МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Горно-металлургический институтим.О.А.Байконурова

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

ЖанкимановаГалияНуржановна

Исследования работы полиуритановых поршней буровых насосов в абразивной среде

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

6М072400 – Технологические машины и оборудование

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

САТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Горно-металлургический институт им.О.А.Байконурова

УДК: 621.694; 621.65/.69; 621.6.052

На правах рукописи

Жанкиманова Галия Нуржановна

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание степени магистра технических наук

Название диссертации **«Исследования работы полиуритановых поршней буровых насосов в абразивной среде»**

Специальность 6М072400–Технологические машины и оборудование

Научный руководитель,
канд.техн.наук, профессор

Заурбеков С.А.
"31" мая 2019 г

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им. К.И. Сатпаева»
Горно-металлургический
институт им. О.А. Байконурова

Рецензент
Старший методист
канд.техн.наук, доцент

Граф А.Ю.
"04" июня 2019 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ТМиО,
канд. техн. наук, ассоц. проф.

К.К. Елемесов
"03" июня 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Горно-металлургический институт им.О.А.Байконурова

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

6М072400 – «Технологические машины и оборудование»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ТМиО
канд. техн. наук, асс.проф.
_____ К.К.Елемесов
«__» _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту *Жанкимановой Галие Нуржановне*

Тема: *«Исследования работы полиуритановых поршней буровых насосов в абразивной среде»*

Утверждена *приказом Проректора по науке университета № 1597-М от «30» 10 2017 г.*

Срок сдачи законченной диссертации *«24» мая 2019 г.*

Исходные данные к магистерской диссертации: *данные проведенных испытаний*

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) краткие сведения об устройстве буровых насосов;

б) факторы, влияющие на эффективность, надежность и ресурс работы буровых насосов;

в) типы и конструкции поршней буровых насосов;

г) описание конструкции и принципа действия стенда для исследования эксплуатационно-технических характеристик буровых насосов;

е)аппаратурное оформление стенда;

ж)планирование экспериментов

Перечень презентационного материала;

а) *технологическая схема* устройства буровых насосов;

б) общий вид бурового насоса;

в) перчень использованых измерительных приборов при проведении испытаний;

г) общий вид элементов испытуемых образцов;

д) схема функционирования системы;

АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе рассмотрены основные причины поломок буровых насосов влияние абразивной среды на поршень бурового насоса, проведен анализ работы буровых насосов, рассмотрены разные типы полиуретановых материалов, предложена технологическая схема изготовления полиуретановых поршней.

В результате исследований подтверждена принципиальная возможность применения нано-материалов, замена резиновых манжет на полиуретановые поршни.

Полученные результаты могут представлять научный и практический интерес при разработке новых конструкций поршней буровых насосов.

АҢДАТПА

Диссертацияда бұрғылау сорғыларының бұзылуының негізгі себептері абразивтік ортаны бұрғылау сорғыларының поршеніне әсер етуі, бұрғылау сорғыларының жұмысын талдау жүргізіліп, полиуретанды материалдардың әртүрлі түрлері қарастырылған, полиуретанды поршенді өндірудің ағымдық диаграммасы ұсынылған.

Зерттеу нәтижесінде нано материалдарды қолданудың негізгі мүмкіндігі расталды, резеңке манжеттерді полиуретанды поршенділермен ауыстыру.

Алынған нәтижелер балшық сорғы поршендерінің жаңа жобаларын әзірлеуге ғылыми және тәжірибелік қызығушылық тудыруы мүмкін.

ANNOTATION

In the dissertation, the main causes of breakdowns of drilling pumps are considered to be the influence of the abrasive medium on the piston of the drilling pump, analysis of the operation of the drilling pumps is carried out, various types of polyurethane materials are considered, a flow chart for the production of polyurethane pistons is proposed.

As a result of the research, the principal possibility of using nano-materials was confirmed, the replacement of rubber cuffs with polyurethane pistons.

The results obtained may be of scientific and practical interest in the development of new designs of mud pump pistons.

Рекомендуемая основная литература:

1. Мкртычан Я.С. Повышение эффективности эксплуатации буровых насосных установок. / Я.С. Мкртычан – М.: Недра, 1984. – 207 с.
2. Набиев Н.А. Разработка и исследование технических и технологических факторов, обеспечивающих повышение эксплуатационных показателей скважинных штанговых насосов: диссертации на соискание ученой степени доктора философии по технике / Н.А. Набиев;
3. Грей Ф. Добыча нефти / Ф. Грей; пер. с англ. – М.: ЗАО "ОлимпБизнес", 2001. – 416 с.
4. Нефтегазопромысловое оборудование: учебник для ВУЗов / под общ. ред. В.Н. Ивановского. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2006. – 720 с.
5. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: учебное пособие для ВУЗов / И.Т. Мищенко. – М.: изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 816 с.
6. Справочник по добыче нефти / под ред. К.Р. Уразакова. – М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. – 374 с.
7. Сидоренко О.Я. Буровой поршневой насос одностороннего действия. Патент РФ № 2315893, МПК F04B 15/02; опубл. 27.01.2008.
8. Нугуманов К.К., Елефтериади Д.К. Буровой поршневой насос односто-роннего действия. Инновационный патент KZ №25687 МПК F04B 15/02, E21B17/00; опубл. 16.04. 2012.
9. Юшков И.А. Буровое оборудование. Учебное пособие / И.А. Юшков – г. Донецк: ДонНТУ, 2009. – 83 с.
10. Абубакиров В.Ф. Буровое оборудование. Справочник. В 2 тт. / В.Ф. Абубакиров, Ю.Г. Буримов, А.Н. Гноевых и др. – М.: Недра, 2003. – 2 т., 494 с. 88
11. Куницын П.В. Механизация работ при строительстве нефтяных и газовых скважин: справочник рабочего. / П.В. Куницын – М.: Недра, 1989. – 272 с.
12. Кирсанов А.Н. Буровые машины и механизмы / А.Н. Кирсанов, П.В. Зиненко, В.Г. Кардыш – М.: Недра, 1981. – 448 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5

1 Устройство буровых насосов и конструкция поршня бурового насоса 6

1.1 Общие сведения о буровых насосах 6

1.2 Устройство и принцип действия поршневых насосов 7

1.3 Описание поршня бурового насоса 11

1.4 Условия эксплуатации поршня 12

2. Обзор существующих материалов для поршней буровых насосов 17

2.1 Общие сведения о полиуретанах 17

2.2 Физико-механические показатели полиуретанов 17

2.3 Сравнительные характеристики резины и полиуретана 19

2.4 Определение изотропного адгезионного взаимодействия порошкообразных наполнителей с полимерным связующим 23

3 Обзор работы поршня бурового насоса 27

3.1 Исследование работы быстро изнашиваемых узлов бурового насоса 27

3.2 Характерные виды повреждаемости поршня насоса при эксплуатации 30

4. Исследование работы полиуретанового поршня бурового насоса 36

4.1 Методика проведения исследования полиуретановых поршней 36

4.2 Способ изготовления поршня бурового насоса с применением полиуретанового материала 45

4.3 Обзор изобретения полиуретанового поршня. 49

4.4 Анализ работы насоса с полиуретановым поршнем 58

Заключение 60

Список литературы 61

ВВЕДЕНИЕ

Долговечность работ бурового насоса во многом определялась гидравлическая часть – пара «поршень – втулка цилиндрическая», взаимодействующая с буровым раствором.

Задачи по обеспечение длительных ресурсов, надежной работы машин, работающих в условии повышенного гидроабразивного износа под действием сил трения, являются актуальными на сегодняшний день. Выход из строя, снижение эффективной работы бурового насоса (нагнетание в забой бурового раствора), в связи с износом поршня бурового насоса, вызывает повышенный износ и разрушение бурильных долот, закупорку всего дорогостоящего, скважинного оборудования. Как следствие, повышаются нормы расхода бурильного долота и увеличивается количества случая капитальный ремонта. Все это вызывает увеличение себестоимости процесса добычи нефти или газа.

Целью настоящей работы является исследование работы поршня бурового насоса с применением новейших технологий и нано-материала.

Поставлена задача исследования полиуретанового материала с целью повышения износостойкости поршня, путем исследования механизма и причин разрушений его рабочей поверхности, а также создания на основе этого эффективной технологии замены резин на более прочный и долговечный материал.

Для увеличения долговечности поршня используются различные методы, но износ рабочей поверхность все – таки остается неснижаемым критическим показателем. Об этом свидетельствующий малое количеством часов его наработки в насос. В связи с этим предметом исследования является механизм износа рабочей поверхности поршня в процессе работы бурового насоса. Что в свою очередь, позволит разработать технологию изготовления поршней, обеспечивающую увеличение эксплуатационного ресурса.

Исследование процесса износа, сравнение рабочих параметров резин и полиуретанов, а также предложение способа изготовления поршней буровых насосов введет нас к тому, что замена резиновых манжет на полиуретановые поршни увеличит рабочий ресурс бурового насоса, в демпфирующие свойства нано-материла позволит уменьшить вибрацию, что приводит к меньшему износу металлических частей насоса.

1. Устройство буровых насосов и конструкция поршня бурового насоса

1.1 Общие сведения о буровых насосах

Буровая установка (также может называться комплексом или машиной) – это специальная установка, главной целью которой является бурение скважин для нефтегазовой индустрии. Основные составляющие части машины [4]:

1) буровая вышка (мачта);
2) спусковое – подъемное оборудование;
3) силовое оборудование (двигатели);
4) приводы бурильной колонны и бурильные трубы;
5) насосное и очистное оборудование для применения буровых растворов.

Буровые насосы применяются для подачи промывочной жидкости в скважину для очистки забоя от выбуренной породы (шлама), охлаждения бурового инструмента и привода в действие гидравлических забойных механизмов. [5]

Технологический процесс бурения скважин будет успешно проводиться, если буровой насос отвечает следующим требованиям:

1) обеспечивает постоянную подачу промывочной жидкости независимо от колебаний давления в нагнетательной линии;
2) изменяет подачу жидкости в пределах, определенных параметрами технологического процесса бурения;
3) обеспечивать безотказную и надежную работу в процессе прокачивания жидкости, содержащей абразивные частицы и химически активные реагенты;
4) обеспечивать требуемую равномерность подачи;
5) безопасен при эксплуатации, удобен и прост в обслуживании и ремонте, в том числе, в полевых условиях;
6) иметь небольшую массу и габаритные размеры.

Лучше всех этим требования отвечают поршневые насосы. [6,7]

По числу цилиндров и их расположению буровые насосы делятся на одно-, двух- и трехцилиндровые, с горизонтальным или вертикальным расположением цилиндров. [8, 9, 10] Многоцилиндровые насосы не обладают существенными преимуществами перед двух – и трехцилиндровыми, но дороже их, как в изготовлении, так и при эксплуатации.

Основными характеристиками буровых насосов являются приводная и гидравлическая мощность, расход (количество подаваемой жидкости), давление нагнетания жидкости, а также число цилиндров. Кроме того, в характеристику могут входить длина хода поршня, диаметр цилиндровых

втулок, число двойных ходов поршня в единицу времени, габаритные размеры и масса. [11, 12, 13]

1.2 Устройство и принцип действия поршневых насосов

Для лучшего понимания работы поршневого насоса необходимо рассмотреть его устройство. В качестве примера рассмотрим насос УНБТ – 950, УНБТ-1180Ll.

На рисунке 1.1 представлен внешний вид насоса, а в таблице 1.1 основные технические параметры. [14, 15]

Рисунок 1.1 – Буровой трехпоршневой насос УНБТ – 950

Таблица 1.1- Параметры насоса

Параметры	УНБТ–950
Мощность, кВт	950
Число цилиндров, шт.	3
Номинальная частота ходов поршня в мин.	125

Подача насоса, дм3/с (max)	46

Продолжение таблицы 1.1

Давление на выходе насоса, МПа (max)	35
Давление на входе насоса, МПа (min)	0.2
Исполнение гидравлической части	Прямоточное
Присоединительные размеры клапанной группы в клапанной коробке	№7 API Spec 7K
Пневмокомпенсатор	ПК70-320
Степень неравномерности давления на выходе из насоса, %, не более	5
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	5400х2627х1830
Масса насоса без шкива, кг	22800

На рисунке 1.2 представлен вид внутреннего устройства насоса УНБТ-1180L1 в сборе с втулкой цилиндрической в контакте с кольцом уплотнительным позиция 21. [16]

Из-за абразивного износа, определенные узлы бурового насоса не обладают достаточно высокой износостойкостью. Это особенно относится к деталям гидропоршневой пары (рисунок 1.2). Главные узлы гидравлической части бурового насоса – гидравлическая коробка, входной выходной коллекторы, цилиндровые втулки, поршни, штоки и клапаны. [16]

По числу цилиндров и их расположению буровые насосы делятся на одно-, двух- и трехцилиндровые, с горизонтальным или вертикальным расположением цилиндров. [8, 9, 10] Многоцилиндровые насосы не обладают существенными преимуществами перед двух – и трехцилиндровыми, но дороже их, как в изготовлении, так и при эксплуатации.

Основными характеристиками буровых насосов являются приводная и гидравлическая мощность, расход (количество подаваемой жидкости), давление нагнетания жидкости, а также число цилиндров. Кроме того, в характеристику могут входить длина хода поршня, диаметр цилиндровых втулок, число двойных ходов поршня в единицу времени, габаритные размеры

и масса. [11, 12, 13] На рисунке 1.3 обозначена позиция № 19 [16].

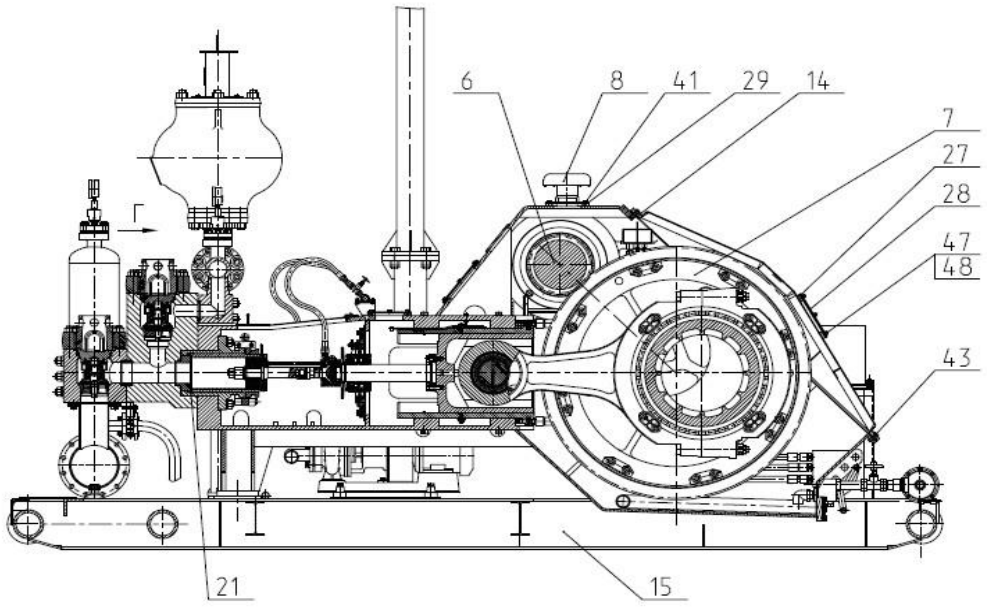
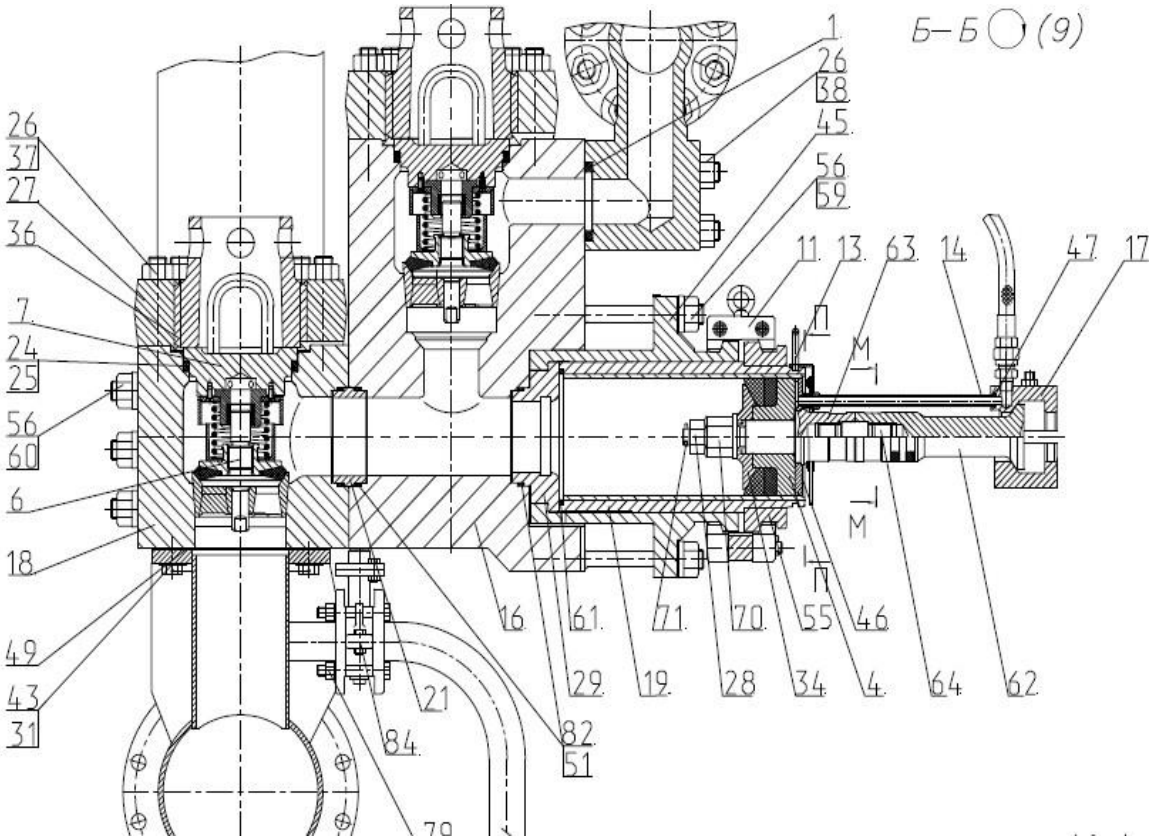


Рисунок 1.2 – Буровой трехпоршневой насос УНБТ-1180Ll



Разрез Б-Б

Рисунок 1.3 – Буровой трехпоршневой насос УНБТ-1180Ll.

Во втулку устанавливается поршень позиция № 4 (рисунок 1.4), который совершает возвратно – поступательные движения в процессе работы. Поршень представляет собой стальной сердечник с конической расточкой и привулканизированных к нему двух резиновых манжет, изготовленных из специальной резины, приспособленной на работу при высоком давлении и температуре, развивающихся при работе насоса. Материал сердечника – ст45, 50Х, ст20. Манжета поршня выполняется из резины, либо полиуретана. [16, 17, 18]

Рисунок 1.4 – Поршень с резиновыми манжетами

Поршень на рисунке 1.4, предназначен для создания давления перекачиваемого бурового раствора при работе насоса. [19]

В таблице 1.2, представлен один из вариантов технических характеристик изготавливаемых поршней. [15]

Таблица 1.2 – Технические характеристики поршней

Технические характеристики	
Наружный диаметр, мм	от 130 до 200
Длина, мм	140
Масса, кг	от 5,7 до 17,6

Учитывая номинальную частоту ходов поршня в минуту 125, можно рассчитать:

1) При плановой наработке втулки 800 часов, число ходов поршня по рабочей поверхности втулки составит 6000000;

2) При фактически получаемой наработке 100 часов, число ходов поршня по рабочей поверхности втулки составит 750000.

В настоящее время в бурении используются (цифра в шифре означает мощность насоса в кВт):

1) двухцилиндровые поршневые буровые насосы для геологоразведочного и технического бурения НБ – 32, НБ – 50, АНБ – 22, НБ – 125;

2) двухцилиндровые поршневые буровые насосы для глубокого бурения на нефть и газ НЦ320 (9Т), НПЦ – 32, НБТ – 235, НБ – 375;

3) трехцилиндровые поршневые буровые насосы для глубокого бурения на нефть и газ УНБТ – 600А, НБТ – 600 – 2, ВНБТ – 950, УНБТ – 1600.

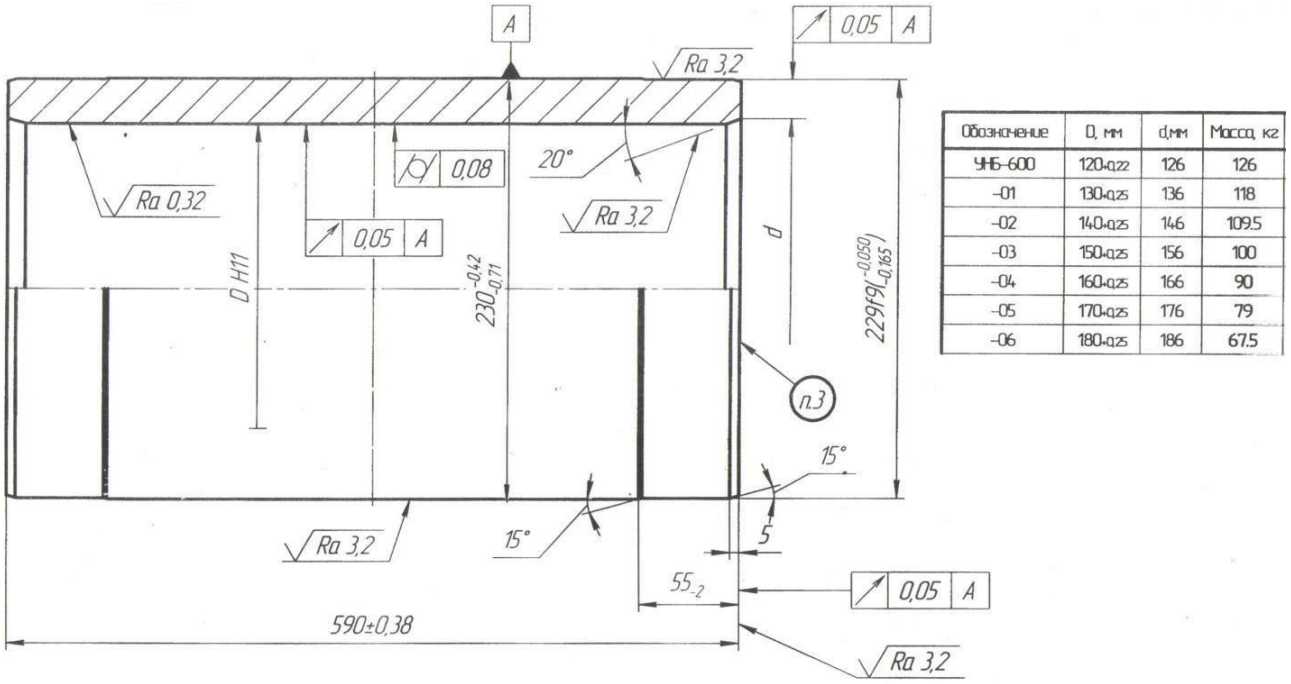
К преимуществам поршневых насосов в первую очередь можно отнести большое развиваемое давление нагнетания. Недостатком же является относительно большая масса и габариты, а также сложная процедура замены поршня и/или втулки цилиндрической, и, кроме того, отсутствие непосредственного контроля над состоянием уплотнений поршня. жидкости в трубах, их соединениях, а также в колонковом наборе (долоте), кольцевом зазоре между стенками скважины и бурильными трубами, нагнетательном шланге, обвязке и сальнике. [17]

1.3 Описание поршня бурового насоса

В буровом насосе одним из важных узлов является гидропоршневая группа. Данный узел обеспечивает давление для перекачки жидкости. Поршень и цилиндровая втулка (ее чертеж показан на рисунке 1.3.1) работают в среде слабоагрессивной и высоко – абразивной жидкости.

Температура в рабочей зоне достигает 85 ºС. Манжета поршня работает в паре с поверхностью втулки с шероховатостью Ra от 0,16 до 0,32 мкм. [2,5] Втулки изготавливаются цилиндрической формы с упорным буртом для ее фиксации от осевых перемещений. Втулка фиксируется специальными фиксирующими устройствами. Учитывая конструктивные особенности насоса, соответственно и изготавливается упорный бурт в различных частях по длине втулки. Внутреннюю рабочую поверхность втулки по технологии шлифуют и хонингуют. [1] К преимуществам поршневых насосов в первую очередь можно отнести большое развиваемое давление нагнетания. Недостатком же является относительно большая масса и габариты, а также сложная процедура замены поршня и/или втулки цилиндрической, и, кроме того, отсутствие непосредственного контроля

над состоянием уплотнений поршня.



Обозначение	D, мм	d,мм	Масса, кг
УНБ-600	120	126	126
-01	130	136	118
-02	140	146	109.5
-03	150	156	100
-04	160	166	90
-05	170	176	79
-06	180	186	67.5

Рисунок 1.5 – Схематическое представление втулки цилиндрической

Для работоспособности насоса также большое значение имеет зазор между поршнем и цилиндром. Допустимые зазоры указаны в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Допустимые диаметральные зазоры между поршнем и цилиндровой втулкой. [11]

Номинальный внутренний диаметр втулки, мм	Минимальный монтажный зазор, мм	Отбраковочный зазор, мм
150	0,25	2,25
175	0,27	2,40
200	0,30	3,00
225	0,33	3,30
250	0,36	3,75
275	0,41	3,90
300	0,45	4,00
325	0,50	4,50
375	0,55	5,00

Требуется высокая точность при изготовлении втулок. Рабочая внутренняя поверхность втулок должна быть, как прямолинейный цилиндр с низкой шероховатостью и минимальными отклонениями в размерах цилиндричности. [15]

На ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод» втулки изготавливаются из сталей марок 20Х, 38Х2МЮА, 50Г, 40Х, 45, 70 (таблица 1.3.2, 1.3.3), а также из чугунов СЧ28-48, ИЧС-30, ВЧ50. [1]

По химическому составу сталь 70 (таблица 1.4). [21]

Таблица 1.4 – Массовая доля элементов, %

C	Si	Mn	Cr
0,67-0,75	0,17-0,37	0,50-0,80	Не более 0,25

По механическим свойствам сталь 70 (таблица 1.5). [21]

Таблица 1.5 – Механические свойства, не менее

Предел текучести, $Н/мм^2$ ($кгс/мм^2$)	Временное сопротивление, $Н/мм^2$ ($кгс/мм^2$)	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
835 (85)	1030 (105)	9	30

Количество материалов применяемых для изготовления втулок, обусловлено различием состава и требуемого давления бурового раствора, применяемого в зависимости от географического месторасположения, глубины бурения и вида залегающих пород, встречающихся в забое.

Таким образом, наличие широкой номенклатуры материалов для изготовления втулки цилиндрической, позволяет применять в каждом случае наиболее оптимальный материал, как с технической, так и с экономической точки зрения.

Следующим материалом для производства втулки является биметалл (состоит из двух частей корпус и вкладыш). Внешняя часть изготовлена из круглой стальной заготовки (стали 20, 40, 45, 40Х), имеет высокую прочность на растяжение, ударную вязкость. [1]

Материал вкладыша − чугун с высоким содержанием хрома 26 – 28 %. При номинальных эксплуатационных условиях биметаллическая втулка способна выдерживать высокое давление промывочной жидкости и обеспечивать срок наработки более 800 часов.

В настоящее время на ООО «ОЗНА – Октябрьский механический

завод» для насосов УНБТ 950, с давлением бурового раствора более 20 МПа, цилиндрические втулки производятся центробежным литьем из чугунов марки ВЧ50/ЧХ28.

1.4 Условия эксплуатации поршня

В буровых насосах поршень является сменной деталью. Для регулирования давления и объёма прокачки бурового раствора применяются поршни с различными внутренними диаметрами. Поэтому на практике в процессе разработки забоя используют несколько различных типоразмеров поршней. [6, 7]

Учитывая данную информацию, целесообразно провести анализ условий работы бурового насоса и предъявляемые к ним требования.

Буровые насосы, как правило, располагаются на расстоянии от 70 до 100 метров от скважины. Рабочая температура окружающей среды от минус 55 до плюс 45 °С, температура перекачиваемого раствора изменяется от минус 1 до плюс 85 °С. Насос работает при самовсасывании, при нормальных условиях работы с подпорным центробежным насосом, при давлении до 0,4 Мпа. [20]

Буровой насос в процессе эксплуатации увеличивает объём перекачивания раствора 2 – 3 раза. При этом он должен кратковременно развивать необходимое давление для продавливания частиц выбуренной породы, осевших в затрубном пространстве, трубах или при образовании сальников во время остановки бурения.

Длительность работы насоса изменяется периодами от 25 минут и более 180 часов.

По требованиям эксплуатирующих организаций, буровой насос должен быть прост в эксплуатации, чтобы имелась возможность замены быстроизнашивающихся деталей. [22] Ресурс работы насоса должен составлять не менее 9000 часов.

Буровой насос применяется на бурильных установках с целью обеспечения циркуляции бурового раствора в скважине. Основное предназначение бурового насоса — это обеспечить циркуляцию бурового шлама и предотвратить его оседание в процессе бурения, а также подъём разбуриваемой породы на поверхность. [2]

Следовательно, наиболее агрессивной средой оказывающей, как постоянное, так и периодическое воздействие на внутреннюю поверхность поршня насоса является перекачиваемая среда. [23]

Давление перекачиваемого раствора, создаваемое буровым насосом до 35 МПа. Параметры бурового раствора: глинистый раствор на водной основе с плотностью до 2200 кг/м^3 температурой от 0 до 80º С, с примесью нефти по объему не более 20 %, химических реагентов, утяжелителя.

Общее содержание частиц с твердостью свыше 38 HRC в утяжеленном буровом растворе может доходить до 40 % объема, pH 6-10.

Размер твердых частиц - от $5x10^{-6}$ мм (размер большой молекулы) до 0,1 мм.

Условная вязкость - от 20 до 100 сек. Минерализация - до 15 %. Содержание растворенного газа - до 2 %. Температура бурового раствора, поступающего на прием насоса от 35 до 45° С. [6]

Анализ условий работы бурового насоса, параметров перекачиваемого раствора, материалов и конструкции гидравлической части – пары «поршень – втулка цилиндрическая» взаимодействующих с буровым раствором, позволяет сформулировать следующие условия работы поршня.

Первое, силы трения, образующиеся в процессе набора раствора между поршнем и втулкой, выталкивают втулку в сторону движения поршня. Во время этого процесса внутри цилиндра возрастает давление жидкости, которое выталкивает втулку в обратном направлении с силой, равной произведению этого давления на площадь сечения тела втулки.

При этом резина поршневой манжеты сильнее прижимается к внутренней поверхности втулки цилиндрической.

Во вторых, поверхность внутреннего диаметра получает как постоянное, так и периодическое воздействие от перекачивания бурового раствора поршнем при его возвратно-поступательном движении.

В процессе перекачивания, твердые частицы бурового раствора (с твердостью свыше 38 HRC) под давлением до 35 МПа соприкасаются с внутренним диаметром втулки цилиндрической. Возможны следующие виды контакта:

Контакт происходит хаотичным соударением при свободном витании твердых частиц, при заполнении и опорожнении внутреннего объёма втулки буровым раствором.

Контакт происходит в виде скольжения твердых частиц (размер твердых частиц – от $5x10^{-6}$ мм (размер большой молекулы) до 0,1 мм, в результате попадания их между манжетой поршня и внутренней поверхностью втулки цилиндровой.

Следует также обратить внимание, что в связи с наличием в растворе твердых абразивных частиц размерами от 0,000005 мм до 0,1 мм, однозначно возможен их прорыв в щель между манжетой поршня и зеркалом втулки без износа их рабочих поверхностей. Шероховатость внутренней зеркальной поверхности новой втулки Ra, от 0,25 до 0,4 мкм (0,00025 – 0,0004 мм).

2 Обзор существующих материалов для поршней буровых насосов

2.1 Общие сведения о полиуретанах

Полиуретаны — гетероцепные полимеры, макромолекула которых содержит незамещённую и/или замещённую уретановую группу —N(R)—C(O)O—, где R = H, алкилы, арил или ацил. В макромолекулах полиуретанов также могут содержаться простые и сложноэфирные функциональные группы, мочевинная, амидная группы и некоторые другие функциональные группы, определяющие комплекс свойств этих полимеров. Полиуретаны относятся к синтетическим эластомерам и нашли широкое применение в промышленности благодаря широкому диапазону прочностных характеристик. Используются в качестве заменителей резины при производстве изделий, работающих в агрессивных средах, в условиях больших знакопеременных нагрузок и температур. Диапазон рабочих температур — от −60 °C до +80 °C. [26, 27]

Полиуретан с успехом заменяет резину различных марок (а в некоторых случаях и металлы), благодаря таким свойствам, как износостойкость, кислотостойкость, маслобензостойкость, высокие диэлектрические свойства, а также возможность работы при высоких давлениях, в широком температурном диапазоне.

Полиуретан благодаря своим отличным эксплуатационным свойствам используется, как конструкционный материал во многих отраслях промышленности. Особенность уретановых эластомеров - исключительно высокие эксплуатационные свойства, превосходящие не только все типы каучуков, но и металлы.

На мировом рынке существует множество марок полиуретанов: адипрены, вулколланы, вулкопрены.

Отечественные марки СКУ ПФЛ-100, НИЦ-ПУ 5 и другие, полученные на основе отечественных полиэфиров, не уступают, а по некоторым характеристикам превосходят импортные аналоги.

Уретановые эластомеры можно получать с широким диапазоном свойств. Благодаря высокому модулю полиуретанов по сравнению с другими эластомерами изделия из них можно делать с более тонкими стенками. [28]

2.2 Физико-механические показатели полиуретанов

Механические свойства полиуретанов изменяются в очень широких пределах и зависят от природы и длины участков цепи между уретановыми группами, структуры цепей (линейная или сетчатая), молекулярной массы и степени кристалличности. Полиуретаны могут быть вязкими жидкостями или

являться твёрдыми веществами в аморфном или кристаллическом состоянии. Их свойства варьируют от высокоэластичных мягких резин (твёрдость по Шору от 15 по шкале А) до жёстких пластиков (твёрдость по Шору 75 по шкале D).

Полиуретан относится к конструкционным материалам (КМ), механические
свойства полиуретана дают возможность использовать его в деталях машин и механизмов, подвергающихся силовым нагрузкам. К данному виду промышленных материалов предъявляются очень серьёзные требования с точки зрения сопротивляемости воздействию агрессивной внешней среды. [28, 29]

Таблица 2.1 – Физико-механические показатели различных типов полиуретана

Показатель полиуретана	**НИЦ ПУ-5**	**СКУ-ПФЛ-100**	**ТСКУ-ФЭ-4**	**СКУ-ПФЛ-74**	**Ур-70 В**	**ПТГФ-1000**	**СУРЭЛ-20Ф**	**СКУ-ПФЛ-100М**	**Диафор-ТДИ**	**ЛУР-СТ**	**ТТ 129/194**
Твердость по Шору, ед.	88 — 93	95—98	40—90	88—92	70 — 80	95 — 98	93—97	95—100	86—88	75—85	80—100
Предел прочности при растяжении, кгс/см²	320 — 450	350—400	250 — 350	400 — 450	230 — 390	350 — 420	390 — 500	450 —500	380—460	400—470	380—520
Относительное удлинение при разрыве, %	450 — 580	310—350	400 — 550	400 — 470	670 — 800	310 — 370	330 — 390	350—370	500—600	600—700	320—850
Сопротивление раздиру, кгс/см	75—100	90—110	20—30	70—80	30 — 45	90 — 110	90—110	85—95	55—65	20—30	90—110
Условное напряжение при 100 % удлинении, кгс/см²	75—95	130—160	25—30	60—80	20 — 35	130 — 160	140 — 160	—	45—55	50—80	140—160

Продолжение таблицы 2.1

Относительное остаточноеудлинение после разрыва, %	Не более 10	Не более 10	Не более 10	Не более 8	Не более 15	Не более 10	Не более 8	Не более 10	Не более 10	Не более 10	Не более 10
Температурный диапазон, °С	50	70	80	70	80	80	80	80	80	50	50

Полиуретаны получают взаимодействием соединений, содержащих изоцианатные группы с би- и полифункциональными гидроксилсодержащими производными.

В качестве изоцианатов используются толуилендиизоцианаты (2,4- и 2,6-изомеры или их смесь в соотношении 65:35), 4,4'-дифенилметандиизоцианат, 1,5-нафтилен-, гекса-метилендиизоцианаты, полиизоцианаты, трифенилметан-триизоцианат, биуретизоцианат, изоцианураттизоцианаты, димер 2,4-толуилендиизоцианата, блокированные изоцианаты.

Строение исходного изоцианата определяет скорость уретанообразования, прочностные показатели, световую и радиационную стойкость, а также жёсткость полиуретанов.

Гидроксилсодержащими компонентами являются:

- олигогликоли — продукты гомо- и сополимеризации;

- тетрагидрофурана, пропилен- и этиленоксидов, дивинила, изопрена;

- сложные полиэфиры с концевыми группами ОН — линейные продукты;

- поликонденсации адипиновой, фталевой и других дикарбоновых кислот с этилен-, пропилен-, бутилен- или другими низкомолекулярным гликолями;

- разветвленные продукты поликонденсации перечисленных кислот и гликолей с добавкой триолов (глицерина, триметилол-пропана), продукты полимеризации ε-капролактона.

Гидроксилсодержащий компонент определяет, в основном, комплекс физико-механических свойств полиуретанов.

Для удлинения и структурирования цепей применяются гидроксилсодержащие вещества (например, вода, гликоли, моноаллиловый эфир глицерина, касторовое масло) и диамины (-4,4'-метилен-бис-(о-хлоранилин), фенилен-диамины). Эти агенты определяют молекулярную массу линейных полиуретанов, густоту вулканизационной сетки и строение поперечных химических связей, возможность образования доменных

структур, то есть комплекс свойств полиуретанов и их назначение (пенопласты, волокна, эластомеры и т. д.).

В качестве катализаторов для процесса уретанообразования используют третичные амины, хелатные соединения железа, меди, бериллия, ванадия, нафтенаты свинца и олова, октаноат и лауринат олова. При процессе циклотримеризации катализаторами являются неорганические основания и комплексы третичных аминов с эпоксидами. [28]

В условиях постоянной динамической нагрузки верхним пределом температуры эксплуатации следует считать +120 °С.. Низкие температуры не значительно изменяют свойства полиуретанов. Изменения эластичности и твердости, возникшие при температурах не ниже минус 18 °, носят обратимый характер. Хрупкость начинает появляться при температурах ниже минус 60, минус 80 °С. Таким образом, рабочие температуры полиуретановых изделий лежат в диапазоне от - 70 до +120 °С, эластичность при этом практически не меняется. Допускается периодическое повышение температуры до +130, +140 °С.

Проведенные опыты показали, что полиуретаны очень водостойки. При повышении температуры физико-механические показатели уретанов практически не снижаются. С целью улучшения физико-механических свойств при изготовлении уретанов могут быть использованы рецептурные добавки и наполнители.

Уретановые эластомеры обладают высокими диэлектрическими свойствами. Испытания показали, что при напряжении в 20000 В на образце толщиной в 2 мм наблюдалась "корона" (пробоя образца не наблюдалось). [30]

2.3 Сравнительные характеристики резины и полиуретана

Примеры применяемого сырья:

- Vibrathane B602 — 82A (высокая устойчивость к мех. воздействиям, сита, флотация, шламовые насосы, футеровка);

- Adiprene® L167, L367 — 95A (48Д) (высокая стойкость к абразивному износу, колеса, валы, футеровочные листы);

- Adiprene® L325 — 72Д- (высокая жесткость, срок службы, стойкость к ударной нагрузке, высокое время жизни, температуростойкость);

- Vibrathane® 8000 — 55A — 55Д (стойкость к мех. воздействию, раздиру, абразивному износу, сита, элементы штамповки, чистящие фиски);

- Vibrathane® 6060 — 62A — (низкая твердость при отверждении МОСА, всокая стойкость к циклическому воздействию, низкая остаточная деформация, сита грохотов, валы и ролики).

Эластомеры имеют отличную стойкость к маслам и растворителям и подходят для работы со смазочными маслами, нефтью и ее производными, не имеют озонового старения, имеют высокую стойкость к микроорганизмам и плесени.

Опытная эксплуатация показала, что уретановые эластомеры имеют разную химическую стойкость по отношению к различным химическим реагентам. Очень быстро они разрушаются при воздействии ацетонов, азотной кислоты, соединений содержащих большой процент хлора (соляная кислота, жидкий хлор), формальдегида, муравьиной и фосфорной кислоты, скипидара, толуола

Наиболее распространенным типом полиуретанов в настоящее время являются литьевые полиуретаны типа СКУ ПФЛ-100, НИЦ ПУ-5, имеющие по отношению к другим видам, более высокие физико-механические характеристики и твердость по Шору А 85÷90 единиц. Литьевые полиуретаны чаще применяют для изготовления деталей внутризаводского транспорта, различных валов, шестерен, вибростойких деталей, отбойных молотков и других изделий для машиностроения, горнодобывающей, авиационной, автомобильной, нефтегазодобывающей, строительной, полиграфической и других отраслей промышленности.

Уретановые эластомеры, как конструкционные материалы, не просто заменяют металлы, а превосходят их по эксплуатационным свойствам в силу уникального сочетания физико-механических характеристик. Особый интерес представляет применение литьевых полиуретанов в производстве вибростойких деталей (например, устройство амортизации установок погружного электроцентробежного насоса, протектора центратора подвески НКТ), а так же в уплотнительной технике и кузнечно-штамповом производстве.

Полиуретан с успехом заменяет резину различных марок (а в некоторых случаях и металлы), благодаря таким свойствам как: износостойкость, кислотостойкость, маслобензостойкость, высокие диэлектрические свойства, а также возможность работы при высоких давлениях (до 105 МПа) в широком температурном диапазоне (от -60 до +140 °С). При специальной обработке полиуретан имеет прочные связи с металлом. Ниже приведена таблица 2.2 сравнительных характеристик полиуретана и резины.

Таблица 2.2 – Сравнительные характеристики резины и полиуретана

Наименование показателей	**Значение для резины**	**Значение для полиуретана**	**Примечание**
Условная прочность при растяжении, МПа (кг с/см²)	12,7 (130)	35 (350)	Полиуретан превышает прочность резины в 22,5

продолжение таблицы 2.2

Относительное удлинение при разрыве, % не менее	300	500-600	Полиуретан эластичней резины в 2 раза
Твердость, единица Шора А	40-50	55-97	Полиуретан может быть изготовлен различной твердости
Истираемость $м^3/т$ ДЖ не более	45-80	11,25-26,6	Условная износостойкость полиуретана в 3 раза выше

2.3.1 Механическая обработка литьевых полиуретанов

Резание заготовок

Одна из лучших машин для того, чтобы распилить уретаны — ленточная пила. Длинные режущие полотна 3 — 4,5м длиной желательны, так как они хорошо охлаждаются и препятствуют плавлению уретана. Тип хорошо работающей пилы — 16 зубов на 100мм длины с очищающей разводкой. Очищающая разводка пилы — имеющая зубы с чередующимся налево и направо наклоном. Этот тип лезвия уменьшает трение, удаляя крошки из пропила. Пила должна вращаться при работе со скоростью 750м/мин для почти всех твердостей. Скорость подачи задается вручную оператором. Любая умеренная подача пилы приемлема, нельзя форсировать работу. [40]

На более мягком уретане, более быстрые скорости подачи из-за трения уретана препятствуют опусканию лезвия в прорезь, генерируя теплоту. При резке тонкой листовой заготовки низкой твердости, работа должна выполняться с использованием жесткой подложки. Лист картона, например, поможет предотвращать деформирование обрабатываемой детали под тянущим усилием пилы. При резке полиуретана твердостью 90Шор А и ниже используйте распыление охлаждающей эмульсии на водной основе.

Фрезерование

Уретан с твердостью в пределах 90Шор А до 75Шор D может фрезероваться без затруднений, режимы обработки подобны при работе с алюминием. Фрезеровать полиуретаны с твердостью ниже 80Шор А не рекомендуется. Инструментальные средства должны быть остры, и деталь должна фиксироваться надежно. Двух желобчатая фреза предпочтительна. Роликовые фрезы должны использовать высокоскоростные резцы с круглым носиком. Скорость резца должна быть 900 — 1300 оборотов/минуту. Скорость подачи 350 — 500мм/минуту.

Точение

Используйте острые резцы и медленную подачу резца. Очень важна геометрия резца (см. рисунок). Для твердости 95А и выше скорость вращения

заготовки 600-1000об/мин, скорость подачи резца — 0.1-0.2мм/сек, радиус заточки резца 1.5мм. Уретаны твердостью 80-90А обрабатываются при скорости резания 1000-1500 об/мин, скорость подачи резца — 0.5-1.0мм/сек, радиус заточки резца 0.8мм.

При точении деталей больших диаметров рекомендуются заглубление резца 2.5-3мм при подаче 0.7-0.8мм за оборот.

Резцы для уретана должна иметь острые, тщательно заточенные грани.

Очистка инструмента должна быть больше, чем используемая для металла.

Цель состоит в том, чтобы иметь маленькую скорость перемещения инструмента по уретану. Зазор между инструментом и полиуретаном должен быть большой, стружка должна отрываться как непрерывная полоса или лента.

Шлифовка

Уретаны твердостью 55 — 80Шор А могут быть успешно шлифованы на токарном станке, используя в резцедержателе шлифовальное приспособление. Используйте низкие скорости вращения (менее 150 оборотов/минуту) обрабатываемой детали с обратным вращением. Начинайте со скорости подачи инструмента шлифовки 0,1-0,15мм за оборот. Используйте более медленную подачу, чтобы улучшить качество шлифуемой поверхности или удалять больше материала за один проход. Слишком большая толщина удаляемого слоя за проход приводит к плавлению или смазыванию поверхности детали и абразивного круга. Абразивный круг должен иметь небольшой радиус на рабочей кромке. Скорость вращения шлифовального круга круга должна быть 2250 — 3250 об/мин. Тонкие абразивы могут использоваться для финишной полировки. Уретаны твердостью выше 80Шор А обычно требуют некоторого количества охлаждающей жидкости, однако, они могут иногда быть шлифованы насухо. Вода — хороший охладитель. Рабочее место должно быть оборудовано коллектором отсоса пыли.

Сверление

Тихоходные спиральные сверла использовать лучше всего, потому что крупная бороздка обеспечивает свободный выход стружки с минимумом наращивания теплоты и налипания.

Частое отведение назад сверла помогает в очитске бороздок сверла от полиуретана.

Для исключения разрыва полиуретана на выходе сверла, следует использовать подложку из твердого материала. Угол между режущей кромкой и осью вращения определяется конечной толщиной стенки.

Угол 90-110° лучше для толстых стенок и больших диаметров, для тонких стенок лучше углы 115 — 130°. Скорость подачи 0.3-0.6мм за оборот. [40, 41]

Для оценки адгезионного взаимодействия порошкообразного наполнителя с полимерной матрицей была разработана методика, суть которой заключается в следующем: в измерительную ячейку заливается отвакуумированная рабочая жидкость, помещается исследуемый образец

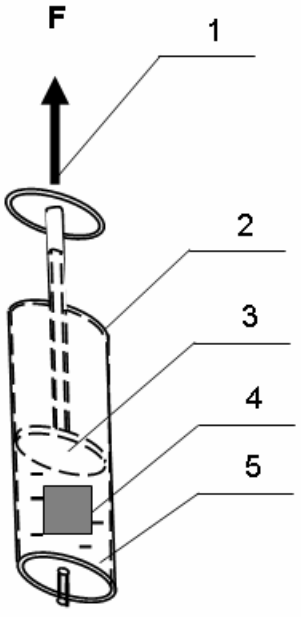
НПМ (рис. 2.1), и устанавливается поршень, который вытесняет остаточный воздух. Собранная измерительная ячейка крепится в захвате разрывной машины, включается система перемещения захвата машины.

2.4 Определение изотропного адгезионного взаимодействия порошкообразных наполнителей с полимерным связующим

Механические характеристики наполненных полимерных материалов (НПМ) определяются свойствами наполнителя, связующего и их адгезионным взаимодействием. [43, 44]

Для оценки адгезионного взаимодействия порошкообразного наполнителя с полимерной матрицей была разработана методика, суть которой заключается в следующем: в измерительную ячейку заливается отвакуумированная рабочая жидкость, помещается исследуемый образец НПМ (рис. 2.1), и устанавливается поршень, который вытесняет остаточный воздух. Собранная измерительная ячейка крепится в захвате разрывной машины, включается система перемещения захвата машины.

При движении поршня в цилиндре производится автоматическая регистрация изменения растягивающей нагрузки (F), возникающей при приложении к телу гидростатического давления жидкости.



1 – направление движения поршня в момент измерения; 2 – цилиндр; 3 – поршень; 4 – образец; 5 – рабочая жидкость

Рисунок 2.1 – Измерительная ячейка для определения характеристик внутриобъёмных взаимодействий наполнителя к связующему

Затем для определения сил трения поршня о стенки цилиндра (*F*т) устройство разгерметизируется, включается рабочий ход машины и снова проводится запись графической зависимости нагрузки от перемещения поршня. На рисунке 2.2 представлены типичные диаграммы нагружения ячейки с образцом и без него.

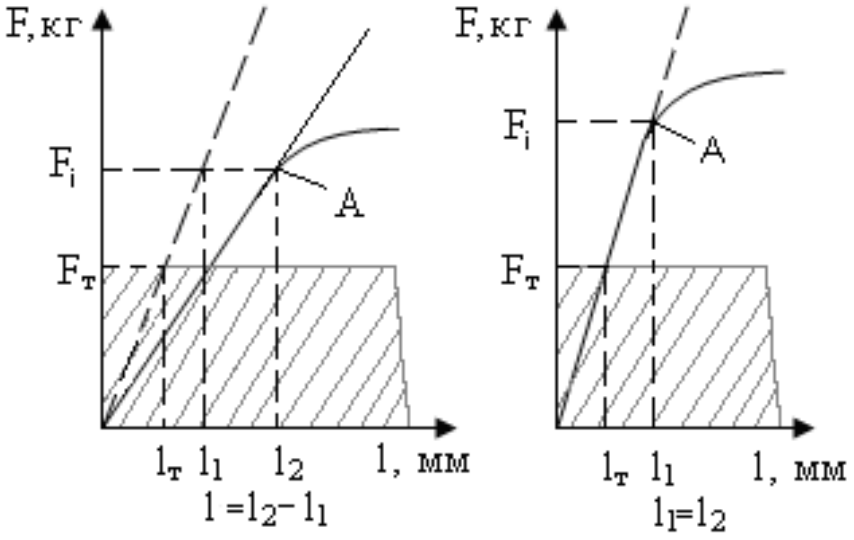


Рисунок 2.2 – Типичные диаграммы нагружения: *а* –ячейка с «деформируемым» образцом, (----) ячейка без образца; *б* – ячейка с «недеформируемым» образцом

В случае слабого скрепления наполнителя со связующим в НПМ при относительно небольших внешних растягивающих напряжениях происходит отслоение частиц наполнителя от полимерной матрицы, что отражается на диаграммах нагружения (рисунок 4.2 а).

Линейный (начальный) участок на диаграммах нагружения образцов связан с деформационными свойствами полимерной матрицы, крепленной с частицами наполнителя. Нелинейный участок на диаграммах связан с деформированием отслоившейся от наполнителя полимерной матрицы. Численное значение величины прочности адгезионного соединения наполнителя с полимерной матрицей определяется по точке А (пересечение линейного и нелинейного участков) на диаграмме нагружения.

Затем опускается перпендикуляр до значения величины трения поршня о стенки цилиндра и измеряется нагрузка *Fa*, кг и длина диаграммной ленты l диагр, мм. Известно, что однородный материал при всестороннем растяжении деформируется по закону Гука:

$$a = Kp \cdot \theta \qquad (3)$$

где *Kp* – объемный модуль при растяжении, кгс/см2;

θ – объемная деформация, в относительных единицах (0,01 = 1 %);

a – прочность объемного адгезионного взаимодействия , которая тождественно равна давлению, возникающему в жидкости (P = Fa/S, кгс/см2) при нагрузке на поршень (*a*= F*a*,), действующей на площадь поперечного сечения поршня ($S = \pi \cdot D2/4$, см2);

Fa = *Fi* – *F*т – нагрузка, соответствующая точке А, кгс;

Fi – нагрузка при которой происходит объемное разрушение образца, кгс

*F*т – сила трения поршня в цилиндре, определяемая при нагружении разгерметизированной измерительной ячейки с рабочей жидкостью.

Объемная деформация на момент разрушения (θ, %) определяется следующим образом:

$$\theta = \frac{\Delta V}{V_{об}} \cdot 100 \ \ \% \qquad (4)$$

где $\Delta V = l \cdot S$ – изменение объема образца, мм3;

S – площадь поперечного сечения поршня, мм2;

l = *lдиагр*· *Vмаш* / *Vдиагр* - перемещение поршня, мм;

V маш – рабочий ход машины, мм/мин;

l диагр – длина диаграммы до точки «А», мм;

V диагр – скорость протяжки диаграммной ленты, мм/мин;

Vоб = *m* · 1000/*ρ* – объем образца, мм3;

m – масса образца, г;

ρ – плотность образца, г/см3.

Объемный модуль образца (*Kp*, кг/см2), определяется:

$$K_p = \frac{\sigma_a}{\theta} \qquad (5)$$

Для проверки достоверности результатов проводилась серия из пяти параллельных испытаний, рассчитаны *σa, θ, Kp* и их средние квадратичные отклонения (*a, p ,K*), соответственно. [44]

Предложенным методом проводились измерения адгезионных взаимодействий порошков: алюминия, перхлората аммония и октогена с полимерным связующим, оценивалась точность этих измерений. [45]

Показано, что по прочности адгезионного взаимодействия в порядке уменьшения исследуемые порошки образуют ряд алюминий – перхлорат аммония – октоген.

Разработанный метод определения прочности адгезионного взаимодействия порошкообразных наполнителей с полимерной матрицей, который основан на всестороннем (объемном) растяжении образца, является воспроизводимым и может быть рекомендован для количественной оценки адгезионного взаимодействия порошкообразных наполнителей с полимерными связующими.

3 Обзор работы поршня бурового насоса

3.1 Исследование работы быстро изнашиваемых узлов бурового насоса

Гидравлическая часть современных конструкций отечественных и зарубежных буровых поршневых насосов включает в свой состав гидравлические коробки, клапанные пары, цилиндропоршневые группы, уплотнения штоков поршней и крышек клапанных пар, цилиндровые втулки и крышки клапанных пар цилиндровой группы. Несмотря на совершенствование конструкции гидравлической части буровых поршневых насосов и технологии их изготовления, показатели ее надежности не в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям, в первую очередь, по наработке на отказ. В таблице 3.1 приведены результаты статистической обработки информации о наработке деталей гидравлической части буровых насосов, полученные в ранее выполненных работах по исследованию буровых поршневых насосов

Таблица 3.1 – Результаты статистической обработки информации о наработке деталей буровых насосов

Деталь	Закон распределения	Статистический параметр распределения	
		Наработка до отказа, ч	Коэффициент вариации
Поршень	Экспоненциальный	98	0,83
Цилиндровые втулки	Вейбулла	204	0,52
Штоки	Логарифмически-нормальный	106	0,48
Клапаны	Экспоненциальный	73	0,77

Значения коэффициента вариации экспоненциального закона распределения наработки на отказ поршней и клапанов буровых насосов, равные 0,83 и 0,77 соответственно, свидетельствуют о высокой вероятности внезапного выхода из строя этих деталей.

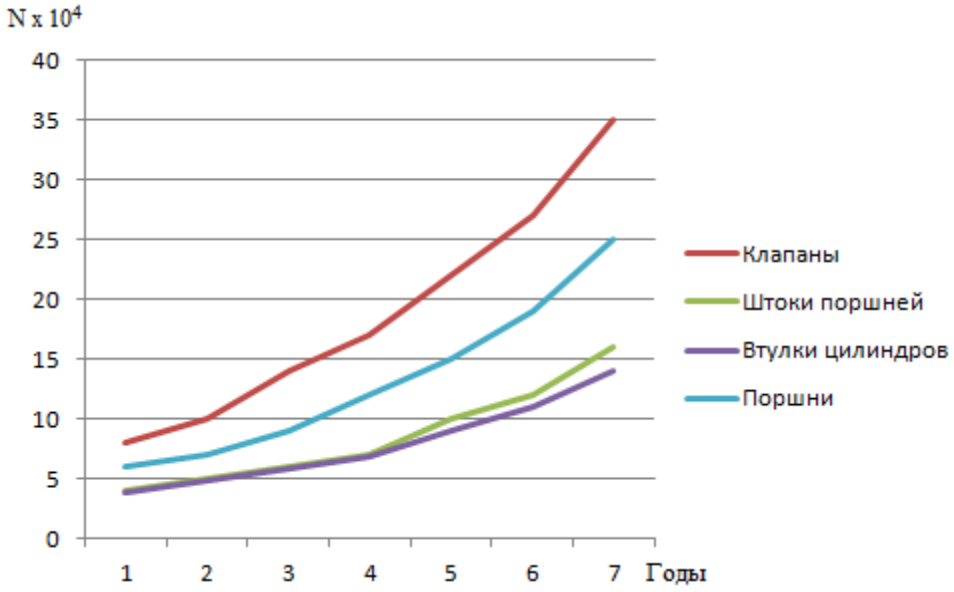
Широкий диапазон изменений значений среднеквадратичного отклонения наработки на отказ поршней и клапанов буровых насосов также свидетельствует о том, что долговечность и износостойкость этих деталей зависят от влияния большого числа различных факторов. Аналогичные выводы были получены в результате исследований и других авторов. [4]

Например, в работе отмечено почти двукратное сокращение наработки

на отказ деталей гидравлической части буровых насосов при бурении скважин в интервале 4000 – 5000 м по сравнению с бурением скважины в интервале. [5]

1000 – 2000 м. Следствием этого является соответствующее увеличение количества расходуемых деталей и узлов, в том числе клапанных пар, используемых для восстановления работоспособности буровых поршневых насосов (рисунок 3.1). Как видно из рисунка 3.1, клапанная пара бурового поршневого насоса является самой его быстро изнашиваемым узлом. По данным, приведенным в, можно заметить, что клапанные пары изнашиваются быстрее, чем остальные детали гидравлической части бурового поршневого насоса. [6, 7]

Из вышеизложенного следует, что надежность деталей гидравлической части бурового поршневого насоса в значительной степени зависит от износостойкости взаимно контактирующих поверхностей и уплотнительных элементов поршня и клапанной пары. Например, средняя наработка на отказ клапанов буровых поршневых насосов, нагнетающих промывочную жидкость под давлением 16 – 18 МПа, не превышает 100 ч. [5]



1 – клапаны, 2 – поршни, 3 – штоки поршней, 4 – втулки цилиндров

Рисунок 3.1 – Соотношения количества расходуемых деталей по их видам

Замена изношенных узлов и деталей бурового поршневого насоса в процессе бурения скважины требует значительных материальных и трудовых затрат, применения тяжелого ручного труда в весьма неблагоприятных климатических условиях, а также временного вывода бурового насоса из эксплуатации. [1, 5]

В процессе бурения скважины клапаны бурового поршневого насоса,

как правило, заменяются на новые чаще, по сравнению с другими деталями гидравлической части насоса. Изучение характера повреждений отработанных клапанов буровых поршневых насосов, проведенного в процессе проведения ремонта последних на базах производственного обслуживания ряда буровых компаний, показало, что причин являются ведущие виды износа, а также различные повреждения их рабочих поверхностей (таблица 9). [1, 6]

Таблица 3.2 – Сведения наработки клапанов буровых насосов

Тип насоса	Характер повреждений поверхности дета-ли	Ведущий вид из-носа детали	Наименование буровой компании
НБТ-600	Царапины и глубокие риски на рабочих поверхностях стальных деталей	Абразивный	Азнакаевское УБР (управле-ние буровыми работами)
НБ-375	Лунки, вмятины, неглубокие трещины, выкрашивание, наклеп рабочих поверхностях стальных де-талей	Ударно-гидроабразивный	Азнаевское УБР
БрН-1	Коррозия рабочей поверхности металлических дета-лей	Коррозионно-механический	Туймазинское УБР
9Т	Срезание и сколы части рабочей поверхности детали	Механический	Туймазинское УБР
9МГр	Изменение размеров и формы эластичных деталей	–	Туймазинское УБР
УНБ-600	Пластическая де-формация рабочей поверхности, наличие поверхно-стных и внутрен-них трещин, раз-рыв манжеты	Усталостный	Туймазинское УБР
УНБ-600, УНБТ1180L	Изменение размеров и формы эластомеров	Усталостный, пластическая де-формация	Буровая ком-пания «Евра-зия»
3NB-1600 QF-1300	глубокие риски на рабочей поверхности трения стальных деталей,	Абразивный	«СГК-Бурение»

3.2 Характерные виды повреждаемости поршня насоса при эксплуатации

Как отмечается в 33 % случаев поломки буровых насосов происходит из-за износа пары цилиндровая втулка – манжета поршня. Манжеты изготовляются из резины с кордом; также вместо манжет применяются пластмассовые кольца. Защита и увеличение срока эксплуатации этой пары являются важными инженерными задачами. [13]

В технической литературе очень мало сведений о видах повреждаемости непосредственно поршня насоса. Поэтому, вероятно, имеет смысл сначала рассмотреть процессы повреждаемости, общие для всех пар трения, а затем, - имеющиеся данные о поршне насоса.

В настоящее время не существует единой классификации видов изнашивания и повреждаемости, так как до сих пор не выявлены причины, по которым надлежит классифицировать изнашивание.

В классификации изнашивания по внешним признакам различают изнашивание при трении скольжения со смазочным материалом и без него, а также со слоем абразивного порошка. Существует классификация, в которой учитывают характер взаимодействия поверхностей при трении и характер протекающих на трущихся поверхностях процессов. В уточненном виде она включает: адгезию или истирание поверхностей, абразивное воздействие или резание, коррозию, усталость, а также другие редко встречающиеся виды изнашивания.

И.В. Крагельским разработана классификация видов изнашивания, построенная на рассмотрении трех последовательных этапов: взаимодействие поверхностей, происходящее при скольжении поверхностей, их изменение, затем разрушение. [24]

Наиболее удачными являются классификации, предложенные Б.И. Костецким. [25] В соответствии со взглядами Костецкого все многообразие процессов поверхностного разрушения при внешнем трении разделено на две резко выраженные области нормального и паталогического процессов: изнашивание и повреждаемость.

Основные виды износа, которым может подвергаться поверхность цилиндровой втулки при работе бурового насоса:

1) усталостный;
2) абразивный;
3) коррозионный;
4) эрозионный;
5) механический.

В рассмотрен износ деталей цилиндровой группы на примере деталей наиболее распространенных насосов. Для удобства классификации основных параметров, характеризующих режим работы уплотнительных устройств в автором были приняты следующие характеристики: давление до 10 МПа – низкое; давление от 10 до 16 МПа – среднее; давление от 16 до

32 МПа – высокое; вода техническая и бетонитовый раствор без абразивных частиц – чистые жидкости; буровые растворы (ρ = 1,05 – 1,2 г/см^3) с содержанием песка до 1% – малоабразивные жидкости; буровые растворы (ρ = 1,3 – 1,6 г/см^3) с содержанием
песка до 3 % – среднеабразивные жидкости; буровые растворы (ρ = 1,7 – 2,2 г/см^3) с содержанием песка более 3 % – высоко – абразивные растворы. Мы также воспользуемся данной классификацией. [17, 26, 27]

В режиме низкого давления жидкость, перекачиваемая насосами, чаще всего представляет собой легкий буровой раствор, содержащий значительное количество абразива (в основном песка до 5 %); температура раствора невысокая, в основном 20 – 40 °С. В таких условиях наиболее выраженными видами изнашивания цилиндропоршневых пар являются абразивный и гидроабразивный. Рабочие поверхности втулок и поршней покрыты густой сетью продольных рисок различной глубины (в большинстве случаев мелких).

Глубокие риски – канавки, которые можно отнести к категории местных промывов имеются только на отдельных участках внутренней поверхности втулки. Как правило, отмечается противостояние рисок и промывов на втулке и поршне. Статистические исследования распределения износа в цилиндропоршневых парах насоса 11ГрИ позволили автору установить следующее:

а) диаметральные износы цилиндровых втулок статистически распределяются по закону модуля разности, радиальные – по закону эксцентриситета, а глубина промывов и рисок – по нормальному закону;

б) построенные по средним арифметическим значениям профилограммы геометрического распределения износов в характерных сечениях втулки обнаружили бочкообразность цилиндровой втулки в продольном сечении, одностороннюю овальность в нижней части ее поперечного сечения, соответствие областей и градиента промывов с односторонним износом. Причем область существования промывов уже области одностороннего износа, а градиент промыва выше градиента одностороннего износа. Глубина рисок в нижней части цилиндровой втулки оказалась приблизительно в два, три раза выше, чем в верхней.

Для цилиндровой втулки и поршня, работающих в паре, характерно радиальное противостояние рисок и промывов на поверхностях трения, причем глубина промыва на поршне, как правило, больше, чем на втулке;

в) Неравномерность износа цилиндровой втулки объясняется следующим образом: бочкообразность – неполным прохождением длины втулки всей длиной поршня и неравномерной скоростью поршня; односторонняя овальность – придонным перемещением абразивных частиц и односторонним нагружением крейцкопфа насоса; соответствие областей и градиентов промывов и рисок с односторонним износом – закономерностью изнашивания цилиндропоршневой пары; радиальное

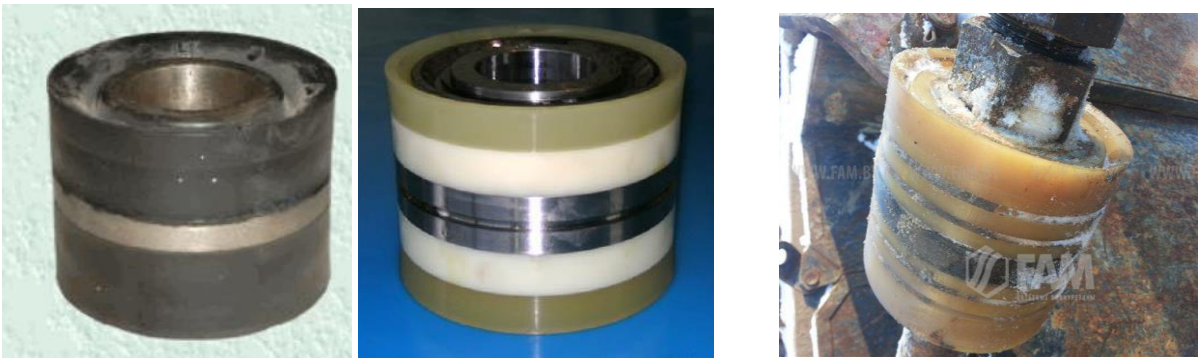
противостояние рисок и промывов на втулке и поршне – возвратно – поступательным характером перемещения поршня; превышение глубины промыва поршня над глубиной промыва втулки – различным сопротивлением резины и закаленной стали режущему действию скользящей гидроабразивной струи. Если местное расположение промывов вызвано односторонним износом втулки, то дискретный характер из существования следует связывать с образованием глубоких абразивных рисок в ее нижней части.

В режиме среднего давления, этот режим работы буровых насосов наиболее распространен, явно выражены несколько видов изнашивания цилиндропоршневой пары. При перекачивании высоко – абразивных жидкостей невысокой температуры (до 50 °С) характерны абразивное, гидроабразивное, усталостное и механическое изнашивания деталей пары. Наряду с этим проявляются термодеструкция материала поршневых манжет, их остаточная деформация или набухание. Снижение концентрации абразива в перекачиваемой жидкости уменьшает абразивный износ деталей. Повышение температуры жидкости интенсифицирует термодеструкцию поршневых манжет. При перекачивании средне – и высокоабразнвных растворов поверхность цилиндровых втулок так же, как и при эксплуатации насосов на режимах низкого давления, покрыта густой сетью продольных рисок, а на отдельных участках, главным образом в нижней части, имеются один и несколько глубоких промывов. Если в радиальном сечении втулка также изнашивается неравномерно с максимумом износа в нижней части, то в продольном сечении выявляются новые закономерности изнашивания. Помимо этого, наблюдались отколы кусков от втулок, а также признаки механического изнашивания были отмечены при задире металлоарматуры поршня о втулку из – за значительной несоосности.

В режиме высокого давления (особенно выше 20 МПа) основными видами изнашивания являются термодеструкция и усталостное разрушение материала манжет, особенно в области уплотняемого зазора. Причем увеличение концентрации абразива в перекачиваемой жидкости несущественно интенсифицирует процесс разрушения нары, в основном влияя на износ поверхности поршня. При высоких давлениях цилиндропоршневая пара выходит из строя вследствие преждевременного разрушения поршня под действием высокой температуры трения. Снижение абразива в растворе позволяет большее число поршней отработать в одной втулке и почти не отражается на долговечности поршня.

Касаемо износа поршней бурового насоса можно сделать заключение, что разрушение поршней начинается с образования сети мелких рисок и царапин, истирания внутренней поверхности поршня. Пример изношенной поверхности поршня бурового насоса представлен на рисунке 3.2.

а) б) в)



а – поршень из резины; б – поршень из полиуретана; в – поршень из полиуретана с металлическим сердечником диаметром 170 мм насоса УБТ-600 после наработки 470 часов

Рисунок 3.2 – Поршни буровых насосов

Было установлено, что около 80% отказов буровых насосов вызваны износом поршня. Износ поршня является основной причиной отказа работы бурового насоса. Повышение износостойкости пары трения поршень-цилиндр стал ключевым фактором для улучшения срока службы поршня.

Ниже приведен рисунок полиуретанового поршня и его схематическое исполнение (рис. 3.3).

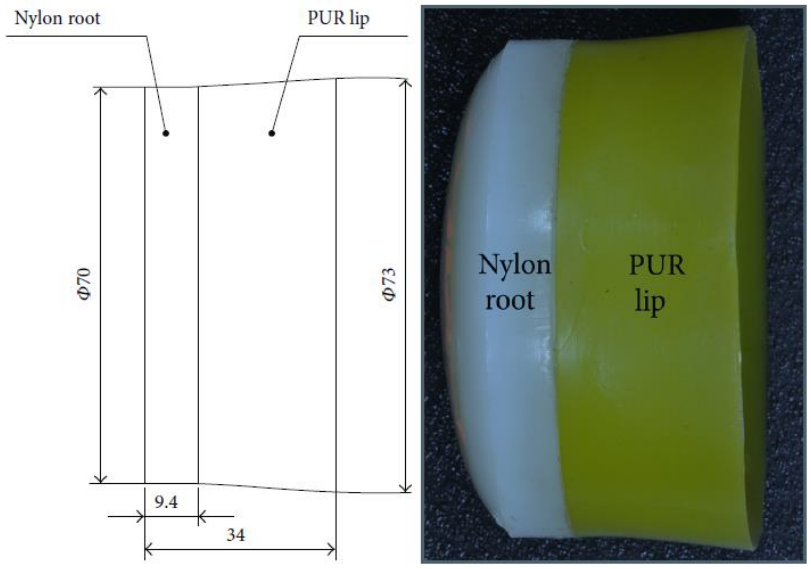


Рисунок 3.3 – Модель полиуретанового поршня

Ниже приведена схема взаимодействия твердых частиц с поверхностью цилиндра, взятая из [11], где 1 – резиновое поршневое кольцо; 2 – стенка цилиндра; 3 – зерно кварца; δ – толщина слоя граничной смазки; p – давление на резину; v – направление скорости носителя твердых

частиц.

Из имеющихся данных от ООО «ОЗНА – Октябрьский механический завод», следует обратить на следующую информацию.

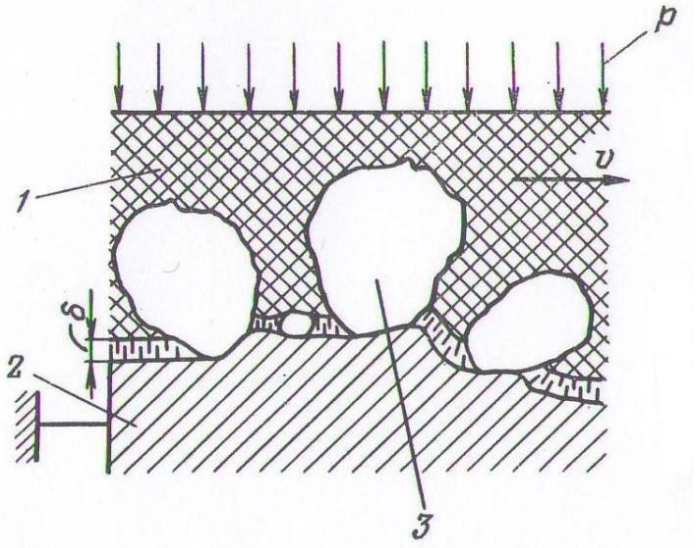


Рисунок 3.4 – Схема взаимодействия твердых частиц с поверхностью поршня бурового насоса

Из схемы видно, что частицы довольно большие по размерам, это ведете к интенсивному изнашиванию резиновых манжет бурового насоса и характеризуется быстрым выходом из строя.

4 Исследование работы полиуретанового поршня бурового насоса

4.1 Методика проведения исследования полиуретановых поршней

Многие исследователи, недостаточную долговечность поршней из резины объясняют термодеструкцией и выкрашиванием резины за счет повышения контактных давлений, скоростей движения и высокой температуры трения, несмотря на принудительное, но недостаточно эффективное охлаждение трущихся пар. Одной из причин быстрого износа уплотнения поршня является усталостное разрушение резины на тыльной стороне «манжеты». Уменьшение ее длины в сборных поршнях несколько улучшает условия эксплуатации, но не решает проблему. [43]

На основе проведенных исследований установлено, что в буровом насосе НБТ-600-11 износ уплотнения поршней возрастает при достижении:

- давления P = 16 - 17 МПа;
- скорости скольжения V = 0,78 - 0,80 м/с;
- температуры контакта T = 110 - 130 °C.

Более высокая долговечность современных поршней объясняется применением полиуретановых эластомеров, эффективным охлаждением и отказом от традиционной, но устаревшей, маслобензостойкой резины. На наш взгляд наиболее перспективным, с учетом научных достижей в области нанотехнологий, является поиск и внедрение износостойких материалов для изготовления рабочих элементов буровых насосов.

В связи с тенденцией повышения давления (P) и до некоторой степени скорости (V) и температуры (T) применение обычной резины для изготовления уплотнений поршней неперспективно несмотря на оригинальные конструктивные решения изобретателей. Кроме того, коэффициент трения резины по металлу имеет высокое значение (> 0,25 при ограниченной смазке).

Полиуретаны относятся к синтетическим эластамерам и нашли широкое применение в промышленности благодаря широкому диапазону прочностных характеристик. Используются в качестве заменителей резины при производстве изделий, работающих в агрессивных средах, в условиях больших знакопеременных нагрузок и температур. Полиуританы могут быть вязкими жидкостями или твердыми (аморфные или кристаллическими) продуктами – от высокоэластичных мягких резин до мягких резин до жестких пластиков (твердость по Шору от 15 по шкале A до 60 по шкале D соответственно). Полиуританы устойчивы к действию кислот, минеральных и органических масел, бензина, окислителей. Основные физико-механические характеристики полиуританов приведены в Уникальные физико-механические свойства полиуретана позволяют использовать для изготовления элементов поршневых насосов работающих в тяжелых абразивных условиях.

Полиуретаны обладают целым рядом достоинств:

- масло бензостойкость;

- отсутствие остаточной деформации;
- устойчивость к гидроабразивам и истиранию;
- рабочий температурный режим от – 50 до + 110 0С;
- износостойкость, химическая инертность.

Экспериментальное исследование механических свойств полиуретановых поршней выполнялось на оборудовании Центра экспериментальной механики ПНИПУ. [35, 36] Механические испытания проводись на универсальной электромеханической системе Instron 5882 с использованием высокоточного независимого датчика нагрузки типа Drop-through, климатической камеры SFL 3119-407 и видео экс тензометра Instron AVE .

В испытание полиуретаного поршня входит:

– охлаждение полиуретаного поршня 2 часа до пониженных температур 20, 0 °С; –20, –30, –40, –50, –60 °С;

– высоко точное измерение деформации образца видео экс тензометром AVE;

– сжатие до разрушения либо значительной деформации поршня (до 50 %);

– определение максимального напряжения при сжатии (σв), напряжения сжатия при пределе текучести (σст), напряжение при сжатии, соответствующее точке, в которой кривая «нагрузка – деформация» отклоняется от линейности на величину деформации в 0,2 % (условный предел текучестиσ 0,2) [3], напряжение сжатия при установленной условной деформации в 2 % (σ2), деформация сжатия при разрушении (εср), относительная деформация сжатия при пределе текучести (εст);

– построение графиков процесса нагружения σ = f(ε) для каждой температуры с последующим анализом механического поведения поршней при отрицательной температуре;

– определение модуля упругости (Е) и его изменение в зависимости от температуры;

– построение графиков температурных зависимостей.

$$\sigma_в = f(T),\ \sigma_{0,2} = f(T),\ \sigma_2 = f(T) \quad (1)$$

$$\varepsilon_ст = f(T),\ E = f(T). \quad (2)$$

Механические характеристики материала исследовались в ходе испытания на одноосное сжатие по ГОСТ4651–82. Поршни из полиуретана имели следующие геометрические размеры: высота 44 мм, внешний диаметр 45 мм.

Измерение деформации проводилось с использованием видео экс тензометра Instron AVE и базы измерения деформации: 25 мм. Внешний

вид образца с нанесенными метками для фиксации деформации при помощи видео экс тензометра представлена рис. 4.1

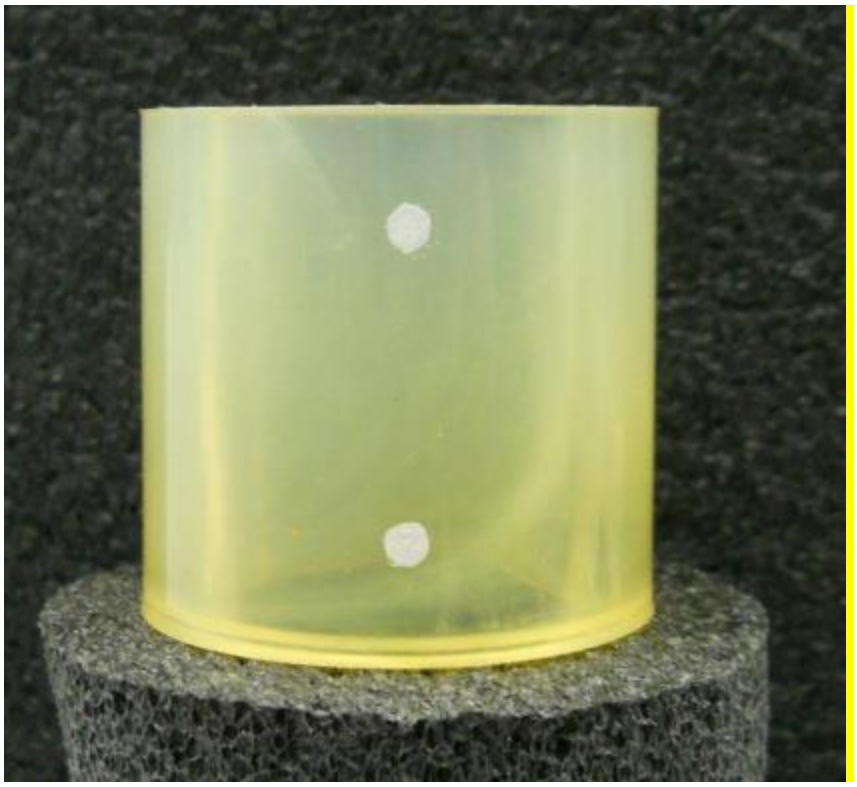


Рисунок 4.1 – Образец полиуретанового поршня

Скорость перемещения подвижного зажима составляла 2 мм/мин. Процесс деформирования полиуретановой втулки управлялся и фиксировался с помощью программного обеспечения Bluehill2.

4.1.1 Ход испытаний

Входе исследований были проведены испытания при различной температуре. При температуре в климатической камере +20 °С и 0 °С полимерный материал находился в высоко эластичном состоянии, и большие значения деформации сжатия (до 50 %) не привели к его разрушению. После снятия нагрузки образцы восстановили свою первоначальную форму. При температуре испытания –20 °С и –30 °С полимер перешел ввязко - упругое состояние.

Разрушения не произошло, но после снятия нагрузки полиуретановая поршень заметно медленнее по сравнению с предыдущими испытаниями восстановила свою первоначальную форму. Здесь необходимо отметить, что при температуре –30 °С после восстановления формы в центральной части поршня по всей окружности наблюдалось не большое потемнение, что говорит об изменениях (повреждениях) в структуре материала. Видимо, это

потемнение возникло при значительных деформациях (более 25 %) в результате больших значений напряжений в середине поршня. В условиях низких температур испытания –40, –50 и –60 °С полимер перешел в упругое состояние. Так, при температуре – 40 °С и деформации 25 % в центральной части поршня образовалась трещина, которая носит сдвиговой характер.

При –50 °С деформации сжатия более 25 % произошло разрушение поршня. Разрушение образца носило хрупкий характер. Механическое поведение поршня в данном эксперименте характерно для упругого материала. В центре по окружности поршня наблюдалась трещина, вызванная нормальными напряжениями при изгибе. Вдоль оси поршня образец хрупко разрушился в результате окружных напряжений и напряжения сжатия, что говорит об изменениях структуры материала и переходе его механических свойств от вязко-упругого к упругому состоянию. При этом прочностные свойства растут, но снижаются диссипативные и деформационные свойства. При температуре –60 °С материал потерял реологические свойства.

Прочностные характеристики материала по сравнению с нормальным состоянием выросли в несколько раз. Таким образом, для данных геометрических параметров поршня (размер площади сечения) максимальная нагрузка на образец превысила 100 кН, что является предельной нагрузкой для испытательной системы Instron 5882. Образец после разгрузки сразу вернулся в исходное состояние. Анализ механического поведения полиуретана показывает, что при данной температуре в материале преобладают упругие свойства и снижаются деформационные и, видимо, вязкостные свойства.

По своим механическим свойствам материал близок к точке стеклования, которая, видимо, находится в диапазоне –70 °С...–80 °С . [37] Для оценки вязкостных и диссипативных свойств необходима разработка специальных испытаний, например, на основе динамического механического анализа (ДМА). [38]

В результате динамического испытания на циклическое сжатие поршней из полиуретана ТДИ, МДИ, НДИ при температуре 20С получились петли гистерезиса, представленные на рисунке 4.2.

Изменение прочностных свойств полиуретана под воздействием под различной температурой характеризуется диаграммами предела прочности (максимальное напряжение сжатия). В результате проведенных экспериментальных исследований мы наблюдаем, что пердел прочности в той или иной степени растёт ч понижением температуры рисунок 4.3.

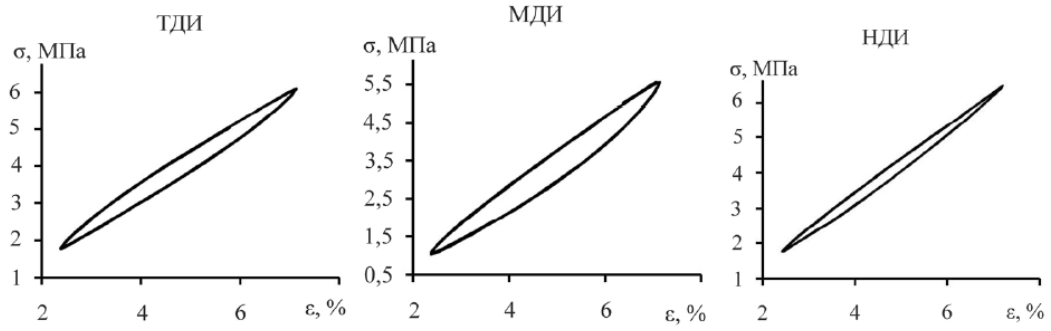


Рисунок 4.2 – Петли гистерезиса для исследуемых типов полиуретанов

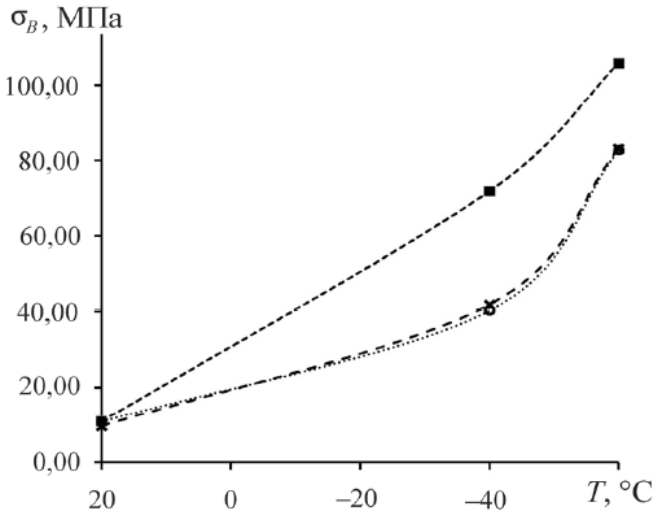


Рисунок 4.3 – Зависимость предела прочности полиуретановый втулки от температуры

4.1.2 Анализ результатов исследований.

После проведения испытаний все диаграммы «напряжение – деформация» были сведены в один рис. 3 для более наглядного представления. Все основные характеристики сведены в протокол испытаний, представленный в виде табл. 10.

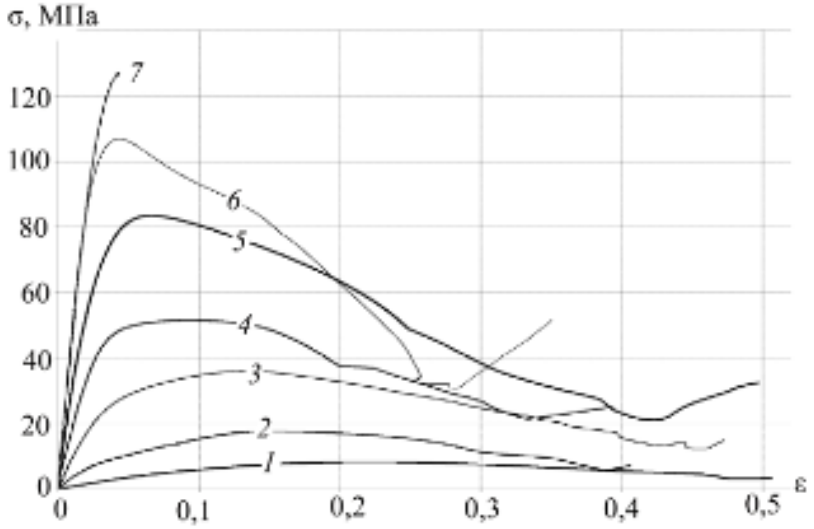


Рисунок 4.4 – Диаграмма испытаний полиуретановой трубки на сжатие при температуре: 1 – 25 °С, 2 – 0 °С, 3 –20 °С, 4 –30 °С, 5 –40 °С, 6 —50 °С, 7 –60 °С

Таблица 4.1 – Результаты обработанных данных по испытаниям

Температура испытания, °С	Максимальное напряжение сжатия (σв), МПа	Напряжение сжатия при условном пределе текучести 0,2 % (σсту), МПа	Напряжение сжатия при установленной условной деформации 2 % (σсд), МПа	Деформация сжатия при разрушении (εср), %	Деформация сжатия при пределе текучести (εст), %	Модуль упругости, МПа
20	8,2	3,3	1,4	Нет разрушения	22	72
0	17,5	4,5	5,84	Нет разрушения	16	350
-20	36	15	16,4	Нет разрушения	13	960
-30	52	24	32	Нет разрушения	10	2261
-40	83,5	37	52,2	25% (сдвиг)	6,4	3600
-50	107	69	82,5	25%	4,3	4977
-60	-	73	85,5	-	-	5173

По результатам обработанных данных построены графики зависимостей (рис. 4.5 – 4.6), которые даже при недостаточном количестве экспериментальных данных позволяют судить об адекватности полученных результатов и характере зависимостей. Так, например, зависимость от Т носит вид s-образной кривой, что действительно характерно для полимеров. [37] Здесь необходимо отметить, что все графики построены по шести точкам (25, –0, –20, –30, –40, –60 °С) путем сплайн-интерполяции. Ввиду малого количества точек показывают приблизительное поведение материала (точки максимума или минимумов на графиках не соответствуют действительности).

Таким образом, данные графики могут быть использованы только для сравнительного анализа, но не для проведения каких-либо расчетов. Из диаграмм «напряжение – деформация» видно, что для полиуретанового поршня по максимальное напряжение сжатия совпадает с напряжением сжатия при условном пределе текучести, таким образом, σв = σ ст. На рис. 4.5 представлена зависимость σв = f(T).

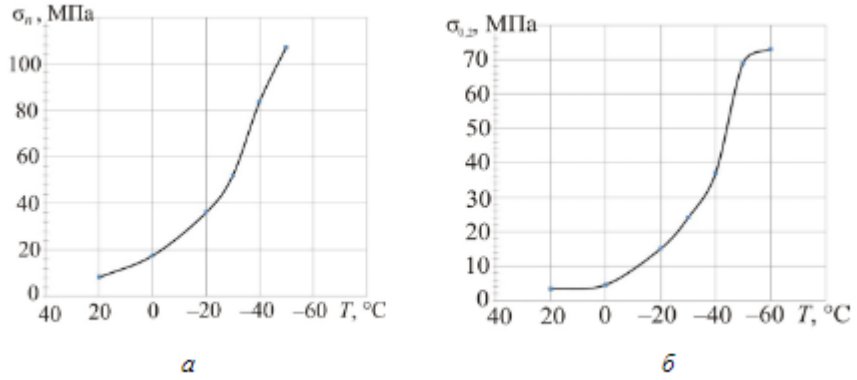
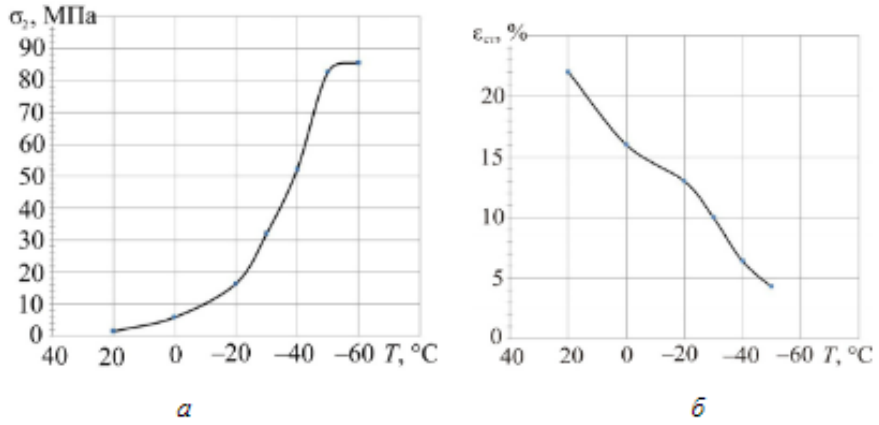


Рисунок 4.5 – Зависимости максимального напряжения сжатия (σв) (а) и напряжения сжатия при условном пределе текучести (σ0,2) (б) от температуры

Напряжение сжатия при условном пределе текучести σ сту определено как напряжение при сжатии, соответствующее точке, в которой кривая «нагрузка – деформация» отклоняется от линейности на величину деформации 0,2 % и обозначена σ0,2. Зависимость σ0,2 = f(T) (см. рис. 4) имеет характерный для полимеров вид s-образной кривой, точка максимума находится в районе – 70...–80 °С (точка стеклования полиуретана).

Деформация, при которой определялось σ сд, была выбрана величиной в 2 %. Таким образом, напряжение сжатия при установленной условной деформации обозначено как σ2. Зависимостьσ2 = f(T) показана на рис. 2.5.



а *б*

Рисунок 4.6 – Зависимости напряжения сжатия при 2 % условной деформации (σ2) (а) и деформации сжатия при пределе текучести (εст) (б) от температуры

Особенностью графика зависимости εст = f(T) является методическая погрешность определения деформации, что приводит к большим разбросам данных для разных образцов. Помимо всего прочего, нагружение при деформации более 10 % не носит одноосный характер. Здесь необходимо также отметить влияние трения между плитой испытательной системы и полиуретановым образцом на результаты деформирования. Зависимость модуля упругости от температуры E = f(T) показана на рис. 4.7.

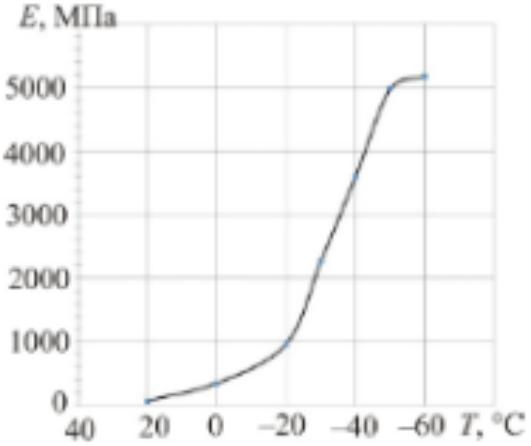


Рисунок 4.7 – Зависимость модуля упругости (E) от температуры

Она имеет характерный для полимеров вид s-образной кривой. На основе анализа экспериментальных данных можно сделать заключение, что с понижением температуры прочностные характеристики материала, такие как модуль упругости и предел прочности, увеличиваются. В тоже время деформационные свойства снижаются, например деформация сжатия при пределе текучести.

Видимо ухудшаются демпфирующие свойства. Для определения демпфирующих характеристики

4.1.3 Совершенствование методики исследования механических свойств полиуретановых поршней.

Механическое поведение полиуретана при нормальных температурах носит ярко выраженный вязко-упругий характер, и для данного класса материалов проведение исследований только на выявление упругих характеристик представляется неполным. Полиуретановый поршень, как конструкция, должен не только обладать способностью переносить высокие динамические нагрузки, но и иметь хорошие демпфирующие свойства, причем в широком диапазоне эксплуатационных температур от +60 до –60 °С.

Таким образом, в случае использования изделия из исследуемого материала в качестве демпфирующего устройства оптимальным полагается проведение динамического механического анализа для определения диссипативных свойств материала и выявление зависимости именно вязкостных свойств от температуры. Для полимерных материалов, и в частности для полиуретана, данная зависимость представляется достаточно важной.

Диссипативные свойства материала возможно определить из динамического опыта, состоящего из нескольких циклов нагрузка-разгрузка. В результате данного опыта получается петля гистерезиса. На диаграмме «напряжение – деформация» ширина петли (угол сдвига между напряжением и деформацией) характеризует демпфирующие свойства материала, то есть способность рассеивать механическую энергию. Если цикл нагрузка-разгрузка носит гармонический характер, то наиболее удобно описание деформационных свойств вязко упругого материала в форме комплексных операторов [39]. В случае одноосного нагружения образца гармонической деформацией напряжение оказывается сдвинутым на некоторый угол сдвига фазы φ. Действительная часть комплексного модуля (E’) является модулем упругости, пропорциональна максимальной энергии, накопленной в цикле, и представляет собой жесткость вязко-упругого материала.

Мнимая часть комплексного модуля (E”) является модулем вязкости, пропорциональна потерям энергии в процессе одного цикла нагружения из-за трения и внешних перемещений. Таким образом, с целью определения диссипативных и прочностных свойств вязко-упругих материалов и одновременно оптимизации испытательного процесса необходимо совмещение динамического механического анализа. Применительно к полиуретановым поршням данное испытание будет проходить 6 этапов.

1. Охлаждение в течение времени, необходимого для полного промерзания всего образца.

2. Сжатие поршня до выбранного значения среднего напряжения, где среднее значение напряжение выбирается таким образом, что бы при наибольшей температуре исследования оно было не менее 30 % и не более 50% предела прочности.

3. В режиме сжатия выполняются гармонические колебаний до 10 циклов (должно быть более 4, когда стабилизируется петля гистерезиса) с амплитудой, равной установленному среднему напряжению. Скорость деформирования 0,1 с–1. На данном этапе определяется упругий и вязкостной модуль.

4. Дальнейшее сжатие до деформации 25 % (рекомендация ГОСТ4651–82). На данном этапе определяются прочностные характеристики (предел прочности, деформации сжатия при пределе текучести).

5. Расчет параметров комплексного модуля.

6. Заполнение протокола испытания в соответствии с требованиями.

4.2 Способ изготовления поршня бурового насоса с применением полиуретанового материала

Уплотнительная манжета из полиуретанового эластомера обладает по сравнению с манжетами резиновыми, резинотканевыми и резинометаллическими более высокими физико-механическими свойствами, большей прочностью, износостойкостью, высокой резистентностью к разрушению в условиях повышенных давлений, температур и прямого взаимодействия с абразивосодержащими агрессивными перекачиваемыми средами. [47]

Предварительно изготовленную из полиуретанового эластомера манжету закрепляют на корпусе поршня с помощью манжетодержателей, которые соединяют с корпусом поршня (металлоарматурой) посредством крепежных болтов. Самопроизвольный поворот крепежных болтов предотвращают фиксирующими элементами, что усложняет технологию изготовления поршней и снижает надежность их работы.

Известен способ изготовления поршней для буровых насосов, принятый в качестве прототипа, заключающийся в размещении в разъемной пресс-форме предварительно изготовленного металлического сердечника поршня с отверстиями для перетекания упругого материала и элементами фиксации упругого материала на сердечнике, поверхность которого предварительно обезжиривают, покрывают адгезионным клеем и подсушивают, подаче в пресс-форму упругого материала для формования, формовании, охлаждении и выемке готового изделия

В известном способе в качестве упругого материала в пресс-форму подают однородную резину, заливаемую в пресс-форму через соединительные отверстия во фланце в глубине лабиринтных проточек металлоарматуры (стержень поршня).

Для повышения адгезионных сил между стержнем и резиной стержень поршня изготавливают сложной конструкции, а именно на торцевых поверхностях поршневых колец на всю их толщину выполняют трапециевидные выемки, равномерно расположенные по окружности кольца и смещенные относительно одна другой на половину шага. На торцевой поверхности колец участки между выемками выполняют со ступенчатой поверхностью, выступами, взаимодействующими с выполненными на разделительном фланце проточками, а на внутренних цилиндрических поверхностях поршневых колец выполняют зубцы-защелки в виде радиальных выступов, фиксирующих кольца от осевого смещения между средним и боковыми фланцами.

Поршни бурового насоса, получаемые известным способом с использованием резины, имеют небольшой ресурс работы в условиях повышенных давлений и температур, поскольку резина обладает невысокими физико-механическими свойствами и недостаточной прочностью, износостойкостью и низкой резистентностью к разрушению в условиях прямого взаимодействия с абразивосодержащими агрессивными перекачиваемыми средами.

Эластичная резина попеременно выдавливается в зазор, с которым фланец металлоарматуры входит в цилиндр, а затем вытягивается из этого зазора силами упругости резины, вследствие чего происходит усталостное вырывание выдавливаемого уса резины и образование в материале манжеты круговой выемки, прилегающей по периферии к фланцу металлоарматуры. При многократном повторении циклов происходит постепенное накопление объема повреждений резины за счет увеличения ширины и глубины круговой выемки, что вызывает протечку жидкости с последующим разрушением поршня высоконапорной струей абразивосодержащей жидкости. [49,49]

Технической задачей предлагаемого изобретения является повышение ресурса работы поршней за счет повышения физико-механических показателей поршня, а также упрощение технологии изготовления и уменьшение временных и энергозатрат.

Техническая задача достигается тем, что в способе изготовления поршней для буровых насосов, заключающемся в размещении в разъемной пресс-форме предварительно изготовленного металлического сердечника поршня с отверстиями для перетекания упругого материала и элементами фиксации упругого материала на сердечнике, поверхность которого предварительно обезжиривают, покрывают адгезионным клеем и подсушивают, подачу в пресс-форму упругого материала для формования, формование, охлаждение и выемку готового изделия, в качестве упругого материала используют термопластичный полиуретан на основе простых и сложных полиэфиров, который в виде «густой однородной массы» подают в пресс-форму,

предварительно прогретую до температуры 170-260°С, и осуществляют формование в течение 1-5 минут, после чего производят охлаждение пресс-формы в течение 2-15 минут.

Использование в предлагаемом способе в качестве упругого материала термопластичного полиуретана на основе простых и сложных полиэфиров позволяет в 3 раза увеличить адгезионные силы между сердечником и упругим материалом и получить изделия с высокими физико-механическими характеристиками поршня, увеличивая тем самым ресурс работы бурового насоса и безремонтный срок его службы на больших давлениях до 10 МПа и больших удельных весах перекачиваемых жидкостей до 1,1-1,2.

Готовые изделия не требуют дополнительной чистовой обработки (удаления облоя при использовании резины), что исключает отходы производства.

Полиуретановый эластомер не поглощает перекачиваемую среду, не проявляет признаков рассасывания, как это имеет место при использовании резиновых, резинотканевых и резинометаллических уплотнительных манжет. Полиуретановый эластомер имеет небольшой коэффициент трения, что не влечет возникновения больших сил трения, нагрева и разрушения манжеты, как это имеет место при ее выполнении из резины и других вышеперечисленных традиционных материалов, что увеличивает ресурс работы бурового насоса до 400-500 циклов (резина 200 циклов).

Предлагаемый способ позволяет значительно упростить конструктивное исполнение металлического сердечника поршня и сократить время вулканизации с 1 часа при использовании резины до 3 минут, что значительно удешевляет стоимость изделия за счет снижения энергозатрат на вулканизацию.

Технологическая схема изготовления поршней буровых насосов представлена на рисунке 4.8.

Использование в предлагаемом способе в качестве упругого материала термопластичного полиуретана на основе простых и сложных полиэфиров позволяет в 3 раза увеличить адгезионные силы между сердечником и упругим материалом и получить изделия с высокими физико-механическими характеристиками поршня, увеличивая тем самым ресурс работы бурового насоса и безремонтный срок его службы на больших давлениях до 10 МПа и больших удельных весах перекачиваемых жидкостей до 1,1-1,2.

Готовые изделия не требуют дополнительной чистовой обработки (удаления облоя при использовании резины), что исключает отходы производства. Технической задачей предлагаемого изобретения является повышение ресурса работы поршней за счет повышения физико-механических показателей поршня, а также упрощение технологии изготовления и уменьшение временных и энергозатрат.

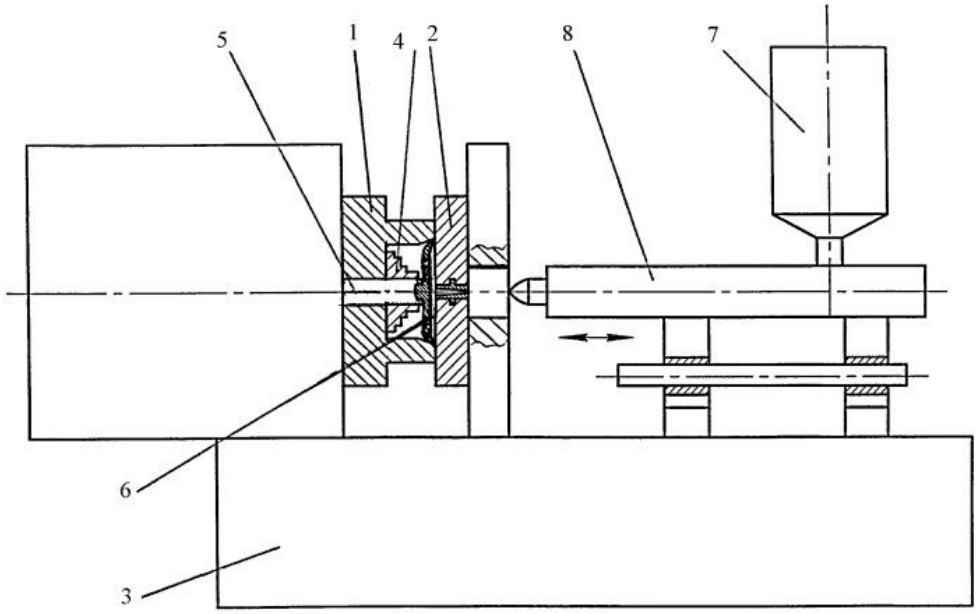


Рисунок 4.8 – Технологическая схема изготовления поршней буровых насосов

Способ изготовления поршней для буровых насосов реализуют следующим образом. [52]

В разъемную пресс-форму 1 и 2 термопласт автомата 3 марки Elastolann (произ-во Elastogran gruppe BASF) или термопласт автомата марки Desmopan (производство Bayer Polymers) помещают предварительно изготовленный металлический сердечник 4 поршня с элементами фиксации упругого материала на сердечнике 4, выполненными в виде ступенчатой наружной поверхности. Сердечник 4 фиксируют в пресс-форме 1 и 2 посредством держателя 5, состоящего из двух частей, одна из которых обеспечивает соосное расположение сердечника 4 относительно пресс-формы 1, а другая - относительно пресс-формы 2 и выполнена с отверстиями 6 для перетекания упругого материала. Наружную поверхность сердечника 4 поршня предварительно обезжиривают, покрывают адгезионным клеем и подсушивают. Затем сырье термопластичного полиуретана на основе простых и сложных полиэфиров (марки Elastollan S 85A производство фирмы Elastogran (Германия) загружают из бункера 7 в инжекционный цилиндр 8 термопласт автомата, где оно предварительно подогревается до пластичного состояния и в виде «густой однородной массы» подается в полость пресс-формы 1 и 2, заполняя пустоту между сердечником 4 и внутренней поверхностью пресс-формы 1 и 2.

Термопластичный полиуретан подают в камеру пресс-формы 1 и 2, предварительно прогретую до температуры 170-260°С, формование осуществляют в течение 1-5 минут, после чего производят охлаждение пресс-

формы 1 и 2 в течение 2-15 минут. После охлаждения пресс-форму 1 и 2 раскрывают и производят выемку из нее готового изделия.

Способ изготовления поршней для буровых насосов, заключающийся в размещении в разъемной пресс-форме предварительно изготовленного металлического сердечника поршня с элементами фиксации упругого материала на сердечнике, поверхность которого предварительно обезжиривают, покрывают адгезионным клеем и подсушивают, подаче в пресс-форму упругого материала для формования, формовании, охлаждении и выемке готового изделия, отличающийся тем, что в качестве упругого материала используют термопластичный полиуретан на основе простых и сложных полиэфиров, который в виде «густой однородной массы» подают в пресс-форму, предварительно прогретую до температуры 170-260°С, и осуществляют формование в течение 1-5 мин, после чего производят охлаждение пресс-формы в течение 2-15 мин.

4.3 Обзор изобретения полиуретанового поршня.

Использование: изобретение относится к уплотнительной технике и может быть использовано в буровых установках при перекачивании абразивосодержащих жидкостей, главным образом при повышенных давлениях и температурах. Сущность изобретения: уплотнительная манжета поршня бурового насоса выполнена из полиуретанового эластомера, снабжена абразиво зачищающей кромкой на внешней уплотняющей поверхности и сопряжена с манжето держателем по кольцевым, соответственно, внутренней и наружной поверхностям радиусного профиля, с величинами радиусов, удовлетворяющими соотношению: 0,95 (r1/r2) < 1, где r1 - радиус профиля внутренней кольцевой поверхности уплотнительной манжеты, мм; r2 - радиус профиля наружной кольцевой поверхности манжето держателя, мм. 2 ил.

Изобретение относится к машиностроению и может быть использовано в буровых установках при перекачивании абразивосо держащих жидкостей, главным образом, при повышенных давлениях и температурах.

Известен поршень бурового насоса, включающий сердечник поршня, уплотнительные манжеты, шток и распорные втулки, изготовленный ступенчатым по внутреннему диаметру и размещаемый в цилиндровой втулке (авт. свид. N 284609 "Буровой поршневой насос", кл. F 04 B 5/00, 1970).

Известен поршень бурового насоса, содержащий корпус поршня, установленный на штоке, уплотнительные манжеты, закрепленные на корпусе поршня с помощью манжетодержателей, крепежных и фиксирующих элементов, устанавливаемый в цилиндровой втулке (авт. свид. N 324411, "Поршневой насос", кл. F 04 F 1/14, 1972 - прототип).

Недостаток конструкции известного поршня бурового насоса, работающего в условиях повышенных давлений, температур и взаимодействия с агрессивными средами, заключается в небольшом ресурсе его работы, обусловленном быстрым износом уплотнительной манжеты поршня, выполненной из формовой резины и обладающей невысокими физико-механическими свойствами, недостаточными прочностью, износостойкостью и низкой резистентностью к разрушению в условиях прямого взаимодействия с абразивосодержащими агрессивными перекачиваемыми средами. Подверженность уплотнительной манжеты поршня, выполненной из резины, резорбции интенсифицирует ее износ и, следовательно, усугубляет перечисленные недостатки конструкции известного поршня бурового насоса.

Сильное трение уплотнительной манжеты, выполненной из резины, при скольжении ее по цилиндровой втулке вызывает значительный нагрев трущихся и сопряженных с ними поверхностей деталей поршня бурового насоса. Активное действие сил трения и нагрев уплотнительной поверхности манжеты создают дополнительные предпосылки для ее интенсивного износа и разрушения.

Согласно прототипу на контактных поверхностях уплотнительной манжеты и манжетодержателя либо инвариантного конструктивного элемента ее крепления возникают, в основном, растягивающие напряжения.

Поверхностный слой манжеты имеет неизбежные для любого материала микротрещины и микродефекты различных размеров и ориентации - начальные дефекты. Под действием создающихся на закрепляемой поверхности манжеты напряжений растяжения, а также под влиянием механических, тепловых и других воздействий на краях микротрещин возникают перенапряжения, распространяющиеся к вершинам микротрещин.

В результате перечисленных воздействий герминативные микротрещины расклиниваются, и у вершины наиболее опасной из них начинается спонтанный катастрофический рост трещины, преобразующейся в одну магистральную трещину, вдоль которой разрастаются явления износа уплотнительной манжеты. При эксплуатации бурового насоса на поверхности контакта уплотнительной манжеты с манжетодержателем - поверхности преимущественно с растягивающими напряжениями - множество микротрещин ускоренно развивается единым фронтом, на поверхности манжеты возникает адсорбционный эффект снижения прочности, разрастаются дефекты и в местах контакта с манжетодержателем происходит дополнительный износ манжеты.

Перечисленные недостатки являются причиной небольшого ресурса работы поршня бурового насоса, обусловленного быстрым износом уплотнительной манжеты поршня.

Данным изобретением решается задача увеличения ресурса работы поршня бурового насоса путем обеспечения высокой долговечности работы уплотнительной манжеты поршня.

Достигается это тем, что уплотнительную манжету поршня выполняют из полимерного материала повышенной прочности, износостойкости и эластичности, внешнюю поверхность манжеты снабжают специальной заостренной кромкой, препятствующей попаданию абразивных частиц между трущимися поверхностями манжеты и цилиндровой втулки, а также создают на контактных поверхностях уплотнительной манжеты и манжетодержателя, при их креплении, напряжения сжатия, предотвращающие интенсификацию износа манжеты, вызываемого расклиниванием и разрастанием микротрещин и микродефектов, благодаря их смыканию под воздействием специально создаваемых напряжений сжатия.

Сущность изобретения состоит в том, что в известном поршне бурового насоса, содержащем корпус поршня, установленный на штоке, уплотнительные манжеты, закрепленные на корпусе поршня с помощью манжетодержателей, крепежных и фиксирующих элементов, - уплотнительная манжета поршня бурового насоса выполнена из полиуретанового эластомера, снабжена на внешней уплотняющей поверхности абразивозачищающей кромкой и сопряжена с манжетодержателем по кольцевым, соответственно, внутренней и наружной поверхностям радиусного профиля, с величинами радиусов, удовлетворяющих соотношению, при котором на внутренней кольцевой поверхности уплотнительной манжеты создаются сжимающие напряжения.

Отличительными признаками предложенного поршня бурового насоса от прототипа являются выполнение уплотнительной манжеты поршня из полиуретанового эластомера, оснащение внешней уплотняющей поверхности манжеты абразивозачищающей кромкой и сопряжение манжеты и манжетодержателя друг с другом по кольцевым радиусного профиля внутренней поверхности манжеты с наружной поверхностью манжетодержателя, с величинами радиусов профиля сопрягаемых поверхностей, регламентируемыми соотношением: $0{,}95 \ (r1/r2) < 1$, где r1 - радиус профиля внутренней кольцевой поверхности уплотнительной манжеты, мм; r2 - радиус профиля наружной кольцевой поверхности манжетодержателя, мм.

Указанные признаки конструкции поршня бурового насоса необходимы и достаточны во всех случаях выполнения устройства с достижением вышеуказанного технического результата.

На рисунке 4.9 показан общий вид описываемого поршня бурового насоса; на рисунке 4.10 - профили сопрягаемых поверхностей уплотнительной манжеты и манжетодержателя. [53]

Поршень бурового насоса содержит корпус 1 поршня, установленный на штоке 2, уплотнительные манжеты 3, закрепленные на корпусе поршня с помощью манжетодержателей 4. Манжетодержатели соединены с корпусом поршня посредством крепежных болтов 5. Самопроизвольный поворот крепежных болтов предотвращается фиксирующими элементами 6. Поршень бурового насоса размещен в цилиндровой втулке 7.

Уплотнительная манжета на своей внешней уплотняющей периферийной поверхности, взаимодействующей с поверхностью цилиндровой втулки, снабжена абразивозачищающей заостренной кромкой 8. Передняя поверхность (ПП) уплотнительной манжеты, формирующая абразивозачищающую кромку, расположена в плоскости, перпендикулярной оси поршня бурового насоса.

Задняя поверхность (ЗП) уплотнительной манжеты, также формирующая абразивозачищающую кромку, представляет собой коническую поверхность с образующей конуса, расположенной под углом 15-20 к образующей цилиндра цилиндровой втулки. Задняя поверхность формирует положительный задний угол уплотнительной манжеты. Для усиления абразивозачищающего эффекта передняя поверхность уплотнительной манжеты может выполняться так же, как и задняя поверхность, - конической с положительным передним углом 10-15.

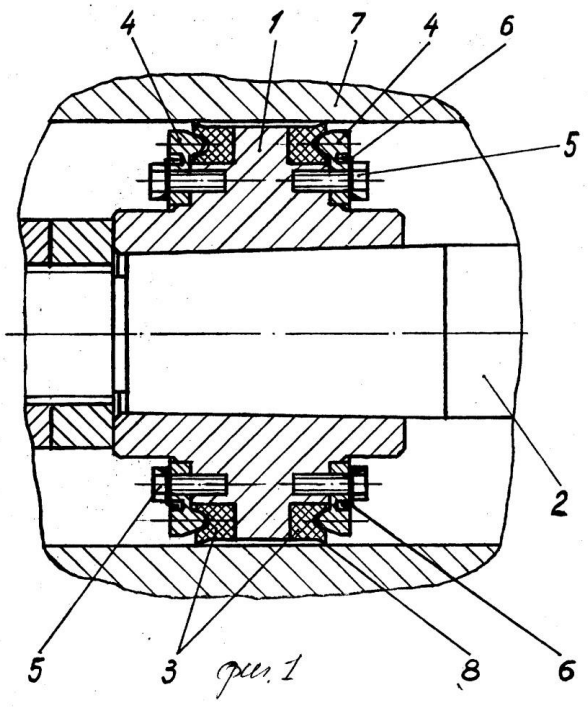


Рисунок 4.9 – Общий вид описываемого поршня

Пересечение передней и задней поверхностей образуют абразиво зачищающую кромку с углом заострения рабочих поверхностей - углом между передней и задней поверхностями, назначаемым в пределах 55-75.

Уплотнительная манжета поршня выполнена из полиуретанового эластомера, обладающего, по сравнению с манжетами резиновыми, резинотканевыми и резинометаллическими, более высокими физико-механическими свойствами, большей прочностью, износостойкостью, высокой резистентностью к разрушению в условиях повышенных давлений, температур и прямого взаимодействия с абразивосодержащими агрессивными перекачиваемыми средами.

Манжета из полиуретанового эластомера не поглощает перекачиваемую среду, не проявляет признаков рассасывания, как это имеет место при использовании резиновых, резинотканевых и резинометаллических уплотнительных манжет.

Скольжение манжеты из полиуретанового эластомера, имеющего небольшой коэффициент трения, по цилиндровой втулке бурового насоса не влечет возникновения больших сил трения, нагрева и разрушения манжеты, как это имеет место при ее выполнении из резины и других вышеперечисленных традиционных материалов.

Поверхность сопряжения манжеты 3 с манжетодержателем 4 представляет собой кольцевую внутреннюю поверхность (канавку) радиусного профиля - внутреннюю тороидальную поверхность. Поверхность сопряжения манжетодержателя 4 с манжетой 3 представляет собой ответную кольцевую наружную поверхность (выступ) радиусного профиля - наружную тороидальную поверхность. Радиус r1 профиля внутренней кольцевой поверхности уплотнительной манжеты меньше радиуса r2 профиля наружной кольцевой поверхности манжетодержателя. Величины этих радиусов находятся в соотношении $0{,}95(r1/r2) < 1$.

1 и выступа r2, образуются внеконтактные поверхности (ВП) манжеты и манжетодержателя, ограниченные точками 9 и 10. Следующее в процессе сборки поджатие манжеты 3 манжетодержателем 4, посредством крепежных болтов 5, вызывает сближение внеконтактных поверхностей, ограниченных общими точками 9 и 10 манжеты и манжетодержателя. Точки 9 и 10 на манжетодержателе и прилегающие к ним прямые участки манжетодержателя начинают, на фоне общей упругой деформации манжеты, сдвигать ответные точки 9 и 10, принадлежащие манжете, в направлении А и Б, вызывая на радиусной поверхности манжеты преимущественно напряжения сжатия.

Эффект достижения напряжений сжатия обеспечивается благодаря тому, что радиус профиля сопрягаемой поверхности манжетодержателя больше радиуса профиля сопрягаемой поверхности манжеты. Вследствие этого внеконтактная, в процессе сборки, поверхность манжеты,

расположенная между точками 9 и 10, упруго деформируясь под давлением манжетодержателя, подвергается поверхностным напряжениям сжатия.

Поверхностный слой материала манжеты между точками 9 и 10, по которому осуществляется ее зажатие, имеет неизбежные для любого материала латентные микротрещины и микродефекты различных размеров и ориентации, включения, неоднородности и несовершенства структуры, т.е. начальные дефекты. Под действием создаваемого на закрепляемой поверхности манжеты напряжения, преимущественно напряжения сжатия, микротрещины и микродефекты смыкаются.

В таком сомкнутом состоянии микротрещины и микродефекты манжеты оказываются запертыми вследствие дальнейшего поджатия манжетодержателя, при котором радиусные профили сопрягаемых деталей вступают в полный контакт, с последующим (при завершении сборочных операций поршня) увеличением степени поджатия манжетодержателя.

Воздействие на уплотнительную манжету, закрепленную описанным образом, циклических нагрузок и коррозионной среды не вызывает спонтанного роста микротрещин и микродефектов, их развитие замедляется, благодаря чему износ манжеты в контактных зонах ее зажатия манжетодержателем уменьшается.

Поршень бурового насоса работает следующим образом. При перемещении корпуса 1 поршня штоком 2 абразивозачищающая кромка 8, находящаяся на внешней уплотняющей поверхности манжеты 3, зачищает поверхность цилиндровой втулки 7 от оседающих абразивных частиц, содержащихся в перекачиваемой жидкости.

Каждый раз при перемещении поршня одна из манжет 3, находящаяся под давлением, перемещается по поверхности, которая предварительно очищена другой манжетой 3, находящейся в сливной полости цилиндровой втулки 1.

Для реституции и повышения герметичности уплотнения манжеты 3 при износе трущихся поверхностей осуществляют дополнительное сжатие манжеты с помощью манжетодержателей 4 и крепежных болтов 5. После этого крепежные болты 5 стопорятся от самопроизвольного поворота фиксирующими элементами 6.

Применение в поршне бурового насоса манжеты, выполненной из полиуретанового эластомера, обеспечивает ее высокие эксплуатационные свойства: высокую прочность, хорошую эластичность, высокое сопротивление истиранию, многократным деформациям и раздиранию, стойкость к действиям растворителей. Оснащение манжеты поршня бурового насоса абразивозачищающей кромкой, взаимодействующей с поверхностью цилиндровой втулки, позволяет избежать попадания оседающих абразивных

частиц на трущиеся поверхности манжеты и цилиндровой втулки и предотвратить, таким образом, преждевременный их износ.

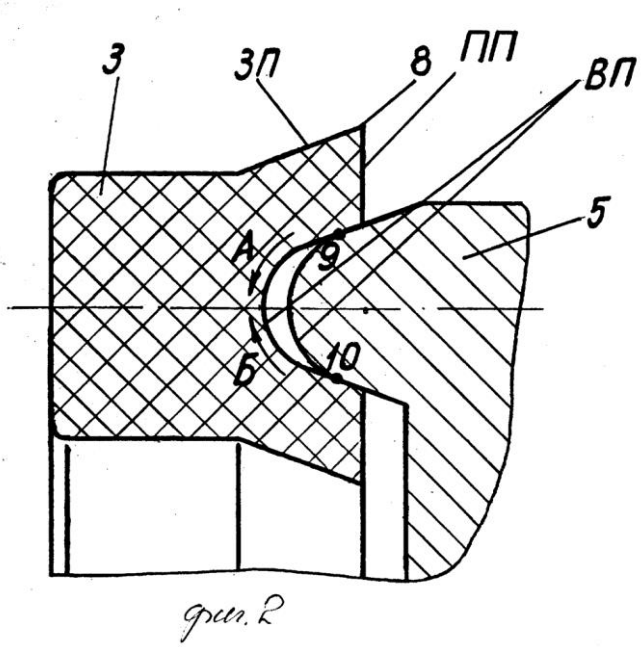


Рисунок 4.10 – Профили сопрягаемых поверхностей уплотнительной манжеты и манжетодержателя

Выполнение поверхностей сопряжения манжеты и манжетодержателя по кольцевым, соответственно, внутренней и наружной поверхностям радиусного профиля, с величинами радиусов, удовлетворяющих предлагаемому соотношению: 0,95 (r1/r2) < 1, создает напряжения сжатия на сопрягаемой радиусной поверхности манжеты. Благодаря этому микротрещины и микродефекты на закрепляемой поверхности манжеты смыкаются, их самопроизвольный рост прекращается, и, следовательно, износ манжеты в контактных зонах ее зажатия замедляется.

Достижение описанного положительного эффекта обеспечивается указанным соотношением радиусов сопрягаемых поверхностей r1 манжеты и r2 манжетодержателя. Отношение r1/r2, согласно предлагаемой зависимости, не должно становиться равным единице, при котором будет иметь место недопустимое равенство радиусов r1 и r2. Радиус r2 не должен принимать значений больших, чем радиус r1 так как в этом случае больший радиус r2 манжетодержателя будет растягивать сопрягаемую поверхность манжеты меньшего радиуса r1.

При этом вместо напряжений сжатия, смыкающих микротрещины и микродефекты, на поверхности манжеты будут возникать обратные явления,

приводящие к расклиниванию микротрещин и микродефектов. При упомянутом недопустимом равенстве радиусов сопрягаемых поверхностей r1 манжеты и r2 манжетодержателя также не создается на сопрягаемой поверхности манжеты напряжений сжатия и не достигается требуемый положительный эффект смыкания микротрещин и микродефектов. Кроме того, отношение r1/r2 не должно принимать значений, меньших 0,95, так как в этом случае радиус профиля сопрягаемой поверхности манжетодержателя недопустимо превысит радиус профиля сопрягаемой поверхности манжеты.

Упругих свойств материала манжеты в этом случае окажется недостаточно - податливость материала манжеты опередит возможность создания на сопрягаемой ее поверхности напряжений сжатия; под давлением манжетодержателя сопрягаемая поверхность манжеты разойдется раньше, чем на ней удастся, опережающим образом, создать и зафиксировать напряжения сжатия. Перечисленными причинами обусловлен выбор указанного диапазона соотношений радиусов сопрягаемых поверхностей r1 манжеты и r2 манжетодержателя.

Использование предложенных поршней буровых насосов осуществлено на нефтедобывающих предприятиях АООТ "ЛУКойл -Когалымнефтегаз". Уплотнительные манжеты поршней выполнялись из полиуретана марки Адипрен L - 167 на основе простых полиэфиров и представляли собой монолитные кольца описанной оригинальной геометрии.

Практика использования поршней буровых насосов показала, что фактическая их наработка на отказ составила 700 и более часов; это в 2-3 раза превышает аналогичный показатель поршней буровых насосов традиционных известных конструкций.

Формула изобретения:

Поршень бурового насоса, содержащий корпус поршня, установленный на штоке, уплотнительные манжеты, закрепленные на корпусе поршня с помощью манжетодержателей, крепежных и фиксирующих элементов, отличающийся тем, что уплотнительная манжета поршня бурового насоса выполнена из полиуретанового эластомера, снабжена абразивозачищающей кромкой на внешней уплотняющей поверхности и сопряжена с манжетодержателем по кольцевым соответственно внутренней и наружной поверхностям радиусного профиля, с величинами радиусов, удовлетворяющими соотношению $0{,}95\ r1/r2 < 1$, где r1 - радиус профиля внутренней кольцевой поверхности уплотнительной манжеты, мм; r2 - радиус профиля наружной кольцевой поверхности манжетодержателя, мм. [54]

Практика использования поршней буровых насосов показала, что фактическая их наработка на отказ составила 700 и более часов; это в 2-3 раза превышает аналогичный показатель поршней буровых насосов традиционных известных конструкций.

4.4 Анализ работы насоса с полиуретановым поршнем

Используются следующие материалы:

– Бутандиол 99% раствор 1,4-бутандиола (поставщик – Sigma Aldrich)

– ETERNACOLL UH-200 1,6-гександиолсодержащий поликарбонатдиол со среднечисленной молекулярной массой приблизительно 2000 г/моль (поставщик – UBE Industries ISONATE M 125)

– Изоцианат приблизительно 98/2% мас. 4,4’-МДИ, имеющий содержание NCO 33,3 % мас. (поставщик – The Dow Chemical Company)

– Бензоилхлорид 99% раствор бензоилхлорида (поставщик – Sigma Aldrich)

– BYKO-A 535 Не содержащий силикон полимерный пеногаситель (поставщик – BYK Additives)

– ПТМЭГ форполимер Hyperlast T140/95, образованный с использованием политетраметилен(простой эфир)гликоля (ПТМЭГ) и толуолдиизо-цианата % мас. (поставщик – The Dow Chemical Company)

– ETHACURE 300 Отверждающий агент, состоящий из смеси,

– главным образом, 5-диметилтио-2,6-толуолдиамина и 3,5-диметилтио-2,4-толуолдиамина (поставщик - Albemarle Corporation)

– ADDOLINK 1604 Отверждающий агент, состоящий по существу из (4-хлоро-3,5-диаминобензойная кислота) изобутила (поставщик – Rhein Chemie)

– MBoCA Ароматический амин 4,4’-метиленбис-(2-хлороанилин) (поставщик - Sigma Aldrich)

Во-первых, получение поликарбонат-изоцианатного форполимера для использования в рабочих примерах 1 и 2 осуществляется с использованием 61,16% мас. ETERNACOLL UH-200, 38,80% мас. ISONATE M125 и 0,02% мас. бензоилхлорида. Поликарбонат-изоцианатный форполимер образуется при обеспечении взаимодействия ETERNACOLL UH-200 и ISONATE M125 в течение 2 ч при 80°C в присутствии бензоилхлорида. NCO-содержание получаемого изоцианатного форполимера составляет 10,34% (как определено согласно ASTM D5155). Сравнительный пример 2 содержит ПТМЭГ-форполимер, который доступен от фирмы The Dow Chemical Company как Hyperlast T140/95. NCO-содержание ПТМЭГ-изоцианатного форполимера составляет 6,1-6,7% (как определено согласно ASTM D5155). [58]

Во-вторых, получают композиции для формования полиуретанового эластомерного уплотнения. Поликарбонат-изоцианатный форполимер и ПТМЭГ-изоцианатный форполимер помещают в печь при 70-80°C. Через 1 ч поликарбонат-изоцианатный форполимер перемешивают в течение 40 с при 800 об/мин и в течение 30 с при 2350 об/мин. Отверждающие агенты помещают в печь при 70-75°C на 30 мин. Поликарбонат-изоцианатный

форполимер и ПТМЭГ-изоцианатный форполимер смешивают с их соответствующими отверждающими компонентами и компонентами удлинителей цепи согласно таблице 1 ниже. [53, 54]

Полученную смесь перемешивают в течение 40 с (10 с при 800 об/мин и в течение 30 с при 2350 об/мин) и затем быстро выливают между двумя алюминиевыми пластинами, покрытыми тефлоном, которые предварительно нагреваются до 100°, и содержимое формуется прессованием в течение 30 мин при 100°C под давлением 4000 фунт/кв.дюйм (27,58 МПа). Через 15 мин пластины распрессовываются и постотверждаются в печи в течение 18 ч при 100°C.

Таблица 4.2 – Рабочие примеры

	Рабочий пример 1 (% мас.)	Рабочий пример 2 (% мас.)	Сравнительный пример А (% мас.)
1,4-бутаедиол	7,1	--	--
Поликарбонатый форполимер	76,8	46,2	--
ПТМЭГ-форполимер	--	--	83,0
ETERNACOLL® UH-200	15,5	46,7	--
ETHACURE® 300	0,6	--	--
ADDOLINK® 1604	--	7,1	--

В-третьих, оценивают свойства пластин из рабочих примеров 1 и 2 и сравнительного примера А. В частности, пластины из рабочего примера 1 и сравнительного примера А оцениваются на следующие механические свойства указанные в таблице 12.

Показатели предела прочности при растяжении, удлинения при растяжении и модуль при удлинении рабочего примера 1 и сравнительного примера А получают на образцах для испытаний на растяжение (формы «собачьей кости»), которые вырубают штампом из пластин согласно ASTM D412. Свойства определяют с использованием прибора Monsanto Tensometer от фирмы Alpha technologies. Образцы формы «собачьей кости» зажимают пневматически и растягивают со скоростью растяжения 5 дюйм/мин (12,7 см/мин).

Показатель твердости по Шору А рабочего примера 1 и сравнительного примера А определяют согласно ASTM D2240 на образцах после влажного старения. Что касается таблицы 2, сравнительный пример А показывает снижение твердости по Шору А после 28 дней (672 ч) гидролитического

старения, тогда как рабочий пример 1 показывает минимальное изменение твердости по Шору А после 28 дней (672 ч) гидролитического старения.

Таблица 4.3 – Механические свойства полиуретана

	Рабочий пример 1	Сравнительный пример А
Предел прочности при растяжении (МПа)	41	42
Модуль при удлинении на 100% (МПа)	12	11
Модуль при удлинении на 300% (МПа)	33	29
Удлинение при растяжении (%)	368	392
Начальная твердость по Шору А	93	95
Твердость по Шору А после 14 дней (336 ч) гидролитического 90старения	90	83
65Твердость по Шору А после 28 дней (672 ч) гидролитического старения	91	65

Пластины рабочего примера 1 и сравнительного примера А оценивают на потерю массы сравнением после старения. Для определения потери массы образцы формы «собачьей кости», которые были состарены в воде при 99°С в течение определенного времени, сушат до утра при 70°С, и определяют потерю массы в процентах. Рабочий пример 1 показывает приблизительную потерю массы менее 0,5% после 7 дней (168 ч) гидролитического старения и после 14 дней (336 ч) гидролитического старения и приблизительную потерю массы 0,6% после 28 дней (672 ч) гидролитического старения. Сравнительный пример А показывает приблизительную потерю массы 1,5% после 7 дней (168 ч) гидролитического старения, приблизительную потерю массы 2,2% после 14 дней (336 ч) гидролитического старения и приблизительную потерю массы 2,9% после 28 дней (672 ч) гидролитического старения. [55]

Пластины рабочего примера 1 и сравнительного примера А оценивают на сохранение предела прочности при растяжении (определенное в процентах) после гидролитического старения при 99°С в течение 28 дней (672 ч). Рабочий пример 1 имеет приблизительно 97% сохранение предела прочности при растяжении после 7 дней (168 ч) гидролитического старения, приблизительно

81% сохранение предела прочности при растяжении после 14 дней (336 ч) гидролитического старения, приблизительно 62% сохранение предела прочности при растяжении после 28 дней (672 ч) гидролитического старения. Рабочий пример 2 имеет приблизительно 90% сохранение предела прочности при растяжении после 7 дней (168 ч) гидролитического старения, приблизительно 67% сохранение предела прочности при растяжении после 14 дней (336 ч) гидролитического старения и приблизительно 60% сохранение предела прочности при растяжении после 28 дней (672 ч) гидролитического старения. Сравнительный пример А имеет приблизительно 14% сохранение предела прочности при растяжении после 7 дней (168 ч) гидролитического старения, приблизительно 10% сохранение предела прочности при растяжении после 14 дней (336 ч) гидролитического старения и приблизительно 4% сохранение предела прочности при растяжении после 28 дней (672 ч) гидролитического старения. [53, 54]

В-четвертых, рецептуры рабочего примера 1 и сравнительного примера А оценивают на время гелеобразования и на время выемки из формы. Время гелеобразования определяют как время между началом гелеобразования в реакционной смеси после введения отверждающего агента в форполимер и началом нитеобразования (например, началом образования эластомеров). Время гелеобразования определяется как время после того, как рецептуры в таблице 1 смешиваются (на уровне 100 г каждой рецептуры) в форме, что эластомер показывает образование нитей при касании выступающим депрессором. Время выемки из формы определяется как время после того, как рецептуры в таблице 1 смешиваются так, что отлитая эластомерная деталь может быть удалена из формы без деформирования. Рабочий пример 1 определяется как имеющий время гелеобразования 3-4 мин (по отношении к времени смешения 40 с при 80°C и время выемки из формы 40-45 мин (при 100°C)). Поршни двухсторонние, односторонние к двухпоршневым и трехпоршневым насосам буровым УНБ всех диаметров и размеров из Эластомера нового поколения (П-130; П-140; П-150; П-160; П-170; П-180; П-200) BENTEC, DRILLMEC. . А также детали для буровых установок: поршни, гильзы -втулки, плунжера, муфты эластичные, клапана с применением карбида вольфрама и карбида бора , обтюраторы, уплотнения различного сечения и комплектации к насосам IE-400T, 8T-650,СП-507,УНБ-600 , НТП-175 ,НК 500PU.

Наработка предлагаемых поршней из новых эластомерных материалов без замены составляет до 600 часов работы. Результаты значительного увеличения работы поршней, получены в результате применения новейших полиуретановых систем, а также изменения сечений, рабочих поверхностей и кромок поршня, что в комплексе позволило увеличить срок эксплуатации изделия на 80%. [60]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе на основании анализа условий эксплуатации поршней буровых насосов и материаловедческих проблем повышения износостойкости их поверхности была предложена нано материал – полиуретан, позволяющий повысить износостойкость поршня бурового насоса; также было подобрано оборудование для реализации изготовления поршня с полиуретановым материалом.

Были проведены эксперименты, в которых изучалось влияние основных параметров износостойкости, определено влияние параметров процесса и среды на уровень и распределение остаточных напряжений в упрочненном слое.

В результате анализа данных этого эксперимента была установлена зависимость увеличения износостойкости с увеличением твердости поверхности и глубины залегания сжимающих остаточных напряжений в упрочненном слое.

Полученные экспериментальные результаты позволяет использовать их для управления технологическим процессом изготовления полиуретановых поршней. Следовательно, в производственных условиях возможно повысить качественные показатели процесса, а, именно, получать более износостойкие свойства упрочненного слоя на деталях из данного материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Офиальный сайт ООО «ОЗНА-ОМЗ». [Электронный ресурс]. URL: http://ozna.ru/catalog/detail.php?SECTION_ID=16&ELEMENT_ID=1586#info (дата обращения 30.11.2017г.).

2. Мкртычан Я.С. Повышение эффективности эксплуатации буровых насосных установок. / Я.С. Мкртычан – М.: Недра, 1984. – 207 с.

3. Набиев Н.А. Разработка и исследование технических и технологических факторов, обеспечивающих повышение эксплуатационных показателей скважинных штанговых насосов: диссертации на соискание ученой степени доктора философии по технике / Н.А. Набиев; Азербайджанская государственная нефтяная академия – г. Баку, 2010 – 189 с.

4. Грей Ф. Добыча нефти / Ф. Грей; пер. с англ. – М.: ЗАО “Олимп-Бизнес”, 2001. – 416 с.

5. Нефтегазопромысловое оборудование: учебник для ВУЗов / под общ. ред. В.Н. Ивановского. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2006. – 720 с.

6. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: учебное пособие для ВУЗов / И.Т. Мищенко. – М.: изд-во “Нефть и газ” РГУ нефти и газа им. И.М. Губ-кина, 2003. – 816 с.

7. Справочник по добыче нефти / под ред. К.Р. Уразакова. – М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2000. – 374 с.

8. Сидоренко О.Я. Буровой поршневой насос одностороннего действия. Патент РФ № 2315893, МПК F04B 15/02; опубл. 27.01.2008.

9. Нугуманов К.К., Елефтериади Д.К. Буровой поршневой насос односто-роннего действия. Инновационный патент KZ №25687 МПК F04B 15/02, E21B17/00; опубл. 16.04. 2012.

10. Юшков И.А. Буровое оборудование. Учебное пособие / И.А. Юшков – г. Донецк: ДонНТУ, 2009. – 83 с.

11. Абубакиров В.Ф. Буровое оборудование. Справочник. В 2 тт. / В.Ф. Абубакиров, Ю.Г. Буримов, А.Н. Гноевых и др. – М.: Недра, 2003. – 2 т., 494 с. 88

12. Куницын П.В. Механизация работ при строительстве нефтяных и газовых скважин: справочник рабочего. / П.В. Куницын – М.: Недра, 1989. – 272 с.

13. Кирсанов А.Н. Буровые машины и механизмы / А.Н. Кирсанов, П.В. Зиненко, В.Г. Кардыш – М.: Недра, 1981. – 448 с.

14. Рахмилевич З.З. Насосы в химической промышленности: справочное издание. / З.З. Рахмилевич – М.: Химия, 1990. – 240 с.

15. ООО «РемБурСервис». Буровой насос УНБТ-950, УНБТ-1180. [Электронный ресурс]. URL: http://рембурсервис.рф/catalog/burovye-nasosy (дата обращения 30.11.2017г.).

16. Насос буровой трехпоршневой УНБТ. Каталог деталей и сборочных единиц. ЗАО «УРБО», – 162 с.

17. Хафизов Н.М. Проектирование бурового насоса. [Электронный ресурс]. URL:http://stud.wiki/manufacture/2c0a65635b2bc78a4c43a88421206c37_0.html (дата обращения 30.11.2017г.).

18. ООО «Проммаркет». ЗИП к буровым насосам. [Электронный ресурс]. URL: http://www.pmmarket.ru/production/osn/15.html (дата обращения 30.11.2017г.).

19. Нугуманов К.К. Новые технические решения в конструкциях буровых поршней / К.К. Нугуманов, Н. Исагулов // Вестник КазНТУ им. К.И. Сат-паева, № 2 (108) – г. Алма-Ата, 2015 г. – с. 147-152.

20. Калинин А.Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин. Справочник. / А.Г. Калинин, Б.А. Никитин, К.М. Солодский и др. – М.: Недра, 1997. – 648 с.

21. Г0СТ 14959-79. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 13 с.

22. Акопов Е.Ю. Обоснование и выбор методов повышения ресурса погружных центробежных насосов. [Электронный ресурс]. URL: http://old.misis.ru/Portals/0/Avtoreferat/2016/Akopov_disser.PDF (дата обращения 30.11.2017г.).

23. Бабаев С.Г. Надежность нефтепромыслового оборудования. – М.: Недра 1987. – 264с.

24. Крагельский И.В. Трение и износ. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.

25. Костецкий Б.И. и др. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев:Техника, 1976.

26 Статья «Полиуретаны» в Большой советской энциклопедии

27 *Болтон У.* Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты. Карманный справочник. — М.: издательский дом «Додэка-XXI», 2004.

28 *Глав. ред. В. А. Кабанов.* Энциклопедия полимеров. — М.: «Советская энциклопедия», 1977. — Т. 3.

29 *Райт П., Камминг А., Пер. с англ. под ред. док. хим. наук Н. П. Апухтиной. Л.* Полиуретанове эластомеры. — «Химия», 1973.

30 *Ю. С. Липатов, Ю. Ю. Керча, Л. М. Сергеева.* Структура и свойства

полиуретанов. — Киев: «Наукова думка», 1970.

31 Крыжановский В.К. Технические свойства полимерных материалов – М: Профессия, 2005 – 280 с.

32. Вильдеман В.Э. Третьякова Т.В., Лобанов Д.С. Методика экспериментального исследования закритического деформирования на

образцах специальной усложненной конфигурации с применением метода корреляции цифровых изображений // Вестник ПГТУ. Механика. – Пермь:

Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – № 4 – С. 15–28.

33. Влияние динамических нагрузок на полимерные армированные трубы / А.Ф. Сальников, С.В. Словиков, А.Н. Аношкин, В.Э. Вильдеман // Газовая промышленность. – 2010. – № 6. – С. 38–40.

34. ГОСТ 4651–82. Пластмассы. Методы испытания на сжатие. – М: Издательство стандартов, 1998 – 7 с.

35. Экспериментальные исследования свойств материалов при сложных термомеханических воздействиях / Вильдеман В.Э., Третьяков М.П., Третьякова Т.В., Бульбович Р.В., Словиков С.В., Бабушкин А.В., Ильиных А.В., Лобанов Д.С., Ипатова А.В. // под ред. В.Э. Виль демана. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 204 с.

36. Вильдеман В.Э., Санникова Т.В., Третьяков М.П. Экспериментальное исследование закономерностей деформирования и разрушения материалов при плоском напряженном состоянии // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 5. – С. 106–111.

37. Энциклопедия полимеров. Т. 1–3. – М: Советская Энциклопедия, 1977 – 3408 с.

38. Прикладная программа WaveMatrixTM Version 1.2. Справочное руководство // United Kingdom: Instron Corporation, 2010. – 347 с.

39. Словиков С.В., Бульбович Р.В. Экспериментальное исследование динамических механических свойств вязкоупругих материалов // Вестник ПГТУ. Механик гос. техн. ун-та, 2010. – No 2. – С. 104–112

40 Арзамасов Б.Н. Материаловедение. Учебник для ВУЗов.

41 Проектирование и моделирование промышленных изделий: Учеб. Для вузов / С.А.Васин, А.Ю. Талащук, В.Г. Бандорин, Ю.А. Грабовенко, Л.А.Морозова, В.А.Редько; Под ред. С.А. Васина, А.Ю. Талащука. – М.: Машиностроение-1, 2004 – 692 с., ил.

42 Расчет и конструирование бурового оборудования Ильский А.Л. 1985 – 455 с.

43 Мошев В.В. Структурные механизмы формирования механических свойств зернистых полимерных композитов. Под ред. - Екатеринбург: УрО РАН, 1997.- 508с.

44 Липатов Ю.С., Сергеева Л.М. Адсорбция полимеров. –1972. – К.: Наука думка.– 196 с.

45 Степанов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение. – 1985. – 232.

46. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / под ред. А.А. Берлина. – 3-е испр. изд. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 560 с.

47 Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии. – URL: http://www.polymerbranch.com (дата обращения 12.09.2015).

48 Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.

49 Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. учеб. пособие / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1988. – 712 с.

50 Сергеев, А.Ю. Ремонт элементов систем выпуска отработавших газов машин с использованием полимерных композиционных материалов / А.Ю. Сергеев, Н.И. Баурова // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 4. – С. 41–43.

51. Ханник, Р. Наноструктурные материалы / Р. Ханник, А. Хилл; под ред. Н.И. Бауровой. – М.: Техносфера, 2009. – 488 с.

52 Патент Ru № 2008136011/12 27.06.2008 Способ Изготовления Поршней Для Буровых Насосов // Куцов Александр Николаевич,

Куцов Денис Александрович

53 Патент Ru № 2016109594, 2014.08.14 Полиуретановое Эластомерное Уплотнение Для Гидравлических Насосов// Дуггал Раджат (Us) Джагтап Субодх П. (Us)

54 Овчинский, А.С. Процессы разрушения композиционных материалов: имитация микро- и макромеханизмов разрушения на ЭВМ / А.С. Овчинский. – М.: Наука, 1988. – 278 с.

55 Гузева, Т.А. Методы получения наноматериалов с регулируемыми размерами частиц / Т.А. Гузева // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2014. – № 9. – С. 28–31.

56 Дементьева, Л.А. Применение композиционных материалов на основе клеевых препрегов в машиностроении / Л.А. Дементьева, Н.Ф. Лукина, А.П. Петрова, К.Е. Куцевич // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2014. – № 8. – С. 11–17.

57 Довбыш, В.М. Аддитивные технологии и изделия из металла. – URL: http://www.ipmd.net

58 Андреева, А.В. Основы физикохимии и технологии композитов: учеб. пособие / А.В. Андреева. – М.: ИПРЖР, 2001. – 192 с.

59 Баженов, С.Л. Полимерные композиционные материалы / С.Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 352 с.

60. Быстрое прототипирование. – URL: http://www.mlbp.narod.ru/examples.htm (дата обращения 26.03.2019).