

В условиях отсутствия гидравлической связи между поглощающим горизонтом и залежью УВ в поглощающем горизонте при закачке происходит повышение давления (ΔP , кгс/см²), которое определяют по формуле

$$\Delta P = \frac{Q}{4\pi K_{лат} h_{эф}} \ln \frac{2,25 \chi t}{r_0^2}, \quad (1)$$

где Q — приемистость, м³/сут;

χ — пьезопроводность, м²/сут;

t — время эксплуатации, сут;

$K_{лат}$ — проницаемость латеральная, Дарси.

r_0 — радиус скважины или приведенный радиус нагнетательного узла, м.

Расчеты показывают, что в процессе закачки давление за счет упругих сил пласта возрастет не более чем на 7,15 атм. Если учесть, что при проведении пробных закачек давление на устье скважины было равно нулю, то на расчетный срок эксплуатации полигона 12 лет давление закачки возрастет до 7,15 атм.

Теоретические расчеты не учитывают породы в призабойной зоне пласта, которые существенно влияют на давление в процессе закачки жидких отходов производства. Поэтому на практике давление будет возрастать значительно быстрее, и при достижении 30 атм. необходимо будет проводить очистку призабойной зоны. Ориентировочная периодичность — 1 раз в год.

Расчет радиуса подземного растекания жидких отходов на конечный срок эксплуатации R_a производится по формуле:

$$R_a = \sqrt{\frac{\sum V_x}{\pi \cdot h_{эф} \cdot m_{эф}}}, \quad (2)$$

где $h_{эф}$ — эффективная мощность (м) — определяется по геофизическим данным;

$m_{эф}$ — эффективная пористость, доли единиц.

Как было показано выше, объем накопленных для утилизации жидких отходов составляет 73 000 м³. Дополнительно ежедневно утилизации подлежит еще 40 м³ жидких отходов. В процессе подготовки жидких отходов к закачке в выработанные газовые горизонты для снижения вязкости и концентрации механических примесей водонефтяные эмульсии с примесью «сажи» необходимо смешивать со сточными водами в пропорции 1:1.

Поэтому, общий объем закачки отходов в пласт будет увеличен вдвое и составит 146 000 м³ и еще 40 м³ ежедневно поступающих жидких отходов. Расчет ведется на 12 лет эксплуатации полигона. За это время общий объем утилизированных отходов составит 146 000 + 80 × 365 × 12 = 496 400 м³. Эффективная мощность для 10-го горизонта составляет 11 м, эффективная пористость 0,301. Таким образом, расчетное значение радиуса подземного растекания составит 218 м. С учетом того, что ближайшие поглощающие скважины №№ 102 и 306 находятся на расстоянии 500 м, можно сделать вывод об отсутствии взаимного влияния на процесс утилизации жидких отходов в течение 12 лет эксплуатации полигона.

При работе поглощающей скважины вблизи фильтра происходит кольтация порового пространства пород. Предполагается, что в процессе эксплуатации проницаемость пород равномерно уменьшается до 20 % от первоначальной к концу каждого года работы скважины. После этого проницаемость скачкообразно восстанавливается.

Трехмерная нестационарная фильтрация потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде в общем случае описывается уравнением (3):

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3)$$

с начальными условиями

$$h(x, y, z, t) = H_0(x, y, z) \quad \text{на } \Omega, t = 0$$

с граничными условиями

$$h(x, y, z, t) = H(x, y, z, t) \quad \text{на } \Gamma_1, t \geq 0$$

$$K_n \frac{\partial h(x, y, z, t)}{\partial n} = Q(x, y, z, t) \quad \text{на } \Gamma_2, t \geq 0$$

где K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} — коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x, y и z (L²); h — напор (L); W — объемный поток на единицу объема, представляет источники и/или стоки воды (t⁻¹); S_s — коэффициент водоотдачи пористого материала (L-1); t — время (t). В общем случае функции $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$ могут быть функциями пространственных координат ($S_s = S_s(x, y, z), K_x(x, y, z)$ и т.д.) и W — функцией пространственных координат и времени ($W = W(x, y, z, t)$). Ω — моделируемая область, $H_0(x, y, z)$ — известное распределение напора в начальный момент времени; Γ_1 — граница с заданным напором, $H(x, y, z, t)$ — значение напора вдоль границы Γ_1 ; Γ_2 — граница с заданным расходом

воды, K_n — коэффициент фильтрации по нормали к границе Γ_2 , $Q(x, y, z, t)$ — расход воды на единицу объема; λ — коэффициент, характеризующий взаимосвязь с внешней фильтрационной средой, h_b — уровень воды во внешней фильтрационной среде.

Создание модели осуществлялось с помощью модулей Map и 3D Grid. Для решения дифференциального уравнения, описывающего процесс нестационарной фильтрации подземных вод в пористой среде, использовалась программа MODFLOW.

Поскольку опыта утилизации жидких отходов при подготовке нефти в выработанные газовые горизонты в Казахстане еще не существует, необходимая степень очистки жидких отходов производства должна определяться с помощью проведения лабораторных исследований и опытных закачек в скважину.

Жидкие отходы производства считаются совместимыми с пластовыми водами и породами поглощающего горизонта, если снижение проницаемости при закачке отходов не превышает 20% / Уренгойский...2002/.

После подтвержденной на лабораторном уровне совместимости проводят опытные закачки жидких отходов производства в нагнетательную скважину. При устойчивых режимах закачки установлены нормативные содержания примесей в жидких отходах производства для данного полигона, которые не должны превышать по: механическим примесям — 300 мг/дм³; нефтепродуктам (диспергированным — 150 мг/дм³, растворенным — не ограничено); оксидному железу — 3 мг/дм³; сероводороду — 15 мг/дм³; диэтиленгликолю — 4 г/дм³; метанолу — 40 г/дм³; растворенному кислороду — 5 мг/дм³; pH — не ниже 6,8.

Степень очистки закачиваемой в поглощающий горизонт жидкости, при условии её удовлетворительной совместимости с пластовой водой и породой, определяется коллекторскими свойствами поглощающего горизонта. Степень очистки обеспечивает устойчивую приемистость нагнетательных скважин при установленных параметрах закачки. Показатели загрязнения определяются для каждого горизонта исходя из имеющегося практического опыта или в лабораторных условиях

Выбор метода подготовки жидких отходов производства начинают с проведения опытных работ по совместимости жидкостей каждого источника жидких отходов производства между собой, с пре-

Таблица 1. Компонентный состав нефтешламов месторождения Узень

№ п/п	Номер РВС ЦППН	Глубина отбора, м	Содержание воды, % масс	Содержание солей, мг/л	Содержание нефти, % масс	Содержание «сажи», %	Содержание механических примесей, % масс
1	РВС-1	1	34	17550	58	6,81	1,19
2		2	20	14625	72	6,54	1,46
3		3	28	18600	65	5,02	1,98
4		4	16	5850	75	6,88	2,12
5	отстойник		13	18675	77	6,92	3,08
6	РВС-2	2	23	14 239	69	6,76	1,24
7	РВС-3	2	27	15 733	64	7,82	1,18
8	РВС-4	3	22	17384	70	6,69	1,31

сной водой, с пластовой водой и породами поглощающего горизонта.

Обязательным этапом подготовки нефти к переработке является обезвоживание и обессоливание, т.е. удаление из нее воды, минеральных солей и механических примесей, поскольку их наличие оказывает вредное влияние на работу оборудования нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Поэтому в процессе подготовки нефти в резервуарах накапливаются тяжелые осадки. Образовавшиеся отходы относятся ко II классу опасности и представляют собой нефтесодержащие шламы, являющиеся конгломератом механических примесей (диспергированные горные породы, продукты коррозии металлов), карбон-карбонидных смесей (нефтепромысловики их называют «сажи») и органических соединений (асфальтены, смолы и высокомолекулярные парафины).

По внешнему виду нефтешламы представляют собой пастообразную водонефтяную эмульсию черно-серого цвета. Компонентный состав нефтешламов месторождения Узень, представленный в таблице 1, свидетельствует о том, что основной его составляющей являются мехпримеси и «сажи». Основные физико-химические свойства нефтешламов определяются их составом: нефтяная фаза нефтешламов содержит 50-70 % нефти, 5-8 % «сажи», воды от 13 до 34 %, и до 3 % мехпримесей. Содержание солей колеблется в пределах от 5,8 до 18,7 г/л. Содержание бензиновых фракций не обнаружено. Обводненность нефтешламов с глубиной уменьшается от 34 до 16 %, а содержание механических примесей возрастает по глубине резервуаров от 1 до 3 %.

Защитка резервуаров от нефтешламов выполняется в целях обеспечения эксплуатационной надежности резервуаров, соблюдения технических требований, устранения дефектов, выполнения ремонтных работ и сохранения качества нефти и нефтепродуктов.

На нефтедобывающих предприятиях Казахстана наиболее распространенным методом утилизации нефтешламов является временное хранение с повышенным содержанием природных радионуклидов (до 400 мкР/ч.). Как правило, они накапливаются и хранятся в открытых амбарах, бесполезно занимающих большие площади земли, и являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха и окружающей среды в целом.

Целью данной работы является реализация технологических процессов, обеспечивающих утилизацию имеющихся и вновь образующихся нефтешламов на УПСВ-1,2 и ЦППН УПНиПО ПФ «Озенмунайгаз».

Жидкие отходы процесса подготовки нефти в виде трудноразрушаемой водонефтяной эмульсии с примесью «сажи» для закачки в пласт необходимо подготовить таким образом, чтобы утилизируемая жидкость соответствовала выше перечисленным требованиям.

Отобранные для анализа образцы промыслов с различных уровней (1 м, 2 м, 3 м, 4 м от дна) и отстойника представляли собой пастообразную нефтяную эмульсию, состав которой приведен в таблице 1.

Содержание механических примесей в исследованных образцах в 2-3 раза превышает допустимые концентрации для закачки жидких отходов подготовки нефти в выработанные газовые горизонты. Причем, их содержание с глубиной отстойника возрастает. Кроме того, реологические свойства жидких отходов таковы, что без предварительной подготовки закачка их в пласт невозможна. Поэтому предусматривается подготовка жидких отходов к закачке в следующей последовательности:

- откачка жидких отходов подготовки нефти в промежуточный резервуар;
- смешение с подтоварной водой в пропорции 1:1 для придания жидкости необходимой вязкости;
- подогрев и закачка в трубопровод, подводящий отходы к поглощающей скважине;
- второй подогрев (при необходимости) и закачка в скважину.

Технологический комплекс по переработке нефтесодержащих осадков и утилизации отходов компактен, обладает малой металлоемкостью и мобильностью.

1 вариант

Установка компактна, обладает малой металлоемкостью и может быть состыкована с любой отстойной аппаратурой.

Технологический процесс на ЦППН осуществляется в следующей последовательности:

- разогрев жидкости до 50-60°C на месте путем циркуляции через существующие печи подогрева.

- извлечение и транспортировка нефтесодержащего сырья на узел откачки;
- откачка смеси в сторону УПСВ-1.

Установка состоит из следующих технологических аппаратов, блоков и узлов (рисунок 2):

- блок насосной подачи нефтесодержащего сырья (существует, но необходимо проложить трубопровод от выхода насоса до узла смешивания);
- узел смешения (диспергирования) нефтесодержащего сырья с промывной водой;
- блок насосный для откачки нефтесодержащего сырья на УПСВ-1.

Нефтешламы с содержанием воды до 50 % от РВС ЦППН -1 подаются с помощью насоса 2 в печь подогрева 3, где они нагреваются до 50-60°C. Подогретая смесь подается насосом 2 в смеситель 4, где при необходимости происходит смешивание с технической горячей водой, подготавливаемой на существующих печах подогрева воды 5. Затем получившаяся эмульсия подается в насос 6 для дальнейшей транспортировки по трубопроводу 7 до узла разделения – трехфазного сепаратора 8 на УПСВ-1. В случае перевозки пастообразных нефтешламов от РВС ЦППН на автомашине (АЦН или АКН), они подаются на смеситель 4, где происходит смешивание с технической водой до необходимой вязкости.

На УПСВ-1 технологический процесс осуществляется в следующей последовательности:

- разогрев жидкости до 50-60°C путем циркуляции через печи подогрева в случае очистки РВС на УПСВ-1;
- извлечение и транспортировка нефтесодержащего сырья на обработку в случае очистки РВС на УПСВ-1;
- прием смеси от ЦППН;
- ввод в поток сырья реагента-деэмульгатора;
- ввод в поток сырья ШФЛУ;
- отстой и разделение разрушенной водонефтяной смеси;
- откачка выделенных водонефтяных эмульсий;
- откачка смеси в поглощающую скважину выработанных газовых залежей.

Смесь от ЦППН поступает на узел разделения нефти (трехфазный сепаратор) от воды и шлама 8, куда производится подача реагента-деэмульгатора 9 и ввод ШФЛУ 10. Нефтешлам с содержанием воды до 50 % от РВС УПСВ-1 11, подается с помощью насоса 12, в печи подогрева 13, где нагревается до 50-60°C. После этого, подогретая смесь подается насосом 12 на узел разделения 8. Водонефтяная эмульсия забирается из среднего уровня нефтяного отсека через задвижку 14 трехфазного сепаратора и подается на прием насоса 15 для дальнейшей транспортировки по трубопроводу 16 до входа на УДО или подается на прием установки «Трикантер». Вода от нефтяного отсека трехфазного сепаратора из нижней части через задвижку 17 сливается в суще-

ствующую подземную емкость 19. Смесь шлама с водой подается на прием насоса 20 из нижней части водяного отсека трехфазного сепаратора через задвижку 18 и направляется в нагнетательные скважины. Во избежание скапливания твердых шлаков на нижней части водяного отсека трехфазного сепаратора предусмотрена промывка горячей водой с помощью насоса 21.

Кроме того, как аварийный вариант предложенную систему утилизации отходов можно использовать для закачки сточной воды в истощенные газовые залежи в случае отключения электроэнергии в системе ЦППД.

В связи с наличием в нефтешламах тяжелых фракций (парафинов, асфальтенов и др.) их текучесть будет прямо определяться сезонной температурой. Температура плавления парафинов около 60 °С. В летнее время на солнце температура нефтешлама может достигать 80°С.

Наиболее эффективно разделять нефтешламы в летний период: в несколько раз уменьшаются энергозатраты на их разжижение.

2-вариант

Конструкция установки показана на рисунке 3. Установка компактна, обладает малой металлоемкостью и мобильная. Технологический процесс обработки нефтесодержащих отходов реализуется по схеме:

- извлечение и транспортировка сырья на обработку;
- разделение полученной водоземulsionной дисперсии на нефть (водонефтяная эмульсия), воду с твердым осадком;

- сбор и транспортировка выделенной водонефтяной эмульсии;
- закачка в пласт шлама с водой.

Установка состоит из следующих технологических аппаратов, блоков и узлов (рисунок 3):

- узел смешения (диспергирования) нефтесодержащего сырья с промывочной водой;
- блок подачи реагента-деэмульгатора в сырье;
- блок ввода в поток сырья ШФЛУ;
- узел хранения ШФЛУ;
- трехфазный сепаратор для отстаивания и разделения разрушенной водонефтяной системы;
- блок сбора и откачки выделенного нефтепродукта;
- блок откачки смеси в скважину.

Смесь завозят на автомашине (АЦН или АКН 1) и с помощью ЦА-320 2 подают на узел смешивания с технической водой 3, которая завозится автомашинной, затем смесь поступает на трехфазный сепаратор V-50м³ 4, где до поступления на узел разделения производится подача реагента-деэмульгатора 5 и ввод ШФЛУ 6. Водонефтяная эмульсия забирается со среднего уровня нефтяного отсека через задвижку 7 трехфазного сепаратора и направляется на емкость 8 для хранения водонефтяной эмульсии и дальнейшей транспортировки автомашинной до УПСВ-1. Вода от нефтяного отсека трехфазного сепаратора из нижней части через задвижку 9 сливается в емкость 10. Смесь шлама с водой подается на прием ЦА-320 12 из нижней части водяного отсека трехфазного сепаратора через задвижку 11 и направляется в нагнетательные скважины 13. Во избежание скапливания твердых шлаков на нижней части водяного

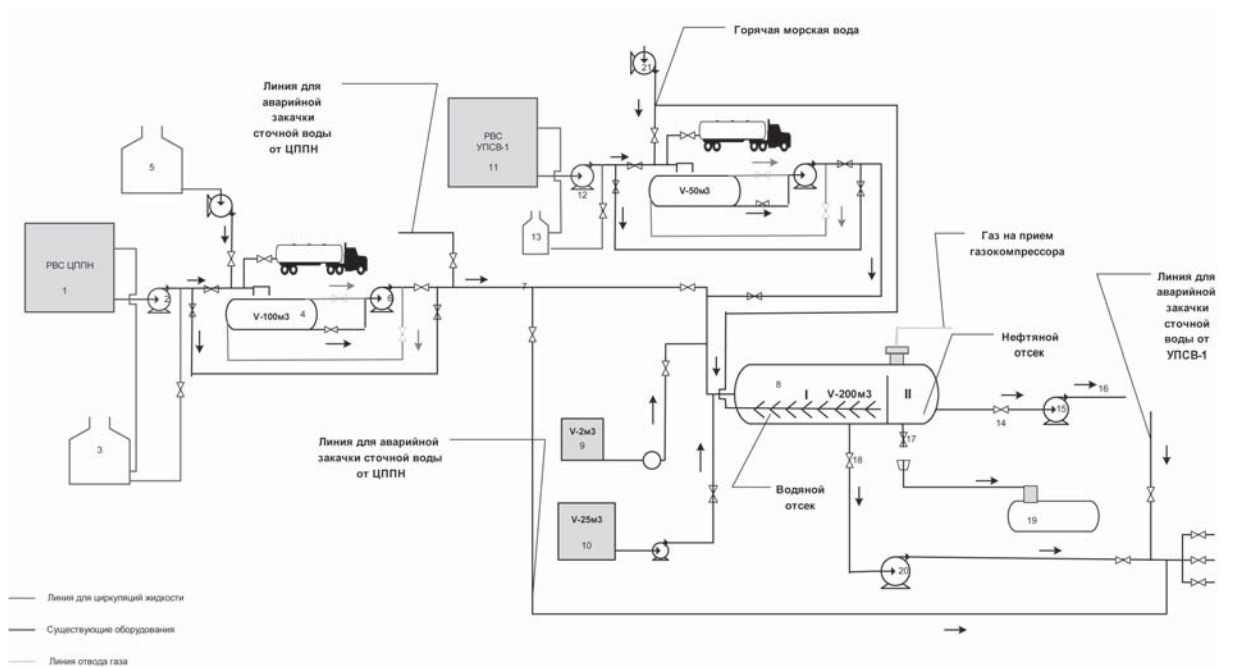


Рисунок 2. Принципиальная схема обработки и утилизации нефтешламов на ЦППН и УПСВ-1

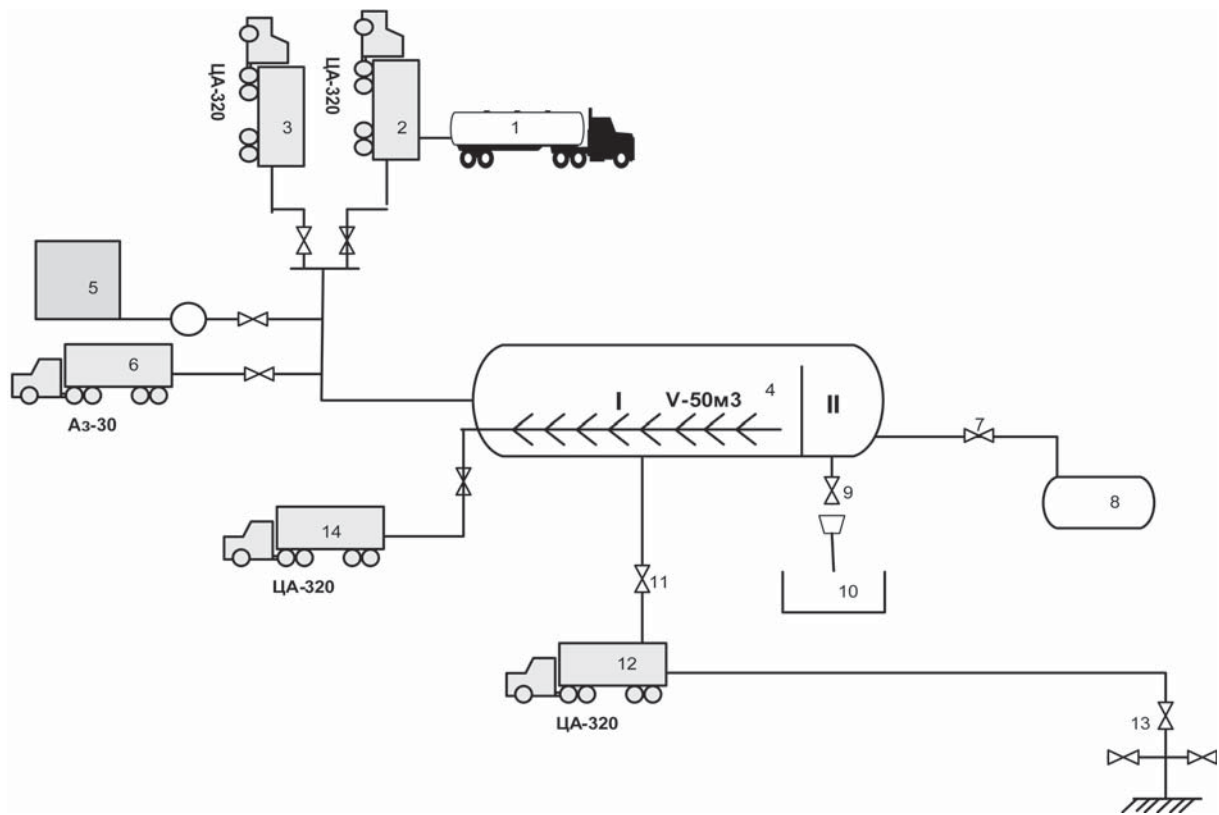


Рисунок 3. Принципиальная схема обработки и утилизации нефтешламов на устье скважин

отсека трехфазного сепаратора предусмотрена промывка горячей водой с помощью ЦА-320 14.

Схема организации закачки жидких отходов подготовки нефти на УПСВ-2 в поглощающую скважину предполагает также два варианта.

Выводы:

- Применение СПЗЖ позволит:
- снизить расход автотранспортных средств;
- сократить количество размещаемых радиоактивных отходов на шламонакопителях;
- сократить содержание нефти в откачиваемой смеси в пласт;
- сократить время подготовки РВС на ремонт;
- анализ механического способа утилизации отходов (центрифугирование на установке Трикантер) показал, что можно разрушить трудноразрушаемую эмульсию, прочно связанную со шламом и водой, и получить товарную нефть. Остаток радиоактивного нефтешлама завозится автомашиной и размещается на площадке хранения на открытом воздухе;
- обеспечить промышленную безопасность и охрану труда при проведении работ, за счет минимизации ручного труда;

Эксплуатация СПЗЖ должна сопровождаться оформлением и ведением гидрогеоэкологического паспорта, в котором фиксируются начальные гидрогеоэкологические условия на момент пуска СПЗЖ в

эксплуатацию и результаты регулярных исследований в процессе его эксплуатации. По результатам этих исследований ежегодно составляются краткие отчеты, включающие сведения по следующим показателям:

- Структура и состав наблюдательной сети.
- Основные технологические узлы полигона.
- Характеристика подземных вод поглощающего горизонта:
 - гидродинамический режим (пластовое давление, уровни жидкости в скважинах).
 - гидрохимический режим.
 - температурный режим.
- положение подземного ареала растекания жидких отходов производства.
- Характеристика жидких отходов производства (вид, объемы, химический состав, санитарно-биологическое состояние и т.п.).
- Режим закачки в нагнетательные скважины.
- Система контроля за подземным захоронением жидких отходов производства и утилизацией шлама, их эффективность и результаты.
- Возникшие и возможные аварийные ситуации, связанные с захоронением жидких отходов производства и способы их ликвидации.
- Отклонения от прогнозных оценок расчетов эксплуатации полигона и гидрогеоэкологических последствий.

- Результаты анализа состояния окружающей среды.
- Перечень согласований с надзорными и контролирующими организациями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Уренгойский специализированный полигон захоронения промышленных сточных вод/ Сулейманов Р.С, Ланчаков Г.А., Кульков А.Н. и др. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2002, 45 с.

2. Тронов В.П. Разрушение эмульсий при добыче нефти. М.: Недра, 1974, 269 с.

3. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. Казань, Фен, 2000. 416с.

4. Высокоэффективные технологии и процессы очистки промышленных сточных вод на месторождениях Татарстана / Тронов В.П. и др. // Нефтяное хозяйство. 1998, №7. С.60-61.

5. Крюков В.А., Аминов О.Н., Виноградов Е.В. Глубокое обезвоживание нефти и очистка пластовой воды на ДНС // Нефтегазовые технологии. 1999. № 3. С.36-37.

6. Смирнов Ю.С., Калинина О.С. Проблема снижения капитальных и экс-

плуатационных затрат на обустройство объектов нефтегазодобычи. Куйбышев, 1988. С.55-63.

7. Сергиенко С.Р., Высокмолекулярные углеводородные соединения нефти. М.: Наука, 1979. 267с.

8. Справочное руководство гидрогеолога / Максимов В.М. и др. Л.: Недра, 1979. –Т.1. С.34.

9. Справочное руководство гидрогеолога / Максимов В.М. и др. Л.: Недра, 1979. - Т.2. С. 268.

10. Шестаков В. М. Гидрогеодинамика: учебник. М: Изд-во МГУ, 1995. 368 с.

11. Кораблев А.А., Григорьев В.Е., Нисибуллина И.Л. Охрана водных ресурсов как часть экологической деятельности УГПУ // Проблемы освоения месторождений Уренгойского комплекса: сб. науч. тр. ООО «Уренгойгазпром». ООО «Недра Бизнес Центр», 2003. С.318-326.

12. Стандарт СТО Газпром 18-2005, «Гидрогеоэкологический контроль на специализированных полигонах размещения жидких отходов производства в газовой отрасли». М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2005, 25 с.

*М.И. Курбанбаев, генеральный директор, АО «КазНИПИМунайгаз»
M.I. Kurbanbaev, general director,
JC «KazNIPImunaygas»
e-mail: info@kaznipi.kz*

*М.В. Рыкус,
к.г.-м.н., доцент кафедры "Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений", УГНТУ
M.V. Rykus, cand. geol.-min. sci; associate professor of chair "Geology and exploration of oil and gas fields", USPTU.
tel./tel.: (347) 228-24-11*

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПЛАСТОВ

УДК 622.276

COMPLEX APPLICATION OF ENHANCED OIL RECOVERY METHODS IN-SITU CONDITIONS OF HIGH-TEMPERATURE AND LOW-PERMEABILITY

**Ю.А. Котенев, А.П. Чижов,
А.В. Чибисов, Ш.Х. Султанов,
О.В. Терехов, В.Е. Андреев,
С.А. Попов, Ш.С. Галимов**
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет,
ГАНУ «Институт нефтегазовых
технологий и новых материалов»,
ООО «Башнефть-Башсибнефть»,
ООО «ЛУКОЙЛ-Когалымнефтегаз»

**Yu.A. Kotenev, A.P. Chizhov,
A.V. Chibisov, Sh.H. Sultanov,
O.V. Terehov, V.E. Andreev,
S.A. Popov, Sh.S. Galimov**
Ufa State Petroleum
Technical University,
State autonomic scientific department
Institute oil and gas technologies and
new materials,
LLC Bashsibneft,
LLC Kogalymneftegas

В статье предложены методы комплексного воздействия на остаточные запасы нефти высокотемпературных низкопроницаемых пластов. Методы направлены, как на повышение коэффициента охвата пластов заводнением, так и повышение коэффициента вытеснения нефти. Приведены результаты внедрения предлагаемых методов на месторождениях Западной Сибири.

The article deals with combined effect technology of impact on residual oil and gas reserves in conditions of high-temperature and low-permeability beds. The technology is aimed at increasing of reservoir waterflood sweep efficiency and of oil displacement effectiveness by creating of gel barrier in flushed zones of low filtration resistance layers and then by injection of surfactants. Results of complex application of technology in oil fields of Western Siberia were considered.

Ключевые слова: высокотемпературные пласты, низкопроницаемые коллектора, анионоактивные ПАВ, гелеобразующая композиция, методы увеличения нефтеотдачи.

Keywords: high-temperature reservoirs, low permeability, anion active surfactants, gelling composition, methods of enhanced oil recovery

В настоящее время отмечается заметное ухудшение структуры запасов нефти во всех нефтедобывающих компаниях России. Применение обычной технологии заводнения уже не обеспечивает достаточно эффективного воздействия на остаточные запасы нефти. Постоянно увеличивается количество нефти, содержащейся в неоднородных, частично обводненных пластах. За счет неустойчивости фронта вытеснения, нагнетаемая вода прорывается к добывающим скважинам по высокопроницаемым слоям и зонам, оставляя невытесненной нефть в малопроницаемых пропластках, слоях, участках. Это приводит к тому, что участки нефтяных залежей за фронтом вытеснения представляют собой бессистемное чередование заводненных высокопроницаемых и менее проницаемых нефтенасыщенных слоев и зон. Доля последних может достигать 50 % первоначального нефтенасыщенного объема залежи.

Задачу повышения эффективности заводнения решают путем применения нестационарных технологий, создания надежных изолирующих экранов в водопромытых частях пласта осадкогелеобразующими и вязкоупругими составами и использования оторочек с поверхностно-активными веществами (ПАВ) различной концентрации. Осадкогелеобразующие композиции обладают высокими потокорегулирующими и низкими нефтewытесняющими свойствами, оторочки ПАВ — хорошими нефтеотмывающими и низкими потокорегулирующими свойствами. Циклическое заводнение обеспечивает эффективную выработку запасов при условии литологической связи высокопроницаемых и низкопроницаемых пропластков.

Большинство из рассмотренных методов рассчитаны на применение в условиях высоко-, среднепроницаемых коллекторов. При использовании их в условиях низкопроницаемых высоконеоднородных продуктивных отложений и по отдельности, эффективность воздействия характеризуется, как правило, невысокими показателями. Применение методов в данных условиях требует комплексности их воздействия на остаточные и трудноизвлекаемые запасы. Поэтому дальнейшее повышение эффективности рассматриваемых методов предполагает их комплекс-

сирование: потокорегулирующих методов с использованием гелеобразующих композиций и оторочек ПАВ, потокорегулирующих — и циклического воздействия. Это позволит наиболее эффективно использовать «сильные» стороны каждого из методов.

В качестве реагентной базы составляющих комплексного воздействия были выбраны хорошо опробованные и частично «модернизированные» композиции. Осадкогелеобразующая композиция — термотропный реагент «РВ-3П-1». Для «доотмыва» остаточной нефти предполагалось использовать неионогенные ПАВ (Неонолы) или их композиции.

Аналитические исследования показали, что возможны перспективы улучшения системы «алюмохлорид-карбамид» с повышением устойчивости характеристик получаемых гелей и понижения агрессивности реагента к металлу подземного оборудования, которые связаны с введением ряда добавок. Эксперименты показывают, что при добавлении ПАВ — неионогенного АФ₉-6 (2-3 %) и анионоактивного «Неофор-25» (4-5 %) наблюдается повышение вязкости, увеличение устойчивости к воздействию пластовых флюидов получаемых гелей. Эти свойства особенно ценны при интенсивном нагнетании больших объемов воды. Кроме того, использование «Неофор-25» снижает коррозионную активность композиции по отношению к металлу подземного оборудования скважин благодаря образованию фосфатных пассивационных слоев на границе поверхности «металл-ПАВ», препятствующих контакту агрессивной среды с металлом.

Фильтрационные эксперименты показали, что использование композиций в потокорегулирующих методах позволяет увеличить коэффициент охвата вытеснением нефти на 9,7-11,3 %, что дает основание предположить увеличение коэффициента извлечения нефти на 2-3 пункта, что согласуется с данными работы Кувшинова В.А., Алтуниной Л.К. и др. [1].

В качестве основы для создания нефтевытесняющих составов для высокотемпературных пластов, предложены композиции на основе неионогенных ПАВ (НПАВ), а именно АФ₉-6 и АФ₉-10. Для стабильности составов ПАВ предложены добавки, содержащие анионоактивные ПАВ (АПАВ). При этом температура помутнения полученной композиции НПАВ-АПАВ — более 80 °С, что в принципе, достаточно для температурных условий юрских нефтеносных коллекторов Нижнеартовского свода. Стабилизация композиций ПАВ при более высоких (до 100 °С) пластовых температурах, согласно данным работы [5], возможна введением в состав композиции лигносульфоната технического, снижающего степень химической деструкции ПАВ в 4 раза.

Проведены опыты по вытеснению нефти композициями ПАВ. Опыты проводились при температуре 80 °С на насыпной модели из дезинтегрированного терригенного песчаника. В экспериментах использовалась разгазированная нефть с содержанием асфальтенов 1,9 и смолистых веществ 3,2 % масс. соответственно и модель пластовой воды хлоркальциевого типа плотностью 1012 кг/м³, уровнем минерализации 19 г/дм³. Начальная нефтенасыщенность модели составила 75,1 %. После вытеснения нефти из модели пластовой водой остаточная нефтенасыщенность составила 24,45 %. Затем закачали оторочку композиции ПАВ концентрацией 10 г/дм³ с последующим довытеснением пластовой водой. При этом остаточная нефтенасыщенность составила 19,89 %. Таким образом, прирост коэффициента нефтеизвлечения составил 4,56 %, что в промысловых условиях предположительно составит 2-2,5 %. Полученные данные хорошо согласуются с результатами ранее проводившихся исследований [2, 5].

Исследования показали, что чем больше оторочка композиции ПАВ, тем выше коэффициент извлечения нефти. Рост коэффициента подчиняется нелинейному закону. При увеличении оторочки происходит резкий скачок значений коэффициента извлечения при достижении объема оторочки 8-12 % от объема порового пространства. При дальнейшем увеличении оторочки, кривая извлечения характеризуется более пологим участком, т. е. при значительном увеличении объема оторочки наблюдается незначительный прирост нефтеизвлечения.

Теоретические и экспериментальные исследования, позволили предложить две комплексные технологии воздействия на остаточные запасы. Реализация обеих технологий подразумевает проведение двух этапов. Первый этап первой технологии — создание гелевых барьеров на сложившихся путях фильтрации с использованием термотропной гелеобразующей композиции «РВ-3П-1». Второй этап — проведение циклического воздействия. В результате мероприятий прогнозируется подключение к разработке неохваченных заводнением низкопроницаемых, литологически несвязанных интервалов продуктивных пластов, а на втором этапе — вовлечение в процессы вытеснения остаточных запасов нефти из слабодренлируемых литологически связанных зон залежи.

Первый этап второй технологии также подразумевает установку гелевых экранов, причем на определенном расстоянии от забоя обрабатываемой скважины. После образования и упрочнения геля (3-7 суток), на втором этапе закачивается оторочка композиции ПАВ концентрацией 0,5-1 %. При этом оторочку можно не продавливать в пласт буферной жидкостью, а запустить скважину под нагнетание. В результате проведенных технологических операций прогнозируется подключение в разработку

застойных и слабодренлируемых зон, а на втором этапе, в уже задействованных фильтрацией зонах — повышение эффективности вытеснения остаточных запасов нефти.

Применение того или иного вида воздействия на пласт требует индивидуального подхода к его использованию, особенно в условиях низкопроницаемых коллекторов, что в свою очередь предполагает разработку методики выбора объектов под воздействие. Методика базируется на математических моделях описывающих происходящие в пористой среде процессы и подразумевает их адаптацию под геолого-промысловые условия конкретного эксплуатационного объекта.

Моделирование гелевого воздействия на продуктивный пласт, позволило оптимизировать величину объемов закачиваемых реагентов, последовательность и темп их закачки, а также спрогнозировать результаты воздействия. Оптимальный объем закачиваемых реагентов позволяет достичь максимального выравнивания профиля приемистости после обработки, при этом, снижение общей приемистости пласта должно быть не более 35 % от исходной величины. С целью прогнозирования результатов закачки гелеобразующего состава использовались нагнетательные скважины Люкпайского и Вать-Ёганского месторождения. По ним рассчитаны радиусы проникновения гелеобразующего состава в пропластки. Определено, что выравнивание профиля приемистости возрастает с ростом объема закачки реагента. При слабой неоднородности пласта, гелеобразующий реагент распределяется более и менее однородно по продуктивному сечению и степень выравнивания профиля приемистости невысока. Оптимальный объем закачки термотропной гелеобразующей композиции составляет 1,8-2,2 м³ реагента на метр продуктивной толщины пласта.

При высокой степени неоднородности пласта максимальное количество гелеобразующего состава поступает в высокопроницаемые прослои и существенно блокирует их. Так как реагент поступает в основном в пропластки, которые необходимо блокировать, то расход реагента снижается.

Модель циклического воздействия позволяет оптимизировать процесс заводнения, получить граничные значения критериев применимости, и сделать прогноз эффективности планируемых мероприятий. Предлагаемая математическая модель позволяет оценить перетоки жидкости в многослойном пласте. При этом предполагается квазиодномерность движения и сохранение среднего отбора жидкости при циклике на уровне обычного заводнения.

Рассматриваемая модель процесса циклического заводнения, позволяет определить перепады давления нагнетания воды, их частоту и определять эффективность процесса в виде безразмерных коэф-

фициентов. Коэффициенты представляют собой отношения текущих отборов нефти при циклическом заводнении к соответствующим значениям при обычном. При этом чем хуже упругая характеристика пласта, тем больше должна быть частота. По мере продвижения фронта вытеснения, частота должна уменьшаться. Расчеты циклического воздействия по моделям позволили выбрать полуциклы по участкам воздействия от 1,5-4,7 месяцев, в зависимости от геолого-технических условий месторождения.

Эффективность циклического воздействия охарактеризована по приближенной оценке изменения величины извлекаемых запасов нефти. В основе данной методики оценки извлекаемых запасов лежит четырехслойная статистическая модель. Данная модель позволяет определить среднюю по участку долю гидродинамически связанных неоднородных пропластков, в которых возможны вертикальные межслойные перетоки при нестационарном воздействии. Теоретические исследования, проведенные рядом исследователей указывают, что применение циклического метода, на первой стадии разработки месторождений, позволит увеличить нефтеотдачу на 6-9 пунктов, на второй — на 3-6 пунктов, на последующих — на 1-3 пункта.

Математическая модель процессов вытеснения нефти из терригенного коллектора с использованием композиций ПАВ позволила определить оптимальные объемы оторочек, концентрацию реагентов и спрогнозировать прирост величины коэффициента вытеснения и, соответственно прирост нефтеизвлечения. С учетом экспериментальных данных, величина объема композиции ПАВ составит 10 % от объема гелевой композиции. Применение оторочек позволит обеспечить прирост нефтеотдачи на 2-3 пункта.

В целом по результатам моделирования комплексного воздействия на остаточные запасы, прирост коэффициента извлечения нефти составил 5-6 пунктов. Необходимо отметить, что в реальных условиях такой прирост достигим только при условии повторения технологии сразу после окончания технологического эффекта от предыдущих обработок.

Промысловые испытания первой технологии проводились на продуктивных пластах Ватьёганского месторождения. Промысловые испытания начали с регулирования фильтрационных потоков, путем обработки нагнетательных скважин термотропной гелевой композицией — реагентом «РВ-3П-1» и лишь затем, приступили к реализации циклического воздействия. Параметры циклического воздействия были выбраны согласно результатам математического моделирования.

Проведенные мероприятия характеризуются высокими показателями эффективности (рисунок 1).

По опытным участкам отмечается улучшение технологических показателей. Дополнительная добыча от применения комплексной технологии воздействия на остаточные запасы, определялась по характеристикам вытеснения, и составила более 9,4 тыс.т. нефти. Согласно расчетам применение предлагаемых мероприятий до окончания разработки (в среднем не менее 12...15 лет) позволит получить прирост коэффициента извлечения нефти КИН на 5,6 пункта.

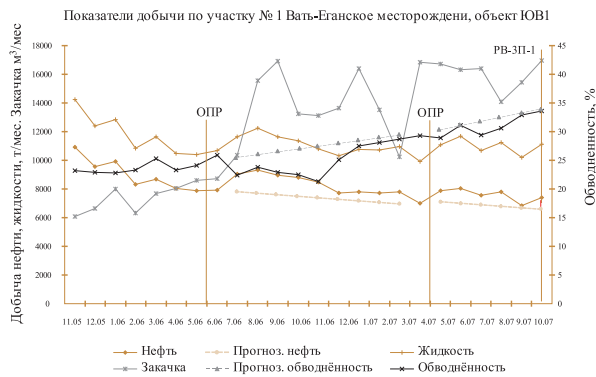


Рисунок 1. Динамика технологических показателей опытного участка - полигона испытания комплексного физико-химического и гидродинамического воздействия на остаточные запасы

Промысловые испытания второй технологии проводились на продуктивных пластах Люкпайского месторождения. Нефтеносность связана с отложениями верхней юры – пласт Ю₁. Песчаники горизонта Ю₁ имеют повсеместное распространение и разделяется на три проницаемых пласта Ю₁¹, Ю₁² и Ю₁³. Коллектор — терригенный, низкопроницаемый, высоконеоднородный, глинистый.

Рисунок 2 хорошо иллюстрирует сложную и неоднозначную характеристику коллекторских свойств этих отложений. Пласт Ю₁¹ разделён на два интервала, в верхнем – коллектор выделен как возможный. Залежи — пластовые, сводовые. Получение промышленных притоков нефти из подобных пластов – задача трудновыполнимая, что хорошо известно из научной литературы [3].

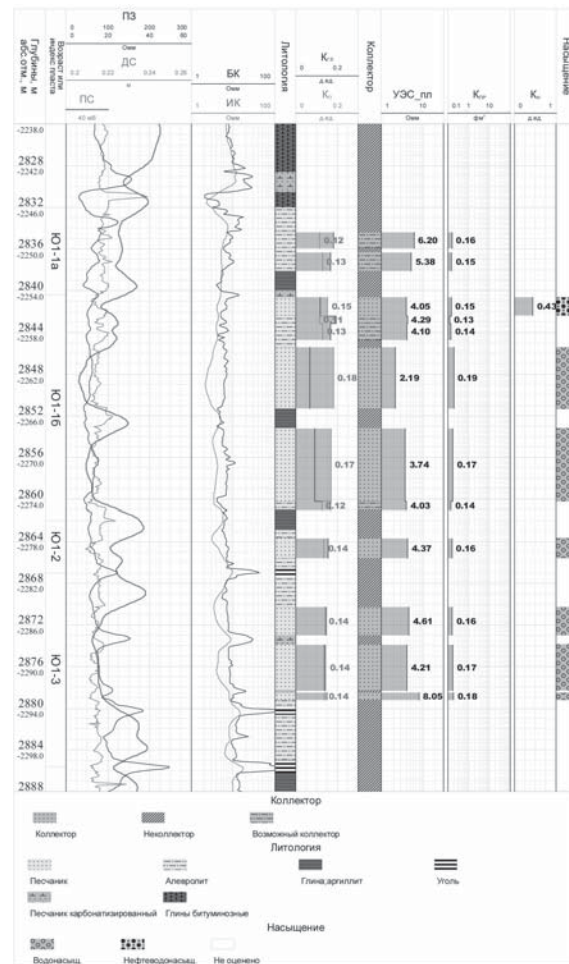


Рисунок 2. Пример геолого-геофизической характеристики разреза одной из скважин Люкпайского месторождения.

На момент проведения опытно-промышленных работ из юрских отложений было добыто около 230 тыс. т нефти [4]. Действующий фонд насчитывал 28 добывающих скважин и 12 нагнетательных. Средние дебиты скважин: по нефти — 13,5 т/сут; по жидкости — 17,4 т/сут. На месторождении применялось законтурное заводнение. Среднесуточная закачка скважины поддержания пластового давления (ППД) — 84 м³/сут. Обводненность по скважинам колеблется в пределах 40-75 %. На месторождении был испытан ряд потокорегулирующих технологий на основе осадкогелеобразующих композиций различных типов и марок. Результаты этих испытаний характеризовались невысокими показателями. Дополнительная добыча, определенная по характеристикам вытеснения, составляла десятки тонн нефти на одну скважино-обработку.

В результате проведения опытно-промышленных работ по внедрению предлагаемой комплексной технологии, удалось достичь выравнивания профилей приемистости обработанных скважин и повышения динамических уровней в реагирующих скважинах.

В последней группе скважин получено снижение темпа обводнения добываемой продукции. По окончании технологического эффекта эксперимент был расширен, помимо проведения повторных закачек

обработан еще ряд нагнетательных скважин. Всего от внедрения предлагаемой технологии на рассматриваемом месторождении добыто более 16 тыс. т дополнительной нефти.

ЛИТЕРАТУРА

Кинетика гелеобразования в системе соль алюминия - карбамид - вода / Кувшинов В.А., Алтунина Л.К., Стасьева Л.А. // Физико-химические свойства растворов и дисперсий. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 18-24.

Лабораторные исследования композиций на основе термотропных составов для гелевого воздействия на пласт / Андреев В.Е. и др. // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. Проблемы и методы рационального использования нефтяного попутного газа: материалы науч.-практ. конф. 26 мая 2010 г. Уфа, 2010. С. 79-81.

Виндельштейн Б.Ю., Ларионов В.В. Использование данных промысловой геофизики при подсчете запасов нефти и газа. М: Недра, 1964. – 199 с.

Опытно-промышленные работы по повышению нефтеотдачи юрских отложений Люкпайского месторождения [Текст]: отчет о НИР (заключ.): 14-17/2005 / Центр химич. механ. нефти АН РБ; рук. В.Е. Андреев; исполн.: Ю. А. Котенев [и др.]. Уфа, 2006. 119 с. - Библиогр.: с. 117-119. - Инв. № ЦХ 12-06.

Применение поверхностно-активных и водоизолирующих составов для повы-

шения нефтеотдачи пластов месторождений АО «Лангепаснефтегаз» [Текст]: отчет о НИР (Этапы 2, 3, 4): 15.477.96 НИИнефтеотдача АН РБ; рук. Р. Р. Ганиев, В. Г. Султанов; исполн.: Ю. Н. Ададунов [и др.]. Уфа, 1997. 199 с. - Библиогр.: с. 171. - Инв. № 945.

Ю.А. Котенев, д.т.н., профессор заведующий кафедрой «Геология», УГНТУ
Y.A. Kotenev, dr.tech.sci., professor chief of chair «Geology», USPTU
e-mail: geology-ufa@mail.ru

А.П. Чижов, к.т.н., доцент кафедры «Геология», УГНТУ
A.P. Chizhov, cand.tech.sci., associate professor of chair «Geology», USPTU
e-mail: 4ap@list.ru

А.В. Чибисов, к.т.н., доцент кафедры «Геология», УГНТУ
A.V. Chibisov, cand.tech.sci., associate professor of chair «Geology», USPTU
e-mail: geology-ufa@mail.ru

Ш.Х. Султанов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Геология», УГНТУ
Sh.H. Sultanov, dr.tech.sci., professor of chair «Geology», USPTU
e-mail: geology-ufa@mail.ru

О.В. Терехов, к.т.н., доцент кафедры «Геология», УГНТУ

O.V. Terekhov, cand.tech.sci., associate professor of chair «Geophysics», USPTU
тел./tel.: (347) 237-17-44

В.Е. Андреев, д.т.н., профессор, директор государственного автономного научного учреждения «Институт нефтегазовых технологий и новых материалов»

V.E. Andreev, dr.tech.sci., professor, director of State autonomic scientific department Institute oil and gas technologies and new materials
e-mail: ufanegr@anrb.ru

С.А. Попов, начальник отдела «Геология и разработка», НГДУ «Бахсибнефть»

S.A. Popov, head of department «Geology and production», Bashesibneft
e-mail: geology-ufa@mail.ru

Ш.С. Галимов, начальник отдела «Геология и разработка», ТПП «Когалымнефтегаз»

Sh.S. Galimov, head of department «Geology and production», Kogalymneftegas
e-mail: geology-ufa@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛЯТОРА МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НЕФТЕ- И ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

УДК 622.692.2
:622.691.4EXPERIMENTAL RESEARCH OF LOW STIFFNESS VIBROISOLATOR FOR OIL
AND GAS PUMPING AGREGATES**А.Р. Валеев, Г.Е. Коробков,
В.Я. Саньков****ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет****A.R. Valeev, G.E. Korobkov,
V.Ya. San'kov****Ufa State Petroleum
Technical University**

Произведены анализ статической характеристики и динамическое исследование экспериментального прототипа виброизолятора. Собственная частота колебаний виброизолятора составила 1,7 Гц. Коэффициент виброизоляции системы выше чем у аналогов в 4-9 раз. Предложено использование компенсаторов жесткости для повышения эффективности работы уже смонтированных традиционных виброизоляторов, в частности, возможна интеграция в виброизолирующую компенсирующую систему насосно-энергетических агрегатов, разработанной в ГУП «ИПГЭР», с целью повышения ее эффективности. Предложенный виброизолятор является перспективным средством защиты нефтегазоперекачивающих агрегатов от вибрации.

Low-stiffness vibroisolators are perspective in the area of mechanical engineering. The project and computer model of quasi-stiffness vibroisolator are presented. The vibroisolator consists of elastic element represented as bow spring and a couple of elastic rings functioning as stiffness compensator. Analysis of static characteristic and dynamic investigation of the experimental vibroisolator is made. Eigenfrequency of the vibroisolator is 1,7 Hz. It's coefficient of vibroisolation is 4-9 times more than analogue vibroisolator's one. Application of stiffness compensator for increasing of efficiency of traditional vibroisolators is offered. Particularly integration of stiffness compensator into vibration isolating and compensating system of pump units researched by IPTER is possible. The offered vibroisolator is perspective as vibration protection of oil and gas pumping units.

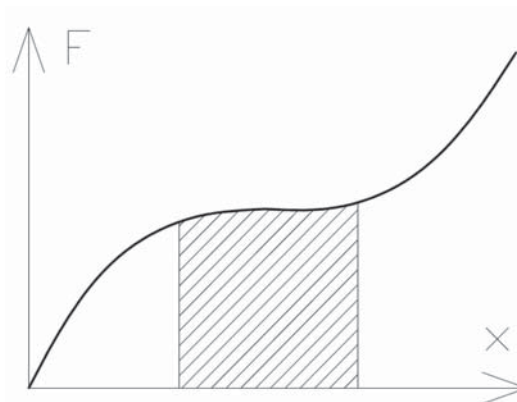
Ключевые слова: вибрация, виброизолятор, квазиулево жесткость.

Keywords: vibration, viboroisolator, quasi-zero stiffness.

По мере ввода в эксплуатацию нефтегазоперекачивающих агрегатов все больших мощности и частоты вращения ротора усиливается влияние таких негативных производственных факторов как вибрация и шум. В настоящее время из-за износа основных производственных фондов нефтеперекачивающих (НПС) и компрессорных станций (КС) встает проблема повышения надежности и долговечности работы их оборудования. Одной из основных причин нарушения оптимальных параметров работы оборудования является чрезмерная вибрация [1]. Следовательно, актуальна разработка конструкций, которые могут уменьшить уровень вибрации или ее влияние на другие объекты.

Виброизоляторы на основе систем с квазиулево жесткостью являются новым и перспективным направлением в машиностроении [2]. Их начали внедрять в средствах виброзащиты персонала, в судостроении, в ручных ударных машинах ударного типа и т.д. Система с квазиулево жесткостью – это упругая система, имеющая в своей статической характеристике пологий участок, т.е. участок с малой жесткостью. Принципиальный вид характеристики с квазиулево жесткостью представлен на

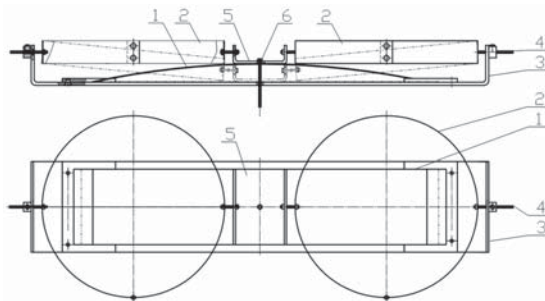
рисунке 1. Штриховой линией условно обозначена рабочая зоны системы.



F – восстанавливающая сила; x – деформация
Рисунок 1. Принципиальный вид силовой характеристики системы с квазиулево жесткостью

Системы с квазиулево жесткостью имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными виброизоляторами: более высокая степень снижения передаваемой динамической силы благодаря малой жесткости, независимость жесткости от статической нагрузки. Недостатками являются усложнение конструкции, требования к настройке.

Для исследования виброизолятора на основе квазиулево жесткости был спроектирован прототип (рисунок 2).



1 – несущая пластина; 2 – пружинные кольца – компенсаторы жесткости; 3 – корпус; 4 – регулируемые упоры; 5 – центральное крепление; 6 – центратор
Рисунок 2. Конструкция проектируемого виброизолятора

Статическая нагрузка от виброизолируемого объекта воспринимается несущей пластиной 1, выполненной в виде арочного элемента (рессоры). Пружинные кольца 2 играют роль компенсатора жесткости (элементов с отрицательной жесткостью). Пружинные кольца 2, так же как и несущую пластину 1, следует выполнять из сталей, устойчивых к постоянным динамическим циклическим нагрузкам, например, рессорных. Корпус 3 соединяет элементы конструкции. Регулируемые упоры 4 позволяют изменять степень сжатия колец и, соответственно, настраивать виброизолятор. Также упоры позволяют двигаться пружинным кольцам с минимальным трением. Центральное крепление 5 соединяет несущую пластину 1 и пружинные кольца 2. К нему прикладывается нагрузка от виброизолируемого объекта. Центратор 6 придает дополнительную устойчивость.

Принцип работы виброизолятора в следующем. Несущая пластина имеет определенную жесткость при перемещении в вертикальном направлении. Компенсирующие пружинные кольца, находясь в сжатом состоянии, стремятся переместиться вверх или вниз. Таким образом, они находятся в неустойчивом состоянии и имеют некоторую отрицательную жесткость в вертикальном направлении (корректоры жесткости типа А по классификации П. М. Алабушева [3]). В результате пружинные кольца уменьшают жесткость всего виброизолятора до малого (квазинулевого) значения. Применение компенсирующих пружинных колец и их расчеты приведены в [4], где обосновывалась эффективность их применения в средствах защиты от динамических воздействий. Регулируемыми упорами (позиция 4, рисунок 2) можно задавать отрицательную жесткость компенсаторов жесткости и задавать жесткость всего виброизолятора, следовательно, и эффективность виброизолятора в целом.

Моделирование виброизолятора было произведено в компьютерной программе ANSYS (рисунок 3), которое показало возможность работы данной конструкции в качестве виброизолятора.



Красная часть – напряженные точки конструкции; зеленая часть – напряженные точки конструкции;
Рисунок 3. Модель виброопоры в Ansys

Геометрические параметры виброопоры и механические свойства материала сведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры виброопоры

Параметр	Значение
Модуль Юнга E , ГПа	200
Ширина несущей пластины b , м	0,1
Толщина несущей пластины h , м	0,001
Расстояние между упорами несущей пластины L_p , м	0,5
Статический прогиб несущей пластины u_0 , м	0,05
Высота верхней точки несущей пластины u_1 , м	0,1
Ширина кольца b_k , м	0,03
Толщина кольца h_k , м	0,0005
Радиус кольца R , м	0,12
Статическое сжатие кольца Δ , м	0,03

Экспериментальный стенд виброизолятора представлен на рисунке 4. Несущая пластина может перемещаться по направляющим, выполненными в виде буквы «П» (рисунок 5). Крепление пружинных колец к раме виброопоры (рисунок 6) позволяет им шарнирно поворачиваться.



Рисунок 4. Виброизолятор

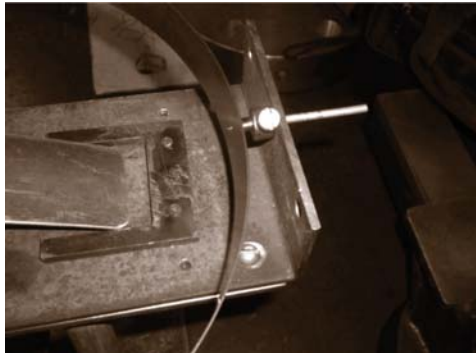


Рисунок 5. Крепление колец и основания пластины



Рисунок 6. Крепление колец к пластине

Исследование на экспериментальной установке проводилось в два этапа. На первом этапе проведено исследование по изучению статической характеристики конструкции, определению силы трения в системе и произведена ее настройка. На втором этапе изучалась виброопора в динамике. Для этого использован восьмиканальный синхронный регистратор-анализатор вибросигналов «Диана-8», предназначенный для решения практических задач диагностики состояния оборудования.

Сухое трение в конструкции приводит к наличию гистерезиса в силовой характеристике. Поэтому измерения проводились при прямом и обратном нагружениях. Виброопора нагружалась массой от 7,5 до 17 кг. Результаты измерений при различном напряжении пружинных колец приведены на рисунке 7. Измерения проводились с приведенной погрешностью 0,4%.

По мере увеличения степени сжатия компенсирующих колец, их способность к компенсации жесткости возрастает, и жесткость всей системы падает. Все линии на рисунке 7 пересекаются в одной точке, которая является рабочей. Ей соответствует перемещение 30,7 мм и нагрузка 10,5 кг. В этой точке кольца занимают строго горизонтальное положение. Одним из положительных свойств виброопоры заключается в том, что номинальная

нагрузка не зависит от степени сжатия колец.

Наиболее крутая линия на рисунке 7 (виброопора без колец – имитация линейного виброизолятора) может быть аппроксимирована на данном участке перемещений уравнением $y = 0,365x - 0,888$, а наиболее пологая линия (сжатие 5 см) – уравнением $y = 0,136x + 6,198$, где значение x приведено в мм, в y – в кг. Следовательно, значение жесткости с наибольшим сжатием колец составило 0,136 кгс/мм против 0,365 кгс/мм для пластины без колец. Тогда повышение коэффициента виброизоляции составило 2,68 раз.

Далее опыт был повторен для менее жесткой пластины. На рисунке 8 представлены полученные

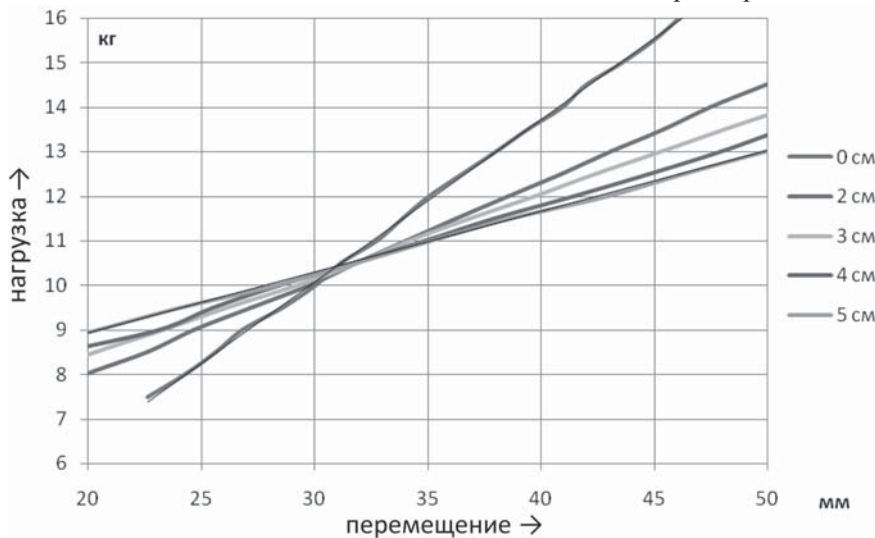


Рисунок 7. Статическая характеристика при различном сжатии пружинных колец

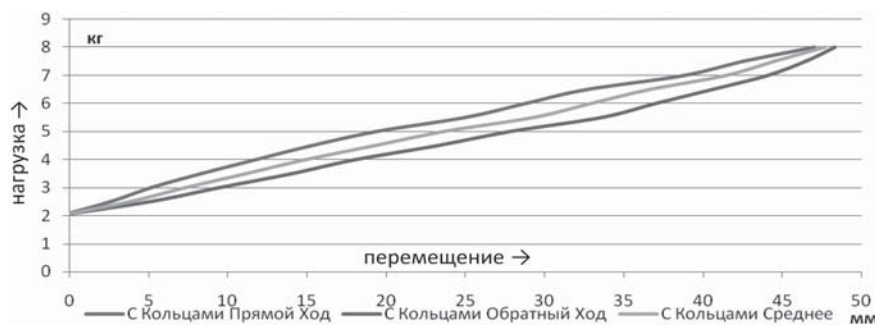


Рисунок 8. Статическая характеристика (опыт 2)

результаты при прямом и обратном ходе, а также их усредненное значение.

Было определено, что средняя разность между прямым ходом и обратным составляет 3,6 Н, следовательно, трение в системе составляет 1,8 Н или 3% номинальной нагрузки. Отмечаем, что во втором опыте повышение коэффициента виброизоляции составило 3,39 раз. Собственная частота колебаний виброизолятора составила 1,7 Гц.

На следующем этапе исследований проводились динамические испытания. Источником колебаний являлся электродвигатель ДПМ20 с номинальным напряжением 27 В, мощностью 1,3 Вт и частотой вращения 4500 об/мин. (рисунок 8). Вибросигнал принимался поверенным виброанализатором «Диана-8» (рисунок 9). Прибор позволяет проводить синхронную регистрацию вибросигналов (виброускорения, виброскорости или виброперемещения) при помощи восьми пьезоакселерометров типа ИСР. Предел основной допускаемой относительной погрешности прибора при измерении общего уровня вибрации менее 5%. Датчики при помощи магнитов устанавливались в трех местах (рисунок 10):

- у источника колебаний;
- у крепление упругих пластин;
- у основания опоры.



Рисунок 9. Электродвигатель ДПМ20



Рисунок 10. Восьмиканальный синхронный регистратор-анализатор вибросигналов «Диана-8»



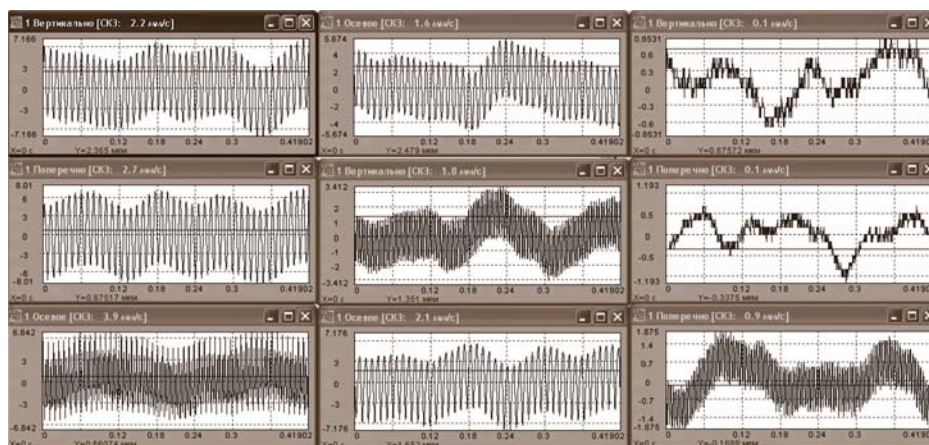
Рисунок 10. Установка датчиков на виброизолятор



Рисунок 11. Синхронизация виброанализатора с компьютером

Работа виброанализатора синхронизировалась с компьютером, и результаты измерений обрабатывались при помощи программы «Атлант» (рисунок 11). Измерения проводились в трех положениях - при жесткой фиксации пластины, моделирующей жесткое крепление оборудования на фундамент, при установке одной лишь пластины, соответствующей обычному амортизатору, и при установке компенсирующих пружинных колец. Получены девять вибродиаграмм (рисунок 12).

По диаграммам были вычислены среднеквадратичные значения виброскорости (таблица 2). Применение эффекта малой жесткости при помощи компенсирующих пружинных колец показало значительное снижение уровня вибрации в контрольной точке, благодаря чему значение виброскорости снизилось с 0,9 мм/с до 0,1 мм/с (отмечаем, что среднее квадратичное значение виброскорости было меньше нижнего предела измерения виброскорости, которое согласно паспорту прибора – 0,3 мм/с, поэтому это значение является примерным). При этом наблюдается уменьшение уровня вибрации как у источника колебаний, так и у основания виброопоры. Анализ спектра показывает, что доля субгармоник резко уменьшается на общем фоне вибрации.



Слева направо: жесткое соединение, упругое соединение, с установленными кольцами.
Сверху вниз: у основания виброопоры, у крепления пластин, у источника вибрации
Рисунок 13. Уровень сигнала виброскорости

Таблица 2 - Уровень сигнала виброскорости, среднеквадратичное значение виброскорости, мм/с.

Место установки датчика	Жесткое соединение	Упругое соединение	С компенсирующими пружинными кольцами
основание виброопоры	2,2	1,6	0,1
место крепления пластин	2,7	1,8	0,1
у источника вибрации	3,9	2,1	0,9

Таким образом, экспериментальные данные доказывают эффективность работы виброопоры и метода повышения виброизоляции с помощью систем с квазинулевой жесткостью.

Улучшение свойств виброизоляторов с помощью эффекта квазинулевой жесткости позволит защищать оборудования от вибрации на более высоком уровне. Компенсаторы жесткости, в частности, наклонно расположенные пружинные кольца, могут быть применены не только при проектировании новых виброизоляторов, но также и для повышения эффективности уже изготовленных и смонтированных виброизолирующих систем. Параллельное подключение элементов с отрицательной жесткостью

(компенсаторов жесткости) позволяют не изменять основную часть конструкции при ее модернизации. К примеру, таким способом можно увеличивать эффективность отдельных амортизаторов на металлических пружинах или целых комплексов в целом. В частности, добавление компенсаторов жесткости позволит в несколько раз повысить защитные свойства виброизолирующей компенсирующей системы насосно-энергетических агрегатов, разработанной в ГУП «ИПТЭР» [1].

Разработанный прототип виброизолятора будет способствовать решению проблем по защите насосно-силового оборудования от вибрации, а также повысить надежность и долговечность транспорта энергоресурсов в целом.

Выводы

Разработан экспериментальный виброизолятор на основе квазинулевой жесткости.

Проведены исследования по изучению статической характеристики виброизолятора и анализ работы конструкции в динамике.

Выполнен анализ результатов эксперимента, которые доказали эффективность работы данного виброизолятора.

Предложено использование компенсаторов жесткости для повышения эффективности работы уже смонтированных традиционных виброизоляторов.

ЛИТЕРАТУРА

Виброизолирующая компенсирующая система насосно-энергетических агрегатов / А.Г. Гумеров. Уфа, 2008. 328 с.

Зотов А.Н. Амортизаторы с квазинулевой жесткостью // Нефтегазовое дело. 2005. №3. С. 265 - 272.

П.М. Алабужев, А.А. Гритчин. Виброзащитные системы с квазинулевой жесткостью / под ред. К.М. Рагульска. Л.: Машиностроение, 1986. 96 с.

А.Р. Валеев. Конструкция сейсмоопоры с компенсационными кольцевыми пружинами // Нефтяное хозяйство. 2010. №6. С. 116 – 118.

А.Р. Валеев, аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», УГНТУ
A.R. Valeev, postgraduate student of chair «Transportation and storage of oil and gas», USPTU

Г.Е. Коробков, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», УГНТУ
G.E. Korobkov, dr.tech.sci., professor chief of chair «Transportation and storage of oil and gas», USPTU

В.Я. Саньков, инженер кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», УГНТУ
V.Ya. San'kov, engineer of chair «Transportation and storage of oil and gas», USPTU
e-mail: korobkov45@mail.ru

Д.Д.Х. Наваррете,
Ф.М. Мустафин
ГОУ ВПО Уфимский
государственный технический
университет

D. Jh. X. Navarrete,
F. M. Muctafin
Ufa State Petroleum Technical
University

Землетрясения могут вызывать серьезные повреждения подземных трубопроводов.

Предложен способ прокладки подземных трубопроводов для компенсации поперечных и продольных нагрузок и демпфирования колебаний трубопровода при сейсмическом воздействии на него, повышения надежности трубопроводов, прокладываемых в сейсмических районах.

Earthquakes can cause serious damage to underground pipelines.

The innovative method of underground pipelining for the compensation of transverse and longitudinal loadings and oscillation damping of pipeline under a seismic influence, the increase of the reliability of pipelines laid in seismic regions was brought forward.

Ключевые слова: Сейсмостойкость, подземный трубопровод, надежность, подземная прокладка, демпфирование.

Keywords: Seismic stability, the underground pipeline, reliability, an underground lining, damping.

Землетрясения вызывают внезапные крупные подвижки земли на опасных участках, представляющих собой разломы земной коры. Ученым хорошо известны районы, где с наибольшей вероятностью могут произойти такие процессы. Но никто не может предсказать даже по таким районам, когда и где именно произойдет очередное крупное землетрясение.

Основные сейсмические опасности, которые оказывают непосредственное воздействие на трубопровод, связаны либо с воздействием сейсмических волн, либо со смещениями грунта. Смещения грунта могут быть следствием разломов либо оползневых явлений и оказывают более существенное воздействие на трубопроводы, чем сейсмические волны.

Как известно, степень повреждения трубопроводов во время землетрясения зависит от целого ряда факторов: силы сейсмического воздействия и направления распространения сейсмических волн, геологических и гидрогеологических условий (плотность грунтового основания и степень заземления трубопровода в грунте), глубина заложения трубопровода, эксплуатационно-технологических нагрузок и воздействий, конструкции трубопровода и стыков, характеристик материала труб и опор, степени изношенности трубопровода.

Причины разрушения или повреждения подземных трубопроводов можно разделить на три группы (случаи, когда происходят значительные по величине разрывы грунтовой толщи, в данном случае не рассматриваются).

Первая причина: деформации трубопровода происходят в результате распространения вдоль трубы сейсмической волны. В трубопроводе возникают значительные по величине напряжения сжатия —

растяжения, приводящие к его разрушению. Сейсмические повреждения такого типа возникают, как правило, вблизи эпицентра, где амплитуда смещения грунта в сейсмической волне велика. Однако в данном случае многое зависит от степени заземления трубопровода в грунте.

Вторая причина: осевое удлинение или изгибные деформации трубопровода, вызванные различными деформациями смежных участков трассы, сложенных грунтами с различными динамическими свойствами.

Третья причина: изгибные деформации, излом, срез трубопровода или осевые деформации в местах их присоединения к резервуарам, колодцам, различному оборудованию или трубопроводам другого направления. [1]

Важная задача проектирования трубопроводов в сейсмических районах — обеспечение безопасности людей и предотвращение ущерба для окружающей среды. Основная цель проектирования в данных условиях заключается в разработке конструктивных решений, которые позволят противостоять нагрузкам при землетрясении, будут при этом безопасными и экономически целесообразными, будут согласованы с решениями, применяемыми для борьбы с другими опасностями, возникающими естественным путем и создаваемыми самим человеком.

Определив сейсмические нагрузки, практически всегда можно найти оптимальное решение, позволяющее безо всяких повреждений выдерживать сильные землетрясения. Однако стоимость решения может быть весьма велика. В связи с этим необходимо найти варианты, обеспечивающие достаточный для безопасной эксплуатации уровень сейсмостойкости трубопроводов.

При разработке конструктивных решений подземной прокладки трубопровода на территории с сейсмичностью более 8 баллов и тектоническими разломами должны учитываться следующие факторы:



глубина заложения; тип грунта засыпки; для зон тектонических разломов — расстояние от места ожидаемого разлома, в пределах которого были осуществлены соответствующие мероприятия. Участки трубопровода в пределах предлагаемых конструктивных решений относятся к участкам I категории. Конструктивное решение осуществляется в зоне тектонического разлома и на прилегающих участках протяженностью 70 м по обе стороны от границ тектонического разлома.

В практике трубопроводного строительства широко применяется способ прокладки трубопроводов над поверхностью земли на свободно-подвижных опорах. Данный способ прокладки наиболее эффективен при пересечении трассой трубопровода активных тектонических разломов. К недостаткам способа относятся высокая металлоемкость и необходимость установки компенсаторов и демпфирующих элементов.

Сооружение и эксплуатация трубопроводов в районах высокой сейсмичности и со сложными природными условиями, в том числе и различными грунтовыми характеристиками, приводит к существенным изменениям условий их работы и ужесточению напряженно-деформированного состояния [3]. Это обуславливает необходимость усовершенствования методов проектирования и принятия новых конструктивных решений.

Таким образом, задача оценки работоспособности линейных частей существующих магистральных трубопроводов и обеспечения надежности трубопроводных систем на стадии их проектирования в настоящее время приобрела огромную актуальность. При этом проблема обеспечения надежности должна решаться, с одной стороны, с учетом влияния совокупности конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, с другой — с учетом стохастического характера эксплуатационных нагрузок и рассеивания характеристик вязкости и прочности элементов конструкции.

Строительные нормы и правила СНиП 2.05.06-85* [5], рекомендуют проектировать линейную часть подземных трубопроводов и ответвлений от них, прокладываемых в районах с сейсмичностью свыше 8 баллов, с учетом сейсмических воздействий.

При этом сейсмостойкость трубопроводов должна обеспечиваться:

- выбором благоприятных в сейсмическом отношении участков трасс и площадок строительства;
- применением рациональных конструктивных решений и антисейсмических мероприятий;
- Дополнительным запасом прочности, принимаемым при расчете прочности и устойчивости трубопроводов.

Одним из основных антисейсмических мероприятий при проектировании трубопроводов (в первую очередь подземных) является выбор трассы с учетом данных сейсмического районирования.

При выборе трассы трубопроводов в сейсмических районах необходимо избегать косогорные участки, участки с неустойчивыми и просадочными грунтами, территории горных выработок и активных тектонических разломов, а также участки, сейсмичность которых превышает 9 баллов.

Прокладка трубопроводов в перечисленных условиях может быть осуществлена, в случае особой необходимости, при соответствующем технико-экономическом обосновании и согласовании с соответствующими органами Государственного надзора. При этом в проекте должны быть предусмотрены дополнительные мероприятия, обеспечивающие надежность трубопровода.

При пересечении трубопроводом участков трассы с грунтами, резко отличающимися друг от друга сейсмическими свойствами, необходимо предусматривать возможность свободного перемещения и деформирования трубопровода.

При подземной прокладке трубопровода на таких участках, рекомендуется устройство траншей с пологими откосами и засыпка трубопровода крупнозернистым песком, торфом и т.д.

На участках пересечения трассой трубопровода активных тектонических разломов необходимо применять надземную прокладку.

При подземной прокладке трубопровода грунтово-основание трубопровода должно быть уплотнено.

Другие нормативные указания устанавливают, что проектирование и анализ возможности строительства в сейсмических районах должны опираться во всей полноте на нормах СНиП II-7-81* [6]

Шкала интенсивностей MSK-64 показывает, что при землетрясениях силой 8 баллов возможны лишь отдельные случаи разрывов стыков трубопроводов, при интенсивности 9 баллов наблюдаются разрывы части подземных трубопроводов, при 10 баллах происходят разрывы и искривления подземных трубопроводов, во время землетрясений силой 11-12 баллов - полное разрушение подземных трубопроводов. [7]

Как известно, от свойств грунтов существенно зависят интенсивность сотрясения и особенности развития колебательного процесса в системе «трубопровод - грунт».

При наличии криволинейных участков на подземных трубопроводах повышается степень его заземления в грунте и передающееся на него сейсмическое воздействие.

Трубопроводы деформируются совместно с грунтовым массивом почти как единое целое (чем плотнее грунт, тем большая степень совместного

деформирования). Разрушения и повреждения трубопроводов обычно связывают со значительными деформациями грунтового массива, в котором находится трубопровод (квазистатическое нагружение) [2].

В ряде случаев для повышения сейсмостойкости подземных трубопроводов рекомендуется формировать профиль поперечного сечения траншеи (особенно в районе тектонических разломов) так, чтобы при землетрясении обеспечивалось смещение трубопровода по нормали к продольной оси без значительных деформаций и разрушений.

Как показали исследования Ньюмарка, Холла, даже на участках пересечения тектонических разломов трубопроводы, которые слабо заземлены в грунте и при определенных условиях могут «выйти» из траншеи, иногда переносят землетрясение без разрушения самой трубы.

Большая часть смещений трубопроводов происходит на сравнительно небольших по протяженности участках, примыкающих к линии разлома. Трубопроводы диаметром 1220 мм с толщиной стенки 11,5 мм из труб, изготовленных из пластичных сталей с пределами прочности до 650 МПа, при подземной прокладке и толщине слоя засыпки до 90 см могут выдерживать смещение грунта по линии разлома 3м, если будет обеспечено смещение трубопровода на участках протяженностью около 50 м по обе стороны от центра разлома [2].

Для повышения сейсмостойкости трубопроводов, прокладываемых в скальных грунтах, необходимо рыть траншеи с весьма пологими откосами стен. Во время землетрясения трубопровод приподнимается, в результате чего сейсмические напряжения частично компенсируются. На участках, где возможны очень большие смещения, трубопроводы рекомендуется укладывать в траншеи с такими откосами, крутизна которых не сильно препятствовала бы перемещению деформируемого участка трубопровода по этим откосам вверх.

В этом случае, при значительных смещениях грунтовой толщи вдоль линии разлома, трубопровод «выйдет» из траншеи, но не будет разрушен.

Задачей предлагаемого способа является компенсация поперечных и продольных нагрузок на трубопровод и демпфирование колебаний трубопровода при сейсмическом воздействии на него, повышение надежности трубопроводов, прокладываемых в сейсмических районах.

Прототипом предлагаемого способа укладки является способ прокладки трубопровода в сейсмических районах [4], включающий подземную прокладку трубопровода с разработкой траншеи с пологими откосами (уклон 1:2), устройством подсыпки из мягкого грунта толщиной не менее 200 мм, засыпкой трубопровода измельченным, несвязным грунтом (крупнозернистым песком, торфом).

Недостатком прототипа является то, что мелкий песок и торф смывается из траншеи потоками воды от ливневых дождей и весеннего паводка. Это в конечном итоге приводит к ухудшению компенсационного и демпфирующего свойств данного способа прокладки.

Решением указанной задачи является то, что при способе прокладки трубопровода в сейсмических районах, включающем разработку траншеи с пологими откосами, прокладку трубопровода и его засыпку, согласно предлагаемому способу, используют упругопластичные или упругодеформируемые элементы укладываемые под трубопровод с шагом L от 0 до 10 метров, при этом трубопровод защищают скальным листом. Для засыпки траншеи используют гравийный грунт с наименьшим сцеплением, например с зернами размером 10-50 мм.

В предлагаемом способе укладки упругопластичные элементы представляют собой мешки или емкости различной геометрической формы с габаритными размерами (0,2-1,5 м) x (0,4-3,0 м) (в зависимости от диаметра трубопровода и района строительства), заполненные стружкой непрессованных стекловолоконных материалов или пенополиэтиленовых, поролоновых и других упругопластичных материалов или торфом. Упругодеформируемые элементы изготавливаются из резиноканевых полимерных, металлокордовых и других материалов, в качестве которых могут быть использованы, например, утилизированные автопокрышки.

Способ прокладки трубопроводов в сейсмических районах заключается в следующем. В широкую траншею с пологими откосами укладывают трубопровод. При этом на внешнюю поверхность трубопровода могут устанавливаться упругодеформируемые элементы. Упругодеформируемые элементы могут устанавливаться вплотную друг к другу по всей длине трубопровода или с шагом L. В случае установки упругодеформируемых элементов с шагом L для исключения повреждения стенки трубы и изоляции трубы от грунта засыпки, дополнительно предусматривается установка на внешнюю поверхность трубопровода скального листа.

Также для исключения контакта трубопровода со стенкой и дном траншеи и грунтом засыпки трубопровод может обкладываться со всех сторон упругопластичными элементами.

В случае прокладки трубопровода на склоновых участках с уклоном более 5°, упругопластичные элементы укладывают только под трубопровод. При этом для исключения повреждения стенки трубы и изоляции трубы от грунта засыпки дополнительно предусматривается установка на внешнюю поверхность трубопровода скального листа. Далее производят засыпку траншеи гравием, торфом или щебнем.

При сейсмической активности за счет свойств упругопластичных и упругодеформируемых элементов происходит компенсация сил, действующих на трубопровод, и демпфирование колебаний трубопровода. В связи с этим и с отсутствием в траншее легкоразмываемых водой грунтов (мелкий песок, торф) происходит существенное повышение надежности трубопровода по сравнению с прототипом.

На рисунке 1 представлено поперечное сечение траншеи с упругопластичными элементами, на рисунке 2 представлен продольный разрез траншеи с упругодеформируемыми элементами, на рисунке 3 — поперечный разрез траншеи с упругодеформируемыми элементами.

На рисунках 1, 3 величина B может достигать 4 метров, угол γ находится в пределах 30-35°. На рисунке 2 величина L может достигать 10 метров. Величины B , γ , L , определяются в зависимости от

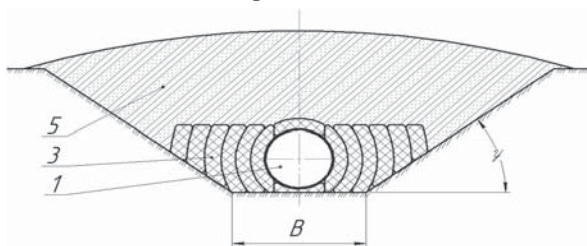


Рисунок 1. Поперечное сечение траншеи с упругопластичными элементами: 1 — трубопровод, 3 — упругопластичный элемент, 5 — грунт засыпки (гравий или щебень).

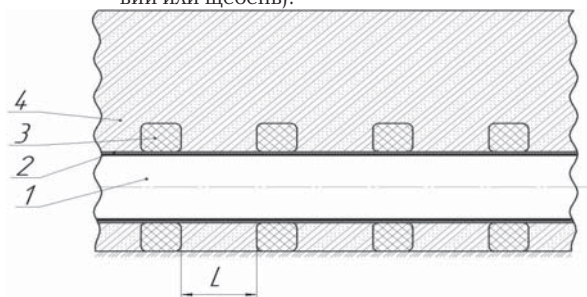


Рисунок 2. Продольный разрез траншеи с упругодеформируемыми элементами: 1 — трубопровод, 2 — скальный лист, 3 — упругодеформируемый элемент, 4 — грунт засыпки (гравий или щебень).

геометрических и прочностных характеристик трубопроводов, конкретных условий прокладки.

Упругопластичные и упругодеформируемые элементы предлагаемой конструкции обладают достаточной прочностью для сопротивления действию грунта засыпки и достаточной пластичностью для свободного перемещения трубопровода во время сейсмической активности.

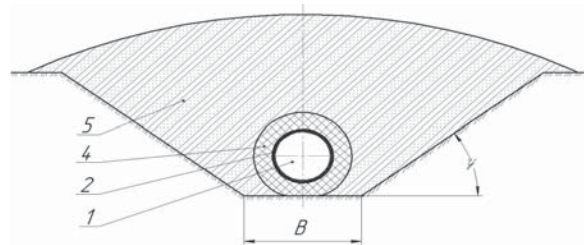


Рисунок 3. Поперечный разрез траншеи с упругодеформируемыми элементами: 1 — трубопровод, 2 — скальный лист, 4 — упругодеформируемый элемент, 5 — грунт засыпки (гравий или щебень).

Благодаря отсутствию заземления трубопровода грунтом и возможности свободного перемещения и деформирования трубопровода при сейсмической активности происходит существенное уменьшение механических напряжений в стенке трубы. При отсутствии в траншее легкоразмываемых водой грунтов (мелкий песок, торф) обеспечивается стабильность компенсирующих и демпфирующих свойств данного способа прокладки. Как следствие, происходит повышение надежности данного участка трубопровода.

Компенсация нагрузок на трубопровод и демпфирование колебаний трубопровода достигается за счет свойств упругопластичных и упругодеформируемых элементов и, как следствие, возможности свободного перемещения и деформирования трубопровода в траншее.

Данный способ прокладки является перспективным, с точки зрения обеспечения надежности работы трубопроводных конструкций, и рекомендуется при сооружении трубопроводов в сейсмических районах.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Савинов О.А. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности. М.: Наука, 1980. 170 с.
2. Гехман А.С., Зайнетдинов Х.Х. Расчет, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1988. 184 с.
3. Киссин И.Г. Землетрясения и подземные воды. М.: Наука, 1982. 176 с.
4. Технология сооружения газонефтепроводов / Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Васильев Г.Г., Гумеров А.Г. и др.; под ред. Г.Г. Васильева: учеб. пособие. Уфа: «Нефтегазовое дело», 2007. 632 с.
5. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. М.: Изд-во стандартов, 2003. 50с.
6. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. М.: Изд-во стандартов, 2003. 58с.
7. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. - М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
8. Д.Д.Х. Наваррете, аспирант кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», УГНТУ D.J.X. Navarrete, postgraduate student of chair «Construction and maintenance of oil and gas pipelines and tanks», USPTU Ф.М. Мустафин, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», УГНТУ F.M. Mustafin, dr.tech.sci., professor chief of chair «Construction and maintenance of oil and gas pipelines and tanks», USPTU e-mail: pipe@rusoil.net

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОДКИСЛЕНИЯ НЕФТИ ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

УДК 622.692.
4.052.002

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF SAW TO REDUCE OIL ACIDIFICATION PUMPING WATER EMULSION ON PIPELINE

**А.С. Тюсенков, Д.В. Кононов,
Д.Е. Бугай, А.Б. Лаптев**
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет,
ООО «Компания Налко»

**A.S. Tyusenkov, D.V. Kononov,
D.E. Bugay, A.B. Laptev**
Ufa State Petroleum Technical
University,
LLC Nalko Company

Явление подкисления нефти авторы объясняют накоплением в ее потоке электростатических зарядов, образующихся при перекачке водонефтяной эмульсии по футерованным трубопроводам. Отрицательные заряды накапливаются водной фазой, а положительные заряды сосредотачиваются в нефти.

Целью исследований являлось определение скорости коррозии трубной стали в подтоварной воде с накопленным зарядом, имеющей различные значения pH и окислительно-восстановительного потенциала (Eh), а также оценка возможности применения поверхностно-активных веществ (ПАВ) для снижения перераспределения электростатических зарядов.

The phenomenon of acidification of the authors explains the accumulation of oil in its electrostatic charges generated by pumping water emulsion on the lined pipeline. Negative charges accumulate water phase, and the positive charge concentrated in oil.

Purpose of the research was to determine the rate of corrosion of pipe steel in the Bottom Water from the accumulated charge with different values of pH and oxidation reduction potential (Eh), as well as to assess the possibility of surface-active substances (SAS) to reduce the redistribution of electrostatic charges.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, перераспределение зарядов, окислительно-восстановительный потенциал, поверхностно-активное вещество, антистатик, скорость коррозии.

Key words: water-oil emulsion, the redistribution of charges, oxidation reduction potential, surfactant, anti-static agent, rate of corrosion

В процессе перекачки водонефтяной смеси по футерованным промышленным трубопроводам происходит накопление статического заряда – отрицательного на поверхности трубопровода и положительного в нефти. Поскольку пластовая вода является электропроводным электролитом и ее потенциал равен потенциалу трубы, то между водой и нефтью накапливается разность потенциалов. Процесс изменения зарядов напрямую связан с образованием эмульсий прямого и обратного типа за счет сил электростатического отталкивания между глобулами [1]. Накопление зарядов в нефтяной фазе происходит по механизму образования так называемых карбокатионов — органических молекул с большой молекулярной массой, которые присоединяют ион с положительным зарядом. Заряд на молекуле перераспределяется по всем атомам, и общий заряд молекулы изменяется незначительно [2-3]. Карбокатионы в окружении диэлектрической нефтяной фазы могут существовать длительное (несколько суток) время.

Электростатические заряды, накапливаясь в объеме воды, изменяют ее водородный показатель pH и окислительно-восстановительный потенциал Eh. Увеличение концентрации отрицательных ионов

в водной фазе снижает ее коррозионную активность, что является положительным моментом. Нефть же, накопившая в себе большое количество положительно заряженных ионов, представляет собой большую опасность для установок подготовки и переработки нефти. После отстаивания нефть подается по магистральным трубопроводам на нефтеперерабатывающие предприятия, где происходит удаление остаточной влаги и распад карбокатионов сначала на электрообессоливающих установках, а затем при высокой температуре в колонне АВТ. Водный конденсат при переработке нефти имеет pH около 1, поэтому ни одна установка не обходится без предварительного защелачивания сырой нефти.

Подкисление нефти нельзя отнести только к использованию кислот для гидроразрыва пласта, а образование эмульсий - лишь воздействием насосов и природных ПАВ. Поэтому нами была предпринята попытка объяснения этого явления накоплением статического заряда при перекачке нефти по трубопроводам.

Важным показателем изменения состава водонефтяной смеси является водная электропроводящая фаза. Изменение характеристик водной фазы напрямую связано с её Eh и коррозионной активностью. Накопление отрицательного заряда водной фазой равно по количеству электричества накопленному нефтью положительного заряда.

Целью исследований являлось определение скорости коррозии трубной стали в подтоварной воде с накопленным зарядом, имеющей различные значения pH и Eh, а также оценка возможности примене-

ния ПАВ для снижения перераспределения электростатических зарядов.

Изменение Eh воды производили в специально разработанной лабораторной установке, позволяющей имитировать движение водонефтяной эмульсии по футерованному трубопроводу. Скорость коррозии металлических образцов определяли тремя способами: гравиметрией, методом линейного поляризационного сопротивления и методом снятия поляризационных кривых.

Гравиметрический анализ для определения глубинного показателя коррозии проводился на образцах из стали 20 в соответствии с ГОСТ 9.502-82.

Регистрацию параметров по методу линейного поляризационного сопротивления проводили с помощью индикатора скорости коррозии Монитор-2М.

Для осуществления метода установили следующие параметры: поляризация рабочего электрода в катодную и анодную область от потенциала коррозии ± 10 мВ; значение коэффициентов b_a и b_k 120 мВ; продолжительность поляризации - 30 с в катодную и анодную области.

Анодные и катодные поляризационные кривые снимали с помощью потенциостата ИРС-Pro М. Поляризация рабочего электрода в катодную область проводилась до значений потенциала $-1,5$ В, в анодную область - до $+0,5$ В; скорость развертки потенциала составляла $0,5$ мВ/с. В качестве рабочего электрода была выбран образец из стали 20.

Данный метод основан на принципе Штерна-Гири, полученном теоретически, путем дифференцирования уравнения поляризационной кривой вблизи стационарного потенциала коррозии ($\Delta E \leq 10-20$ мВ). В общем случае этот принцип читается так: плотность тока коррозии обратно пропорциональна поляризационному сопротивлению поверхности электрода, измеренному вблизи стационарного потенциала коррозии.

Плотность тока коррозии вычисляется по формуле:

$$i_k = \frac{\Delta i}{\Delta E} \cdot \frac{b_a \cdot b_k}{2.3 \cdot (b_a + b_k)},$$

где i_k — плотность тока коррозии, мА/см²;

Δi — возникающая анодная или катодная плотность тока при смещении потенциала (ΔE) на 10-20 мВ, мА/см²;

b_a — постоянная, показывающая наклон тафелевого участка анодной поляризационной кривой, мВ;

b_k — постоянная, показывающая наклон тафелевого участка катодной поляризационной кривой, мВ;

$\frac{b_a \cdot b_k}{2.3(b_a + b_k)}$ — коэффициент Штерна-Гири.

Испытания проводились в следующих средах:

1) контрольная среда;

2) активированная вода;

3) раствор I;

4) раствор II;

5) раствор III.

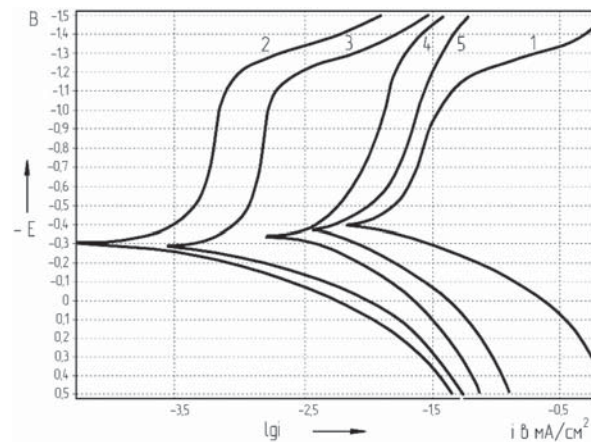
В качестве контрольной среды использовалась речная вода, смешанная с дизельным топливом, а затем отстоянная в делительной воронке. Активированная вода была получена при циркуляции в установке смеси обводненностью 10 % в течение 1 часа. Растворы I, II, III были получены при циркуляции смеси в течение 1 часа с добавлением антистатика в количестве 10, 20 и 50 мг. на 1 литр воды соответственно.



Экспозиция (слева направо), ч: 12, 24, 48, 60, 72

Рисунок 1. Образцы после гравиметрических испытаний в движущейся среде

Поляризационные кривые стали 20 в исследуемых средах представлены на рисунке 2.



1 – контрольная среда; 2 – активированная вода; 3 – раствор I; 4 – раствор II; 5 – раствор III

Рисунок 2. Поляризационные диаграммы стали 20 в исследуемых средах

Таблица 1. Параметры исследуемых сред

Среда	pH	Eh, мВ (н.в.э.)	$\Phi_{корр}$, В (н.в.э.)	β_a	β_k
Контрольная среда	8,0	444	-0,40	0,19	-0,25
Заряженная вода	8,4	419	-0,29	0,15	-0,20
Раствор I	8,2	426	-0,38	0,18	-0,24
Раствор II	8,1	431	-0,36	0,18	-0,23
Раствор III	8,1	443	-0,31	0,14	-0,21

Из таблицы видно, с повышением концентрации антистатика (раствор I → раствор III) окислительно-восстановительный потенциал воды увеличивается и при концентрации 50 мг/л достигает значений Eh незаряженной жидкости. Кроме того, добавление антистатика не приводит к значительному увеличению pH водной составляющей эмульсии. Таким образом, кислотность нефти в этом случае также не будет изменяться.

Исходя из современной теории электрокинетических явлений, получено выражение для тока электризации при турбулентном режиме [4, 5, 6]:

$$I = -0,04\pi Re^{0,75} v_0 \varepsilon \varepsilon_0 \zeta,$$

где I — сила тока электризации, А;

Re — число Рейнольдса;

v_0 — средняя скорость движения жидкости в трубе, м/с;

ε — диэлектрическая проницаемость жидкости;

ε_0 — абсолютная диэлектрическая постоянная;

ζ — электрокинетический потенциал, В.

Предполагается, что разница между окислительно-восстановительным потенциалом заряженной и незаряженной жидкости численно равна электрокинетическому потенциалу этой среды, возникающему при перемещении жидкости относительно твердого тела.

Ток электризации, который может быть рассчитан по приведенной формуле, накладываясь на коррозионный ток, изменяет скорость коррозии металла трубопровода. Причем, чем выше значения электрокинетического потенциала, тем большее значение имеет ток электризации. Токи от статического электричества противоположны по направлению токам коррозии, поэтому сдвиг поляризационных кривых по току происходит в сторону уменьшения его значений. Таким образом, чем большую разность имеет окислительно-восстановительный потенциал заряженной жидкости по сравнению с потенциалом незаряженной, тем меньшей коррозионной активностью обладает рассматриваемая среда.

Таблица 2. Скорость коррозии образцов из стали 20 в исследуемых средах

Среда	Гравиметрический анализ	Метод поляризационного сопротивления	Метод снятия поляризационных кривых
	П, мм/год	П, мм/год	П, мм/год
Контрольная среда	0,070	0,045	0,048
Активированная вода	0,007	0,004	0,004
Раствор I	0,009	0,005	0,006
Раствор II	0,048	0,024	0,039
Раствор III	0,061	0,033	0,046

Выводы

При совместном транспорте нефти и воды, в результате перераспределения зарядов, вода заряжается отрицательно, при этом резко снижается ее коррозионная активность, но повышается кислотность нефти.

За счет накопления статического заряда водной фазой происходит повышение pH с 7 до 8, уменьшается Eh с 445 до 420 мВ.

Применение поверхностно-активных веществ (антистатических добавок) в количестве 50 мг/л обеспечивает снижение перераспределения зарядов, при этом коррозионная активность воды остаётся на прежнем уровне, pH и Eh также практически не изменяются, то есть исключается накопление статических зарядов.

Использование антистатических добавок позволит предотвратить образование эмульсий при перекачке по футерованным трубопроводам водонефтяной смеси и значительно уменьшить скорость коррозии на установках подготовки и переработки нефти.

ЛИТЕРАТУРА

Книга Налко о воде. 2-е. Под ред. Ф.Н. Кеммера. McGraw-Hill Book Company, 1987. 1103 с.

Коптюг В.А. Карбокатионы: строение и реакционная способность. М.: Наука, 2002. 459 с.

Навалихин Г.П., Лаптев А.Б. Повышение безопасной эксплуатации промышленных нефтепроводов // Нефтепромысловое дело: науч.-техн. журн./ ОАО ВНИИОЭНГ. 2006. № 1. С. 48-52.

Kosman I., Gavis J. Development of charge in low-conductivity liquids flowing

past surfaces // Chem. Eng. Sci., 1962, V. 17, N12. P.1013-1021.

Леб Л. Статическая электризация. М.:Л., Госэнергоиздат, 1963. 408 с.

Дроздов Н.Г. Статическое электричество в химической промышленности. М., Энергия, 1971. 320 с.

А.С. Тюсенков, аспирант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

A.S. Tyusenkov, postgraduate student of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU

Д.В. Кононов, аспирант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

D.V. Kononov, postgraduate student of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU

Д.Е. Бугай, д.т.н., профессор кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

D.E. Bugay, dr.sci.tech., professor of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU

А.Б. Лаптев, д.т.н., главный инженер ООО «Компания Налко»

A.B. Laptev, dr.sci.tech., chief engineer, LLC Nalko Company

МЕТОДОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ РЕОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

METHODOLOGY FOR INCREASING THE RELIABILITY OF MACHINES AND EQUIPMENT OIL AND GAS SECTOR BASED ON THE REORGANIZATION OF ITS OPERATION

**В.В. Шаяхметов,
Р.Г. Абдеев**

**ГОУ ВПО Башкирский
государственный университет,
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет**

**V. B. Shayakhmetov,
R.G. Abdeev**

**Bashkir State University,
Ufa State Petroleum Technical
University**

Проведено исследование влияния вариантов организации технического обслуживания аппаратов воздушного охлаждения (АВО) дожимных насосных станций (ДНС) нефтегазопроводов на повышение готовности технической системы; произведена количественная оценка влияния факторов реального функционирования технической системы ТО АВО на уровень ее готовности; определены оптимальные значения параметров технического обслуживания АВО для рассматриваемых критериев оптимизации.

The paper studied the effect of options for the maintenance of air coolers booster pump stations oil and gas pipelines to increase the technical readiness of the system; produce a quantitative assessment of the impact factors of the physical operation of the technical system air coolers on its level of preparedness;

The optimal values of maintenance air coolers for the considered optimization criteria.

Ключевые слова: надежность машин; техническое обслуживание; резерв времени; технические системы.

Key words: reliability of machines, maintenance, pool time, the technical system.

Введение

В [1] на основе [2,3,4] с помощью аналитических и численных методов был получен комплекс расчетных соотношений для основных показателей надежности технических систем, а также найдены уравнения для оценки оптимальных параметров технического обслуживания. Во многих случаях результаты представлены для произвольных законов распределения рассматриваемых случайных величин. Поэтому имеет практический интерес исследование вопроса: каким образом влияют различные факторы реального функционирования технической системы машин и оборудования нефтегазового комплекса и законы распределения исследуемых случайных величин на оценку основных показателей надежности и выбор оптимальных параметров технического обслуживания технической системы для повышения ее надежности.

В связи с этим в статье решается ряд задач, основными из которых являются:

- исследование влияния вариантов организации технического обслуживания на повышение готовности технической системы;
- количественная оценка влияния факторов реального функционирования технической системы на уровень ее готовности;

- определение оптимальных значений параметров технического обслуживания для рассматриваемых критериев оптимизации.

Решение этих задач позволит выявить специфические свойства и особенности технических систем и выработать практические рекомендации по организации рационального технического обслуживания (ТО) технической системы машин и оборудования нефтегазового комплекса при его эксплуатации.

Исследование влияния организации технического обслуживания с резервом времени на надежность технических систем

Техническое обслуживание по наработке

Проведем исследование влияния параметров технического обслуживания на готовность аппаратов воздушного охлаждения (АВО) дожимных насосных станций (ДНС) нефтегазопроводов при организации технического обслуживания по наработке.

Не приводя в данной статье достаточно громоздких математических соотношений [1], представим анализ зависимости коэффициента готовности $K_r(Z)$ системы ТО от периода технического обслуживания T и интенсивности отказов λ . При гамма-распределении наработки на отказ (сплошная линия) существует оптимальное значение периода технического обслуживания, соответствующее максимуму $K_r(Z)$ (рисунок 1). Причем, при уменьшении λ значение оптимального периода технического обслуживания смещается вправо по оси абсцисс, а значение $K_r(Z)$ возрастает и стремится к своему максимальному значению. При этом оптимальный период тех-

нического обслуживания стремится к бесконечности. Это подтверждает тот факт, что чем выше надежность технической системы, тем реже необходимо проводить обслуживания. В идеальном случае для безотказных технических систем оптимального значения периода технического обслуживания существовать не будет.

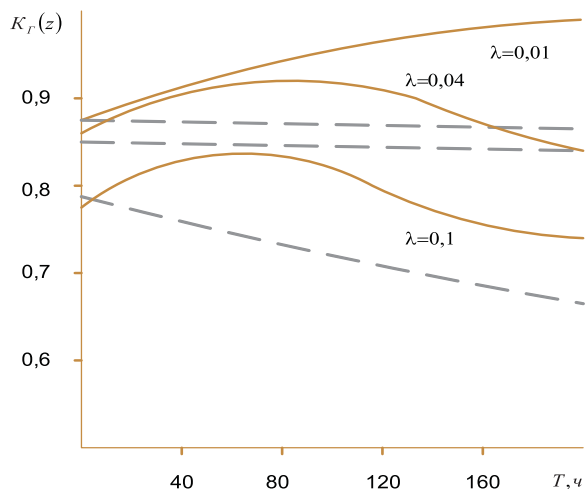


Рисунок 1 Зависимость коэффициента готовности АВО от периода технического обслуживания и интенсивности отказов

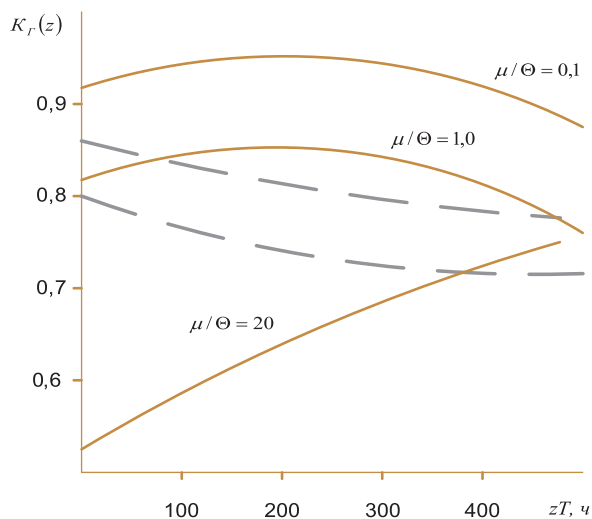


Рисунок 2 Зависимость коэффициента готовности АВО от периода технического обслуживания, интенсивности обслуживания и аварийного ремонта

С ростом величины отношения интенсивностей восстановления и технического обслуживания (μ/θ) значение $K_r(z)$ уменьшается (рисунок 2) и наступает такой момент, когда проведение обслуживания становится нецелесообразным.

Это объясняется тем, что при превышении времени обслуживания резерва отпускаемого времени ($t_B - M_B < (t_{то} < M_{то})$) основной формой работ, восстанавливающих работоспособность системы, должны быть аварийные ремонты.

Исследование влияния вида закона распределения наработки на отказ на показатели надежности показывает, что оптимальный период технического обслуживания существует для гамма-распределения наработки на отказ (сплошная линия рисунки 1,2) при изменении значения T внутри отрезка $[0, \infty]$. Для экспоненциального распределения наработки на отказ (пунктирная линия рисунки 1,2) оптимального периода технического обслуживания существовать не будет и экстремальное значение $K_r(z)$ достигается на крайних точках отрезка $[0, \infty]$.

Это говорит о том, что в данном случае проведение технического обслуживания нецелесообразно и приводит лишь к дополнительным затратам времени, а восстановление ресурса системы не происходит. Экспоненциальное распределение наработки на отказ дает нижнюю оценку $[0, \infty]$.

Проведенный анализ зависимостей для коэффициента готовности системы полностью подтверждает выводы, сделанные в [1] при анализе необходимых и достаточных условий существования оптимального периода технического обслуживания.

Анализ зависимости $P(t, z)$ от периода технического обслуживания показывает, что существует оптимальное значение периода проведения технического обслуживания (рисунок 3) при гамма-распределении наработки на отказ (сплошная линия). Кривые «1» (рисунок 3) соответствуют случаю отсутствия резерва времени, при этом экстремального значения для вероятности безотказной работы существовать не будет.

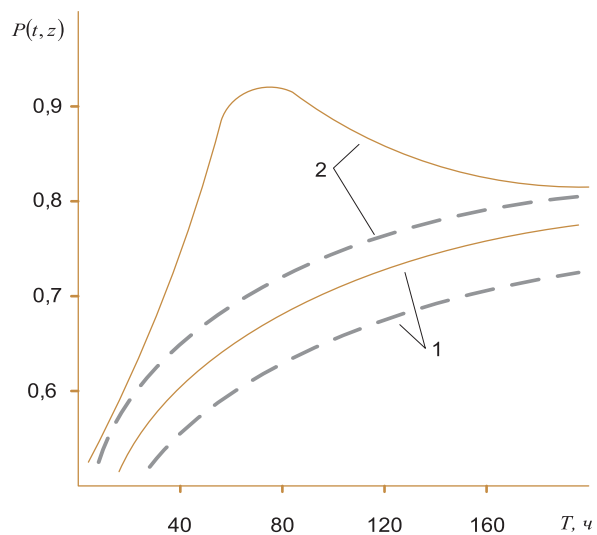


Рисунок 3 Зависимость вероятности безотказной работы АВО от периода обслуживания

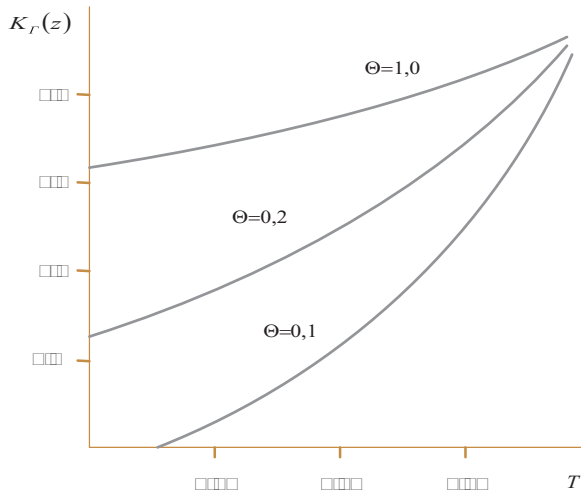


Рисунок 4 Зависимость коэффициента готовности от доли времени затрачиваемого на обслуживание без вывода АВО из состояния готовности

Это подтверждает тот факт, что использование резерва времени при организации технического обслуживания системы управления повышает ее надежность.

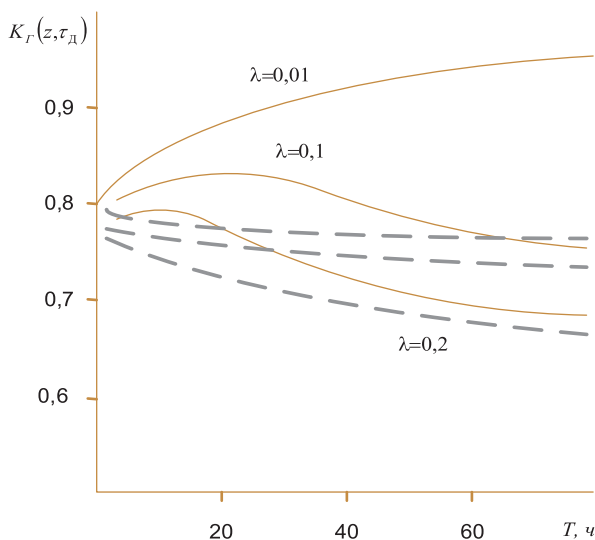


Рисунок 5. Зависимость коэффициента готовности АВО от периода технического обслуживания и интенсивности отказов

Сравнение графиков, представленных на рисунке 1 и рисунке 3, показывает, что оптимальный период технического обслуживания при равенстве основных параметров в общем случае различен для этих показателей надежности. Это обстоятельство свидетельствует о том, что при определении оптимальных параметров технического обслуживания АВО, прежде всего, необходимо сделать правильный выбор максимизируемого показателя надежности, который наиболее полно характеризует целевое назначение АВО. Так, для подсистем ТО АВО, основной целью которых является необходимость проработать безотказно в течение определенного

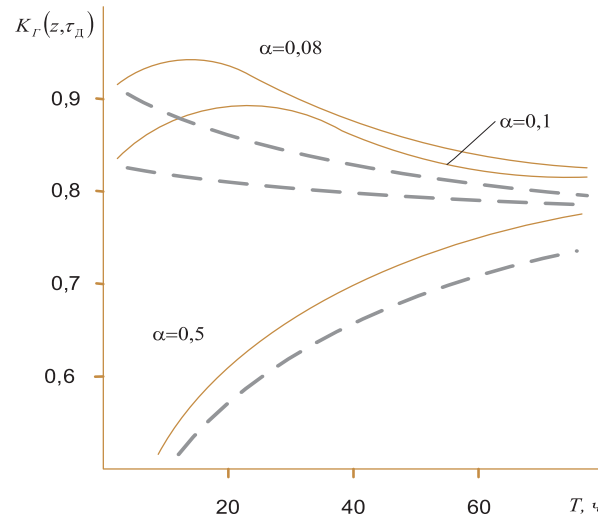


Рисунок 6 Зависимость коэффициента готовности АВО от периода технического обслуживания и интенсивности использования по назначению

времени, характерным показателем надежности будет вероятность безотказной работы. А для других, к готовности которых предъявляются высокие требования, — коэффициент готовности. Если же эти требования предъявляются одновременно, то необходимо в качестве показателя надежности выбирать коэффициент оперативной готовности.

Рассмотрим обслуживание при выполнении части операций технического обслуживания без вывода АВО из состояния готовности. Доля времени, затрачиваемого на выполнение этой части технического обслуживания от общей ее длительности, определяется выражением [2] $\xi = \theta / (\theta + \hat{E})$. С возрастанием величины ξ значение коэффициента готовности $K_r(z)$ также возрастает (рисунок 4), причем возрастает тем сильнее, чем больше длительность проведения технического обслуживания. Теоретически значение $\xi=1$ соответствует активной профилактике [5], при которой вся аппаратура АВО во время технического обслуживания может выполнять свои основные функции. Это равносильно тому, что требуемая надежность обеспечивается без вывода АВО на обслуживание, а длительность обслуживания становится равной нулю. Исследование данной организации технического обслуживания позволяет сделать вывод: техническое обслуживание необходимо проводить без вывода технической системы, или любыми способами сократить пребывание в неработоспособном состоянии, или добиваться того, чтобы перевод АВО из состояния готовности осуществлялся за время, не превышающее допустимой величины θ . С практической точки зрения это возможно за счет параллельного во времени проведения работ по техническому обслуживанию, выполняемых на разных подсистемах ТО АВО, эффективным использованием всех видов резерва времени.

Зависимость коэффициента готовности подсистем ТО АВО кратковременного действия от изменения значений периода проведения технического обслуживания, интенсивности отказов λ и частоты использования по назначению α иллюстрируется графиками рисунков 5,6. Сплошной линией показана зависимость $K_r(z, \tau_d)$ для случая гамма-распределения наработки на отказ, а пунктирной — экспоненциального распределения. Видно, что показывает, что при одинаковой длительности обслуживания и аварийного ремонта ($t_b / t_{то} = 1$) предпочтение тому или иному виду восстановительных работ отдается в зависимости от соотношений параметров α/μ ; α/θ ; vT_d ; $\mu\tau_d$ которые характеризуют величину резерва времени и эффективность его использования.

Значение $K_r(z, \tau_d)$ в значительной мере зависит от величины α (рисунок 6). При $T \rightarrow \infty$ проводятся только аварийные ремонты, и все три кривые асимптотически стремятся к значению (рисунок 6)

Выражение:

$$K_r(z, \tau_d) = \frac{T_o + \frac{1}{\alpha + \mu} \left(1 + \frac{\alpha}{\mu + \gamma D} \right)}{T_o + \frac{1}{\alpha + \mu} \left[1 + \frac{\alpha}{\mu + \tau_d} \left(1 + \frac{\gamma D}{\mu} \right) \right]}$$

представляет собой коэффициент готовности АВО без режима технического обслуживания [6]. На величину $K_r(z, \tau_d)$ значительное влияние оказывает значение интенсивности отказов АВО. С уменьшением λ оптимальный период обслуживания смещается вправо по оси абсцисс, при этом график в области максимального значения $K_r(z, \tau_d)$ становится более пологим (рисунок 5).

Техническое обслуживание по техническому состоянию

Результаты исследования данного варианта организации по техническому состоянию представлены на рисунках 7, 8, 9, где показаны зависимости коэффициента готовности $K_r(z, \tau_d)$ от параметров обслуживания. Расчеты проводились при следующих значениях параметров: $vT_d = 1$; $\gamma = 0,7$; $\alpha_p = 0,16$; $\gamma_p = 0,6$; $\lambda_{п} = 0,01$; $\mu_{п} = 0,05$; $\gamma_d = 1$; $\xi = 2$.

Из рисунках 7, 8 следует, что на величину $K_r(z, \tau_d)$ существенное влияние оказывают соотношения λ/γ и μ/θ . Причем, при определенных значениях этих соотношений может либо существовать, либо отсутствовать максимум $K_r(z, \tau_d)$ и оптимальный период контроля T_k . Во всех случаях уменьшение значений этих соотношений приводит к повышению надежности АВО.

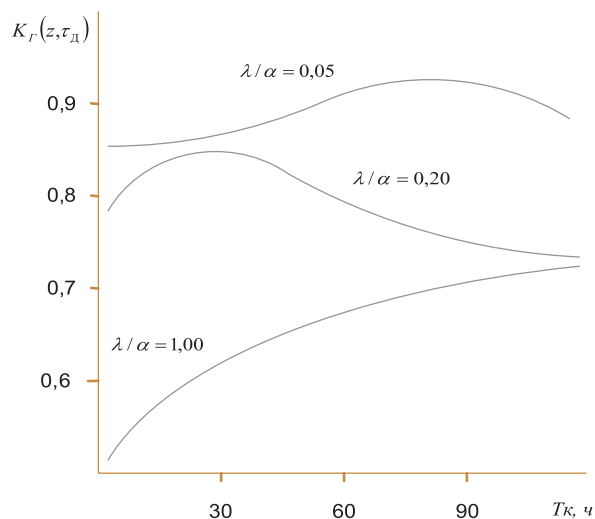


Рисунок 7 Зависимость коэффициента готовности от периода контроля, интенсивности отказов и частоты использования по назначению

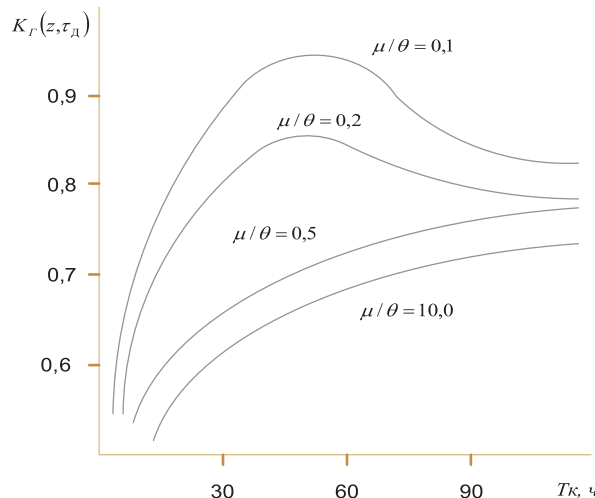


Рисунок 8 Зависимость коэффициента готовности от периода контроля технического состояния и интенсивности обслуживания и ремонта

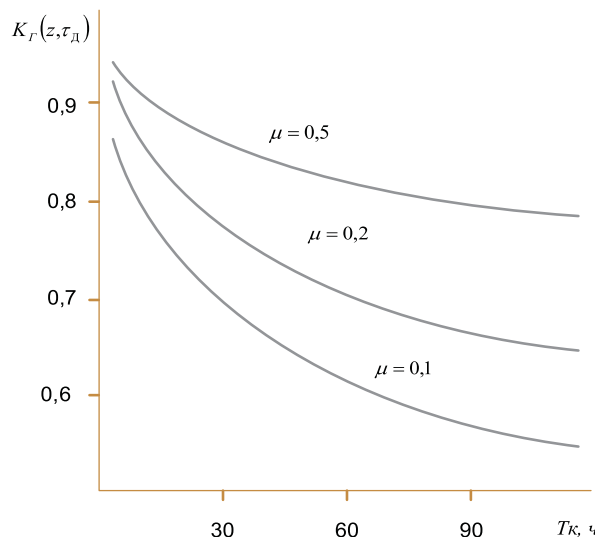


Рисунок 9 Зависимость коэффициента готовности от периода контроля технического состояния и интенсивности аварийного ремонта

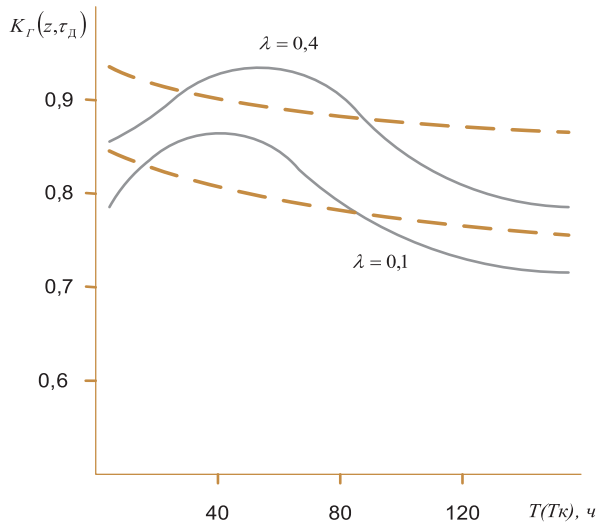


Рисунок 10 Зависимость коэффициента готовности от периода контроля технического состояния и интенсивности отказов

На рисунке 9 приведена зависимость изменения коэффициента готовности от длительности аварийного ремонта. Как следует из рисунка, длительность ремонта в значительной степени влияет на значение $K_r(z, \tau_d)$. Причем, при уменьшении периода проведения контроля технического состояния разница между значениями $K_r(z, \tau_d)$ для различных значений μ уменьшается и при $T_k=0$ достигает минимального значения. Для данного варианта организации технического обслуживания характерно то, что максимальное значение $K_r(z, \tau_d)$ достигается при проведении контроля технического состояния в момент ухудшения технического состояния АВО до заданного уровня, который определяется коэффициентом n . Для рассматриваемого случая $n=1$, что соответствует планированию проведения контроля после ухудшения технического состояния АВО в два раза относительно первоначального значения.

Комбинированная организация технического обслуживания

Из графиков (рисунок 10) следует, что для технической системы, обслуживаемой по наработке (сплошная линия), существует максимальное значение $K_r(z, \tau_d)$, соответствующий ему оптимальный период технического обслуживания T^* . В то же время, при изменении значения периода проведения контроля технического состояния T_k внутри отрезка $[0, \infty)$ экстремальные значения $K_r(z, \tau_d)$ достигаются на краях этого отрезка. Это объясняется тем, что функция распределения периода контроля не является вырожденной, а выражение для $K_r(z, \tau_d)$ в этом случае - дробно-линейным функционалом [1], удовлетворяющим известным условиям теоремы про-филактики [2].

Из графиков зависимости $K_r(z, \tau_d)$ от периода проведения контроля технического состояния при различных интенсивностях отказов и использования

по назначению (рисунок 11) следует, что во всех рассматриваемых случаях контроль необходимо проводить сразу после ухудшения технического состояния АВО, причем задержка в его проведении, а следовательно и задержка в проведении обслуживания, приводит к значительному уменьшению значения $K_r(z, \tau_d)$. Кроме того, на величину $K_r(z, \tau_d)$ оказывает влияние и длительность использования по назначению t_3 .

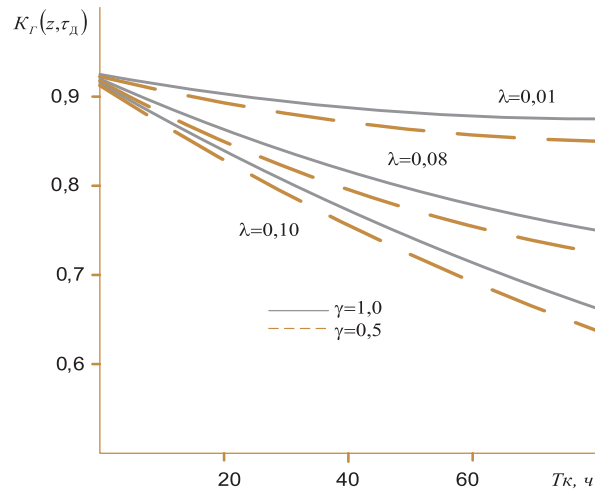


Рисунок 11 Зависимость коэффициента готовности от периода контроля технического состояния, интенсивности отказов и частоты использования по назначению

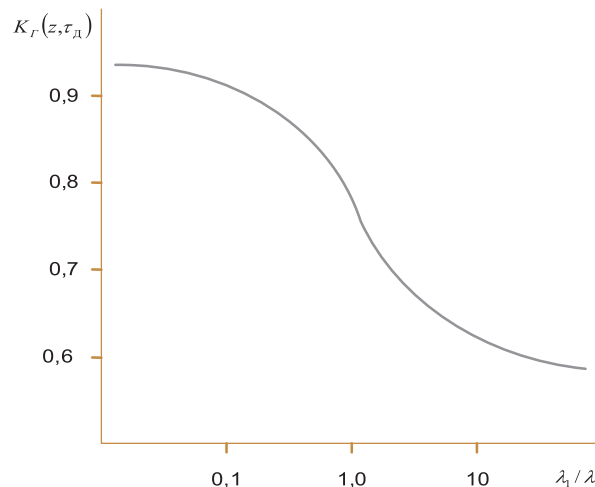


Рисунок 12 Зависимость коэффициента готовности от интенсивности ошибок контроля технического состояния

Так, с уменьшением $\gamma \frac{1}{t_3}$, коэффициент готовности также уменьшается при всех значениях λ . Это объясняется тем, что с увеличением длительности использования по назначению значительно повышается вероятность возникновения отказа.

Анализируя зависимости коэффициента готовности от интенсивности поступления сигналов типа «ЛОЖНАЯ ТРЕВОГА» λ_1/λ , можно сделать вывод, что недостоверность аппаратуры контроля (в част-

ности, ошибки второго рода) незначительно влияет на $K_r(z, \tau_d)$ лишь при значениях $\lambda/\lambda_1 < 0,1$.

При дальнейшем увеличении λ_1 (в диапазоне значений $\lambda_1/\lambda > 0,1$) $K_r(z, \tau_d)$ резко уменьшается (рисунок 12). Рисунок 12 справедлив и для организации технического обслуживания по техническому состоянию. Такое исследование дает возможность более обоснованно подходить к выбору варианта организации обслуживания.

Сравнительная оценка вариантов организации технического обслуживания

Сравнительную оценку рассмотренных вариантов организации технического обслуживания проведем с помощью полученных в [1] выражений для вероятности безотказной работы $P(t, z)$.

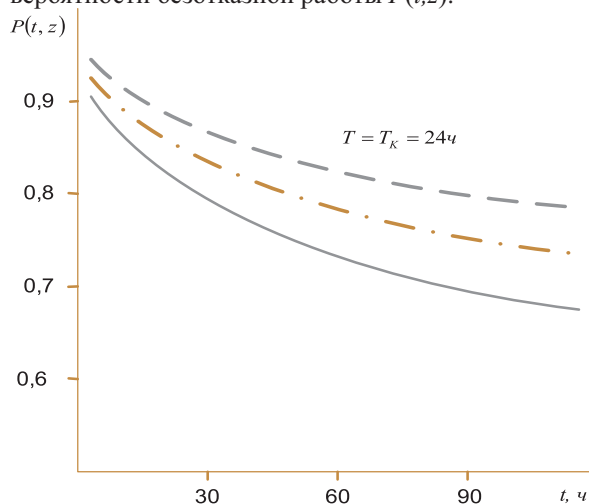


Рисунок 13 Зависимость вероятности безотказной работы от варианта организации технического обслуживания

Зависимость $P(t, z)$ в интервалах времени между проведением обслуживания приведена на рис. 13, где сплошная линия соответствует проведению обслуживания по наработке, пунктирная — по техническому состоянию, штрих-пунктирная — комбинированной организации технического состояния. При построении графиков принималось, что период контроля технического состояния T_k равен периоду проведения обслуживания T , и что одноименные случайные величины имеют равные характеристики.

Анализ зависимостей показывает, что организация обслуживания АВО по техническому состоянию более предпочтительна. Это связано с тем, что техническое обслуживание в полном объеме проводится лишь по результатам контроля, выявившего предотказовое состояние АВО. В то время как при техническом обслуживании по наработке оно выполняется в соответствии с выбранной стратегией. При этом длительность обслуживания значительно возрастает, что усложняет реализацию данной организации обслуживания в условиях интенсивных нагрузок.

Выводы

Методом математического моделирования проведено исследование влияния способа повышения надежности - рациональная организация технического обслуживания в условиях резерва времени - на готовность технической системы ТО АВО при различных вариантах организации ТО и выявлено:

Техническое обслуживание по наработке

Существует оптимальное значение периода технического обслуживания, соответствующее максимуму $K_r(Z)$. Причем, при уменьшении интенсивности отказов значение оптимального периода технического обслуживания смещается вправо по оси абсцисс, а значение $K_r(Z)$ возрастает и стремится к своему максимальному значению. При этом оптимальный период обслуживания стремится к бесконечности.

Техническое обслуживание по техническому состоянию

На величину $K_r(z, \tau_d)$ существенное влияние оказывают соотношения λ/γ и μ/θ . Причем, при определенных значениях этих соотношений может либо существовать, либо отсутствовать максимум $K_r(z, \tau_d)$ и оптимальный период контроля T_k . Во всех случаях уменьшение значений этих соотношений приводит к повышению надежности технических систем.

Комбинированная организация технического обслуживания на величину $K_r(z, \tau_d)$ существенное влияние оказывают соотношения λ/γ и μ/θ . Причем, при определенных значениях этих соотношений может либо существовать, либо отсутствовать максимум $K_r(z, \tau_d)$ и оптимальный период контроля T_k . Во всех случаях уменьшение значений этих соотношений приводит к повышению надежности технических систем.

ЛИТЕРАТУРА

Шаяхметов В.В. Концептуальные основы высоконадежности промышленных комплексов: монография. Уфа: ООО «Монография», 2007. 228 с.

А.М.Половко, С.В.Гуров. Основы теории надежности / 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.: ил.

Смит Д.Дж. Безотказность, ремонтно-пригодность и риск М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 432 с.:ил.

Острейковский В.А. Теория надежности. М.: Высшая школа, 2003. 464с.

Туханов В.М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения / М.: Машиностроение, 1995. 302с.

В.П.Шашкин, Н.В.Василенко. Надежность технических систем / Красноярск: МГП «Раско», 2001. 600 с.

В.В. Шаяхметов, к.т.н., доцент кафедры «Информационная безопасность», БашГУ

V.V. Shayakhmetov, cand.tech.sci., associate professor of chair «Information Security», BSU

Р.Г. Абдеев, д.т.н., профессор кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

R.G. Abdeev, dr.sci.tech., professor of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU e-mail: htm@inbox.ru

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛА «ТРУБА-ТРУБНАЯ РЕШЕТКА» ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПРИВАРКИ ТРУБОК

THE INFLUENCE OF THE ANGLE WELDED JOINT ON THE T-JOINT FIRMNESS

М.З. Ямилев, А.А. Гиззатуллин,
О.А. Макаренко

ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет,

M.Z. Yamilev, A.A. Gizzatulin,
O.A. Makarenko
Ufa State Petroleum Technical
University

В статье приводятся результаты моделирования процесса сварки соединения «труба-трубная решетка», выполненного дуговой сваркой. Получены данные распределения остаточных напряжений в сварном соединении в зависимости от последовательности приварки трубок. Построены две расчетные модели представляющие собой сварные соединения узла «труба – трубная решетка» выполненные дуговой и контактной сваркой. Проведен анализ полученного расчета напряженно-деформированного состояния.

The article presents the results of simulation of welding connection «pipe – tube plate», made by means of arc welding. The data distribution of residual stresses in welded joints, depending on the sequence of welding tubes. Two simulations models «pipe – tube plate» are build for the arc and resistance weld. The analysis of resulting calculation of stress-strain state are made.

Ключевые слова: контактная сварка, трубная решетка, моделирование, теплообменное оборудование, трубный пучок, метод конечных элементов.

Keywords: pressure contact welding, grid plate, modeling, heat transfer equipment, tube bundle, finite element method.

Анализ природы и механизма возникновения остаточных напряжений в сварных соединениях оборудования нефтепереработки говорит о том, что остаточные напряжения могут достигать значительных величин и оказывать существенное влияние на технологическую прочность в процессе изготовления и на работоспособность конструкций. В настоящее время при изготовлении сварного узла «труба-трубная решетка» используют дуговую сварку. Данный процесс сопровождается образованием сложно-напряженного состояния в узле. Целью работы является определение напряженно-деформированного состояния (НДС) сварного узла, труба-трубная решетка кожухотрубчатого теплообменного аппарата.

Для решения указанной задачи применение обычных расчетных методов возможно только при больших допущениях, что может привести к значительным отклонениям полученных результатов. Поэтому данная задача была решена с применением конечно-элементного программного комплекса ABAQUS. Для этого был произведен температурный, а затем структурный анализ поведения материала в процессе сварки и при последующем остывании сварного шва [1].

Так как сварку труб в трубные решетки ведут с применением дуговой сварки в среде защитных газов, был произведен расчет режимов сварки для заложения их в расчетную модель. Затем была создана конечно-элементная модель трубной решетки с установленными трубками (рисунок 1). Каждой

детали были присвоены их теплофизические свойства. (теплоемкость, теплопроводность, коэффициент линейного расширения, температура кристаллизации, температура плавления)

В результате расчета были получены распределение температур после сварки трубок (рисунок 2).

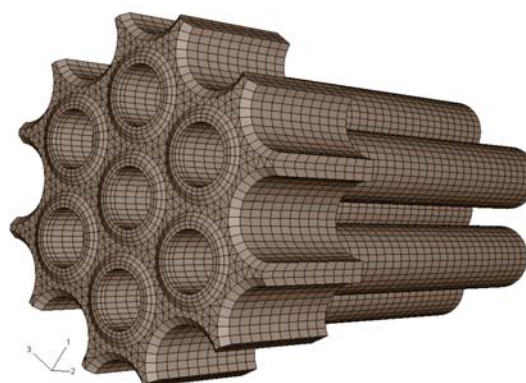


Рисунок 1. Конечно-элементная сетка расчетной модели.

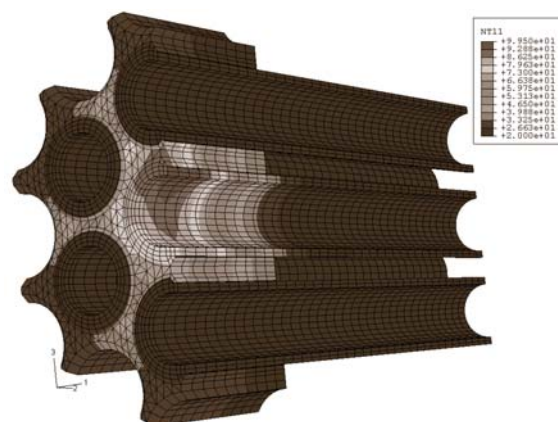


Рисунок 2. Распределения температур через 5 секунд после окончания сварки центральной трубки.

Результаты полученные после решения задачи температурного анализа использовались для последующей передачи данных в модель структурного анализа и определения усадочных напряжений возникающих в результате термо-деформационного цикла.

Далее получены НДС сварного соединения после процесса сварки центральной трубки (рисунок 3), а также наложение напряжений после приварки соседних трубок к трубной решетке (рисунок 4).

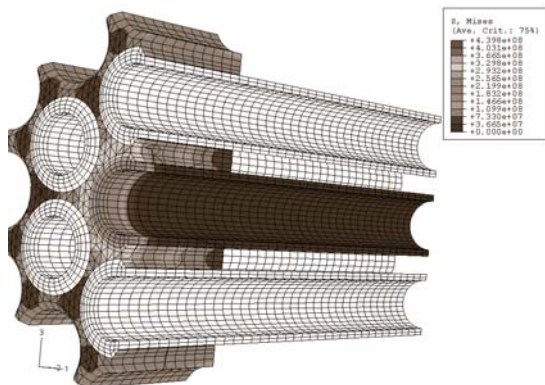


Рисунок 3. Распределение остаточных эквивалентных напряжений после приварки первой трубки

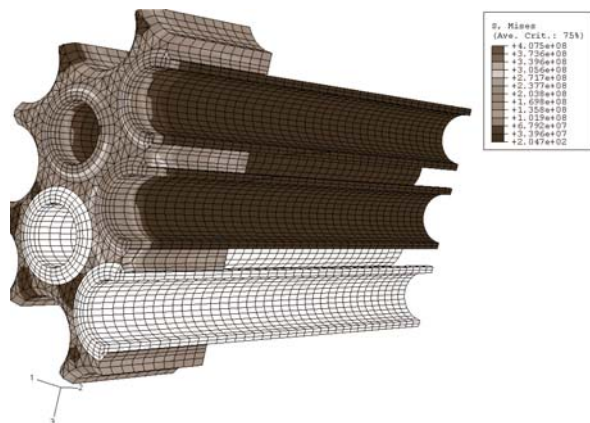


Рисунок 4. Распределение остаточных эквивалентных напряжений после приварки третьей трубки

Из полученных результатов видно что при приварке первой трубки значение эквивалентных напряжений составляет 439,8 МПа, а после приварки у последующих трубок напряжения уменьшаются до 407,5 МПа и далее практически не изменяются. Данный уровень напряжений может привести к деформации трубной решетки, а также понизить прочность и коррозионную стойкость сварного соединения. Поэтому, для исключения отрицательных моментов требуется проводить последующую термообработку. Термическая обработка трубной решетки является энергоемким процессом, требует значительных материальных затрат и снижает качество изделия (образуется окалина, наблюдаются

нежелательные деформации трубок в трубной решетке)

Одним из современных направлений модернизации технологии изготовления трубных пучков является рассмотрение альтернативных способов сварки. На наш взгляд для получения герметичного соединения возможно применение контактной сварки труб в трубной решетке.

Контактная сварка обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами: высокая производительность, низкая материал- и энергоемкость процесса, высокое качество и надежность сварных соединений при небольшом числе управляемых параметров режима, что снижает требования к квалификации сварщика. Также контактная сварка экологически чистый процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации [2,3].

Для получения сравнительных результатов распределения напряжений были построены 2 модели, представляющие собой исследуемые сварные узлы. На рисунке 5 представлено схематическое изображение модели с приложенными нагрузками. Единственным отличием двух соединений является форма сварного шва. Осевое растяжение 250Н, внутреннее давление 5 МПа.

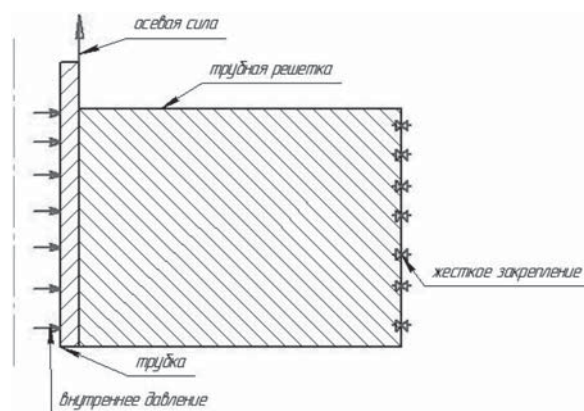


Рисунок 5. Схематичное изображение расчетной модели

Геометрические параметры модели приняты в соответствии с существующими нормативами по ОСТ 26-02-1015-85 на исполнение узла труба-трубная решетка. Для экономии машинного времени была построена плоская модель с заданием соответствующих граничных условий. Для построения модели использовали элемент CAX4R[5], который используется для двумерного моделирования конструкции с объемным НДС. Элемент может использоваться в качестве плоского (с плоским напряженным или деформированным состоянием) или в качестве осесимметричного элемента. Они имеют свойства пластичности, ползучести, радиационного набухания, увеличения жесткости при наличии нагрузок, больших перемещений и больших деформаций.

Результаты расчета представлены на рисунках 6,7.

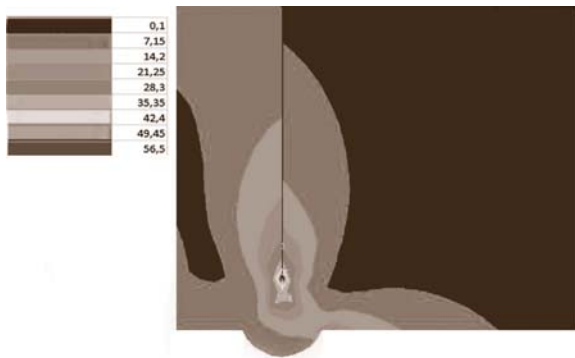


Рисунок 6. Распределение напряжений в узле выполненном дуговой сваркой, МПа



Рисунок 7. Распределение напряжений в соединении выполненной контактной сваркой, МПа

Результаты расчета показывают что, напряжения в сварном узле выполненным дуговой сваркой выше чем при контактной сварке более чем на 60%. Это показывает целесообразность дальнейшей модернизации разработки технологии сварки труб в трубной решетке с применением более производительной контактной сварки.

Выводы

1) Расчеты напряженно-деформированного состояния показывают, что уровень напряжений, в сварном соединении, выполненным дуговой сваркой, достигают высоких значений. Для снятия остаточных напряжений требуется последующая термическая обработка, что ведет к увеличению затрат и снижает эксплуатационные характеристики изделия.

2) Расчетным методом установлено, что выполнение сварного соединения «труба трубная решетка» контактным способом позволяет снизить негативные влияния термомеханического цикла. При этом технологические свойства стыка остаются на допустимом уровне, а простота выполнения контактного соединения позволит снизить себестоимость сборки.

ЛИТЕРАТУРА

Файрушин А.М., Гиззатуллин А.А., Ямилев М.З. Численное моделирование процесса сварки в соединении «труба – трубная решетка» // Проблемы геологии и освоения недр: XIV международ. симпозиума им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Изд-во Томск. политех. ун., 2010. С.267-268

Кочергин К.А. Контактная сварка. – Л.: Машиностроение. 1987. 240 с: ил.

Чулошников П.Л. Контактная сварка М.: Машиностроение, 1977. 143 с.

Совершенствование технологии выполнения сварного узла труба-трубная

решетка кожухотрубчатых теплообменных аппаратов изготовленных из мартенситных сталей / Ибрагимов И.Г., Ямилев М.З., Файрушин А.М., Салмин А.Н // Нефтегазовое дело, 2009. Т. 7, № 1. С. 194-197.

Sam Helwany. Applied Soil Mechanics with ABAQUS Applications. – Wiley, 2007. 400 p.

О.А. Макаренко, д.т.н., доцент кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», УГНТУ

О.А. Макаренко, dr.sci.tech., associate professor of chair «Transportation and storage of oil and gas», USPTU

А.А. Гиззатуллин, преподаватель кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

А.А. Gizzatulin, lecturer of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU

М.З. Ямилев, аспирант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

M.Z. Yamilov, postgraduate student of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU e-mail: marat-yamilov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ХАРАКТЕРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПАРАМЕТРАМИ ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ

665.7.0.038.5

RESEARCH OF CORRELATION OF OPERATING MODES AND CHARACTERISTIC DAMAGES OF THE PUMP-COMPRESSOR EQUIPMENT WITH PARAMETRES GENERATED BY THE ENGINE OF AN ELECTRIC DRIVE OF THE HIGHER HARMONIOUS MAKING CURRENTS AND VOLTAGES

**И.В. Прахов, М.Г. Баширов,
А.В. Самородов**

**ГОУ ВПО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет**

**I.V. Prakhov, M.G. Bashirov,
A.V. Samorodov**

**Ufa State Petroleum Technical
University**

В работе приведены результаты экспериментальных исследований взаимосвязи режимов работы и характерных повреждений насосно-компрессорного оборудования взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектов с параметрами высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателями электропривода.

In work results of experimental researches of correlation of operating modes and characteristic damages of the pump-compressor equipment the shot-fire dangerous and chemically dangerous industrial plants with parametres of the higher harmonious making currents and the voltages generated by engines of the electric drive are reduced.

Ключевые слова: насосно-компрессорное оборудование, электрический привод, коэффициенты гармонических составляющих тока и напряжения, угол сдвига по фазе, повреждения, режим работы, техническое состояние.

Keywords: the pump-compressor equipment, an electric drive, factors of harmonious components of a current and voltage, a corner of a phase lag, damage, an operating mode, a technical condition.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований взаимосвязи режимов работы и характерных повреждений насосно-компрессорного оборудования взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектов с параметрами высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателями электропривода.

Состояние промышленной безопасности на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах во многом определяется техническим состоянием насосно-компрессорного оборудования. Ввиду высокой опасности обращающихся в технологических циклах предприятий химических веществ, отказ насосно-компрессорного оборудования может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождается значительным экономическим и экологическим ущербом.

Двигатели электропривода при определенных режимах работы, возникновении и развитии повреждений отдельных элементов электрической и меха-

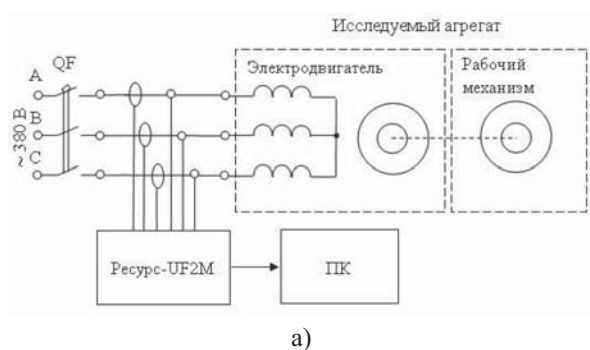
нической части насосно-компрессорного оборудования генерируют характерный спектр высших гармонических составляющих токов и напряжений. Выявление корреляционной связи между режимами работы насосно-компрессорного оборудования, характерными повреждениями элементов электрической и механической части и параметрами генерируемых двигателем электропривода высших гармонических составляющих токов и напряжений позволит решить задачу мониторинга технического состояния и прогнозирования ресурса этого оборудования [1, 2, 3].

Экспериментальные исследования насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом проводились в реальных производственных условиях технологических установок и распределительных подстанций ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», а также в научно-исследовательских лабораториях Филиала ГОУ ВПО УГНТУ в г. Салавате. В качестве объектов исследования были выбраны центробежные насосы с асинхронными электродвигателями, указанные в таблице 1. Структурная схема и внешний вид экспериментальной установки представлены на рисунке 1.

Структурные и принципиальные электрические схемы экспериментальных установок разработаны в соответствии с [4] и [5]. Методики проведения экспериментальных исследований и обработки результатов разработаны в соответствии с [6], [7], [8], [9], [10], [11], руководствами по эксплуатации средств измерений и инструкциями по обслуживанию и эксплуатации машинных агрегатов.

Таблица 1. Технические характеристики исследуемых насосов

№ п/п	Тип насоса	Мощность на валу насоса, кВт	Число оборотов, об/мин	Тип электродвигателя
1	ЗГр-8	5,5	1450	А 81-4
2	К80-50-200	10,5	2900	4АМ160S2
3	2Х-4Х2И-21	17	2900	АИМ100L2У2,5
4	1П12,5/12,5	3,0	1450	АИР100S4



а) структурная схема; б) внешний вид
Рисунок 1. Экспериментальная установка для исследования центробежных насосов с электроприводом

Для оценки степени искажения формы кривых токов и напряжений определенными гармоническими составляющими использовались коэффициенты n -ых гармонических составляющих тока K_{In} и напряжения K_{Un} и углы сдвига по фазе $\varphi_{ui(n)}$ между соответствующими гармоническими составляющими фазных токов $I_{(n)}$ и напряжений $U_{(n)}$. Измерение коэффициентов n -ых гармонических составляющих токов K_{In} и напряжений K_{Un} и углов $\varphi_{ui(n)}$ осуществлялось измерителем показателей качества электроэнергии Ресурс-UF2М. Состояние подшипников качения контролировалось с помощью индикатора дефектов подшипников ИДП-03. Состояние изоляции и проводников элементов системы электропривода контролировалось с помощью микропроцессорного прибора 2801 IN производства компании «Standard Electric Works» (США) и индикатора дефектов обмоток ИДО-05. Анализ результатов измерений осуществлялось с помощью

переносного персонального компьютера со специализированным программным обеспечением [7].

Метрологическое обеспечение результатов экспериментальных измерений осуществлялось согласно [6, 2, 3] и паспорта измерителя показателей качества электроэнергии Ресурс-UF2М. Коэффициенты n -ых гармонических составляющих токов и напряжения измерялись в процентах от значения первой гармоники тока и напряжения. Пределы абсолютной погрешности измеряемых величин указаны в таблице 2.

Таблица 2. Пределы абсолютной погрешности измеряемых величин

Наименование измеряемой величины	Диапазон измерений	Предел абсолютной погрешности
Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения K_{Un} , %	0,05 – 30	$\pm (0,03 + 0,02 K_{Un})$
Коэффициент n -ой гармонической составляющей тока K_{In} , %	0,05 – 100	$\pm (0,03 + 0,02 K_{In})$
Угол фазового сдвига между n -ыми гармоническими составляющими тока и напряжения $\varphi_{ui(n)}$	$-180^\circ - +180^\circ$	$\pm (2 \div 10)^\circ$

Были исследованы следующие характерные повреждения рабочих механизмов и электродвигателей агрегатов: ухудшение состояния изоляции обмоток, изменение сопротивления проводов обмоток, дисбаланс ротора электродвигателя и вала машинного агрегата, неисправности подшипников, межвитковые короткие замыкания обмоток статора, межфазные короткие замыкания обмоток статора, однофазные замыкания фазы на корпус, обрыв фазы на выводах обмотки статора, обрыв стержней обмотки ротора, несоосность валов электродвигателя и машинного агрегата, эксцентриситет ротора, ослабление элементов крепления на фундаменте, дефект исполнительного органа машинного агрегата (рабочего колеса), кавитационный и помпажный режимы.

Режимы работы центробежного насоса изменяли открытием (закрытием) задвижек на всасе и нагнетании. Степень открытия (закрытия) задвижек на всасе и нагнетании составляла 0 %, 25 %, 50 %, 75 % и 100 % проходного сечения. Искусственно дисбаланс ротора двигателя и вала насоса создавался при помощи грузов, прикреплённых на ротор и вал. Сопротивление изоляции обмотки статора электродвигателя доводилось путем увлажнения до значения 0,4 МОм, а затем сушкой, с помощью нагревательного элемента, повышалось до значений 0,5 МОм, 1,0 МОм, 2,0 МОм, 5,0 МОм, 10,0 МОм, 50,0 МОм. Повреждения обмоток ротора электродвигателя соз-

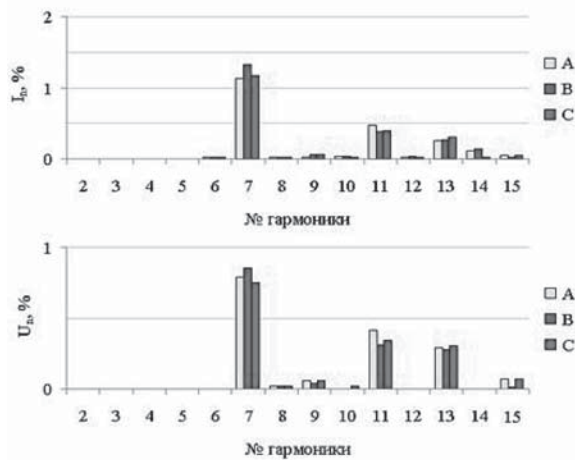
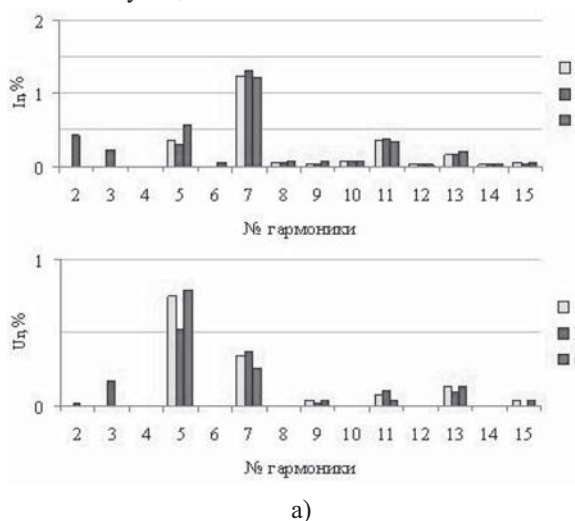


Рисунок 2. Гармонический состав токов и напряжений электродвигателя центробежного насоса в исправном состоянии

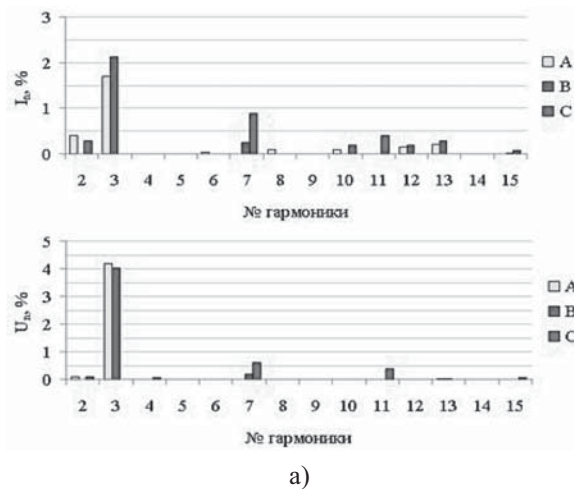
давались путем высверливания стержней обмотки ротора на 25%, 50% и 100% площади поперечного сечения. Плохое крепление к фундаменту создавалось путем ослабления болтов крепления. Повреждения подшипников электродвигателя и насоса имитировалось установкой подшипников с разной степенью изношенности. Искусственные замыкания между различными витками (фазами) в фазных обмотках и однофазные замыкания создавались при помощи специальных выводов. Для имитации переходного сопротивления изоляции в точке замыкания, эти выводы соединялись через регулируемое активное сопротивление (реостат), что позволило получать различные степени тяжести исследуемых повреждений. Повреждения рабочего колеса насоса имитировалось установкой рабочих колес с разной степенью изношенности. Обрыв фаз обмоток статора электродвигателя осуществлялось путем отсоединения выводов соответствующих обмоток.



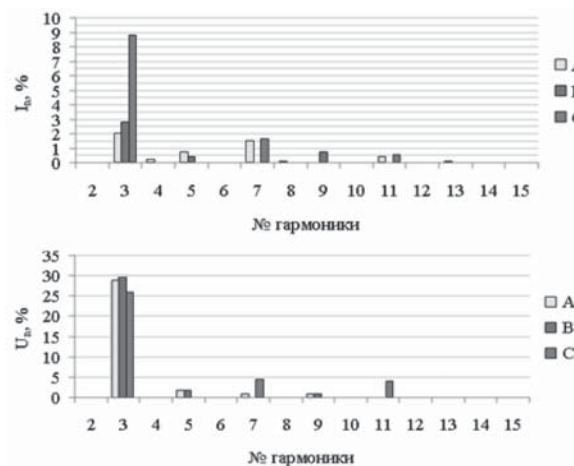
а)

а) при повреждении рабочего колеса; б) при неисправности подшипника со стороны рабочего колеса на насосе

Рисунок 4. Гармонический состав токов и напряжений электродвигателя центробежного насоса при неисправностях элементов механической части



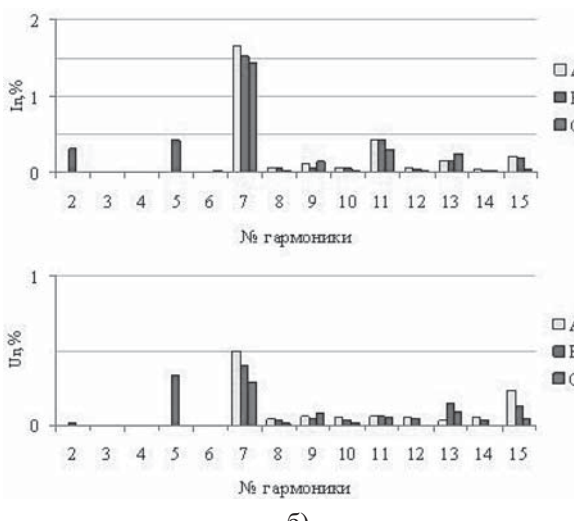
а)



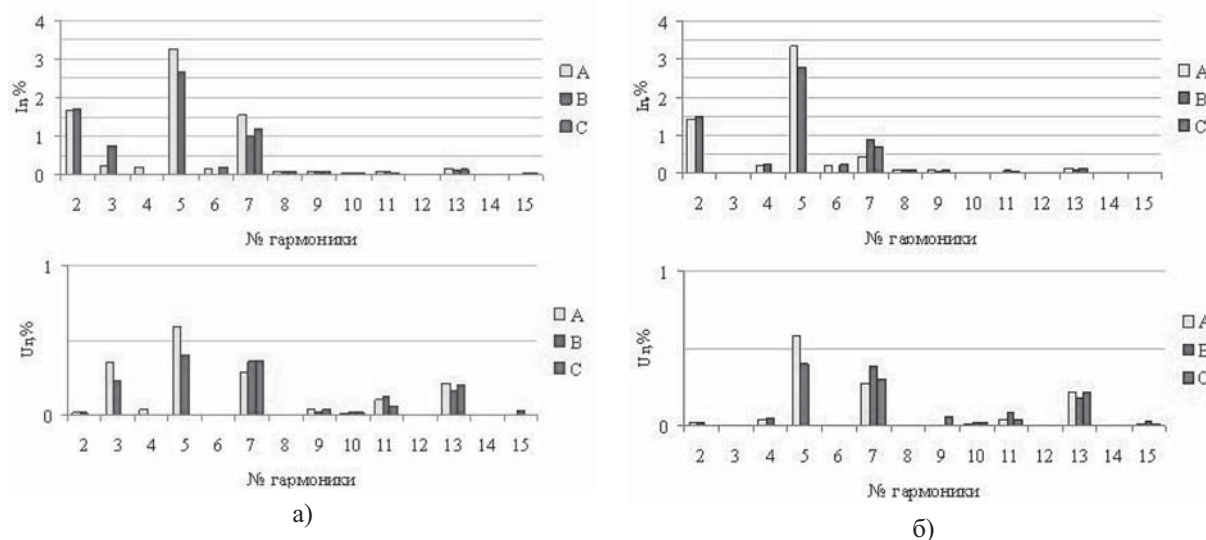
б)

а) при витковом замыкании в фазе С обмотки статора; б) при межфазном замыкании фаз А и В в обмотке статора

Рисунок 3. Гармонический состав токов и напряжений электродвигателя центробежного насоса при неисправностях элементов электрической части



б)



а) при возникновении помпажа; б) при возникновении кавитационного режима работы насоса
Рисунок 5. Гармонический состав токов и напряжений электродвигателя центробежного насоса при различных режимах работы

Для отделения гармонических составляющих фазных токов и напряжений, поступающих из сети, от гармонических составляющих, генерируемых двигателем электропривода, использовались углы сдвига по фазе $\varphi_{u(k)}$ между соответствующими гармоническими составляющими фазных токов $I_{(n)}$ и напряжений $U_{(n)}$. Углы сдвига меньше ($+90^\circ$) и больше (-90°) соответствуют гармоническим составляющим, поступающим из сети, которые из последующего анализа исключались [8].

Магнитодвижущая сила (МДС) каждой отдельной фазы обмотки статора представляет собой сумму неподвижных в пространстве и пульсирующих во времени всех гармонических составляющих, результирующая МДС машины для каждой гармонической составляющей в отдельности является суммой соответствующих гармонических составляющих всех трех фаз [15, 16]. На рисунке 2 представлен гармонический состав токов и напряжений электродвигателя центробежного насоса в исправном состоянии.

При возникновении электрических неисправностей (ухудшение состояния изоляции, изменения сопротивления проводов обмоток, витковые замыкания и т.д.) нарушаются электрическая и магнитная симметрии обмоток статора и ротора и, как следствие этого, определенным образом нарушается симметрия МДС третьей гармоники в фазных обмотках (рисунок 3 а, б).

При возникновении механических неисправностей (при дисбалансе, при повреждениях подшипников и т.д.), а также при различных ненормальных режимах работы (помпаж, кавитационный режим), в статорной обмотке протекают токи, вызванные напряжением сети, и токи, вызванные напряжением, индук-

тированным обратным полем ротора. Так как частоты этих токов отличаются друг от друга незначительно, следовательно в результате сложения их магнитных полей возникает пульсация (биение) малой частоты фазного тока и его гармонических составляющих. При повреждениях ротора электродвигателя и вала насоса (дисбаланс, повреждения подшипников) пульсация (биение) малой частоты фазного тока и его гармонических составляющих (в основном пятой и седьмой) увеличивается (рисунок 4).

На рисунке 5 представлен гармонический состав токов и напряжений электродвигателя центробежного насоса при возникновении помпажа и кавитационного режима работы насоса.

Техническому состоянию и режиму работы насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом соответствует совокупность гармонических составляющих токов и напряжений с определенными параметрами – Фурье-образ агрегата.

Вывод

Результаты экспериментальных исследований показывают, что двигатели электропривода при определенных режимах работы, возникновении и развитии повреждений отдельных элементов электрической и механической части насосно-компрессорного оборудования генерируют характерный спектр гармонических составляющих токов и напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей. Наиболее информативными являются параметры третьей, пятой и седьмой гармоник токов и напряжений. Однако четкой закономерности характера изменения коэффициентов n -ых

гармонических составляющих тока K_{in} и напряжения K_{Un} и углов сдвига по фазе $\varphi_{u(n)}$ между соответствующими гармоническими составляющими фазных токов $I_{(n)}$ и напряжений $U_{(n)}$ при развитии различных повреждений проследить трудно. Для выявления функциональной зависимости между параметрами гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропри-

вода, и техническим состоянием и режимами работы насосно-компрессорного оборудования целесообразно использовать теорию планирования эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

Баширов М.Г., Прахов И.В. Исследование влияния неисправностей элементов насосно-компрессорного оборудования на параметры генерируемых двигателем электропривода высших гармонических составляющих токов и напряжений // *Материалы Всероссийского консультационно-методического семинара «Повышение надежности и безопасности трубчатых печей нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств»*. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. - С. 114-119.

2. Баширов М.Г., Прахов И.В. Исследование взаимосвязи параметров высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем, с характерными повреждениями электропривода // *Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий»*. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. - Том 2. - С. 84-86.

3. Баширов М.Г., Шикун В.Н. Диагностика электрических сетей и электрооборудования промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. 220 с.

4. Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (с изм. и доп.) (ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00). М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. 192 с.

5. Правилами устройства электроустановок. Издание седьмое. М.: **Юрайт-Издат**, 2007. 399 с.

6. Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей. Утверждены Приказом Минэнерго РФ от 13.01.2003 № 6. Екатеринбург: Уралориздат, 2003. 304 с.

7. ГОСТ 13109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: 1999. 32 с. (Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации).

8. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего

назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии. РД 153-34.0-15.502-2002. М.: 2002. 32с.

9. ГОСТ 11828 – 86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. М.: 1986. 32 с. (Межгосударственный стандарт)

10. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. М.: Высшая школа, 2000. 255 с.

11. Объем и нормы испытаний электрооборудования РД 34.45-51.300-97. Шестое издание, с изм. и доп. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2004. 86 с.

12. ГОСТ 14014 – 91. Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний. М.: 2002. 12 с. (ИПК Издательство стандартов).

13. ГОСТ 22261 – 94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. Минск: 1995. 32 с. (Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации).

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009615000. Диагностика машинных агрегатов с электрическим приводом на основе анализа параметров генерируемых высших гармонических составляющих токов и напряжений / Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Имамутдинов Э.И. (Россия). – № 2009615000; Заявлено 16.06.2009 № 2009613824; Опубл. 14.09.2009.

15. Копылов И.П. Электрические машины. М.: Высшая школа, 2002. 607 с.

16. Кацман М.М. Электрические машины и трансформаторы. М.: Высшая школа, 1976. – Ч. 2. 184 с.

И.В. Прахов, аспирант кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», филиал УГНТУ в г.Салават

I.V. Prakhov, postgraduate student of chair «Electric equipment and automatics of the industrial enterprises», branch USPTU in Salavat

М.Г. Баширов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование и

автоматика промышленных предприятий», филиал УГНТУ в г.Салават

M.G. Bashirov, dr.tech.sci., professor chief of chair «Electric equipment and automatics of the industrial enterprises», branch USPTU in Salavat

А.В. Самородов, аспирант кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», филиал УГНТУ в г.Салават

A.V. Samorodov, postgraduate student of chair «Electric equipment and automatics of the industrial enterprises», branch of USPTU in Salavat

e-mai: priwan@yandex.ru

СЕЙСМОЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

SEISMIC PROTECTION OF TECHNOLOGICAL PIPELINES OF OIL-REFINERIES

М.Е. Волкова, Р.Г. Ризванов,
А.Н. Зотов
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет

M.E. Volkova, R.G. Rizvanov,
A.N. Zotov
Ufa State Petroleum Technical
University

Статья посвящена разработке сейсмоизолятора с квазинулевой жесткостью. Рассмотрены и проанализированы существующие конструкции сейсмозащиты. Предложена конструкция принципиально новой опоры трубопровода, обеспечивающая возможность больших перемещений защищаемого объекта при сейсмических ударах и гашение ударных импульсов, действующих в вертикальной плоскости.

The article is devoted to creating seismic isolator with quasi-zero stiffness. Reviewed and analyzed the design of current seismic isolators. We propose a constructive function entirely new pipeline support, which enables large displacements of the protected object during seismic shocks and damping of shock pulses, acting in the vertical plane.

Ключевые слова: сейсмозащита, сейсмоизолятор, землетрясения, упругопластические элементы, квазинулевая жесткость, ударный импульс.

Key words: seismic protection, seismic isolator, earthquake, elastoplastic elements, quasi-zero stiffness, impulse shock.

В настоящее время строительство промышленных комплексов приходится на сейсмически опасные районы, к которым относится значительная часть территории России. Сейсмоопасные территории – Камчатка, Сахалин, Бурятия, Прибайкалье, Северный Кавказ, а так же многие регионы Урала и Поволжья, которые попали в категорию сейсмоопасных районов согласно СНИП II-7-81* с комплектом карт ОСР-97. В частности, в жесткие условия поставлены Свердловская, Волгоградская, Саратовская, Челябинская области, а также республика Татарстан и Пермский край. [1]

Крупнейшие города, такие как Саратов, Тольятти, Волгоград, Волжский и др., где объекты химии, нефтехимии и нефтепереработки имеют доминирующее значение также попали в зоны прогнозируемого землетрясения интенсивностью 7 баллов. В связи с этим промышленная опасность в сочетании с сейсмической ставит взрывопожароопасные объекты в категорию более высокого риска.

Анализ последствий землетрясений показал, что даже единичный разрыв трубопровода приводит к серьезным нарушениям в энергетическом и сырьевом снабжении обширных районов, возникновению больших очагов пожаров и взрывов, экологическим и другим катастрофам.

Одно из решений этой проблемы заключается в изменении динамических характеристик защищаемых объектов путем использования упругопластических элементов в местах крепления защищаемых объектов к фундаментам и другим конструкциям. Проблема прочности технологического оборудования, технических устройств, трубопроводных

систем и других объектов промышленности должна решаться не на принципе повышения их жесткости, а, наоборот, на принципе организации оптимизированной гибкости. Это направление относится к активной форме защиты объектов и представляется достаточно перспективным, надежным и экономически целесообразным [2].

Характерными повреждениями технологических трубопроводов являются: образование гофр на стенках труб, разрывы и деформации от изгиба, сброс труб с опор, разрушение самих опор, потеря устойчивости участков трубопроводов [3].

При сейсмоздействиях различной силы на трубопроводы со стандартными опорами, когда коэффициент демпфирования мал, динамические нагрузки максимально разрушительны [3].

Повышение прочности может быть достигнуто методами сейсмоизоляции, т.е. введением в конструкцию специальных сейсмозащитных устройств с большим коэффициентом относительного демпфирования.

Для активного гашения энергии сейсмических колебаний для нефтепровода Транс-Аляска применяется конструкция опоры под названием «скользящий анкер» [3]. Опора воспринимает усилия и обеспечивает нормальную работу трубопровода при расчетных эксплуатационных нагрузках и сейсмических колебаниях. Опорное устройство (рисунок 1) состоит из хомута, седловидной опоры, устройства для создания повышенного трения, несущей опорной части и конструкции для поглощения энергии. Хомут, установленный на трубопроводе, передает нагрузки от трубы к опорной плите. Между хомутом и трубопроводом создается необходимое контактное давление, обеспечивающее закрепление трубы.

Например, в патенте США № 3794277 предлагается использование сейсмоизолятора с пружиной и амортизаторами для гашения сейсмических ударов (рисунок 2). Амортизаторы состоят из поршней и цилиндров.

Общей характеристикой указанного изобретения является использование пружины и амортизаторов так, чтобы установленный трубопровод имел некоторую возможность перемещения при сейсмическом воздействии [4].

Данное устройство для гашения сейсмических воздействий является эффективным как при незначительной силе сейсмических ударов, так и при ударах большой силы за счет пружины и амортизаторов.

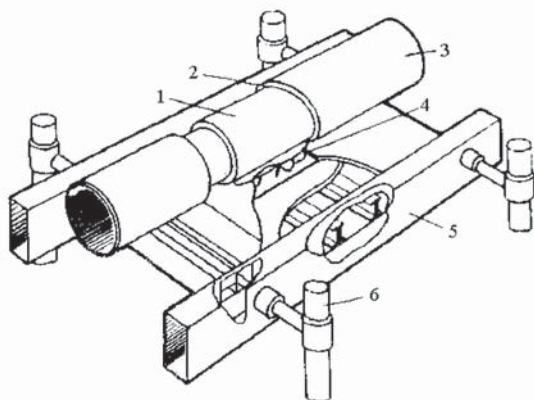


Рисунок 1. Общий вид опорного устройства «скользящий анкер»:

1 — хомут; 2 — изоляция; 3 — труба; 4 — устройство для создания повышенного сопротивления перемещению трубопровода; 5 — несущая конструкция; 6 — свая

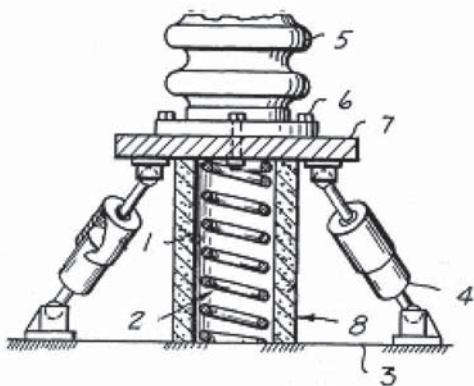


Рисунок 2. Принципиальная схема сейсмоизолятора:

1 — высверленное отверстие; 2 — пружина; 3 — фундамент; 4 — амортизаторы; 5 — неподвижная опора; 6 — болты; 7 — плита; 8 — стакан.

Недостатком большинства всех сейсмоизоляторов является невозможность обеспечения больших перемещений защищаемого объекта при сейсмических ударах и недостаточное гашение ударных импульсов, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскостях одновременно. Кроме того, удародемпфирующие элементы, входящие в состав таких сейсмоизоляторов, должны обеспечить плавное гашение энергии ударного импульса во время перемещения, а также обеспечить возврат системы в исходное положение после окончания действия

ударного импульса, что в данных устройствах затруднительно [5].

В целом система сейсмозащиты должна снижать уровень ускорения ударного импульса до безопасных пределов, гарантирующих нормальную эксплуатацию трубопроводов, как во время динамического воздействия, так и после него. Упругодемпфирующие элементы должны обладать нелинейной характеристикой, чтобы при воздействии ударного импульса нарастание ускорения происходило не столь резко [6].

В связи с этим отдельное направление представляет исследование упругодемпфирующих элементов, обладающих нелинейной характеристикой, которые обеспечивают плавное нарастание ускорения при воздействии ударного импульса.

Авторами предлагается система сейсмозащиты, в основе которой специальный профиль для обеспечения участка квазилинейной жесткости на силовой характеристике (рисунок 3). К преимуществам разработанного устройства следует отнести плавное гашение энергии удара за счет гораздо большего хода системы.

Зависимость восстанавливающей силы от перемещения для предложенной системы, изображенной на рисунке 3, представлена на рисунке 4.

Профиль кривой направляющей для обеспечения участка квазилинейной жесткости на силовой характеристике $f(x)$ находится из выражения:

$$f(x) = \frac{L_0}{2} - \sqrt{\frac{2a(x - r \sin a_0) + k_2(x - r \sin a_0)^2}{4c}} + r \cdot \cos a_0,$$

где $a = mg - k_2 \frac{x_k}{2}$ — коэффициент; x — перемещение; r — радиус ролика; c — жесткость пружины; m — масса устройства; k_2 — коэффициент, учитывающий наклон прямой; a_0 — угол наклона касательной к направляющей относительно оси x ; x_k — максимальное значение перемещения x ; g — ускорение свободного падения.

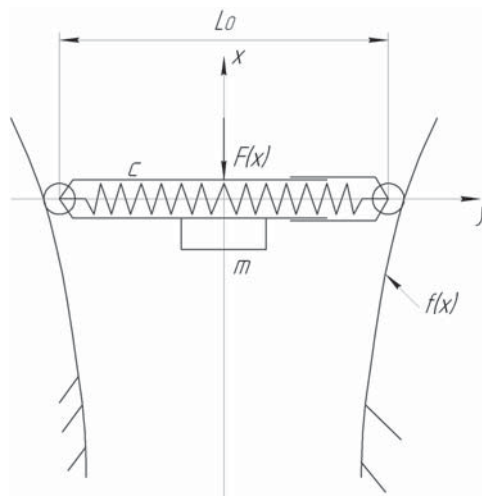


Рисунок 3. Схема системы сейсмозащиты.

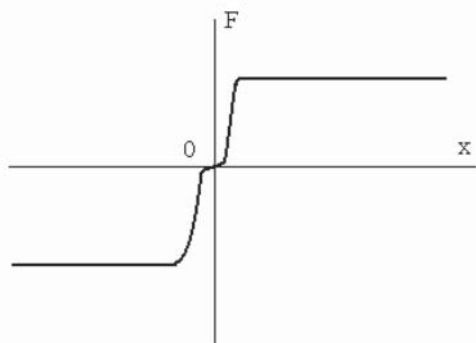


Рисунок 4. Зависимость восстанавливающей силы F пред-
ложенной упругой системы от перемещения x

К преимуществам предложенного способа получения квазиулевой жесткости следует отнести относительно малый ход системы от нуля до квазиулевого участка и возможность обеспечения больших перемещений защищаемого объекта при сейсмических ударах и гашение ударных импульсов, действующих в вертикальной плоскости.

Для экспериментального исследования работоспособности предлагаемой конструкции сейсмоизолятора был разработан стенд, представленный на рисунке 5.

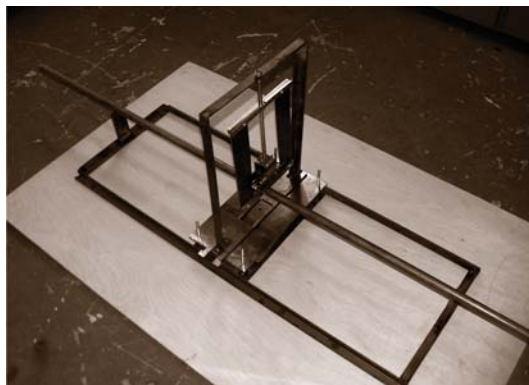


Рисунок 5. Экспериментальный стенд сейсмоизолирующей опоры с квазиулевой жесткостью

С помощью экспериментального стенда (рисунок 5) сейсмоизолирующей опоры проводятся исследования силовой характеристики и сравнение полученных экспериментальных и теоретических данных предлагаемого устройства. По результатам эксперимента будет проведено уточнение параметров сейсмозащитного устройства для технологических трубопроводов и определена зависимость напряжений, возникающих в конструкции от ударных импульсов при различных коэффициентах демпфирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах. М., 2004.
 2. Энциклопедия Машиностроение, М.: «Машиностроение» том IV-3 «Надежность машин», 1998, 592 с.
 3. Гехман А. С., Зайнетдинов Х.Х. Расчет, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах, М.: «Стройиздат» 1988, 184 с.
 4. Pat. 3794277, IC² F16F 15/00. Earthquake resistant support / P. A. Smedley. – Publ. 26.04.1974.
 5. Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем. М.: «Наука» 1966. С. 25.
 6. Токарев М.Ф., Галицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита сооружений. М.: 1984. С. 35.
- М.Е. Волкова, аспирант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ*
M.E. Volkova, postgraduate student of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU e-mail: volkovame@yandex.ru
- Р.Г. Ризванов, д.т.н., профессор, кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ*
R.G. Rizvanov, dr.sci.tech., professor of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU e-mail: rifriz@mail.ru
- А.Н. Зотов, д.т.н., доцент кафедры «Механика конструкционных материалов», УГНТУ;*
A.N. Zotov, dr.sci.tech., associate professor of chair «Mechanics and machines design», USPTU

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ

УДК 622.692.
4:620.193

IMPROVING SAFETY PIPELINES EXPOSED STRESS-CORROSION CRACKING

**О.А. Гареева, М.З. Ямилев,
А.В. Лягов, П.В. Климов**
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет,
ОАО «Интергаз - Центральная Азия»

**O.A. Gareeva, M. Z. Yamilov,
A.V. Lyagov, P.V. Klimov**
Ufa State Petroleum Technical
University,
"Intergaz – Central Asia" JSC

Коррозионное растрескивание под напряжением появляется в виде одиночных и множественных трещин, зарождающихся на внешней поверхности трубы. Все существующие методики переиспытаний магистральных газопроводов базируются на предположении о наличии только одиночных трещин. Поэтому вопрос о применимости этих мероприятий для очагов с множественными трещинами в настоящее время открыт.

В работе проведено изучение очаговой зоны разрушившегося газопровода, имеющего множественные трещины. На основании полученных результатов показано, что наиболее опасными являются самые глубокие трещины. Методы, применяемые при испытании магистральных газопроводов, могут быть использованы и для труб, имеющие множественные трещины.

Stress corrosion cracking appears due to single and multiple cracks emerging on the outer surface of the pipe. All existing techniques of retests of the main gas pipelines are based on the assumption of presence only single cracks. Therefore the question on applicability of these actions for the centers with plural cracks is opened now.

We performed a study of the focal zone is destroyed a gas pipeline, which has multiple cracks. Based on these results it is shown that the most dangerous are the deepest cracks. The methods applied at test of the main gas pipelines, can be used and for the pipes, having plural cracks.

Ключевые слова: коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), стресс-тест, электрохимическая ячейка, поляризационные кривые, напряженно деформированное состояние (НДС), механохимическая активность.

Key words: stress corrosion cracking (SCC), stress-test, electrochemical cell, polarizing curves, stress strain state, mechanical-chemical activity.

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) является одной из причин выхода из строя магистральных газопроводов (МГ). Анализ отказов выявил характерные особенности КРН.

КРН возникает на прямо- и спиралешовных трубах, изготовленных из сталей ферритно-перлитного класса при работе системы катодной защиты. Величина общего защитного потенциала в месте отказа составляет - 0,9...2,0В (МСЭ).

Случаи КРН имеют место в различных грунтах.

Основная часть отказов по причине КРН возникает в областях, имеющих континентальный климат с периодическим увлажнением грунтов.

Растрескивание начинается с внешней поверхности трубы. Трещина имеет U-образную форму и ориентирована вдоль образующей трубы, которая в сечении представляет собой ветвящаяся межкристаллитная трещина, на стенках ее имеются отложения карбонатов и магнетита.

КРН возникает в местах отслоений противокоррозионной изоляции, часто, вдоль нижней образующей трубы в пределах сравнительно широкого коридора.

Отсутствует явная привязанность трещин к концентраторам напряжения.

На основании анализа отказов магистральных газопроводов установлено, что одной из основных причин их разрушения является коррозионное растрескивание под напряжением труб со стороны внешней катодно-защищенной поверхности. В настоящее время основным методом диагностики этого явления является переиспытание (стресс-тест) участков МГ избыточным давлением жидкости или газа. Так, по некоторым данным зарубежных исследований, наибольшее количество очагов растрескивания было выявлено именно этим методом. Однако этот метод рассчитан на выявление одиночных трещин. На практике в очаговых зонах разрушения может находиться не одна трещина, а целая система, для которых научные обоснования применения стресс-теста отсутствуют [1].

С целью изучения ряда особенностей КРН авторами были проведены различные исследования: электрохимические исследования, потенциодинамические измерения, распределение микротвердости вдоль трещин, так же было произведено компьютерное моделирование процесса разрушения в программном комплексе ANSYS.

Электрохимические исследования стали группы прочности X70 в 1н растворе NaCO_3 + 0,5н растворе NaHCO_3 . Образец был отобран из очаговой зоны разрушения магистрального газопровода Средняя Азия - Центр. Исследуемый образец имеет 4 трещины (рисунок 1), которые характерны для коррозионного растрескивания под напряжением.



Рисунок 1. Внешний вид исследуемого образца Средняя Азия- Центр

Химический состав и механические свойства стали, согласно сертификату качества японского производства по API 5L- X70, представлены в таблице 1 таблице 2 соответственно.

Таблица 1. Химический состав стали X70

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	V, %	Nb, %	Mo, %	Ni, %
0,07	0,28	1,59	0,018	0,003	0,08	0,028	0,002	0,01

Таблица 2. Механические свойства стали X70

Ударная вязкость		Предел прочности σ_v кг/мм ²	δ , %	Предел текучести, σ_t кг/мм ²	Испытание на ударный изгиб падающим грузом (DWTT), %
КС _v , (-20 °С) кг·м/см ²	КС _U , (-60 °С) кг·м/см ²				
16,5	19,1	65,9	22	56,4	100

Для проведения электрохимических исследований, образец из стали группы прочности X70 вырезался из очаговой зоны разрушения, шлифовался шкуркой № 1200. Далее образец помещался в стеклянную трубку. К тыльной стороне образца был припаян медный провод. Для обеспечения герметичности трубки (кроме торцевой части) она заливалась эпоксидной смолой. Результаты представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. Исследуемый образец, помещенный в стеклянную трубку

Далее исследуемый образец помещался в стандартную трехэлектродную электрохимическую ячейку, подключенную к потенциостату (рисунок 3).

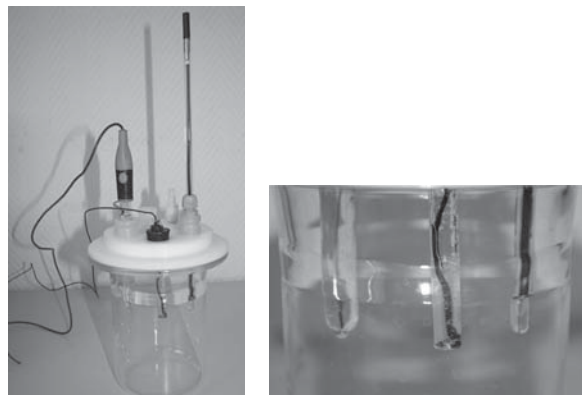


Рисунок 3. Трехэлектродная электрохимическая ячейка с исследуемым образцом

Исследования проводились при температурах 25 °С, 40 °С, 70 °С. В качестве электролита был выбран 1н раствор NaCO₃ + 0,5н раствор NaHCO₃, наиболее часто используемый при моделировании КРН магистральных газопроводов. В качестве вспомогательного электрода использовалась платина, в качестве вспомогательного электрода использовался хлор-серебряный электрод сравнения. На рисунке 4 представлены полученные поляризационные кривые, снятые при различных температурах.

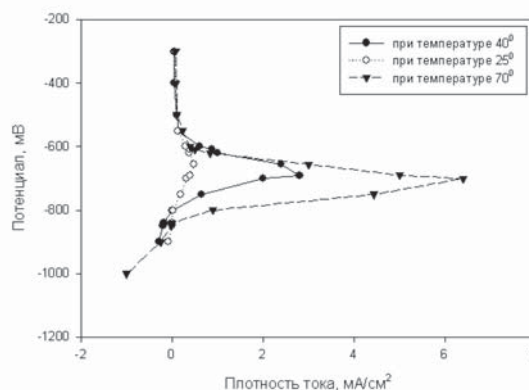


Рисунок 4. Анодные потенциодинамические поляризационные кривые стали группы прочности X70 в растворе 1н NaCO₃ + 0,5н NaHCO₃

Как видно из результатов потенциодинамических исследований, представленных на рисунке 4, электрохимическое поведение исследуемого образца стали аналогично поведению, наблюдаемому при КРН.

С повышением температуры, максимальное значение анодного пика смещается в сторону большего значения плотности тока. Так, при температуре 25 °С, максимальное значение пика анодного тока равно 0,4 мА/см², при температуре 40 °С, максимальное значение пика анодного тока равно 2,8 мА/см², при температуре 70 °С, максимальное значение пика анодного тока равно 6,3 мА/см². Наличие этого пика

связано с пассивирующим действием среды, моделирующей катодные отложения.

С повышением температуры процессы окисления металлов протекают значительно быстрее, несмотря на уменьшение их термодинамической возможности. Характер влияния температуры на скорость окисления металлов определяется температурной зависимостью константы скорости химической реакции, что выражается экспоненциальным законом, называемым уравнением Аррениуса [2]

$$k = Ae^{-Q/RT}$$

Где k – константа скорости химической реакции;
 A – предэкспоненциальный множитель (постоянная, равная k , при $1/T=0$);

Q – энергия активации химической реакции;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура.

Для нахождения энергии активации данного процесса, расчет производился в интервале температур (25...40) °C, (25...70) °C, (40...70) °C. Для упрощения решения уравнения Аррениуса, его предварительно логарифмировали. При помощи специальных компьютерных математических программ вычисляли значение энергии активации Q .

В результате проведенных исследований, было обнаружено, что энергия активации в различных интервалах температур отличается, что по-видимому связано с различной степенью торможения процесса. При низких температурах процесс образования пассивной пленки затрудняется. Однако при повышенных значениях температуры, процесс растворения металла заметно облегчается, так для температурного интервала (25...40) °C, значение энергии активации равно 21927 Ккал, а для температурного интервала (40...70) °C $Q = 4129$ Ккал соответственно. Данный факт может служить одним из объяснений привязки КРН к «горячим» участкам.

Проведенные исследования микротвердости стали X70 показали, что она не изменяется, кроме областей, непосредственно примыкающих к поверхности разрушения. На рисунке 5 приведено распределение микротвердости для колонии трещин [3]. Испытание проводилось на микротвердомере ПМТ-3М, с нагрузкой в 100 г, а также на твердомере Виккерса HVS -5 с нагрузкой 200 г.

Как видно из приведенного графика, распределение микротвердости в колонии трещин аналогично распределению микротвердости в одиночной трещине. Это свидетельствует о протекании аналогичных процессов при разрушении трубы. Наблюдается увеличение микротвердости в вершинах трещин, что связано с обнаруженным увеличением плотности дислокаций в этих местах.

Для лабораторного моделирования процесса разрушения такой системы трещины были проведены

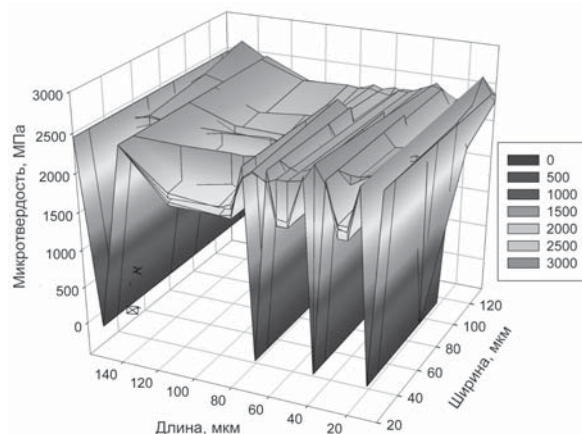


Рисунок 5. График распределения микротвердости стали X70 в очаговой зоне разрушения для колонии трещин

динамические исследования на разрывной машине марки ИР 5113-100-11. В результате проведения опыта на растяжения образца было обнаружено, что произошло раскрытие 4-й трещины. Поэтому все исследования проводились по ней.

Изменение механохимической активности стали X70 проводилось относительно каломельного электрода сравнения марки КЕ 10/16, снабженного соевым мостиком. В качестве рабочей среды использовался водный раствор 5 н NaCl. Измерения проводились в вершине раскрывающейся трещины. Результаты исследований приведены на рисунке 6.

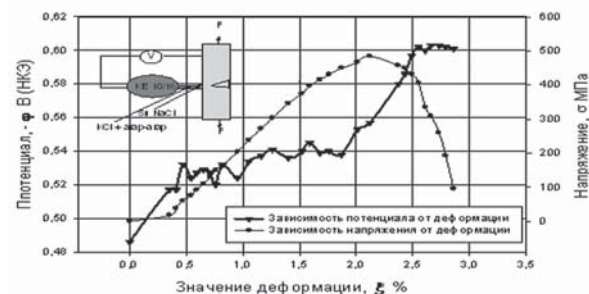


Рисунок 6. Механохимическая активность стали X70

Несмотря на большое количество трещин, в очаговой зоне разрушений, развивается только одна трещина, относительно которой и проводились измерения. Как видно из приведенных графиков, абсолютное значение потенциала увеличивается с ростом нагрузки. Однако это увеличение незначительно до напряжений, равных пределу текучести стали. При дальнейшем увеличении нагрузки, потенциал и соответственно механохимическая активность стали резко возрастает. При больших деформациях, соответствующих разрушению образца, значение потенциала стабилизируется, что, вероятно, связано с релаксационными процессами.

Для описания изменения механохимической активности использовался нелинейный регрессион-

ный анализ. При этом выбирались уравнения из класса переходных функций.

Аналитическая зависимость потенциала от величины растягивающих напряжений искалась в классе 3-х – 5-ти параметрических сигмоидальных функций. При этом были с помощью нелинейного регрессионного анализа (200 итераций) были просчитаны следующие функции: логистической, Вейбулла, Гомпертца, Хилла, Чапмена, сигмоида. Наилучшей моделью является функция сигмоида в виде:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\frac{(x-x_0)}{b}}}$$

на уровне значимости, рассчитанными с помощью t статистики Стьюдента $\alpha < 0,0001$ (в скобках приведены ошибка прогнозирования) для коэффициентов: $a = 2,6 \text{ В}$ (0,0794), $b = 0,01\%$ (0,0016), $x_0 = 0,54\%$ (0,0014). Коэффициент корреляции $R = 0,99$.

Результат регрессионного анализа приведен на рисунке 7.

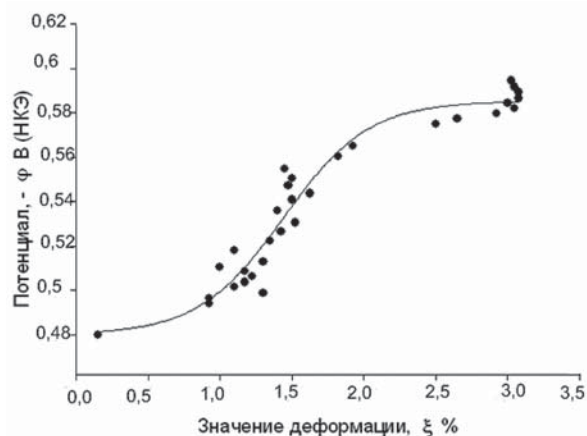


Рисунок 7. График рассеяния с подобранной сигмоидальной функцией

Для моделирования процесса разрушения в реальных металлических конструкциях, имеющих как одиночные, так и множественные трещины использовали программный комплекс ANSYS с

использованием плоского конечного элемента Solid45, имеющего четыре степени свободы [4]. Как показывают результаты натурных обследований наиболее часто встречаются не более четырех трещин. Поэтому наряду с проведенными исследованиями металла стали X70, было проведено компьютерное моделирование в программном комплексе ANSYS. Результаты проведенных исследований приведены на рисунках 8-9. Для моделирования трещины Задача решалась в упругой постановке.

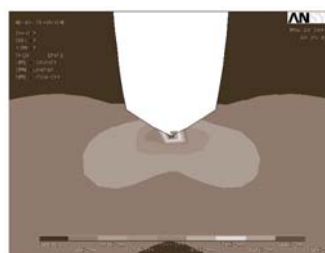


Рисунок 8. Распределение напряжения в 4-й трещине

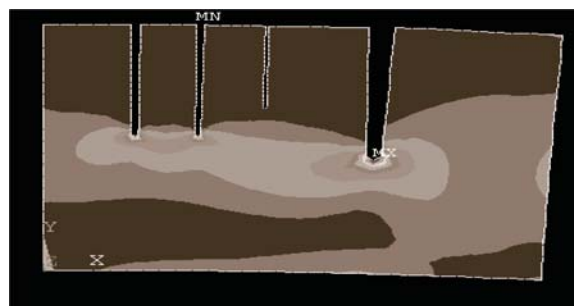


Рисунок 9. Перераспределение напряженно деформированного состояния внутри системы трещин

По результатам проведенных исследований можно сделать следующий вывод о том, что, несмотря на наличие сетки трещин примерно одинаковой глубины, разрушение происходит в результате раскрытия одной из трещин. Это говорит о том, что стресс-тест можно применять и для системы трещин.

ЛИТЕРАТУРА

Моделирование коррозионного растрескивания магистральных газопроводов / Гареева О.А., Худяков М.А., Климов П.В., Хажиев А.Д. и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2010. № 79. С. 87-92.

Особенности разрушения материалов нефтегазопроводов / Гареев А.Г., Худяков М.А., Абдуллин И.Г. и др. Уфа: Изд-во «Гилем», 2006. 155 с.

Гареев А.Г. Основы обработки и визуализации экспериментальных данных: учеб. пособие. Уфа: УГНТУ, 2004. 82 с.

Басов К.А. ANSYS Справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005. 639 с.

О.А. Гареева, аспирант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

O.A. Gareeva, postgraduate student of chair, «Petroleum vessel manufacturing», USPTU

М.З. Ямилев, аспирант кафедры, «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

M.Z. Yamilev, postgraduate student of chair, «Petroleum vessel manufacturing», USPTU

А.В. Лягов, д.т.н., профессор кафедры «Нефтегазопромышленное оборудование», УГНТУ

A.V. Lyagov, dr.sci.tech., professor of chair «Equipment for oil and gas craft», USPTU

П.В. Климов, к.т.н., заместитель генерального директора «Интергаз-Центральная Азия»

P.V. Klimov, cand.tech.sci., deputy general director of production, Technical Science «Intergaz-Central Asia» JSC, Kazakhstan
mel./tel.: (347) 242-08-36

МОДЕЛИ ПОРАЖАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОЖАРАХ РАЗЛИТИЯ НА МАЗУТНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ ТЭЦ

УДК 621.644.
8:504.05

DAMAGING EFFECTS MODELS IN THE FIRE EMERGENCIES OF SPILL IN THE FUEL OIL TANKS OF CHP

А.М. Козлитин, П.А. Козлитин
ГОУ ВПО Саратовский
государственный технический
университет,

A.M. Kozlitin, P.A. Kozlitin
Saratov State Technical University

В статье разработан метод сравнения интенсивности теплового облучения стенки резервуара и критерия потери им устойчивости. Рассмотрены последствия теплового воздействия на человека и разработан координатный закон поражения человека при пожарах разлития.

In article the method of comparison of intensity of a thermal radiation of a wall of the tank and criterion of loss of reliability of the tank is developed. Consequences of thermal influence on the person are considered, the coordinate law of defeat of the person is developed at black oil burning.

Ключевые слова: интенсивность теплового облучения, потеря устойчивости резервуара, тепловое воздействие, координатный закон поражения.

Keywords: intensity of thermal radiation, loss of reliability of the tank, thermal influence, coordinate law of defea.

Одной из потенциально опасных составляющих ТЭЦ, определяющей риск поражающего воздействия на персонал, население и прилегающую селитебную территорию, является мазутное хозяйство (система мазутоснабжения) ТЭЦ.

Для разработки физико-математических моделей развития аварийных процессов и распространения поражающих факторов в окружающей среде при авариях в мазутном хозяйстве ТЭЦ, на основе анализа ретроспективной информации об известных авариях выделены основные условия возникновения и развития аварий - взрывы и пожары в резервуарах, разрушение резервуара с формированием пожара разлития.

При многотонных разливах на промплощадках предприятий подогретого, по условиям технологического процесса, мазута, возможен «хлопок» (вспышечное сгорание паров углеводородов) с последующим воспламенением разлития. Однако при вспышечном сгорании облака паровоздушной смеси скорости дефлаграции не значительны с избыточными давлениями внутри облака не более 10 - 15 кПа и резко убывающей амплитудой давления на фронте ударной волны вне облака. В таких случаях последствия пожаров разлитий на несколько порядков более значительны, чем последствия возможного «хлопка».

1. Оценка устойчивости резервуаров к воздействию теплового излучения

Одним из важнейших является вопрос прогнозной оценки воздействия пожара разлития на соседние резервуары и возможности возникновения эффекта «домино». Установим зависимость критической интенсивности облучения стенки резервуара от продолжительности облучения. С этой целью проанализируем литературные данные о последствиях воздействия теплового излучения при пожарах разлития на емкостное оборудование и резервуары.

При попадании смежного резервуара в область горящего разлития тепловые нагрузки на его стенку составляют порядка 60–80 кВт/м² и такой пожар практически удержать не возможно.

Степень устойчивости к тепловому воздействию смежных резервуаров, расположенных в индивидуальных обвалованиях на расстояниях L_1 от фронта пламени горящего разлития, определяется сравнением интенсивности теплового облучения единицы поверхности стенки резервуара и критерия потери устойчивости к тепловому воздействию.

Расстояние от фронта пламени до стенки резервуара можно считать безопасным, если максимальная плотность падающего на единицу ее поверхности теплового потока не превышает максимально допустимого его значения, определяемого из условий нагрева элементов конструкций до температуры самовоспламенения нефтепродуктов, налитых в резервуар.

В документе [1] в качестве критической интенсивности теплового излучения для металлических конструкций рекомендуется принимать величину 25 кВт/м². В работе [2] в качестве критической температуры не смоченной жидкостью стенки резервуара

принята величина 425-430°C, при этом плотность падающего на указанные стенки резервуара теплового потока не должна превышать 13,5 кВт/м² в отсутствие ветра и 22 кВт/м² при скорости ветра 10 м/с. В работе [3] величину критической интенсивности рекомендуется принимать равной 20 кВт/м². В работах [4, 5] приводятся следующие значения допустимой плотности падающего на стенку резервуара теплового потока, при условиях:

Распространение пожара возможно, даже если находящиеся в опасности резервуары охлаждаются	36 кВт/м ²
Распространение пожара маловероятно при достаточном охлаждении	12 кВт/м ²
Распространение пожара почти невозможно	8 кВт/м ²

Однако, в указанных работах *время облучения* резервуара не нормируется, в то время, как последствия разрушающего воздействия на оборудование и конструкционные элементы объекта определяются дозой теплового воздействия. В работе [6] приведены значения критической интенсивности облучения резервуаров с нефтепродуктами, нагревание которых, за указанное время воздействия, до определенной температуры способно привести к разрушению или взрыву сосуда, табл. 1.

Таблица 1. Критическая интенсивность облучения резервуаров с нефтепродуктами

Время действия, мин.	5	10	15
Критическая интенсивность облучения, кВт/м ²	34,9	27,6	24,8
Доза облучения МДж/м ²	10,5	16,6	22,3

Примечание: для нефтепродуктов с температурой самовоспламенения ≤ 235 °С при степени черноты поверхности резервуара 0,35.

Критериальная зависимость интенсивности облучения резервуара с нефтепродуктом, нагревание которого до температуры самовоспламенения за рассматриваемое время облучения стенки резервуара способно привести к разрушению или взрыву, получена нами на основе метода регрессионного анализа эмпирических данных таблице 1:

$$I(\tau) = \beta \cdot \tau^{-\alpha}, \quad (1)$$

где $I(\tau)$ — критическая интенсивность облучения стенки резервуара; τ — время облучения стенки резервуара; α и β — параметры регрессионной модели.

Критериальная кривая и процедура сравнения интенсивности теплового облучения стенки резервуара и критерия потери им устойчивости, приведены на графике рис.1 и рис.2.

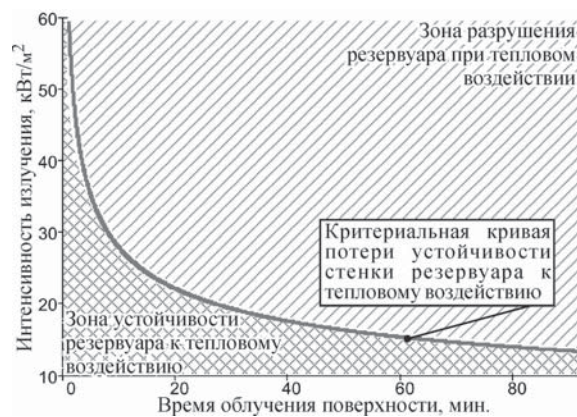


Рисунок 1. Критериальная кривая интенсивности облучения резервуаров с нефтепродуктами

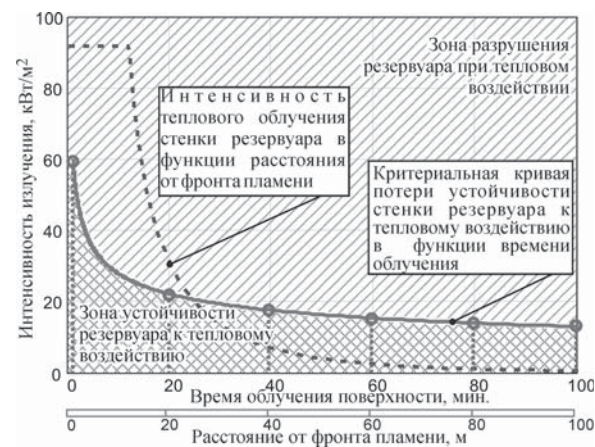


Рисунок 2. Процедура сравнения интенсивности теплового облучения стенки резервуара и критерия потери им устойчивости

2. Оценка теплового поражения человека при пожарах разлития.

В основу алгоритма прогнозирования последствий теплового воздействия при пожарах разлития на человека, технологическое оборудование, здания и сооружения, положена, для инженерных расчетов, выполненная нами модификация методики, изложенной в ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ [7] и НПБ-105-03 [8], с учетом рекомендаций методики МЧС РФ [9].

Тепловое поражение человека в аварийных ситуациях определяется степенью ожога, полученного в результате воздействия теплового излучения на кожный покров.

Характер теплового поражения человека и степень ожогов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характер теплового поражения человека

Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²	Характер поражения
24	Смертельное поражение. Омертвление подкожной клетчатки, мышц и костей, обугливание кожного покрова. Вероятность смертельного исхода 90%
14	Ожоги III степени, полное разрушение кожного покрова, образование язв. Необходимо длительное лечение. Вероятность смертельного исхода 15%
7	Ожоги II степени, образование на коже пузырей, наполненных жидкостью, потеря работоспособности
4	Ожоги I степени, покраснение и припухлость кожи, работоспособность не теряется. Вероятность ожогов первой степени 10%
3,5	Безопасное эвакуационное расстояние для персонала
1,4	Предельно безопасное эвакуационное расстояние

Характер изменения интенсивности теплового излучения в функции расстояния, показан на рисунке 3.

Интенсивность теплового воздействия убывает достаточно быстро, по мере удаления от фронта пламени. При пожаре разлития мазута в обваловании уже на расстоянии 45 м от фронта пламени возможны ожоги менее первой степени поражения.

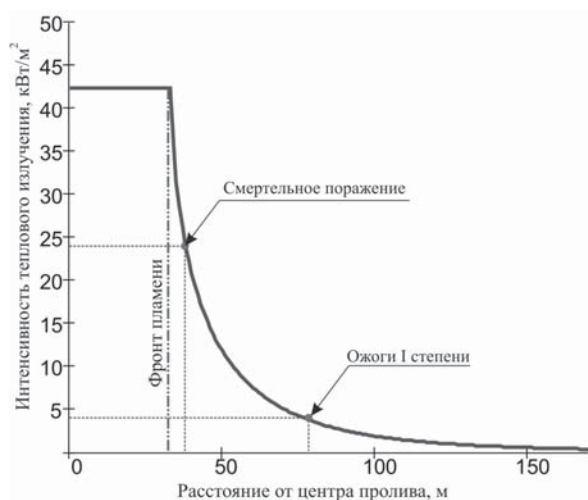


Рисунок 3. Характер изменения интенсивности теплового излучения

Определим координатный закон $P(\Gamma)$ теплового поражения человека при пожарах разлития.

При расчете величины $P(\Gamma)$ будем исходить из следующих предположений:

1) В зоне действия открытого пламени условная вероятность летального исхода равна единице $P(L_B) = 1$.

2) В зоне с радиусом $> L_B$ на человека действует тепловое излучение с поверхности фронта пламени горящего разлития. В этой зоне условная вероятность летального исхода определяется через функцию нормального распределения Гаусса-Лапласа (функцию ошибок), аппроксимирующую закон теплового поражения человека. Верхним пределом интеграла функции ошибок является так называемая пробит-функция (Pr), отражающая связь дозы теплового излучения и пробита относительной частоты поражения.

В соответствии с нашими исследованиями [10] и учетом сделанных выше предположений, характер распределения условной вероятности теплового поражения $P(\Gamma)$ человека в зоне действия опасных факторов пожара — открытого огня и теплового излучения с поверхности фронта пламени — определяется следующим выражением:

$$P(\Gamma) = \begin{cases} 1 & \text{при } \Gamma \leq L_B \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr(\Gamma)-5} \exp(-\frac{Z^2}{2}) dZ & \text{при } \Gamma > L_B \end{cases} \quad (2)$$

$$Pr(\Gamma) = A + B \cdot \ln[t \cdot (q(\Gamma) - J)^{4/3}]$$

где t — эффективное время экспозиции; $q(\Gamma)$ — интенсивность теплового излучения в зависимости от расстояния; J — нижний порог теплового поражения человека; $Pr(\Gamma)$ — пробит-функция; Z — переменная интегрирования; A, B — параметры пробит-функции.

Для летальных исходов, в соответствии с рекомендациями [7, 8], параметры пробит-функции соответственно равны $A = -14,9$; $B = 2,56$.

Время пребывания в зоне теплового облучения (t) при пожаре зависит от адекватности действий человека в сложившейся ситуации (не менее 5 с на оценивание обстановки и принятие решения [7, 8]) и скорости его передвижения к безопасной зоне (не более 4-5 м/с). Исходя из сказанного, эффективное время облучения человека консервативно принято при расчетах $P(\Gamma)$ равным $t_0 = 30$ с.

В качестве нижнего порога теплового воздействия для производственного персонала нами принята величина $J \leq 3,5$ кВт/м². Данная величина обосновывается тем, что минимальная доза теплового потока $D_{min} = J \cdot t$, которую может получить человек на внешней границе круга вероятного поражения (КВП) за время t , не должна превышать дозу, соответствующую ожогу первой степени поражения.

Результаты расчетов распределения вероятности летального исхода вследствие теплового поражения

человека на прилегающей к объекту территории (координатные законы поражения), при реализации максимальной гипотетической аварии на резервуарах, показаны на рис.4.

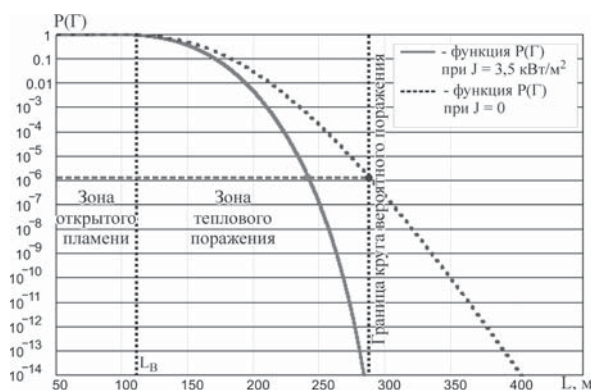


Рисунок 4. Координатные законы теплового поражения человека

Из сравнительного анализа координатных законов, представленных на рис. 4 можно видеть, что функция вероятности летального исхода $P(\Gamma)$, учитывающая параметр порогового воздействия J , стремится к нулю, при асимптотическом приближении к внешней границе КВП. В другом случае, при $J = 0$,

вероятность летального исхода, в результате воздействия теплового излучения остается значимой и за пределами КВП, что приводит, по нашему мнению, к необоснованному завышению уровня опасности объекта.

Выводы

На основе выполненных исследований получена регрессионная модель критериальной кривой, устанавливающей зависимость критической интенсивности облучения стенки резервуара от продолжительности облучения. Разработан метод сравнения интенсивности теплового облучения стенки резервуара и критерия потери им устойчивости. Разработан координатный закон теплового поражения человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Methods for the determination of possible damage. CPR 16 E. Den Haag, Committee for the prevention of Disasters, 1989. P. 154.
2. Martinsen W.E. Determining spacing by radiant heat limits. / W.E. Martinsen, D.W. Johnson, S.B. Millsap // Plant Operations Progress. 1989. V.8. №1. P.25-28.
3. Шебеко Ю.Н. Методы оценки поражающих факторов крупных пожаров и взрывов на наружных технологических установках / Ю.Н. Шебеко, В.Л. Малкин, И.М. Смолин // Пожаровзрывобезопасность. 1999. Т.8. №4. С.18-28.
4. Сучков В.П. Актуальные проблемы обеспечения устойчивости к возникновению и развитию пожара технологий хранения нефти и нефтепродуктов / М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1995. 68 с.
5. Fire spread in storage tank-farms//Fire international.1987.No107.P.94.
6. Сафонов В.С. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности / В.С Сафонов., Г.Э. Одишария, А.А. Швыряев. М.: РАО «Газпром», 1996. 208 с.
7. ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М.: Изд-во стандартов, 2000. 85 с.
8. НПБ-105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. 30 с.
9. Методика оценки последствий аварии на пожаровзрывоопасных объектах // Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. М.: МЧС России, 1994. 42 с.
10. П.А. Козлитин, А.М. Козлитин. Теоретические основы и методы системного анализа промышленной безопасности объектов теплоэнергетики с учетом риска: монография / Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2009. 156 с.

А.М. Козлитин, д.т.н., профессор кафедры «Природная и техносферная безопасность», СГТУ
А.М. Kozlitin, dr.sci.tech., professor of chair «Nature and technosphere safety», SSTU
П.А. Козлитин, к.т.н., докторант кафедры «Теплоэнергетика», СГТУ
P.A. Kozlitin, cand.tech.sci., doctor's degree candidate of chair «Heat-power engineering», SSTU
e-mail: kammov@gmail.ru

**А.А. Гиззатов,
Ю.А. Миключев,
М.Н. Рахимов,
О.А. Баулин**
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет

**A.A. Gizzatov,
U.A. Micluchev,
M.N. Rahimov,
O.A. Baulin**
Ufa State Petroleum Technical
University

На основе побочных продуктов нефтехимии разработаны эффективные реагенты для флотации углей. Изучено влияние природы реагентов на выход и извлечение полезной массы флотоконцентрата. Показана графическая зависимость данных показателей от концентрации реагентов в дизельном топливе. Изучена эффективность кубового остатка ректификации стирола и тяжелого полимердистиллята. Разработан эффективный реагентный режим флотации с использованием новых реагентов собирателей. Это позволит не только повысить выход флотоконцентрата, но и снизить его зольность.

Influence of concentration of by-products of petrochemistry as the floatation reagents on the coal yield in the process of their floatation has been investigated. On the basis of the received data we have studied influence of the nature of reagents on the yield and extraction of efficient mass of the float concentrate. The given indices-vs-concentration of reagents curve in diesel fuel has been shown. Also efficiency of vat residue of styrene rectification (RRS) and heavy polymer distillate (HPD) has been studied. The most effective reagent mode of floatation with the use of new reagent-collectors has been developed. It will provide not only the increase of the float concentrate yield, but also decrease in its ash value.

Ключевые слова: флотация, реагент-собиратель, полимердистиллят, реагентный режим.

Keywords: floatation, reagent-collector, polymer distillate, reagent mode.

Основная область применения каменных углей, как правило, ограничивается их сжиганием в энергетических установках или технологической переработкой. Из всех методов технологической переработки наибольшее распространение получило коксование. Кокс используется при восстановительных процессах в цветной и черной металлургии, в производстве искусственных абразивных материалов, химической промышленности и др. Для получения кокса, удовлетворяющего требованиям доменщиков качества исходный уголь наряду с определенными структурно-механическими свойствами должен обладать пониженной зольностью [1].

Большинство углеобогащительных фабрик (УОФ), обогащающие угли для коксования, имеют отделения флотации, однако в настоящее время обогащение мелких классов энергетических углей осуществляют только на 30 % фабрик России. Мелкие необогащенные классы углей размещают

в специальных отстойниках, что приводит к значительной потере энергетического и технологического потенциала исходного угля и отрицательно сказывается на окружающей среде [2].

После развала СССР большинство нефтехимических предприятий страны прекратили производство «малотоннажной» химии и на отечественном рынке практически отсутствуют эффективные флотореагенты. Поэтому большинство УОФ вынуждены использовать в качестве флотореагентов моторные топлива, такие как, тракторный керосин или дизельное топливо. Анализ литературы по разработке и использованию реагентов флотации углей показывает, что использование вышеуказанных реагентов-собирателей и вспенивателей не всегда обеспечивает высокие показатели флотационного процесса. Особенно это относится процессу обогащения низкометаморфизованных и труднообогащаемых углей, в процессе которого наблюдаются значительные потери органической массы углей с отходами флотации. Кроме того, вследствие низкой селективности процесса флотации угольной мелочи концентраты характери-

Таблица 1 – Характеристики объектов исследований

Наименование продукта	Вязкость, V_{20}	Температура вспышки, $t_{всп}$, °С	Температура застывания, $t_{заст}$, °С	Плотность, ρ_4^{20}	Назначение реагента
КОРС	1,1	70	-30	0,90-1,00	собиратель
ДТ (летнее)	2,2	57	-10	0,807	собиратель
ТПД	2,8	-	-56	0,820	собиратель

Таблица 2 — Результаты флотации

Реагент-собира-тель	Вспени-ватель	Расход			Про-дукты фло-тации	Вес, г	γ, %	Ad, %	Σγ, %	ΣAd, %	ε гор. массы в конц., %
		Соби-ратель г/г	Вспени-ватель, г/г	Общий							
Дизельное топливо	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	18	36	7,90	36	7,90	30,23
					конц.2	7	14	15,50	50	9,325	36,63
					отходы	25	50	23,18	100		
ТПД-10% + ДТ-90%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	20	40	4,60	40	4,60	48,18
					конц.2	8	16	2,90	56	4,11	67,79
					отходы	22	44	37,85	100		
ТПД-25% + ДТ-75%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	24	48	4,40	48	4,40	57,94
					конц.2	10	20	2,90	68	3,96	82,46
					отходы	16	32	49,98	100		
ТПД-50% + ДТ-50%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	29	58	3,60	58	3,60	70,60
					конц.2	9	18	3,00	76	3,46	92,64
					отходы	12	24	67,02	100		
ТПД-75% + ДТ-25%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	29	58	3,10	58	3,10	70,96
					конц.2	7	14	2,10	72	2,91	88,27
					отходы	14	28	60,39	100		
ТПД-100%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	30	60	3,30	60	3,30	73,26
					конц.2	7	14	1,50	74	2,96	90,67
					отходы	13	26	63,96	100		
КОРС-10% ДТ-90%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	27	54	2,50	54	2,50	66,48
					конц.2	7	14	6,50	68	3,32	83,01
					отходы	16	32	53,72	100	28,1	
КОРС-20% ДТ-80%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	29	58	2,70	58	2,70	71,26
					конц.2	7	14	6,60	72	3,46	87,77
					отходы	14	28	59,80	100		
КОРС-50% ДТ-50%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	32	64	2,60	64	2,60	78,71
					конц.2	7	14	6,60	78	3,32	95,22
					отходы	11	22	75,22	100		
КОРС-75% ДТ-25%	КОБС	1,5	0,3	1,8	конц.1	29	58	2,70	58	2,70	71,26
					конц.2	8	16	6,60	74	3,54	90,12
					отходы	13	26	63,89	100		

зуются высоким содержанием минеральных компонентов [3].

Для повышения технико-экономических показателей процесса флотации каменных углей нами проведены исследования по подбору новых реагентов — собирателей. В качестве последних были опробованы побочные продукты нефтехимии — тяжелый полимер-дистиллят (ТПД), кубовый

остаток ректификации стирола (КОРС). Физико-химические свойства данных реагентов представлены в таблице 1. За базу при исследованиях использовано дизельное топливо летнее по ГОСТ 350-82 (ДТл-02-62).

Исследования проводили на лабораторной флотационной машине механического типа Р-136-24 с объемом камеры 1 литр. В качестве сырья использо-

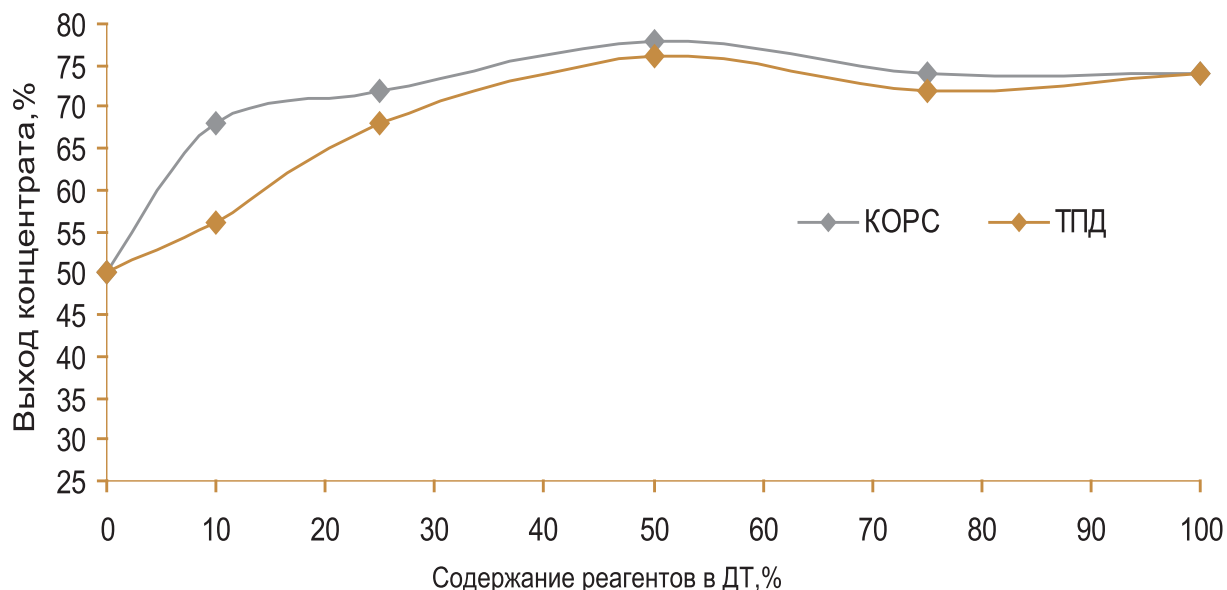


Рисунок 1 — Зависимость выхода концентрата от содержания КОРС, ТПД в ДТ

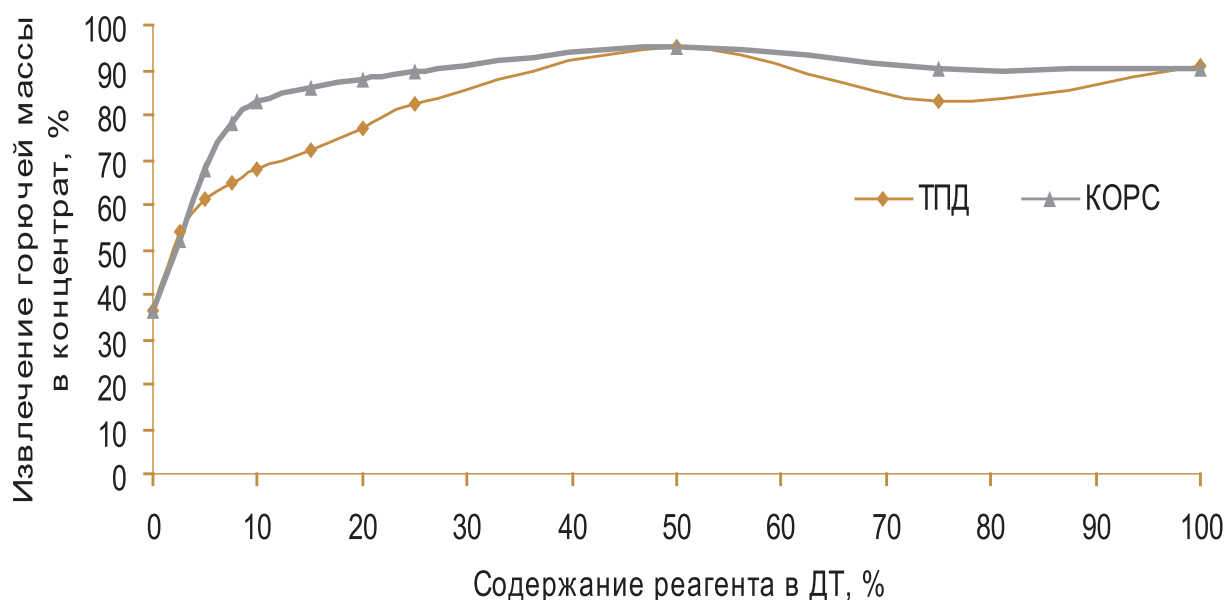


Рисунок 2 — Зависимость извлечения горючей массы в концентрат от содержания КОРС, ТПД в ДТ

вали уголь карагандинский с содержанием пустой породы 20,8 % масс. При исследованиях навеску угля массой 50 г с размером частиц менее 0,5 мм перемешивали с водой в камере машины в течение 2 минут и подавали реагент собиратель. В течение минуты производили кондиционирование им угольной пульпы. Затем в реакционную камеру подавали реагент — вспениватель, а через 30 с — воздух. Флотацию продолжали в течение 1 минуты и снимали образовавшуюся пену — это первый флотоконцентрат. В камеру подавали еще одну порцию реагента-собирателя и повторили процесс флотации и отобрали второй флотоконцентрат. Оставшиеся в камере хвосты выливали в слив. Полученные концентраты сушили в сушильном шкафу при темпера-

туре 850 °С до постоянной массы. В качестве реагента — вспенивателя использовали хорошо известный в практике флотации технический продукт — КОБС [4]. Групповой химический состав рядовой пробы КОБСа приведен ниже.

Групповой химический состав КОБСа, масс. %

1.Алифатические спирты -C ₈	50-65
2.Сложные эфиры	15-20
3.Кетоны	10-20
4.Альдегиды	5-10

Сухому концентрату определяли зольность по ГОСТ 11022-95. При расхождении параллельных результатов более чем на 0,2% проводился повторный анализ.

Были проведены исследования влияния концентрации вышеизложенных реагентов на показатели процесса флотации. В ходе экспериментов расход реагента — собирателя меняли от 800 г/т угля до 3000 г/т, а реагента — вспенивателя от 100 г/т угля до 400г/т. За оптимальные расходы были приняты: для реагента-собирателя — 1500 г/т угля, а для реагента — вспенивателя — 300 г/т.

Результаты исследований представлены в таблице 2 и рисунках 1, 2.

Как следует из полученных данных при введении в состав дизельного топлива КОРС и ТПД улучшаются показатели флотации. Извлечение горючей массы в концентрат при использовании КОРС и ТПД повышается на 58,6 % и 54,0 %, а выход концентрата на 28,0 % и 26,0 %, соответственно. При этом повышается также и селективность процесса. Зольность концентрата как в случае использования КОРС, так и в случае использования ТПД снижается примерно на 6 %.

Высокая эффективность действия технических продуктов КОРС и ТПД объясняется, на наш взгляд, присутствием в них ароматических углеводородов и олефинов [5]. Наличие р-электронного облака в

молекулах данных углеводородов обеспечивает специфические силы межмолекулярного взаимодействия молекул реагента с угольной поверхностью, что приводит к повышению общей энергии адсорбции [6].

С учетом полученных результатов нами предложены новые флотореагенты содержащие КОРС и ТПД. На флотореагент содержащий ТПД получен патент РФ /7/, разработаны технические условия и наработана опытно-промышленная партия реагента. Опытно-промышленная партия прошла промышленные испытания на углеобогадательной фабрике (г. Кемерово). Испытания показали, что реагент удовлетворяют требованиям технологического процесса, обеспечивая производство качественных обогащенных углей, безопасность процесса и не уступают зарубежным аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник коксохимика / Под. ред. А.К. Шелкова. Т. 1. Сырьевая база и подготовка углей к коксованию. М.: Металлургия, 1964. 490 с.

2. Повышение эффективности действия апоярных реагентов их модифицированием. / Юнаш А.А., Иванов Г.В., Петухов В.Н. // Вестн. Кузбасс. гос. техн. ун-та. 2004, №4. С. 76-78.

3. Курченко И.П., Золотко А.А. // ОРИ. 2004. № 20(61). С. 3.

4. М.М. Арсланов, А.А.Гиззатов, Ю.А. Миключев, О.А.Баулин, М.Н. Рахимов. / Тез.докл. (Научное и экологическое обеспечение современных технологий) УГИС. Уфа. 2006.

5. Жура В.В., Бевзенко Б.Ф. // Обогащение полезных ископаемых. 2003. №17(58). С. 78.

6. Кухаренко Т.А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли. М.: Недра, 1972. 151 с.

7. Патент РФ №2306982. Способ флотации угля / Петухов В.Н., Захаров И.П., Сирченко А.С., Азнабаева Г.В., Осина Н.Ю., Рахимова И.М., Юдин В.П., Бюл. №27 от 27.09.2007г.// Б.И. 2007. № 33.

А.А. Гиззатов, аспирант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ
А.А. Gizzatov, postgraduate student of chair «Technology of oil and gas», USPTU
Ю.А. Миключев, аспирант, кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ

Yu.A. Miklyuchev, postgraduate student of chair «Technology of oil and gas», USPTU

М.Н. Рахимов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология нефти и газа», УГНТУ

M.N. Rakhimov, dr.tech.sci., professor, of chair «Technology of oil and gas», USPTU

О.А. Баулин, к.т.н., доцент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ
O.A. Baulin, cand.tech.sci., associate professor of chair «Technology of oil and gas», USPTU.

e-mail: arnoldnash@rambler.ru, rmni@mail.ru

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

УДК
621.7.044

INFLUENCE OF VIBRATION TREATMENT CONDITIONS ON QUALITIES OF WELDING JOINTS

**А.М. Файрушин, Д.В. Каретников,
А.Н. Салмин., Дж.А. Хаддад**
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет

**A.M. Fairushin, D.V. Karetnikov,
A.N. Salmin, J.A.Hadad**
Ufa State Petroleum Technical
University

Рассматривается возможность применения вибрационной обработки для улучшения механических и других свойств сварных соединений. Проведен анализ работ в данной области по влиянию колебаний различного рода и их характеристик на расплавленный, кристаллизующийся и затвердевший металл. Представлены результаты опытов, проведенных авторами, по определению влияния вибрационных колебаний на расплавленный и кристаллизующийся металл сварного соединения сталей различных классов и марок. На основании результатов исследований сделаны выводы.

The given paper describes vibration treatment applying possibility for welding joints quality improvement. The influence of various types' fluctuations and their characteristics on a molten, crystallized and solidified metal has been analyzed. The results of experiments conducted by authors, to determine the effect of vibration and fluctuations on the molten and crystallized metal weld of different steel classes and grades are presented. Based on the results of performed experiments proper conclusions are made.

Ключевые слова: вибрации, режимы вибрационной обработки, скорость охлаждения, уровень остаточных напряжений, микроструктура, сварка плавлением, сварной шов.

Key words: vibrations, vibration treatment conditions, cooling rate, level of residual stresses, microstructure, fusion welding, welded seam.

Основными задачами современного машиностроительного комплекса в целом, и нефтегазового машиностроения в частности является повышение работоспособности оборудования при одновременной экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов.

Внедрение новых, экономически обоснованных технологий, при достаточных объемах производства может давать заметный эффект. Данный эффект выражается в снижении металлоемкости, уменьшении времени и трудоемкости технологических операций, уменьшении размеров конструкции, применении более дешевых видов материалов, улучшении механических свойств и увеличении ресурса.

На сегодняшний день с помощью сварки изготавливается и производится монтаж большей часть всех конструкций, применяемых в нефтегазовой отрасли. Это объясняется невозможностью или высокой стоимостью получения этих конструкций при помощи других технологических процессов. Однако, совокупность механических и других свойств сварных соединений редко достигает 80...90% свойств основного металла. Сварное соединение, как правило, является концентратором напряжений, местом расположения различных дефектов и нежелательных структурных изменений. Основным методом по улучшению качества сварных

соединений является применение различных типов операций термической обработки. В качестве общего недостатка данного типа операций можно выделить существенную энерго- и трудоемкость процесса, невозможность применения метода при сварки труднодоступных узлов и деталей.

Существует также ряд других способов повышения качества сварных соединений [1], однако, в большинстве случаев они не находят своё применение в производстве по тем или иным причинам.

Сравнительно новым методом является вибрационная обработка сварных соединений. По агрегатному состоянию объекта обработки (сварного шва) методы вибрационной обработки можно разделить на два типа: обработка расплавленного и кристаллизующегося металла; обработка затвердевшего металла.

Большинство научных работ по вибрационному воздействию относятся к обработке затвердевшего металла. Если рассматривать вибрационную обработку сварной конструкции проводимую после кристаллизации сварного шва и его остывания до температуры окружающей среды, то основное назначение данного типа вибрационной обработки — это снижение остаточных напряжений и деформаций. Исследования по данному направлению описаны в различных литературных источниках [9, 10].

Вибрационная обработка затвердевших сварных соединений заключается в создании в сварных конструкциях после сварки переменных напряжений определенной величины с помощью механических вибраторов. Виброобработка осуществляется, как правило, на резонансных или близких к резонансным частотам в течение определенного промежутка

времени. В ряде случаев виброобработку применяют взамен последующей термической обработки, что оказывается экономичнее примерно в 10 раз, так как она имеет ряд существенных преимуществ:

- необходимо для виброобработки оборудование является универсальным для различных конструкций, компактным и мобильным;
- стоимость этого оборудования, а также затраты на его обслуживание и уход за ним сравнительно невелики;
- процесс снятия сварочных напряжений протекает быстро (максимальное время обработки детали составляет 30 мин.);
- поверхность детали после обработки не претерпевает заметных физико-механических изменений (нет окалины, шлака, цветов побежалости и т. п.).

В работе [9] указывают, что понижение остаточных напряжений в процессе вибрации сварных конструкций в затвердевшем состоянии достигается за счет сочетания напряжений (вибрационных и остаточных), при определенных величинах которых материал становится пластичным.

Если в теле с определенными остаточными напряжениями создать циклически изменяющиеся напряжения, то процесс изменения напряжений для точки А на рисунке 1 может быть представлен в следующем виде. Исходное состояние характеризуется напряжением σ_A и деформацией ϵ_A . Первому циклу нагружения соответствует участок графика ACDBD'. При этом следует обратить внимание на то, что при снятии нагрузки линия CD параллельна линии упругости на всём протяжении действия нагрузки и немного уменьшается к концу (DB) — эффект Баушингера.

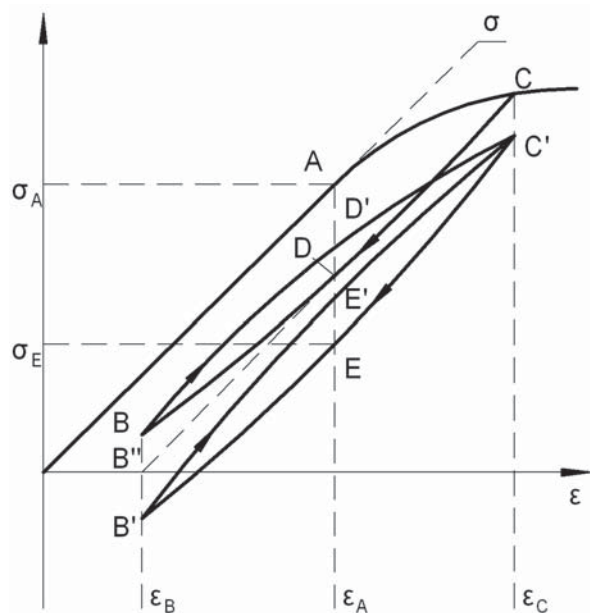


Рисунок 1. Диаграмма σ - ϵ в процессе вибрации [9]

Последующие нагрузки заставляют металл принимать такие параметры, пока не образуется стабильная петля гистерезиса C'E'B'E'C.

Таким образом, если учесть, что в исходном состоянии величина остаточных напряжений соответствует напряжениям σ_A , то после вибрации она уже соответствует значению σ_E , а снижение напряжений — разности σ_A и σ_E . Конечный эффект вибрации является функцией величин переменных напряжений и характеристик упругопластических свойств материала при циклических нагружениях (циклически упрочняемый или разупрочняемый материал).

Необходимым условием, при котором наблюдается снижение остаточных напряжений, является достижение предела текучести при вибрации сочетанием остаточных и вибрационных напряжений. Величина предела текучести при циклическом нагружении для некоторых материалов может быть снижена в 2 раза по сравнению с пределом текучести при статическом нагружении, в связи с чем при пульсирующих напряжениях небольшого уровня наблюдается снижение остаточных напряжений [9]. Наибольшее уменьшение остаточных напряжений происходит уже при первом цикле, последующее снижение напряжений происходит менее интенсивно на отрезке до 100 циклов с постепенным затуханием этого процесса при дальнейшем циклическом нагружении. В связи с этим рекомендуется производить вибрационную обработку в течение не более 10-20 минут.

Снижение остаточных напряжений в металле сварного соединения является основным, но не единственным результатом вибрационной обработки. В ходе экспериментов, описанных в [10] обнаружилось значительное изменение микротвердости. В сварном шве она возрастала, а в околошовной зоне — падала. Таким образом, вибрационная обработка затвердевших сварных соединений не только снижает остаточные напряжения в сварном соединении, но и одновременно изменяет свойства самого металла сварного соединения, причём эти изменения направлены на увеличение сопротивляемости металла ползучести [10].

Несмотря на вышеуказанные положительные эффекты вибрационной обработки затвердевших сварных соединений, данный метод не получил широкого промышленного внедрения. Основными причинами этого, по нашему мнению, являются. Во-первых, зависимость эффективности обработки от формы и размеров детали. Так, способ не применим для коротких деталей с большим моментом сопротивления из-за того, что у них резонансная частота выше, чем можно получить обычным электрическим или пневматическим вибратором. Применение способа так же экономически обоснованно при обработке крупногабаритных изделий,

так как требует применения сложной аппаратуры для создания вибрационных колебаний, необходимой интенсивности. Во-вторых, метод не имеет возможности применения для повышения технологической прочности сварного соединения, что особенно актуально при сварки сталей, склонных к образованию горячих и холодных трещин.

Более эффективным и экономически выгодным по нашему мнению является метод сопутствующей вибрационной обработки соединений в процессе сварки, таким образом вибрационное воздействие воспринимает не только затвердевший металл сварного соединения, но и расплавленный и кристаллизующийся металл сварочной ванны. Это не только позволяет получить более широкий спектр положительных эффектов от обработки, но и даёт возможность применения локального ввода упругих колебаний непосредственно в зону сварки, что значительно снижает требуемую мощность вибрационных устройств и повышает универсальность метода.

Проведенный литературный обзор источников, посвященных исследованию влияния упругих колебаний на расплавленный и кристаллизующийся металл показал, что на сегодняшний день не существует общепринятого мнения о механизме сопутствующего вибрационного воздействия, который позволял бы объяснить весь спектр достигаемых эффектов с позиции одной или нескольких взаимосвязанных гипотез.

В связи со сложностью и недостаточной изученностью процесса кристаллизации, эффекты от воздействия упругих колебаний на расплавленный и кристаллизующийся металл авторами, вышеназванных работ, рассматриваются отдельно друг от друга. Но по нашему мнению, такие особенности сварочной ванны, как сравнительно малый объем расплавленного металла и высокая скорость охлаждения, позволяют получить как эффекты от воздействия упругих колебаний на расплавленный металл, так и эффекты от воздействия упругих колебаний на кристаллизующийся металл сварочной ванны.

В работах [4, 7, 8, 12], доказано, что вибрационные воздействия могут вызывать протекание в расплавленном металле следующих процессов:

- перемешивание жидкой фазы, за счёт создания разности давлений упругими волнами, что увеличивает теплопроводность в жидкой фазе и более равномерно распределяет входящие в состав расплавленного металла включения;
- вывод растворенных в жидкости газовых включений в процессе кавитации, возникающей по причине возникновения ультразвуковых колебаний от различных элементов конструкции, что снижает вероятность образования пор, снижает активность протекания коррозионных процессов;
- повышение теплоотдачи с окружающей расплавленный металл твердой поверхности, что

несколько увеличивает скорость охлаждения (рисунок 2).

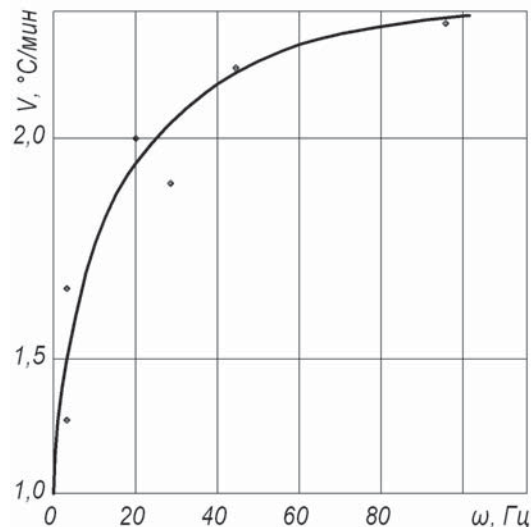


Рисунок 2. Зависимость скорости охлаждения расплава от частоты упругих колебаний (для слитка сала и амплитуды 1мм) [12]

В работах [4, 7, 12] установлено, что для крупных отливок эти условия обеспечиваются при частоте вибрации 50..60 Гц с амплитудой 10 мм. Однако для расплавленных объемов меньшего размера, таких как сварочная ванна, оптимальная частота для обработки в расплавленном состоянии по различным данным находится в диапазоне от 50 до 300 Гц [2, 3].

Многочисленные исследования формирования кристаллических структур, показали, что применение вибрации затвердевающих отливок и слитков сопровождается образованием на границе затвердевания огромного количества обломков ветвей дендритов и возникновением в расплаве множества центров кристаллизации. По существу, технология вибрационной обработки стали и сплавов это ничто иное как введение в расплав дополнительной энергии упругих волн, которая равна [4]:

$$dF_{\text{виб}} = 0,5 \omega^2 \cdot A^2 \cdot \rho \cdot dV, \quad (1)$$

где $\rho = dm/dV$ — плотность среды, m — масса частицы в объеме dV ; ω , A — частота и амплитуда упругих волн соответственно.

Из приведенной зависимости следует, что увеличению вибрационной энергии способствуют увеличение частоты и амплитуды вибрации, а также плотности среды.

Величина свободной энергии системы, подвергаемой вибрации, составит [4]:

$$\Delta F = F + F_{\text{виб}} - S(T_1 - T_2) - \sigma \cdot \alpha_{\sigma}, \quad (2)$$

где ΔF — свободная энергия системы; F — внутренняя энергия системы; S — энтропия системы;

T_1, T_2 — температуры жидкого и твердого состояний системы; σ — поверхностная энергия на границе фаз «кристалл-жидкость»; a_o — суммарная площадь поверхностей всех кристаллов (ветвей дендритов и пр.).

Из формулы (2) видно, что с увеличением мощности вводимых упругих колебаний происходит увеличение свободной энергии. Значение вибрационной энергии при формировании кристаллических структур заключается в том, что она расходуется на обламывание ветвей дендритов и создание в системе дополнительных центров кристаллизации. Выделение при этом объемов переохлажденного металла вокруг каждого из них и дальнейший их рост происходит за счет внутренней энергии системы.

В работах [4, 12] указывается, что вибрации могут приводить к измельчению кристаллического зерна по двум причинам. Первая – это формирование вибрационных потоков жидкости, что в свою очередь вызывает смывание кристаллических зародышей от фронта кристаллизации и разброс их по всему объему. В этом случае почти одновременно кристаллизуется весь объем, содержащий множество затравочных кристаллов с одновременным выравниванием температуры в объеме жидкости. Вторая – кавитационное разрушение кристаллического фронта при больших энергиях колебаний. Кавитация происходит на газовых пузырьках, которые выделяются на кристаллическом фронте вследствие того, что растворимость в твердой фазе ниже, чем в жидкой. Отброшенные кавитацией в расплав центры кристаллизации становятся затравками для формирования мелкозернистой структуры. Однако при этом получается рыхлая кристаллическая структура, т. к. воздушные полости замуровываются твердой фазой, формирующейся на затравках вблизи кристаллического фронта. Таким образом, при малых энергиях колебаний решающим оказывается перемешивание расплава и выравнивание температур [7, 8, 12].

В работе [6] Капустин Л. П. считает, что колебания способствуют интенсивному и равномерному переохлаждению расплава по всему объему, в результате чего происходит одновременно объемная кристаллизация. Этот эффект позволяет использовать сопутствующую вибрационную обработку, как метод снижения остаточных сварочных напряжений.

Проведенные нами исследования, прямым или косвенным образом подтверждают представленные выше гипотезы и факты о влиянии упругих колебаний на расплавленный и кристаллизующийся металл [5, 23]. Для этого нами была проведена серия опытов по оценке влияния параметров сопутствующего вибрационного воздействия на сварной шов в процессе сварки. В качестве материалов для исследова-

ния были выбраны наиболее распространенные в нефтегазовом и нефте-химическом машиностроении стали. Схема наложения упругих колебаний и режимы вибрационного воздействия представлены ниже.

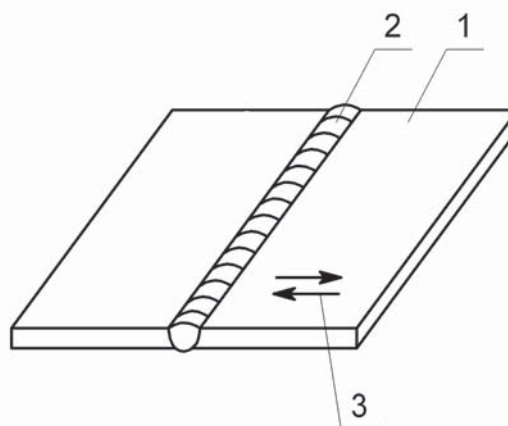


Рисунок 3. Схема сварки образцов: 1 – свариваемые пластины, 2 – сварочный шов, 3 – направления упругих колебаний

Таблица 1. Режимы вибрационного воздействия

№ опыта	Частота вибрации, Гц	Амплитуда, мм	Виброскорость, мм/с
1	0	0	0
2	50	0,8-1	3,1-4,1
3	100	0,8-1	6,2-8,3
4	150	0,8-1	12,5-16,7
5	200	0,8-1	17,1-20,9

Следуя представленной выше последовательности изложения, рассмотрим влияния упругих колебаний на расплавленный металл сварочной ванны. Указанный в работах [4, 7, 8] эффект по выводу растворенных в расплавленном металле газовых включений подтверждается данными по определению суммарной площади пор на радиографических снимках в стыковых сварных соединениях пластин из стали 09Г2С, выполненных сваркой под флюсом с сопутствующей вибрационной обработкой. Анализ радиографических снимков показал, что суммарная площадь проекций пор на участке длиной 50 мм и шириной 10 мм минимальна при частоте сопутствующего вибрационного воздействия 100 Гц. Следовательно, сопутствующая вибрационная обработка оказывает положительное влияние на дисперсность неметаллических включений, их количество и характер расположения в шве.

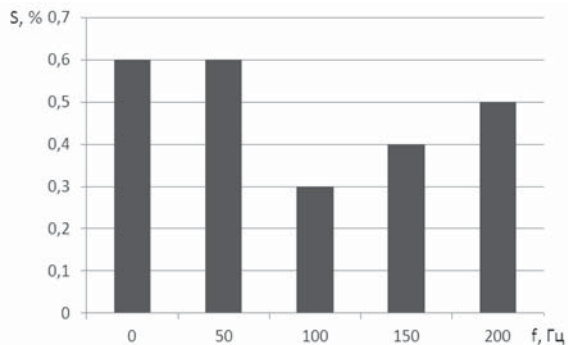


Рисунок 4 Диаграмма зависимости суммарной процентной площади проекций пор на участке сварного шва длиной 50 мм и шириной 10 мм

Увеличение скорости охлаждения кристаллизующегося металла сварного шва при наложении на него энергии упругих колебаний, косвенно подтверждается сравнением данных микроструктурного анализа сварных соединений стали, выполненных с применением вибрационной обработки и без неё проведенного в работе [11]. Как было показано выше, введение в сварочную ванну упругих колебаний, приводит к увеличению свободной энергии системы. При этом происходит снижение минимального размера зародыша при одновременном увеличении числа центров кристаллизации, что в свою очередь приводит к уменьшению среднего размера.

Результаты микроструктурного анализа металла сварного шва из стали ВСтЗсп в поперечном сечении при сварке представлены на рисунке 5.

Описанный в работе [6] эффект по увеличению интенсивности и выравниванию степени переохлаждения расплава по объему при наложении на него вибрационных колебаний, особенно актуален для сварочной ванны вследствие малого объема расплавленного металла и высокой скорости его охлаждения. Таким образом, как указывалось выше вибрационная обработка в процессе сварки способ-

ствует одновременной объёмной кристаллизации сварного шва, что положительно сказывается на уровне остаточных сварочных напряжений.

Оценка действующих, поверхностных микронапряжений производилась в работе [11] методом рентгеноструктурного анализа, на рентгеновском дифрактометре ДРОН – 4. Результаты дифрактометрических расчетов остаточных напряжений в исследуемых образцах из стали ВСтЗсп приведены на рисунке 6.

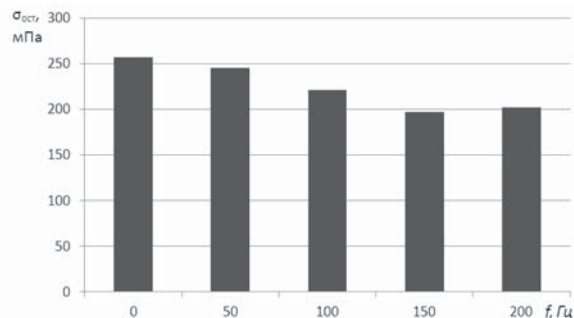


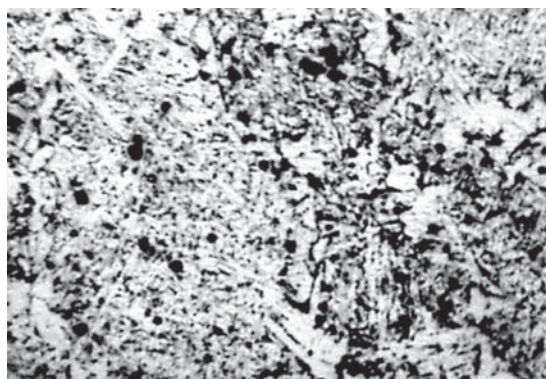
Рисунок 6. Результаты определения уровня остаточных напряжений

Из таблицы 2 видно, что эффективность снятия остаточных напряжений зависит от режима вибрационной обработки и максимальна при частоте вводимых колебаний 150 Гц.

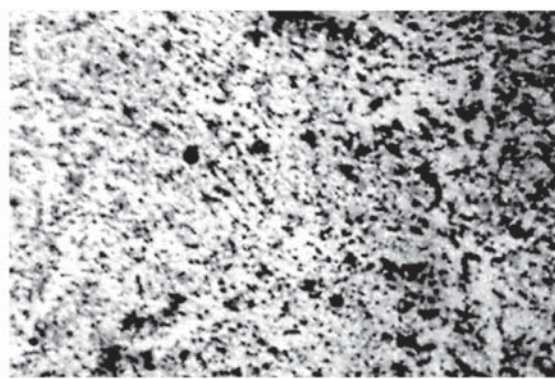
Таким образом, проведенные нами исследования позволяют сделать вывод об эффективности сопутствующей вибрационной обработки сварного шва и прямым или косвенным образом подтвердить гипотезы о механизмах воздействия упругих колебаний на расплавленный и кристаллизующийся металл сварочной ванны.

Выводы

Установлено, что введение в расплавленный металл энергии упругих колебаний приводит к уве-



а)



б)

Рисунок 5. а). микроструктура сварного шва (без вибрации), $\times 200$; б). микроструктура сварного шва (амплитуда вибрации $a = 0,6..0,8$ мм, частота 50Гц), $\times 200$

личению теплопроводности внутри жидкости за счёт перемешивания, перераспределение включений по объёму расплава, частичной дегазации, увеличению теплоотдачи с поверхности расплава, повышению текучести расплава.

При вводе в кристаллизующийся металл энергии упругих колебаний происходит измельчение структуры за счёт механического разрушения фронта кристаллизации, создание и перемещение новых центров, повышения теплопроводности расплава и как следствие увеличение скорости зарождения центров кристаллизации.

При этом сравнительно небольшой объём расплавленного металла сварочной ванны и высокая скорость охлаждения позволяют получить положи-

тельные эффекты характерные как для обработки расплавленного, так и кристаллизующегося металла.

К отрицательным факторам, появляющимся при чрезмерном превышении энергии упругих колебаний (амплитуда вибрации выше 1 мм), можно отнести появление трещин, выплесков, кристаллизацию с появлением различного рода поверхностных дефектов, пористости и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакши О.А., Зайнуллин Р.С. О снятии сварочных напряжений в сварных соединениях с механической неоднородностью приложением внешней нагрузки. // Сварочное производство. 1973. № 7. С. 10-11

2. Гаврилин И. В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов. Владим. гос. ун-т.-Владимир, 2000. 260с.

3. Голиков И. Н., Масленников С. Б. Дендритная ликвация в стали и сплавах. М.: Металлургия, 1977. 218 с.

4. Ефимов В. А., Эльдарханов А. С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. М.: Металлургия, 1995. 272 с. (11)

5. Зарипов М.З. Модернизация технологии изготовления сварных аппаратов из стали 12Х18Н10Т с применением вибрационной обработки: Дис. канд. техн. н. – Уфа, 2010. 132 с.

6. Капустин Л. П. //Известия АН СССР. Серия физическая. 1950. Т.14. С.357-365.

7. Кубенко В. Д., Кузьма В. М., Лунка Г. Н. Динамика сферических тел в жидкости при вибрации. Киев: Наукова думка, 1989. 152 с. (13)

8. Марков, А. И. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1980. 500с.

9. Рагульскис К.М., Стульпинас Б.Б., Толутис К.Н. Вибрационное старение. Л.: Машиностроение, 1987. 72 с.

10. Сагалевиц В. М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений, М.: Машиностроение, 1974-248 с.

11. Файрушин А.М. Совершенствование технологического процесса изготовления корпусов аппаратов с применением вибрационной обработки: Дис. канд. техн. н.. Уфа, 2003. 121 с.

12. Эльдарханов А. С. Процессы кристаллизации в поле упругих волн. М.: СП Интербук, 1996. 256 с.
А.М. Файрушин, к.т.н., доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ

*A.M. Fairushin, cand.tech.sci., associate professor of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU
e-mail: tna_ugntu@mail.ru*

*Д.В. Каретников, аспирант, кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ
D.V. Karetnikov, postgraduate student of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU
e-mail: DenisKar@yandex.ru*

*А.Н. Салмин, преподаватель кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ
A.N. Salmin, lecturer of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU
e-mail: salmin.andrey@gmail.com*

*Дж.А. Хаддад, аспирант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ
Dj.A. Haddad, postgraduate student of chair «Petroleum vessel manufacturing», USPTU
e-mail: jasim_2010@mail.ru*

ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОВАРНЫХ БЕНЗИНОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

665.7.0.038.5

THE COMMERCIAL GASOLINE BEHAVIOUR OF EXPLOITATION PROPERTIES
DURING STORAGE

**Осман Бурхан Абд Аль Мажид,
И.М. Колесников, Н.А. Сваровская**
ГОУ ВПО Российский
государственный университет нефти и
газа имени И.М. Губкина

**Osman Burkhan Abd Al' Mazhid,
I.M. Kolesnikov, N.A. Svarovskaya**
Gubkin Russian State University of Oil
and Gas

Приведены закономерности изменения основных эксплуатационных свойств октановых чисел товарного бензина в условиях его подземного хранения от трёх до пяти лет в регионах Сирийской Арабской Республики, с различными климатическими условиями. Показано снижение октановых чисел бензина со временем при подземном хранении. Дано обоснование накопления пероксидов углеводородов в бензинах при хранении, которые снижают период индукции. Рассмотрено влияние антиокислительных присадок на повышение периода индукции бензинов. Выявлены зависимости повышения октановых чисел товарного бензина по глубине отбора проб из подземных резервуарах.

This article shows mechanisms of a change in the basic service properties of octane of commercial gasoline during three to five years underground storage within three to five years period in the regions of the Syrian Arab Republic, with different climatic conditions. Shown reduction of octane with time, during gasoline underground storage. Validated the ac-cumulation of hydrocarbon peroxides in gasoline during storage, which reduces the in-duction period. Studied influence of antioxidant additives to increase the induction pe-riod of gasoline. Revealed growth tendencies of commercial gasoline octane numbers with increase of sampling depth.

Ключевые слова: бензин, подземные хранилища, резервуары, октановые числа, отбор проб, период индукции, антиокислительные присадки, зависимости, параметрические уравнения.

Ключевые слова: gasoline, underground storage tanks, octane numbers, sampling, the induction period, antioxidant additives, dependencies, parametric equations.

Товарные бензины в Сирийской Арабской Республике хранятся в течение пяти и более лет в подземных хранилищах пяти регионов Республики — южном, северном, западном, восточном и центральном. Товарные бензины (ТБ) хранятся под воздушной подушкой при температуре окружающей среды 29÷45 °С и влажности до 60 %.

При длительном хранении товарного бензина в подземных хранилищах в них протекают различные физико-химические процессы, к которым можно отнести и окислительное превращение углеводородов, наблюдаются изменения в химическом составе и, как следствие, изменяются физико-химические свойства [1], важнейшими из которых являются октановые числа, определённые по моторному методу (МОЧ). В САР подвергают хранению товарные бензины с октановыми числами от 76 пунктов по моторному методу ОЧМ до 90–92 пунктов по исследовательскому методу (ИОЧ).

В настоящей работе приведены результаты систематических исследований важного эксплуатационного свойства товарных бензинов – октановых чисел.

Исследования проводились на пробах, отобранных из четырёх подземных хранилищ, размещённых

в Северном регионе Сирийской Арабской Республики.

Результаты, отражающие снижение по МОЧ, за время их хранения в течение 4-х лет приведены на рисунке 1. Представленная зависимость (рисунок 1) описывает изменения октанового числа товарных бензинов от времени их хранения только для одного из подземных резервуаров Северного района САР. Такие же зависимости были получены и для бензинов, хранимых в подземных резервуарах других регионов. Из анализа полученной зависимости (рисунок 1) видно, что первоначальное октановое число товарного бензина с МОЧ, равное 83,8 пунктов, при хранении снижается со значительной скоростью в пределах первых 3-х лет. Затем скорость снижения уменьшается, и к концу 4-го года хранения МОЧ составляет 77,9 единиц.

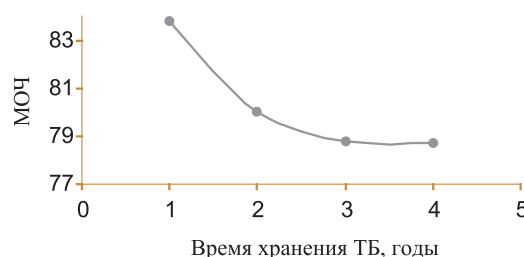


Рисунок 1. Зависимость МОЧ товарного бензина от времени его хранения для резервуара Северного региона

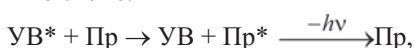
Причём, скорость можно рассчитать по производной, равной:

$$\frac{dOЧ}{dt} = W \quad (1)$$

Эта закономерность объясняется снижением содержания ароматических углеводородов в товарном бензине и накоплением в нём гидропероксидов углеводородов. В товарном бензине при их хранении накапливаются гидропероксиды углеводородов, которые в реакциях с углеводородами определяют образование олефинов, а сами понижают МОЧ бензинов.

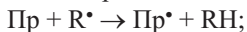
Окисление углеводородов проходит только после их предварительного возбуждения молекулами O_2^* , с переводом электронов с верхней заполненной π_{pp}^2 -, σ_{pp}^2 - или σ_{sp}^2 -ВМО на нижние вакантные π_{pp}^0 -, σ_{pp}^0 - или σ_{sp}^0 -НВМО у молекул УВ. Для ингибирования процесса окисления углеводородов кислородом воздуха к бензинам добавляют антиокислительные присадки, которые оказывают следующее влияние на процессы, протекающие в бензиновых фракциях (БФ) при их хранении:

- могут переводить возбуждённые молекулы углеводородов в основное состояние по схеме:



где: Пр – присадка, УВ* и Пр* – возбужденные молекулы УВ и Пр;

- обрывать цепной процесс, уводя на определённой стадии радикалы из процесса:



- разлагать возбуждённые молекулы гидропероксидов на спирты, альдегиды или кислоты;

- снижать скорости образования высокомолекулярных продуктов конденсации олефинов и альдегидов, ароматических УВ и других молекул;

- переводить триплетное состояние $O_2^{*\uparrow}$ в синглетное состояние $O_2^{*\uparrow}$ и, наоборот.

В качестве антиокислительных присадок применяют параоксидифениламин (ПОДФАМ), дифениламин (ДФА), присадки алкилфенольного типа (диалкил-парафенилдиамин) и другие. Эти присадки вводят в БФ в количестве 0,03÷0,05 масс. % или до 0,3 масс. % для бензинов крекинга.

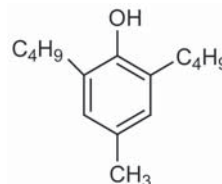
Присадки в ТБ значительно повышают период индукции, что задерживает накопление в них гидропероксидов углеводородов, смол и осадков. Период индукции – это отрезок времени при хранении товарного бензина под воздушной подушкой, в конце которого начинается интенсивное окисление углеводородов.

Период индукции для бензинов, находящихся в наземных резервуарах, но подлежащих эксплуатации, должен быть не менее 300 минут, а при хранении в подземных хранилищах не ниже 1000 минут.

Гарантированно такой бензин без изменения его качества может храниться более 3-х лет. При гарантийном хранении в течение 5 лет период индукции БФ должен составлять не менее 1200 минут.

При длительном хранении товарного бензина в подземных хранилищах, под воздушной подушкой, необходимо ежегодно, не менее двух раз, определять период индукции. При его снижении ниже допустимой нормы следует вводить в резервуар определённое количество антиоксиданта в растворённом в бензине виде.

В России в качестве антиокислительных присадок используют АГИДОЛ-1 и АГИДОЛ-12. АГИДОЛ-1 представляет собой дибутилпаракреозол (ионол). Он представляет собой белый кристаллический порошок, растворяющийся в жидких углеводородах. Более предпочтительно применяют в качестве антиокислителя АГИДОЛ-12 или 2,6-дитретбутил-4-метилфенол, формула которого приведена ниже:



Эти присадки используют в жидком состоянии в толуольном растворе.

Закономерности изменения периода индукции зависят от состава БФ, температуры окисления, наличия и концентрации антиокислительной присадки и её химического состава. Исходные БФ без присадки имеют период индукции в пределах 150÷250 минут. В присутствии антиокислительной присадки период индукции резко возрастает с повышением её концентрации, как показано на рисунке 2, причем зависимость периода индукции ($\tau_{инд}$) от концентрации парафиновых УВ ($C_{пр}$) изменяется по гиперболической кривой.

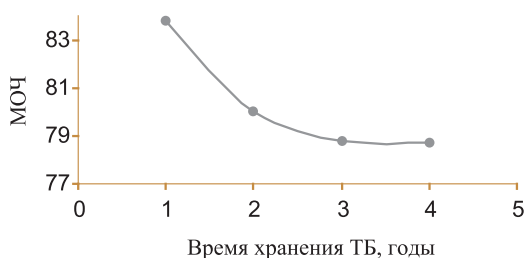


Рисунок 2. Зависимость периода индукции бензиновой фракции от концентрации антиокислительной присадки – 2,4-диметил-6-трет-бутилфенола

Из анализа приведённой зависимости (рисунок 2) следует, что в присутствии присадки происходит значительное ингибирующее действие её на процесс окисления углеводородов БФ. С ростом концентрации присадки непрерывно растёт период индукции

окисления углеводородов БФ. Эта зависимость может быть представлена функцией: $\tau_{инд} = \tau(C_{Пр})$.

Касательная к кривой (рисунок 2) имеет положительный угол наклона, поэтому производная от периода индукции по концентрации присадки будет больше нуля:

$$\frac{\partial \tau_{инд}}{\partial C_{Пр}} > 0. \quad (2)$$

В работе [2] было показано, что присадка действует как ингибитор окисления бензинов по бимолекулярной схеме, поэтому параметрическое уравнение можно представить в таком виде:

$$\frac{d\tau_{инд}}{dC_{Пр}} = k / C^2, \quad (3)$$

где, размещение концентрации присадки в знаменателе отражает торможение ею процесса окисления углеводородов БФ. После разделения переменных в уравнении (3) и получим выражение с разделенными переменными:

$$d\tau_{инд} = k \cdot C_{Пр}^{-2} dC_{Пр}. \quad (4)$$

Проинтегрировав уравнение (4) в пределах от τ_n до $\tau_{инд}$ и от C_n до $C_{Пр}$:

$$\int_{\tau_n}^{\tau} d\tau = k \int_{C_n}^C C^{-2} dC, \quad (5)$$

получим следующее параметрическое уравнение:

$$\tau_{инд} - \tau_n = k \left(\frac{1}{C_n} - \frac{1}{C_{Пр}} \right), \quad (6)$$

где τ_n , C_n – начальные значения параметров.

Уравнение (6) описывает кинетику повышений периода индукции для товарного бензина и описывает данные представленные на рисунке 2. Для подтверждения адекватности уравнения (6) опытной закономерности $\tau=\tau(C)$ строим вспомогательную таблицу данных (таблица 1).

Из анализа данных таблицы 1 следует, что уравнение (6) удовлетворительно отражает опытную зависимость $\tau=\tau(C)$. Отклонение от среднего значения $\bar{\tau}$ составляет:

$$\bar{\tau} = \frac{52 \cdot 100}{1189} = 4,3 \%$$

Таблица 1. Вспомогательная таблица данных для зависимости $\tau = \tau(C)$

Концентрация присадки, % масс.	Период индукции, мин	$\tau - \tau_n$	$\frac{1}{C_n}$	$\frac{1}{C}$	$\frac{1}{C_n} - \frac{1}{C}$	k	$k_{ср}$	$(\tau - \tau_n)$ расч.
0	200	0	–	–	–	–	–	–
0,18	620	420	–	–	–	–	–	–
0,33	1050	850	5,55	3,03	2,52	337	351	886
0,418	1240	1040		2,39	3,16	329		1109
0,55	1580	1380		1,95	3,73	373		1310
0,670	1690	1490		1,51	4,03	367		1421

В литературе описана присадка АПК [3-5], разработанная Абросимовым А.А., которая является многофункциональной, проявляя антиокислительные, моющие, антинагарные, антидетонационные свойства. Эту присадку применяют при длительном хранении бензинов и добавляю в бензины в количестве 0,1 % об. Она повышает МОЧ на 2÷6 единиц, не влияя на фракционный состав бензинов, положительно влияет на добавку к бензину МТБЭ и прямогонных фракций – до 5÷10 % об. Данные для этой присадки приведены в таблице 2.

Таблица 2. Зависимость периода индукции от концентрации и природы присадки

$C_{пр}$	$\frac{1}{C_n} - \frac{1}{C}$	t, мин	$\tau - \tau_0$	k_{τ}	$k_{ср}$
0	–	48	0	–	4,90
0,01	100	184	136	–	
0,02	100–50	276	228	4,56	
0,03	100–33	400	352	5,25	

Из анализа приведённых данных (таблица 2) следует, что уравнение (6) адекватно отражает действие присадки на период индукции бензина, причём константа k_{τ} отражает косвенно природу присадки. При хранении товарных бензинов необходимо следить за химическим составом ТБ в резервуарах и определять период его индукции перед загрузкой их в резервуар и во время хранения, согласно проведённых исследований в данной работе. Полезно для целей контроля свойств ТБ использовать приведённые кинетические и параметрические уравнения.

В работе также представлены результаты исследований величин октановых чисел в зависимости от глубины залегания бензинов в подземных хранилищах.

Распределение МОЧ в товарных бензинах для 2-х подземных хранилищ по глубине расположения слоя представлено на рисунке 3. Из анализа полученных зависимостей (рисунок 3) следует, что с углублением слоя бензинов в хранилище МОЧ товарного бензина повышается. Такую закономерность можно пояснить данными, полученными нами из анализа отобранных проб товарных бензинов по слоям для двух резервуаров Северного региона и приведённых в таблице 3.

Из анализа приведённых данных следует, что при переходе от верхнего слоя товарного бензина к нижнему уровню значения МОЧ возрастают на 2,8 и 1,0 пункта.

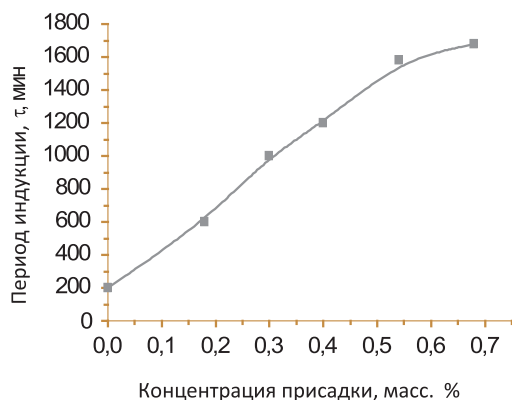


Рисунок 2. Изменение МОЧ товарного бензина от глубины залегания слоя от верхнего (1) к среднему (2) и нижнему (3)

Повышается содержание олефинов на 0,3 и 1,7 % масс. Можно отметить повышение содержания ароматических углеводородов в бензинах от верхнего слоя к нижнему, которое растёт на 0,7 и 4,6 % масс.

Такое увеличение содержания ароматических УВ при переходе от верхнего слоя товарного бензина к нижнему происходит под воздействием силы земного притяжения. Это связано с тем, что ароматические УВ проявляют более высокую кажущуюся молекулярную массу, вследствие их сольватации молекулами парафиновых УВ. Более сольватированные молекулы ароматических углеводородов распределяются в нижний слой бензина.

Повышение содержания олефинов в нижних слоях бензина в резервуарах связано с тем, что из воздушной смеси кислород растворяется в бензине с образованием гидропероксидов УВ. Гидропероксиды углеводородов распределяются диффузно по глубине товарного бензина и окисляют парафиновые УВ до олефинов и микрокапелек воды.

Подобные закономерности находят своё отражение в товарных бензинах, которые хранятся в южном, западном, восточном и центральном регионах [2].

Таблица 3. Свойства товарных бензинов в хранилищах Северного региона, отобранные по глубине залегания слоя

Наименование параметра, (содержание УВ, % масс.)	Значения параметров товарного бензина	
	Резервуар 1	Резервуар 2
Верхний слой хранилища		
Бензол	0,46	1,14
Толуол	2,4	3,6
Общая ароматика	31,2	18,8
Олефиновые УВ	5,1	3,7
Парафиновые УВ	63,7	77,5
МОЧ	76,5	70,9
ИОЧ	83,8	77,8
Средний слой хранилища		
Бензол	0,59	1,3
Толуол	2,8	4,7
Общая ароматика	31,8	24,7
Олефиновые УВ	5,7	4,7
Парафиновые УВ	64,8	71,6
МОЧ	76,8	71,4
ИОЧ	83,5	78,5
Нижний слой хранилища		
Бензол.	0,54	1,31
Толуол	2,3	4,3
Общая ароматика	31,9	23,9
Олефиновые УВ	5,4	5,4
Парафиновые УВ	63,6	65,09
МОЧ	76,5	71,9
ИОЧ	83,1	78,3

В заключении можно отметить, что с увеличением времени хранения товарного бензина МОЧ понижаются, а с повышением глубины расположения слоя бензина в подземном хранилище МОЧ увеличивается. Эти закономерности являются важными, так как на их основе можно разрабатывать методы повышения качества ТБ, после их отбора из подземных хранилищ.

ЛИТЕРАТУРА

Колесников С.И. Научные основы производства высокооктановых бензинов с присадками и каталитическими процессами. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2007. 540 с.

Осман Бурхан Абд Аль Мажид Физико-химические свойства бензинов, их эксплуатация и хранение в подземных хранилищах. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2008. 212 с.

Хранение нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие / Антипов В.Н., Бахмат Г.В., Васильев Г.Г. и др. М.: ФГУП Изд-во

«Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. 557 с.

Данилов А.М. Применение присадок в топливах. СПб.: Химиздат, 2010. 368 с.

Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем. М.: Химия, 2009. 608 с.

Осман Бурхан Абд Аль Мажид, к.х.н., докторант кафедры «Физическая и коллоидная химия», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Osman Burkhan Abd Al' Mazhid, cand.chem. sci., doctor's degree candidate of chair «Physical and colloidal chemistry», Gubkin RSU of Oil and Gas

И.М. Колесников, д.х.н., профессор кафедры «Физическая и коллоидная химия», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
I.M. Kolesnikov, dr.chem.sci., professor, of chair Physical and colloidal chemistry, Gubkin RSUy of Oil and Gas
e-mail: kolesnim@mail.ru

Н.А. Сваровская, д.т.н., профессор кафедры «Физическая и коллоидная химия», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
N.A. Svarovskaya, dr.tech.sci., professor, of chair «Physical and colloidal chemistry», Gubkin RSU of Oil and Gas
e-mail: na_sv2002@mail.ru

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С МОРФОЛОГИЕЙ ИХ УСТАЛОСТНЫХ ИЗЛОМОВ

УДК 620.178.
152.2+620.
181.4

INTERRELATION OF MECHANICAL BEHAVIOUR OF HETEROGENEOUS
WELDED JOINTS WITH MORPHOLOGY OF THEIR FATIGUE BREAKS

И.Р. Кузеев, Е.В. Пояркова,
Е.А. Наумкин

ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет
Орский гуманитарно-
технологический институт

I.R. Kuzeev, E.V. Poyarkova,
E.A. Naumkin

Ufa State Petroleum Technical
University
Orsk Humane and Technological
Institute

Исследованы закономерности усталостной долговечности разнородных сварных соединений в малоцикловой области. Показано, что совместная деформация разнородных металлов способствует реализации контактного упрочнения «мягких прослоек», величина которого зависит от степени механической неоднородности. Методом мультифрактальной параметризации установлена взаимосвязь морфологии изломов и механизма разрушения сварных соединений с их структурой и свойствами.

Laws of fatigue durability of heterogeneous welded joints in low-cycle areas are investigated. It is shown that joint deformation of heterogeneous metals promotes realization of contact hardening of "soft layers" which depends on degree of mechanical heterogeneity. The method multifractal parametrization establishes interrelation of morphology of breaks and the mechanism of destruction of welded joints with their structure and properties.

Ключевые слова: сварные соединения, усталостная долговечность, структурно-механическая неоднородность, фрактографический анализ, мультифрактальная параметризация.

Keywords: welded joints, fatigue durability, structurally-mechanical heterogeneity, fractographic analysis, multifractal parametrization.

Одной из основных проблем расчета долговечности сварных конструктивных элементов трубопроводных систем и оборудования нефтегазового комплекса является предотвращение преждевременных разрушений вследствие действия периодически повторяющихся нагрузок, вызывающих явление усталости металла. Статистические исследования показывают, что порядка 90% всех разрушений элементов конструкций в нефтегазовой промышленности и на транспорте углеводородного сырья происходит в результате действия повторно-переменных нагрузок механического (механическая усталость), температурного (термическая усталость) плана и действия агрессивной среды (коррозионная усталость).

Многие вопросы поведения конструктивных элементов низколегированных сталей повышенного класса прочности при циклическом нагружении остаются недостаточно изученными, так как на усталостное разрушение весьма часто оказывает влияние комплекс различных факторов, среди которых — фазовый состав и дефектная субструктура материала, частота, периодичность и амплитуда действующей нагрузки и т.д. Однако развитие науки и техники постоянно выдвигает новые требования к современным материалам, приводящие к расширению круга проблем, подлежащих немедленному исследованию.

Применение новейших структурных методов анализа (современной растровой электронной микроскопии изломов, мультифрактальной параметризации структур материалов) позволило значительно продвинуться в понимании природы усталостного разрушения металлов, однако многоплановость, многофакторность, разномасштабность данного явления вынуждает признать, что в настоящее время наука об усталости конструктивных материалов находится на стадии интенсивного накопления фактического материала, его осмысления и обобщения. Все вышесказанное и определяет актуальность данного исследования.

Особенности усталостной долговечности в малоцикловой области разнородных сварных соединений низколегированных сталей повышенного класса прочности

Значительная часть трубопроводных систем при эксплуатации подвергаются комплексному воздействию различных факторов, оговоренных ранее, что отрицательно сказывается на их надежности и тем более долговечности.

Для трубопроводов, транспортирующих углеводородное сырье, одной из причин разрушения является малоцикловая усталость, особенность которой связана с тем, что этот вид воздействия реализуется длительное время без макроскопической деформации и высоких скоростей распространения трещин.

Изучение усталостной долговечности разнородных сварных соединений в малоцикловой области выполнялось при циклическом упругопластическом нагружении. Для повышения достоверности получаемых результатов при исследовании использовались разнородные сварные образцы толщиной,

соотносимой с реальными размерами аппаратов. Образцы для испытаний на малоцикловую усталость изготавливались согласно ГОСТ 25502-79 сваренных электродуговой сваркой двух пластин листового проката из конструкционных низколегированных сталей повышенной прочности 09Г2ФБ (класс прочности К56) и 17Г1СУ (класс прочности К52). Направление вырезки образцов, вдоль проката, выбиралось из условий нагружения изделий и технологии получения материала.

Механические характеристики в характерных зонах сварных элементов при различных уровнях накопленных усталостных повреждений экспериментально получены на испытательной машине ИР 5113-100.

Тщательная диагностика состояния разнородных конструктивных соединений и распределения прочностных характеристик по всему сечению сварного шва у них была достигнута несколькими сериями испытаний на малоцикловую усталость.

Для определения количества разрушающих циклов от усталости проведена первая серия испытаний, в результате которой установлены среднеарифметические значения циклической прочности в размере 2500 циклов. Необходимо отметить, что все разрушения произошли в основном металле менее прочной стали, входящей в состав сварного соединения (сталь класса прочности К52 марки 17Г1СУ).

В последствие была проведена вторая серия циклических испытаний с целью изучения распределения механической прочности по сварному шву при разных уровнях накопленных повреждений ($0,2$, $0,4$, $0,6$, и $0,8 N_i/N_p$). В процессе накопления усталостных повреждений определены механические характеристики прочности в разных зонах сварного шва. Такими зонами являлись — зоны основных металлов (входящих в состав сварного соединения), центральная зона шва и зона термического влияния (ЗТВ) менее прочного металла.

Результаты циклических испытаний представлены в таблице 1, анализ данных которой позволил выявить изменение механической прочности по зонам разнородного сварного соединения.

Замечено, что на начальном этапе приобретения повреждений прочностные характеристики в зоне термического влияния и центре шва начинают значительно увеличиваться, что связано с циклическим упрочнением. Металл центральной части и ЗТВ сварного соединения со стороны стали 17Г1СУ приспособляется к новым условиям эксплуатации, тем самым происходит накопление или локализация «внутри себя» напряжений при воздействии внешних нагрузок.

Так как в процессе создания и эксплуатации конструктивных материалов дефекты кристаллической структуры возникают неизбежно как результат диссипации вносимой в материал энергии, то гра-

ницы зерен представляют собой не фиксированную, а постоянно изменяющуюся структурную составляющую, в которой происходят процессы постоянного накопления дефектов и перестройки дефектной структуры материала. Это осуществляется посредством структурных фазовых переходов второго рода. Барьер энергии активации фазовых переходов преодолевается при нагружении материала в процессе эксплуатации. Кинетика фазовых переходов из одного состояния в другое и определяет свойства границ и всего материала в целом [1].

При уровне накопленных повреждений, равном $0,4 N_i/N_p$ наблюдается провал механической прочности центральной части сварного соединения. Такое поведение исследуемого разнородного конструктивного элемента зависит от поверхностной энергии материала, которая при накоплении повреждений может изменяться достаточно хаотично. Однако, закон распределения механических характеристик по сварному шву в этой области в точности повторяет начальную стадию циклических испытаний. Возможно, это связано с бифуркационным переходом в состояние «однозначного соответствия» [2], характерного для ненагруженного материала. Рассматриваемые процессы накопления повреждений, которые сопровождаются упрочнением или разупрочнением материала в процессе накопления повреждений, оказываются не в полной мере характерными для области малых деформаций. В области поведения частично замкнутой системы «металл - нагружающее устройство» законы накопления повреждений и изменения механических характеристик имеют квантовую природу [3].

Процесс накопления повреждений в материале значительно интенсифицируется при увеличении числа циклов до 1500, а закон распределения механической прочности вновь изменяется и переходит в стадию упрочнения гетерогенной структуры сварного соединения.

Известно [4-6], что накопление повреждений при малоцикловом нагружении носит нелинейный характер, а суммирование повреждений не подчиняется принципу наложения.

При уровне $0,8 N_i/N_p$ процесс накопления повреждений в зоне предразрушения существенно усложняется, так как начинают сказываться процессы, связанные с образованием пластических шарниров [7]. Закон распределения механической прочности по шву претерпевает значительные изменения, ввиду того, что деградиационные процессы происходят теперь и в более прочном металле (09Г2ФБ) разнородного сварного соединения. Разупрочнение наблюдается по всей длине сварного шва, хотя околосварная зона у стали 17Г1СУ вновь испытывает хаотичное повышение в прочностном выражении.

Параллельно с изучением характера распределения механической прочности по зонам разнородного

сварного соединения при малоцикловом нагружении, определены законы изменения механических характеристик в зависимости от уровня накопленных повреждений. Характерной особенностью этих изменений является увеличение прочностных свойств обоих металлов, входящих в состав разнородного соединения до уровня накопленных повреждений $0,4N_i/N_p$, далее материал претерпевает разупрочнение.

Замечено, что уровень упрочняемости основного металла, определяемый как $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ также имеет тенденцию к изменению. При исходном уровне упрочняемости обоих металлов, равном 0,8, у наименее прочного материала сварного соединения (сталь марки 17Г1СУ) эта характеристика постоянно деградирует и к моменту разрушения становится равной 0,73. Тогда как второй металл изменяет эту величину в обратном направлении и к числу циклов порядка 2000 становится равным 0,87.

Особого интереса заслуживает механическое поведение гетерогенного состояния металла шва. По мере накопления повреждений, приобретенных во время циклических испытаний, механические характеристики прочности значительно возрастают по сравнению с исходными параметрами этих величин. Т.е. исходная «мягкая прослойка» сварного шва получает упрочняющий эффект от внешнего воздействия, но только до уровня накопленных повреждений, равном $0,2N_i/N_p$. Затем наблюдается тенденция к уменьшению прочностных свойств в критической области $0,4N_i/N_p$. Далее вновь происходит изменение механических характеристик металла шва, что скорее всего связано с эффектом памяти металлов.

Уровень упрочняемости металла шва постоянно изменяется подобно поведению этой характеристики у менее прочного металла, но значительно интенсивнее (в исходном состоянии — 0,93, а к моменту разрушения — 0,72).

Наиболее спокойно к накоплению повреждений относится такая механическая характеристика металла центральной части шва как условный предел текучести, которая в некотором роде даже усредняет значения этой величины у основных металлов. Напротив, временное сопротивление кардинальным образом отличается от поведения этой механической характеристики обоих материалов, входящих в состав сварного соединения.

Согласно вышеизложенному, заключаем, что совместная деформация разнородных металлов способствует реализации контактного упрочнения «мягких прослоек», величина которого зависит от степени механической неоднородности. Чем больше степень неоднородности, тем выше эффект контактного упрочнения мягких прослоек.

Мультифрактальный анализ поверхностей разрушения различных зон разнородного сварного соединения при накоплении повреждений

Исследования деградации структуры поверхности изломов сварного соединения в процессе накопления усталостных повреждений проводились методом мультифрактальной параметризации (МФП).

По методике [8, 9] была проведена количественная оценка информации изображений поверхностей разрушения в различных зонах разнородного сварного соединения. При разных уровнях накопленных повреждений были получены изломы образцов в отдельных участках, которыми являлись - области основных металлов, входящих в состав соединения, зона термического влияния менее прочного металла и область металла центральной части шва.

Поверхность излома была предварительно разделена на дополнительные зоны, которым соответственно присвоена своя нумерация (см. рисунок 1). Особого внимания заслуживают:

- точка ●5, соответствующая центральной части излома;
- точка ●2 – приповерхностной зоне плоскости сварного образца;
- точка ●4 - приповерхностной зоне, траектория которой, соответствует поперечному направлению проката металла или долевого направлению сварного шва.

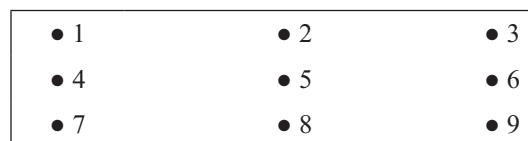


Рисунок 1. Нумерация зон исследования поверхностей изломов

Изображения изломов получены на электронном низковакуумном сканирующем микроанализаторе JEOL JSM – 6460 LV (фирмы OXFORD Instruments) при ускоряющем напряжении 25 кВ (Лаборатория электронной микроскопии ЮУрГУ, г. Челябинск) в каждой точке поверхности при увеличениях $\times 1000$, $\times 2500$, $\times 5000$. Все снимки выполнялись в режиме поглощенных электронов, так как они дают наибольшую разрешающую способность. При фотографировании и измерении структурных параметров для минимизации искажений перед съемкой проводилась юстировка по контрольным замерам на тест-объекте; также при съемке выдерживалась постоянная высота исследуемой поверхности над предметным столиком микроскопа и постоянный угол наклона относительно электронного зонда. Далее проводилась оцифровка исходного изображения и перевод его в черно-белый графический файл формата BMP.



Расчет мультифрактальных характеристик осуществлялся с помощью программы MFRDrom, разработанной профессором Г.В. Встовским в ИМЕТ имени А.А. Байкова РАН по методу МФП, в основании которой лежит количественное описание конфигурации исследуемых структур в целом в рамках системного подхода, основанное на теории фракталов Б.Б. Мандельброта. Анализ проводился по «черной» составляющей изображений при 100% охвате. Всего было обработано порядка 650 микрофрактографий поверхностей разрушения.

Фрактальная симметрия характера разрушения относительно центра сварного шва по отношению к группе мультифрактальных преобразований теоретически должна подчиняться условию псевдоспектров $D_0 \leq D_1 \leq D_2$. Согласно этому, трактовка степени однородности и упорядоченности (или, неравновесности) исследуемого объекта описывается правилом «чем меньше значение данных параметров, тем более упорядоченной и однородной является структура исследуемого объекта». В исследуемом нами объекте эта закономерность несколько искажается.

При анализе полученных данных, замечено, что в отсутствии циклических нагружений по всей длине сварного соединения отсутствуют расчетные МФ параметры в каноническом спектре. Однако при уровне накопленных повреждений $0,2 N_i/N_p$ их величины начинают проявлять себя только в областях, принадлежащим основным металлам, входящим в состав сварного соединения.

Дальнейшее циклирование до уровня, соответствующего критическому состоянию (в области от $0,3$ до $0,4N_i/N_p$), приводит к появлению значений мультифрактальных характеристик в спектре сапоп у же во всех зонах сварного соединения, при этом максимальную размерность Хаусдорфа – Безиковича (самоподобия) D_0 имеют точки поверхностей изломов, принадлежащих области околошовной зоны со стороны стали 17Г1СУ.

Изменение в поведении наблюдается при уровне накопленных повреждений $0,6Ni/Np$, относящееся к природе вычисления спектров. На этом этапе они проявляются лишь в областях основного (более прочного) металла и металла шва. Состояние сварного соединения, близкого к разрушению привело к полному отсутствию канонических спектров, т.е. появилась их инверсия в псевдоспектры мультифрактальных характеристик.

Наличие псевдоспектров можно рассматривать как собственное свойство носителя меры, связанное с нарушением его геометрической симметрии. Несмотря на отсутствие строгого теоретического обоснования, появление таких спектров является более или менее стабильным эффектом. Кроме того, в нашем исследовании, наблюдались структуры, позволяющие вычислять только псевдоспектры.

Параметры фрактальных размерностей (хаусдорфовой, корреляционной, информационной, а также обобщенной размерности Реньи), на протяжении всего эксперимента, не имели стойких статистически достоверных различий между образцами, не подверженных циклическим испытаниям и образцами, имеющими определенный уровень накопленных повреждений.

Наибольший интерес (в зависимости от уровня накопленных повреждений) представляет изменение такого МФ параметра, как степень однородности f_q . Чем больше значение f_q , тем более однородна структура.

Этот параметр в исходном состоянии в зонах основных металлов у сталей, входящих в состав сварного соединения, имеет разные значения, но к центру шва его величина усредняется.

При уровне накопленных повреждений $0,2N_i/N_p$ у степени однородности f_q выявляется характер ее изменения по всей длине сварного соединения, схожий с исходным состоянием исследованных образцов.

При уровнях от $0,4$ до $0,6N_i/N_p$ степень однородности кардинально изменяется (увеличивается) в околошовной зоне стали 17Г1СУ, тем самым меняя закон распределения этого параметра на противоположный начальному этапу циклирования.

Уровень накопленных повреждений $0,8Ni/Np$ вносит некий хаос в характер распределения степени однородности по сварному шву. Если во всех прежде рассмотренных случаях степень однородности в центре шва возрастала относительно более прочного металла, входящего в состав соединения (09Г2ФБ), то при данном уровне накопленных повреждений ее величина заметно снижается.

Необходимо также отметить, что степень однородности центра поверхности излома в основном металле (17Г1СУ) по отношению к приповерхностным зонам тоже имеет характерную особенность. До уровня накопленных повреждений $0,4N_i/N_p$ в центре сечения этот параметр обладает максимальной величиной, тогда как дальнейшее циклирование стремительно его уменьшает.

По долевого сечению сварного соединения все МФ параметры, при циклических нагружениях ведут себя априори идентично, т.е. в областях основных металлов и металла центра шва мультифрактальные характеристики изменяются по «инвариантному» закону. Однако, полученные из опыта данные об интенсивности изменений в металле зоны термовлияния со стороны стали марки 17Г1СУ существенно отличается от общей конструкции, ввиду структурных изменений и диффузионных процессов, происходившим в период сварки в этой области.

Другим параметром, количественно характеризующим структуру, является мультифрактальный

параметр скрытой периодичности структуры (упорядоченности) множества $\Delta_q = D_1 - D_q$. Импликативно, чем больше его значение (по модулю), тем более упорядочена структура [10]. Этот показатель отражает степень упорядоченности и нарушения симметрии для общей конфигурации исследуемой структуры в целом. Возрастание показывает, что система накачивается информацией и в ней возрастает степень нарушенной симметрии. Максимумы у обоих основных металлов и металла шва наблюдаются при уровне накопленных повреждений, равном $0,4N_f/N_p$. Происходит спонтанная смена направления в сторону снижения. Это означает, что вблизи этих максимумов «побеждает» структура, отвечающая за хрупкое разрушение материала сварного соединения. Материал сам выбирает наиболее энергоемкий механизм разрушения на разных этапах своей деградации. Во многих случаях излом является отражением реакции структуры материала на различные виды внешнего воздействия [11]. Поэтому закономерно, что параллельно структурным изменениям в металле наблюдаются изменения механизма разрушения.

Изломы, полученные при статическом растяжении разнородных сварных образцов с различной степенью накопления усталостных повреждений, были подвержены фрактографическому анализу, который показал различия структур изломов образцов как в зависимости от количества циклов, так и по их сечению. Это происходит ввиду того, что средняя (центральная) зона образца в меньшей мере подвергается изгибным напряжениям и увеличиваясь, достигает максимума в поверхностной зоне.

Микрофрактографический характер разрушения в результате малоциклового усталости при растяжении представлен на рисунке 2. Все фрактограммы соответствуют разрушению в центральной части шва разнородного сварного соединения.

При уровне накопленных повреждений $0,2N_f/N_p$ можно наблюдать усталостное разрушение в мелкозернистой части сварного шва.

Поверхность разрушения состоит из фасеток, каждая из

которых соответствует отдельному зерну, что позволяет таким образом оценить размер зерен. При дальнейшем циклировании ориентация и уровни отдельных фасеток изменяются от зерна к зерну. Небольшое наличие неметаллических включений приводит к локальному вязкому разрушению по механизму роста микропор. Направление распространения трещины в этом поле зрения выявляется вдоль сварного шва.

На фрактограмме приповерхностной зоны плоскости сварного образца при уровне накопленных повреждений $0,8N_f/N_p$ четко видны поры в точках сварки. Траектория усталостного разрушения проходит по этим порам.

Оценив поверхность разрушения центральной зоны при усталостном разрушении, заключаем что она (поверхность) содержит участки отрыва и усталостные бороздки. При этом в поверхностной зоне плоскости сварного образца на фрактограмме мелкими террасами усталостных бороздок можно наблюдать гребни отрыва.

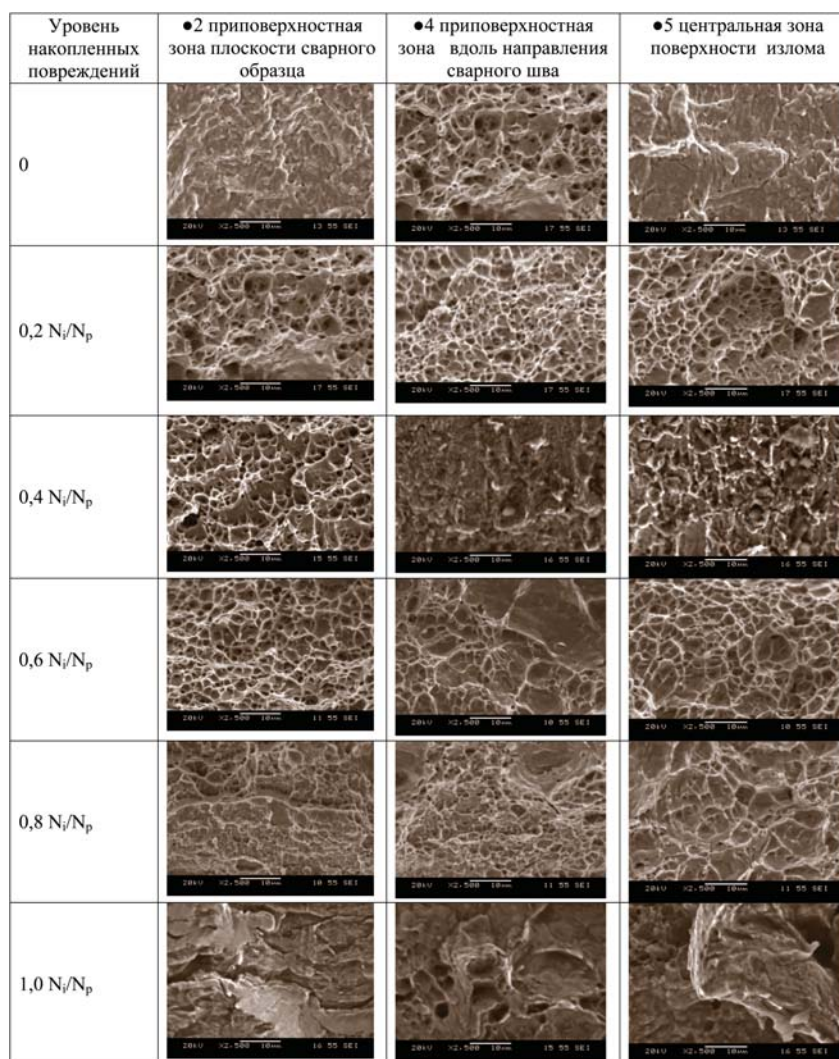


Рисунок 2. Микрофрактография металла шва разнородного сварного соединения, $\times 2500$

При пластической деформации происходит накопление дефектов кристаллической решетки, приводящее к увеличению прочностных характеристик. При определенной критической их концентрации происходит «сброс» дефектов на свободных поверхностях; при этом появляются либо усталостные бороздки, либо полосы сброса.

Сочетание усталостных бороздок и межзеренного разрушения присуще циклическому разрушению [12], но по сути своей является аналогом межзеренного разрушения в сочетании с отрывом или коалесценцией микропор.

Таким образом, на основании фрактографического анализа выявлена смена уровня деградации структуры изломов в условиях накопления повреждаемости, при которой ориентация и уровни отдельных фасеток изменяются от зерна к зерну. Траектория циклического разрушения происходит по механизму роста микропор с появлением террас усталостных бороздок.

Сопоставление фрактальных размерностей структуры циклических изломов сварных соединений их механическим свойствам

Рассмотренный выше метод определения фрактальных размерностей объектов сварных соединений весьма доступен, так как не требуют специальной аппаратуры и сложных расчетов. В значительной мере это связано с тем, что такой метод не опирается на свойства синергетических систем, связанных с самоорганизацией в точках бифуркаций диссипативных структур, обладающих фрактальностью. Их учет позволяет обосновать наличие связи между свойствами системы (например, в виде деформируемого материала) и фрактальной размерностью структур, определяющих переходы устойчивости \rightarrow неустойчивость \rightarrow устойчивость. Эта возможность определяется наличием взаимосвязи между параметрами, контролирующими критические точки (в данном случае бифуркаций).

Из литературных источников известно, что переход от стабильного роста трещины к неустойчивости контролируется тремя взаимосвязанными критериями:

- пределом текучести $\sigma_{0,2}$;
- объемной плотностью энергии деформации критического уровня W_c ;
- критической энергией на единицу длины трещины G_{Ic} или K_{Ic} .

Они образуют инвариантный комплекс, связанный с фрактальной размерностью структуры зоны предразрушения. Эта зависимость носит универсальный характер. Поэтому найденные ранее различными авторами коррелиции между фрактальной размерностью поверхности разрушения и отдельными механическими свойствами носят конкретный характер.

В связи с вышесказанным нами была сделана попытка дать обоснование и установить аналитические соотношения между фрактальной размерностью структур циклических изломов характерных зон разнородного сварного соединения и инвариантным комплексом механических свойств.

МФ-параметры структуры в каноническом спектре проявляли себя на протяжении всего жизненного цикла сварного соединения в основном только в областях, принадлежащих зонам менее прочного металла (сталь марки 17Г1СУ) и расположенной рядом с ней зоны термического влияния этого материала. Основным металлом более прочной стали (марки 09Г2ФБ) в этом спектре оставался пассивным, однако в критической области $0,4N_f/N_p$ значения МФП оказались отличными от нуля. Необходимо отметить, что количественные характеристики структуры были программно определены в основном при увеличениях 1000 крат. У металла шва напротив МФ-характеристики проявлялись от начала циклирования до уровня накопленных повреждений $0,4N_f/N_p$.

Давая оценку совместного сочетания микрофрактографического и фрактального анализов центральной области циклических изломов сварных соединений в псевдоспектре (pseudo) с различной кратностью масштаба изображений, были установлены следующие закономерности:

- размерность самоподобия D_0 при увеличении кратности изображений от 1000 до 5000 раз изменяется в сторону возрастания практически во всех зонах разнородного сварного соединения при накоплении повреждений;

- аналогичная тенденция к увеличению числовых значений информационной размерности D_1 во всех исследуемых зонах наблюдается также на протяжении всего жизненного цикла неразъемного соединения;

- корреляционная размерность D_2 проявляет себя противоположно-направленной размерности самоподобия D_0 и информационной размерности D_1 при изменении кратности увеличения от 1000^x до 5000^x ;

- МФП скрытой периодичности $\Delta_q = D_1 - D_q$ (в классическом представлении по абсолютной величине) и порог устойчивости D_q коррелируют между собой, поэтому их изменение при масштабировании фрактограмм выглядит совершенно идентично и количественные показатели при увеличении кратности снижаются.

В области критического состояния $0,4N_f/N_p$ при накоплении циклической повреждаемости металл центра шва сварного соединения не подчиняется общим закономерностям и его МФ-характеристики при увеличении кратности микрофрактографии несколько искажают общую картину выявленных обобщений.

Ранее установлено, что уровень упрочняемости обоих металлов, входящих в состав сварного соединения, до циклирования составлял одинаковую величину, равную 0,8.

Зона термического влияния менее прочной стали (марки 17Г1СУ) и металл шва имели уровень этой характеристики в интервале от 0,93 до $0,94\sigma_{0,2}/\sigma_B$, показывающий весьма высокие прочностные свойства в этих областях, что достаточно полно подтверждают данные, полученные дюрOMETрическим методом.

Накопление поврежденности повлекло значительные изменения относительной механической характеристики во всех зонах сварного соединения.

Характерной особенностью является то обстоятельство, что у менее прочного металла эта величина уменьшается почти на 10%, тогда как у второго металла, входящего в состав сварного соединения (более прочного) уровень упрочняемости возрастает также на величину, не превышающую 10%.

Результаты сопоставления изменения уровня упрочняемости сварного соединения с накоплением поврежденности и градиентных состояний мультифрактальных параметров структуры при масштабировании изображения представлены в таблице 2.

При детальном изучении характера изменения и градиента состояния размерности Хаусдорфа-Безиковича (самоподобия) установлено, что из всех исследованных областей разнородного сварного соединения особенную роль в разрушении при малоцикловом нагружении играет околосшовная зона менее прочного металла, входящего в состав соединения.

Резюмируя вышеизложенное, были сделаны некоторые обобщения:

1. Закономерности изменения механических характеристик и данные дюрOMETрического анализа металла различных зон разнородных сварных соединений позволили определить три области накопления усталостных повреждений:

- начального изменения механических свойств;
- хаотического их изменения (критическая область малоциклового нагруженности $0,3-0,4N_i/N_p$);
- возврата в исходную позицию (бифуркационный переход в состояние «однозначного соответствия»).

2. Уточнен механизм усталостного разрушения разнородных сварных соединений сталей и дана оценка смены уровня деградации их структуры в условиях накопления повреждений по результатам фрактографического и мультифрактального анализов.

3. Методом фрактальной параметризации установлена взаимосвязь между изменениями уровня упрочняемости сварного соединения при накоплении поврежденности и градиентных состояний параметров структуры при увеличении кратности изображения.

Таким образом, для разнородных сварных соединений экспериментально доказана информативность мультифрактальной параметризации при оценке процессов структурно-механических изменений, происходивших при накоплении повреждений в условиях усталостных нагружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Д.В., Мекалова Н.В., Закирничная М.М. Физическая природа разрушения: учеб. пособие под ред. И.Р.Кузеева. – 2-е изд., перераб., испр. и доп. Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. 395 с.

2. Шанявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Синергетика в авиации. Уфа: ООО «Монография», 2007. 500 с., ил.

3. Белл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых сред. Малые деформации. М.: Наука, 1984. Ч.1. 596 с.

4. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. Т.4. Киев: Наукова думка, 1990. 680 с.

5. Никитенко А.Ф. Ползучесть и длительная прочность металлических материалов. Новосибирск. Изд-во ин-та гидродинамики СО РАН и НГАСУ, 1997. 278 с.

6. Coffin L.F. and Schenectady N.Y. A Study of the effects of cyclic thermal stress on a ductile metal // Transactions of the ASME. 1954. V.76 № 6. P. 931-950.

7. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.

8. Иванова В.С., Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Пименов В.Н.. Фрактальная параметризация структур в радиационном материаловедении. Иванова В.С., Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Пименов В.Н. М.: «Интерконтакт Наука», 1999. 49 с.

9. Г.В. Встовский, А.Г. Колмаков, И.Ж. Бунин. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. Ижевск: Науч.-изд. центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 116 с.

10. Закирничная М.М., Авдеева Л.Г. Учебно-методические материалы к выполнению лабораторных работ по теме «Введение в мультифрактальную параметризацию структур». Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. 31 с.

11. Шанявский А.А. Синергетические аспекты фрактографического анализа эксплуатационных разрушений // Металлы. № 6. 1996. С. 83-92.

12. Фрактография и атлас фрактограмм / Справ. изд. пер. с англ./ под ред.

Дж. Феллоуза.- М.: Металлургия, 1982. – 489 с.

И.Р. Кузеев, д.т.н., профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ

I.R. Kuzeev, dr.tech.sci., professor, chief of chair «Technological machines and equipment», USPTU

Е.В. Пояркова, к.т.н., доцент кафедры «Материаловедение и технология металлов», ОГТИ филиал Оренбургского государственного университета

E.V.Poyarkova, cand.tech.sci., associate professor of chair «Materials technology and technology of metals» Orsk Humane and Technological Institute (Branch of Orenburg State University)

Е.А. Наумкин, к.т.н., доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ

*E.A. Naumkin, cand.tech.sci., associate professor of chair «Technological machines and equipment», USPTU
e-mail: ynaumkin@mail.ru*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И УДАЛЕНИЮ АСПО И МАТРИЦА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ОАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ»

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR THE PREVENTION AND REMOVAL ASPHALTIC RESINOUS PARAFFINE SEDIMENTS (ARPS) AND MATRIX OF THEIR APPLICATION IN THE FIELDS OF THE JSC GAZPROM NEFT

**Р.Р. Гумеров, М.Н. Рахимов,
В.В. Рагулин**
ГОУ ВПО Уфимский
государственный технический
университет

**R.R. Gumerov, M.N. Rahimov,
V.V. Ragulin**
Ufa State Petroleum Technical
University

Проведен анализ литературных данных и проводимых на ЮЛТ Приобском и Вынгапуровском месторождениях работ по предупреждению и удалению АСПО. Выявлены существующие проблемы при выполнении работ и проведена оценка их эффективности. Разработана матрица технологий борьбы с АСПО.

An analysis of published data and ongoing operations on the prevention and removal of asphalt-resinous paraffin sediments in Yuzhno-Priobskoe and Vyingapurovskoe oil fields. Identified problems at performance of works and assessed the their effectiveness. Designed matrix of control technologies for asphalt-resinous paraffin sediments.

Ключевые слова: АСПО, технология борьбы с АСПО, эффективность борьбы с АСПО.

Keywords: asphalt-resinous paraffin sediments, control technologies for asphalt-resinous paraffin sediments, effectiveness of control technologies for asphalt-resinous paraffin sediments.

В настоящее время существует большое разнообразие методов по борьбе с асфальтосмолопарафиновыми отложениями (АСПО). Эффективность того или иного метода зависит от типа отложений и месторасположения их выпадения. В работах [1, 2] рассмотрены, например, технологические и экономические аспекты применения технологий борьбы с АСПО в ОАО «Татнефть». Согласно расчёту затраты на борьбу с парафином с использованием различных методов в ОАО «Татнефть» снижаются в следующей последовательности: применение АДП (обработка горячей нефтью), ингибиторная защита, обработка нефтяным дистиллятом, электропрогрев, применение остеклованных НКТ, термохимическая обработка. Наименее затратными являются механические методы: пластинчатые скребки в вертикальных скважинах и скребки-центраторы.

Данные о затратах на проведение работ по борьбе с АСПО в НГДУ ОАО «Татнефть» в последние годы представлены в таблице 1.

Опыт работы НГДУ «Альметьевскнефть» показывает, что при соблюдении технологии работ от применения штанговых пластинчатых скребков и скребков-центраторов может быть достигнут техно-

логический эффект до 100 % и срок службы их при этом доходит до 5 лет.

Таблица 1. Сводная таблица затрат на проведение работ по борьбе с АСП

Наименование работ и затрат	Техно-логический эффект, %	Индекс сравнения затрат, (коэф.)	Объем внедрения в год, скв.
<u>Механические методы</u>			
Скребки штанговые, пластинчатые	до 100	0,4	216
Скребки-центраторы НГДУ	до 100	1,0	531
«Альметьевскнефть»	до 100	1,05	11
Скребки-центраторы НГДУ «Иркеннефть»	80	2,6	6
Защитные покрытия НКТ (БМЗ) DPS	80	5,8	62
Остеклованные НКТ			
<u>Химические методы</u>			
Применение термо-НДО	90	5,4	164
Применение СДО	50	6,5	671
Ингибиторная защита	50	8,0	0
<u>Тепловые методы</u>			
Применение электропрогрева	50	6,3	27
Применение АДП	25	11,6	6
<u>Физические методы</u>			
Применение депарафинизаторов	20	2,4	5

При использовании термохимических обработок нефтяными растворителями за счет их нагрева число обработок в сравнении с применением растворителей в обычных условиях сокращается в 1,5 раза.

Из тепловых и физических методов определенный интерес представляют использование электропрогрева и применение депарафинизаторов. Однако, из-за высокой стоимости и низкого технологического эффекта эти методы не нашли массового применения.

В настоящее время скребкование является основным методом борьбы с АСПО в скважинах на Вынгапуровском и Приобском ЮЛТ месторождениях. В месяц на осложненном АСПО фонде скважин проводится около 4600 и 3200 очисток, соответственно. Частота скребкования на данных месторождениях изменяется от 2-3 до 30 очисток в месяц, т.е. имеется фонд скважин, на которых очистки производятся ежедневно.

Анализ средней частоты очисток на осложненном фонде скважин месторождений в зависимости от дебита и от обводненности показывает, что:

- на Вынгапуровском месторождении на фонде скважин с дебитами до 10 м³/сут частота скребкования наибольшая и в среднем составляет 17,9 очисток/месяц. С увеличением дебита скважин до 50-60 м³/сут частота последовательно снижается до 5,6 очисток/месяц и далее почти не изменяется с ростом дебита;

- на Приобском ЮЛТ месторождении на скважинах с дебитами до 10, 10-20 и 20-30 м³/сут частота скребкования наибольшая и в среднем составляет 5,9; 5,5 и 6,2 очисток/месяц, соответственно. Затем с увеличением дебита скважин частота очисток последовательно снижается до 4,5 очисток/месяц;

- с ростом обводненности добываемой продукции частота скребкования на месторождениях убывает, т.е. рост обводненности снижает интенсивность выпадения АСПО. Отмечен рост частоты скребкования в скважинах Приобского ЮЛТ месторождения при обводненностях 50-70 %, что может быть связано с одновременным образованием в скважинах данного интервала обводненности стойких водо-нефтяных эмульсий, образование которых вместе с выпавшим АСПО снижает дебит скважин.

С учетом выявленных закономерностей сделан прогноз периодичности скребкования НКТ в зависимости от дебита и обводненности скважинной продукции на Вынгапуровском и ЮЛТ Приобском месторождениях, представленный в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Прогноз периодичности скребкования скважины Вынгапуровского месторождения (шт./месяц) в зависимости от дебита и обводненности

Обводненность, %	Дебит, м ³ /сут							
	10	20	30	40	50	60	70	80
20	15	13	11	9	8	6	5	4
40	13	11	9	8	6	5	4	3
60	10	9	8	6	5	4	4	3
80	9	7	6	5	4	4	3	2

Таблица 3. Прогноз периодичности скребкования скважины Южно-Приобского месторождения (шт./месяц) в зависимости от дебита и обводненности

Обводненность, %	Дебит, м ³ /сут							
	10	20	30	40	50	60	70	80
20	5	5	5	5	5	4	4	4
40	5	5	4	4	4	4	4	3
60	4	4	4	4	4	3	3	3
80	4	4	3	3	3	3	3	2

Наряду со скребкованием в скважинах добывающего фонда для удаления парафино-гидратных отложений используется их растепление нагревательными элементами ТЭНа. Данная технология применяется в скважинах, где твердость отложений не позволяет удалять их скребкованием. Например, за январь-июнь 2010 г. выполнено 63 обработки на 44 скважинах.

При проведении работ по удалению АСПО возникают сложности следующего характера:

- перегрев ТЭНа и его выход из строя;
- возможность обрыва проволоки, на которой подвешен скребок, вследствие физического износа, а также ее скручивание в результате подброса скребка. Основной причиной подбросов является резкое уменьшение натяжения проволоки после прохождения парафиновой пробки. При подбросе извлечение скребка из скважины становится невозможным, и проволока обрезается. Вследствие этого нарушается нормальный процесс добычи нефти и возникает необходимость проведения аварийных и ремонтно-восстановительных работ с привлечением бригад текущего ремонта скважин.

Необходимо отметить, что эффективность работ по скребкованию существенно выше, чем при применении технологии растепления АСПО и парафино-гидратных отложений ТЭНа. Средняя успешность растепления парафино-гидратных отложений нагревательными элементами не превышает 47-79 %.

Опыт борьбы с АСПО на месторождениях ОАО «Газпромнефть» и в других нефтедобывающих

предприятиях позволяет рекомендовать в качестве основных способов предотвращения асфальтеновых и смешанных отложений применение НКТ с защитными покрытиями и ингибиторов АСПО. Применение НКТ с защитным силикатно-эмалевым покрытием рекомендуется для скважин в широком диапазоне дебитов 50-200 м³/сут. Ингибиторы АСПО рекомендуются к использованию при дебитах не более 50 м³/сут [3]. В качестве эффективных способов удаления смешанных отложений рекомендуется скребкование для скважин в широком диапазоне дебитов 50-200 м³/сут с глубиной отложений до 1000 м. Растворители АСПО рекомендуются к использованию в качестве дополнительного средства борьбы с АСПО. Их применяют в тех случаях, когда вышеперечисленные технологии становятся малоэффективными и альтернативой является про-

ведение ПРС. Растворители АСПО рекомендуются для обработки лифта скважин 1 раз в 60 и более суток.

На основании проведенного анализа технологий по предупреждению и удалению АСПО нами разработана матрица технологий борьбы с АСПО на Вынгапуровском и Южно-Приобском месторождениях, представленная в таблице 4.

Таблица 4. Матрица технологий борьбы с АСПО

Способ	Условия добычи	Местоположение отложения	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4	5
АСПО и гидратопарафиновые отложения				
<i>Удаление отложений</i>				
Механическое удаление скребками, свабами	Нет ограничений по дебиту и обводненности	На всей протяженности лифтовых труб. Предпочтителен диапазон до 1000 м	Высокая эффективность, полнота очистки. Эффективность снижается в отложениях асфальтенового типа	Возможно залипание очистного устройства, вынос продуктов очистки в наземные коммуникации
Термические методы:				
1. Электронагрев	Нет ограничений по дебиту и обводненности	Маломощные отложения, не содержащие механических примесей	Эффективность определяется длиной отложений. Эффективность снижается в отложениях асфальтенового типа	Высокие эксплуатационные затраты
2. Циркуляция горячей нефти, воды	Нет ограничений по дебиту и обводненности	Динамический уровень > 800 м. Глубина отложения не более 400-600 м от устья	Эффективность определяется интервалом и длиной отложений. Эффективность снижается в отложениях асфальтенового типа	Непроизводительные потери тепла в грунт при проведении промывки по кольцевой схеме
Химические методы:				
1. Экзотермические реакции	Нет ограничений по дебиту и обводненности	Отложения в ПЗП	Высокая эффективность	Высокая трудоемкость и стоимость реагентов, квалифицированный персонал
2. Растворители	Нет ограничений по дебиту и обводненности	На всей протяженности лифтовых труб и в ПЗП	Простота технологии	Зависимость эффективности от времени растворения. Высокая стоимость реагентов

Таблица 4. Матрица технологий борьбы с АСПО (продолжение)

1	2	3	4	5
<i>Профилактика отложений</i>				
Применение центраторов	Нет ограничений по дебиту и обводненности. Скважины с ШГН	На всей протяженности лифтовых труб	Не требуется постоянного обслуживания. Эффективность снижается в отложениях асфальтенового типа	Низкая эффективность, трудность реализации в наклонных скважинах
Применение изоляции лифта скважины	Эффективность увеличивается с ростом дебита скважины	На всей протяженности лифтовых труб	Не требуется постоянного обслуживания. Эффективность снижается в отложениях асфальтенового типа	Повышенная сложность монтажа. Увеличение веса НКТ
Ингибирование	Применяется на обводненных скважинах. Предпочтительны скважины с дебитом до 50 м ³ /сут	На всей протяженности лифтовых труб	Гибкость технологии, возможность изменения дозировки и типа ингибитора	Высокие эксплуатационные затраты, требуется подбор регента для эффективности технологии
Покрытие труб	Предпочтительны скважины с дебитом более 50 м ³ /сут во всем диапазоне изменения обводненности. Отсутствие выноса абразивных материалов (пропанта, пластовой породы)	На всей протяженности лифтовых труб	Простота реализации	Сложности при монтажных работах
Магнитная обработка	Нет ограничений по дебиту и обводненности. Магнитная восприимчивость отложений	Глубина отложения не более 1500 м от устья	Простота реализации	Недостаточная эффективность

ЛИТЕРАТУРА

1. Ибрагимов Н.Г. Повышение эффективности добычи нефти на месторождениях Татарстана. М.: Недр, 2005. 316 с.

2. Лутфуллин Р.Р. Обзор методов борьбы с АСПО в скважинах при добыче нефти // Материалы конференции АО «Татнефть» по вопросам борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями при

добыче нефти. Альметьевск, 1999. С. 19–22.

3. Турукалов М.Б., Строганов В.М. Критерии подбора методов предотвращения и удаления асфальтеносмолопарафиновых отложений. Интервал, № 6. 2006. С.62.

Р.Р. Гумеров, аспирант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ

*R.R. Gumerov, postgraduate student of chair «Technology of oil and gas», USPTU
M.H. Rakhimov, d.t.n., профессор, заведующий кафедрой «Технология нефти и газа», УГНТУ*

*M.N. Rakhimov, dr.tech.sci., professor, of chair «Technology of oil and gas», USPTU
V.V. Ragulin, аспирант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ
V.V. Ragulin, postgraduate student of chair «Technology of oil and gas», USPTU*

ПУТИ УСТРАНЕНИЯ НЕДОСТАТКОВ ЗАЩИТЫ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЯХ

WAYS OF ELIMINATION OF LACKS OF PROTECTION OF THE MINIMUM VOLTAGE AT OIL PUMPING STATIONS

В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев, А.Р. Валишин, М.К. Плеханов
ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет,
ОАО «Уралсибнефтепровод»
ООО НПЦ «УралЭнергоРесурс»

**V.A. Shabanov, V.Yu. Alekseev,
A.R. Valishin, M.K. Plehanov**
Ufa State Petroleum Technical
University,
JSC «Uralsibnefteprovod»,
LLC Ural Energy Resource Scientific
Production Centre

В статье рассматриваются основные пути устранения недостатков защиты минимального напряжения (ЗМН) на нефтеперекачивающих станциях. Выполнен анализ предложенных мероприятий по повышению эффективности ЗМН на действующих нефтеперекачивающих станциях.

In article the basic ways of elimination of lacks of protection of the minimum voltage (PMV) at oil pumping stations are considered. The analysis of the offered actions for increase of efficiency PMV at operating petropumping over stations is made.

Ключевые слова: защита минимального напряжения, синхронный электродвигатель, нефтеперекачивающая станция, гашение поля, автоматическое включение резерва.

Keywords: protection of the minimum voltage, the synchronous electric motor, oil pumping station, field clearing, automatic inclusion of a reserve.

На подстанциях без мощных высоковольтных электродвигателей (ЭД) защита минимального напряжения (ЗМН) обычно выполняет две функции. Во-первых, она, в качестве защиты от потери питания, предназначена для отключения неотчетственных ЭД с целью обеспечения самозапуска ответственных. Именно так трактуется назначение ЗМН в ПУЭ (п.5.3.52) [1]. Во-вторых, ЗМН в качестве пускового органа может структурно входить в схему автоматического включения резерва (АВР). При этом ЗМН действует на отключение выключателя ввода секции шин, потерявшей питание. После отключения выключателя ввода срабатывает исполнительная часть АВР и включается секционный выключатель (СВ).

На НПЦ ЗМН выполняется двухступенчатой. Первая ступень защиты минимального напряжения (ЗМН-1) выполняет функции пускового органа АВР и действует на отключение выключателя ввода. Вторая ступень защиты (ЗМН-2) выполняет функции защиты от потери питания и действует на отключение ЭД. В статье рассматриваются недостатки ЗМН на нефтеперекачивающих станциях (НПС) и предлагаются технические решения, повышающие ее эффективность.

Первая ступень ЗМН-1 выполнена на трех реле напряжения KV1-KV3 и реле времени КТ1, а вторая – на реле KV1-KV4 и реле КТ2 (рисунок 1). Реле КТ1 с малой выдержкой времени действует через шинки EVM1 и выходное реле KL1 на отключение вводного выключателя потерявшей питание секции шин технологического ЗРУ-6(10) кВ. После отключения выключателя ввода размыкается его вспомогательный контакт KQC и цепь отключения разрывается. Реле КТ2 с большей выдержкой времени действует через шинки EVM2 и выходное реле KL2 на отключение ЭД магистральных и подпорных насосов, потерявших питание. Установка трех реле напряжения и подключение оперативных цепей защиты через вспомогательные контакты автоматического выключателя SF и контакты концевого выключателя тележки трансформатора напряжения SQ исключает излишнее срабатывание защиты при перегорании любого предохранителя на стороне 6(10) кВ, при неисправностях вторичных цепей и выкатывании тележки TV из ячейки КРУ. При коротком замыкании на шинах работа ЗМН-1 блокируется контактами МТЗ максимальной токовой защиты ввода [2]. Такая блокировка позволяет отличать потерю питания вследствие КЗ в сети НПЦ от КЗ в питающей сети. При этом ЗМН-1 не будет работать при КЗ на шинах, в ЭД или других отходящих фидерах технологического ЗРУ-6(10) кВ в зоне действия МТЗ ввода.

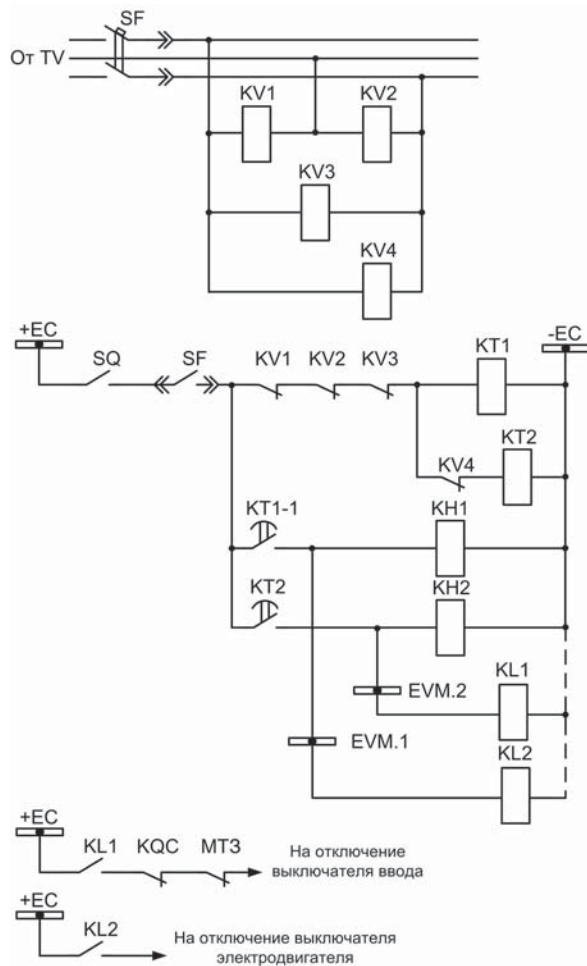


Рисунок 1.- Схема двухступенчатой ЗМН

Приведенная на рисунке 1 типовая схема ЗМН имеет ряд недостатков.

Первый недостаток: отсутствуют выходные цепи ЗМН-1 с действием на гашение поля синхронных двигателей СД. Этот недостаток относится к НПС с синхронным приводом магистральных насосов. При потере питания СД следует как можно быстрее включить гашение их магнитного поля. Однако на НПС включение гашения поля СД при срабатывании ЗМН-1 происходит от вспомогательных контактов выключателя ввода. Это приводит к замедлению гашения поля СД и как следствие, к замедлению пуска АВР СВ. В результате увеличивается время перерыва питания и время простоя технологического агрегата, что, в конечном счете, может привести к отключению МНА по давлению в нефтепроводе. Для устранения этого недостатка целесообразно при срабатывании ЗМН-1 включать гашение поля СД, не ожидая отключения выключателя ввода. Для этого достаточно включать гашение поля от мгновенных контактов реле времени КТ1 (контакт КТ1-2 на рисунке 2).

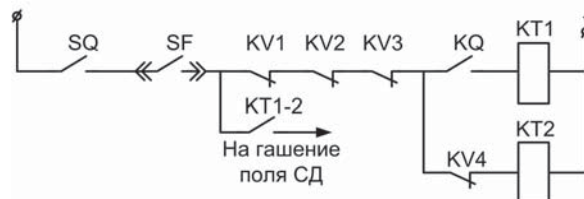


Рисунок 2. Цепи гашения поля и блокировки реле КТ1 от контактов выключателя КQ

Второй недостаток: при включении выключателя ввода, обесточенной секции шин, от ключа управления возможно ложное отключение выключателя ввода от ЗМН-1. Этот недостаток обусловлен тем, что при отключенном выключателе ввода вследствие отсутствия напряжения на шинах 6(10) кВ контакты всех реле напряжения, реле времени и контакты КЛ выходного промежуточного реле защиты будут замкнуты (рисунок 1). Это нежелательно, так как контакты КЛ включены последовательно с вспомогательными контактами выключателя ввода КQC. В результате при включении выключателя ввода он своими вспомогательными контактами готовит цепь своего отключения. При этом после включения выключателя ввода он может быть тут же отключен, так как сигнал на отключение выключателя ввода может пройти раньше, чем успеют сработать реле напряжения ЗМН и успеют вернуться в исходное состояние реле времени КТ-1 и выходное реле КЛ.

Для устранения этого недостатка возможны следующие решения.

1) Использовать схему однократности действия выходного промежуточного реле по аналогии со схемами однократности действия АВР.

2) Включить вспомогательный контакт КQ выключателя ввода в цепи реле времени ЗМН-1 для снятия оперативного напряжения с реле времени КТ1 при отключенном выключателе ввода (рисунок 3). Этот контакт полезен также для исключения пуска ЗМН-1 при исчезновении напряжения вследствие отключения выключателя ввода от ключа управления или от токовых защит. Включать вспомогательный контакт КQ выключателя ввода последовательно с контактами SQ и SF, как это делается в схемах защиты от потери питания по частоте [3], нельзя, так как в этом случае при отключении ввода будет снято оперативное питание и с реле времени ЗМН-2. В результате в случае отказа АВР не будет пуска технологического АВР.

3) Использование проскальзывающего контакта реле времени первой ступени вместо упорного (контакт КТ1-1 на рисунке 3 вместо контакта КТ1 на рисунке 1).

На действующих НПС при участии авторов реализовано третье решение. При срабатывании реле времени напряжение на выходное реле КЛ1 будет подаваться кратковременно. При использовании

такого решения: следует учитывать возможность отказа защиты из-за того, что времени замкнутого состояния проскальзывающего контакта реле КТ1-1 может не хватить для последовательного срабатывания реле КЛ1, контактора отключения выключателя и самого выключателя ввода. Однако практика эксплуатации показывает, что отказ ЗМН-1 маловероятен.

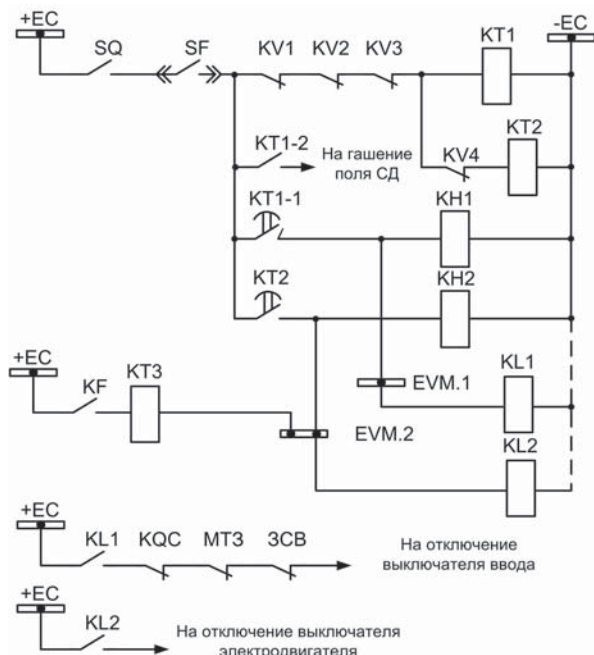


Рисунок 3. Схема ЗМН после изменений

Третий недостаток: при включенном СВ возможно неселективное отключение выключателя ввода при КЗ на резервируемой секции шин. При включенном СВ в случае КЗ на секции шин с отключенным выключателем ввода запускаются и ЗМН-1 и МТЗ СВ. Чтобы не гасить всю НПС, такое КЗ должно отключаться действием МТЗ СВ. Для обеспечения селективности МТЗ СВ должна сработать на отключение СВ раньше, чем ЗМН-1 подействует на отключение выключателя ввода. Это требование можно выполнить согласованием выдержек времени. Однако это приведет к увеличению времени срабатывания ЗМН-1 до 1,0 с. Блокировки ЗМН-1 от МТЗ ввода не достаточна, так как МТЗ ввода имеет больше ток срабатывания, чем МТЗ СВ. и всегда есть вероятность пуска МТЗ СВ без пуска МТЗ ввода. Поэтому следует дополнить схему ЗМН-1 блокировкой при пуске МТЗ СВ (контакт реле ЗСВ на рисунке 3) [5].

Если ЗМН-1 выполнять направленной, то этот недостаток устраняется, и блокировка не потребуется.

Четвертый недостаток. Вторая ступень защиты ЗМН-2 может подействовать на отключение ЭД рабочего насоса с недопустимо большим временем.

Обусловлен этот недостаток тем, что время срабатывания ЗМН-2 складывается из двух составляющих: времени T_{KV4} снижения остаточного напряжения на потерявшей питание секции шин до напряжения срабатывания реле КВ4 и уставки по времени T_2 реле КТ2. Уставка по времени T_2 на НПС принимается 5-7 с [2], а время снижения напряжения T_{KV4} может быть от 2-3 с до 6-8 и более секунд. Вторая ступень защиты ЗМН-2 предназначена для отключения ЭД рабочего насосного агрегата с целью запуска технологического АВР. Главное требование к ЗМН-2 - сохранение технологического режима перекачки при нарушении электроснабжения [2]. Для этого ЗМН-2 должна обеспечить срабатывание технологического АВР и пуск резервного насосного агрегата не позже, чем сработает защита трубопровода по максимальному давлению. Защита трубопровода по давлению действует на отключение насосных агрегатов с выдержкой времени 8-10 с. Поэтому для сохранения технологического режима время срабатывания ЗМН-2, равное сумме T_{KV4} и T_2 , не должно превышать 8-10 с. Однако, если время снижения напряжения T_{KV4} превысит 3-5 с, то время срабатывания ЗМН-2 может превысить выдержку времени защиты по давлению и может произойти отключение насосных агрегатов или даже всей НПС.

Для устранения рассмотренного недостатка достаточно выполнять пуск выходного реле КЛ2 защиты ЗМН-2 от реле частоты КФ через реле времени КТ3 (рисунок 3) [3]. Реле частоты срабатывает не позже чем через 0,7-1,0 с после потери питания [4]. При выдержке времени реле КТ3 порядка 5-6 с время пуска технологического АВР не превысит 6-7 с. Устанавливать дополнительное реле частоты не требуется, так как реле частоты КФ уже имеется на НПС в составе защиты от потери питания.

Выводы:

1. На НПС первая ступень защиты минимального напряжения (ЗМН-1) выполняет функции пускового органа АВР и действует на отключение выключателя ввода. Для снижения времени перерыва питания и времени простоя технологического агрегата целесообразно при срабатывании пусковых реле напряжения ЗМН-1 включать гашение поля СД, без выдержки времени, не ожидая отключения выключателя ввода.

2. Для исключения случаев ложного отключения выключателя ввода от ЗМН-1 целесообразно либо снимать оперативное напряжение с реле времени первой ступени ЗМН при отключенном выключателе ввода, либо использовать проскальзывающий контакт реле времени ЗМН-1 вместо конечного.

3. Для исключения случаев неселективного отключения всей НПС при питании по одному вводу следует выполнять блокировку первой ступени ЗМН при пуске МТЗ СВ.

4. Вторая ступень ЗМН-2 при длительных нарушениях электроснабжения действует на отключение ЭД рабочего насосного агрегата с последующим технологическим АВР и пуском ЭД резервного насо-

сного агрегата. Для сохранения технологического режима при длительных нарушениях электроснабжения целесообразно выполнять пуск выходного реле KL2 защиты ЗМН-2 от реле частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. 6 изд.-е. М.: Главгосэнергонадзор, 1998. 667 с.

2. РД-17.01-60.30.00-КТН-009-1-05. Регламент обеспечения устойчивой работы НПЦ ОАО АК «Транснефть» при отключении одного источника электроснабжения.

3 Шабанов В.А., Алексеев В.Ю. Устройство защиты от потери питания. Патент РФ на изобретение № 2342755 от 27.12.2008.

4. Беляев А.В. Противоаварийное управление в узлах нагрузки с синхронными электродвигателями

В.А.Шабанов, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятия», УГНТУ

V.A. Shabanov, cand.tech.sci., associate professor, chief of chair «Electrotechnique and electrical equipment of enterprises», USPTU

В.Ю. Алексеев, инженер кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятия», УГНТУ

V.Yu. Alekseev, engineer of chair Electrotechnique and electrical equipment of enterprises», USPTU

*А.Р. Валишин, заместитель главного энергетика ОАО «Уралсибнефтепровод»
A.R. Valishin, assistant of main power engineering specialist, JSC «Uralsibnefteprovod»*

М.К. Плеханов, инженер ООО НПЦ «УралЭнергоРесурс»

*M.K. Plekhanov, engineer, LLC Ural Energy Resource Scientific Production Centre
e-mail: plehanovMK@mail.ru*

ИННОВАЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

INNOVATION EDUCATION IN TECHNICAL UNIVERSITIES: THE PAST AND THE PRESENT

А.Д. Назыров, О.А. Баулин,
Д.А. Ахмедзянов, Р.М. Мазитов,
Е.А. Удалова

ГОУ ВПО Башкирский
государственный аграрный
университет,

ГОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет,

ГОУ ВПО Уфимский
государственный авиационный
технический университет

A.D. Nazyrov, O.A. Baulin,
D.A. Akhmetzyanov, R.M. Mazitov,
E.A. Udalova

Bashkir State Agrarian University,
Ufa State Petroleum Technical
University,
Ufa State Aviation Technical University

В статье на основе комплексного анализа деятельности ведущих технических вузов Республики Башкортостан даются конкретные примеры организации студенческой науки в неразрывной связи с учебным процессом. Значительное внимание уделено деятельности Студенческого научно-исследовательского института в Уфимском государственном нефтяном техническом университете и основным принципам функционально-целевой технологии подготовки специалистов, реализующейся в Уфимском государственном авиационном техническом университете.

The article, based on a comprehensive analysis of the leading technical universities of the Republic of Bashkortostan provide specific examples of student science organization in close connection with the educational process. Considerable attention is paid to the activities of the Student Research Institute in the Ufa State Petroleum Technological University, and the basic principles of functional target technology training, which is realized in the Ufa State Aviation Technical University.

Ключевые слова: научные исследования, молодые ученые, конференции, инновации в образовании, функционально-целевая технология подготовки студентов, студенческая академия.

Key words: research, young researchers, conferences, innovations in education, functional and targeted technology training students, the Student Academy.

Вопросы качества высшего образования, способности его улучшения и поддержки являются постоянным предметом для обсуждения в России и во всем мире. Проблема актуальна по той причине, что именно с уровнем подготовки выпускников высших учебных заведений (вузов) непосредственно связано социальное, экономическое и техническое развитие государств.

Рассматривая современную систему российского образования можно отметить одну характерную черту — образование находится в режиме постоянных реформ. Непрерывно меняются приказы, законы, правила и структура, причем реформирование продолжается уже много лет, а достигнуть желаемого уровня подготовки специалистов удастся не всем вузам. Но прежде чем проводить реформы или что-то менять, необходимо определиться с целью. На сегодняшний день определена цель современного российского высшего образования — подготовка

специалистов мирового уровня. Однако за этим понятием также кроется много непонятого. В таких случаях каждый человек понимает суть вопроса по-своему, базируясь на личном мировосприятии, опыте и представлениях. На первый взгляд «мировой уровень образования» подразумевает, что специалист с таким образованием может с легкостью устроиться на работу в компанию международного уровня и достичь определенного успеха в своей карьере. При этом рядовые специалисты в России, уехав за рубеж, зачастую устраиваются в крупные компании и успешно там трудятся. Это значит, что базовое инженерное образование в России в целом соответствует международному уровню. Однако выпускникам вузов для успешной реализации своих знаний и способностей в России базовой подготовки недостаточно. Многие из них получают второе высшее образование по экономическим и юридическим специальностям. Наличие второго высшего образования сегодня воспринимается как норма. Конечно же, в России в первую очередь должны думать о том, чтобы такие специалисты оставались в нашей стране, работали в российских компаниях и приносили пользу своей родине. Но все-таки — это не ответ об уровне образования, который должна обеспечить современная система российского образования.

В крупную международную компанию может быть принят только такой специалист, который сможет обеспечить процветание этой компании. Поэтому перед системой российского образования стоит сложная задача — организовать образовательный процесс таким образом, чтобы выпускник успешно смог реализовать себя на профессиональном поприще. Это значит, что необходимо сформировать четкое представление о совокупности таких знаний и умений, которые и формируют «мировой уровень образования».

В последние годы постепенно, медленно, но все-таки начинает складываться представление об уровне образования. Журналы и газеты пестрят заголовками об инновационном образовании, и статьями о необходимости такого образования. Но что же это такое? И какое оно — «инновационное образование»? И вновь ответа, лежащего на поверхности, найти на этот вопрос не возможно. В данной работе сделана попытка прояснить суть инновационного образования, возможность подготовки таких специалистов в российской высшей школе, а также будут предложены конкретные шаги по изменению подходов к подготовке специалистов, которые требуются для организации и обеспечения инновационного образования.

Сначала разберемся в понятиях и определим, что такое «инновации», «инновационная деятельность» и «инновационное образование». Проанализировав литературу по этому вопросу, можно обнаружить множество различных трактовок. Причем определение теоретиков и практиков отличаются между собой. По этой причине за основу было выбрано то понятие, которое рассматривается в российском законодательстве.

Согласно [1, 2] инновация — это нововведение, конечный результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, либо в новом подходе к социальным услугам. То есть инновация — это всегда новый взгляд и новый подход, это достижения науки, которые внедряются не только в космические технологии, но и в повседневную жизнь обычных людей. Однако данное определение «инновации» базируется на понятии «инновационной деятельности». Согласно [3] инновационная деятельность — это комплекс научных, технологических, организационных, финансовых и коммерческих мероприятий, направленный на коммерциализацию накопленных знаний, технологий и оборудования. Результатом инновационной деятельности являются новые или дополнительные товары/услуги или товары/услуги с новыми качествами.

В этом ключе возникает вопрос: «Что же может являться инновацией в системе высшего образования?» Ответ напрашивается сам собой на основе вышеприведенных понятий и определений. Инновация высшего образования — это новая технология образования, которая бы смогла обеспечить подготовку специалистов способных к самостоятельной исследовательской и инновационной деятельности. Или другими словами это «инновации для инноваций».

Вопрос инновационного образования на сегодняшний день невероятно актуален, о чем говорил в своем ежегодном Послании Президент Российской Федерации Д.А. Медведев [4]: «<...> Будет сформирована комфортная среда для осуществления в России исследований и разработок мирового уровня. В своё время французский ученый Луи Пастер очень точно заметил: «Наука должна быть самым возвышенным воплощением Отечества, ибо из всех народов первым будет всегда тот, кто опередит другие в области мысли и умственной деятельности». Прекрасные слова. В нашей стране всегда было много талантливых, открытых к прогрессу и способных создавать новое людей. Именно на них и держится инновационный мир и надо сделать всё, чтобы такие специалисты были заинтересованы работать в своей стране. <...>».

Таким образом, на сегодняшний момент наиболее значимая задача высшей школы — это подготовка дипломированных специалистов способных обеспечить успех любой фирмы и предприятия, на которых им предстоит работать. С другой стороны в современном мире успешной может быть только та компания, которая активно занимается инновационной деятельностью. А вести эту работу должны специалисты, обладающие набором специальных знаний и умений, а также определенных личностных качеств.

Рассуждая об инновационной составляющей современного российского образования, сначала определимся с перечнем знаний и умений, которыми должен обладать специалист, чтобы быть востребованным крупными и успешными предприятиями. При этом будем иметь в виду, что все передовые предприятия международного уровня ведут активную инновационную деятельность. В результате получим следующий перечень:

- во-первых, выпускник вуза должен быть специалистом в своей области;
- во-вторых, должен владеть необходимым набором знаний из области экономики и юриспруденции;
- в-третьих, владеть иностранным языком;
- в-четвертых, должен знать принципы проведения научно-исследовательских и опытно конструкторских работ (НИОКР);

- в-пятых, обладать знаниями основных принципов коммерциализации результатов НИОКР;
- в-шестых, умение принимать нестандартные решения или решать нестандартные задачи.

Личностные качества выпускника, такие как инициативность, ответственность и др. не вошли в этот список, так как являются свойствами характера и темперамента, хотя в рамках воспитательной работы, которая проводится в каждом вузе, могут быть развиты определенные организаторские способности и лидерские качества.

Немного поясним вышеприведенный список знаний и умений. В последнее время специалисты инновационной деятельности говорят о необходимости формирования у выпускников вузов не только определенных знаний и умений, но и особых «компетенций», которые бы позволили специалисту успешно реализоваться в реальном деле, при создании новой конкурентоспособной продукции [5]. И эти компетенции детализированы в вышеприведенном списке.

В современной ситуации в обществе накоплена значительная масса знаний и информации, но большинство этих знаний никак не проявляются в повседневной жизни человечества. Поэтому как никогда становится актуальным вопрос создания новой конкурентоспособной продукции и новых рынков за счет умелого управления своим интеллектуальным богатством [6]. Все современные инновации в технике и технологии формируются на междисциплинарной основе, как результат умелой комбинации знаний и умений из одной области деятельности в другую. При этом главной задачей инженера становится умение использовать знания «неожиданным образом» в практических целях, то есть решать нестандартные задачи. Но как этому научиться? Для начала предлагаем обратиться к накопленному опыту двух отраслевых вузов Республики Башкортостан: Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ) и Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ).

В 1970-80 гг. в Уфимском нефтяном институте (УНИ) под руководством профессора З. И. Сюняева внедрялась новая система обучения, основанная на усилении общетеоретической подготовки студентов на младших курсах и массовом вовлечении старшекурсников в самостоятельную научно-исследовательскую и проектную работу. Организационно эта система обучения на старших курсах была оформлена в Студенческий научно-исследовательский институт (СтудНИИ). По своей структуре он был схож с отраслевыми научно-исследовательскими институтами [7].

СтудНИИ функционировал на основе разработанного Устава, в котором отмечалось, что «целью

института является повышение качества подготовки выпускников путем создания условий для активного участия всех студентов старших курсов в самостоятельной научно-исследовательской и проектной работе как составной части учебного процесса».

Для внедрения системы СтудНИИ потребовалось выполнить следующие организационные мероприятия:

– создать в институте развитую научно-исследовательскую базу, способную обеспечить фронт исследовательских работ массовому потоку студентов;

– выявить резерв времени и внести соответствующие изменения в учебные планы для того, чтобы научно-исследовательская и проектная работа студентов стала неотъемлемой частью учебного процесса.

Работа студентов в СтудНИИ складывалась из двух этапов. На подготовительном этапе (I-IV курс) была усилена подготовка студентов по высшей математике, физике и химии за счет времени (около 400 часов), полученного благодаря переводу студентов младших курсов на 36 часовую учебную неделю. Кроме того, на III и IV курсах лабораторные практикумы заменялись исследовательскими работами.

На втором, завершающем этапе, все студенты 5 курса проводили самостоятельные научные исследования и проектные разработки. При этом темы научно-исследовательских и проектных студенческих работ являлись, как правило, составной частью госбюджетных или хозяйственных научно-исследовательских работ кафедр.

Непосредственные деловые контакты научных руководителей и студентов по признанию многих авторитетных специалистов, являлись наиболее эффективной формой индивидуальной учебной и воспитательной работы, позволявшей готовить инженеров с глубокими и прочными знаниями, широким научным кругозором.

Для проведения научно-исследовательских работ на втором этапе был установлен резерв времени в 550-600 часов. Нагрузка была найдена за счет сокращения обязательной производственной и преддипломной практики, перераспределения последовательности в изучении дисциплин и включения в исследовательский цикл таких видов занятий, как лабораторные работы на выпускном курсе по специализации и дипломное проектирование.

Результат объединения учебного процесса и научных исследований дал заметный педагогический эффект. Самостоятельная творческая работа студента из элемента желательного и дополнительного превратилась в обязательный компонент учебного процесса, запрограммированный учебным планом. Включившись в исследовательскую работу, студенты выказывали живой интерес к самому процессу исследования, ожидания его итогов и претво-

рения в жизнь. Эти стимулы оказались более сильными, чем обычная оценка деятельности студентов по балльной системе.

Отделы и лаборатории СтудНИИ поддерживали постоянную творческую связь с различными отраслевыми НИИ, академическими и учебными институтами, а также с промышленными предприятиями. Студенты выполняли часть своих исследований в таких институтах, как БашНИИ НП, НИИНефтехим, ВНИИХСЗР и др., на заводах г. Уфы, Стерлитамака, Салавата, Казани, Тольятти и др., на карьерах Курской магнитной аномалии, Соколовско-Сарбайского комбината, комбината «Якуталмаз» и др.

В середине 1970-х гг. в УГНТУ началась работа по созданию вузовского учебно-научно-производственного комплекса как высшей формы организации науки в вузе. В состав комплекса должны были входить все студенческие научно-исследовательские институты, научно-производственные объединения, инициативные группы, что позволило бы органично объединить все формы организации учебной и научно-исследовательской работы вуза. По замыслу ведущих научно-педагогических работников вуза эта система позволила бы создать своеобразный конвейер, когда исследователи передают законченную работу проектировщикам, те, в свою очередь – технологам, и так до внедрения в промышленность. Вся последовательность этих действий должна была реализовываться при непосредственном участии студентов и ученых вуза, а также работников производства на всех этапах. К тому времени отдельные звенья вузовского учебно-научно-производственного комплекса были уже проверены экспериментально и позволяли получать достаточно хорошие результаты в подготовке кадров высшей квалификации, в решении крупных межотраслевых проблем, сокращении сроков внедрения результатов научных работ в производство, а также тесной координации системы науки, производства и образования [8].

В 1975 г. в УНИ была завершена разработка программы по учебно-исследовательской работе студентов (УИРС). Эта программа начала планомерно реализовываться с начала 1975/76 учебного года и в короткие сроки показала важность развития учебно-исследовательской работы студентов как одной из наиболее эффективных форм организации их научного творчества, позволяющей систематически прививать студентам творческие умения и навыки [9].

Для воплощения в жизнь намеченных планов в УНИ были тщательно разработаны три направления [10]:

1) создана система методологической подготовки студента к проведению научно-исследовательской работы;

2) образованы научно-производственные объединения для создания в вузе развитой материальной и научно-исследовательской базы, способной обеспечить фронтом работ массовый поток студентов;

3) проведены работы по созданию модели формирования творческой активности студента на всех этапах обучения в вузе в соответствии с требованиями конкретного производства к будущему специалисту.

При решении задач первого направления был выделен резерв времени для введения УИРС в учебные планы отдельной строкой, составлены и обоснованы принципы дифференциации программы УИРС по курсам.

Во второе направление входило решение вопросов, касающихся изменения организационной структуры науки в институте, заключения договоров о творческом содружестве между вузом и предприятиями, создания инициативных групп на профилирующих кафедрах и научно-производственных объединений на факультетах, групп по внедрению результатов исследований в производство. В этом направлении УНИ продвинулся достаточно далеко. В основном инициативные группы были созданы на кафедре технологии нефти и газа. Производственные объединения Сиббаш и Мосбаш также действовали при этой кафедре.

Для осуществления третьего цикла работы было необходимо решить следующие вопросы [11]:

– изучение и анализ структуры и содержание учебного плана по каждой специальности; установление характера межпредметных связей;

– обоснование составления измененных учебных планов и рабочих графиков с учетом внедрения курсов УИРС;

– анализ содержания курсовых и дипломных работ, классификация лабораторных работ, практикумов с учетом разных уровней самостоятельности студента;

– внедрение элементов НИРС в существующие виды учебных занятий;

– изучение потребностей производства в инженерных кадрах высшей квалификации;

– совмещение творческой активности студента в вузе и специалиста на предприятии, и ряд других.

В 1980-е гг. особенно большой вес в НИРС приобрели работы по комплексной научно-технической программе «Реактив», в состав которой входило несколько подразделений: комплексная отраслевая научно-исследовательская лаборатория реактивов; экспериментально-опытный завод малотоннажных химических продуктов и реактивов «Уфареактив» и межвузовская научно-исследовательская лаборатория спектральных методов исследования. Действовавшая система, работавшая по схеме «от научных исследований до поставки реактива» как никакая другая позволяла студенту участвовать во



всех стадиях внедрения НИРС: подготовке методики (регламента); патентных исследованиях; производстве и непосредственном синтезе реактивов, часто являвшихся уникальными и ранее нигде в мире не полученными. Кроме того, при выполнении работ студенты имели возможность освоить современное аналитическое оборудование, которым были оснащены действовавшие лаборатории [12].

Система массового воспитания творчески мыслящих специалистов путем обязательного привлечения студентов к научно-исследовательской работе подразумевала подготовку молодежи не только с младших курсов, но уже со школьной скамьи. В этом направлении УНИ использовал как традиционные формы работы со школьниками (чтение открытых лекций, руководство кружками, проведение олимпиад), так и новаторские подходы в виде создания так называемого малого факультета и заочной физико-математической школы. Школьники привлекались и к работе в СтудНИИ, где они узнавали о достижениях науки по профильным специальностям вуза, о методике постановки и проведения научных исследований, приобретали навыки работы с научной литературой и т.д. В 1980-е гг. многие научно-педагогические работники УНИ отмечали, что для проведения более эффективной профориентационной работы со школьниками и привлечения молодежи к научно-исследовательской работе необходимо объединить усилия высших учебных заведений и средних школ в деле разработки перспективных планов трудового воспитания школьников, создать советы по профориентации, организовать регулярные лекции и семинары для учителей. На наш взгляд возможность реализации подобного подхода при работе со школьниками не потеряла своей актуальности и в настоящее время.

Система СтудНИИ способствовала скорейшему развитию у студентов умения и навыков выполнения научных исследований, постановке конкретных задач и поиска путей их решения, повышению творческой активности и расширению общего кругозора. Все это вело к успешному выполнению главной задачи, стоящей перед высшим учебным заведением — осуществить подготовку высококвалифицированных инженерных кадров. Можно смело утверждать, что проводимые в УНИ мероприятия по включению в учебный процесс значительной научной компоненты было инновацией для своего времени.

В настоящее время для активизации НИРС Совет молодых ученых УГНТУ приступает с 2011 г. к реализации комплекса мероприятий направленных на переход к новой технологии подготовки студентов, где будет использован имеющийся опыт и реализованы новые направления. Основные составляющие этой концепции ориентированы на организацию в вузе эффективной исследовательской деятельности,

пополнение лабораторий современным исследовательским оборудованием, проведение конференций, олимпиад, конкурсов и других мероприятий, способствующих развитию НИРС.

Основной целью предлагаемых мероприятий является переход к инновационному образованию, обеспечивающему целенаправленное формирование знаний, умений и методологической культуры, а также комплексную подготовку к инновационной инженерной деятельности. В частности, коллектив Совета молодых ученых УГНТУ предлагает создать в УГНТУ особую форму организации студентов — Студенческую академию, основным направлением деятельности которой будет привлечение студентов в период обучения к производственному труду в рамках научно-исследовательских работ кафедр, на малых наукоемких предприятиях университета, на предприятиях-стратегических партнерах университета, на предприятиях-заказчиках выпускников университета, получение рабочей профессии. Деятельность студенческой академии будет согласовываться с использующимися учебными планами и рабочими программами посредством введения в них обязательной научно-исследовательской части начиная с первого, максимум, второго курса. Успешная самореализация студентов в рамках академии будет способствовать повышению уровня теоретических и практических знаний по профилю подготовки, а также развитию лидерских и организаторских качеств.

Несколько иной подход в деле воспитания в студентах творческого начала был использован в УГАТУ. В этом вузе была разработана и внедрена в учебный процесс методика, названная функционально-целевой технологией подготовки специалистов (ФЦТПС), успешно реализующаяся и поныне [13]. Суть этой методики состоит в том, что в учебный план с первого семестра обучения вводится индивидуальная исследовательская работа, которая длится весь период обучения, с ежесеместровыми зачетами и регулярной работой с консультантом. Содержание (тема) индивидуальной исследовательской работы и научный руководитель выбирается студентом самостоятельно в первом семестре. Студентам предлагается ряд нестандартных задач, тематика которых находится в рамках научно-исследовательской деятельности кафедры, а также опытно-конструкторских работ по созданию перспективной техники. Решая порученную задачу, студенты изучают специальную литературу, статьи, монографии и диссертации по теме индивидуальной исследовательской работы. Необходимые пояснения и консультации они получают у научного руководителя, а также у студентов старших курсов, которые работают у того же консультанта. Результат решения научно-исследовательской задачи оформляется и защищается в конце четвертого курса в виде выпуск-

ной квалификационной работы (для бакалавров) или в виде отчета по научно-исследовательской практике (для студентов, обучающихся по специальности).

Исследования, проводимые студентами, в большей мере базируются на фундаментальных дисциплинах. При необходимости студенты изучают также специальную литературу. Основываясь на многолетнем опыте использования ФЦТПС можно утверждать, что наличие индивидуального задания мотивирует студентов к изучению дисциплин учебного плана. К тому же в учебный план введены дисциплины, знакомящие студентов с методами и приемами научно-технического творчества, например «Основы инженерного проектирования» (дисциплина читается с первого семестра). Кроме того, в процесс индивидуальной исследовательской работы студенты самостоятельно знакомятся с основами научного метода, планирования и проведения экспериментов, математическими методами обработки результатов экспериментов.

Индивидуально-исследовательская работа студентов проводится на базе учебно-научных лабораторий и студенческих конструкторских бюро, которые возглавляют преподаватели выпускающей кафедры. Таким образом, постепенно, от семестра к семестру, происходит прививание студентам основных навыков научного творчества.

Научно-исследовательская работа студентов – это комплекс мероприятий учебного, научного, методического и организационного характера, обеспечивающих обязательное сквозное обучение всех студентов навыкам научных исследований применительно к избранной специальности в рамках учебного процесса и вне его. Функционирование системы НИРС служит формированию и развитию студентов, как творческих личностей, способных обосновано и эффективно, решать возникающие перед ними задачи.

В российской системе высшего образования существуют определенная структура вовлечения и стимулирования проведения научно-исследовательских работ студентами. Система поддержки НИРС осуществляется, прежде всего, Советами по НИРС, которые функционируют обычно при университетах. Эффективность таких подразделений зависит в основном от степени их активности. Совет по НИРС существует и при УГАТУ. На рисунке 1 приведена страница Совета по НИРС сайта УГАТУ.

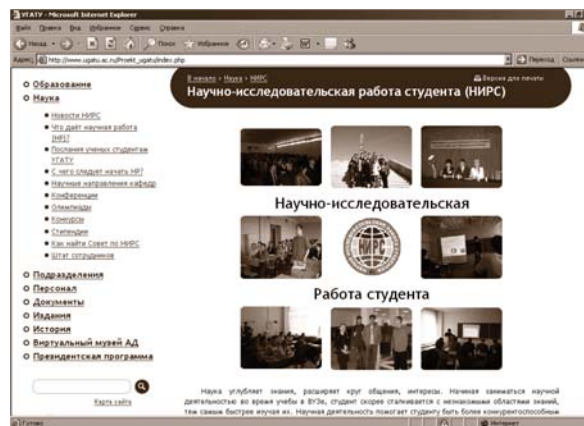


Рисунок 1. Раздел НИРС на официальном сайте УГАТУ

Значение деятельности Совета по НИРС в общей структуре подготовки специалистов занимает важное место по нескольким причинам: Совет по НИРС предоставляет студентам возможность получения дополнительной информации и знаний в области новейших направлений фундаментальных и прикладных исследований; вооружает их разнообразными методами исследования; помогает системно, глубоко и разносторонне осмысливать современные социально-экономические явления и процессы; учит публично представлять результаты научных изысканий на конференциях и семинарах.

Все вышеперечисленные аспекты научной деятельности очень важны для молодого ученого. Но для того, чтобы Совет по НИРС эффективно функционировал необходимо, чтобы эта работа и само подразделение было вписано в общую структуру университета, например, так как это осуществляется в УГАТУ (рисунок 2). На каждом факультете университета есть ответственный за научную работу (зам. декана по науке), который в том числе курирует и организует НИРС на факультете. В университете есть Совет по НИРС и Председатель Совета по НИРС. Работу всей системы НИРС курирует проректор по инновационной работе и научной деятельности.



Рисунок 2. Организационная структура НИРС в УГАТУ

Можно выделить основные направления деятельности НИРС:

Во-первых, это научно-исследовательская работа, встроенная в учебный процесс, основной задачей которой является активизация процесса обучения по принципу – чем выше ступень, тем больше самостоятельной работы. Содержание данного вида научной работы – изучение литературы, подготовка рефератов, докладов, курсовых работ и проектов.

Во-вторых, это научные исследования, дополняющие учебный процесс. Здесь основной задачей является выход за рамки программы обучения, индивидуализация процесса обучения, создание условий для обеспечения непрерывности обучения в магистратуре или аспирантуре, участие в олимпиадах, конкурсах, научных конференциях, семинарах. Основная задача – научная профессионализация студентов под руководством высококвалифицированных преподавателей и научных сотрудников, т.е. специализация, подготовка к конкретной области научной деятельности, выбор научного руководства. Содержание работы на этом этапе – участие в плановых научных исследованиях, выполняемых по госбюджетным и хозяйственным договорам, грантам и федеральным программам.

В УГАТУ при поддержке Совета по НИРС проводятся многочисленные конференции, в том числе международного и всероссийского уровня.

Например, ежегодно, начиная с 2007 года, в УГАТУ проводится Всероссийская научно-техническая конференция (НТК) «Мавлютовские чтения» (рисунок 3). За столь небольшой срок своего существования эта конференция превратилась в масштабное мероприятие, которое охватывает все направления и специальности профессионального обучения и научной деятельности университета. Она проводится с целью приобщения студентов к научной и инновационной деятельности на ранних стадиях обучения. Конференция имеет достаточно широкое представительство участников из многих вузов России, и с каждым годом оно расширяется. Свое название эта конференция получила в честь одного из самых выдающихся выпускников УГАТУ, ректора нашего вуза с 1961 по 1992 годы, чл.-корреспондента РАН Рыфата Рахматулловича Мавлютова.



Рисунок 3. Раздел Всероссийской НТК «Мавлютовские чтения» на официальном сайте университета (www.ugatu.ac.ru)

В рамках конференции «Мавлютовские чтения» проходит участие в программе Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.») (рисунок 4), целью которой является выявление молодых учёных, стремящихся самореализоваться через инновационную деятельность, и стимулирование массового участия молодежи в научно-технической и инновационной сфере путем организационной и финансовой поддержки инновационных проектов. Фонд финансирует выполнение проектов НИОКР участников программы.

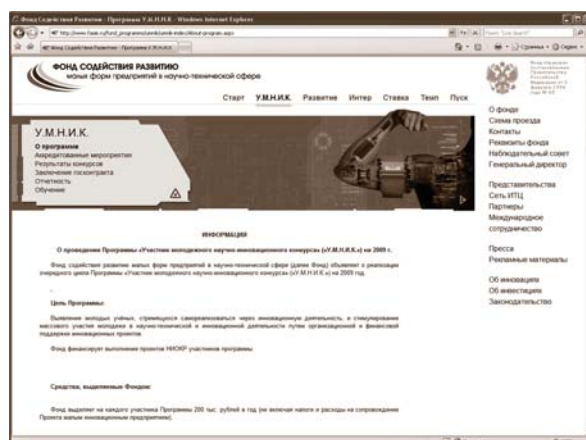


Рисунок 4. Сайт Фонда Содействия Развитию (http://www.fasie.ru/fund_programms/umnik/umnik-index/About-program.aspx)

Фонд выделяет на каждого участника Программы 200 тыс. рублей в год (не включая налоги и расходы на сопровождение проекта малым инновационным предприятием). Сроки проведения программы «У.М.Н.И.К.» — 2 года. Решение о продолжении участия (переходе на второй год) принимается по результатам работы участника программы в течение

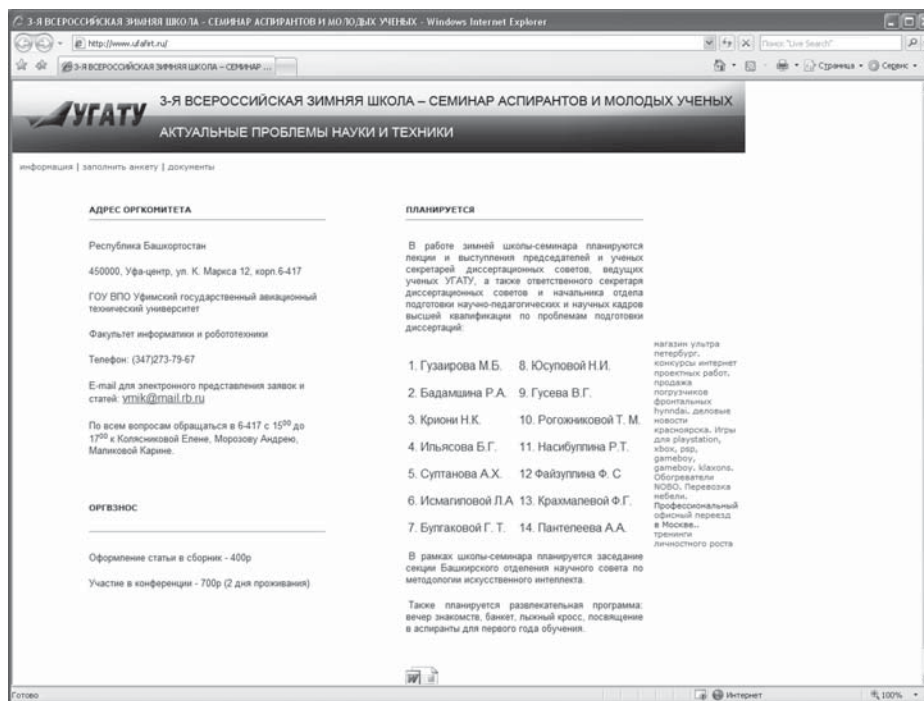


Рисунок 5. Сайт зимней школы-семинара

первого года при условии выполнения всех требований. Участники программы «У.М.Н.И.К.»: физические лица от 18 до 28 лет включительно (студенты, аспиранты, молодые исследователи), отобранные на аккредитованных Фондом мероприятиях (конференциях, конкурсах, семинарах, научных школах). В мероприятиях программы участвуют проекты, обладающие существенной новизной и среднесрочной перспективой их эффективной коммерциализации.

Отбор мероприятий производится научно-координационным советом Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на основании заявок, направляемых в Фонд организационными комитетами конференций, конкурсов, семинаров, научных школ, претендующих на аккредитацию в качестве мероприятий программы «У.М.Н.И.К.» Отобранные участники программы для реализации своего проекта заключают трудовые соглашения с малым инновационным предприятием, предоставляемым региональным представителем Фонда, которое осуществляет организационное и финансовое сопровождение проектов. Это связано с тем, что Фонд имеет право оказывать государственную финансовую поддержку только малым предприятиям.

Также в университете проводится Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники» (<http://www.ufafirt.ru>) (рисунок 5).

В работе зимней школы-семинара проходят лекции и выступления председателей и ученых секретарей диссертационных советов, ведущих ученых УГАТУ, а также ответственного секретаря

диссертационных советов и начальника отдела подготовки научно-педагогических и научных кадров высшей квалификации по проблемам подготовки диссертаций.

Таким образом, эффективная работа Совета по НИРС дает существенные практические результаты в области поддержки молодых ученых университета. Научно-исследовательские работы студентов УГАТУ награждены многочисленными медалями, дипломами и грамота Министерства образования

РФ и РБ, получены гранты и стипендии Президента РФ и РБ.

Результатом инновационного подхода к воспитанию творческой личности в вузе стал целый ряд разработок и проектов. Многих студентов увлекает творческая научная работа, и они продолжают обучение в магистратуре, аспирантуре. Магистрантам и аспирантам, прошедшим обучение по ФЦТПС во многом легче, чем другим студентам: во-первых, они уже знакомы с основами научных исследований; во-вторых, к моменту поступления в магистратуру (аспирантуру) они имеют некоторый научный задел.

Более чем двадцатилетний опыт использования методики ФЦТПС показывает высокую эффективность ее использования при обучении студентов. Достоинство этой технологии заключается еще и в том, что студенты получают представление о процессе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Что важно для специалиста, так как НИОКР – это на настоящий момент неотъемлемый фактор успеха любой фирмы (рисунок 6).

Внедрение ФЦТПС в образовательный процесс является необходимым этапом, но только этого недостаточно для формирования инновационной составляющей высшего образования. В современном вузе должны научить студента не только осваивать знания и проводить научные исследования, но обучить методикам, позволяющим получать, перерабатывать и внедрять новую информацию, коммерциализировать новые научные знания. Для этого образовательный процесс необходимо дополнить дисциплинами, направленными на изучение прин-



Рисунок 6. НИОКР как фактор конкурентного успеха фирмы [4]

ципов и методов инновационной деятельности. Значит в учебные планы подготовки специалистов технического профиля (экономисты не имеются ввиду) необходимо ввести такие дисциплины, как «Инноватика», «Управление инновационными проектами» и «Коммерциализация результатов НИОКР», «Инновационный менеджмент», «Стратегический менеджмент», «Ценообразование инноваций» и др. Эти дисциплины могут быть дисциплинами по выбору в планах подготовки специалистов и в обязательном порядке изучаться магистрантами. Такой подход позволит студентам, нацеленным на дальнейшую инновационную деятельность, выбирать дисциплины, которые помогут им реализоваться в дальнейшем в области инноваций. Магистранты же должны изучать эти дисциплины в обязательном порядке, так как именно эта категория учащихся изначально нацелена как на проведения научных исследований, так и на разработку инновационных проектов. При этом следует учитывать тот факт, что исследовательская и инновационная деятельность должны быть неразделимы между собой.

Но кроме привлечения студентов к НИР и НИОКР необходимо также осуществлять поддержку молодых ученых во всех областях, включая организационную (материальное обеспечение исследовательских работ), информационную и социальную. При этом следует уделить особое внимание именно социальным вопросам. При анализе современной ситуации в отечественной науке наблюдается ряд серьезных проблем:

- активная миграция молодых научных кадров за границу;
- старение научного потенциала;
- низкая социальная защищенность молодых исследователей.

По данным различных источников в США из России мигрирует около 30 % молодых ученых и примерно 18 % — в страны Евросоюза [14]. Причины миграции заключаются в не востребоваемости научных изобретений и низкой заработной плате — все это, безусловно, мешает развитию науки в России в целом. Поэтому требуется в дополнение к изменениям в учебных планах создавать систему комплексной поддержки молодых ученых.

Таким образом, на основе анализа современной ситуации в российском образовании, а также обзора методов активизации научной работы студентов на примере двух ведущих технических вузов РБ можно составить представление об инновационной составляющей в системе образования.

Инновационная составляющая образования подразумевает: введение в учебные планы подготовки дополнительные дисциплины из области экономики, юриспруденции, инновационной деятельности, углубленное изучение иностранных языков, а также активное привлечение студентов к НИР и НИОКР.

В последнее время специалисты инновационной деятельности говорят о необходимости формирования у выпускников вузов не только определенных знаний и умений, но и особых «компетенций», которые бы позволили специалисту успешно реализоваться в реальном деле, при создании новой конкурентоспособной продукции. В современной ситуации в обществе накоплена значительная масса знаний и информации, но большинство этих знаний никак не проявляются в повседневной жизни человечества. Поэтому как никогда становится актуальным вопрос создания новой конкурентоспособной продукции и новых рынков за счет умелого управления своим интеллектуальным богатством. При этом главной задачей бакалавра, магистра, инженера становится умение использовать знания «неожиданным образом» в практических целях, то есть решать нестандартные задачи.

Все современные инновации в технике и технологии формируются на междисциплинарной основе,

как результат умелой комбинации и трансферта знаний и умений из одной области деятельности в другую.

В заключении, подводя итог вышесказанному, выделим основные направления развития передового технического университета России:

1. Эффективная исследовательская деятельность. Процесс НИРС должен быть гармонично вписан в образовательный процесс. Наиболее оптимальной системой в данном случае является функционально-целевая подготовка специалистов, которую необходимо интегрировать во все программы подготовки студентов.

2. Поддержка НИРС, содействие деятельности Советов по НИРС, проведение конференций, конкурсов и других мероприятий, способствующих развитию НИРС. Активное участие университета в различных мероприятиях Всероссийского и международного уровней. Поддержка в вузах Советов молодых ученых.

3. Тесное сотрудничество вуза с предприятиями в виде совместных работ, проектов, создания технопарков, при активном привлечении студентов.

4. Создание системы инновационной подготовки студентов.

5. Оснащение лабораторий современным исследовательским оборудованием, что невозможно без поддержки государства.

6. Международная деятельность, направленная на привлечение иностранных студентов и интеграции вуза в европейскую и мировую систему образования.

Вышеперечисленные стороны деятельности университета, их совершенствование и достойное внимание к этим аспектам, будет способствовать развитию технического вуза как исследовательского (инновационного) и, безусловно, выведет его в одного из лидеров мирового образования.

**Работа выполнена при финансовой поддержке
Министерства образования и науки РФ.**

ЛИТЕРАТУРА

Ахмедзянов, Д. А., Дударева, Н. Ю. Концепция инновационного развития технических вузов России. Уфа: УГАТУ, 2009. 74 с.

Селиванов С.Г., Гузаиров М.Б., Кутин А.А. Инноватика. Учебник для вузов. М.: Машиностроение. 2008. 721 с.

Гольдштейн, Г. Я. Инновационный менеджмент. Таганрог: изд-во ТРТУ, 1998.

Текст Послания Президента Российской Федерации (извлечение) // [Электронный ресурс]. – URL: <http://mon.gov.ru/press/news/6371/> (12.11.09).

Понарина Е. Отчего датчане живут лучше? «Поиск» № 14, 11 апреля 2003 г.

Сюняев З. И., Имашев У. Б., Бухарбаев Р. Я. Студенческий научно-исследовательский институт. Уфа, 1976. 71 с.

Архив УГНТУ, ф. 1, оп. 1, д. 1375, л. 79.

Архив УГНТУ, ф. 1, оп. 1, д. 1532, лл. 47, 71, 82.

Архив УГНТУ, ф. 1, оп. 1, д. 1692, л. 56.

Архив УГНТУ, ф. 1, оп. 1, д. 1692, л. 57.

Рахманкулов Д. Л., Булатова О. Ф., Лалаева З. А., Удалова Е. А., Шавшукова С. Ю., Аглиуллин А. Х., Габитов А. И., Зенцов В. Н. Проблемы развития малотоннажной химии в России (из истории возникновения, становления и реорганизации Научно-исследовательского института малотоннажных химических продуктов и реактивов). Уфа: изд-во «Реактив», 2004. 252 с.

Никитин, Р. В., Технология подготовки специалистов: Практическое пособие/ Р. В. Никитин, Б. П. Рудой. Уфа: УГАТУ, 2002. 61 с.

Загорский, В. Нужно ли воспитывать будущих ученых? // *Русский журнал* 2002 [Электронный ресурс]. – URL: http://old.russ.ru/ist_sovr/sumerki/20021113_zag.html (11.11.02).

А.Д. Назыров, к.б.н., доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология», БГАУ

A.D. Nazyrov, cand.biol.sci., associate professor of chair «Safety of life activity and ecology», BSAU

О.А. Баулин, к.т.н., доцент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ
O.A. Baulin, cand.tech.sci., associate professor of chair «Technology of oil and gas», USPTU.

Д.А. Ахмедзянов, д.т.н., профессор кафедры «Авиационные двигатели», УГАТУ
D.A.Akhmedzyanov, dr.tech.sci., professor, of chair «Aviation engines», USATU

Р.М. Мазитов, к.т.н., доцент кафедры «История и культурология», УГНТУ.
R.M. Mazitov, cand.tech.sci., associate professor of chair «History and cultural science», USPTU

Е.А. Удалова, д.т.н., профессор кафедры «Физическая и органическая химия», УГНТУ

E.A.Udalova, dr.tech.sci., professor, of chair «Physical and organic chemistry», USPTU
e-mail: smuugntu@gmail.com