

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Satbayev university

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Технологических машин, транспорта и логистики»

Мелдехан Шәкәрім Ағайдарұлы

Разработка методов и технических средств для одновременно-раздельной
эксплуатации многоярусно залегающих месторождений

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 7М07111- Цифровая инженерия машин и оборудования

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.
Сатпаева

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Технологических машин, транспорта и логистики»

УДК 622.276.56

На правах рукописи

Мелдехан Шәкәрім Ағайдарұлы


МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации Разработка методов и технических средств для одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений

Направление подготовки 7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования


Научный руководитель
к.т.н, ассоциированный профессор

(ученая степень, звание)
 Карманов Т.Д.
подпись Ф.И.О.
" 18 " 06 2021г.

Рецензент


(ученая степень, звание)
 Кудайкулова Г.А.
подпись Ф.И.О.
" 18 " 06 2021г.

Нормоконтроль

к.т.н, ассистент-профессор
(ученая степень, звание)
 Бортебаев С.А.
подпись Ф.И.О.
" 18 " 06 2021г.



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ТМиО,
(наименование кафедры)
к.т.н, ассоциированный профессор
(ученая степень, звание)
 Елемесов К.К.
подпись Ф.И.О.
" 18 " 06 2021г.

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Технологических машин, транспорта и логистики»

7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудований

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ТМТиЛ

к.т.н, ассоциированный профессор



Елемесов К.К.

05 12 2019г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту *Мелдехану Шәкәрімұ Ағайдарұлы*

Тема: *«Разработка методов и технических средств для одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений»*

Утверждена приказом ректора университета № 435-м от «3» декабря 2019г

Срок сдачи законченной диссертации «15» мая 2021г.

Исходные данные к магистерской диссертации: *Известные технологии и техника, применяемые при одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений*

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) краткие сведения о технологии одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений;

б) технология одновременно-раздельной эксплуатации пласта;

в) конструкция насосных штанг. Модернизация методики расчета приведенного напряжения;

г) численный и компьютерный эксперимент со стальными и композитными полыми насосными штангами.

Перечень презентационного материала;

а) предлагаемые схемы технологии одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений;

б) сравнительные графики или диаграммы проблем эксплуатации многопластовых месторождений;

в) графоаналитическая схема алгоритма проведения компьютерного моделирования».

Перечень необходимой литературы:

1 Башиев Б.Т., Глебова Т.А., Дергунов П.В., Тер-Оганесова В.С. Технико-экономическое исследование эффективности раздельно-совместной разработки двухпластовой залежи // Ежегодник «Теория и практика добычи нефти». 1968. – С. 239-252.

2 Блинов А.Ф., Дияшев Р.Н. Исследование совместно эксплуатируемых пластов. М.: Недра, 1976. – 145с.

3 Лысенко В.Д., Грайфер В.И. Разработка малопродуктивных нефтяных месторождений. М.: Недра, 1982.

4 Максютова Р.А., Доброскок Б.Е. Одновременно-раздельная эксплуатация многопластовых нефтяных месторождений. М.: Недра, 1974, - С. 64-69.

ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Замечания
1. Краткие сведения о технологии одновременно-раздельной эксплуатации	02.03.2020	
2. Анализ современной ситуации добычи нефти мех. способом	09.11.2020	
3. Конструкция насосных штанг. Модернизация методики расчета приведенного напряжения	15.02.2021	
4. Численный и компьютерный эксперимент со стальными и композитными полыми насосными штангами	15.04.2021	



Научный руководитель:  Карманов Т.Д

Магистрант, выполнивший задание  Мелдехан Ш.А

День «15» апреля 2021 г

Подписи

научного руководителя и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф (уч. степень, звание)	Дата подписани я	Подпись
1 Краткие сведения о технологии одновременно-раздельной эксплуатации	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д	02.03.2020	
2 Анализ современной ситуации добычи нефти мех. способом	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д	09.11.2020	
3 Конструкция насосных штанг. Модернизация методики расчета приведенного напряжения	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д	15.02.2021	
4 Численный и компьютерный эксперимент со стальными и композитными полыми насосными штангами	к.т.н., ассоциированный профессор Карманов Т.Д	15.04.2021	
Нормоконтролер	к.т.н., ассистент-профессор Бортебаев С.А.	15.06.2021	

Научный руководитель:  Карманов Т.Д.

Магистрант, выполнивший задание  Мелдехан Ш.А.

День «15» июня 2021 г.

АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе предоставлены результаты исследования полых насосных штанг, применяемых при технологии одновременно-раздельной эксплуатации.

В результате исследования подтверждена возможность использования композитных насосных штанг в условиях искривленной скважины.

Полученный результат может предоставлять научный интерес к разработке методики подбора полых насосных штанг.

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыста бір мезгілде бөлек жұмыс жасау технологиясында қолданылатын қуыс сорғыш өзектерді зерттеу нәтижелері көрсетілген.

Зерттеу ауытқып тұрған ұңғымада композиттік сорғыш штангаларды қолдану мүмкіндігін растады.

Алынған нәтиже қуыс сорғыш штангаларды таңдау әдісін жасауға ғылыми қызығушылықты қамтамасыз етуі мүмкін.

ANNOTATION

The dissertation work presents the results of a study of hollow sucker rods used in the technology of simultaneous-separate operation.

As a result of the study, the possibility of using composite sucker rods in a deviated well was confirmed.

The result obtained may provide scientific interest in the development of a method for the selection of hollow sucker rods.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1. Краткие сведения о технологии одновременно-раздельной эксплуатации	10
1.1 Анализ состояния нефтедобычи в Казахстане	10
1.2 Технология одновременно-раздельной эксплуатации пласта	11
1.3 Обоснование применения ОРЭ	12
1.4 Опыт использования ОРЭ на месторождениях Казахстана	13
1.5 Эксплуатация скважины посредством боковых стволов	15
2 Анализ современной ситуации добычи нефти мех. способом	17
2.1 Компоновка ОРЭ ЭЦН-ШГН	17
2.2 Причины отказов СШНУ	19
2.3 Эксплуатационные условия. Основные требования к материалу насосной штанги	23
3. Конструкция насосных штанг. Модернизация методики расчета приведенного напряжения	26
3.1 Основные характеристики насосных штанг	26
3.2 Композитные насосные штанги	28
3.3 Цикличность изменения нагрузок в насосных штангах, возникающих при работе насоса	30
3.4 Приведенное напряжение	31
3.5 Модернизация подбора полых насосных штанг	32
3.6 Расчет на прочность композитных штанг	33
4. Численный и компьютерный эксперимент со стальными и композитными полыми насосными штангами	37
4.1 Испытательный стенд для циклического нагружения насосной штанги	37
4.2 Моделирование испытательного стенда в САПР Solidworks	38
4.3 Введение полученных величин напряжения в программу для математического моделирования MatchCAD	42
Заключение	47
Список использованной литературы	49

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня нефтегазовая отрасль Казахстана встретила с такой проблемой как иссяканием запасов легко добываемой нефти, а так же увеличением капитальных экономических затрат на бурение и на другие промысловые работы. Сейчас стоит острая задача в повышении эффективности разработки действующих месторождений нефти. Часто нефтеносные пласты располагаются рядом или друг над другом и целесообразней и эффективней разрабатывать эти пласты одновременно с помощью одной скважины при условии, что каждый из пластов является высокопродуктивными с хорошим напорным режимом или у пластов схожие по составу флюиды и поэтому есть возможность смешать эти два потока. Технология позволяет сократить затраты на бурение новой скважины как для разработки, так для закачки воды или газа. Хочу отметить, что существующие компоновки оборудования ОРЭ имеют низкую надежность и маленький межремонтный период. Поэтому стоит задача в повышении надежности оборудования и установок, используемого при ОРЭ.

Для стабильной работы СШНУ следует определить и провести все возможные меры по исключению преждевременных поломок насосных штанг.

Несмотря на все работы по повышению показателей надежности для УЭЦН и СШНУ, слабым звеном компоновки ЭЦН-ШГН является ШГН и доля их отказов составляет около 70-ти процентов. Связано это с тем, что конструктивные узлы СШНУ подвергаются действию различных факторов, таких как: знакопеременные нагрузки, агрессивная среда нефти, влияние изгибающего момента при эксплуатации боковых стволов и т.д. Вследствие этого, для стабильной работы СШНУ, следует определить и провести все возможные меры по исключению преждевременных поломок насосных штанг.

Целью работы выступает обоснование применения полых композитных насосных штанг, применяемых при ОРЭ

Объектом исследования является проверка и обоснование работоспособности полых композитных насосных штанг, применяемых при ОРЭ

Задачи исследования:

- обосновать эффективность применения технологии одновременно-раздельной эксплуатации;
- проанализировать отказы штанговых колонн. Рассмотреть и модернизировать существующие методики расчета приведенных напряжений при подборе сплошных и полых насосных штанг;
- провести численный и компьютерный эксперимент со стальными и композитными полыми насосными штангами и обосновать эффективность использования полых стеклопластиковых штанг при подборе колонны штанг.

Для достижения требуемой задачи:

- была проанализирована актуальность применения технологии ОРЭ на примере Айранкольского месторождения;
- проведен расчет нагрузок, возникающих в искривленной скважине на примере скважины 302 Айранкольского месторождения;
- был предложен коэффициент при расчете приведенного напряжения, для учета конструктивных особенностей полый насосной штанги;
- была создана 3D модель испытуемых штанг в САПР Solidworks;
- в программе MathCAD была разработана программа для определения зависимости приведенного напряжения от наработки на отказ при N-ной вероятности безотказной работы.

Научная новизна работы: на основе математического моделирования была определена зависимость наработки на отказ от приведенного напряжения для полых насосных штанг, используемых при ОРЭ.

Практическая значимость: был предложен коэффициент, учитывающий конструктивные особенности полый насосной штанг. Разработана программа в MathCAD для определения наработки на отказ, с целью подбора колонны полых насосных штанг.

Научное положение:

Был предложен коэффициент, учитывающий конструктивные особенности полый насосной штанги. В результате выяснилось, что отличие расчетной части от компьютерных вычислений равна 8%, что лежит в пределах погрешности.

При применении полых насосных штанг из композитного материала, напряжения изгиба от продольных нагрузок может возрасти от 50 МПа до 180 МПа, а наработка на отказ соответственно будет равным от 8млн до 1.8 млн. циклов при 10-процентой вероятности безотказной работы.

При применении полых насосных штанг из стального материала напряжения изгиба от продольных нагрузок может возрасти от 70МПа до 210 МПа, а наработка на отказ соответственно будет равным от 9млн до 990 тыс циклов при 10-процентой вероятности безотказной работы

Апробация полученных результатов: результаты исследований докладывались на научных семинарах кафедры. Результаты исследовательских работ были опубликованы в издании международном Сатпаевские чтения.

1. Краткие сведения о технологии одновременно-раздельной эксплуатации

1.1 Анализ состояния нефтедобычи в Казахстане

Казахстан является одним из крупнейших производителей углеводородного сырья. По данным национальной компании КазМунайГаз, Казахстан ежегодно добывает около 80 млн. т нефти. Судя по анализу объема добытого сырья с периода 2014 года по нынешний день, объем добычи ежегодно уменьшается на 2-3 процента. Связано это с истощением запасов разведанной нефти, а также с увеличением стоимости бурения и геофизические исследования. По тем же данным, в период с 2014 года, на месторождениях Казахстана было введено в эксплуатацию 7951 скважин со средней стоимостью бурений 950 тыс. долларов за скважину[1].

Поэтому, перед нефтедобывающей отраслью Казахстана стоит задача оптимизации и повышение эффективности разработки месторождений. Одним из решений является параллельное вскрытие низкорентабельных пластов в виду развития современных технологий в сфере разведке, бурение и эксплуатации.

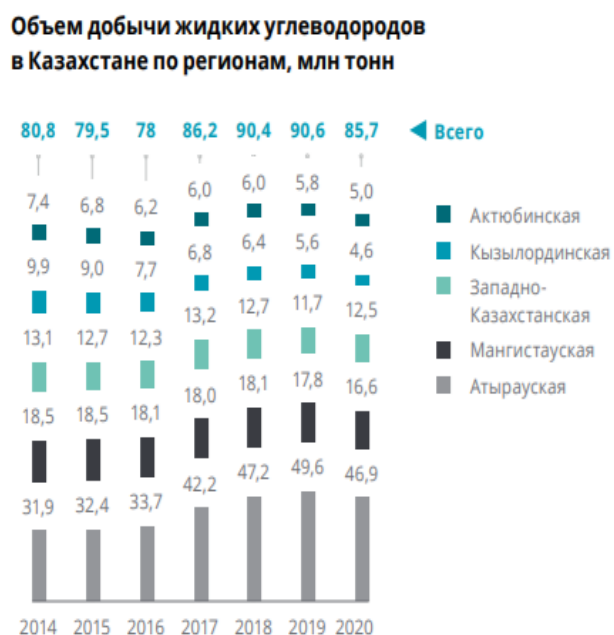


Рисунок 1.1.1 - Объем добычи в Казахстане

Фонд скважин на момент 2020 года составляет 32 тыс. скважин. Из них:[1]

- 20160 или 63% эксплуатируется УЭЦН;
- 10784 или 33,7% эксплуатируется СШГНУ;
- 1056 или 4,4 % остальными методами.



Рисунок 1.1.2 - Фонд действующих скважин в РК за 2020 год

Связи с этим, остро стоит вопрос в повышение эффективности в разработке месторождений, в том числе и объединяя разработку многопластовых месторождений одновременно.

1.2 Технология одновременно-раздельной эксплуатации пласта

Одновременно - раздельная или совместная эксплуатация скважины— это объединенная эксплуатация двух и более продуктивных пластов одной скважиной. Применяется для добычи нефти (газа), а также для закачки воды - при заводнении нефтяных пластов, рабочих агентов - для повышения производительности пласта - в процессе создания подземных хранилищ газа и др.

В скважину спускают специальное оборудование (установки), обеспечивающие транспортирование продукции каждого пласта на поверхность (или закачку с поверхности в каждый пласт) по самостоятельным (или совместному) каналам, независимое регулирование и обработку пластов, а также проведение исследований, операций по освоению и глушению каждого пласта, технологическое воздействие на его призабойную зону. Одновременно-раздельная эксплуатация скважины позволяет сократить затраты на разбуривание, обустройство и эксплуатацию месторождений. Технологические схемы одновременно-раздельной эксплуатации скважины классифицируют по количеству эксплуатируемых пластов; установки одновременно-раздельной эксплуатации скважины по конструктивному оформлению; с концентрическими, параллельными и

одноколонными рядами насосно-компрессорных труб (НКТ), а также с регулированием отбора или закачки продукции по каждому пласту. Условия эксплуатации (величина газового фактора, содержание газового конденсата, уровень пластовых давлений и температур, состав добываемой или закачиваемой продукции, наличие агрессивных примесей, песка, парафина, минеральных солей и т.д.) влияют на конструктивные особенности установок и технологические схемы одновременно-раздельной эксплуатации скважины.

Раздельная эксплуатация пластов впервые начала применяться в нефтяных и газовых скважинах на месторождениях США в 1936 году [3,4]. Первые образцы оборудования в СССР созданы в 30-е годы. Установки были просты и применимы только при фонтанной эксплуатации. Разработкой технологий и оборудования для ОРЭ, а также исследованиями их применения 1950 – 1970 годы занимались: Максутов Р. А., Сафин В. А., Беленький В. Н., Крутиков Б. С., Понамарев К. И., Джафаров Ш. Т. В настоящее время успешно работают в этом направлении Донков П. В., Шарифов М. З., Леонов В. А., Бадретдинов А. М., Тарифов К. М., Габдуллин Р. Г. и другие [4].

Основные условия объединения неоднородных пластов в единые эксплуатационные объекты:

- равные скорости вытеснения нефти водой по всему продуктивному разрезу в пластах с различной проницаемостью или опережающее вытеснение в малопроницаемых пластах, когда объёмы нефтенасыщенной породы (залежи) отличаются незначительно;

- опережающее вытеснение в высокопроницаемых пластах, когда объёмы залежи в них в 4-29 раз выше, чем в малопроницаемых пластах;

- опережающее вытеснение в пластах с меньшей гидропроводностью при разной вязкости нефтей;

- осуществление совместного отбора пластовой жидкости из добывающих скважин, проведённых на выбранные пласты, и раздельной закачки воды в случае резкого различия физико-геологических характеристик пластов при дифференцированном давлении нагнетания; достижение экономической эффективности от совместной разработки нефтяных пластов.

1.3 Обоснование применения ОРЭ

ОРЭ – эксплуатация двух и более пластов совместно одной скважиной. Может применяться как для добычи, так и для закачки воды или газа одновременно. Для этого применяют спаренное оборудование одно- или двухлифтовой схемой компоновки. Для регулирования забойного или межпластового давления применяют комплекс датчиков с системой телеметрии.

Система ОРД и ОРЗ берет свое начало еще 30-х годов 20 века. Опытно-

промышленные испытания проводились в 1953 году на месторождениях Башкирии. Но лишь в 21 веке эта технология становится востребованной. Ведь ОРЭ позволяет вскрыть многопластовые залежи одной скважиной и сократить расходы на бурение, а с развитием современных технологий данная технология становится рентабельней. Так же с помощью ОРЭ есть возможность вскрытия нерентабельных низкодебитных пластов, что были законсервированы в связи со своей нерентабельностью. При этом повышаются темпы добычи нефти в несколько раз. Скважины, у которых есть большая разность пластовых давлений тоже целесообразно эксплуатировать одновременно.

Преимущества ОРЭ:

- сокращение затрат на бурение скважин;
- снижение затрат по эксплуатации;
- возможность использования затрубного газа с целью повышения забойного давления;
- возможность использования флюид высокопродуктивного пласта для эжекции низкопродуктивного пласта.

Недостатки ОРЭ:

- сложность данной реализации этой технологии;
- сложность монтажа и демонтажа для превентивного ТО;
- в большем количестве точек отказа;
- сложность контроля пластового давления;
- необходимость полной остановки эксплуатации скважины при проведении ремонтных работ на одном из насосе.

1.4 Опыт использования технологии одновременно-раздельной эксплуатации на месторождении Казахстана

Введение технологии ОРРНЭО (одновременно-раздельная разработка нескольких эксплуатационных объектов) на месторождение Айранколь началось в 2012 году. За 7 лет эксплуатации технология дала положительный эффект.

В среднем, опираясь на результаты 2020 года по некоторым скважинам Айранколя, применение ОРЭ дал положительный результат и среднесуточный дебит увеличился в 5.1 раз на скважину (от 1,5 (скв.325) до 17,3(скв.317)).[2]

До применения ОРЭ горизонт Ю-5 при использовании ШГН среднесуточный дебит составлял 15,9 т/сут. Далее, в 2013 году, при введении технологии ОРЭ, горизонт Ю-5 с ШГН перевели на УЭЦН, а вскрытый пласт горизонта Ю-4 начали разрабатывать с помощью СШНУ. Технология позволила повысить дебит скважины с 15,9 до 35,6 т/сут. При этом, из-за закачки воды на горизонт Ю-5 для УЭЦН, среднесуточный дебит пласта Ю-5 упал на 13 процентов (с 15,9 т/сут. до 14.0 т/сут.). [2]

Таблица 1.1 – опыт применения ОРЭ на Айранкольском месторождении

№ скв	Параметры работы скважины						
	До ОРЭ			После введения ОРЭ			Прирост дебита, т/сут
	Горизонт	Способ экспл.	Дебит нефти, т/сут	Горизонт	Способ экспл.	Дебит нефти, т/сут.	
302	Ю-5	ШГН	15,9	Ю-4	ШГН	21,6	19,7
315	Ю-5	ШГН	15,9	Ю-5	УЭЦН	14,0	
317	Ю-2Б	Ф	49,6	Ю-2Б	ШГН	60	84,1
				Ю-3	УЭЦН	73,6	
325	Ю-3	Ф	4,0	Ю-3	УЭЦН	20,4	65,2
				Ю-2Б	УЭЦН	48,8	
345	Ю-2А	Ф	20,9	Ю-2а	ШГН	8,9	10,7
				Ю-3	УЭЦН	22,7	
	Ю-5	Ф	16,0	Ю-4	ШГН	11,2	12,0
				Ю-5	УЭЦН	16,8	

К примеру, данная компоновка разработки «ТатНИПИнефть» применяется на месторождении Айранколь в скважине 302.

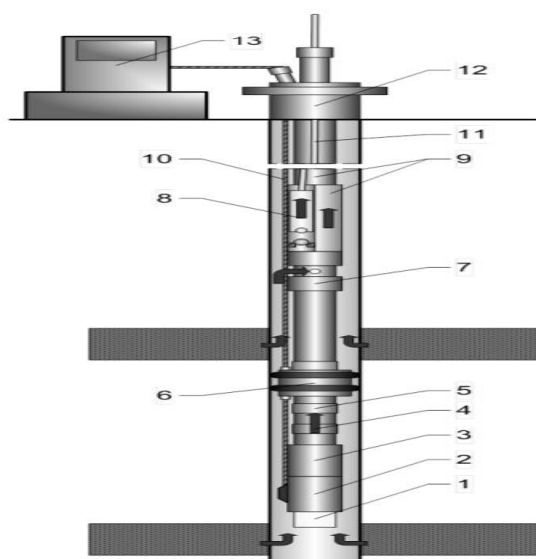


Рис. 1.4.1 - Компоновка для ОРЭ ЭЦН-ШГН с пакером П-ЭГМ (с кабельным вводом).

Компоновка состоит из двухлифтового оборудования, с комплексом телеметрии для отслеживания важных параметров. В качестве насосов используют ШГН и ЭЦН. Продукция из нижнего продуктивного пласта разрабатывается электроцентробежным насосом. Продукция из верхнего

продуктивного пласта разрабатывается штанговым глубинным насосом.

1.5 Эксплуатация скважины посредством боковых стволов

При эксплуатации пластов одновременно используют технологию бурения многозабойных скважин.

Многозабойная скважина – скважина, имеющая одно или несколько ответвлений от основной скважины с целью повышения нефтеотдачи пласта. Конструктивно существует множество конструкций боковых ответвлений таких как «рыбья кость», вертикальные ярусные ответвления, горизонтальные ответвления для искривленных скважин и т.д.

Данная технология была разработана в 1998 году и опубликована международной организацией промышленников. Используя эту технологию, можно повысить темпы отбора нефти в несколько раз. Хотя и технология дороже чем обычная вертикальная скважина, но в объеме, технология позволяет использовать одну материнскую скважину и уже от основной скважины бурить боковые стволы для реализации технологии многоствольной добычи нефти

Стандарт бурения TAML – включает в себя 6 уровней сложности.

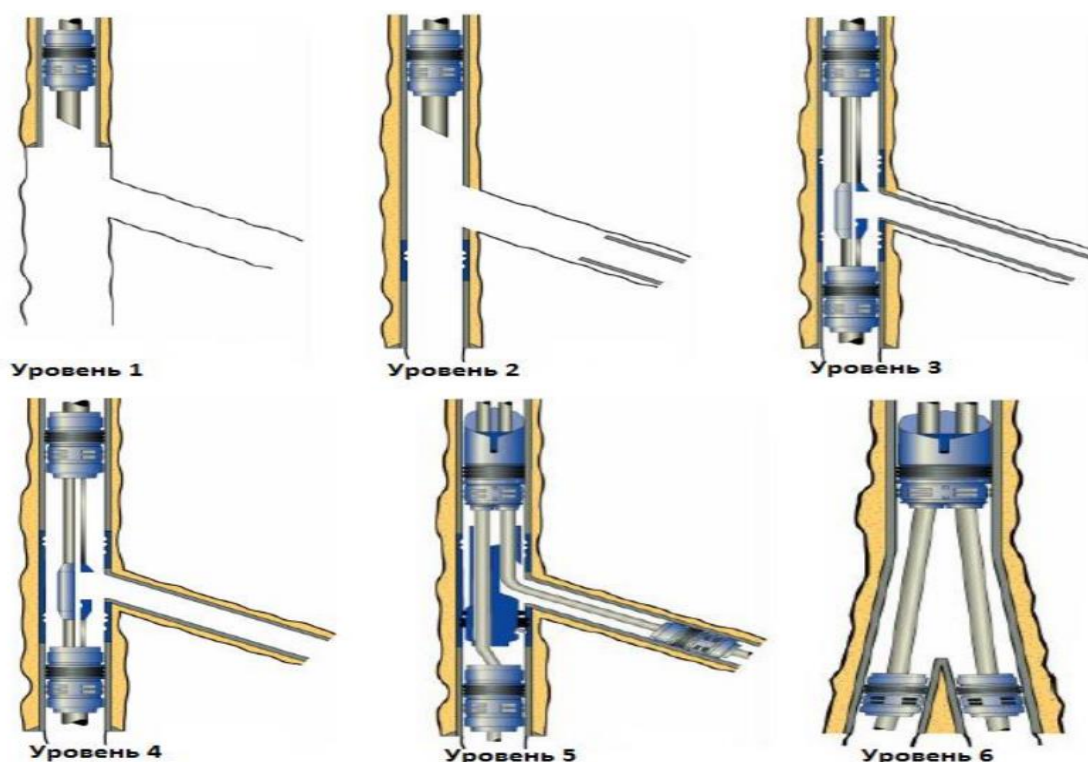


Рисунок 1.5.1 - Стандарт TAML (Technology Advancement of Multilateral)

Технология бурения боковых стволов одна из особенностей ОРЭ, позволяющая применять данную технологию.

При первом уровне ответвления и основной ствол не обсаживают обсадными трубами. Для использования этого уровня при бурении, необходимо в качестве горных пород.

При втором уровне обсаживается только основной ствол, а боковой ствол оснащается хвостовиком.

Третий уровень характеризуется обсаженным и цементируемым основным стволом. Боковой ствол обсаживается без цементирования.

Четвертый уровень. При четвертом уровне обсаживают и цементируют как основной, так и боковой ствол. В боковой ствол устанавливают хвостовик

При пятом уровне обсаживают и цементируют боковой и основной ствол, разобщая каждый из них пакером. Этот уровень предполагает герметичность сочленения.

Шестой уровень отличается тем, что каждый боковой ствол имеет отдельное оборудование. Этот уровень сложен и дорог. Редко используется.

2 Анализ современной ситуации добычи нефти механизированным способом

В начале эксплуатации месторождений основным способом добычи нефти является фонтанная эксплуатация. Фонтанный способ добычи возможен только при условии превышения пластового давления над забойным. Далее, при уменьшении депрессии на пласт, эксплуатация скважины переходит на второй этап, т.е. механизированный. К механизированным способам относят эксплуатацию с различными видами насосов (УЭЦН, ШГН, установки типа «тандем» и т.д).

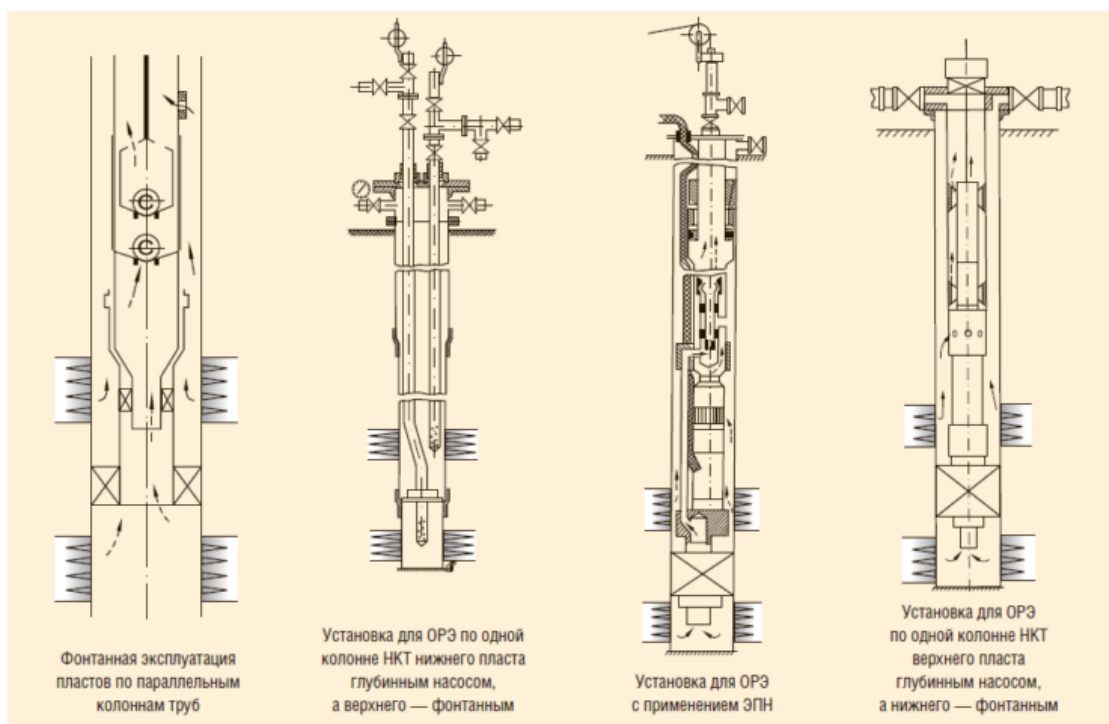


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема компоновок оборудования при ОРЭ

Разработка двух пластов может осуществляться при помощи спаренных насосов «ЭЦН-ШГН», «ЭЦН-ЭЦН», «ШГН-ШГН». Схема «ЭЦН-ШГН» наиболее распространена ввиду своей эффективности.

2.1 Компоновка ОРЭ ЭЦН-ШГН

Однолифтовая установка ЭЦН-ШГН является распространенной компоновкой ввиду высокого КПД.

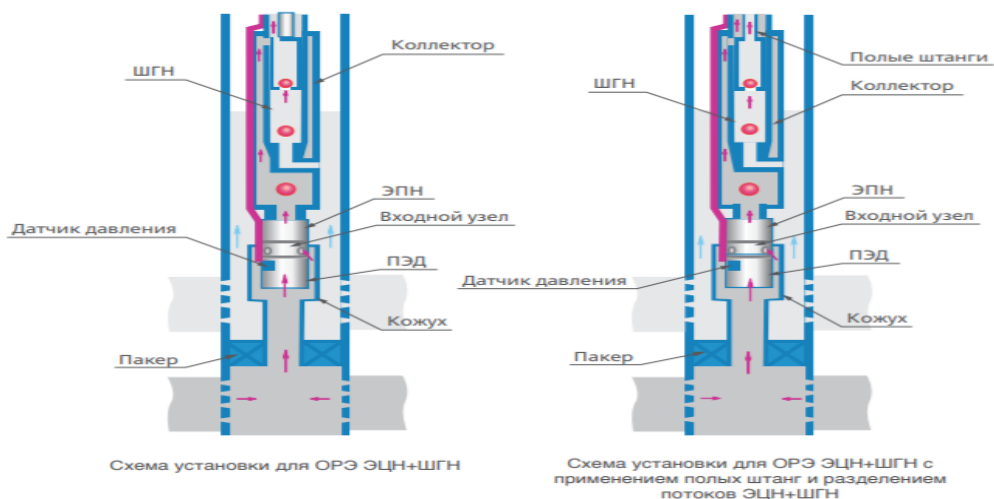


Рисунок 2.1.1 - Однолифтовая установка ЭЦН-ШГН

Конструктивно, однолифтовая установка ЭЦН-ШГН состоит из разобщающих пакеров, системой телеметрии, насосов для механизированной добычи и системой клапанов. Для извлечения нефти из верхнего пласта с помощью ШГН используют полые насосные штанги. Полые насосные штанги позволяют транспортировать жидкость, не смешивая его с продукцией нижнего пласта. Это важно при разности свойств извлекаемой нефти.

Существуют компоновки, позволяющие смешивать извлекаемую нефть из двух пластов. Тогда полая насосная штанга используется для закачки депарафинизаторов и деэмульсификаторов, что позволяет поднять качество эксплуатации скважины.

УЭЦН – установка, использующая погружной центробежный насос, погруженный в забойную часть скважину, который принадлежит к типу бесштанговой установки. Установка включает в себя погружной насос с комплексом слаботочных и электрических кабелей, погружной электродвигатель и комплекс клапанов. Главным преимуществом ЭЦН является его большой межремонтный период и относительная легкость монтажа. Средняя производительность УЭЦН – 120-150 т/сут, что, безусловно, считается хорошей производительностью.

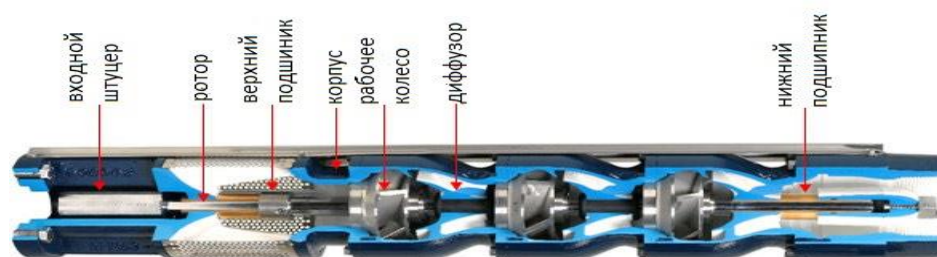


Рисунок 2.1.2 – Принципиальная схема погружного ЭЦН

К недостаткам относят низкую эффективность использования УЭЦН при наличии в нефти абразивной фазы или большого количества растворенного газа.

Вторым оборудованием компоновки является штанговая насосная установка.

СШНУ включает в себя комплекс надземного и подземного оборудования.

К надземным относят устьевое оборудование и станок-качалка, установленный на фундамент. К подземным относят колонну штанг, закрепленный на подвеске устьевого штока и плунжерного насоса.

Преимущество ШГН это возможность применения при любых условиях (обводненность, наличие примесей, высокое содержание газа) и высокий КПД. К недостаткам относят громоздкость и низкую надежность составных его узлов, а также его низкую продуктивность (от 10-30 т/сут). Средний межремонтный период варьируется от 150-180 суток. Одним из главных точек отказа ШГН является его колонна штанг. Насосные штанги подвергаются неблагоприятным факторам таким как: коррозия, влияние изгибающих моментов, высокая продольная нагрузка при большой глубине.

Проблемой повышения надежности и безотказности ШГН активно занимаются ведущие нефтяные компании Казахстана.

Хотя подбор и расчет колонны штанг хорошо изучен по вертикальным скважинам, но при ОРЭ используется врезка боковых стволов. Это значит, что такая скважина будет считаться наклонно-направленной. В наклонно-направленных скважинах для использования ШГН темп наработки на отказ увеличивается в 3 раза и поэтому стоит задача рассчитать надежность колонн штанг, используемых в скважине с одновременно-раздельной эксплуатацией.

2.2 Причины отказов СШНУ

Компоновка при ОРЭ ЭЦН-СШНУ является одной из самых эффективных способов эксплуатации на месторождениях Казахстана. В первую очередь, это связано с преобладанием мало- и средне дебитных скважин. Однако есть существенный недостаток, связанный с низкой надежностью его узлов. К примеру, при эксплуатации боковых стволов увеличивается нагрузка от действия изгибающего момента и величины вибрации от кривошипа насосной установки, вследствие чего оборудование выходит из строя.

Эти поломки отнимают время, которая могла бы быть потрачена на саму работу. Также часть времени и средств тратится на демонтаж вышедших из строя элементов из скважины и последующий их ремонт.

Частота поломок – это число отказов, которое произошло на одной скважине в течение одного года. Если же частота поломок слишком высока, то скважина классифицируется как проблемная.

Установлено, что 36 процентов причин выхода из строя СШНУ связано с колонной насосных штанг. Проанализировав причины отказов ШГН можно выделить то, что основной причиной отказа является обрыв и отворот штанг. Объясняется это тем, что колонна насосных штанг, при ОРЭ, работает в условиях повышенных знакопеременных нагрузок, вызванная воздействием изгибающих моментов вследствие работы в искривленных скважинах.

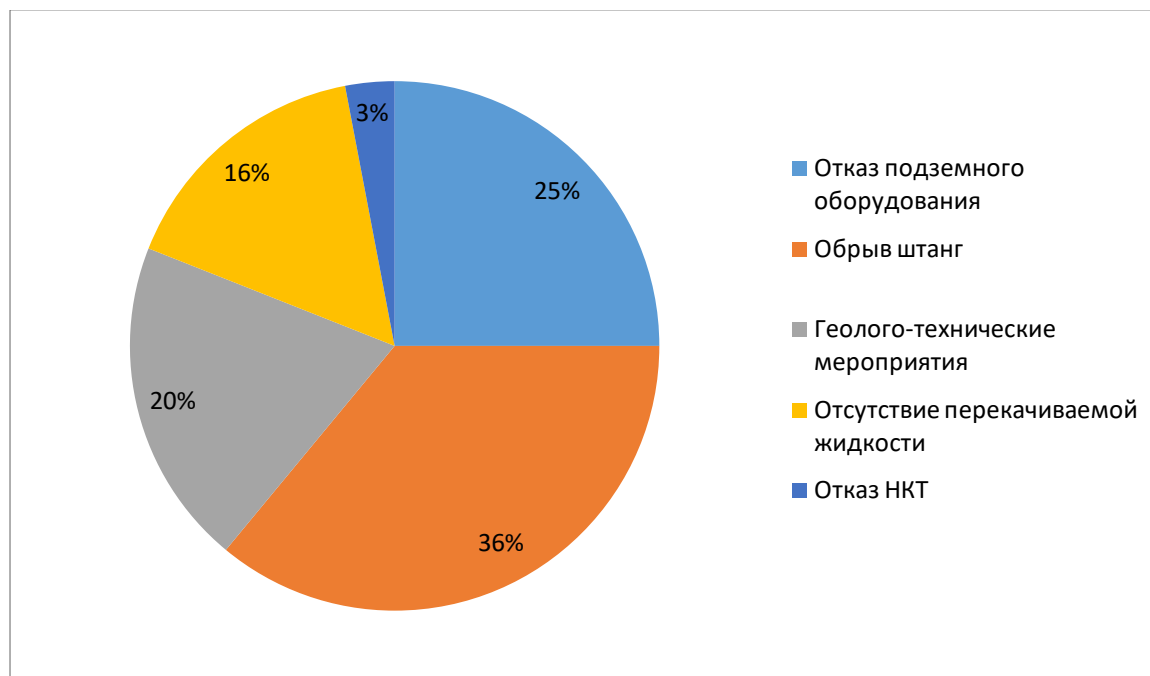


Рисунок 2.2.1 – Основные причины отказа СШНУ

Согласно всему вышеизложенному, повышение надежности СШНУ по сей день является актуальной задачей.

2.2.1 Роль усталостных процессов в материале насосных штанг

Усталостное разрушение штанг начинается с образованием микротрещин на поверхности стали.

Разрушение штанги, связанный с усталостью ускоряется из-за переменных нагрузок, активной коррозионной среды и наличием концентраторов напряжения. Поэтому выбор допускаемых напряжений для штанг представляет собой важную задачу [5].

Разновидности усталости

1. Малоцикловая возникает при максимальных напряжениях, превышающих предел текучести материала, и сопровождается пластическим деформированием объема материала. Число циклов до образования трещины (длиной 0,5–1 мм и более) зависит, в основном, от величины пластической деформации материала и от его способности сопротивляться этому малоцикловому разрушению. Примером малоциклового усталости является

разрушение проволоки вследствие её сгибания и разгибания.

2. Многоцикловая наблюдается при напряжениях, которые значительно ниже предела текучести ($\sigma_{max} < 0,6\sigma_T$ и ниже). В этом случае в макрообъеме материала изделия деформируется упруго (его свойства с высокой точностью описываются законом Гука $\sigma = E \cdot \varepsilon$)

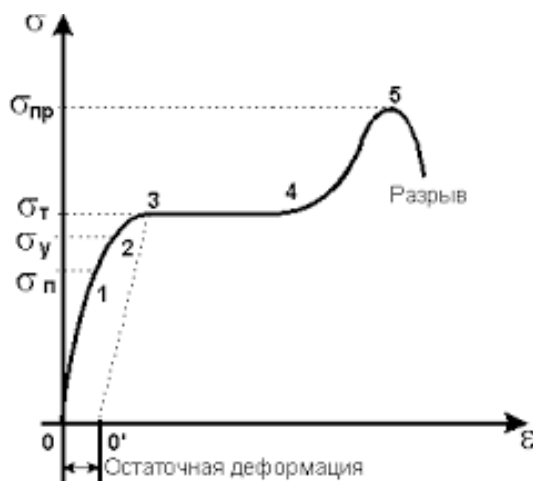


Рисунок 2.2.2 - Закон Гука

При упругом деформировании достаточно большого объема в микрообъемах происходит локальное пластическое деформирование, которое называют микропластическим. Его многократное повторение приводит к образованию микроскопических трещин. Постепенное их развитие и слияние приводит к ослаблению и затем к внезапному хрупкому излому изделия в опасном сечении. Продолжительность стадии многоцикловой усталости для стальных конструкций превышает $10^5 - 10^6$ циклов и 10^6 для композитных материалов.

Необходимо отметить, что между малоцикловой и многоцикловой усталостью нет четко выраженной границы. Иными словами, многоцикловая усталость деталей определяется локальными малоцикловыми деформациями в микрообъемах. Процесс зарождения и развития трещины не оказывают значительного влияния на работоспособность изделия до тех пор, пока напряжения в оставшемся опасном сечении не достигнут предела текучести или прочности (для хрупких материалов); разрушение детали при этом происходит внезапно.

Усталостный износ усугубляется наличием абразивной и газовой фазы в нефти. Поток, проходя сквозь колонны штанг, микрошлифует поверхность металла, тем самым создавая концентраторы напряжений. Далее, в результате коррозии или наличием концентраторов напряжений ускоряется наработка на отказ штанги.

На обрывы в резьбе также влияет крутящий момент, прилагаемый при затяжке резьбы во время спуска штанг в скважину. Оптимальный крутящий момент для штанг диаметрами 16, 19, 22 и 25 мм равен соответственно 0,3;

0,5; 0,7 и 1,05 кН*м.

Ниже приведена таблица отказа насосных штанг на 10 скважинах. Причина на всех 10 скважинах – обрыв штанги.

Таблица 2.2 – Анализ отказов насосных штанг

№	Глубина подвески, м	Диаметр штанги, мм	Наработка, 10 ⁶ циклов	Глубина обрыва	Причина	Место излома
1	992	22	12	610	Усталостный износ	По телу
3	1221	22	0,9	910	Некачественный заворот штанг	В муфте
4	1110	22	0,3	720	Превышение приведенных напряжений	По телу
5	1540	22	4,7	210	Усталостный износ	По телу
6	1003	22	2,1	321	Усталостный износ	По телу
7	1432	22	3,2	521	Усталостный износ	По телу
8	1320	22	9	648	Усталостный износ	По телу

Как видно из таблицы, основная причина обрыва штанг связана с усталостным износом.



Рисунок 2.2.4 - Хрупкий излом полой насосной штанги

Кроме указанных, в процессе эксплуатации появляются и другие существенные причины, приводящие к образованию усталостных трещин в материале насосной штанги:

- наличие на поверхности штанг механических повреждений от ударов

металлическими предметами (на дне полученных рисков создаются концентраторы напряжений, способствующие развитию трещин);

- продольный изгиб тела штанг низа колонны (при этом возможен значительный изгиб тела штанги вследствие наличия механического контакта с внутренней поверхностью (НКТ));

- уменьшение сечения тела штанги вследствие ее износа в искривленных или наклонно направленных скважинах;

- пластическая деформация тела штанги;

- появление перенапряжений в поверхностном слое металла из-за изгиба штанги при транспортировке или спускоподъемных операциях;

- длительный циклический характер действия растягивающих, сжимающих усилий от статических (веса насосных штанг и жидкости), динамических (инерционных, вибрационных) нагрузок;

- коррозионная активность добываемой жидкости (откачиваемые жидкости и газы, в особенности водный раствор сероводорода).

2.3 Эксплуатационные условия. Основные требования к материалу насосной штанги

Эксплуатационные требования имеют первостепенное значение. Для того, чтобы обеспечить работоспособность штанги плунжерного насоса в условиях материал должен иметь высокие показатели конструкционной прочности: критерии прочности, жесткости, надежности и долговечности. К материалам из которого изготовлена штанга глубинного плунжерного насоса работающая в условиях высокой запескованности флюида, предъявляют высокие показатели конструкционной прочности. При работе штанга глубинного плунжерного насоса испытывает длительные циклические нагрузки.

Итого, критериями прочности являются предел выносливости $\sigma_R =$ не менее 450 МПа, временное сопротивление $\sigma_b =$ не менее 950 МПа, предел текучести $\sigma_{0,2} =$ не менее 800 МПа, соответствие классу.

Материал, работающий в условиях скважинной добычи нефти должен иметь модуль упругости примерно 210 ГПа [7]. Для предупреждения хрупкого разрушения материалы работающие в условиях высокой химической активности должны обладать достаточной пластичностью $\delta = 10\%$ $\psi =$ не менее 50 % и ударной вязкостью $KCU =$ не менее 0,7 МДж/м². Критерием надежности при использовании штанги глубинного плунжерного насоса является ударная вязкость и трещиностойкость. Большое внимание при добычи нефти надо уделить коррозии. Степень коррозионного воздействия нефтепромысловых сред на стальное оборудование зависит от физико-химических свойств среды и корродирующего металла, содержания агрессивных компонентов в среде, избирательного смачивания металлической поверхности той или иной коррозионной среды, условий

эксплуатации скважин, трубопроводов, установок по подготовке нефти, нефтяного газа, сточных вод и др.

Коррозионный процесс разрушения металлов в нефтепромысловых средах протекает в водных растворах солей по электрохимическому механизму.



Рисунок 2.3 - Коррозия стальных штанг

Определяющим коррозионным фактором в этих системах является наличие основных деполяризующих агентов (O_2 , CO_2 , H_2S),

Участвующих непосредственно в коррозионном процессе или оказывающих стимулирующее влияние на электродные реакции электрохимического процесса разрушение металла. К основным коррозионно-активным агентам относятся сероводород, кислород, двуокись углерода, низкомолекулярные органические кислоты.

Во время двойного хода (цикла) нагрузка на штанги переменна, поэтому при расчете штанг на прочность исходят не из максимальных напряжений, определяющих статическую прочность, а из «приведенного» напряжения, учитывающего циклический характер приложения нагрузки.

Неблагоприятные факторы, действующие на насосную штангу в скважине:

- Циклические знакопеременные нагрузки: напряжения изгиба, растяжения, кручения, сжатия и трения. Все эти виды нагрузок действуют на насосные штанги при работе их в скважине постоянно и в комплексе;

- Осложненные условия добычи нефти в скважине, связанные с искривленностью ствола скважины, наличием песка, асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), высокого газового фактора, высокой температуры и давления;

- Наличие и постоянный рост коррозионной активности добываемой жидкости с присутствием в попутно добываемой воде ионов солей, щелочей, кислот, а также ионов водорода, который повышает хрупкость металла. Все эти элементы за годы эксплуатации ШН в скважине путем диффузии проникают во внутреннюю структуру металла и разрушают ее, вытесняя и замещая элементы на атомном и молекулярном уровне, понижают прочностные свойства штанги, ускоряя процесс старения металла

Делая вывод из вышеперечисленного, можно сказать о том, что условия работы, в которой работает насосная штанга, является осложненным связи с действующими на штангу знакопеременными нагрузками

Связи с этим, учитывая все нагрузки, действующие на штангу, можно спрогнозировать ресурс наработки на отказ штангового оборудования. При этом, максимальная нагрузка на штангу действует в самой нижней точке подвеса штанги.

3 Конструкция насосных штанг. Методика расчета приведенного напряжения

3.1 Основные характеристики насосных штанг

Основным характеристиком насосных штанг является диаметр по телу штанги d_0 и прочностная характеристика штанги - величина приведенного допускаемого напряжения $[\sigma_{пр}]$.

Штанги выпускают диаметром 16, 19, 22, 25, а также 29 мм, а допускаемое напряжение для наиболее широко распространенных марок сталей, составляет 70...130 МПа.

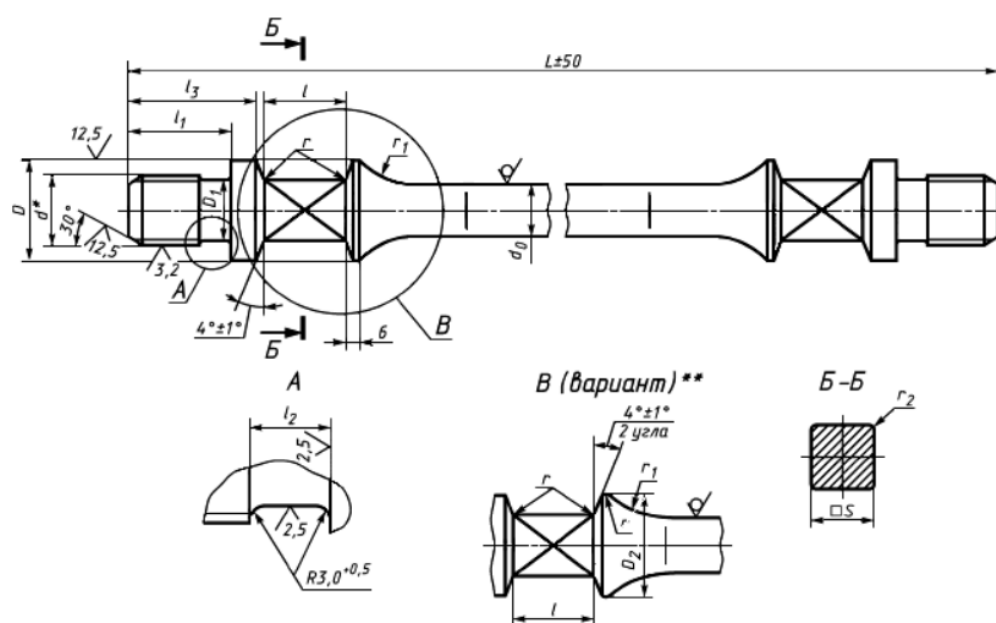


Рисунок 3.1 - Основные характеристики насосных штанг

Указанные величины по сравнению с аналогичными прочностными показателями сталей, применяемых в машиностроении, ниже и определяются условиями работы колонны штанг - циклическим нагружением в коррозионно-активной среде, ускоряющей процесс усталостного разрушения штанг

Муфты для соединения штанг чаще всего изготавливаются из углеродистой стали 40 и стали 45. Возможно также изготовление муфт из легированной стали 20Н2М для применения в тяжелых условиях эксплуатации [8]. Для увеличения долговечности штанг, уменьшения воздействия на них коррозионной среды (пластовой жидкости) они подвергаются термической обработке и упрочнению поверхностного слоя металла.

Наиболее часто используются следующие виды термической

обработки: нормализация, объемная закалка и закалка ТВЧ. Поверхностное упрочнение создается посредством дробеструйной обработки или обкатки роликами, это необходимо для создания сжимающих напряжений в поверхностном слое материала. Для регулирования положения плунжера относительно цилиндра скважинного насоса применяются штанги - «метровки» длиной от 450 до 3660 мм. Длина обычной штанги может быть 7620 (7518), 8000, 9140 (9042) мм.[4] Особенностью изготовления насосных штанг является накатка резьбы. В зависимости от условий работы штанги могут быть изготовлены из сталей следующих марок [4]:

- для легких условий работы - из стали 40, нормализованные, группа С по Spec API 11В;

- для средних и среднетяжелых условий работы - из стали 20НМ, нормализованные, группа К по Spec API 11В; 42

- для тяжелых условий работы - из стали марки 40, нормализованные с последующим поверхностным упрочнением тела штанги по всей длине токами высокой частоты (ТВЧ) и из стали 30ХМА, нормализованные с последующим высоким отпуском и упрочнением тела штанги по всей длине ТВЧ, группа D по Spec API 11В;

- для особо тяжелых условий работы - из стали 20НМ, нормализованные с последующим упрочнением штанги ТВЧ, группа DS по Spec API 11В.

3.1.2 Полые насосные штанги

Полая насосная штанга изготавливаются из стальных бесшовных труб методомковки или сварки трением или из полимерных материалов. Он имеет полый канал для извлечения тяжелой и высокопарафинистой нефти

Полые насосные штанги используют для отбора продукции при одновременно-раздельной эксплуатации пластов, а также при необходимости подъема пластовой жидкости с повышенной скоростью, например, для предотвращения образования песчаных пробок. Конструкции полых штанг могут быть как с приваренной головкой, так и с головкой, изготовленной заодно со штангой, и иметь либо накатанную, либо нарезанную резьбу для соединения штанг муфтами.

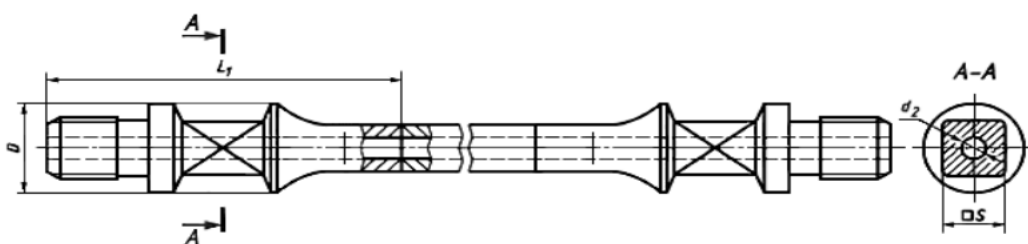


Рисунок 2.1.2 - Полая насосная штанга

В настоящее время разработаны конструкции полых насосных штанг с наружным диаметром тела от 27 мм до 48 мм, внутренним от 19 мм до 35 мм. Материалы - сталь 45 или 35. Поверхность штанг обрабатывается ТВЧ и имеет твердость HRC 48...53.

3.2 Композитные насосные штанги

Основа КНШ, изготовленные методом пултрузии, это стержни на основе наномодифицированной полиуретановой матрицы со стеклокомпозитным армирующим наполнителем. Пултрузия – метод изготовления труб из композитного материала, полученная путем непрерывной вытяжки через нагретую фильеру стекломатериала, которая пропитана термореактивной смолой. Насосная штанга из композитного материала содержит от 45 до 75% наполнителя. Наполнителем является Е-стекло. Е-стекло это комплекс боро-алюмо-силикатное стекло, содержащая не менее 3% щелочных элементов.

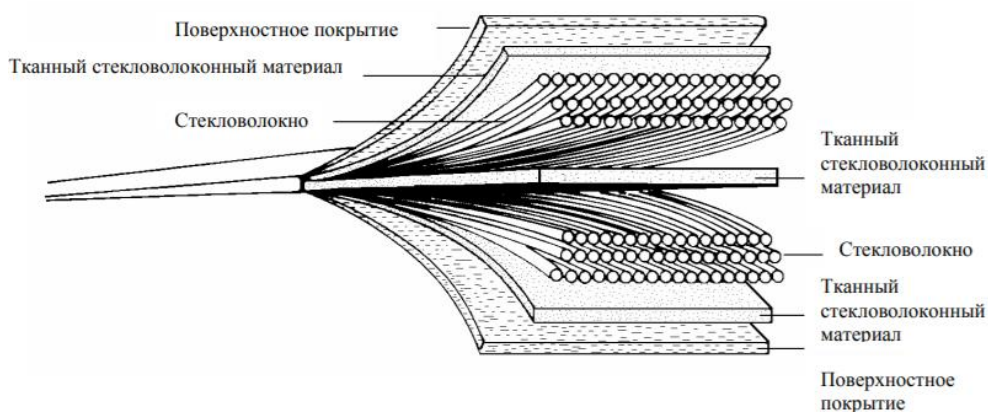


Рисунок 3.2.1 - Структура композитного материала

Из данного стекла получают тончайшие нити большой длины с толщиной около 10мкм. В такой форме стекло имеет большую прочность, имеет высокое сопротивление на сжатие и растяжение

Стекловолокна также могут выпускаться в дискретном (штапельном) виде. Также исходный стеклянный ровинг может быть переработан путём резки, рубки или разрывного штапельирования в дискретные (штапельные) волокна со штапельной длиной 0,1 (микроволокно) — 50 см, титр волокна в данном случае, как правило, ниже, чем филаментных нитей и соответствует диаметру 0,1—20 мкм.

По внешнему виду непрерывное стекловолокно напоминает нити натурального или искусственного шёлка, а штапельное — короткие волокна хлопка или шерсти.

Таблица 3.1 Типовые свойства стекловолокна

Свойство	Е-стекло
Плотность, мг/м ³	2.7
Модуль упругости при растяжении, ГПа	3.5
Предел прочности при растяжении, ГПа	10.4
Удлинение до разрыва, %	4.9

В качестве связующего вещества используют огнеупорные и коррозионностойкие смолы класса полиэстирол или винилэстирол.

Таблица 3.2 Типовые свойства смол

Свойство	Полиэстирол	Винилэстирол
Предел прочности при растяжении, МПа	76.5	180.4
Предел прочности при изгибе, МПа	121.6	135.9
Модуль упругости при изгибе, ГПа	3.1	3.8
Предел прочности при срезе, МПа	32.0	38.1
Удлинение %	4.6	5

Основные преимущества КНШ перед традиционными стальными насосными штангами определяются физико-механическими отличиями применяемого композитного материала от стали:

- плотность в 4 раза меньше (2000 / 7850 кг/м³);
- модуль упругости в 3 раза ниже (70000 / 210000 МПа);
- коэффициент шероховатости в 20 раз меньше (0,0015 / 0,03);
- высокая коррозионная стойкость;
- отсутствие пластических деформаций.

Гарантийный срок эксплуатации КНШ составляет 12 месяцев, а количество базовых циклов при вероятности безотказной работы не менее 0.995 7.5 млн.

Применение КНШ в составе колонны насосных штанг обеспечивает:

- снижение общего веса штанговой колонны; сокращение амплитудных и динамических нагрузок; увеличение в 5 - 6 раз срока безаварийной эксплуатации, в том числе в высоко коррозионных средах;
- снижение максимальной нагрузки на головку балансира при ходе вверх штанговой колонны; возможность углубления подвески штангового глубинного насоса до 3000 м и более;
- сокращение затрат на борьбу с АСПО;
- уменьшение энергоемкости наземного оборудования снижение затрат на электрическую энергию.

В основе композитных насосных штанг находится стержень, представляющий тело штанги. По его концам вклеены металлические

головки-оконцеватели, а по телу – полимерные центраторы.

К основным преимуществам стеклопластиковых штанг перед стальными следует отнести их низкую плотность и шероховатость, большую прочность на разрыв и высокую коррозионную стойкость.

3.2.1 Особенности эксплуатации композитных насосных штанг

Применение композитного скважинного оборудования имеет ряд преимуществ перед стальными:

- устойчивость против коррозии в сильноагрессивной среде;
- композитный материал в четыре раза легче стали;
- применение композитных штанг позволяет снижать максимальную нагрузку на головку балансира СК около 1,5 т на каждые 1000 м подвески;
- значительно снижаются динамические нагрузки;
- высокая устойчивость против отложений парафина и солей;
- потребление электроэнергии в среднем на 15% меньше, чем при применении стальных штанг.

3.3 Цикличность изменения нагрузок в насосных штангах, возникающих при работе насоса

Рассматривая цикл действия штангового насоса, Вирновский А.С. [8] выделил четыре периода:

1. Период нагружения штанг весом жидкости, находящимся под уровнем плунжера насоса, при движении полированного штока вверх, названный периодом начальной деформации. В этот момент плунжер неподвижен относительно цилиндра, так как любое расхождение, это или начало, или конец процесса нагружения штанг весом жидкости. В этот момент возникают свободные колебания штанговой колонны, клапана закрыты.

2. Период движения плунжера вверх, открывается всасывающий клапан и жидкость начинает поступать в зону под плунжером, а находящаяся под плунжером частично поступает в зону над плунжером, и выходит на поверхность. Колебания колонны продолжаются под действием упругости столба жидкости и трения [88], к концу периода колебания затухают и становятся незначительными.

3. Период разгрузки штанг и период нагружения труб весом жидкости, находящейся в зоне над плунжером – иначе период обратной деформации, клапаны закрыты, возникают свободные колебания штанговой колонны.

4. Период движения плунжера вниз при затухающих колебаниях, в начале периода закрывается всасывающий клапан и открывается нагнетательный, плунжер погружается под уровень жидкости и вытесняет часть жидкости на поверхность в выкидной коллектор.

Делаем вывод, что цикл в процессе работы повторяется многократно. Этим и обуславливается возникновение переменных по величине нагрузок в одном сечении. Поэтому при подборе насосных штанг нельзя руководствоваться только максимальными напряжениями при выборе материала изготовления штанг, а необходимо пользоваться таким параметром как приведенные напряжения.

Делаем вывод, что цикл в процессе работы повторяется многократно. Этим и обуславливается возникновение переменных по величине нагрузок в одном сечении. Поэтому при подборе насосных штанг нельзя руководствоваться только максимальными напряжениями при выборе материала изготовления штанг, а необходимо пользоваться таким параметром как приведенные напряжения.

3.4 Приведенное напряжение

Приведенное напряжение — напряжение, которое возникает в растянутом образце при условии, что его прочность одинакова с прочностью образца, находящегося в условиях сложного напряженного состояния. Иными словами, это перенос всех действующих нагрузок в одну плоскость, при соблюдении условия прочности.

Так как невозможно учесть все возникающие в процессе эксплуатации нагрузок, то при подборе колонны штанг задаются приведенным напряжением.

Для определения приведенных напряжений в настоящее время пользуются следующими работами.

Зависимость Одингга И.А:

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_{max} \cdot \sigma_a} \quad (3.1)$$

σ_a -амплитуда напряжений цикла, Мпа

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (3.2)$$

σ_{max} - максимальное напряжение за цикл

Наиболее распространенная зависимость, в настоящее время по ней чаще всего ведется подбор штанговых колонн. Подтверждена многочисленными лабораторными и промышленными данными

Зависимость Марковца М.П:

$$\sigma_{пр} = \sigma_a + 0,33d \quad (3.3)$$

Зависимость очень похожа на предыдущую, однако в данной формуле

был введен коэффициент, учитывающий свойства материалов.

Зависимость Серенсена-Кинасошвили:

$$\sigma_{\text{пр}} = \sigma_a \cdot \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0} \cdot \sigma_m = \sigma_a + \varphi_B \sigma_m \quad (3.4)$$

$\varphi_B = 0,1 - 0,2$ для углеродистых сталей

$\varphi_B = 0,2 - 0,3$ для композитных материалов

Введены коэффициенты, которые учитывают материал изготовления деталей (углеродистая сталь или композитный материал).

Зависимость Гудмана:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} = 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_b} \rightarrow \frac{\sigma_{\text{пр}} - \sigma_m}{\sigma_{-1}} = 1 - \frac{\sigma_{\text{пр}} - \sigma_m}{\sigma_b}, \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{\sigma_{-1} \cdot \sigma_b \cdot \sigma_{-1} \cdot \sigma_a + \sigma_m \cdot \sigma_b}{\sigma_{-1} + \sigma_b}. \quad (3.6)$$

Получила широкое распространение в Американской практике. В зависимости учтен коэффициент, который позволяет подобрать штанги с учетом всех действующих нагрузок, но с большим коэффициентом запаса, из-за которого масса колонны увеличивается.

Предлагаю ввести новый коэффициент $k_{\text{нп}}$, учитывающий непостоянство проходного сечения стальной и композитной насосной штанги.

По расчету было выявлено, что величина непостоянства проходного сечения $K_{\text{нп}} = 0,76$ для стальной насосной штанги, и $K_{\text{нп}} = 0,91$ для композитной насосной штанги.

3.5 Модернизация методики подбора полых насосных штанг

Анализа методик расчета Одинга И.А., Марковца М.П., Серенсена-Кинасошвили, Гудмана, диаграммы Смита, показал, что методика расчета приведенного напряжения Одинга И.А не учитывает конструктивные особенности насосных штанг.

Предлагаю, на основе проведенного анализа учесть факторы, которые оказывают влияние на наработку колонны насосных штанг.

В результате анализа влияния факторов предложено ввести поправочный коэффициент, учитывающего конструктивные особенности полых насосных штанг, а также учесть свойства материала из которого они изготовлены.

Предлагаю ввести новый коэффициент $k_{\text{нп}}$, учитывающий непостоянство проходного сечения полых насосной трубы:

$$\sigma_{\text{пр}} = k_{\text{нп}} \cdot \sqrt{\sigma_a \cdot \sigma_{\text{max}}} \quad (3.7)$$

Исходя из конструктивных особенностей полой насосной штанги, формула будет иметь следующий вид:

$$k_{\text{нп}} = \varphi_d = \frac{2}{z+1,75} \cdot \varepsilon \quad (3.8)$$

где, d - диаметр наружного цилиндра, мм;
 τ – толщина стенки цилиндра, мм;
 z – коэффициент, определяющий отношение внутреннего диаметра к зоне его влияния;

ε – коэффициент качество поверхности детали:

для стали 45, обработанный методом ТВЧ, $\varepsilon = 0,91$;

для композитного материала Fiberglass, $\varepsilon = 1,85$.

Коэффициент Z находят по формуле:

$$z = \frac{d}{\sqrt{D \cdot \tau}} \quad (3.9)$$

По расчету было выявлено, что величина непостоянства проходного сечения равна $K_{\text{нп}} = 0,76$ для стальной насосной штанги, и $K_{\text{нп}} = 0,91$ для насосной штанги из композитного материала.

3.6 Расчет на прочность колонны композитных штанг

В самой нижней точке подвеса имеет место быть максимальным нагрузкам, действующих на колонну штанг. Для определения приведенного напряжения проведем расчет на прочность для КНШ

Таблица 3.3 – Исходные данные для расчета колонны насосных штанг

Параметр	Величина	Ед. измерения в СИ
Плотность жидкости, ρ_g	850	кг/м ³
Глубина подвески насоса, $H_{\text{нас}}$	615	м
Диаметр штанг, $d_{\text{шт}}$	0,022	м
Диаметр НКТ, $d_{\text{нкт}}$	0,062	м
Средняя масса 1м колонны стальных штанг, $m_{\text{ст}}$	2,35	кг
Средняя масса 1м колонны СПНШ, $m_{\text{спнш}}$	1,05	кг
Диаметр плунжера, $d_{\text{пл}}$	0,032	м

При работе насосной штанги, в условиях искривленной скважины, на колонну штанговых труб действуют продольные, изгибающие и поперечные

нагрузки, архимедова сила. Изгиб происходит под действием поперечных сил на контакте муфтовой части с НКТ. При этом возникает сила осевого перемещения колонны штанг.

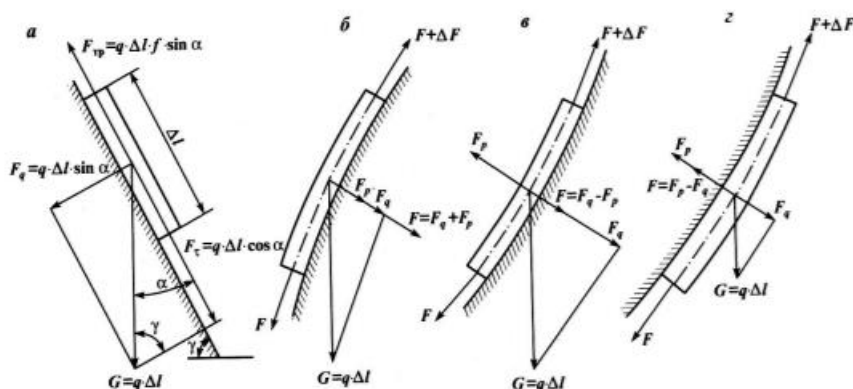


Рисунок 3.6.1 – силы, действующие на колонну штанг

Из представленного рисунка выше видно, что силы складываются из прижимающей силы, который зависит от падения зенитного угла, а также из силы трения, возникающая при соприкасание колонны с НКТ.

Силы трения состоят из сил:

- механического трения колонны штанг и труб, особенно в наклонных и искривленных скважинах;
- трения плунжера о стенки цилиндра;
- гидродинамического трения штанг в жидкости;
- гидравлического сопротивления в нагнетательном клапане;
- гидравлического сопротивления (трения) при движении жидкости в трубах.

Эти силы незначительные по сравнению с весом штанг, поэтому при расчете нагрузок ими можно пренебречь.

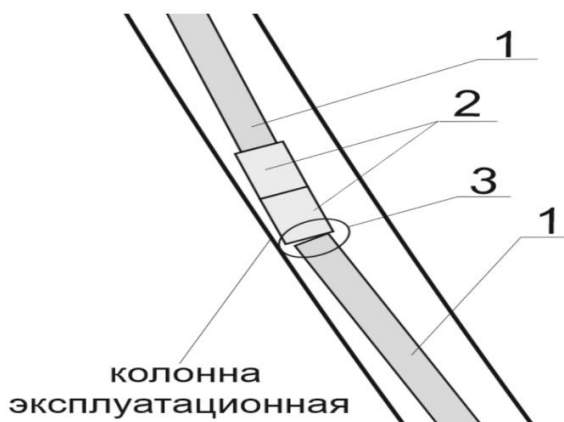


Рисунок 3.6.2 - Характер хрупкого излома в искривленной скважине

Циклически возникающий изгибающий момент приводит к усталостному износу материала штангового насоса и в результате чего происходит хрупкий излом (чаще всего у шейки места под ключ).

Нагрузка, возникающая в искривленной скважине, высчитывают в зависимости от трения:

$$F_{\text{тр}} = q \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha \cdot f \quad (3.10)$$

где, q – вес 1 метра жидкости, при $\rho = 850$ и $S_{\text{НКТ}} = 0,062$, $q = 51$;

α = зенитный угол, при $h = 600$ м град, $\alpha = 87$;

f = коэффициент трения труб о НКТ, для СТ 45 $f = 0,8$, для композитного материала $f = 0,15$.

При этом, нагрузка на любом из участков будет составлять $G = q \cdot \Delta l$. Следовательно, осевая составляющая веса труб будет:

$$F_{\tau} = q \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha \quad (3.11)$$

Суммарную нагрузку на колонну штанг определяют по формуле:

$$\sum P_{\text{ш}} = F_{\tau} \cdot F_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{ш}} \cdot g \cdot 0,785 \cdot d^2 \quad (3.12)$$

В результате расчетов было выявлено, что общая нагрузка, действующая на штангу равна 35кН на стальную колонну штанг и 22кН на колонну композитных насосных штанг. Соответственно изгибающий момент для колонны штанг из стали и композитного материала равно 8500 Н·м² и 5500 Н·м² соответственно.

Для определения напряжений, действующих в точке подвеса штанг, воспользуемся следующими формулами:

Амплитуда напряжения по формуле:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{a_0}{2} \cdot \frac{D^2}{d^2} \cdot \frac{\Delta p}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} + m_{\text{ср}} + \rho_{\text{ш}} \cdot \frac{w^2 \cdot S_A}{2} \cdot x \quad (3.13)$$

где, a_0 – опытный коэффициент, имеющий размерность удельного веса, учитывающий плотность жидкости, трение и моменты в искривленной скважине, которая не поддается аналитике. Его принимают равным 11500 Н/м³;

x - расстояние от рассчитываемого сечения до плунжера;

D – диаметр плунжера;

d – диаметр штанги;

ΔP – перепад давления над плунжером;

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность флюида;

$m_{\text{ср}}$ - средний кинематический показатель совершенства.

$$m_{cp} = \frac{m_{xв} + m_{xн}}{2} \quad (3.14)$$

где, $m_{xв}$ – кинематический показатель при ходе вверх;

$m_{xн}$ – кинематический показатель при ходе вниз.

Среднее напряжение в штангах:

$$\sigma_{cp} = \left[\frac{D^2}{2 \cdot d^2} - 1 \right] \cdot \Delta P + \rho_{ш} \cdot g \cdot x \quad (3.15)$$

Максимальное напряжение:

$$\sigma_{max} = \sigma_{cp} + \sigma_a \quad (3.16)$$

Приведенное напряжение:

$$\sigma_{пр} = k_{шп} \cdot \sqrt{\sigma_a \cdot \sigma_{max}} \quad (3.17)$$

Таблица 3.4 – приведенные напряжения для скважины 302 Айранкольского месторождения

Параметр	ШНП 22	ШНС 22	Ед. изм.
σ_a	43	39,6	МПа
σ_{cp}	111	81,9	МПа
σ_{max}	154	121,5	МПа
$\sigma_{пр}$	81,3	69,2	МПа

Так как по предельно допустимым приведенным напряжениям для стеклопластика у нас нет значений, то воспользуемся минимальным значением предельно допускаемых приведенных напряжений для стали марки 40.

Приведенное напряжения для ст40 $\sigma_{пр} = 75$ МПа

4 Численный и компьютерный эксперимент со стальными и композитными полыми насосными штангами

4.1 Испытательный стенд для циклического нагружения насосной штанги

Объектом испытаний являются натурные образцы полых насосных изготовленных из стали или с применением композитных материалов. В основе методики лежат испытания натурных образцов укороченных насосных штанг длиной 815-1020 мм, который тестируется в пределах наиболее опасного участка, с точки зрения разрушения, а именно в месте высадки. Определение характеристик сопротивления усталости проводят на стендовой установке, изготовленной в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, которая обеспечивает консольное нагружение при поперечном изгибе с вращением натуральных образцов при симметричном цикле нагружения.

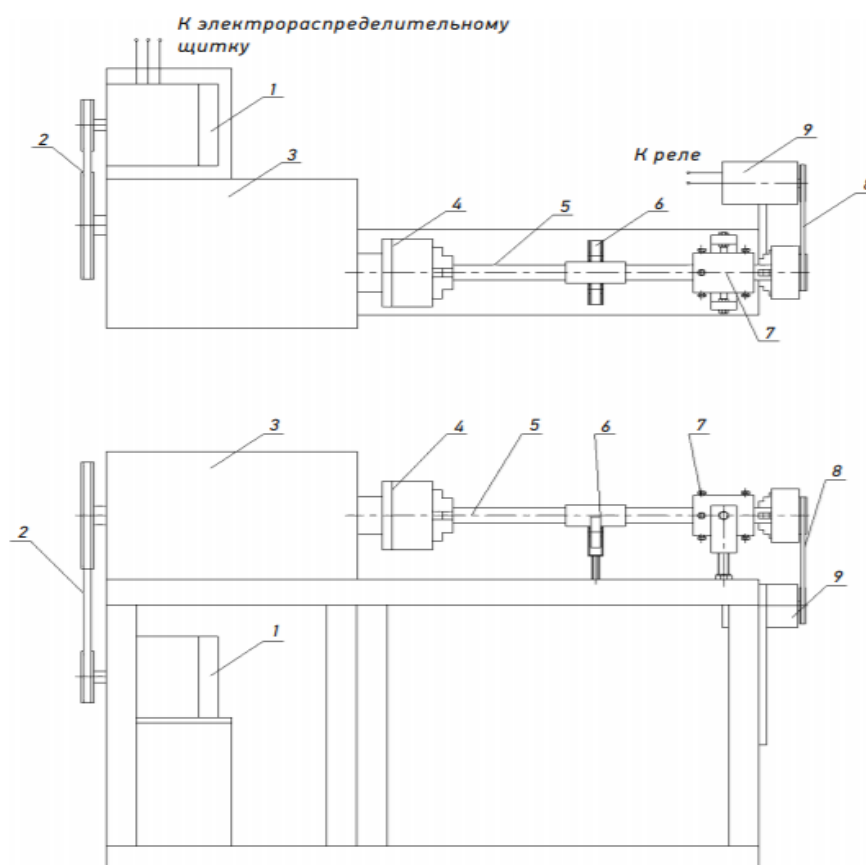


Рисунок 4.1.1- Стенд для испытания на усталость

Этот стенд, разработанный РНИУ им. Губкина, предназначен для иммитации нагрузок, действующих на штангу в искривленной скважине. Стенд состоит из двух электродвигателей с ременной передачей. Насосная

штанга закрепляется в патроне консольно с двух сторон и настраивают толкатель с роликами для создания поперечного изгиба

4.2 Моделирование испытательного стенда в САПР Solidworks

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks были созданы модели натуральных образцов полых насосных штанг. В качестве эксперимента была взята насосная труба укороченного типоразмера.

- полые насосные штанги ШНП 22 из конструкционной стали 45,
 - полая насосная штанга ШНС 22, с телом штанги из стеклопластика
- Модели были созданы в виде натурального образца насосной штанги.



Рисунок 4.2.1 - 3D модель ШНП22 СТ45.



Рисунок 4.2.2 - 3D модель ШНС22.

Укороченные модели штанг (стального и композитного) выполнены в соответствии с межгосударственным стандартом 31825-2012

Особенности свойств материала изготовления были отражены при проведении компьютерного эксперимента для стали 45 и композитного материала:

Таблица 4.1 Свойства материалов насосных штанг

Свойство	Сталь 45	Композитный материал	Единица измерения в СИ
Модуль упругости	$2,1 \cdot 10^{11}$	$8,8 \cdot 10^{10}$	н/м ²
Коэффициент Пуассона	0,28	0,35	
Модуль сдвига	$7,9 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	н/м ²
Массовая плотность	7800	2900	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	$4,5 \cdot 10^8$	$2,269 \cdot 10^9$	н/м ²
Предел прочности при сжатии		$2,269 \cdot 10^9$	н/м ²
Предел текучести	$2,75 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^9$	н/м ²
Коэффициент теплового расширения	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$15,7 \cdot 10^{-6}$	/к
Теплопроводность	14	$45 \cdot 10^{-3}$	Вт/(м·К)
Удельная теплоемкость	440	800	Дж/(кг·К)

После проведенных настроек была создана модель процесса

нагружения натурального образца на стенде. Для этого, на галтельную часть (в месте возможного соприкосновения с НКТ) была приложена нагрузка в 3000 Н для полой насосной штанги из стали, и 2400 Н для штанги из композитного материала.

Результаты компьютерного моделирования в САПР Solidworks Simulation показаны рисунками ниже. На рисунке видно эпюры возникновения напряжений. Анализируя полученные результаты, можно сказать о том, что при работе штангового глубинного насосной установки с колонной насосных штанг из стали в условиях искривленной скважины, стальные штанги испытывают большее напряжения связи с низким, в отличие от композитных насосных штанг, пределом прочности на растяжения и сжатие.

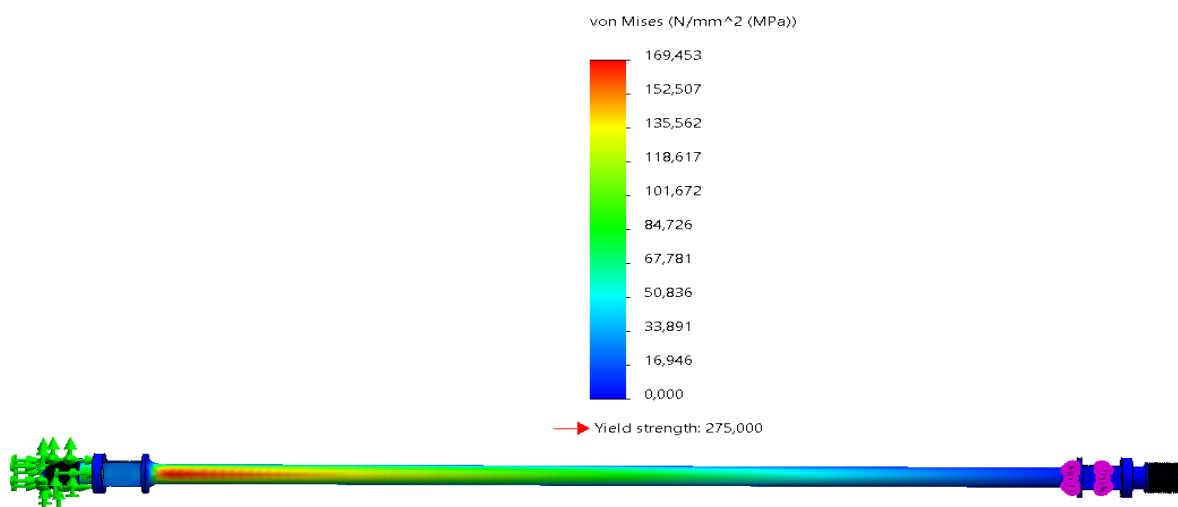


Рисунок 4.2.1 - Напряжение, возникающая в НО ШНП 22

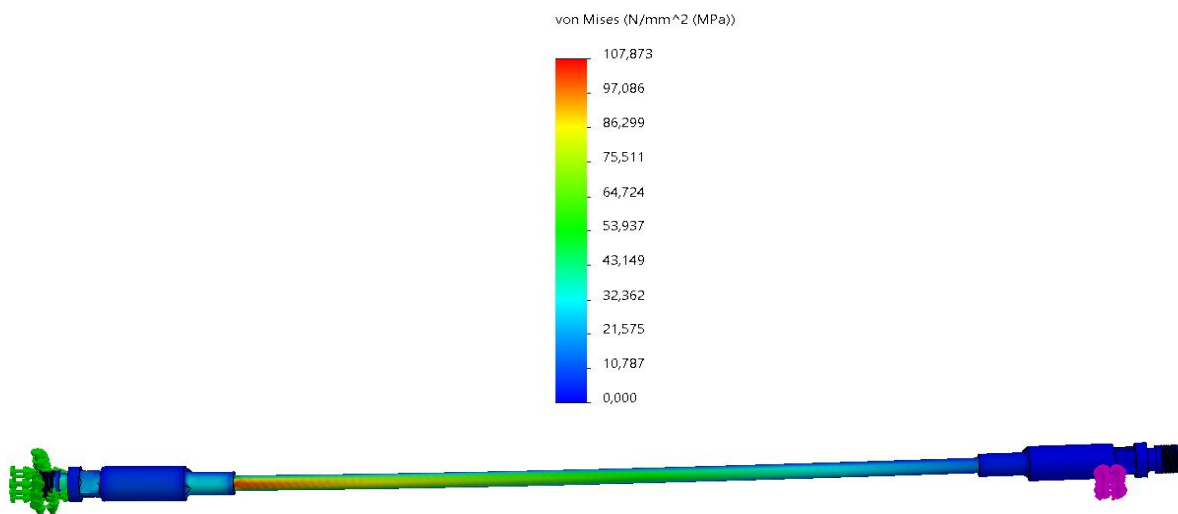


Рисунок 4.2.2 - Напряжение, возникающая в НО ШНС 22

Данный расчет был произведен для того, чтобы выявить максимальные напряжения, которые будут возникать в штанге при нагружении в условиях работы в искривленной скважине.

Чтобы получить данные по наработке необходимо в пакете SolidWorks Simulation провести расчет на усталость. Базу циклов примем равной 10 млн. циклов. Цикл выбираем симметричный. В параметрах к симуляции, добавляем влияние вибрации.

Из модуля упругости материала, строим кривую выносливости для насосных штанг.

Полученные кривые характеризуют теоретический ресурс изделия в зависимости от модуля упругости материала.

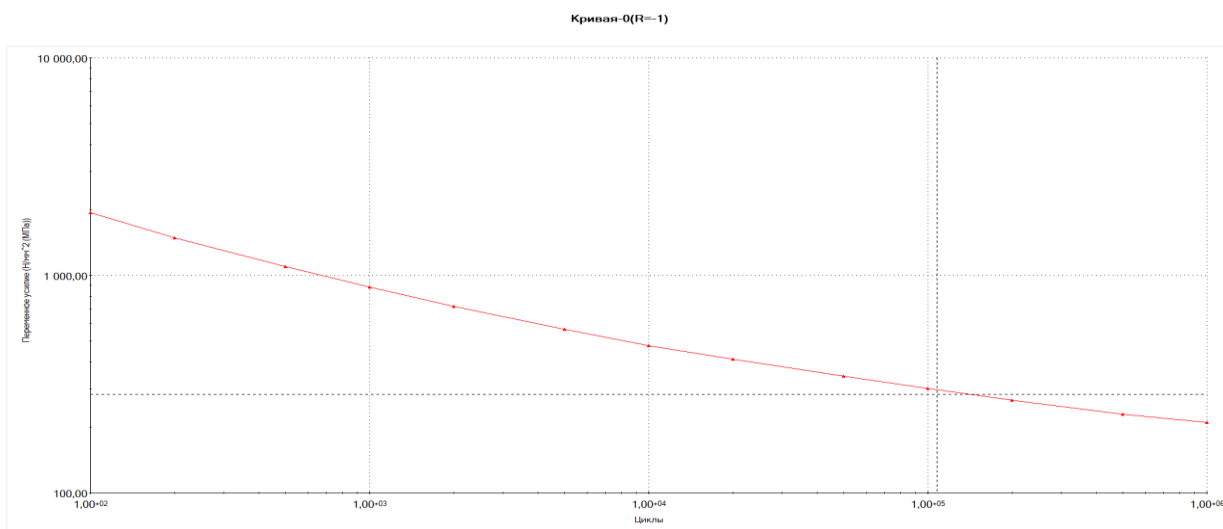


Рисунок 4.2.3 - Кривая выносливости для ШНП 22

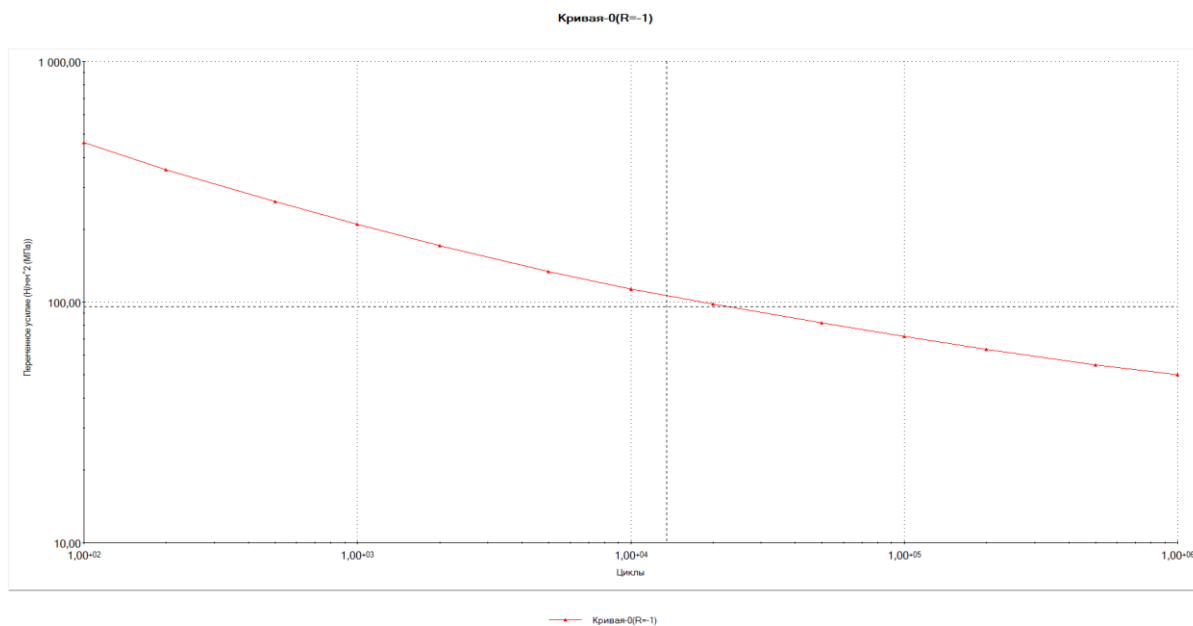


Рисунок 4.2.4 - Кривая выносливости для ШНС 22

В САПР Solidworks, на основе заданных параметров, было смоделировано испытание со знакопеременной нагрузкой с симметричным циклом в 10млн. Моделирование показало, что ресурс полых штанги из композитного материала в два раза больше, чем у полых штанг из стали. Измерения моделировалось при симметричных знакопеременных нагрузках, осложненный вибрациями, возникающих при работе в искривленной скважине.

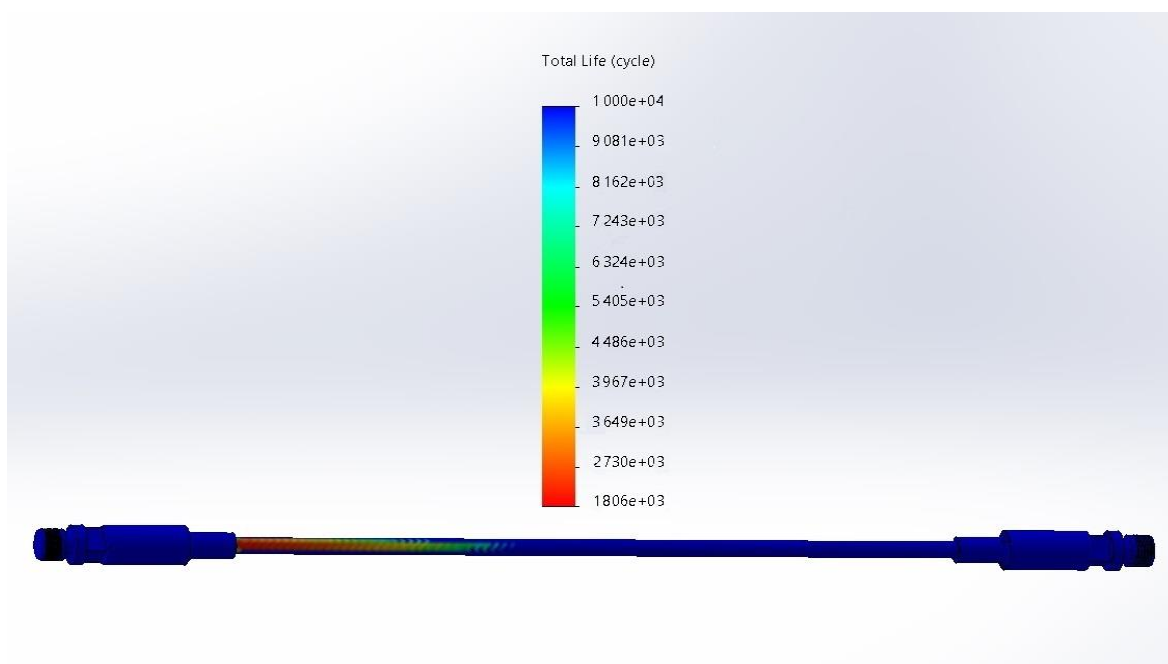


Рисунок 4.2.5 - Моделирование усталостного разрушения ШНС 22

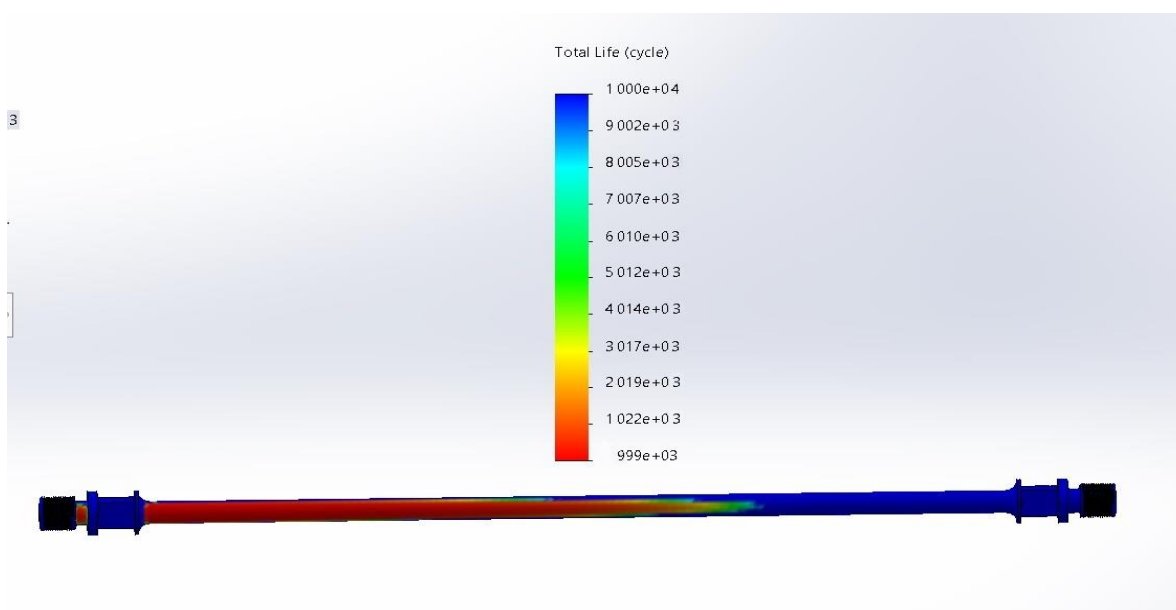


Рисунок 4.2.6 - Моделирование усталостного разрушения ШНП 22

Для проверки адекватности представленной модели, я предлагаю провести расчеты в системе MathCAD на наработку на отказ. Для этого, на основе трудов Дубинова Ю.С была спроектирована программа, в которой была написана функция, возвращающая результат наработки на отказ на основе 10 миллионов симметричных циклов.

4.3 Введение полученных величин напряжения в программу для математического моделирования MatchCAD

Для проверки достоверности полученных данных в САПР Solidworks, введем данные в математическую модель. Эта математическая модель была разработана Дубиновым Ю.С для полых насосных штанг, работающих в условиях искривленной скважины. Для моделирования процесса берем самые высокие напряжения в результате приложенной нагрузки и соответствующая к нему долговечность. Эти данные вносим в матрицу $V\sigma$ и VN .

Обозначения:

σ - напряжения, на которых проводились испытания, МПа;

σ_n – начальные напряжения, МПа;

σ_k – конечные напряжения, МПа;

σ_t – шаг напряжений, МПа;

σ_{-1} – предел выносливости, МПа;

$\sigma_{50_{-1}}$ – предел выносливости, соответствующий 50% вероятности разрушения, МПа;

$S\sigma_{-1}$ – среднеквадратичное отклонение;

σ_{-1P} – предел выносливости, соответствующий вероятностям разрушения, МПа;

N – долговечность на соответствующих уровнях напряжений, циклов;

N_t – долговечность, соответствующая σ_{-1P} , циклов;

N_0 – базовое значение долговечности, циклов;

VN – вектор долговечностей на соответствующих уровнях напряжений;

$V\sigma$ - вектор уровней напряжений, на которых проводились испытания;

m – параметр кривой усталости;

C - параметр кривой усталости.

Функция определения параметров кривой усталости в виде $N\sigma^m=C$

Зависимость напряжения от цикла изменяется в широких пределах. Из-за этого кривые усталости строят в полулогарифмических или логарифмических координатах.

Для этого в системе автоматического проектирования MathCAD был создан простой цикл, который, учитывая все входные параметры, симитровал стенд для циклического нагружения штанги.

Для построения кривых распределения долговечности и пределов выносливости, оценки средних значений и средних квадратических

отклонений, а также построения семейства кривых усталости по параметру вероятности разрушения результаты испытаний подвергают статистической обработке по справочным данным.

Значения напряжений и долговечности брались из результата компьютерного моделирования.

В результате математическая модель имеет следующие данные.

В основе расчета лежит диапазон максимальных и минимальных напряжений, полученных в программе Solidworks Simulation.

Симметричный цикл нагружения при $N_0=10$ млн. циклов. Предел текучести для СТ 45 по полученным в результате расчетов $\sigma=275$ МПа.

Входные данные для матрицы напряжений V_σ и долговечностей V_N

$$V_\sigma := \begin{pmatrix} 84 \\ 101.6 \\ 118.6 \\ 135.5 \\ 152.5 \\ 169.4 \end{pmatrix} \quad V_N := \begin{pmatrix} 5012000 \\ 4014000 \\ 3017000 \\ 2019000 \\ 1022000 \\ 999000 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} m \\ c \\ \sigma \end{pmatrix} := \text{pr}(V_\sigma, V_N) \quad (4.1)$$

При данных значения матрицы, параметр кривой усталости для правой и левой части приобретает значение $c = 1.065 \cdot 10^{12}$ и $m = 2.5$.

Функция для определения параметров распределения ограниченных пределов выносливости:

$$R\sigma(\sigma, N, N_0) := \begin{cases} m \leftarrow -\text{slope}(\log(\sigma), \log \\ c \leftarrow 10^{\text{intercept}(\log(\sigma), 1} \\ \sigma_{-1} \leftarrow \left[\sigma \cdot \left(\frac{N}{N_0} \right)^m \right]^{\frac{1}{m}} \\ \sigma_{50_1} \leftarrow \left(\frac{c}{N_0} \right)^{\frac{1}{m}} \\ S\sigma_{-1} \leftarrow \text{Stdev}(\sigma_{-1}) \\ \begin{pmatrix} \sigma_{50_1} \\ S\sigma_{-1} \end{pmatrix} \end{cases} \quad (4.2)$$

Результатом данной функции является получение величин предела выносливости, соответствующий вероятностям разрушения

$$\begin{pmatrix} \sigma_{50_1} \\ S_{\sigma_1} \end{pmatrix} := R_{\sigma}(V_{\sigma}, V_N, N_0) \begin{pmatrix} \sigma_{50_1} \\ S_{\sigma_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 91.6 \\ 6.131 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Функция кривых усталости для различных вероятностей разрушения:

$$N_t(\sigma, N, P, \sigma) := \begin{cases} m \leftarrow -\text{slope}(\log(\sigma), \log(N)) \\ c \leftarrow 10^{\text{intercept}(\log(\sigma), \log(N))} \\ N_0 \leftarrow 10000000 \\ \sigma_{_1} \leftarrow \left[\sigma \cdot \left(\frac{N}{N_0} \right)^{\frac{1}{m}} \right] \\ \sigma_{50_1} \leftarrow \left(\frac{c}{N_0} \right)^{\frac{1}{m}} \\ S_{\sigma_1} \leftarrow \text{Stdev}(\sigma_{_1}) \\ \sigma_{_1P} \leftarrow \text{qnorm}(P, \sigma_{50_1}) \\ N_t \leftarrow N_0 \cdot \left(\frac{\sigma_{_1P}}{\sigma} \right)^m \end{cases} \quad (4.4)$$

Диапазон напряжений для построения графика

$$\sigma_{\tau} := \sigma_n + \left(\frac{\sigma_k - \sigma_n}{100} \right) \cdot i \quad (4.5)$$

При, $\sigma_n = 80$
 $\sigma_k = 180$
 $i := 0..100$

Тогда, исходя из вероятности безотказной работы:

$N_1 := N_t(V_{\sigma}, V_N, 0.1, \sigma)$ - при 90% вероятности безотказной работы;

$N_2 := N_t(V_{\sigma}, V_N, 0.5, \sigma)$ - при 50% вероятности безотказной работы;

$N_3 := N_t(V_{\sigma}, V_N, 0.9, \sigma)$ - при 10% вероятности безотказной работы.

Из результатов, полученных при 100 итераций, строим график в зависимости от вероятности безотказной работы.

Полученные график показывает темп наработки на отказ, в зависимости от величин напряжений в полой насосной штанге из стали 45 при 10% вероятности безотказной работы.

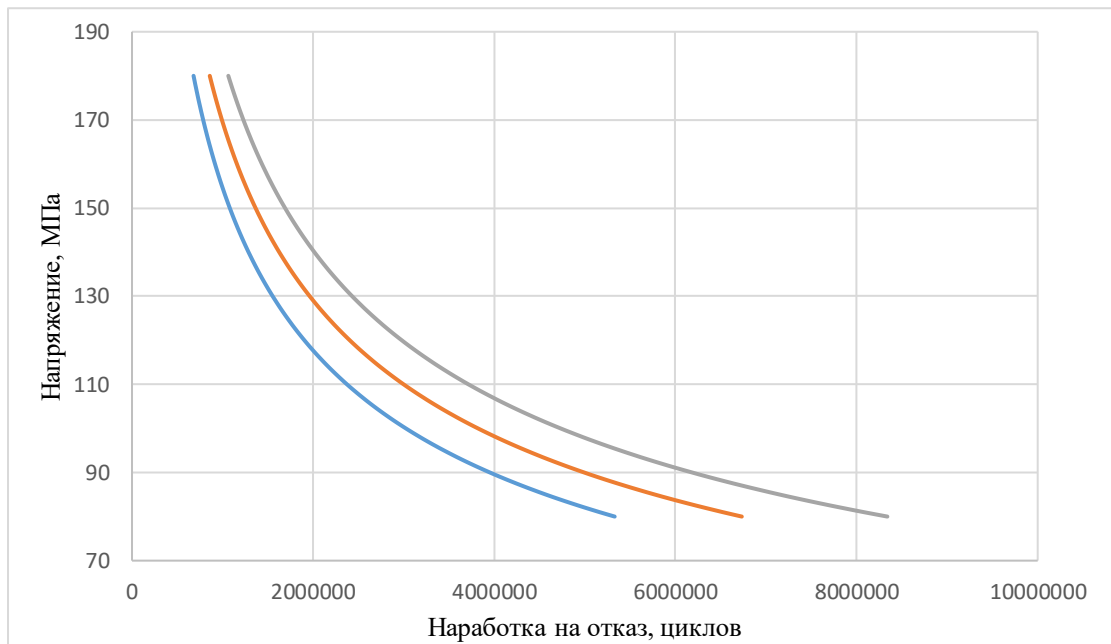


Рисунок 4.3.1 - Диаграмма усталости ШНП 22

Аналогичный расчет проведем для насосной штанги использующий композитный стержень.

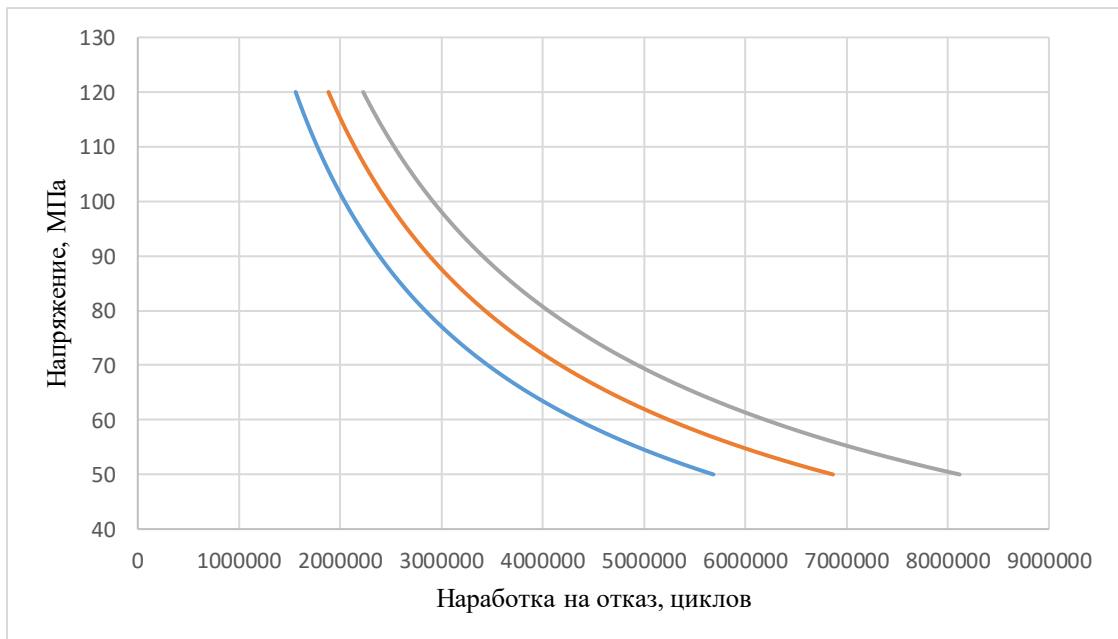


Рисунок 4.3.2 - Диаграмма усталости для ШНС 22

- Анализируя данные математической модели можно сделать выводы:
- из исследования в САПР Solidworks Simulation видно, что у КНШ сопротивление на изгибающий момент больше, чем у стальных насосных штанг;
 - используя композитные насосные штанги, ресурс службы штанги при

максимальных нагрузках и 10 процентом вероятности безотказной работы, увеличится в 1,7 раз;

- слабым местом КНШ является его соединение со стальным оконцевателем на клеевой основе. Поэтому следует проводить научные исследования в этом направлении;

- вибрация, возникающая при работе кривошипа, существенно ускоряет износ штанги, наблюдаемые по эпюре распределения напряженности;

- сравнение результатов компьютерных испытаний от расчетных вычислений на выносливость полой насосной штанги показали максимальное расхождение результатов на 15 %, что говорит о возможности применения данного способа для определения прочностных свойств сложных конструкций, которой является полая насосная штанга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным месторождения Айранколь была обоснована преимущество применения технологии ОРЭ. Применение технологии одновременно-раздельной эксплуатации позволит увеличить КИН в среднем в 2 раза.

Определено, что схема ЭЦН-ШГН является одной из наиболее распространенных компоновок для добычи нефти в условиях Казахстана

Выявлена, что проблема увеличение надежности узлов схем компоновок является актуальной проблемой, потому что при выходе из строя одного оборудования, из эксплуатации выходит вся скважина.

Был предложен коэффициент, учитывающий конструктивные особенности полый насосной штанги. Отличие от компьютерных вычислений в 8%, что лежит в пределах погрешности.

На основе расчетов была определена величина нагрузок, действующих в искривленной скважине. На основе этих нагрузок обоснована применение колонны композитных штанг вместо стальных штанг, на примере скважины 302 Айранкольского месторождения.

Был проведен компьютерный и численный эксперимент для определения наработки на отказ на основе приведенного напряжения, полученные в результате метода конечных элементов в программе Solidworks Simulation. Был определен предел выносливости для насосной штанги, изготовленный с помощью метода пултрузии.

При применении полых насосных штанг из композитного материала напряжения изгиба от продольных нагрузок может возрасти от 50 МПа до 180 МПа, а наработка на отказ соответственно будет равным от 8млн до 1.8 млн циклов при 10-процентой вероятности безотказной работы.

При применении полых насосных штанг из стального материала напряжения изгиба от продольных нагрузок может возрасти от 70 МПа до 190 МПа, а наработка на отказ соответственно будет равным от 9млн до 990 тыс циклов при 10-процентой вероятности безотказной работы.

Термины и определения

- ОРЭ-одновременно-раздельная эксплуатация;
ЭЦН – электроцентробежный насос;
УЭЦН – установка электроцентробежного насоса;
СШНУ – скважинная штанговая насосная установка ;
ШГН- штанговый глубинный насос;
НКТ – насосно-компрессорная труба;
ШНС – стеклопластиковая насосная штанга;
ОРННЭО – одновременно-раздельная разработка нескольких эксплуатационных объектов;
КНШ – композитная насосная штанга;
САПР – система автоматизированного проектирования;
АСПО - асфальтосмолопарафиновые отложения;
НО – натуральный образец.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Нурбаева Н.А, Жалилова К.Н, Михальчук В.С. Обзор нефтесервисного рынка Казахстана 2020 [Научный журнал].- Исследовательский центр компании «Делойт» в СНГ, 2021, 19с.
- 2 Меад Хуссейн. Уточненная оценка запасов нефти по состоянию на 31 декабря 2019 года для месторождения Айранколь, Западный Казахстан/ АО – Каспий Нефть, 2020, 59с.
- 3 Тарифов, К. М. Одновременно-раздельная эксплуатация пластов в ОАО «Татнефть» [Текст] / К. М. Тарифов, Н. Г. Ибрагимов, А. Х. Кадыров, Р. Г. Заббаров, В. Г. Фадеев. - М.: Изд-во «Нефтяное хозяйство», 2011.
- 4 Крутоков, Б. С. Развитие методов раздельной закачки воды и раздельного отбора нефти в СССР и США. Опыт одновременной раздельной эксплуатации нескольких пластов через одну скважину / Сер. «Добыча»: науч.-аналит. и темат. обзоры. - М.: ЦНИИТЭнефтегаз, 1964.
- 5 Максutow Р.А. , Доброскок Б.Е., Зайцев Ю.В., Одновременная раздельная эксплуатация многопластовых нефтяных месторождений, М.: «Недра»,1974, 233 с.
- 6 Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. Оборудование для добычи нефти и газа: В 2 ч. – М: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002, 768 с.
- 7 ГОСТ Р 31825-2012 Штанги насосные, штоки устьевые и муфты к ним, М.: Стандартиформ, 2013, 51 с
- 8 ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости, М.: Стандартиформ, 1982, 36 с.
- 9 Бахтизин, Р.Н., Оптимизация конструкции насосной штанги методом конечных элементов / Р.Н. Бахтизин, К.Р. Уразаков, Р.Р. Ризванов // Математическое моделирование и компьютерные технологии в процессах разработки месторождений, добычи и переработки нефти: тезисы докладов IV научно-практической конференции, М: Нефтяное хозяйство, 2011, с.
- 10 Халиулин А.Г., Фархулин Л.Г., Габдрахманов А.Г., Исследование обрывов штанг по НГДУ "Южарланнефть", Труды Уфимского нефтяного института, 1976, № 28, с.64-66.
- 11 Лепехин Ю.Н., Совершенствование расчетных методов оценки надежности насосных штанг с целью улучшения компоновок штанговых колонн, работающих наклонно-направленных скважинах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, М.:ГАГ, 1997, 149 с.
- 12 Воскобойников Ю.Е., Задорожный А.Ф., Литвинов Л.А., Черный Ю.Г., Основы вычислений и программирования в пакете Mathcad: Учебное пособие – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2012, 212 с.
- 13 Давлетшин Х.Г., Абрашин А.А., Исследование влияния изгиба штанг на частоту их обрывов, "Нефтепромысловое дело", 1972,10, с. 26-28.
- 14 Ишмурзин А.А., «Напряжения и деформации штанговой колонны в

пространственно искривленной скважине», Нефтегазовое дело.

15 Дубинов Ю.С., Анализ и модернизация методики подбора полых насосных штанг, Сборник статей 67-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ-2013», М.:РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013, с.18.

16 Ивановский В.Л, Долов Т.Р, Дубинов Ю.С, Ускоренные испытания насосных штанг на усталость для оценки пределов выносливости материалов и конструкций, Учебно-методическое пособие, М.:РГУ нефти и газа имени И.М Губкина, 2016, с.38.

17 Дубинов Ю.С, Анализ и модернизация методики подбора насосных штанг, применяемых при одновременно-раздельной эксплуатации, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, М.: РГУ нефти и газа имени И.М Губкина, Москва, 2017г, 162с.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Мелдехана Шәкәріма Ағайдарұлы

7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

На тему: Разработка методов и технических средств для одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений

Выполнено:

- а) графическая часть на __ листах
- б) пояснительная записка на __ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Рецензия на магистерскую диссертацию Мелдехана Шәкәріма Ағайдарұлы по специальности 7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования на тему «Разработка методов и технических средств для одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений» изложена на __ страницах .

Рецензируемая работа посвящена теме проблеме надежности полых насосных штанг, применяемых при ОРЭ. Работа состоит из 4 глав, выводов и заключений.

Для достижения поставленной цели, магистрантом был использован комплексный метод исследований, а именно: аналитический обзор как отечественных, так и зарубежных литературных источников, теоретическое обоснование процесса применения технологии ОРЭ, экспериментальные исследования. Были рассмотрены проблемы, связанные с низкой надежностью СШНУ.

Автором магистерской диссертации был предложен коэффициент несплошности полый насосной штанги K , учитывающий конструктивные особенности насосной штанги. Также, была разработана программа для определения наработки на отказ для полых насосных штанг.

К замечаниям можно отнести неточность формулировок, касающиеся обоснования принимаемых решений. В некоторых местах отсутствует конкретика.

В целом работа выполнена на достаточном уровне, соответствует всем требованиям и является законченной, в связи с этим может быть оценена положительно, а ее автор Мелдехан Ш.А. заслуживает присуждения степени магистра по специальности 7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования



Рецензент

2021 г.

Занимаемая должность:

генеральный директор ТОО «Бурмаш»

Кудайкулова Гульжан Абдуллаевна

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Мелдехан Шәкәрім Ағайдарұлы

Название: Разработка методов и технических средств для одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений

Координатор: Тогыс Карманов

Коэффициент подобия 1:0.7

Коэффициент подобия 2:0.2

Замена букв:15

Интервалы:3

Микропробелы:5

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем работу признаю самостоятельной и допускаю к защите

Дата

Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Мелдехан Шэкәрім Ағайдарұлы

Название: Разработка методов и технических средств для одновременно-раздельной эксплуатации многоярусно залегающих месторождений

Координатор: Тогыс Карманов

Коэффициент подобия 1:0.7

Коэффициент подобия 2:0.2

Замена букв:15

Интервалы:3

Микропробелы:5

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем работа признается самостоятельной и допускается к защите.

.....
.....
.....

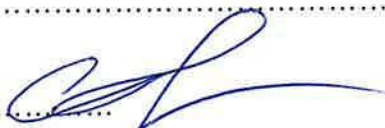
Дата

Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Работа допускается к защите

13.06.2021



Дата

Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения