**Барышников, Анатолий Иванович. Повышение прочности и долговечности замковых резьбовых соединений бурильной колонны : диссертация ... доктора технических наук : 01.02.06.- Москва, 1998.- 382 с.: ил. РГБ ОД, 71 99-5/359-8**

Государственный Научный центр Российской Федерации Научно-производственное объединение . . .. по технологии машиностроения

,г •' М ГНМТЕФІЦНИИТМАШ

іірйсудмл ученую степень ДОК \*\* ' •.

I; (решение от " *4,* '3 \_ 19





**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ЗАМКОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ**

Специальность 01.02.06

Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва, 1998

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение 4
2. Условия эксплуатации и особенности ЗРС 8
	1. Условия эксплуатации и работоспособность элементов бурильной

колонны 8

* 1. Особенности и основные этапы совершенствования ЗРС 17
1. Обзор исследований работоспособности ЗРС 28
	1. Влияние конструктивных факторов на сопротивление усталости ... 28
	2. Влияние технологических факторов на сопротивление усталости... 56
	3. Характер усталостного разрушения элементов ЗРС 62
	4. Статическое нагружение ЗРС 69
2. Техника и методика исследований 85
	1. Теоретические исследования с использованием МКЭ 85
	2. Моделирование условий нагружения ЗРС 93
	3. Экспериментальные исследования 101
3. Анализ напряженного состояния элементов ЗРС 108
	1. Напряженное состояние ЗРС при свинчивании 108
	2. Напряженное состояние ЗРС при растяжении 120
	3. Напряженное состояние ЗРС при изгибе и кручении 128
	4. Параметрические зависимости напряженного состояния ЗРС 133
	5. Несущая способность ЗРС при комбинированном нагружении 136
4. Влияние основных факторов на сопротивление усталости ЗРС 141
	1. Диаметр резьбы ниппеля и муфты 141
	2. Длина свинчивания 150
	3. Конусность 157
	4. Профиль резьбы 161
	5. Зарезьбовые разгружающие канавки 169
	6. Упорные торцы 177
	7. Материал резьбового соединения 185
	8. Крутящий момент свинчивания 189
	9. Условия нагружения ЗРС 195
5. Герметичность ЗРС 202
6. Оценка и выбор оптимальных конструкций ЗРС 209
7. Контроль за работоспособностью ЗРС при эксплуатации 222
	1. Развитие усталостных трещин и периодичность неразрушающего

контроля 222

* 1. Технические средства неразрушающего контроля 241
	2. Контроль качества сборки 245
	3. Системы отработки и анализ усталостных разрушений 261
1. Промысловые испытания и внедрение результатов исследований 272
2. Основные выводы и рекомендации 277

з

Литература 280

Перечень условных обозначений и абревиатур 302

ПРИЛОЖЕНИЯ

П1 Основные типы и размеры ЗРК 312

П2 Характеристика моделей ЗРС, исследуемых МКЭ 317

ПЗ Результаты анализа моделей ЗРС с использованием МКЭ 325

П4 Основные прочностные соотношения ЗРС 329

П5 Эскизный проект программного обеспечения подсистемы ’’Колонна”

ППП ТИМС 333

П6 Результаты внедрения основных рекомендаций 345

Щ Результаты внедрения и расчет экономического эффекта от использования изобретения ’’Коническое резьбовое соединение бурильных труб” (А.с. №1035183) 348

1. Введение

С увеличением объема бурения глубоких и сверхглубоких скважин, морского бурения с платформ и буровых судов, обеспечение работоспособности элементов бурильных колонн приобретает первостепенное значение. Стоимость бурильных колонн при таких глубинах сопоставима со стоимостью всей буровой установки. С началом использования современных сварных конструкций бурильных труб наиболее слабым элементом бурильной колонны становятся упорные резьбовые соединения, которые являются определяющими в конструкции таких узлов, как бурильные трубы, УБТ, переводники, центраторы, калибраторы и одними из основных узлов забойных двигателей и бурового инструмента. К *упорным резьбовым соединениям* бурильной колонны или *замковым резьбовым соединениям* (ЗРС) относятся резьбовые соединения (обычно имеющие большой шаг и конусность), в которых наружный и/или внутренний упорный контакт создает предварительное напряженное состояние соединения при свинчивании, обеспечивающее работоспособность бурильной колонны в скважине.

При средней глубине бурения скважин 2000 м количество ЗРС в одной бурильной колонне может быть более 250. Общее количество только действующих буровых установок глубокого бурения в отдельные годы достигает во всем мире 3000, а срок службы ЗРС в различных условиях эксплуатации колеблется от нескольких сотен часов (тяжелые условия эксплуатации) до нескольких лет. Статистические данные показывают, что 80% всех аварий с ЗРС связано с их усталостным разрушением или статическом разрушении при кручении. Так по данным исследователей, при бурении скважин в Персидском заливе разрушения ЗРС наблюдались в среднем через каждые 2000 метров проходки и стоимость ликвидации такой аварии составляла в среднем 100.000 $. При глубоком бурении в Agip (Италия) такие затраты составили 367.000 $, а после значительного сокращения периода между дефектоскопиями затраты, связанные с разрушением элементов бурильной колонны (в основном ЗРС), уменьшились до 83.000 $ и затраты на дефектоскопию составили 164.000 $.

Как показал анализ многолетнего опыта исследования ЗРС с момента его изобретения (1910 г.), существенное сокращение непроизводительных затрат времени, связанных с устранением осложнений в скважине из-за потери работоспособности ЗРС, возможно только при системном подходе к решению этой проблемы. А именно - проектирование оптимальных конструкций

резьбовых соединений для конкретных условий эксплуатации, эффективная эксплуатация существующих конструкций и действенный контроль за работоспособностью соединений с учетом определяющего влияния на это технического состояния самой скважины. В настоящей работе делается первая попытка такой комплексной постановки задачи и ее решения.

Трудности при проектировании новых конструкций ЗРС, в особенности большого диаметра (например, для добычи полезных ископаемых со дна океана) указывает на отсутствие как в нашей стране, так и за рубежом, единой математической модели оценки влияния основных конструктивных и технологических факторов на работоспособность таких конструкций. Как показывает опыт решения аналогичных задач в общем машиностроении, проведение теоретических и экспериментальных исследований с использованием современных математических методов (например, метода конечных эелементов) на базе мощных вычислительных комплексов позволяет решить эту проблему.

Наравне с проектированием оптимальных конструкций ЗРС, очень важной, с точки зрения надежного и наиболее эффективного функционирования резьбовых соединений, является задача их рациональной эксплуатации, которая включает такие вопросы, как выбор оптимальных систем отработки, определение состояний работоспособности отдельных элементов и всей колонны в целом, установление критериев отбраковки и периодичности различных видов неразрушающего контроля. В области бурения скважин решению подобной задачи уделялось значительное внимание. Однако во всех работах в качестве критерия отработанности комплекта принята проходка в метрах на одну трубу или массовый износ на метр проходки, то есть, основное внимание уделялось абразивному износу. Несмотря на некоторые отличия, все разработанные и апробированные системы отработки элементов бурильных колонн основаны на таком изменении местоположения комплектов труб (или отдельных их элементов) в процессе работы колонны, которое обеспечивало бы их равномерный износ. Трудности в индикации комплектов (и отдельных элементов) и контроля за их перемещениями, необходимость учета накопления усталостных повреждений, не позволили до настоящего времени осуществить широкое внедрение какой-либо системы. Использование современных компьютизированных комплексов геолого-технологических исследований (ГТИ) скважин дает возможность по-новому подойти к решению проблемы создания эффективных систем отработки основных элементов бурильных колонн с целью

обеспечения их надежности при эксплуатации. Однако вопросы создания и использования автоматизированных систем оценки и оперативного контроля работоспособности элементов бурильной колонны еще недостаточно изучены. Это препятствует эффективному использованию компьютизированных станций и блоков ГТИ и интерпретации полученных результатов контроля непосредственно на скважине.

При решении указанных проблем в данной работе теоретические и экспериментальные исследования осуществлялись несколькими этапами.

1. этап:
* разработка моделей оценки напряженного состояния основных элементов ЗРС нефтяного сортамента с использованием МКЭ;
* проведение теоретических исследований с использованием разработанных моделей по влиянию конструктивных и технологических факторов на напряженное состояние ЗРС при различных видах нагружения;
* проведение экспериментальных исследований адекватности разработанных моделей реальному напряженному состоянию ЗРС;
* разработка автоматизированной системы расчета и проектирования

оптимальных конструкций резьбовых соединений.

1. этап:
* анализ известных методик рациональной отработки резьбовых соединений в скважине и разработка рекомендаций по их совершенствованию с использованием компьютерных станций ГТИ;
* разработка методики оценки граничных состояний работоспособности

отдельных элементов, комплектов или всей колонны в целом, выделения промежуточных состояний работоспособности с пониженными уровнями качества функционирования;

* разработка основ автоматизированной системы контроля за работоспособностью ЗРС в скважине на базе компьютизированных станций ГТИ;
* разработка требований к эффективной системе индикации отдельных

комплектов резьбовых соединений бурильной колонны.

1. этап:
* разработка методических основ неразрушающего контроля резьбовых

соединений в процессе их эксплуатации (установления критериев отбраковки, периодичности различных видов контроля и т.д.);

* разработка требований к автоматизированной системе оценки качества сборки резьбовых соединений;
* разработка и проектирование систем по контролю качества сборки резьбовых соединений.
1. этап:
* проведение промысловых испытаний и внедрение наиболее эффективных разработок.

Представленные результаты теоретических и экспериментальных исследований по указанным проблемам могут служить базой для разработок современных автоматизированных систем по обеспечению работоспособности ЗРС бурильной колонны при бурении скважин различного назначения. Необходимо также отметить, что основные выводы и рекомендации, приведенные в работе, могут быть использованы для различных типов высоконагруженных упорных резьбовых соединений большого диаметра общего машиностроения.

Данная работа последовательно выполнялась с 1978 по 1997 гг. во ВНИГИК НПО ’’Союзпромгеофизика” (в лабораториях ’’Неразрушающего контроля бурового оборудования”, ’’Контроля технического состояния скважин” и ’’Теории и методики технологических исследований скважин”), ВНИИБТ (в лаборатории ’’Резьбовых соединений”) и Agip (в отделе ’’Современных технологических систем в бурении”). Автор выражает благодарность за оказанную помощь в проведении теоретических и экспериментальных исследований руководителям и ведущим специалистам этих организаций: профессору, д.т.н. Бродскому П.А.; профессору, д.т.н. Щербюку Н.Д.; к.т.н. Газанчану Ю.И. и инж. A. Schenato.

1. **Основные выводы и рекомендации**
2. Выполнено широкое теоретическое обобщение и решена крупная научная проблема, имеющая большое народно-хозяйственное значение - разработаны основы систем проектирования, эксплуатации и контроля замковых резьбовых соединений бурильных колонн нефтяного сортамента с целью обеспечения их необходимой прочности для конкретных условий эксплуатации.
3. На основе большого объема конкретных расчетных анализов и экспериментальных подтверждений разработана теоретическая модель (адекватная реальным условиям нагружения) и методика оценки напряженного состояния элементов упорных резьбовых соединений с использованием МКЭ. На базе разработанной модели выявлены основные закономерности влияния различных конструктивных и технологических факторов на напряженное состояние элементов ниппеля и муфты замкового резьбового соединения (первых сопряженных витков резьбы, упорных торцев, основных расчетных сечений, зарезьбовых разгружающих канавок и т.д.). Полученные параметрические зависимости позволяют прогнозировать напряженное состояние основных типов ЗРС при их статическом и циклическом нагружении.
4. На основе проведенного теоретического анализа герметичности и статической прочности ЗРС при приложении комбинированных нагрузок (крутящего момента свинчивания, растяжения и кручения) получены соответствующие зависимости и номограммы, определяющие допустимую область эксплуатации бурильной колонны при действии статических нагрузок. Предложенный коэффициент TMR позволяет оценивать возможность докрепления или раскрепления ЗРС в скважине при действии растягивающих нагрузок, а также проектировать новые элементы бурильной колонны с заданными характеристиками на кручение.
5. На основе широких натурных усталостных испытаний ЗРС бурильной колонны в диапазоне наружного диаметра от 80 до 240 мм, подтверждающие результаты теоретических исследований, предложены эффективные рекомендации по повышению сопротивления усталости существующих конструкций ЗРС (повышающие предел выносливости соединений от 20 до 50%): выбор оптимального типоразмера соединений при заданных условиях эксплуатации; расчет оптимальных диаметров зарезьбовых разгружающих канавок на ниппеле и муфте; ограничение минимального и максимального значений предела текучести материала и т.д.
6. Выявлены основные закономерности влияния различных конструктивных и технологических факторов (диаметра резьбы ниппеля и муфты, длины свинчивания, конусности, профиля резьбы, ЗРК на ниппеле и муфте, крутящего момента свинчивания, нестационарного режима нагружения) на сопротивление усталости ЗРС, позволяющие автоматизировать: проектирование новых ЗРС с заданными (оптимальными) прочностными характеристиками; оценку сопротивления усталости существующих конструкций ЗРС и проведение анализа причин их усталостного разрушения; выбор наиболее эффективных упрочняющих методов.
7. Установлены основные требования к технике и технологии неразрушающего

контроля элементов бурильной колонны, на основе которых разработаны и внедрены: феррозондовый дефектоскоп замковых резьб и система

неразрушающего контроля стальных бурильных труб нефтяного сортамента.

1. Разработан эффективный метод контроля качества сборки упорного резьбового соединения, выразившийся в пробном свинчивании-развинчивании соединения, определении фрикционной способности его контатных элементов и окончательной сборке с необходимым крутящими моментом свинчивания, что впервые дает возможность оперативно оценивать напряженное состояние каждого резьбового соединения при сборке и корректировать рекомендуемый крутящий момент свинчивания.
2. Разработаны теоретические основы автоматизированных систем контроля

технического состоянния элементов бурильной колонны на буровой с использованием компьютизированной станций геолого-технологических

исследований (ГТИ), позволяющие накапливать и поддерживать в рабочем состоянии информационные архивы о прочностных характеристиках элементов бурильной колонны, результатов их дефектоскопии, истории нагружения и накапливании усталостных повреждений, а также сигнализировать о критическом состоянии отдельных комплектов колонны и необходимости их дефектоскопии.

Основные результаты проведенных исследований опубликованы в 62 печатных работах, защищены 16 авторскими свидетельствами на изобретения (в том числе 3 патентами зарубежных стран) и в внедрены в практику с подтвержденным экономическим эффектом от серийного производства утяжеленных бурильных труб с оптимальными конструкциями ЗРК на ниппеле и муфте - более 1 млн. долларов США в год.