

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
Кафедра теоретической и прикладной механики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Качество контактирующих поверхностей деталей машин и природы внешнего трения

УДК 62-2:531.4-021.465

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Кугданов Январь Эрнстович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Эрнст Леонидович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шарф Ирина Валерьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
Уровень образования Магистратура
Кафедра теоретической и прикладной механики
Период выполнения весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: 05.06.2017

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.01.2017	<i>Обзор литературы</i>	2
17.02.2017	<i>Объект и методы исследования</i>	25
20.03.2017	<i>Расчеты и аналитика</i>	25
15.04.2017	<i>Результаты проведенного исследования</i>	5
23.04.2017	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, и ресурсосбережение</i>	20
28.04.2017	<i>Социальная ответственность</i>	20
15.05.2017	<i>Заключение</i>	3

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Э.Л.	к.т.н, доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н.	к.т.н.		

Запланированные результаты обучения ООП

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
Р1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
Р2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</i>	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
Р3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
Р4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22;
Р5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20;
Р6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
Р7	Эффективно работать <i>индивидуально</i> , в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и <i>оперативные планы</i> всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести <i>ответственность за результаты работы</i>	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности; активно <i>владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-8; ПК-23

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) _____ (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Кугданову Январю Эрнстовичу

Тема работы:

Качество контактирующих поверхностей деталей машин и природа внешнего трения

Утверждена приказом директора (дата, номер)

23.03.2017 №2067/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

05.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

1. Состояние контактных металлических поверхностей деталей машин на примере вала, входящего в состав типовой сборочной единицы (вал в сборе).
2. Реальный рельеф поверхностей вала и структура поверхностного слоя формируются при механической обработке такими способами как точение, шлифование и т.п.
3. Учесть влияние качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства, например, износостойкость.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. В плане методологии показать (доказать) эффективность применения «экспериментально-технологического» подхода (вместо «расчетно-аналитического») к определению требуемых (в плане обеспечения износостойкости) топографических характеристик рельефа механически обработанных металлических поверхностей в условиях ремонтно-механических мастерских.</p> <p>2. В плане методики обосновать эффективность использования профилометрии по сравнению с фрактальным анализом в условиях ремонтно-механических мастерских.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шарф И.В.
Социальная ответственность	Кырмакова О.С.
Раздел, выполняемый на иностранном языке	Баранова А.В.

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>
Допуски расположения и формы. Волнистость

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	21.01.2017
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Эрнст Леонидович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Кугданов Январь Эрнстович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 77 с., 10 рис., 18 табл., 40 источников, 1 прил.

Ключевые слова: поверхностный слой, качество поверхности, отклонения первого, второго, третьего, четвертого порядков, топографические характеристики рельефа механически обработанной поверхности.

Объектом исследования является (ютя): состояние поверхностного слоя деталей машин.

Цель работы – в плане методологии показать (доказать) эффективность применения «экспериментально-технологического» подхода к определению требуемых топографических характеристик рельефа механически обработанных металлических поверхностей в условиях ремонтно-механических мастерских.

В процессе исследования проводились обзор литературы, теоретический анализ, экспериментально-технологическое проектирование.

В результате исследования в плане методологии доказана эффективность применения «экспериментально-технологического» подхода (вместо «расчетно-аналитического») к определению требуемых (в плане обеспечения износостойкости) топографических характеристик рельефа механически обработанных металлических поверхностей в условиях ремонтно-механических мастерских. В плане методики обоснована эффективность использования профилометрии по сравнению с фрактальным анализом в условиях ремонтно-механических мастерских.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: базовая длина, высота волнистости, наибольшая высота волнистости, средний шаг волнистости, погрешности, допуски на отклонения нулевого, первого, второго, третьего, четвертого порядков, внешнее трение.

Степень внедрения: высокая

Область применения: участки подготовки производства, ремонтно-механические мастерские

Экономическая эффективность/значимость работы в случаях отсутствия современных средств измерения и контроля (например, в условиях небольших ремонтных предприятий) можно определить с приемлемой в инженерной практике точностью основные топографические характеристики рельефа механически обработанных металлических поверхностей ДМ, что выгодно в плане снижения стоимости применяемого оборудования.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ДМ – детали машин;

ЕСДП – единая система допусков и посадок;

ЕСКД – единая система конструкторской документации;

ЕСТД – единая система технологической документации;

СПИД – станок приспособление инструмент деталь;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ПБ – пожарная безопасность;

НИР – научно-исследовательская работа;

НИИ – научно-исследовательский институт;

ВУЗ – высшее учебное заведение;

КПС – качество поверхностного слоя;

ГОСТ – государственный стандарт;

ППБ – правила пожарной безопасности;

ССБТ – система стандартов по безопасности труда;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

СанПиН – санитарные правила и нормы;

ФЗ – федеральный закон.

Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы.....	13
2. Экспериментально-технологическое проектирование.....	16
2.1 Погрешности изготовления и классификация отклонений	16
2.2 Линейные размеры, отклонения и их точность	22
2.3 Шероховатость поверхности и её параметры	26
3. Допуски расположения и формы. Волнистость.....	31
4. Контактное шероховатых поверхностей и формирование фрикционных связей.....	39
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	42
5.1 Расчет стоимости оборудования.....	44
5.2 Расчет амортизационных отчислений оборудования.....	45
5.3 Затраты на основные материалы	46
5.4 Расчет заработной платы	46
5.5 Расчет страховых взносов во внебюджетные фонды	48
6. Социальная ответственность	50
6.1 Техногенная безопасность.....	53
6.2 Анализ факторов рабочей зоны на предмет их опасных проявлений	57
6.3 Экологическая безопасность.....	59
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	60
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
Заключение	63
Список публикаций.....	64
Список использованных источников	65
Приложение А	69

Введение

Развитие техники и, в частности, в нефтегазовой отрасли придаёт вопросам надёжности и ресурса машин, механизмов и оборудования огромную значимость, прежде всего в плане экономии энергии, материалов и т.д. Этими вопросами обстоятельно занимаются в НИИ, заводах, ВУЗах, их обсуждению и поискам решений (области научных и прикладных исследований) посвящены систематически проводимые конференции и совещания, издающиеся монографии и публикуемые многочисленные статьи.

Если уровень достоверности расчётов деталей машин и элементов машиностроительных конструкций по критериям прочность, жёсткость, устойчивость является вполне приемлемыми для инженерной (значит прикладной) практики, то состояние теории трения и изнашивания не даёт конструктору приемлемых методов расчёта на износ. Это всё связано с тем, что учёт процессов, происходящих на контактных поверхностях, таких как сорбция (абсорбция и адсорбция), деформация, разрушение, диспергирование и т.п., связан с большими трудностями на этапе разработки расчётных моделей. К примеру, в физической мезомеханике поверхностный слой нагруженного твёрдого тела рассматривается как самостоятельная подсистема, которая обладает меньшим, по сравнению с объёмом зерна (кристаллита), сдвиговым сопротивлением, проявляя при этом механизмы пластического течения не дислокационной природы (обращается внимание на перестроение в различные конфигурации атомных нанокластеров). Наличие на наномасштабном уровне кластерного механизма пластического течения (теория, созданная академиком В.Е. Паниным и его научной школой) следует отнести к вопросу проявления большей универсальности (в плане раскрытия сущностной стороны пластической деформации) по сравнению с движением дислокаций на микромасштабном уровне. Должно быть понятным, что состояние НИР в этом направлении исследований находится в стадии гипотетических предположений, оперировать которыми вряд ли возможно непосредственно в инженерных

расчётах. Поэтому возникают и серьёзные трудности при разработке расчётно-аналитического подхода к оценке износа.

Определение ресурса по износу на основе факторов, включающих механические, физические, химические и геометрические параметры контактного взаимодействия и разрушения взаимно скользящих поверхностей деталей машин, должно базироваться на комплексном анализе процессов, связанных с перечисленными факторами. При таком анализе на первый план выступают топографические характеристики рельефа механически обработанных металлических поверхностей. Изучению вопросов их образования, связи разномасштабных геометрических характеристик и разноформатных параметров друг с другом, и их влиянию на природу внешнего трения посвящена данная квалификационная работа, предлагаемая к защите в качестве диссертации на соискание степени (звания) магистра по направлению «Нефтегазовое дело».

1. Обзор литературы

Одним из основных показателей качества машин является их надежность, которая в значительной мере определяется эксплуатационными свойствами деталей и соединений: износостойкостью, усталостной прочностью, коррозионной стойкостью, герметичностью соединений, прочностью посадок и др. Все эти эксплуатационные свойства зависят от материала деталей, точности размеров и качества рабочих поверхностей ДМ. Как правило, возникающие повреждения деталей машин связаны с качеством их рабочих поверхностей. Таким образом техническое решение проблемы, связанной с повышением качества машин в целом в значительной мере обусловлено возможностью технологического обеспечения качества поверхностных слоёв ДМ, которое в содержательном плане включает в себя как геометрические характеристики, так и физико-химические свойства.

Учение о качестве поверхностного слоя за свою почти вековую историю развивалось, начиная от попыток «неопределенного» учета влияния неровностей поверхностей до реализации вопроса комплексной оценки их состояния с учетом воздействия не только всех видов неровностей (макроотклонение, волнистость, шероховатость, субшероховатость), но и механо физико-химических свойства (структура, фазовый состав, химический состав, наклеп, остаточные напряжения, экзоэлектронная эмиссия). В настоящее время именно комплексный подход к рассматриваемой проблеме вызывает интерес ученых различных направлений: механиков, физиков, химиков, метрологов и технологов.

Значительный вклад в развитие науки о качестве поверхностного слоя и изучение его влияния на контактное взаимодействие, трение, изнашивание и смазочное действие внесли многие исследователи, и в их ряду следует отметить имена таких ученых как: В.Д. Кузнецов и представители его научной школы, Н.П. Петров, Н.М. Беляев, И. А. Одинг, С.Б. Айнбиндер, П.А. Ребиндер, Б.В. Дерягин, А.С. Ахматов, М.М. Хрущёв, А.Р. Петрусевич, Б.И. Костецкий, А.П.

Соколовский, М.О. Якобсон, Д. М. Толстой, С.В. Пинегин, Н.И. Зорев, Г.Б. Лурье, Е.И. Меламед, А.С. Лесохин, И.В. Кудрявцев, В.М. Левин, П.И. Ящерицын, Д.Н. Гаркунов, Е.Н. Маслов, А.И. Карташова, Ш.М. Билик, Г.М. Харач, Б.Г. Гуревич, Ю.Г. Проскуряков, М.Л. Елизаветин, Н.Н. Давиденков, А.В. Подзей, Н.И. Буше, В.А. Кудинов, Н.М. Любарский, А.В. Чичинадзе, Ю.Г. Шнейдер, П.Г. Алексеев, Д.Д. Папшев, А.М. Дальский, Л.Н. Хворостухин, А.С.Проников, Г.С. Лоповок, Д.Л. Юдин, С.С. Силин, И.М. Михин, Ю.Н. Дроздов, И.Г. Горячева, Л.М. Шустер, В.С. Лукьянов, В.С. Комбалов, А.И.Хусу, Ю.Г. Витенберг, В.К. Валетов, Ю.М. Голуб, В.И. Максак, Ю.К. Новосёлов, Н.М. Добычин, А.Н. Овсеенко, В.Б. Ильицкий, В.М. Смелянский, Q.A, Горленко, А.В. Тотай, В.С. Харченков, В.И. Аверченков, В.Й. Серебряков, В.П. Федоров, В.П. Тихомиров, Н.Н. Ильин, В.В. Измайлов, А.П. Улашкин; Н. Адам, К. Вайнграбер, К. Джонсон, Е. Рабинович, Т. Хисакадо, Е. Салье, Х. Уайтхауз, Дж. Шульман, К. Велиингер, Р. Боуэр, Ф. Линг, Х. Чихос, Дж. Мак-Бен, Р. Хольм, В. Гаркинс, И. Ленгмюр, Г. Эрлих, Д. Нара, Т. Накамура, Д. Моор, Х. Утс, Х. Польцнер, Е. Ридил, Р. Уотерхауз.

Обстоятельно вопросы, связанные с изучением влияния топографических характеристик рельефа на контактное взаимодействие, представлены в работах: П.Н. Дьяченко, А.И. Каширина, А.И. Исаева, А.А. Маталина, И.В. Крагельского, И.В. Дунина-Барковского, А.М. Сулимы, Э.В. Рыжова, М.Б. Дёмкина, В.С. Мухина, В.К. Старкова, В.Ф. Безъязычного, Ю.Р. Витенберга, Х. Шмальца, Г. Шлезингера, Ф. Боудена, Д. Тейбора, Т. Хисакадо, А. Адамсона, Я.А. Рудзита, А.Г. Сулова и многих других.

Значительное внимание вопросам качества поверхностного слоя уделяют исследователи Брянского государственного технического университета, Института машиноведения (ИМАШ) и Института проблем механики (ИПМ) РАН, Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (МГТУ), Московского государственного технологического университета (Станкин), Московского государственного авиационного университета (МАИ), Московского государственного

авиационно-технологического университета, Рыбинской государственной авиационной технологической академии, Тверского государственного технического университета, Самарского технического университета, Уфимского государственного авиационного университета.

На базе Брянской научной школы триботехнологов в течении последних 10 лет было проведено пять Международных научно-практических конференций, на которых большое внимание уделено вопросам качества поверхностного слоя. В этом ряду следует отметить проведенный в 1995 г. Международный научный семинар, в котором приняли участие ведущие ученые, занимающиеся изучением вопросов качества поверхностей ДМ. На нем в дискуссионной форме были подытожены результаты исследований качества поверхности и на их основе определены приоритетные направления дальнейших исследований. Среди схожих по смыслу понятий "качество поверхности", "состояние поверхностного слоя" и "качество поверхностного слоя" было рекомендовано ввести в терминологический оборот понятие «качество поверхностного слоя (КПС)» которое является более приемлемым в отличие от понятия качество поверхности, поскольку оно одновременно распространяется на физико-химические свойства поверхностного слоя.

Рассмотрение понятия КПС ДМ на всех стадиях жизненного цикла (проектирование, изготовление, контроль, эксплуатация, ремонт, восстановление и утилизация) привело к зарождению учения под названием "инженерия поверхности", которое в будущем должно занять одно из ведущих мест, как научно обоснованная, так и в практическом плане более приемлемое при рассмотрении проблемы повышения конкурентоспособности машиностроительной продукции.

2. Экспериментально-технологическое проектирование

2.1 Погрешности изготовления и классификация отклонений

Реальные поверхности деталей машин в процессе механической обработки претерпевают изменения, как геометрических форм, так и топографических характеристик поверхностного рельефа[3]. Кроме этого контактные поверхности далее меняются при эксплуатации ДМ в результате взаимодействия с другими деталями в составе сборочных единиц, например, при работе вала в сборе и при воздействии на них внешней рабочей среды. В результате реальные поверхности ДМ становятся в процессе эксплуатации отличающимися от номинальных (тех «идеальных», которые заданы рабочим чертежом). Мера отличия связана в основном с теми погрешностями, которые появляются при обработке ДМ механическим способом (рисунок 1).

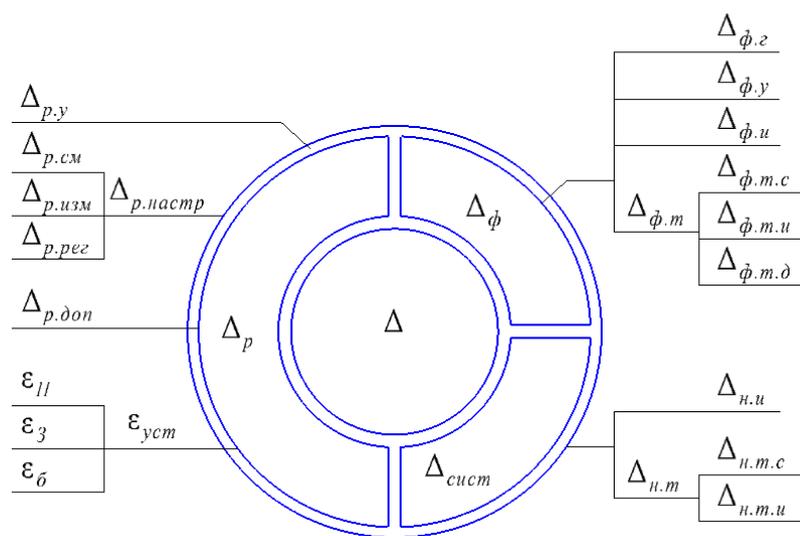


Рисунок 1 – Схема образования суммарной погрешности обработки (Δ)

Обозначения на рисунке 2: Δ_p – поле рассеивания размеров; $\Delta_{p.y}$ – рассеяние от упругих деформаций; $\Delta_{p.настр}$ – рассеяние размеров, обусловленное видом наладки; $\Delta_{p.см}$ – смещение центра группирования размеров пробных деталей относительно середины поля рассеивания; $\Delta_{p.изм}$ – поле погрешности измерения; $\Delta_{p.рег}$ – поле погрешности регулирования положения резца; $\Delta_{p.доп}$ – рассеяние размеров из-за погрешностей фиксации резцедержателя; $\epsilon_{уст}$ – поле погрешности установки; ϵ_{II} – поле погрешности приспособления; ϵ_3 –

погрешность закрепления; ε_6 – поле погрешности базирования; Δ_ϕ – погрешность формы; $\Delta_{\phi,г}$ – погрешность геометрических параметров; $\Delta_{\phi,у}$ – погрешность от упругих деформаций системы СПИД; $\Delta_{\phi,и}$ – погрешность от размерного износа инструмента; $\Delta_{\phi,т}$ – погрешность от тепловых деформаций: станка ($\Delta_{\phi,т.с}$), инструмента ($\Delta_{\phi,т.и}$) и обрабатываемой детали ($\Delta_{\phi,т.д}$); $\Delta_{сисг}$ – накопленная переменная систематическая погрешность; $\Delta_{н,т}$ – накопленная систематическая погрешность от тепловых деформаций; $\Delta_{н,и}$ – накопленная систематическая погрешность от размерного износа резца; $\Delta_{н,т.с}$ – накопленная систематическая погрешность от тепловых деформаций станка; $\Delta_{н,т.и}$ – накопленная систематическая погрешность от тепловых деформаций инструмента.

Возникающие при механической обработке погрешности необходимо фиксировать. Это осуществляется через оценку величин отклонений геометрических параметров готовой детали от заданных рабочим чертежом. В основу нормирования и количественной оценки отклонений положен принцип прилегающих прямых, поверхностей и профилей (рисунок 2)[7].

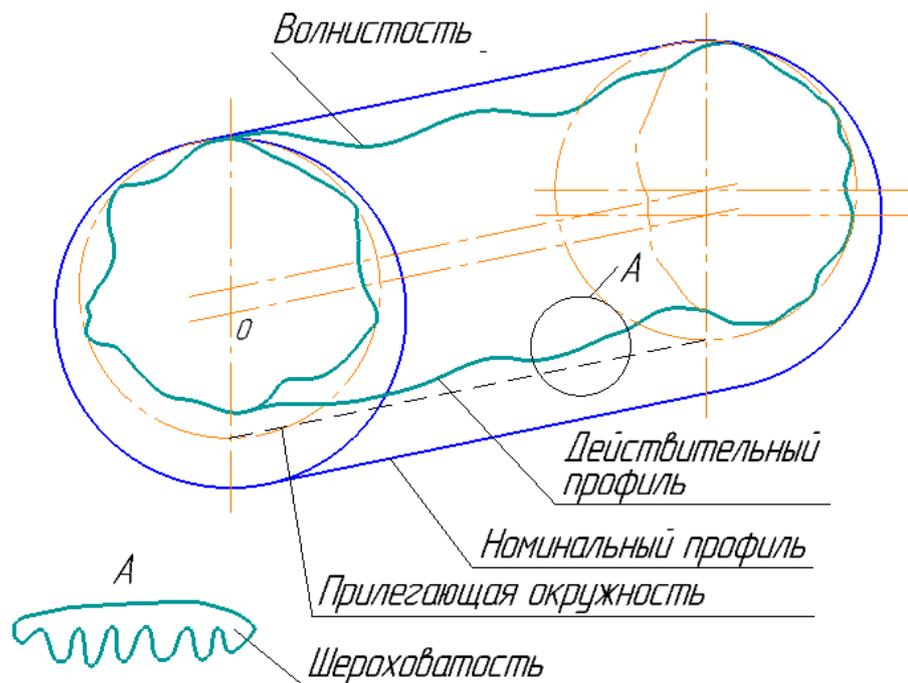


Рисунок 2 – Фиксация отклонений

Системный подход, позволяющий упорядочить представление о погрешностях и их фиксацию через отклонения, дает возможность расклассифицировать последние.

В порядке нарастания малости по численным значениям рассматриваемых отклонений их следует расклассифицировать следующим образом:

Отклонения нулевого порядка – это отклонения линейных размеров;

Отклонения первого порядка – это отклонения расположения поверхностей;

Отклонения второго порядка – это отклонения формы поверхностей;

Отклонения третьего порядка имеют характер волнистости;

Отклонения четвертого порядка – шероховатость.

Между отклонениями линейных размеров и соответствующими отклонениями расположения, а также отклонениями формы установлены количественные соотношения. Поэтому выделять совместно фиксируемые отклонения формы и расположения не представляется целесообразным, задавая этим суммарным отклонением соответствующий порядок малости (рисунок 3).

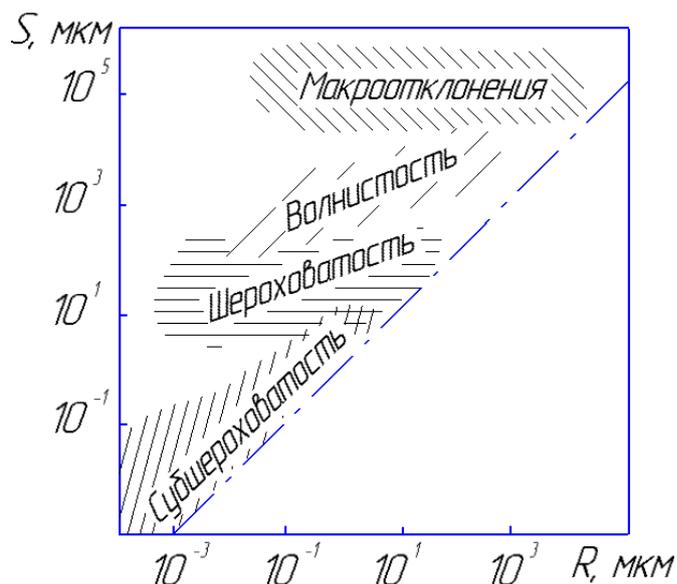


Рисунок 3 – Отклонение геометрических параметров реального профиля различных порядков: (R – высота неровностей; S – расстояние между неровностями)

Важно также отметить влияние на процессы контактирования субшероховатости поверхностных слоев и наноотклонений, возникающих на поверхности, когда фиксируемые размеры составляют – для нанометра 10^{-9} м, для ангстрема 10^{-10} м (рисунок 4).



Рисунок 4 – Фото механически обработанной металлической поверхности при увеличении на электронном микроскопе

При рассмотрении топографических характеристик поверхностного рельефа механически обработанных поверхностей с физических позиций уровни (порядки малости) при таком анализе желательно представить следующим образом: макроотклонения, мезо-, микро-, нано- и субнаноотклонения (атомный уровень рассмотрения).

Выбор рационального варианта технологической операции, с целью получения задаваемого по качеству поверхностного слоя ДМ, является возможным при наличии количественных связей (не только качественного характера) между перечисленными выше уровнями отклонений.

К понятию качества в рассматриваемом контексте следует отнести не только геометрические характеристики в порядке их малости, но и механо-физические свойства поверхностного слоя, которые имеют кардинальные отличия от свойств срединных слоёв [26]. К числу базовых параметров следует отнести и химический состав материала, из которого изготовлена соответствующая деталь.

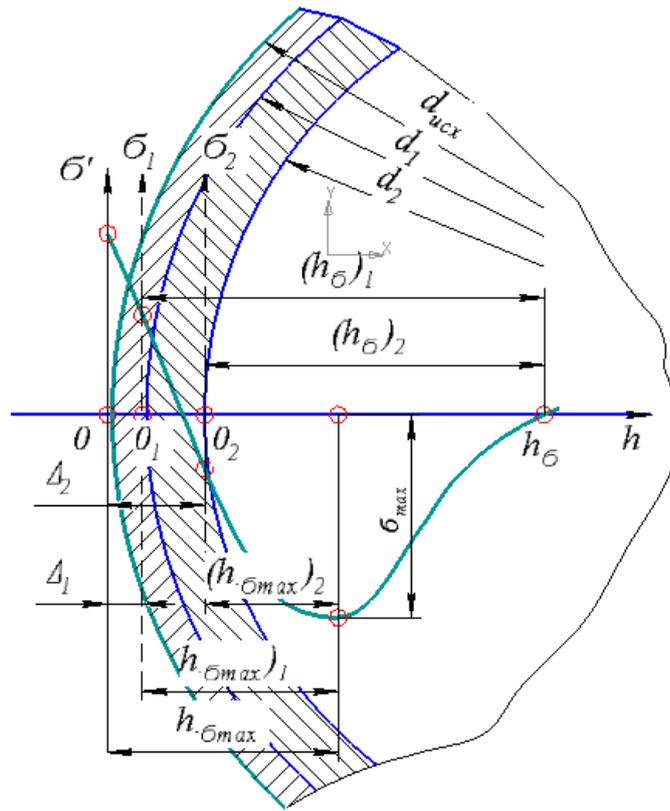


Рисунок 5 – Схема формирования остаточных напряжений в поверхностном слое при механической обработке (доводка)

На рисунке 5 изображена схема формирования остаточных напряжений поверхностного при механической обработке, процесс которой называется доводка [3]. При съёме поверхностного слоя на величину Δ_1 *распределение напряжений* σ на глубине залегания h представлено графиком, изображённым в координатных осях $\sigma_1 O_1 h$. Оказалось, что $(\sigma_n)_1 < 0$, т.е. уменьшилось численное значение *растягивающих* напряжений. σ_n – напряжения на поверхности в координатных осях $\sigma O h$ до начала процесса первоначального съёма слоя Δ_1 . Вторичный съём слоя на величину $\Delta_2 > \Delta_1$ (эпюра остаточных напряжений показана в координатных осях $\sigma_2 O_2 h$) привёл к появлению на поверхности сжимающих остаточных напряжений $(\sigma_n)_2 < 0$. Из отмеченного следует предположить – увеличением съёма металла при механической обработке можно на поверхности получить *сжимающие* остаточные напряжения, что согласно ряду исследований, проведённых под руководством Э.В. Рыжова, способствует повышению износостойкости контактных поверхностей ДМ. *Итак, подбором режимов механической обработки можно изменить характер*

распределения остаточных напряжений по глубине залегания. В этом заключается сущность того, что связано с фактором, называемым *технологической наследственностью*. Кроме отмеченного экспериментально доказано (названным авторским коллективом) влияние на σ_{\max} такого геометрического параметра как исходное численное значение $R_{a,исх}$.

Как показывает практика изготовления ДМ, погрешности неизбежны и они обусловлены рядом объективных факторов. Фиксация погрешностей осуществляется через замер отклонений, которые для получения годной детали должны быть в определенных границах, что связано с понятием точность. Таким образом, понятия точность, отклонение и погрешность являются взаимосвязанными. Точность в конкретном случае характеризуется действительной погрешностью (фактическими размерами годной детали), последняя при этом должна лежать в определенных границах. Чем меньше численная величина интервала, носящего название допуск и определяемого граничными значениями, тем выше точность и тем меньше погрешность, т.е. речь при этом идёт о степени точности, т.е. качестве (их 19). Казалось бы, повышение степени точности изготовления детали во всех случаях является целесообразным. Однако при этом важно не забывать о факторе *экономическая эффективность*, которая наряду с рассмотренным фактором *техническая целесообразность* при проектировании, изготовлении, сборке и последующей эксплуатации изделия также играет существенную роль (рисунок 6).

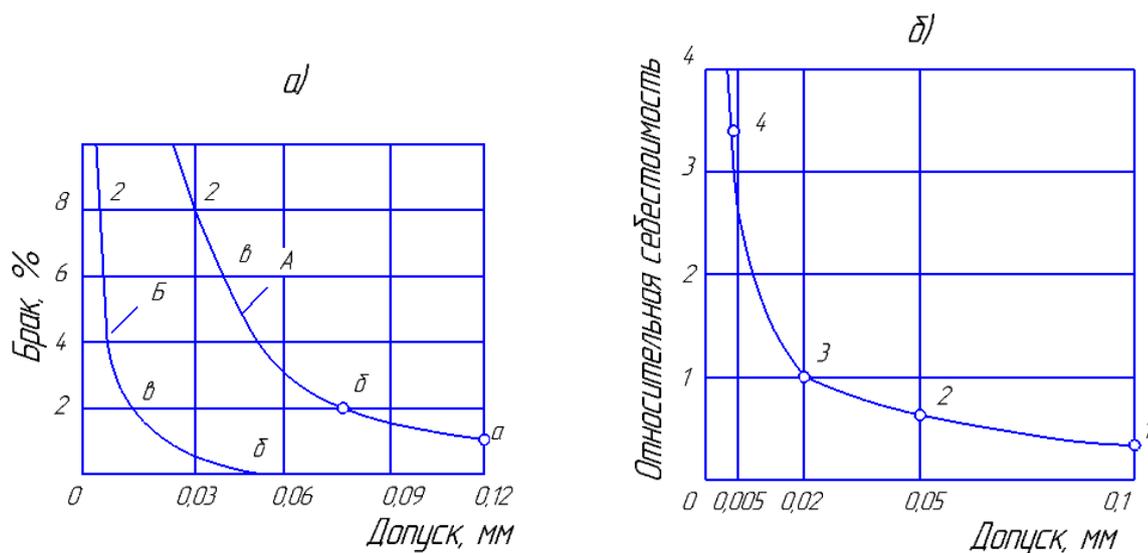


Рисунок 6 – Влияние численного значения допуска на линейный размер:
 а – на процент брака; б – на стоимость изготовления

Резюмируя подчеркнём, что на всех этапах жизненного цикла изделия (детали) вопросы, связанные с одновременным учётом факторов «техническая целесообразность» и «экономическая эффективность», являются решающими для получения высококачественного изделия (детали).

Детали машин представляют собой определенные комбинации геометрических тел простейших форм: плоских, цилиндрических, конических и т.п., линейные и угловые размеры которых обеспечиваются при технологическом воздействии с объективно возникающими при этом погрешностями изготовления.

2.2 Линейные размеры, отклонения и их точность

Основными понятиями, которыми оперируют конструкторы, технологи, метрологи, эксплуатационники и другие участники процессов проектирования, изготовления, сборки и эксплуатации машин и оборудования различного назначения, являются отверстие, вал, размер. В ЕСПД под отверстием понимают охватываемый элемент детали или узла. Данные термины используют не только применительно к наружным и внутренним поверхностям

и элементам цилиндрической формы, но и к другим поверхностям, которые ограничены параллельными плоскостями, например, шпоночные пазы.

Под размером понимают числовое значение определяемой величины (длины, диаметра и т.д.) в выбранных единицах измерения.

При этом в конструкторской (ЕСКД) и технологической (ЕСТД) документациях используют термины: расчётный, номинальный, действительный, предельные и т.п. размеры.

Теоретической базой для развития стандартизации является система предпочтительных чисел, смысл которой заключается в выборе лишь тех значений размеров, которые подчиняются строго определённой математической закономерности. Специальными исследованиями доказано, что наиболее удобны геометрические прогрессии. Все ряды предпочтительных чисел основаны на геометрических прогрессиях со знаменателями: $q = \sqrt[5]{10}$ (R5), $q = \sqrt[10]{10}$ (R10), $q = \sqrt[20]{10}$ (R20), $q = \sqrt[40]{10}$ (R40), $q = \sqrt[80]{10}$ (R80).

Линейные размеры в технике составляют основную долю числовых характеристик, поэтому оказалось целесообразным регламентировать ряды линейных размеров.

Наиболее часто используются размеры в диапазоне чисел от 1 до 500 мм. Для расчёта допуска размера рассматриваемый диапазон разбивают на интервалы номинальных размеров, которых в качестве основных 13. Начиная с 4-го интервала вводят промежуточные интервалы внутри основных (22 промежуточных). Таким образом, суммарное число интервалов внутри диапазона чисел от 1 мм до 500 мм получается 35.

Расчёт допусков осуществляется по среднегеометрическому размеру, используя граничные значения соответствующего интервала. Например, для 5-го основного интервала (от 18 мм до 30 мм) среднегеометрический размер определяется так: $\sqrt{18 \cdot 30} = 23,2$. Принимают 23 мм. Для этого значения рассчитывается численное значение допуска $T = a \cdot i$, где a – коэффициент, зависящий от порядкового номера качества (степени точности), i – единица

допуска. Для квалитетов с порядковыми номерами от IT5 до IT17 *a* принимает значения от 7 до 1600. В свою очередь $i = 0,45\sqrt[3]{D_n} + 0,001D_n$, где *n* – порядковый номер соответствующего интервала номинальных размеров, *D_n* – среднегеометрический размер соответствующего интервала. Первое слагаемое в формуле связано с учетом погрешности изготовления, тогда как второе позволяет учесть погрешности измерения.

После механической обработки годные детали поступают на сборку, где их объединяют в сборочные единицы, в которых они вступают во взаимодействие друг с другом, выполняя своё функциональное назначение. Типовым вариантом сборочной единицы в заданиях являются валы в сборе, входящие в состав любых передаточных механизмов. Сопрягаемые детали образуют соединения (разъемные и неразъемные), кинематические пары, кинематические соединения и в особую группу следует выделить узлы трения.

При рассмотрении соединений выявляется необходимость введения в терминологический оборот такого понятия как *посадка*. Посадка характеризует вариант соединения двух поверхностей – вала и отверстия, который в свою очередь может быть как вариантом образования подвижного соединения, так и явить собой соединение неподвижного типа. *В обоих случаях главную роль в реализации того или иного варианта соединения играют отклонения нулевого порядка (макроотклонения)*. Если не придерживаться понятий система отверстия или система вала, то схему неподвижного соединения двух *условно гладких* цилиндрических поверхностей графически можно представить через поля допусков отверстия и вала (рисунок 7). Такого вида соединения с натягом относят к фрикционным.

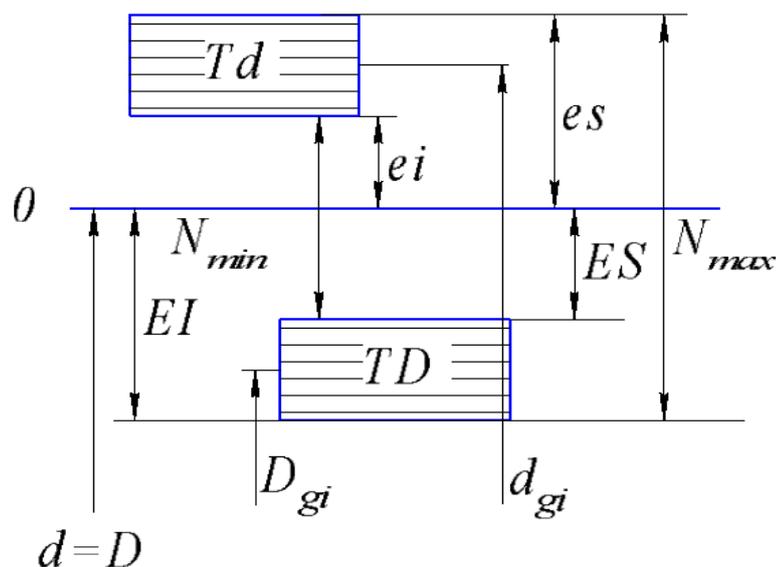


Рисунок 7 – Соединение с натягом

$$\left. \begin{array}{l} D_{\max} = D + ES \\ D_{\min} = D + EI \end{array} \right\} \text{границы изменений действительных размеров отверстия}$$

$$\left. \begin{array}{l} d_{\max} = d + es \\ d_{\min} = d + ei \end{array} \right\} \text{границы изменений действительных размеров вала}$$

$$\underbrace{d_{gi} > D_{gi}; N_{\max} \geq N_{gi} \geq N_{\min}}$$

Условия образования фрикционного соединения с натягом. Фактически фиксируемое численное значение N_g : определяет численное значение натяга, а значит и определяет величину передаваемого от «вала» «отверстия» вращающего момента.

В рассматриваемой схеме при изображении полей допусков вала (Td) и отверстия (TD) необходимо оперировать терминами: отклонения – верхние (es, ES) и нижние (ei, EI), понятием номинальный размер $d = D$. Кроме этого величину натяга обозначают буквой N (на схеме N_g – действительный натяг, N_{\min} – минимальный натяг, N_{\max} – максимальный натяг). Также необходимо отметить, что D_g (d_g) обозначает действительный размер годной детали. Из отмеченного следует, что N_g напрямую связан с действительными размерами отверстия D_g и вала d_g . Необходимо помнить, что фиксируемый

действительный (после механической обработки) размер содержит в своём числовом значении погрешности измерения.

Упругие деформации, возникающие в охватывающей и охватываемой поверхностях при реализации неподвижного соединения с натягом создают между ними нормальное давление, что, в свою очередь, вызывает появление сил трения. Это приводит к необходимости при расчётной оценке требуемого натяга учитывать влияние топографических характеристик рельефа механически обработанных металлических поверхностей ДМ, а это значит необходимо принимать во внимание отклонения нулевого порядка.

Отклонения третьего порядка (волнистость) в отечественных стандартах не представлены. На волнистость разработаны нормы в стандартах зарубежных стран. В России на эти отклонения разработаны только рекомендации, которые позволяют связать между собой параметры, определяющие отклонения 1,2,3 порядков малости.

Исходя из отмеченного, возникает необходимость выделить рассматриваемый вопрос в самостоятельный раздел (3) с последующим его переводом на английский язык (приложение А).

2.3 Шероховатость поверхности и её параметры

Под шероховатостью поверхности (рисунок 8), в соответствии с ГОСТ 25142 – 82, понимают совокупность неровностей поверхности – иными словами топографическую характеристику рельефа обработанной поверхности – с относительно малыми шагами, которая выделяется с помощью базовой длины. Числовые значения геометрических параметров шероховатости поверхности (профиля) определяют от средней линии, которая при измерении с помощью профилографа в пределах базовой длины (l) находится так – сумма площадей выступов и впадин должны быть равны между собой. Данная система отсчёта параметров шероховатости называют системой средней линии (см. профилограмму). При этом неровности, имеющие шаг больше l , не учитывают.

Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: (0,01); (0,03); 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; (25) мм. Значения, заключённые в скобки, применяют в особых случаях.

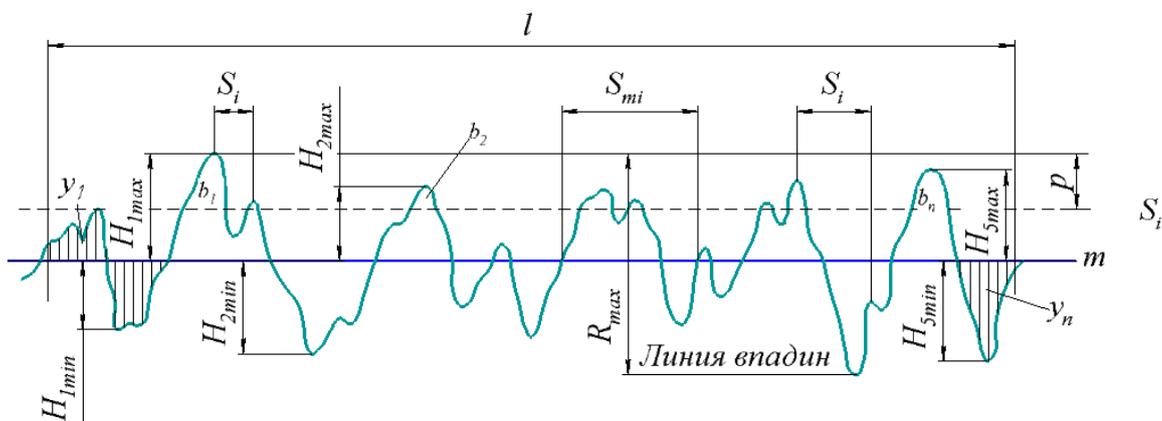


Рисунок 8 – Профилограмма

По ГОСТ 2789 – 73 оценивают следующие параметры шероховатости: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля; R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам; R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля; S_m – средний шаг неровностей профиля; S – средний шаг местных выступов профиля; t_p – относительная опорная длина профиля на уровне сечения профиля p .

Таблица 2.1 – Соотношения параметров R_a , R_z , R_{max} , и l

R_a , мкм	R_z, R_{max} , мкм	l , мм
До 0,025	До 0,1	0,08
0,025–0,4	0,1–1,6	0,25
0,4–3,2	1,6–12,5	0,8
3,2–12,5	12,5–50	2,5
12,5–100	50–400	8

В контексте вопросов трения и изнашивания подробнее следует рассматривать параметры, связанные с формой неровностей профиля. Важным геометрическим параметром является опорная длина профиля η_p – это сумма длин (от 1 до n) отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне p линией, эквидистантной средней линии t в пределах базовой длины: $\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i$.

Относительная опорная длина $t_p = \eta_p/l$ являет собой фактическую площадь контакта. Уровень сечения профиля p отсчитывается от линии

выступов в процентах к наибольшей высоте неровностей профиля R_{\max} и выбирается из ряда: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 % от R_{\max} , в свою очередь t_p – из ряда: 10,15...80, 90 %.

В обоснованных случаях при назначении числовых значений параметров шероховатости можно ориентироваться на данные табл. 2.2, в которой в зависимости от значений R_a и R_z установлены 14 классов шероховатости (в документации применялись до 1980 г.). Вместе с этим, следует иметь в виду, что между указанными высотными характеристиками шероховатости и допусками размера T и допусками формы T_ϕ выявлены количественные соотношения: при «нормальной геометрической точности» $R_a = 0,05 T$, а $R_z = 0,2 T$; при «повышенной» – $R_a = 0,025 T$, а $R_z = 0,1 T$; при «высокой» – $R_a = 0,012 T$, а $R_z = 0,05 T$; при «особо высокой» – $R_a = 0,15 T_\phi$, а $R_z = 0,6 T_\phi$.

Для механически обработанных поверхностей с повышенными требованиями, как к точности изготовления, так и к шероховатости, как правило, назначают 6...8 класс шероховатости.

В поверхностном слое, полученном в результате механической обработки детали, распределение материала на её шероховатой поверхности

Таблица 2.2 – Числовые значения параметров шероховатости поверхности

Классы шероховатости поверхности	Разряды	Параметры шероховатости в мкм		Базовая длина l в мм
		R_a	R_z	
1	–	–	От 320 до 160	8
2	–	–	От 160 до 80	
3	–	–	От 80 до 40	
4	–	–	От 40 до 20	2,5
5	–	–	От 20 до 10	
6	<i>a</i>	От 2,5 до 2,0	–	0,8
	<i>б</i>	От 2,0 до 1,6	–	
	<i>в</i>	От 1,6 до 1,25	–	
7	<i>a</i>	От 1,25 до 1,0	–	
	<i>б</i>	От 1,00 до 0,80	–	
	<i>в</i>	От 0,80 до 0,63	–	
8	<i>a</i>	От 0,63 до 0,50	–	
	<i>б</i>	От 0,50 до 0,40	–	
	<i>в</i>	От 0,40 до 0,32	–	

Продолжение таблицы 2.2

9	<i>a</i>	От 0,32 до 0,25	–	
	<i>б</i>	От 0,25 до 0,20	–	
	<i>в</i>	От 0,20 до 0,16	–	
10	<i>a</i>	От 0,160 до 0,125	–	0,25
	<i>б</i>	От 0,125 до 0,100	–	
	<i>в</i>	От 0,100 до 0,080	–	
11	<i>a</i>	От 0,080 до 0,063	–	
	<i>б</i>	От 0,063 до 0,050	–	
	<i>в</i>	От 0,050 до 0,040	–	
12	<i>a</i>	От 0,040 до 0,032	–	
	<i>б</i>	От 0,032 до 0,025	–	
	<i>в</i>	От 0,025 до 0,020	–	
13	<i>a</i>	–	От 0,100 до 0,080	0,08
	<i>б</i>	–	От 0,080 до 0,063	
	<i>в</i>	–	От 0,063 до 0,050	
14	<i>a</i>	–	От 0,050 до 0,040	
	<i>б</i>	–	От 0,040 до 0,032	
	<i>в</i>	–	От 0,032 до 0,025	

можно оценить с помощью таких характеристик как опорная длина и опорная кривая профиля. Именно эти характеристики, используемые в инженерных расчётах при оценке контактного взаимодействия ДМ, позволяют создать *модельные представления о микронеровностях* и оценивать по ним такие геометрические параметры как: высоты единичных микронеровностей, радиусы при их вершинах, разницу в размерах шагов в продольном и поперечном направлениях. К числу используемых в расчётной практике видам моделей следует отнести: набор стержней, клин, пирамиду, конус, фрагмент сферы, полусферы на круглой полусфере, фрагмент эллипсоида.

Вместе с отмеченным следует подчеркнуть, что рассматривать макро-, мезо- и микроотклонения только с геометрических позиций является недостаточным, т.к. рассмотренные параметры напрямую связаны и с физико-

механическими свойствами контактирующими в сборочных единицах друг с другом ДМ.

К этим свойствам прежде всего относят: способность подвергаться наклёпу (степень наклёпа фиксируется путём замера микротвёрдости, как правило на косых шлифах); способность деформированных зон подвергаться текстурированию (ориентации кристаллитов в направлении действующих сил); возникновение внутренних остаточных напряжений, которые, в свою очередь, классифицируются так: макро- (первого рода), уравновешенные в объёме детали; микро- (второго рода), уравновешенные в границах кристаллитов; субмикронапряжения, которые действуют в пределах атомных решёток.

3. Допуски расположения и формы. Волнистость

При механической обработке в указанные на рабочем чертеже детали геометрические параметры вносятся, как было показано раньше, погрешности. Помимо погрешностей изготовления дополнительную составляющую в допуск вносят погрешности измерения. С помощью метода прилегающих отклонения фиксируются. Способы и схемы измерений отклонений представлены в таблице 3.1. Виды и группы допусков представлены в таблице 3.2.

Важно отметить, что между допусками размера и формы существуют соотношения количественного характера (таблица 3.3). По уровням относительной геометрической точности различают:

«А» нормальная точность – допуск формы составляет 60% от допуска соответствующего размера;

«В» повышенная – 40%;

«С» высокая – 25%.

Вместе с этим следует отметить, что конкретно для допусков «Цилиндричность» и «Круглость» в соответствии с уровнями относительной геометрической точности (А,В,С) проценты от допуска размера численно составляют: 30,20 и 12%.

Аналогичный подход применяется также при определении отклонений для допусков расположения. Графические изображения и названия допусков на мезоотклонения представлены в таблице 3.4.

Волнистость поверхности – это периодически повторяющиеся неровности, у которых расстояние между вершинами выступов и впадин больше базовой длины l . Она занимает промежуточное положение между отклонениями формы и шероховатостью. В принципе волнистость должна быть нормирована. Рекомендациями по её стандартизации установлено три параметра: высота волнистости W_z , наибольшая высота – W_{\max} и средний шаг волнистости S_w .

W_z – среднее арифметическое значение из пяти высот, измеряемых на 5-ти одинаковых участках измерения:

$$W_z = \frac{1}{5}(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5) \quad (1)$$

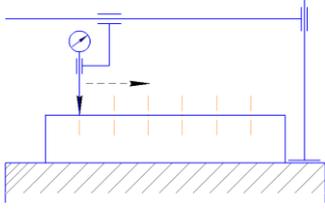
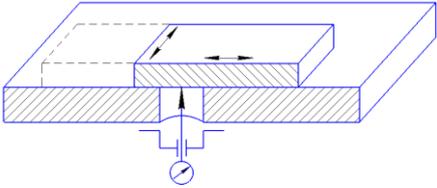
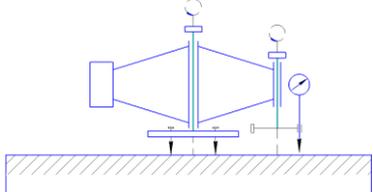
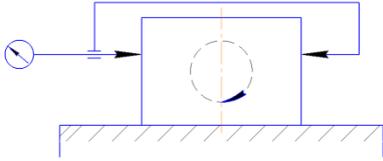
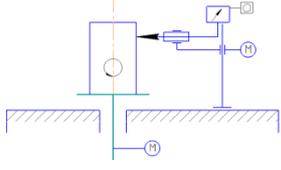
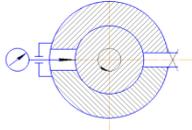
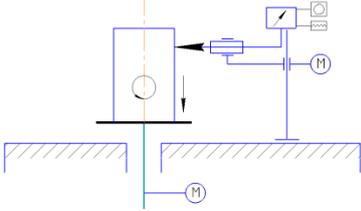
W_{\max} – расстояние между наивысшей и низшей точками измеряемого профиля в пределах участка измерения l_w , определённого на одной *полной* волне. Эти высоты W_{\max} следует выбирать из ряда: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 0,16; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100 и 200 мкм. Средний шаг волнистости, который измеряется по средней линии, рассчитывают по формуле:

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{wi} \quad (2)$$

После механической обработки: 1) точением $W_i = (1 \div 0,7)$ мм, $S_{wi} = (1,4 - 9)$ мм; 2) притиркой $W_i = (0,75 \div 2)$ мм, $S_{wi} = (0,8 - 4)$ мм; 3) плоским шлифованием $W_i = (1,1 \div 3,8)$ мм, $S_{wi} = (1,1 - 3,8)$ мм.

Неровности поверхности, для которых $1000 > S_w/W_z > 40$ относят к волнистости; при $S_w/W_z > 1000$ – это отклонение формы.

Таблица 3.1 – Способы и схемы измерения отклонений и их фиксация

№	Способы	Схемы
I	Способы измерения отклонений от прямолинейности:	
1.1	Прибором с прецизионным прямолинейным перемещением (прямомером) с измерительной головкой	
II	Способы измерения отклонений от плоскостности:	
2.1	Поверочной плитой с отверстием и измерительной головкой	
2.2	Карусельным плоскомером	
III	Способы измерения отклонений от круглости:	
3.1	Двухточечным измерительным стационарным или накладным приборами для измерения диаметров	
3.2	Прибором с прецизионным вращением (кругломером)	
3.3	Образцом круглости и измерительной головкой	
IV	Способы измерения отклонений от цилиндричности:	
4.1	Прибором с прецизионным вращением и прямолинейным перемещением (цилиндромером)	

Продолжение таблицы 3.1

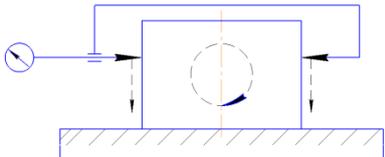
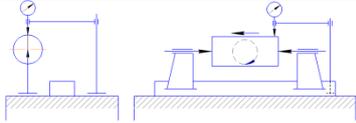
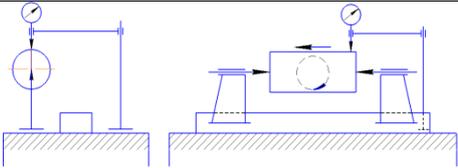
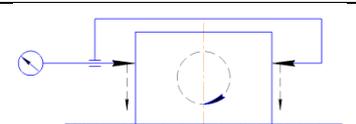
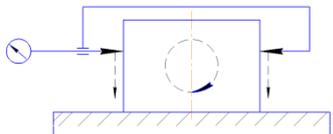
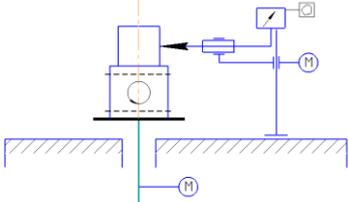
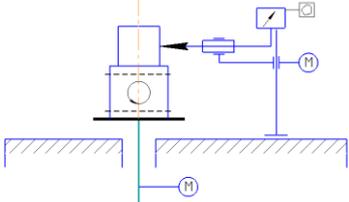
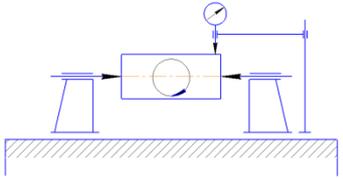
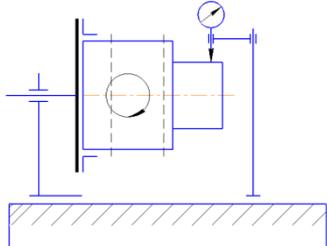
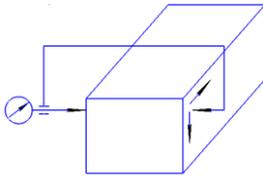
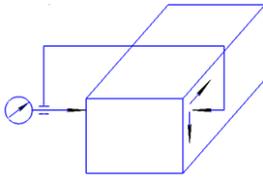
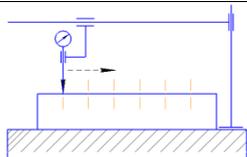
4.2	Двухточечным измерительным стационарным или накладным приборами для измерения диаметров	
4.3	Измерение с базированием измеряемой детали в центрах: измерительной головкой и поверочной плитой	
V	Способы измерения отклонений профиля продольного сечения:	
5.1	Измерение с базированием измеряемой детали в центрах: измерительной головкой и поверочной плитой	
5.2	Двухточечным измерительным прибором для измерения диаметров (стационарным или накладным)	
VI	Способы измерения радиального биения:	
6.1	Прибором с прецизионным вращением (кругломером)	
6.2	С базированием измеряемой детали в центрах измерительной головкой	
6.3	С базированием измеряемой детали в патроне, имеющем прецизионное вращение, измерительной головкой	
VII	Способы измерения отклонения от параллельности:	
7.1	По разности расстояний двухточечным измерительным прибором для измерения диаметров	
7.2	Приборами с прецизионным прямолинейным перемещением: прямомером с измерительной головкой для измерения в горизонтальной плоскости и поверочной плитой	

Таблица 3.2 – Классификация мезоотклонений

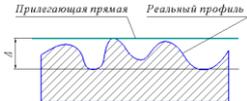
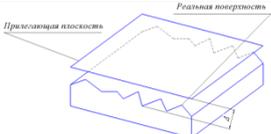
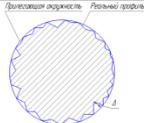
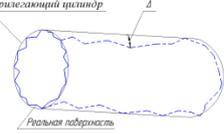
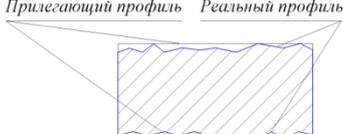
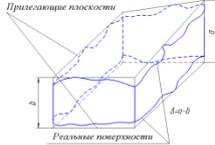
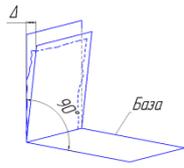
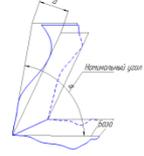
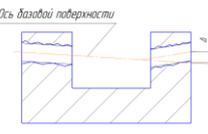
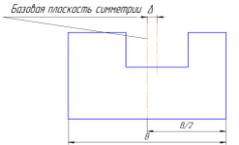
Вид	Группа	Определение
<p>Допуск прямолинейности</p> <p>Допуск плоскостности</p> <p>Допуск круглости</p> <p>Допуск цилиндричности</p> <p>Допуск профиля продольного сечения</p>	Допуски форм	<p>Наибольшее допускаемое отклонение от прямолинейности.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение отклонения от плоскостности.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение отклонения от круглости.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение отклонения от цилиндричности.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение отклонения профиля продольного сечения</p>
<p>Допуск параллельности</p> <p>Допуск перпендикулярности</p> <p>Допуск наклона</p> <p>Допуск соосности</p> <p>Допуск симметричности</p> <p>Позиционный допуск</p> <p>Допуск пересечения осей</p>	Допуски расположения	<p>Наибольшее допускаемое значение отклонения от параллельности.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение отклонения от перпендикулярности.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение отклонения наклона.</p> <p>Удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения от соосности.</p> <p>Удвоенное наибольшее допускаемое значение от симметричности.</p> <p>Удвоенное наибольшее допускаемое значение позиционного отклонения элемента.</p> <p>Удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения от пересечения осей.</p>
<p>Допуск радиального биения</p> <p>Допуск торцевого биения</p> <p>Допуск биения в заданном направлении</p>	Суммарные допуски формы и расположения	<p>Наибольшее допускаемое значение радиального биения.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение торцевого биения.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение биения в заданном направлении.</p>
<p>Допуск полного радиального биения</p> <p>Допуск полного торцевого биения</p>		<p>Наибольшее допускаемое значение полного радиального биения.</p> <p>Наибольшее допускаемое значение полного торцевого биения.</p>
<p>Допуск формы заданного профиля</p> <p>Допуск формы заданной поверхности</p>		<p>Удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения формы заданного профиля.</p> <p>Удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения формы заданной поверхности.</p>

Таблица 3.3 – Минимальные требования к шероховатости поверхности в зависимости от допусков размера и формы

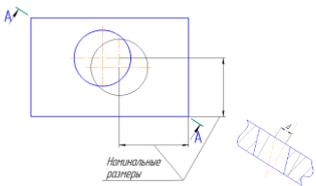
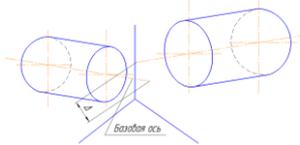
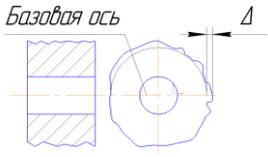
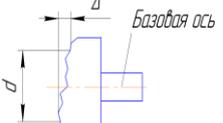
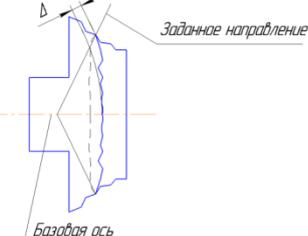
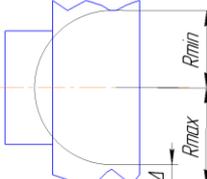
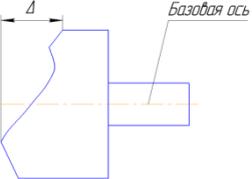
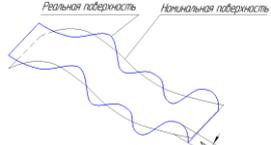
Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм				Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм				
		До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500			До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500	
		Значения R_a , мкм, не более						Значения R_a , мкм, не более				
IT3	100	0,2	0,4	0,4	0,8	IT9	100	3,2	3,2	6,3	6,3	
	60	0,1	0,2	0,2	0,4		и 60	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	40	0,05	0,1	0,1	0,2		25	0,8	1,6	1,6	3,2	
IT4	100	0,4	0,8	0,8	1,6	IT10	100	3,2	6,3	6,3	6,3	
	60	0,2	0,4	0,4	0,8		и 60	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	40	0,1	0,2	0,2	0,4		25	0,8	1,6	1,6	3,2	
IT5	100	0,4	0,8	1,6	1,6	IT11	100	6,3	6,3	12,5	12,5	
	60	0,2	0,4	0,8	0,8		и 60	40	3,2	3,2	6,3	6,3
	40	0,1	0,2	0,4	0,4		25	1,6	1,6	3,2	3,2	
IT6	100	0,8	1,6	1,6	3,2	IT12 и IT13	100	12,5	12,5	25	25	
	60	0,4	0,8	0,8	1,6		и 60	40	6,3	6,3	12,5	12,5
	40	0,2	0,4	0,4	0,8		40	6,3	6,3	12,5	12,5	
IT7	100	1,6	3,2	3,2	3,2	IT14 и IT15	100	12,5	25	50	50	
	60	0,8	1,6	1,6	1,6		и 60	40	12,5	12,5	25	25
	40	0,4	0,8	0,8	0,8		40	12,5	12,5	25	25	
IT8	100	1,6	3,2	3,2	3,2	IT16 и IT17	100	25	50	100	100	
	60	0,8	1,6	1,6	1,6		и 60	40	25	25	50	50
	40	0,4	0,8	0,8	0,8		40	25	25	50	50	

Примечание. Если относительный допуск формы меньше значений, указанных в таблице, то значения R_a следует назначать не более $0,15 T_f$ (T_f – допуск формы).

Таблица 3.4 – Графические изображения отклонений мезоуровня и обозначения допусков

Графическое изображение	Наименование/Знак
	<p>Допуск прямолинейности</p> <p>—</p>
	<p>Допуск плоскостности</p> <p>▭</p>
	<p>Допуск круглости</p> <p>○</p>
	<p>Допуск цилиндричности</p> <p>⊗</p>
	<p>Допуск профиля продольного сечения</p> <p>≡</p>
	<p>Допуск параллельности</p> <p>∥</p>
	<p>Допуск перпендикулярности</p> <p>⊥</p>
	<p>Допуск наклона</p> <p>∠</p>
	<p>Допуск соосности</p> <p>⊙</p>
	<p>Допуск симметричности</p> <p>≡≡</p>

Продолжение таблицы 3.4

	<p>Позиционный допуск</p> <p style="text-align: center;">⊕</p>
	<p>Допуск пересечения осей</p> <p style="text-align: center;">X</p>
	<p>Допуск радиального биения</p> <p style="text-align: center;">↔</p>
	<p>Допуск торцевого биения</p> <p style="text-align: center;">↕</p>
	<p>Допуск биения в заданном направлении</p> <p style="text-align: center;">↗</p>
	<p>Допуск полного радиального биения</p> <p style="text-align: center;">↔↔</p>
	<p>Допуск полного торцевого биения</p> <p style="text-align: center;">↕↕</p>
	<p>Допуск формы заданного профиля</p> <p style="text-align: center;">⌒</p>
	<p>Допуск формы заданной поверхности</p> <p style="text-align: center;">⌒</p>

4. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей и формирование фрикционных связей

Контактное взаимодействие механически обработанных ДМ трущимися поверхностями, в силу наличия отклонений в геометрических параметрах на макро-, мезо-, микроуровнях, влечёт появление в областях соприкосновения разных по своей физико-механической сути площадок: номинальной, контурной и фактической. С геометрических позиций экспериментами найдены соотношения в размерах названных площадок. Они такие: контурная площадь контакта (A_c) лежит в пределах $(5 \div 10)\%$ от номинальной (A_a видимой); фактическая (A_f) – $(0,01 \div 0,1)\%$ от номинальной. Именно на контурных и фактических площадках контактирования взаимно скользящих поверхностей реализуются процессы, отражающие природу внешнего трения твёрдых тел: молекулярно-механическую по теории И.В. Крагельского или иначе адгезионно-деформационную (теория английских учёных – Боудена и Тейбора). Схематически это можно представить на рисунке 9.

Использование для исследования топографических характеристик рельефа поверхности, формирующегося на фактических площадках контакта, методов электронной и сканирующей зондовой микроскопии позволило экспериментально зафиксировать, помимо всего вышеотмеченного, большое значение субшероховатости. Субшероховатость напрямую связана с нанootклонениями поверхностного рельефа от идеально гладкого. Вместе с тем именно на плоских площадках – все-таки образующихся при трении и изнашивании – протекает механо-физическое взаимодействие взаимно скользящих поверхностей твёрдых тел.

Разрабатываемый в настоящее время фрактальный подход к изучению геометрических параметров шероховатости поверхности позволяет не зависеть от масштабного фактора, что в итоге уменьшает влияние разрешающей способности приборов на результат.

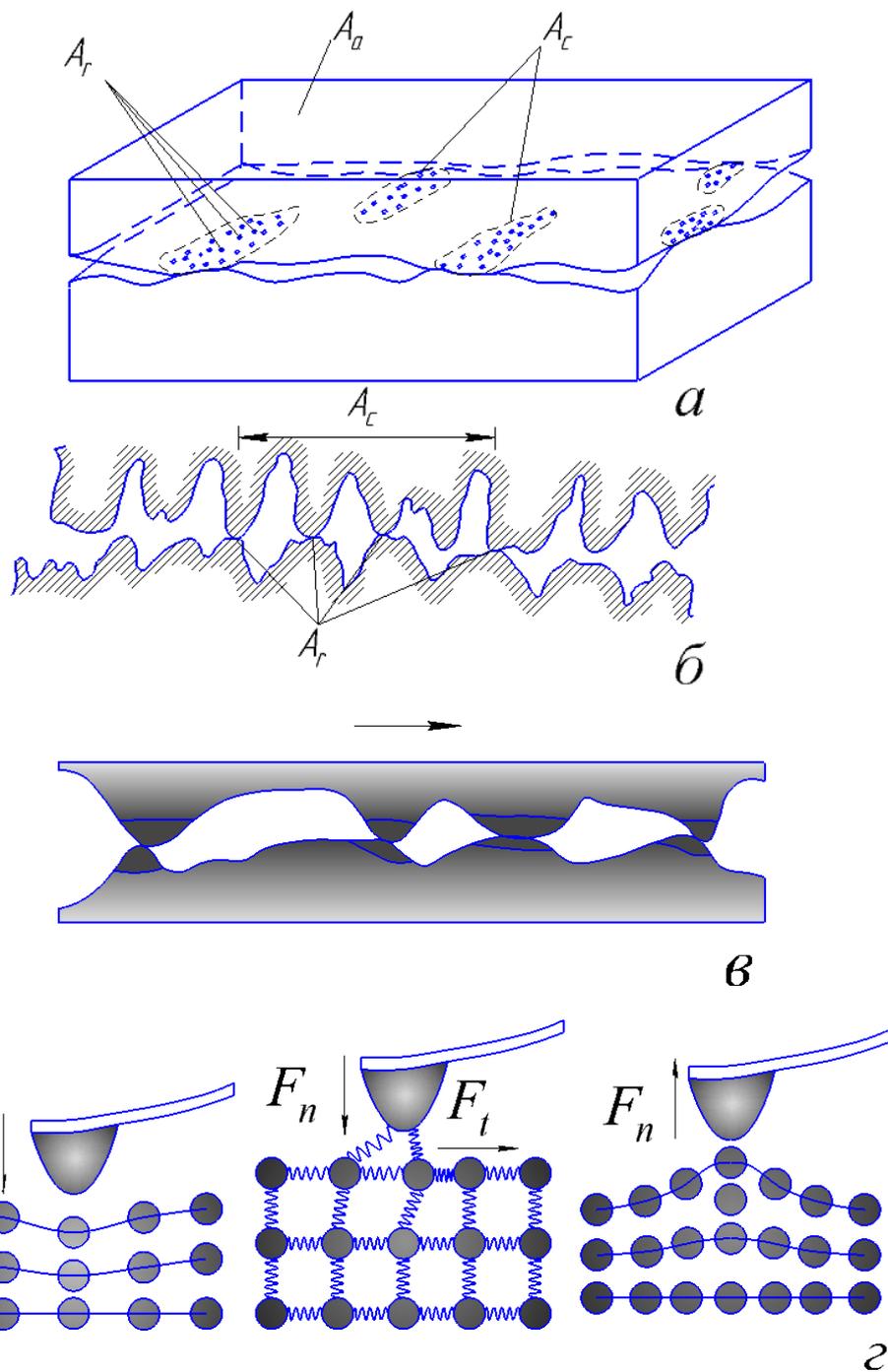


Рисунок 9 – Графическое изображение контактного взаимодействия и этапов формирования фрикционных связей: а – макроуровень; б – мезоуровень; в – микроуровень; г – наноуровень

Результаты проведенного исследования

Параметры шероховатости серьезным образом влияют на эксплуатационные свойства ДМ (таблица 4.1). Износостойкость, как характеристика определяющая уровень сопротивления поверхностному разрушению, напрямую зависит от геометрических параметров.

Таблица 4.1 – Влияние шероховатости на износостойкость

Износостойкость при различных режимах трения	Геометрические параметры шероховатости						Направление неровностей
	R_a	R_z	R_{max}	S_m	S	t_p	
сухое	(+)	(+)	(+)	(+)	–	+	+
жидкое	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+
граничное	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+
контактная жесткость	(+)	(+)	(+)	(+)	–	+	+

Примечание. + означает основное влияние на данное эксплуатационное свойство; (+) означает ограниченное влияние на эксплуатационное свойство; – означает отсутствия влияния.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Кугданову Январю Эрнстовичу

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</i>	<i>Оценка затрат на приобретение оборудования для изготовления детали «вал»</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормативы расхода материалов на технологический процесс</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Налоговый кодекс РФ ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016г. № 55-ФЗ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка эффективности НТИ «Качество контактирующих поверхностей деталей машин и природа внешнего трения»</i>	<i>Обоснование перспективности разработки в целях повышения технико-экономических показателей</i>
2. <i>Произвести расчет затрат научно-исследовательского проекта</i>	<i>1. Определение основных статей расходов на реализацию проекта. 2. Составление сметы затрат. 3. Формирование бюджета для проведения научно-исследовательского проекта.</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Оценка эффективности научного исследования.</i>

Перечень графического материала

1. Расчетные формулы.
2. Таблицы:
 - технологический маршрут обработки;
 - затраты на оборудование для производства вала;
 - амортизационные отчисления;
 - надбавки и доплаты к заработной плате работника;
 - расчет заработной платы работников;
 - расчет страховых взносов;
 - общие затраты.
3. Рисунок – Распределение затрат на изготовление детали «вал».

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шарф И.В.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Кугданов Январь Эрнстович		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Деталь «вал» относится к классу валов и предназначена для передачи крутящего момента.

Заготовка детали может быть получена как из проката, так и штамповкой.

Деталь представляет собой вал, у которого диаметры увеличиваются от одного торца к другому. На валу расположены три шпоночных паза для установки призматических шпонок. На поверхности нарезана резьба, в правом торце вала имеется центровое отверстие.

Предположим, что годовая программа изготовления вала 50000 шт. Вал изготавливается из конструкционной легированной стали 12ХНЗ ГОСТ 1050 – 74. Деталь подвергается закалке с последующим высоким отпускком.

Технологический процесс изготовления вала представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технологический маршрут обработки

№ операции	Наименование операции	Оборудование	Тшт, мин
05	Фрезерно-центровальная	Фрезерно-центровальный станок МР-71М	1,5
10	Токарная	Станок токарно-винторезный 16К20	11,6
15	Торцекруглошлифовальная	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	3,8
20	Шпоночно-фрезерная	Станок вертикальный консольный шпоночно-фрезерный 6Д91	4,0
25	Центрошлифовальная	Центровой круглошлифовальный станок 3У132	1,0
30	Сборочная	Гидравлический пресс П6320	2,0
35	Торцекруглошлифовальная	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	3,8

5.1 Расчет стоимости оборудования

Расчет стоимости необходимого оборудования для изготовления вала асинхронного двигателя представлен в таблице 5.2.

Расчет потребного количества оборудования:

Расчет действительного фонда времени работы оборудования:

$$F_d = (D_k - D_v - D_p) \times F_{см} \times K_{см} \times K_p, \quad (5.1)$$

где D_k – количество календарных дней в году;

D_v – количество выходных дней в году;

D_p – количество праздничных дней в году;

$F_{см}$ – сменный фонд времени работы оборудования;

$K_{см}$ – количество смен;

K_p – коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт.

$$F_d = (366 - 104 - 11) \times 8 \times 3 \times 0,95 = 5722,8 \text{ часов}$$

Расчет количества оборудования, а конкретно по операциям:

$$C_p = (V_{год} \times T_{шт}) / (F_d \times K_{вн}), \quad (5.2)$$

где $V_{год}$ – годовая программа выпуска;

$T_{шт}$ – штучное время;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения норм.

$$C_{п05} = (50000 \times 1,5) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,2$$

Принимаем $C_{п05} = 1$ станок

$$C_{п10} = (50000 \times 11,6) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 1,5$$

Принимаем $C_{п10} = 2$ станка

$$C_{п15} = (50000 \times 3,8) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,5$$

Принимаем $C_{п15} = 1$ станок

$$C_{п20} = (50000 \times 4) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,52$$

Принимаем $C_{п20} = 1$ станок

$$C_{п25} = (50000 \times 1) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,13$$

Принимаем $C_{п25} = 1$ станок

$$C_{п30} = (50000 \times 2) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,26$$

Принимаем $C_{п30} = 1$ станок

$$C_{п35} = (50000 \times 3,8) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,5$$

Принимаем $C_{п35} = 1$ станок

Таблица 5.2 – Затраты на оборудование для производства вала

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.
1	Фрезерно-центровальный станок МР-71М	шт	1	200000
2	Станок токарно-винторезный 16К20	шт	2	400000
3	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	шт	2	500000
4	Станок вертикальный консольный шпоночно-фрезерный 6Д91	шт	1	300000
5	Центровой круглошлифовальный станок 3У132	шт	1	250000
6	Гидравлический пресс П6320	шт	1	350000
Итого				2000000

5.2 Расчет амортизационных отчислений оборудования

Затраты определяются исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Нормы амортизации выбираем согласно постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 07.07.2016) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы".

Выбираем значения норм в процентах в зависимости от мощности и типа станка. Расчет амортизационных отчислений можно свести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Амортизационные отчисления

№	Наименование	Норма амортизации, %	Ежегодная сумма амортизационных отчислений, руб.	Амортизационные отчисления за 5722,8 часов работы
1	Фрезерно-центровальный станок МР-71М	6,7	13400	8933

2	Станок токарно-винторезный 16К20	6,7	26800	17866
3	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	12,5	62500	41666
4	Станок вертикальный консольный шпоночно-фрезерный 6Д91	12,5	37500	25000
5	Центровой круглошлифовальный станок 3У132	6,7	31250	20833
6	Гидравлический пресс П6320	7,7	26950	17966
Итого				132264

5.3 Затраты на основные материалы; руб:

$$M = C \times M_z, \quad (5.3)$$

где C – цена материала, руб/кг;

M_z – масса заготовки, кг.

$$M = 20 \times 9,2 = 184 \text{ руб}$$

$$184 \times 50000 = 9200000 \text{ руб}$$

5.4 Расчет заработной платы

К расходам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;
- премии за производственные результаты, надбавки к тарифным ставкам и окладам за профессиональное мастерство и др;
- начисления стимулирующего или компенсирующего характера – надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др;

– надбавки по районным коэффициентам и за работу в районах Крайнего Севера, районный коэффициент составляет 1,7%, а северная надбавка 80%.

– суммы платежей (взносов) работодателей по договорам обязательного и добровольного страхования.

Расчет суммы, начисленной по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда.

Таблица 5.4 – Надбавки и доплаты к заработной плате работника

Районный коэффициент	1,7
Северная надбавка	0,8
Доплата за вредность	1,04

Таким образом, с учетом показателей в (табл. 6.4), а также количества используемой техники рассчитывается количество работников, необходимых для изготовления вала, и затраты на их заработную плату. Результаты приведены в (табл. 5.5).

Расчет действительного фонда времени работы рабочего:

$$F_{др} = (D_k - D_v - D_p - O - H) \times F_{см}, \quad (5.4)$$

где O – количество дней отпуска; H – количество дней невыходов на работу по уважительным причинам; F_{см} – продолжительность смены.

$$F_{др} = (366 - 104 - 11 - 30 - 5) \times 8 = 1728 \text{ часов}$$

Таблица 5.5 – Расчет заработной платы работников за время работы

	Фрезеровщик 4 разряда	Токарь 5 разряда	Шлифовальщик 5 разряда	Прессовщик 3 разряда
Часовая тарифная ставка	39,4	42,5	43,4	38,7
Районный коэффициент, руб.	66,98	72,25	73,78	65,79
Северная надбавка, руб.	31,52	34	34,72	30,96
Доплата за вредность, руб.	40,976	44,2	45,136	40,248

Итого, руб./час	178,876	192,95	197,036	175,698
Количество рабочих	3	6	5	1
Время работы	1728	1728	1728	1728
Итого, руб.	927293	2000505	1702391	303606
Общая сумма ЗП, руб.	4933795			

5.5 Расчет страховых взносов во внебюджетные фонды

Затраты на страховые взносы в Пенсионный фонд, Фонд социального страхования, Фонд обязательного медицинского страхования представлены в таблице 4.6. Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем согласно [Y] класс XII с тарифом 1,3 для производства прочих готовых металлических изделий (код по ОКВЭД - 28.75).

Таблица 5.6 – Расчет страховых взносов

Показатель	Основная заработная плата
ЗП, руб.	4933795
ФСС (2,9%)	143080
ФОМС (5,1%)	251623
ПФР (22%)	1085434
Страхование от несчастных случаев (тариф 1,3%)	64139
Всего, руб.	1544276

Затраты на страховые взносы при изготовлении детали «вал» составят 1544276 руб.

Все рассчитанные показатели можно свести в общую таблицу расходов 5.7.

Таблица 5.7 – Общие затраты

Состав затрат	Сумма затрат, руб.
1. Материальные затраты	11200000
2. Затраты на оплату труда	4933795
3. Страховые взносы во внебюджетные фонды	1544276
4. Амортизационные отчисления	132264
Итого основные расходы	17810335
Накладные расходы (16% от основных)	2849653,6
Всего затраты на мероприятие	20659988,6

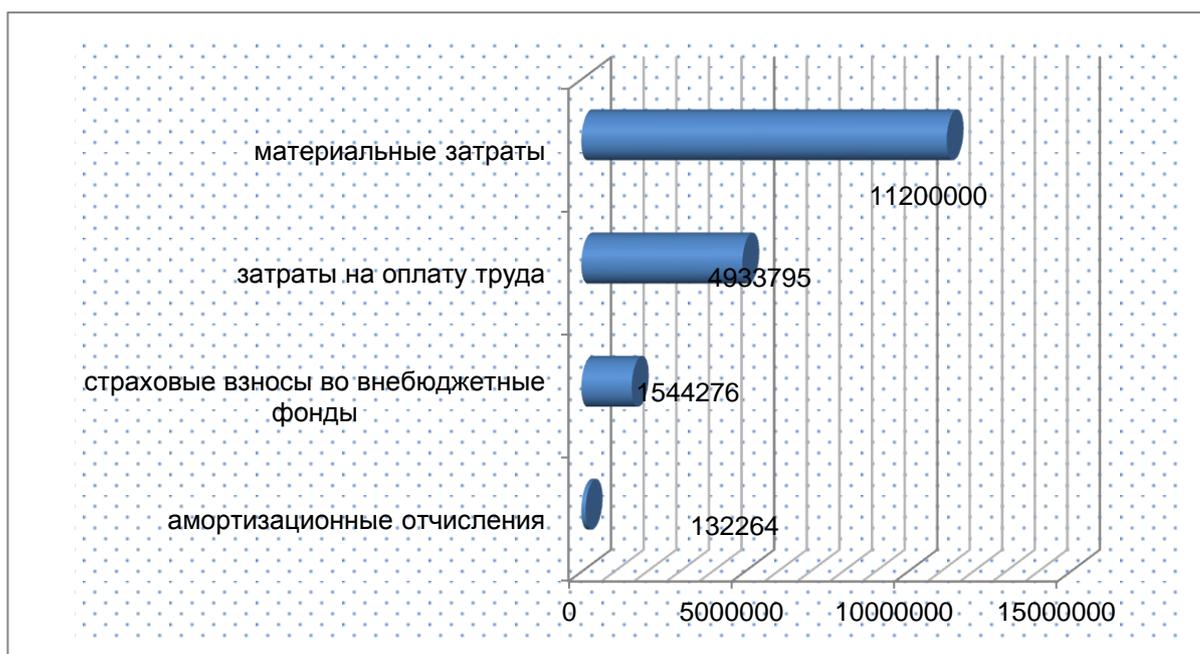


Рисунок 5.1 – Распределение затрат на изготовление детали «вал»

По проведенным расчетам можно сделать вывод, что для изготовления 50000 деталей «вал» из марки стали 12ХН3А требуются затраты в объеме 20659988,6 рублей.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Кугданову Январю Эрнстовичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – вал в сборе. Рабочая зона – площадка, на которой установлен центробежный насос с приводом
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 	<p>Рассматриваются такие вредные факторы как:</p> <p>1. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу. Вредные факторы: попутный нефтяной газ оказывает физиологическое воздействие, напоминающее опьянение. Предлагаемые средства защиты: спецодежда, обувь с резиновой подошвой, перчатки, противогазы, респираторы, головной убор в виде касок.</p> <p>2. Недостаточное освещение. Вредные факторы: низкая работоспособность, высокая утомляемость, потеря зрения. Средства нормализации освещения: взрывозащищенные светильники, аварийное освещение во взрывоопасных зонах.</p> <p>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте. Вредные факторы: шум влияет на протекание нервных процессов, способствует развитию утомления, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению шумовой патологии. Предлагаемые средства защиты: оградительные устройства, звукоизолирующие, глушители шума.</p>
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>В этом пункте рассматриваются опасные факторы:</p> <p>1. Движущие машины и механизмы производственного оборудования. Источники: ротор центробежного насоса. Предлагаемые средства защиты: устанавливаются защитные устройства (местные ограждения, крышки, кожухи и др.), предупреждающий знак опасности.</p> <p>2. Опасность поражения током. Источники: электрооборудование, применяемое при эксплуатации центробежного агрегата. Предлагаемые средства защиты: исправная и надежная изоляция токоведущих частей; ограждение токоведущих частей; блокировка при приближении к токоведущим частям; предупредительная сигнализация; электрозащитные (диэлектрические) средства; предупреждающие и запрещающие плакаты.</p> <p>3. Пожаровзрывоопасность. Источники: высокое давление нефти, нефтепродуктов и газа в трубопроводах и аппаратах; наличие нефтяных паров и газов в воздушной среде. Первичные средства</p>

	пожаротушения: система пенного пожаротушения, ручные и переносные огнетушители.
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Оценка воздействия месторождения на состояние земельных ресурсов, атмосферный воздух, состояние поверхностных вод.</p> <p>Характеристика месторождения как источника образования отходов производства и потребления.</p> <p>Комплекс мер по охране окружающей среды.</p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Возможные ЧС: разрыв трубопровода, заклинивание ротора насоса, разрушение герметизирующего экрана и т.д.</p> <p>При возникновении аварийных ЧС необходимо: произвести отключение насосного агрегата, сбросить давление в рабочем контуре, опорожнить насосный агрегат, принять меры по ликвидации последствий аварии.</p>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Меры безопасности при эксплуатации центробежного агрегата.</p> <p>Правовое регулирование трудовых отношений.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Кугданов Январь Эрнстович		

6. Социальная ответственность

Введение

Реальные поверхности деталей машин в процессе механической обработки претерпевают изменения, как геометрических форм, так и топографических характеристик поверхностного рельефа. Кроме этого контактные поверхности далее меняются при эксплуатации деталей машин в результате взаимодействия с другими деталями в составе сборочных единиц, например, при работе вала в сборе и при воздействии на них внешней рабочей среды. В результате реальные поверхности ДМ становятся в процессе эксплуатации отличающимися от номинальных (тех «идеальных», которые заданы рабочим чертежом). Мера отличия связана в основном с теми погрешностями, которые появляются при обработке ДМ механическим способом.

В магистерской диссертации между отклонениями различного порядка малости найдены количественные соотношения корреляционного плана. Это позволяет в случаях отсутствия современных средств измерения и контроля (например, в условиях небольших ремонтных предприятий) определять с приемлемой в инженерной практике точностью основные топографические характеристики рельефа механически обработанных металлических поверхностей ДМ, в соответствии с требуемыми от них эксплуатационными свойствами.

Рассматриваемая рабочая зона – это площадка, на которой установлен насосный агрегат герметичный с центробежным рабочим колесом, который предназначен для перекачивания в стационарных условиях нейтральных легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Центробежный насос представляет собой улиткообразный корпус, в котором вращается рабочее колесо с числом оборотов 500 – 3000 оборотов в минуту.

6.1 Техногенная безопасность

При работе установки в соответствии с нормативными документами можно выделить две группы вредных воздействий:

- физические;
- химические.

Основные опасные и вредные факторы при работе центробежного агрегата приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при эксплуатации центробежного насоса

Виды работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Запуск и остановка центробежного насоса; Вибродиагностика; Технический осмотр и обслуживание; Ремонт.	1. Утечки токсичных веществ; 2. Недостаточное освещение; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте.	1. Вращающиеся с большой скоростью механизмы; 2. Опасность поражения электрическим током; 3. Пожаровзрывоопасность.	ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ ГОСТ 12.1.03-82 ГОСТ 12.1.004-91 ГОСТ 12.0.010-76 ПБ 09-540-03 ПБ 03-585-03 ППБ 01-03

6.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

Токсические свойства вещества

Рабочую среду центробежного насоса составляет нефть, нефтяной газ и пластовая вода.

Таблица 6.2 – Показатели токсичности сырья

№	Наименование сырья, готовой продукции	Агрегатное состояние	Класс опасности (ГОСТ 12.1.007.76)	Температура, °С			Концентрационный предел, %		Характеристика токсичности	Предельно допустимая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны мг/м ³
				Вспышки	Воспламенения	Самовоспламенения	Нижний предел	Верхний предел		
1	Попутный нефтяной газ	Газ	IV		537	415...530	5	15	В больших количествах наркотическое действие	300
2	Нефть	Жидкое	IV	-29			1,0	5,0	Слабый наркотик вызывает дерматит, экзему	10
3	Реагент деэмульгатор СНПХ-4114	Жидкое	III	+25					Умеренно опасное вещество. Раздражающе действует на глаза, дыхательную систему и кожу. Опасно при попадании внутрь.	Пары ксилола-50,0

При несоблюдении определенных профилактических мероприятий углеводородные соединения могут оказывать вредное воздействие на здоровье человека. Нефть представляет собой сложную смесь органических соединений и имеет способность отравлять организм в основном тогда, когда углеводороды находятся в процессе перехода в газообразное состояние.

Пары нефти проникают через дыхательные пути и кожу, вытесняя кислород и действуя главным образом на центральную нервную систему.

Предельно допустимая концентрация паров нефти в воздухе составляет 300 мг/м³. Нефть относится к четвертому классу опасности. [ГОСТ 12.1.005-01].

Средства индивидуальной защиты и защиты органов дыхания: спецодежда, обувь с резиновой подошвой, перчатки, противогазы, респираторы, головной убор в виде касок.

Средства коллективной защиты: приточно-вытяжная вентиляция.

6.1.2 Недостаточное освещение

Правильное освещение рабочей зоны является одним из основных факторов хорошей работоспособности и низкой утомляемости рабочего персонала.

Слишком сильное освещение, как и недостаточное, может привести к ухудшению или потери зрения. Нормы освещенности определены назначением оборудования и характера выполняемых работ.

Таблица 6.3 – Нормы освещенности объектов нефтяной промышленности

Наименование объекта	Освещенность (лк)
Насосная станция	50

Необходимо добавить, что в соответствии с санитарными нормами и правилами помещения должны иметь естественное освещение. Естественное освещение оказывает благоприятное психологическое воздействие, положительно влияет на зрение и организм человека в целом.

Средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест: Взрывозащищенные светильники. Аварийное освещение во взрывоопасных зонах (освещение безопасности), в остальных помещениях – для эвакуации персонала.

6.1.3 Шумы

При работе центробежного насоса наиболее распространенным неблагоприятным фактором является шум. Интенсивный шум влияет не только на слуховую деятельность человека, но и на центральную нервную, сердечно-сосудистую систему. При длительной работе в условиях интенсивного шума происходит снижение производительности труда и приводит к увеличению вероятности получения производственных травм. Главным источником шума являются вращающиеся с большой скоростью механизмы установки центробежного насоса.

Таблица 6.4 – Нормируемые параметры шума на рабочих местах [ГОСТ 12.01.003.83]

Шумы, дБ	Частота, Гц	Рабочее место
80	1-63	Насосная станция

Средства коллективной защиты от повышенного шума: Устройства оградительные, звукоизолирующие, звукопоглощающие, глушители шума.

6.2. Анализ факторов рабочей зоны на предмет их опасных проявлений

6.2.1 Вращающиеся механизмы производственного оборудования

Ротор центробежного насоса способен развивать скорость до 3000 об/мин. Следовательно, плохо закрепленные или незащищенные узлы, механизмы оборудования могут привести к серьезным последствиям на здоровье человека. Вращающиеся части могут привести к травмам, потере трудоспособности или повлечь к смертельному исходу.

Важным условием безопасного труда при нормальной работе центробежного насоса является ограждение рабочего от подвижных частей оборудования.

Для этого необходимо:

- установить защитные устройства (местные ограждения, крышки, кожухи и т.д.);
- нанести предупреждающий знак опасности на наружной стороне ограждения;
- использовать автоматические устройства для установки и снятия деталей, в целях исключения соприкосновения рук с вращающимися механизмами;
- отключать установка при проведение каких либо работ.

6.2.2 Опасность поражения электрическим током

Основным источником электроопасности является электрооборудование, применяемое при эксплуатации насосного агрегата.

Поражение человека электрическим током может быть:

- при прикосновении к оборудованию без заземления;
- при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением или с остатком статического заряда.

Электродвигатель, оболочка и броня кабеля должны быть надежно заземлены в соответствии с требованиями ПУЭ. Выполнение заземления насоса для отвода зарядов статического электричества должно соответствовать требованиям «Правил защиты от статического электричества в производствах

нефтеперерабатывающей промышленности». При необходимости ремонтных работ электрооборудование должно быть отключено от питающей сети, при этом должны быть приняты меры, исключающие возможность его включения, в том числе и случайного, до окончания всех работ.

6.2.3 Пожаровзрывоопасность

Основными факторами пожаровзрывоопасности являются:

- наличие токсичных пожаро- и взрывоопасных продуктов;
- высокое давление в трубопроводе и насосе;
- наличие электрического тока и вращающихся частей механизма;
- проведение сварочных и огневых работ.

Во избежание возникновения на установке утечек токсичных и взрывоопасных веществ оборудование выполнено герметичным, исключая попадание вредных и опасных продуктов в атмосферу производственного помещения. Для насосного агрегата при проектировании необходимо предусмотреть систему пенного пожаротушения. Система состоит из пенного коллектора, резервуара с водой. Обязательно наличие огнетушителей на площадке насосной станции.

При возникновении пожара необходимо незамедлительно:

- произвести отключение насосного агрегата от источников электрической энергии;
- произвести сброс давления в рабочем контуре;
- вызвать подразделения пожарной охраны;
- предпринять меры по локализации возгорания и тушению пожара силами обслуживающего персонала.

6.3. Экологическая безопасность

6.3.1 Защита атмосферы

Центробежный насос перекачивает токсичные легковоспламеняющиеся вещества, которые могут содержать:

- продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;
- компоненты неполного сгорания топлива;
- окислы азота.

Выхлопные газы загрязняют атмосферу. Содержащиеся частицы в газе, попадая через органы дыхания, могут наносить непоправимый ущерб здоровью человека. Необходимо проводить осмотр насосного агрегата, а также трубопроводов на наличие целостности оборудования. С целью уменьшения влияния на организм человека и загрязнения окружающей среды предусмотреть комплекс мероприятий:

- установка сигнализаторов, газоанализаторов;
- система вытяжной вентиляции.

6.3.2 Защита гидросферы

Главным фактором воздействия на гидросферу может являться разлив масла, в случае несоблюдения основных правил по замене масла в центробежном агрегате.

6.3.3 Защита литосферы

При эксплуатации установки центробежного насоса необходимо постоянное техническое обслуживание. Замена изношенных, отработанных, деталей и узлов приводит к образованию твердых отходов производства. Для утилизации технического мусора должны применяться полигоны твердых бытовых отходов. [СанПиН 2.1.7.722-98]

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При аварийных условиях эксплуатации (разрыв трубопровода, заклинивание ротора насоса, разрушение герметизирующего экрана, появление сильных течей по разъемам и т.п.) необходимо:

- произвести отключение насосного агрегата от источников электрической цепи;
- произвести сброс давления в рабочем контуре;
- произвести опорожнение насосного агрегата;
- принять меры по ликвидации последствий аварии.

6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.5.1 Специальные правовые нормы

К безопасной эксплуатации регламентируются правила ПБ 12-368-00 «Правила безопасности в газовом хозяйстве», которые разработаны в соответствии с «Положением о Федеральном горном и промышленном надзоре России» и учитываются требования Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 N 116-ФЗ, а также других действующих нормативных документов.

К работе допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, прошедшие медицинское освидетельствование и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, прошедшие обучение в области промышленной безопасности, вводный инструктаж, первичный инструктаж, инструктаж по электробезопасности, имеющие удостоверения об аттестации и допуск к выполнению самостоятельной работы по рабочей специальности. Проходить повторный инструктаж по безопасному ведению работ. График и режим работы рабочего определяется Правилами внутреннего трудового распорядка. Со стороны предприятия необходимо проконтролировать выдачу рабочему спецодежды и средств индивидуальной защиты.

Ведомственный контроль осуществляет отдел охраны труда. Государственный надзор осуществляется федеральной инспекцией труда.

6.5.2 Организационные мероприятия

При техническом обслуживании насосного агрегата необходимо:

- оформление наряда-допуска;
- оформление перерывов в работе;
- постоянно контролировать состояние работы агрегата;
- технический осмотр установки по графику;
- вентиляционное оборудование должно быть в рабочем состоянии и исправно;
- надежная связь и аварийная сигнализация;
- освещенность согласно нормативным документам по безопасности;

– все оборудования заземлено;

Запрещается:

– использовать в работе не искробезопасный инструмент;

– к обслуживанию лица, не ознакомленные с конструкцией, принципом действия и работы оборудования в целом, не имеющие допуск, не прошедшие инструктаж;

– использовать в работе неисправное оборудование.

Для обеспечения монтажа, капитального ремонта, технического перевооружения центробежного агрегата заказчик передает подрядчику для производства работ утвержденную проектную документацию, паспорт на оборудование. Производит технический надзор за проведением монтажных, ремонтных работ. По окончании работ производится ввод установки в эксплуатацию. Для пуско-наладочных работ центробежного агрегата должен быть разработан технологический регламент с указанием мер безопасности.

Заключение

Итак, из всего изложенного следует главный вывод, что процесс механической обработки деталей из металлов и сплавов приводит к появлению существенных различий между свойствами поверхностных и срединных слоёв. Помимо отмеченного, важно заключение и о том, что между отклонениями различного порядка малости экспериментально найдены количественные *соотношения корреляционного плана*. Это позволяет в случаях отсутствия современных средств измерения и контроля (например, в условиях небольших ремонтных предприятий) определять с приемлемой в инженерной практике точностью основные топографические характеристики рельефа механически обработанных металлических поверхностей ДМ в соответствии с требуемыми от них эксплуатационными свойствами.

Список публикаций студента

В издательстве НИ ТПУ находится подготовленные к печати в соавторстве с руководителем методические указания «Валы в сборе. Топографические характеристики рельефа контактных поверхностей деталей машин» в объеме 1,57 усл. печ. л., содержание которых будет использовано в курсе «Трибология и трибодиагностика».

Список использованных источников

1. Анухин В.И. Допуски и посадки: Учеб. пособие. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 219 с.
2. Безъязычный В.Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя: Учеб. пособие. Ярославль: 1978. 86 с.
3. Безъязычный В.Ф. Расчет режимов обработки, обеспечивающих комплекс параметров поверхностного слоя и точность обработки // Справочник. Инженерный журнал. №9(18). 1998. – 20 с.
4. Дёмкин Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей. М.: Машиностроение, 1970. – 227 с.
5. Дёмкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
6. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И.Х. Чеповецкий. Киев: Наук, думка, 1979. – 244 с.
7. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев: 1970. – 396 с.
8. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
9. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. – 540 с.
10. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. – 248 с.
11. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-3 "Надежность машин" / В.В. Клюев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин и др. / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1998. – 592 с.
12. Медведев А.И. Исследование процессов формирования качества поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес и закономерностей

технологической наследственности при их изготовлении / Автореферат дис. на соискание степени канд. техн. наук. Минск: БГПА, 1993.

13. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. М.: Наука, 1977, –220 с.

14. Мухин В.С. Технологические методы обеспечения качества поверхности деталей: Учебное пособие. Уфа: УАИ, 1984. –73 с.

15. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. М.: Машиностроение, 1986. –320 с.

16. Польцер Г., Мойсснер Ф. Основы трения и изнашивания / Пер. с нем. М.: Машиностроение, 1984. –289 с.

17. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. М.: Машгиз, 1958. Т. 3. –1118 с.

18. Проников Н.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 590 с.

19. Проскуряков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. М.: Машиностроение, 1971. –208 с.

20. Пузанков В.В. Исследование оптимальной чистоты поверхности трущихся пар // В кн.: Качество поверхности деталей машин. Сб. № 4. АН СССР, 1959. –40 с.

21. Расчет на прочность деталей машин / И.А. Бергер, Б.Ф. Шерр, Г.Б. Иосилевич. М.: Машиностроение, 1979. –702 с.

22. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. М.: Машиностроение, 1966. –193 с.

23. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. Кнев: Наукова думка, 1984. –272 с.

24. Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. Киев: Наукова думка, 1989. –222 с.

25. Рыжов Э.В., Андрейчиков О.С., Стешков А.Е. Раскатывание резьб. М.: Машиностроение, 1974. –122 с.

26. Рыжов Э.В., Колесников Ю.В., Суслов А.Г. Контактное взаимодействие твердых тел при статических и динамических нагрузках. Киев: Наукова думка, 1982. –170 с.
27. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. М.: Машиностроение, 1979. 176 с.
28. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П., Ольшевская Н.А. Многофакторный корреляционно-регрессионный анализ / Госфонд алгоритмов и программ, № 17002422 от 12.05.77.52.
29. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Улашкин А.П. Комплексный параметр для оценки свойств поверхностного трения деталей машин //Трение и износ. 1980. –439 с.
30. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение контактной жесткости соединений. М.: Наука, 1977. –100 с.
31. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М.: Машиностроение, 1987. –207 с.
32. Суслов А.Г., Горленко А.О., Симкин А.З. Повышение долговечности кулачковых пар трения // Трение и износ. Т. 18. № 3. 1997. –398 с.
33. Суслов А.Г., Горленко А.О., Сухарев С.О. Электромеханическая обработка деталей машин / Справочник. Инженерный журнал. № 1 (10), 1998. – 18 с.
34. Суслов А.Г., Улашкин А.П. Выбор упрочняюще-отделочных методов обработки для повышения износостойкости деталей машин / Справочник. Инженерный журнал. № 7 (16). 1998. –21 с.
35. Суслов А.Г., Улашкин А.П. Выбор упрочняюще-отделочных методов обработки для повышения износостойкости деталей машин / Справочник. Инженерный журнал. №8 (17). 1998. –23 с.

36. Суслов А.Г., Федонин О.Н. Зависимость коррозионной стойкости деталей машин от качества их поверхности / В сб. Поверхность. Технологические аспекты прочности деталей. Уфа: УГАТУ, 1996. –112 с.
37. Тененбаум М.М. Анализ изменений шероховатости обработанных поверхностей // Заводская лаборатория. 1950. –207.
38. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М. Дальского. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1977. – 564 с.
39. Тихомиров В.П. Контактное взаимодействие фрактальных поверхностей // Трение и износ. Т. 18, 1997. –374 с.
40. Томас Т.Р., Горленко О.А. Топографические параметры шероховатости поверхности // Трение и износ. Т. 11. № 3. 1990. –553 с.

Приложение (А)

Раздел Допуски расположения и формы. Волнистость

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Кугданов Январь Эрнстович		

Консультант кафедры ТПМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Эрнст Леонидович	к.т.н., доц		

Консультант – лингвист кафедры Иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преп. каф. ИЯ	Баранова Анастасия Викторовна			

Form and position tolerance. Undulation

The mechanical operation implies some accuracy limits in geometric parameters, which are specified in the detailed drawing of an item (figure 3). Besides the manufacturing accuracy, tolerance comprises measurement accuracy as well. Deviations are fixed by the method of the adjacent line (figure 4). Ways and schemes of measurements of deviations are presented in table 1. Types and groups of tolerances are presented in table 2.

It is important to note that there are quantitative ratios between dimensional and form tolerances (table 3). There are three groups of geometrical accuracy:

«A» normal accuracy – the form tolerance makes 60% of the permissible deviation for a particular dimension;

«B» increased – 40%;

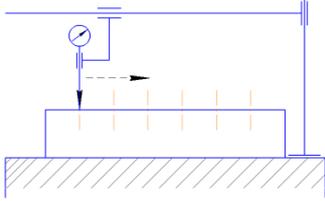
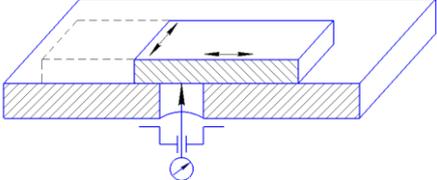
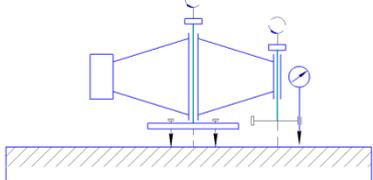
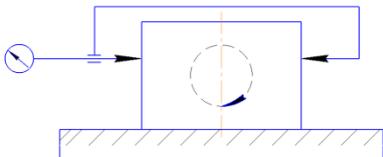
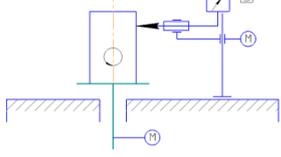
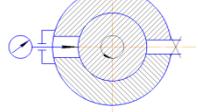
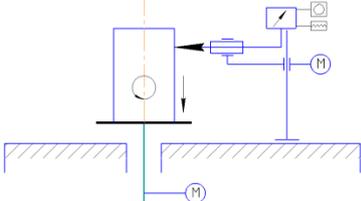
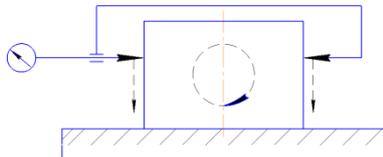
«C» high – 25%.

However, it should be noted that relative geometrical accuracy (A, B, C) for tolerances «Cylindricity» and «Roundness» have the following values correspondingly: 30, 20 and 12%.

Similar approach is used also when determining deviations for position tolerances. Diagrams and types of tolerances on mesodeviations are presented in table 4.

Undulation is periodical asperities that have a longer distance between tips and valleys than the length l . It occupies an intermediate position between the deviations of the form and the roughness. Generally, undulation should be limited. It is recommended to standardize it according to three parameters: waviness height W_z , maximum height - W_{max} and average pitch of waviness Sw .

Table 1 – Methods and measuring diagrams of deviations and their fixing

No	Methods	Diagrams
I 1.1	Methods to measure straightness deviations: The device with precision rectilinear movement «pryamomer» with a detecting head	
II 2.1	Methods to measure flatness deviations: Surface plate with port and a detecting head	
2.2	Turning flatness gage	
III 3.1	Methods to measure circular deviations: Two - point measuring stationary or laid on diameter gage	
3.2	The device with precision rotation (bore gage)	
3.3	Standard of roundness and detecting head	
IV 4.1	Methods to measure cylindrical deviations: The device with precision rotation and rectilinear movement	
4.2	Two - point measuring stationary or laid on diameter gage	

Continuation of table 1

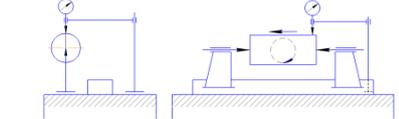
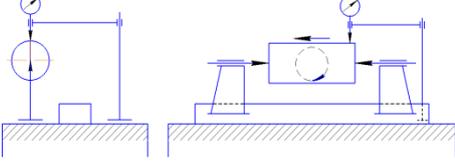
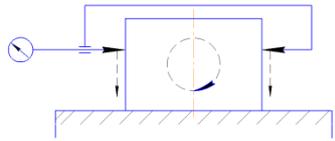
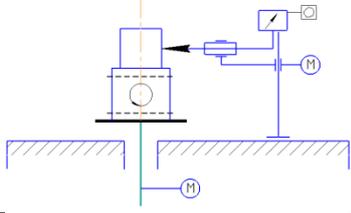
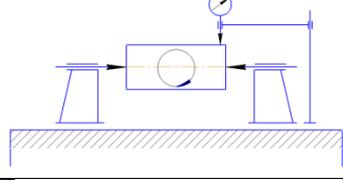
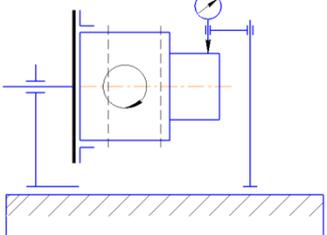
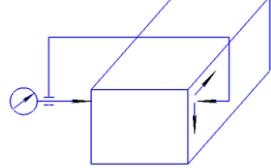
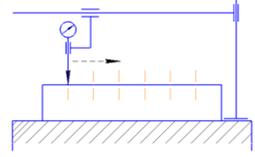
4.3	Measurement with locating of the measured detail in the centers: detecting head and surface plate	
V 5.1	Methods to measure deviations from true longitudinal section profile: Measurement with locating of the measured detail in the centers: detecting head and surface plate	
5.2	Two - point measuring device for measuring diameters (stationary or laid in)	
VI 6.1	Methods to measure radial runout: The device with precision rotation (bore gage)	
6.2	With setting the measured detail in the centers by detecting head	
6.3	With setting the measured detail in the chuck with precision rotation, a detecting head	
VII 7.1	Methods to measure parallel deviations: by distance difference with a two-point measuring device for measurement of diameters	
7.2	Devices with precision rectilinear shift: «pryamomer» with a measuring head for the horizontal plane and a testing plate	

Table 2 – Classification of mesodeviations

Type	Group	Definition
Straightness tolerance Flatness tolerance Roundness tolerance Cylindricity tolerance Tolerance for longitudinal section profile	Form tolerance	The maximum permissible straightness deviation The maximum permissible value of a flatness deviation. The maximum permissible value of a roundness deviation. The maximum permissible value of a cylindricity deviation. The maximum permissible value of deviation from true longitudinal section profile
Parallelity tolerance Perpendicularity tolerance Angularity tolerance Coaxiality tolerance Symmetry tolerance Positional tolerance Intersection tolerance	Position tolerance	The maximum permissible value of deviation of parallelism. The maximum permissible value of deviation of perpendicularity. The maximum permissible value of angularity deviation. The doubled permissible value of coaxiality deviation. The doubled permissible value of symmetry. The doubled permissible value of positional variation of an element. The doubled permissible value of nonintersection.
Runout tolerance Camming action tolerance Runout tolerance in the set direction	Total form and position tolerances	The maximum permissible value of radial runout. The maximum permissible value of camming action. The maximum permissible value of биения в заданном направлении.
Total radial runout tolerance Total camming action tolerance		The maximum permissible value of total radial runout. The maximum permissible value of total camming action.
Line profile tolerance Profile tolerance of a surface		The doubled permissible value of line profile deviation. The doubled permissible value of surface profile deviation.

Table 3 – The minimum requirements for surface roughness according to dimensional and form tolerances

The dimension tolerance on grade of accuracy	The form tolerance, % of dimension tolerance	The nominal dimensions, mm				The dimension tolerance on grade of accuracy	The form tolerance, % of dimension tolerance	The nominal dimensions, mm			
		To 18	Over 18 to 50	Over 50 to 120	Over 120 to 500			To 18	Over 18 to 50	Over 50 to 120	Over 120 to 500
		values Ra, mcm, no more									
IT3	100	0.2	0.4	0.4	0.8	IT9	100	3.2	3.2	6.3	6.3
	60	0.1	0.2	0.2	0.4		60	1.6	3.2	3.2	6.3
	40	0.05	0.1	0.1	0.2		40	0.8	1.6	1.6	3.2
IT4	100	0.4	0.8	0.8	1.6	IT10	100	3.2	6.3	6.3	6.3
	60	0.2	0.4	0.4	0.8		60	1.6	3.2	3.2	6.3
	40	0.1	0.2	0.2	0.4		40	0.8	1.6	1.6	3.2
IT5	100	0.4	0.8	1.6	1.6	IT11	100	6.3	6.3	12.5	12.5
	60	0.2	0.4	0.8	0.8		60	3.2	3.2	6.3	6.3
	40	0.1	0.2	0.4	0.4		40	1.6	1.6	3.2	3.2
IT6	100	0.8	1.6	1.6	3.2	IT12 и IT13	100	12.5	12.5	25	25
	60	0.4	0.8	0.8	1.6		60	6.3	6.3	12.5	12.5
	40	0.2	0.4	0.4	0.8		40	3.2	3.2	6.3	6.3
IT7	100	1.6	3.2	3.2	3.2	IT14 и IT15	100	12.5	25	50	50
	60	0.8	1.6	1.6	1.6		60	6.3	6.3	12.5	12.5
	40	0.4	0.8	0.8	0.8		40	3.2	3.2	6.3	6.3
IT8	100	1.6	3.2	3.2	3.2	IT16 и IT17	100	25	50	100	100
	60	0.8	1.6	1.6	1.6		60	12.5	12.5	25	25
	40	0.4	0.8	0.8	0.8		40	6.3	6.3	12.5	12.5

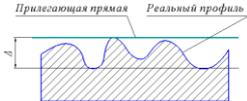
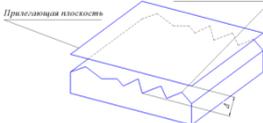
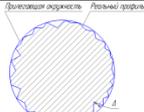
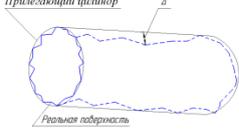
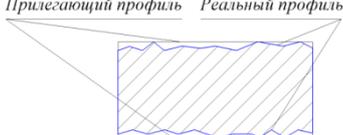
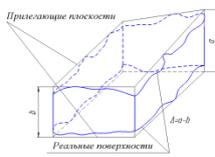
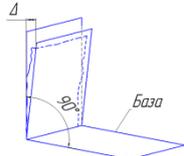
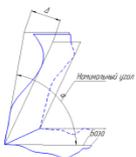
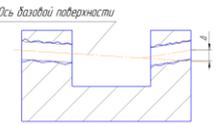
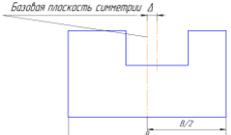
Note. If the relative form tolerance is less than values, specified in the table, then it is necessary to appoint values Ra no more than 0,15 Tf (Tf – the form tolerance).

Wz – an arithmetic average value from five heights measured on 5 identical sites of measurement:

$$W_z = \frac{1}{5}(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5) \quad (1)$$

Wmax – distance between the highest and lowest points of the measured profile within the site of measurement l_w defined on one full wave. These heights Wmax should be chosen from a sequence: 0.1; 0.2; 0.4; 0.8; 0.16; 3.2; 6.3; 12.5; 25; 50; 100 and 200 microns.

Table 4 – Graphics of deviations of mesolevel and designation of tolerances

Graphics	Name/Sign
 <p>Прилегающая прямая Реальный профиль Δ</p>	<p>Straightness tolerance</p> <p>—</p>
 <p>Прилегающая плоскость Реальная поверхность Δ</p>	<p>Flatness tolerance</p> <p>▭</p>
 <p>Прилегающая окружность Реальный профиль Δ</p>	<p>Roundness tolerance</p> <p>○</p>
 <p>Прилегающий цилиндр Реальная поверхность Δ</p>	<p>Cylindricity tolerance</p> <p>⊗</p>
 <p>Прилегающий профиль Реальный профиль Δ</p>	<p>Tolerance for longitudinal section profile</p> <p>=</p>
 <p>Прилегающие плоскости Реальные поверхности Δ</p>	<p>Parallelity tolerance</p> <p>∥</p>
 <p>Прилегающая плоскость Реальная поверхность Δ</p>	<p>Perpendicularity tolerance</p> <p>⊥</p>
 <p>Прилегающая линия Реальная поверхность Δ</p>	<p>Angularity tolerance</p> <p>∠</p>
 <p>Ось базовой поверхности Реальная поверхность Δ</p>	<p>Coaxiality tolerance</p> <p>⊙</p>
 <p>Базовая плоскость симметрии Реальная поверхность Δ</p>	<p>Symmetry tolerance</p> <p>≡</p>

Continuation of table 4

	<p>Positional tolerance</p> <p style="text-align: center;">⊕</p>
	<p>Intersection tolerance</p> <p style="text-align: center;">⊗</p>
	<p>Runout tolerance</p> <p style="text-align: center;">↗</p>
	<p>Camming action tolerance</p> <p style="text-align: center;">↗</p>
	<p>Runout tolerance in the set direction</p> <p style="text-align: center;">↗</p>
	<p>Total radial runout</p> <p style="text-align: center;">↗↘</p>
	<p>Total camming action tolerance</p> <p style="text-align: center;">↗↘</p>
	<p>Line profile tolerance</p> <p style="text-align: center;">⌒</p>
	<p>Line profile tolerance</p> <p style="text-align: center;">⌒</p>

The average pitch of waviness which is measured on the camber line is calculated as follows:

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{wi} \quad (2)$$

After mechanical operation: 1) by turning $W_i = (1 \div 0,7)$ mm, $S_{wi} = (1,4 - 9)$ mm; 2) by seating $W_i = (0,75 \div 2)$ mm, $S_{wi} = (0,8 - 4)$ mm; 3) by flat grinding $W_i = (1,1 \div 3,8)$ mm, $S_{wi} = (1,1 - 3,8)$ mm.

Roughnesses of a surface for which $1000 > S_w/W_z > 40$ relate to waviness; at $S_w/W_z > 1000$ – form deviation.