

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Факультет Материаловедения и металлургических технологий  
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН  
Рецензент

Ю.В. Брыкина

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.Г. Шеркунов

“ \_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 2017 г.

Тема работы: «Разработка универсальной разрывной машины и сопутствующей оснастки с целью обеспечения соответствия проводимых механических испытаний защитных полимерных покрытий труб требованиям стандартных методик»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-15..04.02-2017-00.00.00 ПЗ**

Руководитель работы:  
В.В. Широков, В.Г. Шеркунов  
\_\_\_\_\_ / /

Автор работы  
М.М. Мельников \_\_\_\_\_ /

студент группы П-245

## АННОТАЦИЯ

М.М. Мельников Разработка универсальной разрывной машины и сопутствующей оснастки с целью обеспечения соответствия проводимых механических испытаний защитных полимерных покрытий труб требованиям стандартных методик: Выпускная квалификационная работа. – Челябинск: ЮУрГУ, МиМТ, П-245, 2017. – 59 с., 22 ил., 9 табл., библиогр. список – 40 наим.

Выполнен анализ применяемой нормативной документации при проведении механических испытаний полимерных защитных покрытий труб. На основе анализа сформированы требования к разрабатываемой разрывной машине и сопутствующей оснастке.

С учетом требований разработана универсальная разрывная машина, с целью обеспечения соответствия проводимых механических испытаний защитных полимерных покрытий труб требованиям стандартных методик. Разработана оснастка к разрывной машине для определения адгезии покрытия к стали методом отслаивания полосы для полиэтиленового и полипропиленового покрытия; для определения адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва для лакокрасочных, полиуретановых и полимочевинных покрытий; для определения стойкости покрытия к растрескиванию при трехточечном изгибе.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ И СОПУТСТВУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ.....	9
2 ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ И ТИПОВ РАЗРЫВНЫХ МАШИН И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБ.....	14
3 ВЫБОР СХЕМЫ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ И РАЗРАБОТКА ЕЕ КОНСТРУКЦИИ	
3.1 Описание схемы разрабатываемой разрывной машины.....	29
3.2 Проектный расчет передачи винт-гайка .....	30
3.2.1 Выбор материалов и определение среднего диаметра и минимального шага резьбы.....	31
3.2.2 Расчет гайки.....	33
3.3 Кинематический и силовой расчет привода перемещения траверсы .....	35
4 ПРОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ	
4.1 Проверочные расчеты передачи винт-гайка скольжения.....	40
4.2 Расчет колонн.....	42
4.3 Расчет болтового соединения.....	44
4.4 Проверочный расчет пальца на срез.....	44
5 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ.....	46
6 РАЗРАБОТКА СОПУТСТВУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБ	
6.1 Разработка оснастки для определения адгезии покрытия к стали методом отслаивания покрытия под углом $90^\circ$ .....	48
6.2 Разработка оснастки для определения адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва (метод «грибка»).....	51
6.3 Разработка оснастки для определения стойкости покрытия к растрескиванию при трехточечном згибе.....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	56

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность работы.** Транспортировка газа, нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам является наиболее эффективным и безопасным способом их транспортировки на значительные расстояния. Для защиты трубопроводов от коррозии применяют следующие меры: наружные и внутренние защитные покрытия и средства электрохимической защиты, тем самым обеспечивая безаварийную (по причине коррозии) работу трубопроводов на весь период эксплуатации.

В настоящее время применяют следующие типы защитных покрытий заводского и трассового нанесения. Для защиты трубопроводов в трассовых условиях применяют следующие системы покрытий: битумно-мастичные, полимерные ленточные и комбинированные. При заводской изоляции труб применяют следующие системы наружных защитных покрытий: двухслойное и трехслойное полиэтиленовое, двухслойное и трехслойное полипропиленовое и однослойное эпоксидное.

Для оценки качества покрытий, а также определения их защитных и эксплуатационных характеристик на соответствие предъявляемым техническим требованиям (национальные стандарты, отраслевые нормы, технические условия) проводят приемо-сдаточные, аттестационные и периодические испытания защитных покрытий трубопроводов. По результатам испытаний уточняются возможные области применения и максимально допустимая температура эксплуатации каждого конкретного покрытия. Приемо-сдаточные испытания проводятся непосредственно на предприятии, где наносится защитное покрытие. Аттестационные и периодические испытания проводятся в испытательных лабораториях (центра) имеющих аттестат аккредитации.

Для того, чтобы защитное покрытие выполняло свои функции, оно должно удовлетворять ряду требований: диэлектрическая сплошность, адгезия покрытия к стали, стойкость к катодному отслаиванию, ударная прочность в диапазоне температур, стойкость к растрескиванию, к ультрафиолетовому и термическому

старению и др. Одним из основных видов проводимых испытаний, являются механические испытания защитных покрытий труб, проводимые на разрывной машине.

Анализ требований стандартных методик на проводимые механические испытания защитных покрытий труб выявил, не соответствие требованиям имеющейся оснастки и ограниченные возможности стандартной разрывной машины, предназначенной для испытаний металлов. Были выявлены следующие проблемы:

- малый ход траверсы стандартной разрывной машины, что ограничивает проведения испытания, как прочность при разрыве отслоенного покрытия при +60°C;

- оснастка для определения адгезии покрытия к стали методом отрыва полосы, не обеспечивает угол отслаивания полосы ( $90 \pm 10$ )°;

- оснастка для определения адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва (метод «грибка») имеет недостаточно надежное крепление образца, что сказывается на полученных результатах.

Учитывая все это, определилась **цель** работы – разработка универсальной разрывной машины и сопутствующей оснастки с целью обеспечения соответствия проводимых механических испытаний защитных полимерных покрытий труб требованиям стандартных методик.

Для достижения поставленной цели в работе решены **задачи**:

- 1) анализ требований к проектируемой разрывной машине и сопутствующей оснастке;

- 2) разработка разрывной машины, с увеличенным ходом подвижной траверсы.

- 3) разработана оснастка для проведения механических испытаний защитных покрытий труб, соответствующая требованиям стандартных методик.

**Научная новизна.** Работа состоит в следующем:

1) Разработана и предложена в качестве эскизного проекта конструкция разрывной машины, для проведения механических испытаний защитных покрытий труб, отличающееся от ранее созданных увеличенным ходом траверсы;

2) Разработана оснастка, для определения адгезии покрытия к стали методом отслаивания полосы по ГОСТ 411 (метод А). Предложенная оснастка обеспечивает требуемый угол отслаивания ( $90 \pm 10$ )° на образцах вырезанных из труб диаметром 530...1420 мм.;

3) Разработана оснастка, для определения адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва (метод «грибка») по ГОСТ 32299–2013 (ISO 4624:2016);

4) Разработана оснастка, для определения стойкости покрытия к трехточечному изгибу. С целью расширения области аккредитации лаборатории на проводимые испытания.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка из 40 наименований. Объем работы составляет 59 страниц текста, 9 таблиц, 22 иллюстрации.

**В первой главе** проводится анализ нормативной документации, по которой проводятся механические испытания защитных покрытий труб на разрывной машине, а также недостатки имеющейся разрывной машины MTS Insight 100 kN. Анализ позволил сформировать требования к разрабатываемой разрывной машине и сопутствующей оснастке.

**Во второй главе** выполнен обзор типов и конструкций разрывных машин, а также устройств для определения адгезии покрытия к стали.

**В третьей и четвертой главе** приведены проектные и проверочные расчеты элементов конструкции разрабатываемой разрывной машины.

**В пятой главе** приводится описание конструкции, разработанной разрывной машины для проведения механических испытаний защитных покрытий труб.

**В шестой главе** проводится разработка оснастки для проведения механических испытаний, с учетом требований нормативной документации.

**В заключении** приведены основные результаты работы и выводы по работе.

# 1 ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ И СОПУТСТВУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ

Под механическими свойствами материалов понимают их способность сопротивляться деформации и разрушению под воздействием различного рода внешних нагрузок. К механическим свойствам относят твёрдость материалов, их прочность, пластичность, вязкость и т. д. Для оценки механических свойств материалов проводят специальные механические испытания, в которых на испытуемый образец подают различные нагрузки и изучают его деформацию иногда вплоть до разрушения. В зависимости от характера нагрузок, подаваемых на испытуемый материал, механические испытания подразделяют на статические, динамические и циклические [1].

В статических испытаниях нагрузки на образец подаются относительно плавно и сравнительно долго выдерживаются. К статическим испытаниям относят, в частности, испытания материалов на одноосное растяжение, а также испытания, связанные с определением твёрдости материала [1].

Для оценки наружных защитных полимерных покрытий труб диаметром 114-1420 мм на соответствие стандартам проводят следующие статические механические испытания [2]:

- прочность при разрыве отслоенного покрытия при температуре +20°C, +60°C;
- относительное удлинение при разрыве отслоенного покрытия при температуре +20°C, +60°C и -45°C;
- снижение относительного удлинения при разрыве после выдержки на воздухе при температуре +110°C в течении 1000 ч. и 100 сут;
- адгезия покрытия к стали при температурах испытания +20°C, +40°C, +50°C, +60°C, +80°C и +110°C;
- адгезия покрытия к стали после выдержки в воде в течении 1000 ч. при температурах +20°C, +40°C, +60°C, +80°C.



Прочность при разрыве и относительное удлинение при растяжении отслоенного полиэтиленового или полипропиленового покрытия определяют в соответствии ГОСТ 11262 [3]. Испытания проводят на разрывной машине с погрешностью измерений не более 2%. Для проведения испытаний используют образцы в виде "лопаток" - тип 1 по ГОСТ 11262 длиной рабочей части 33 мм и шириной 6 мм.

Адгезию полиэтиленового или полипропиленового покрытия к стали при температуре +20°C определяют по ГОСТ 411 (метод А, угол отслаивания 90°) [4]. Адгезию полиэтиленового или полипропиленового покрытия к стали при температуре +60°C, +80°C и +110°C определяют по ГОСТ 31448-2012 (приложения А) [2]. Образцами для испытаний являются образцы, вырезанные из труб с покрытием. Рекомендуемые размеры образцов для испытаний (150...180)х(80...100) мм [2].

Для испытаний используют следующие приспособления, материалы, инструменты и оборудование [2]:

- разрывную машину обеспечивающую скорость перемещения захвата ( $10 \pm 1$ ) мм/мин;
- приспособление (рисунок 1.1), обеспечивающую заданные условия испытаний;
- режущий инструмент;
- термокамеру, обеспечивающую автоматическое поддержание необходимой температуры.

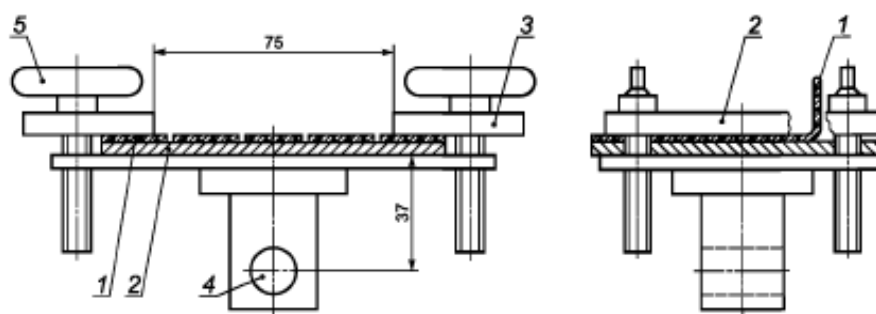


Рисунок 1.1 – Приспособление для крепления образца:

1 – защитное покрытие; 2 – металлическая подложка (образец из трубы); 3 – струбцина; 4 – отверстие для крепления струбцины к захвату разрывной машины; 5 – крепежный винт

Кроме указанных выше стандартных методик на проведение механических испытаний наружных защитных полимерных покрытий труб используются следующие стандарты:

1. ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2016) «Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва» [5].

2. CSA/Z245.20 «Заводское наружное покрытие для стальных труб» [6].

3. ГОСТ 9.602 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие технические требования к защите от коррозии» [7].

4. DIN 30670 «Полиэтиленовое покрытие для стальных труб и фитингов – технические требования и испытания» [8].

На основе анализа нормативной документации (НД) на испытания наружных защитных полимерных покрытий труб составлена сводная таблица для сравнения требований к разрывной машине (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Требования нормативной документации к разрывной машине

Нормативная документация	Скорость траверсы разрывной машины, мм/мин	Погрешность измерения нагрузки
ГОСТ 11262	1±0,5 2 (2,5)±0,4 5±1,0 10±1,0 20 (25)±2,0 50±5,0 100±10,0 200 (250)±20,0 500±50,0	Не более 1 %
ГОСТ 411	50±5,0 100±10,0	–
CAN/CSA Z245.20	10±1,0	Не более 1%
ГОСТ 31448	10±1,0	Не более 2%
ГОСТ 9.602	10±1,0	Не более 1%
DIN 30670	10±1,0	Не более 1%

В ОАО «РосНИТИ» (Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности) имеется разрывная машина MTS Insight 100 kN. Которая позволяет проводить испытания по определению предела прочности материалов при сжатии, растяжении, изгибе; определение статической твердости материалов; определение модуля упругости материалов.

Основные технические характеристики MTS Insight 100 kN представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Технические характеристики MTS Insight 100 kN

Точность измерения нагрузки, Н	0,01
Максимальная нагрузка, кН	100
Ход траверсы, мм	1000
Максимальная ширина образца, мм	650
Максимальная скорость траверсы, мм/мин	500
Минимальная скорость траверсы, мм/мин	0,001
Точность позиционирования, мм	0,01

Имеющаяся разрывная машина и сопутствующая оснастка для испытаний не позволяют проводить некоторые испытания защитных полимерных покрытий труб в соответствии с требованиями стандартных методик. Ниже приводятся испытания, которые не могут проводиться согласно методикам с описанием причин несоответствия.

1) Прочность при разрыве отслоенного покрытия при температуре +60°C.

При проведении испытания с использованием образцов в виде «лопаток» по ГОСТ 11262 тип 1, относительное удлинение образца может достигать значения до 600%, что составляет около 1000 мм. При установке в межколонном пространстве разрывной машины термо-крио камеры, хода внутри камеры составляет 400 мм. Причины небольшого ход внутри камеры: геометрические размеры самой термо-крио камеры, геометрические размеры зажимов для образцов и приспособлений для крепления зажимов к разрывной машине.

В результате при испытании материалов при повышенных температурах хода разрывной машины для определения прочности при разрыве не хватает.

## 2) Определение адгезии покрытия к стали.

Согласно ГОСТ 31448-2012 и ГОСТ 411 метод А, отслаивание полосы покрытия должно происходить под углом  $(90 \pm 10)^\circ$  (рисунок 1.2, а). Имеющаяся разрывная машина не имеет необходимую оснастку для отслаивания полосы согласно методике, в связи с чем испытание проводится (рисунок 1.2, б) с несоответствием методике.

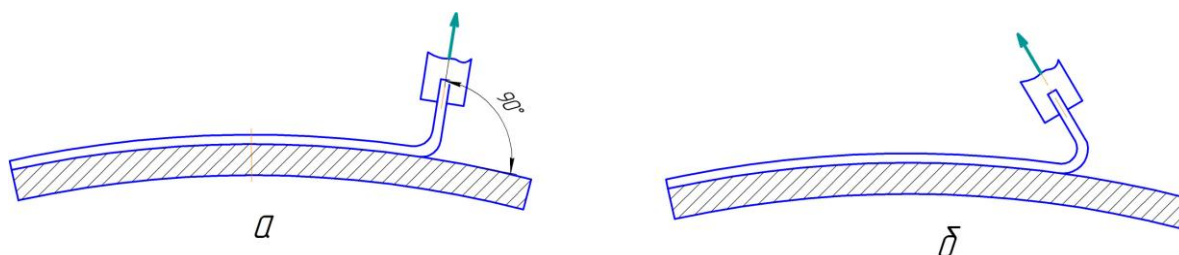


Рисунок 1.2 – Схема отрыва полосы

## 3) Относительное удлинение при разрыве отслоенного покрытия при температуре $+60^\circ\text{C}$ .

Определение относительного удлинения с помощью приборов, производящих замеры длины образца по ограничивающим меткам, сильно ограничено из-за размеров окна для наблюдения в термо-крио камере. Считать относительное удлинение образца по ходу траверсы не верно, т.к. при этом учитывается удлинение не только рабочей части «лопатки», но переходной части для зажима.

На основе рассмотренных стандартных методик испытаний и выявленных недостатков разрывной машины MTS Insight 100 kN и сопутствующей оснастки, к проектируемой разрывной машине предъявляются следующие требования:

- 1) ход траверсы не менее 1400 мм;
- 2) скорость перемещения траверсы от 1 мм/мин до 500 мм/мин с погрешностью для контрольных точек согласно ГОСТ 11262;
- 3) наибольшая предельная нагрузка не менее 40 кН;
- 4) силоизмерительный датчик должен проводить измерение нагрузки с погрешностью не более 1%.

## **2 ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ И ТИПОВ РАЗРЫВНЫХ МАШИН И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБ**

Разрывная машина предназначена для определения механических свойств, при статических, динамических и циклических нагрузках материалов и конструкционных изделий в режимах растяжения, сжатия и изгиба.

Данный тип оборудования относится – испытательному, применяется в работе производственных и исследовательских лабораторий различных предприятий, учебных заведениях и научно-исследовательских организаций.

Разрывные машины классифицируют по следующим параметрам [9]:

1) по виду деформации сообщаемой образцу в процессе испытания:

- разрывные (растяжение);
- прессы (сжатие);
- универсальные машины (растяжение, сжатие, изгиб).

2) по вектору растягивающего усилия:

- горизонтальные;
- вертикальные.

3) по виду привода:

- электромеханические;
- электрогидравлические.

4) по типу силоизмерительного устройства:

- с маятниковым (рычажно-маятниковым) силоизмерителем;
- с торсионным силоизмерителем;
- с электрическим (тензометрическим, вибрационно-частотным и др.)

силоизмерителем.

5) по виду испытываемых материалов:

- для испытания образцов металла;
- для строительных материалов;
- для испытания полимерных материалов;

– для испытания текстильных материалов.

Для проведения стандартных испытаний материалов используют разрывные машины с электрогидравлическим и электромеханическим приводом.

Гидравлические разрывные машины (РГМ) предназначены для испытаний образцов черных и цветных металлов, строительных и композиционных материалов с наибольшими предельными нагрузками 100, 300, 600, 1000 и 2000 кН. РГМ выпускают в двух исполнениях: вертикальные и горизонтальные (РГМ-Г) (рисунок 2.1) [10].

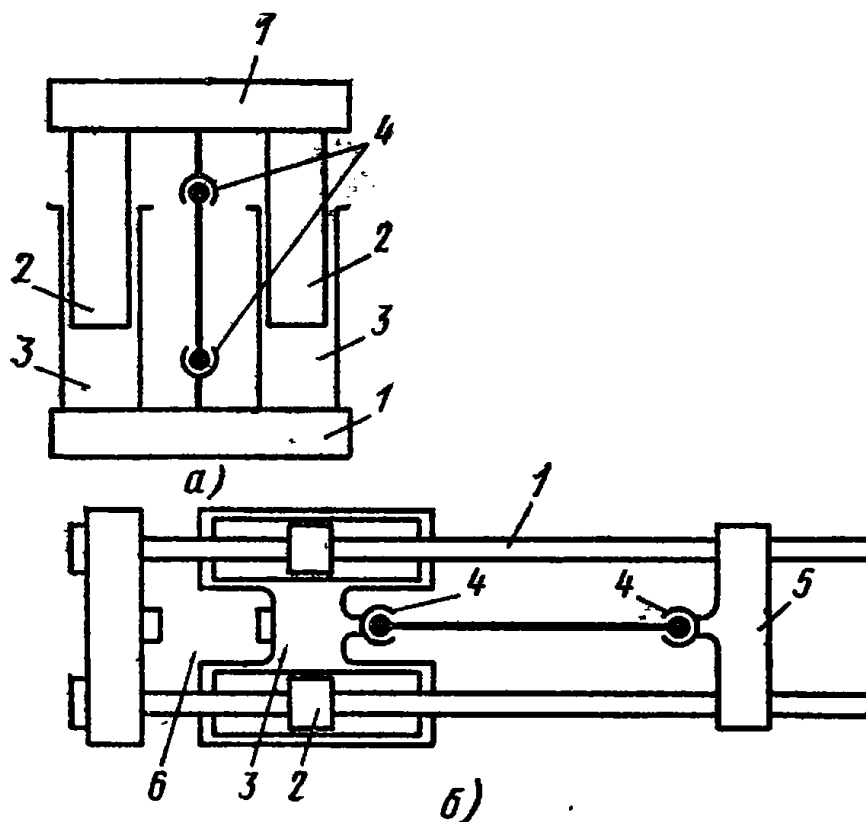


Рисунок 2.1 – Типовые схемы разрывных машины с гидроприводом:

- а – РГМ: 1 – полурамы; 2 – плунжеры; 3 – цилиндры; 4 – захваты;  
б – РГМ-Г: 1 – колонны; 2 – поршни; 3 – активная траверса с цилиндрами;  
4 – захваты; 5 – траверса

Электромеханическую разрывную машину (ЭРМ) выпускают в двух исполнениях: двухколонном и одноколонном. Одноколонные ЭРМ предназначены для испытания конструкционных материалов с наибольшими

предельными нагрузками: 0,2; 0,5; 1; 2; 3 и 5 кН. В двухколонном исполнении ЭРМ предназначена для испытания материалов с предельными нагрузками 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 600 кН. На рисунке 2,2 представлена схема двухколонной ЭРМ с верхней подвижной траверсой [10]. Подвижная траверса 8 снабжена двумя парами гаек 5 на каждом винте 4. Верхние гайки предназначены для выборки люфтов в передаче по мере износа. На подвижной траверсе установлен силоизмерительный датчик 9. Если датчик устанавливают на верхнюю траверсу 6, то держатель нижнего захвата переустанавливают на подвижную траверсу.

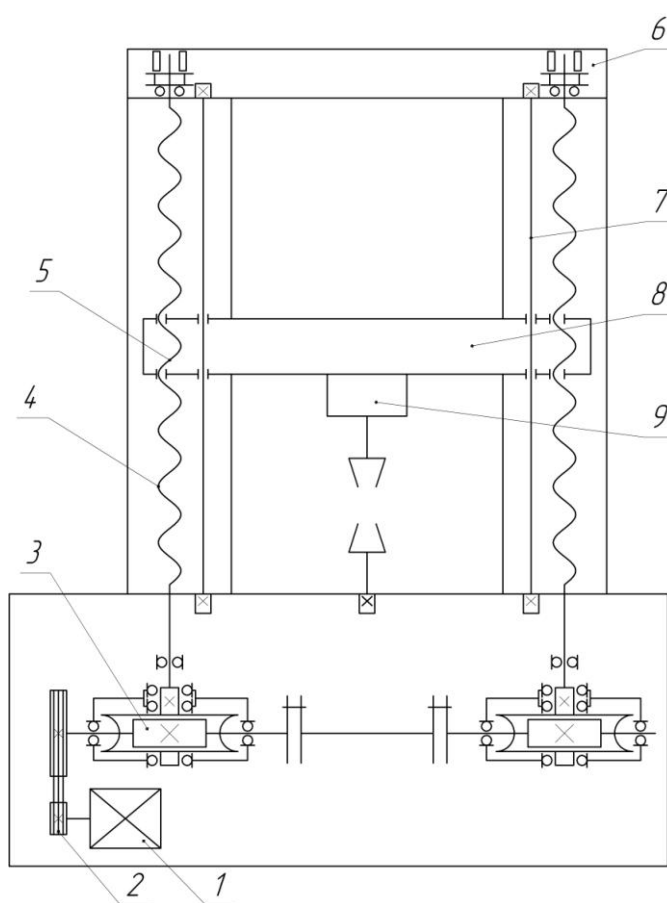


Рисунок 2.2 – Схема ЭРМ с верхней подвижной траверсой:

- 1– электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор червячный;  
 4 – винт ходовой; 5 – гайка ходовая; 6 – неподвижная траверса;  
 7 – направляющая; 8 – подвижная траверса; 9 – силоизмерительный датчик;

На рисунке 2.3 представлена схема двухколонной ЭРМ с нижней подвижной траверсой [11]. Недостатком таких типов ЭРМ является невозможность установки в межколонном пространстве климатической камеры для проведения механических испытаний при повышенных или отрицательных температурах.

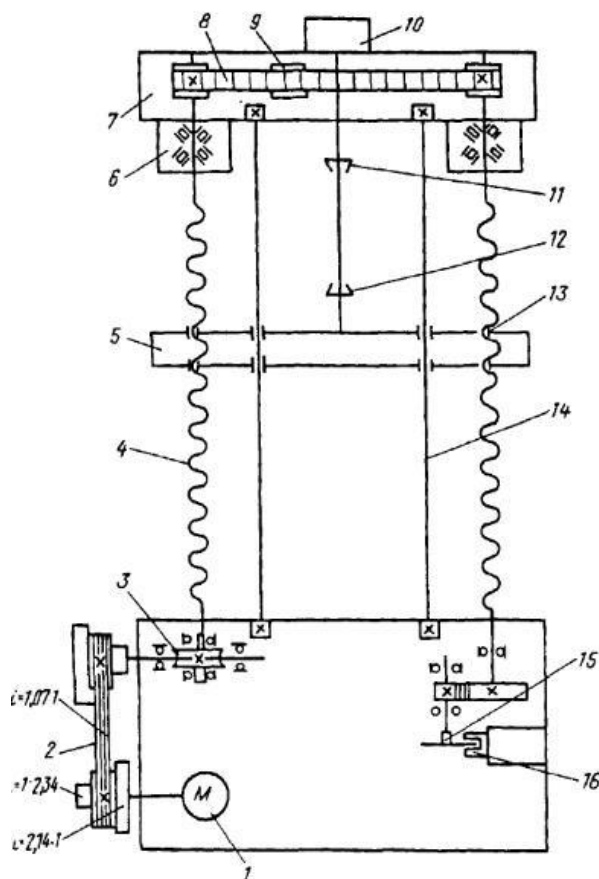


Рисунок 2.3 – Схема ЭРМ с нижней подвижной траверсой:

1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор червячный; 4 – винт ходовой; 5 – траверса подвижная; 6 – узел подшипниковый; 7 – траверса подвижная; 8 – ремень плоскозубчатый; 9 – ролик натяжной; 10 – датчик силы; 11 – захват пассивный; 12 – захват активный; 13 – гайка ходовая; 14 – направляющая; 15 – диск зубчатый; 16 – датчик хода траверсы

Разрывная машина работает следующим образом. Крутящий момент от электродвигателя 1 (см. рисунок 2.3) через клиноременную передачу 2 и червячный редуктор 3 передается на винт 4. Для передачи крутящего момента на второй винт используется плоскоременная передача 8. Вращение винтов



преобразуется гайками 13, размещенными в подвижной траверсе 5 в поступательное перемещение.

Известны конструкция ЭРМ, где крутящий момент на винты передается с помощью цилиндрической зубчатой передачи или ременной передачи. На рисунке 2.4 представлена ЭРМ где крутящий момент на винты передается через цилиндрическую зубчатую передачу [11].

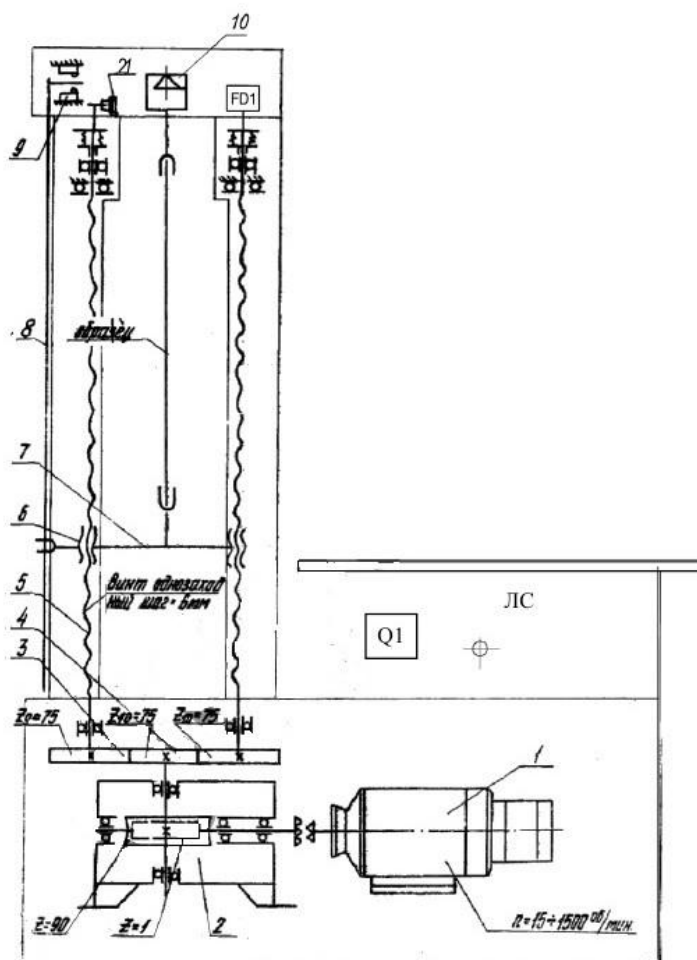


Рисунок 2.4 – Схема ЭРМ

Разрывная машина работает следующим образом. Крутящий момент от электродвигателя 1 (см. рисунок 2.4) через червячный редуктор 2 и шестерни 3, 4 передается винтам. Вращение винтов преобразуется гайками 6, размещенными в подвижной траверсе 7, в поступательное перемещение.

В подвижной траверсе на каждом винте имеется две гайки, верхняя закрепляется жестко к траверсе, а нижняя – выполнена плавающей, от

поворачивания гайки в траверсе имеется стопорный винт. Между гайками внутри траверсы установлена пружина, которая выбирает люфт в резьбе между винтом и траверсой и гасит ударные нагрузки при обрыве образца.

На подвижную траверсу устанавливается активный захват фиксируемый пальцем. Верхний и нижний концы винтов установлены на подшипниках качения в стаканах, которые крепятся к стойкам. Винты выполнены с плавающими опорами и в верхней части подпружинены для гашения ударных нагрузок при обрыве образца. К стойке крепится шток 8 (см. рисунок 2.4), для выключения привода машины в крайних положениях траверсы. Для этого на траверсе имеется вилка, которая при ходе траверсы вниз или вверх нажимает на регулируемые упоры на штоке. Перемещаясь, шток с помощью микровыключателей 9 отключает привод.

На верхней неподвижной траверсе установлен тензодатчик силоизмерителя 10. На правом ходовом винте, вверху, закреплен датчик перемещения подвижной траверсы.

Для измерения удлинения образца согласно ГОСТ 11262 допускается использовать:

- 1) приборы, производящие замеры длины образца по ограничивающим меткам, с помощью оптических систем измерения;
- 2) приборы, закрепленные непосредственно на образце.

При испытании на относительное удлинение при разрыве отслоенного покрытия величина удлинения составляет более 300%, при использовании стандартного экстензометра для способа 2 невозможно. Недостатком этих всех приборов является ограниченный диапазон измерения удлинения образца (в пределах 10% от базы) [12]. Для устранения этого недостатка предлагается устройство по измерению удлинения образца, состоящее из блока электромеханического винтового привода, закрепленного на силовой раме параллельно силовой оси машины, упругоподатливой на изгиб балочки с наклеенными на ней тензорезисторами, один конец которой жестко соединен с гайкой винтового привода, а другой ее конец снабжен зажимом для закрепления на испытываемом образце.

Примером, реализующим такой устройством, является представленная разрывная машина на рисунке 5 [12]. Машина содержит нагружающее устройство (рисунок 2.5), включающее силовую раму 1 с нижним активным (подвижным) захватом 2 и пассивным захватом 3, электромеханический привод нагружения 4, датчик силы 5 с электрическим блоком измерения силы 6 и датчик деформации (удлинения) образца 7 в виде устройства, состоящего из блока электромеханического винтового привода 8, закрепленного на силовой раме 1 параллельно силовой оси машины, упругоподатливой на изгиб балочки 9 с наклеенными на ней тензорезисторами, один конец которой жестко соединен с гайкой 10 электромеханического винтового привода 8, а другой ее конец снабжен зажимами 11 для закрепления на испытываемом образце 7, кругового многооборотного растрового электрического датчика 12, соединенного электрически с измерителем удлинения 13 и муфтой 14 с винтом 15 электромеханического винтового привода 8 и электродвигателя 16 электромеханического винтового привода 8, электрически соединенного с тензорезисторами балочки 9 и усилителем 17.

Измерение удлинения образца осуществляется следующим образом [12]. В исходном положении упругая балочка 9, соединенная с испытываемым образцом 7, находится в нейтральном положении с нулевым сигналом соединенных по мостовой схеме тензорезисторов. В процессе нагружения образца балочка изгибается, тензорезисторы генерируют электрический сигнал разбаланса, поступающий на электродвигатель 16 винтового привода 8, винт 15 поворачивается на угол, пропорциональный сигналу разбаланса, гайка 10 перемещается, возвращая балочку 9 в нейтральное положение, круговой датчик 12 формирует сигнал, пропорциональный углу поворота винта 15, преобразуемого с учетом шага винта в осевое перемещение гайки 10, которое соответствует удлинению образца 7.

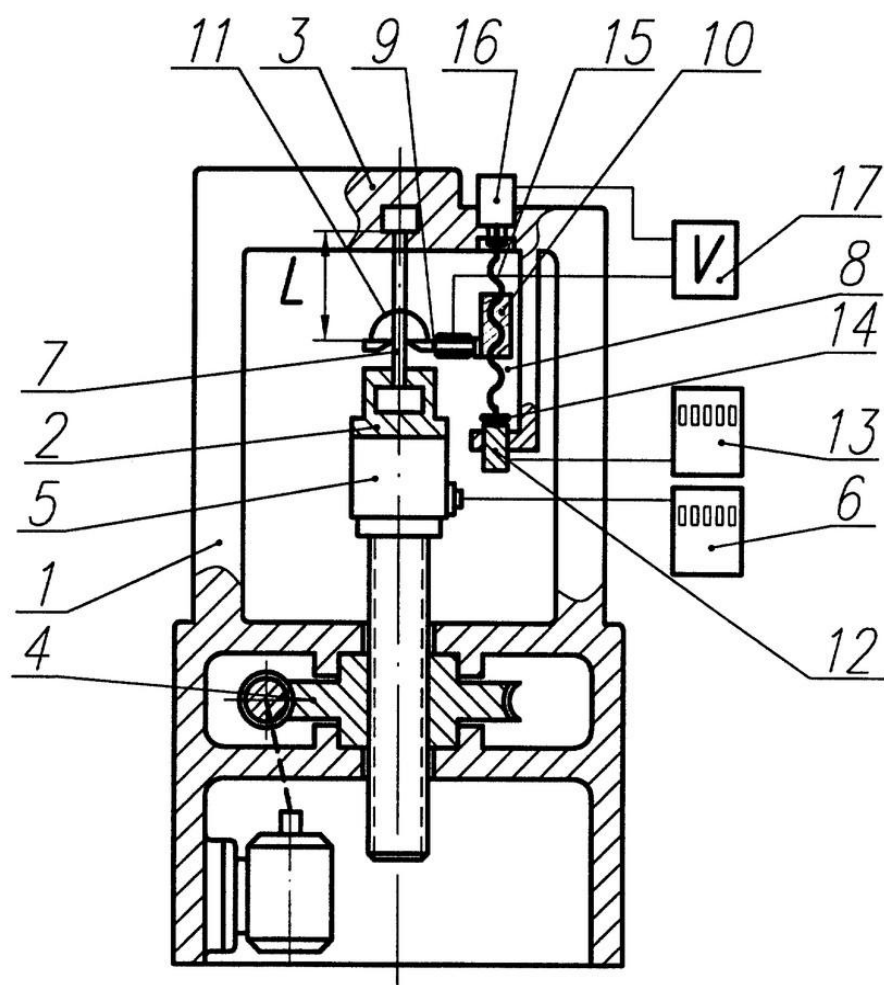


Рисунок 2.5 – Разрывная машина с датчиком относительного удлинения образца

На современном рынке производителей оборудования для статических испытаний представлено большое множество компаний, предлагающих большой выбор испытательных машин. Различие их заключается в технических характеристиках: скорость перемещения траверсы, ход траверсы, погрешность измерения нагрузки, погрешность при измерении перемещения траверсы, погрешность поддержания скорости нагружения и др.

В качестве примера компаний, занимающихся изготовлением и реализацией разрывных машин, представлены следующие организации: ООО «МЕТРОТЕСТ», группа компаний Zwick/Roell.

Для испытаний защитных полимерных покрытий труб применяют двухколонные разрывные машины с электромеханическим приводом. В связи с

далее будут приводиться технические характеристики разрывных машин с электромеханическим приводом.

В таблице 2.1 представлены технические характеристики двухколонной напольной разрывной машины РЭМ-20 ООО «МЕТРОТЕСТ» [13].

Таблица 2.1 – Основные технические характеристики РЭМ-20

<b>Технические характеристики</b>	<b>Параметр</b>
Наибольшая предельная нагрузка, кН	20
Тип силоизмерителя:	Электронный с цифровой индикацией параметров нагружения в наименованных единицах
Воспроизводимый диапазон нагрузки, кН	0,4 ... 20
Погрешность измерения нагрузки, % от измеряемой величины	±1
Минимальная цена деления измерителя: - нагружение, кН - деформация, мм	0,01 0,05
Скорость перемещения траверсы, мм/мин	0,05 ... 500
Ширина рабочего пространства, мм не менее	350
Рабочий ход траверсы, мм	1100
Максимальное расстояние между плитами в зоне растяжения, мм	1000
Максимальное расстояние между захватами в зоне растяжения, мм	700
Диаметр плиты сжатия, мм	100
Погрешность при измерении перемещения траверсы, %	±1
Погрешность поддержания скорости нагружения, % от заданной скорости	±3
Реализуемая форма нагружения	линейная
Тип захватов	Клиновые
Нормальные условия эксплуатации, температура, °С	+15 ... +35
Габаритные размеры: - ширина, мм - высота, мм	700 1770

Окончание таблицы 2.1

<b>Технические характеристики</b>	<b>Параметр</b>
Масса, кг	200
Питание, В/Гц	~220/50
Потребляемая мощность, кВт, не более	1,2

В таблице 2.2 представлены технические характеристики разрывной машины ZO20TN производства группы компаний Zwick/Roell (рисунок 2.6) [14].

Таблица 2.2 – Технические характеристики разрывной машины ZO20TN

<b>Технические характеристики</b>	<b>Параметр</b>
Наибольшая предельная нагрузка, кН	20
Скорость перемещения траверсы, мм/мин	0,0005 ... 500
Ширина рабочего пространства, мм не менее	400
Рабочий ход траверсы, мм	1050
Скорость возврата траверсы в исходное положение, мм/мин	750
Максимальное расстояние между захватами в зоне растяжения, мм	980
Точность позиционирования, мкм	± 2
Разрешение позиционирования, мм	0,018
Нормальные условия эксплуатации, температура, °С	+10 ... +35
Габаритные размеры:	
- глубина, мм	358
- ширина, мм	770
- высота, мм	1331
Масса, кг	135
Питание, В/Гц	~220/50
Потребляемая мощность, кВт, не более	0,8



Рисунок 2.6 – Разрывная машина ZO20TN

Из анализа таблиц 3, 4 следует, что основные технические характеристики разрывных машин отечественного и импортного производства схожи. Принципиальное отличие в представленных разрывных машинах – задание минимальной скорости перемещения траверсы (0,05 мм/мин у РЭМ-20, ZO20TN 0,0005 мм/мин).

Кроме разрывных машин при испытаниях полимерных защитных покрытий труб применяются устройства для определения адгезии покрытия к стали, как самостоятельное оборудование для проведения испытаний непосредственно на трубе. Известны такие устройства для определения адгезии покрытия к стали SU №1037149 А [15] и SU №1516903 А1 [16] не в полной мере обеспечивают постоянства угла приложения нагрузки к криволинейной поверхности трубы. Данные устройства не имеют технических решений для отслеживания угла приложения нагрузки ( $90 \pm 10$ )°.

Для определения адгезии покрытия к стали реализовано следующее устройство, которое позволяет определить прочность сцепления покрытия на трубе при отслаивании  $(90 \pm 10)^\circ$  реализованное на АО «ВТЗ» (Волжский трубный завод) [17].

Устройство (рисунок 2.7) состоит из захвата для закрепления покрытия, который посредством гибкой тяги связан с силоизмерителем и шарнирным диском, который в свою очередь имеет возможность перемещаться вдоль продольного паза поводка. Поводок связан со станиной шарнирно под углом  $45^\circ$  к испытуемой подложке. Устройство также имеет захват для подложки, который предназначен для предварительного натяга материала покрытия с целью учета упругой составляющей. Все элементы связаны между собой одной стационарной станиной.



Рисунок 2.7 – Устройство определения прочности сцепления покрытия на трубе



На рисунке 2.8 представлена схема устройства.

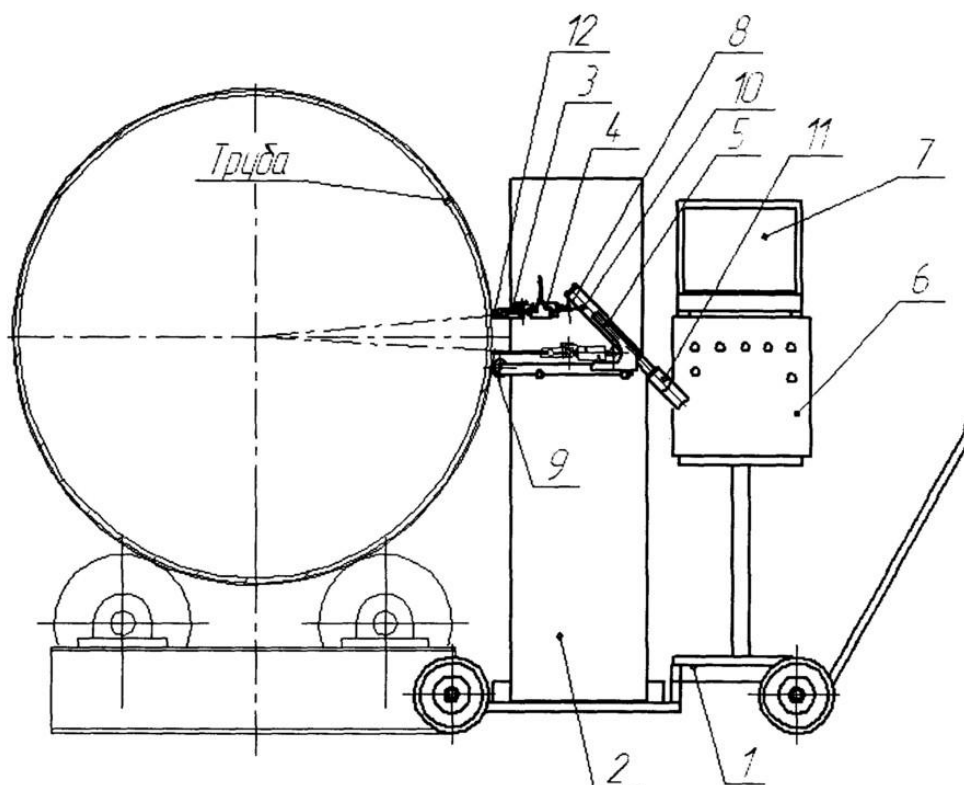


Рисунок 2.8 – Схема устройства

Данное устройство содержит в себе следующие элементы [17]:

- тележка 1 является основанием для всего устройства и обеспечивает мобильное перемещение к месту испытания;

- механизм вертикального перемещения 2 связан с нагрузителем 5 посредством горизонтальных направляющих и обеспечивает вертикальное перемещение для испытания труб в диапазоне диаметров от 530 мм до 1420 мм;

- нагрузитель 5 состоит из рамы, на которой между собой жестко связаны под углом  $45^\circ$  упорный ролик 9 и поводок 10 с мотор - редуктором 11, и обеспечивает постоянство угла  $(90 \pm 10)^\circ$  приложения нагрузки в момент испытания;

- поводок 9 выполнен в виде винтовой передачи с приводом от мотор-редуктора. В корпусе поводка имеется паз, по которому перемещается гайка, которая в свою очередь последовательно шарнирно связана с силоизмерителем 4 и затем с захватом 3;

- захват 3 предназначен для зацепления за материал покрытия;
- пульт 6 предназначен для питания и управления электродвигателем мотора-редуктора, который обеспечивает две скорости режима отслаивания.

Устройство работает следующим образом [17]. Устройство подвозится к месту испытания. Движением механизма вертикального перемещения 2 выставляют устройство так, чтобы захват 3 находился на одном уровне с отогнутым краем испытуемой полосы покрытия. При этом гайка винтовой передачи нагружателя должна находиться в верхнем исходном положении. Перемещением тележки доводят устройство до касания упорного ролика 9 с трубой. Свободный конец отслаиваемого покрытия 12 закрепляют в захвате 3. Нажатием кнопки «НАТЯГ» включают электродвигатель мотор-редуктора, при этом вращается винт, а гайка перемещается по пазу поводка. Натяг производится с ускоренной скоростью до тех пор, пока не будут выбраны все зазоры и упругие деформации отогнутого свободного конца покрытия. Одновременно на экране монитора компьютера отображается значение усилия отслаивания в цифровом и графическом виде. При достижении определенного усилия нажимается кнопка «ИСПЫТАНИЕ». Испытание производится с заранее заданной постоянной скоростью в автоматическом режиме. По заданному временному промежутку проводится замер усилия отслаивания и автоматическое отключение режима испытания.

Данное устройство применяется для определения адгезии покрытия к стали на трубах в диапазоне диаметров от 530 мм до 1420 мм при приемо-сдаточных испытаниях. Для периодической аттестации с специализированных лабораториях не подходит, т.к. в качестве образца используется патрубок или концевой участок трубы, в связи с этим выдержка в воде 1000 ч. при повышенных температурах для определения адгезии к стали после выдержки по ГОСТ 31448 [2] трудно реализуемо из-за размеров патрубка (диаметр от 530 до 1420 мм).

Современный рынок производителей оборудования для механических испытаний предлагает широкий спектр разрывных машин как отечественного, так

и импортного производства. Приведенные в качестве примера современные разрывные машины [13, 14] соответствуют требованиям стандартных методик [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Предлагаемые на рынке разрывные машины предназначены для проведения механических испытаний металлов, что накладывает ограничения на проведение испытаний полимерных материалов. При эксплуатации разрывной машины MTS Insight 100 kN выявлено, что при испытании полимерных материалов хода траверсы у разрывной машины не достаточно для определения ряда параметров (прочность при разрыве, относительное удлинение). Также разрывная машина MTS Insight 100 kN находится на гарантии, поэтому какие-либо изменения в конструкции или ее модернизация недопустимы. Поэтому целью работы является, разработка универсальной разрывной машины и сопутствующей оснастки с целью соответствия проводимых механических испытаний защитных полимерных покрытий труб требованиям стандартных методик.

### 3 ВЫБОР СХЕМЫ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ И РАЗРАБОТКА ЕЕ КОНСТРУКЦИИ

#### 3.1 Описание схемы разрабатываемой разрывной машины

На основе рассмотренных ранее конструкций разрывных машин [10, 11] и предъявленных к ним требований, предлагается следующая схема разрывной машины (рисунок 3.1).

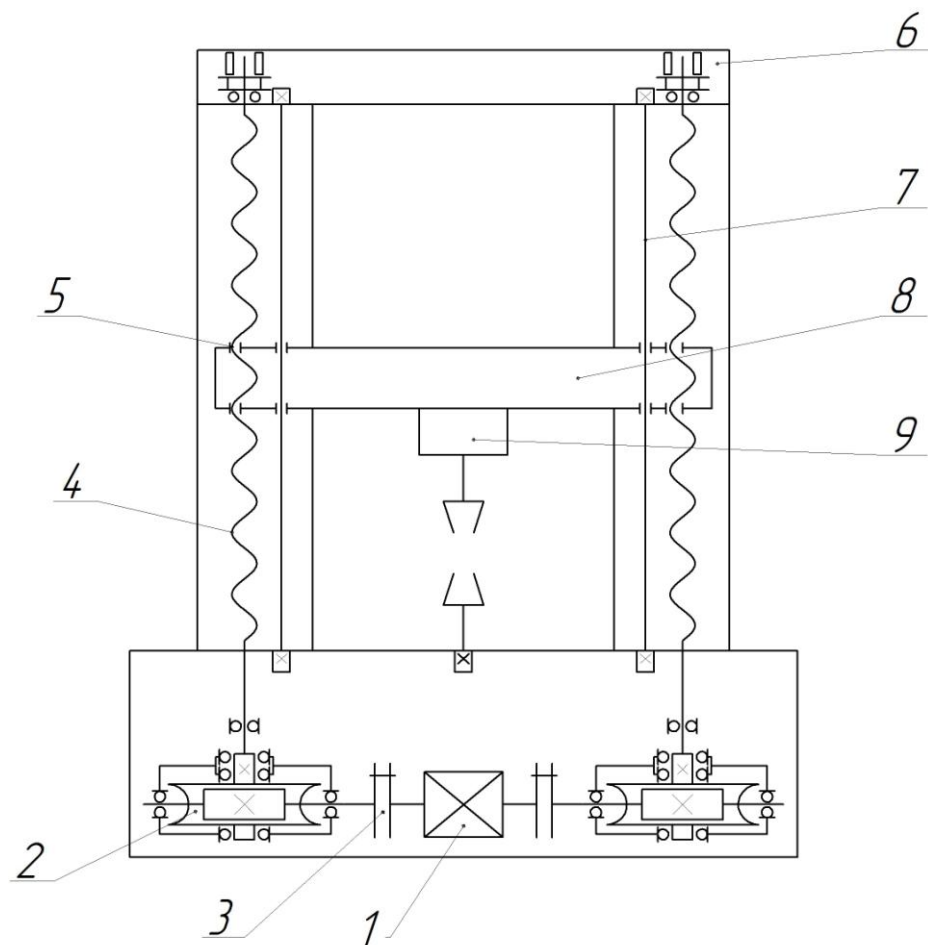


Рисунок 3.1 – Схема предлагаемой разрывной машины:

1– электродвигатель; 2 – червячный редуктор; 3 – муфта; 4 – винт; 5 – гайка;  
6 – неподвижная верхняя траверса; 7 – направляющая; 8 – подвижная траверса;  
9 – тензометрический датчик

Разрывная машина будет работать следующим образом. Крутящий момент от электродвигателя 1 передается на червячный редуктор 2 посредством соединения муфтой 3. Далее крутящий момент передается на винт 4 соединенный

с червячным редуктором 3 через шлицы. Вращение винтов 4 преобразуется гаками 5 в поступательное перемещение траверсы 8 по направляющим 7.

Усилие возникающие при испытании образца, воспринимается тензометрическим датчиком 9 и регистрируется. Верхняя опора винтов выполнена в плавающей опоре и подпружинена для гашения ударной нагрузки при обрыве образца.

При достижении подвижной траверсой крайнего верхнего или нижнего положения ее дальнейшее перемещение будут останавливаться с помощью датчика конечного хода, который в свою очередь будут останавливать электродвигатель. Поскольку в приводе винтов применяется червячная передача, которая является самотормозящейся передачей, что дает возможность отказаться от применения средств резкой остановки вращения винтов.

### **3.2 Проектный расчет передачи винт-гайка**

Передача винт-гайка предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное движение. В передаче используется пары винт-гайка скольжения или качения [18].

Достоинствами передачи винт-гайка являются возможность получения медленного поступательного движения при относительно больших частотах вращения; значительный выигрыш в силе; высокая точность перемещения; простота конструкции; малые габариты; возможность обеспечения самоторможения. К недостаткам передачи скольжения относятся большие потери на трение и соответственно сравнительно низкий КПД. Передачи качения лишены этого недостатка, но их конструкция сложнее, а стоимость выше [18].

Профиль резьбы в передачах скольжения выбирают в зависимости от требований к точности перемещений, КПД и технологичности. С целью повышения КПД в передачах винт-гайка скольжения используют резьбы, имеющие пониженный приведенный коэффициент трения [18].

В силовых передачах скольжения при двустороннем направлении нагрузки наиболее частое применение находит стандартная трапецеидальная резьба. Трапецеидальную резьбу в основном диапазоне диаметров выполняют с мелким, средним и крупным шагами. В силовых передачах применяют в основном резьбу со средним шагом. Мелкую резьбу применяют в механизмах, где требуется повышенная точность перемещений, например в микрометрах, крупную – когда передача плохо защищена от пыли и грязи и подвержена сильному износу. Для самотормозящих передач применяют однозаходную резьбу, а для повышения скорости перемещения используют многозаходные резьбы [18].

Целью расчета является определение всех параметров винтовой пары.

Исходные данные представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Осевая нагрузка на один винт $F_A$ , кН	20
Ход винта $L$ , мм	1400

### 3.2.1 Выбор материалов и определение среднего диаметра и минимального шага резьбы

Принимаем материал винта – конструкционная сталь 35 без термообработки с характеристиками  $\sigma_T=320$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_B=540$  Н/мм<sup>2</sup> [19]. Материал гайки – безоловянистая бронза Бр.А9Ж3Л следующими характеристиками  $\sigma_T=200$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_B=400$  Н/мм<sup>2</sup> [19].

Определение среднего диаметра резьбы винта по условию износостойкости [20]:

$$d_{2p} \geq \sqrt{\frac{F_A}{\pi \cdot \psi_h \cdot \psi_H \cdot [p]}} \quad (3.1)$$

где  $F_A$  – усилие приходящееся на один винт,  $F_A=20000$  Н;

$\psi_h$  – коэффициент относительной высоты профиля зуба,  $\psi_h=0,5$  [18];

$\psi_H$  – коэффициент высоты гайки. Принимаем  $\psi_H=1,7$  [18];

$[p]$  – допустимое давление в резьбе,  $[p]=8$  Н/мм<sup>2</sup> [18].

$$d_{2p} \geq \sqrt{\frac{20000}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1,7 \cdot 8}} = 44,282 \text{ мм.}$$

Минимальное значение шага [18]:

$$P_{\min} \geq \psi_H \cdot \frac{d_{2p}}{z_{\max}}, \quad (3.2)$$

где  $z_{\max}$  – максимальное число заходов резьбы,  $z_{\max}=10$  [18].

$$P_{\min} \geq 1,7 \cdot \frac{43,282}{10} = 5,202 \text{ мм.}$$

Подбираем ближайшую стандартную трапецеидальную резьбу с большим шагом 5,2 мм и средним диаметром 43,282 мм. Поэтому дальнейший расчет ведем по трем вариантам, чтобы в конце выбрать оптимальный. В таблице 3.2 представлены следующие варианты параметров резьбы. Параметры резьбы взяты из ГОСТ 24737–81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба трапецеидальная однозаходная. Основные размеры» [21].

Таблица 3.2 – Варианты параметров резьбы

Вариант 1	Шаг резьбы P, мм	8
	Наружный диаметр d, мм	50,000
	Средний диаметр d <sub>2</sub> , мм	46,000
	Внутренний диаметр d <sub>1</sub> , мм	41,000
Вариант 2	Шаг резьбы P, мм	8
	Наружный диаметр d, мм	52,000
	Средний диаметр d <sub>2</sub> , мм	48,000
	Внутренний диаметр d <sub>1</sub> , мм	43,000

Для всех вариантов коэффициент трения в резьбе составит  $f=0,1$  [22] и угол наклона рабочей стороны профиля резьбы  $\gamma=15^\circ$ . Тогда приведенный угол трения составит [22]:

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f}{\cos \gamma}\right) \quad (3.3)$$

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f}{\cos \gamma}\right) = \arctg\left(\frac{0,1}{\cos 15^\circ}\right) = 5,91^\circ = 5^\circ 55'.$$

Угол подъема винтовой линии рассчитывается по следующей формуле [22]:

$$\psi = \arctg\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right). \quad (3.4)$$

КПД винтовой пары [22]:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \gamma)} \quad (3.5)$$

Расчетный запас устойчивости винта [22]:

$$n_y = m \frac{EJ}{L^2 F_A}, \quad (3.6)$$

где  $m$  – коэффициент зависящий от опоры винта,  $m=18$  [20];

$E$  – модуль упругости материала винта,  $E=2,1 \cdot 10^5$  МПа [19];

$L$  – расстояние между опорами винта,  $L=1440$  мм;

$J$  – момент инерции поперечного сечения винта,  $\text{мм}^2$ .

Момент инерции винта рассчитывается по следующей формуле [20]:

$$J = 0,025d \cdot d_1^3. \quad (3.7)$$

Устойчивость винта должна быть не менее  $n=4 \dots 5$  [20].

В таблице 3.3 параметры рассчитанные по зависимостям (3.5) и (3.6).

Таблица 3.3 – Рассчитанные параметры

Вариант 1	КПД винтовой пары	0,587
	Запас устойчивости винта	11,7
Вариант 2	КПД винтовой пары	0,403
	Запас устойчивости винта	7,67

Принимаем первый вариант, т.к. КПД винтовой пары и запас устойчивости винта больше. Принимаем по ГОСТ 24737–81 трапецеидальную резьбу Tr50x8, с параметрами: средний диаметр  $d_2=46$  мм, наружный диаметр  $d=50$  мм, шаг  $P=8$  мм [21].

### 3.2.2 Расчет гайки

Определение числа рабочих витков гайки [18]:

$$z = \frac{\psi_H \cdot d_2}{p} = \frac{1,7 \cdot 46}{8} = 9,77. \quad (3.8)$$

где  $\psi_H$  – коэффициент высоты гайки,  $\psi_H=1,4$  [18].

Принимаем  $z=10$ .



Геометрические размеры гайки (Рисунок 3.2).

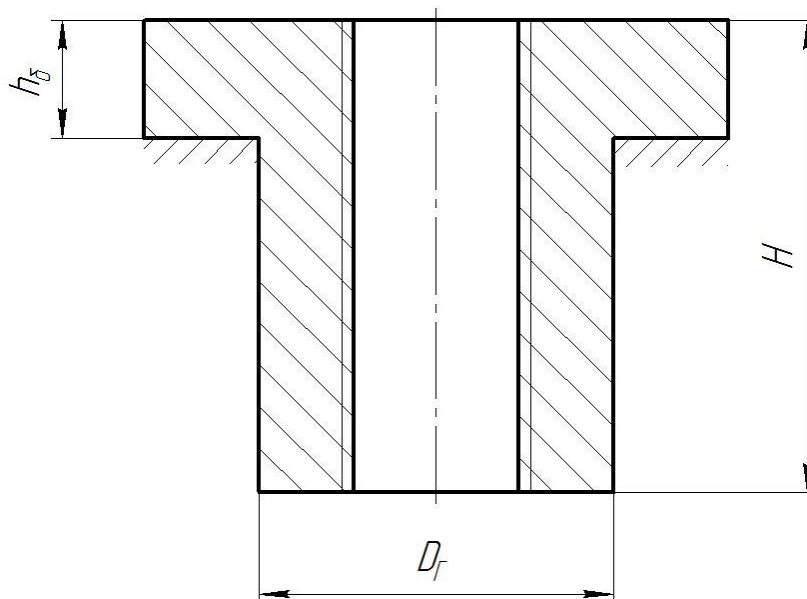


Рисунок 3.2 – Конструкция гайки

Высота гайки [18]:

$$H = z \cdot P = 10 \cdot 8 = 80 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

Высота буртика [18]:

$$h_{\text{б}} = 0,25H = 0,25 \cdot 80 = 20 \text{ мм.} \quad (3.10)$$

Наружный диаметр гайки [18]:

$$D_{\Gamma} = \sqrt{\frac{4F_A \cdot k}{\pi [\sigma_p]} + d^2}, \quad (3.11)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий кручение гайки,  $k=1,3$  [18];

$[\sigma_p]$  – допустимое напряжение растяжения: для бронзовых гаек  $[\sigma_p]=50 \text{ Н/мм}^2$ .

Тогда наружный диаметр гайки:

$$D_{\Gamma} = \sqrt{\frac{4F_A \cdot k}{\pi [\sigma_p]} + d^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20000 \cdot 1,3}{3,14 \cdot 50} + 50^2} = 56,235.$$

Принимаем наружный диаметр гайки 60 мм в соответствии с ГОСТ 6636 «Нормальные линейные размеры» [23].

### 3.3 Кинематический и силовой расчет привода перемещения траверсы

На рисунке 3.3 представлена схема привода перемещения траверсы.

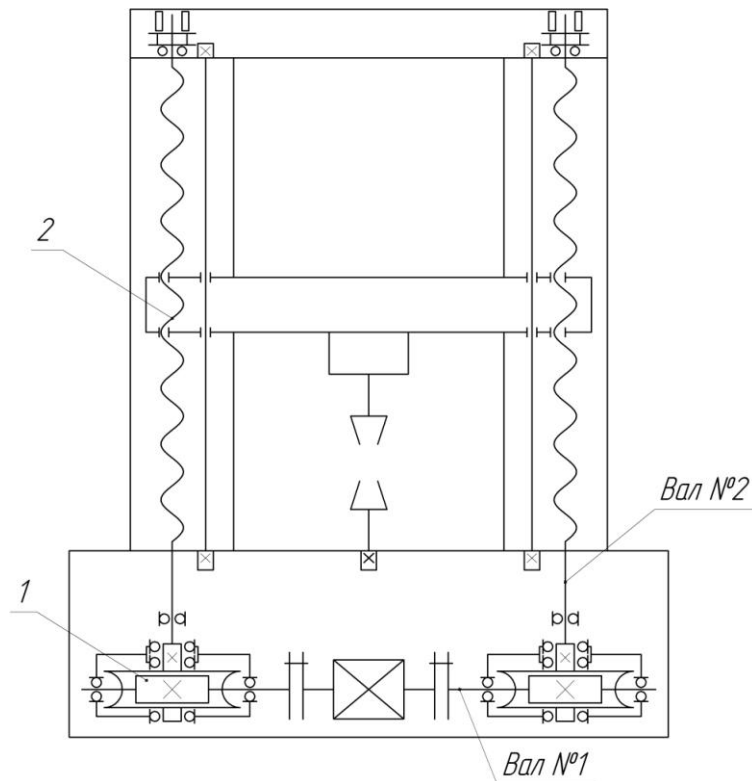


Рисунок 3.3 – Привод траверсы:

1 – червячная передача; 2 – пара винт-гайка

Расчет проводится при максимально возможной скорости перемещения траверсы 500 мм/мин.

Находим статический момент на винте [24]:

$$M_2 = F_A \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\varphi + \gamma) \quad (3.12)$$

где  $F_A$  – усилие, Н;

$d_2$  – средний диаметр винта,  $d_2=46$  мм;

Тогда момент на одном винте составит:

$$M_2 = F_A \frac{d_{KB}}{2} \operatorname{tg}(\varphi + \gamma) = 20000 \frac{0,046}{2} \operatorname{tg}(2,26 + 15) = 238,36 \text{ Нм.}$$

Мощность электродвигателя [24]:

$$P = \frac{M_2 \omega_2}{\eta}, \quad (3.13)$$

где  $\omega_2$  – угловая скорость вращения винта,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\eta$  – КПД передач.

Угловую скорость вращения находим по обще известной зависимости:

$$\omega_2 = \frac{2\pi n}{60}, \quad (3.14)$$

где  $n$  – частота вращения винта,  $\text{мин}^{-1}$ .

Частота вращения винта:

$$n_2 = \frac{V}{zP}, \quad (3.15)$$

где  $V$  – поступательная скорость перемещения гайки,  $V=500$  мм/мин;

$z$  – число заходов в резьбе,  $z=1$ ;

$P$  – шаг резьбы,  $P=8$  мм.

Тогда частота вращения винта составит [25]:

$$n_2 = \frac{V}{zP} = \frac{500}{1 \cdot 8} = 62,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Угловая скорость вращения винта:

$$\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 62,5}{60} = 6,542 \text{ с}^{-1}.$$

КПД всего привода определяется по формуле [26]:

$$\eta = \eta_0^8 \eta_{\text{чп}}^2 \eta_{\text{в}}, \quad (3.16)$$

где  $\eta_0$  – КПД подшипниковых опор,  $\eta_0=0,98$  [26];

$\eta_{\text{чп}}$  – КПД червячной передачи,  $\eta_{\text{чп}}=0,75$  [26];

$\eta_{\text{в}}$  – КПД винтовой передачи,  $\eta_{\text{в}}=0,59$  (см. таблицу 3.3).

КПД всего привода составляет:

$$\eta = \eta_0^8 \eta_{\text{чп}}^2 \eta_{\text{в}}^2 = 0,98^8 \cdot 0,75^2 \cdot 0,59^2 = 0,37.$$

Тогда мощность электродвигателя составит:

$$P_1 = \frac{M_2 \omega_2}{\eta} = \frac{238,36 \cdot 6,542}{0,37} = 4,20 \text{ кВт}.$$

Мощность на винте составит [26]:

$$P_2 = P_1 \eta_{\text{чп}} = 4,20 \cdot 0,75 = 3,150 \text{ кВт.} \quad (3.17)$$

Частота вращения вала электродвигателя определяется по следующей формуле [26], при двухзаходном червяке:

$$n_1 = n_2 i, \quad (3.18)$$

где  $i$  – передаточное отношения червячного редуктора, при двухзаходном червяке  $i=8\dots15$  [27].

Частота вала электродвигателя:

$$n_1 = n_2 i = 62,5 \cdot (8\dots15) = 500\dots937,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем передаточное отношения червячного редуктора – 15, тогда номинальная частота вращения вала асинхронного двигателя  $1000 \text{ мин}^{-1}$ .

На основе рассчитанных данных подбирается электродвигатель АИС160МВ8, исполнение IM1081 [28]. Технические характеристики электродвигателя АИР 160МВ8: мощность  $P=5,5 \text{ кВт}$ ; номинальная частота вращения  $n=950 \text{ мин}^{-1}$ .

Для того чтобы обеспечить необходимую скорость перемещения траверсы в заданном приводе, необходимо применить частотную регулировку скорости вращения вала электродвигателя. Частотное регулирование осуществляется с помощью частотного преобразователя. Расчет необходимой частоты переменного тока производится по обще известной формуле:

$$f = \frac{np}{60}, \quad (3.19)$$

где  $n$  – требуемая частота вращения вала электродвигателя;

$p$  – число пар полюсов у электродвигателя, в электродвигателе АИС160МВ8 число пар полюсов  $p=4$ .

Требуемая частота вращения вала электродвигателя рассчитывается по зависимостям (3.15) и (3.18). В таблице 3.4 представлено соответствие линейной скорости перемещения траверсы необходимой задаваемой для этого частоте переменного тока электродвигателю.

Таблица 3.4 – Соответствие скорости перемещения траверсы частоте переменного тока

Скорость перемещения траверсы, мм/мин	Частота вращения винта, мин <sup>-1</sup>	Частота вращения вала электродвигателя, мин <sup>-1</sup>	Частота переменного тока, Гц
1	0,125	1,9	0,1
2,5	0,313	4,7	0,3
5	0,625	9,4	0,6
10	1,25	18,8	1,3
20	2,5	37,5	2,5
50	6,25	93,8	6,3
100	12,5	187,5	12,5
200	25	375,0	25,0
500	62,5	937,5	62,5

На основе полученных значений частоты переменного тока подбирается частотный преобразователь «ВЕСПЕР EI-7011-007Н» [29], с диапазоном регулировки по частоте от 0,01 Гц до 400Гц с максимальной мощностью применяемого электродвигателя 5,5 кВт [29].

Для выбора червячного редуктора необходимо рассчитать действующую максимальную нагрузку. Расчетная схема переставлена на рисунке 3.4, где на одну опору винта будет действовать половина осевой нагрузки и  $h=1500$   $a=500$  мм.

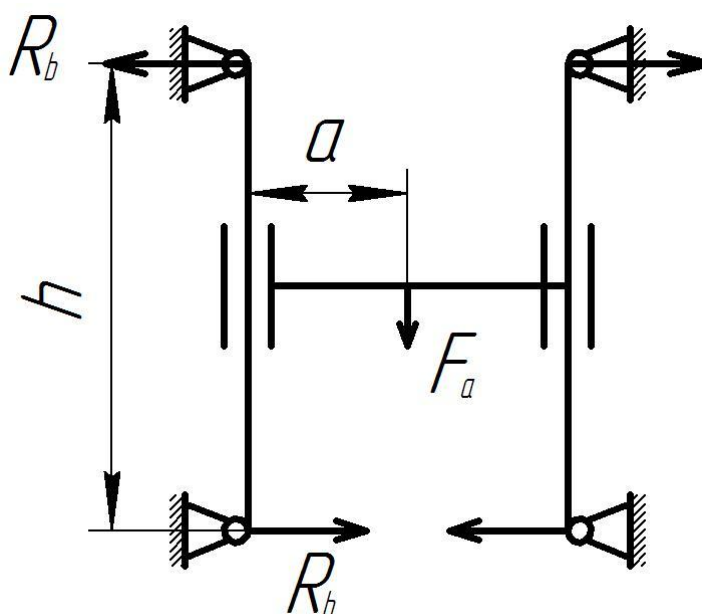


Рисунок 3.4 – Схема нагрузки на опоры винта

Тогда  $R_a$  и  $R_b$  находятся по следующей формуле:

$$R_a = R_b = \frac{\frac{F_a}{2} a}{h} = \frac{\frac{40000}{2} \cdot 0,5}{1,5} = 6667 \text{ Н} \quad (3.20)$$

По рассчитанным ранее параметрам выбираем червячный редуктор NMRV 63.15.70.B3, со следующими характеристиками (таблица 3.5) [30].

Таблица 3.5 – Характеристики редуктора

Мощность, Вт	Обороты на выходном валу, мин <sup>-1</sup>	Крутящий момент, Нм	Передаточное число	Консольная нагрузка, Н	Осевая нагрузка, Н
4,0	70	406	15	7434	22142

## 4 ПРОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ

### 4.1 Проверочные расчеты передачи винт-гайка скольжения

Расчет стержня винта на прочность.

Напряжения растяжения-сжатия при нагружении осевой силой  $F_A$  [18]:

$$\sigma = \frac{4F_A}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 20000}{3,14 \cdot 42^2} = 14,443 \text{ Н / мм}^2. \quad (4.1)$$

Напряжения кручения [18]:

$$\tau = \frac{M_3}{W}, \quad (4.2)$$

где  $W$  – момент сопротивления кручению,  $\text{мм}^3$ .

$$W = 0,2d_3^3 = 0,2 \cdot 42^3 = 14817,6 \text{ мм}^3. \quad (4.3)$$

$$\tau = \frac{M_3}{W} = \frac{73515,38}{14817} = 4,961 \text{ Н / мм}^2.$$

Прочность винта проверяют по эквивалентному напряжению [18]:

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 16,806 \text{ Н / мм}^2. \quad (4.4)$$

Допускаемое напряжение [14]:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_T}{3}, \quad (4.5)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести винта,  $\sigma_T = 320$  МПа для стали 35 [19].

Допустимое

напряжение:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_T}{3} = \frac{320}{3} = 106 \text{ Н / мм}^2.$$

Таким образом условие выполняется:

$$\sigma_E \leq \sigma_{\text{доп}} ;$$
$$16,806 \text{ МПа} < 106 \text{ МПа}.$$

Проверка винта на статическую устойчивость.

В силовой схеме однозонной разрывной машины с механическим нагружающим устройством (рисунок 14) колонны машины испытывают напряжения сжатия при растяжении образца и напряжения растяжения при его сжатии [10]. Штрихпунктирной линией показано замыкание силового контура

через элементы машины. При расчете на прочность элементов машины колонны должны быть проверены на устойчивость по Эйлеру [10].

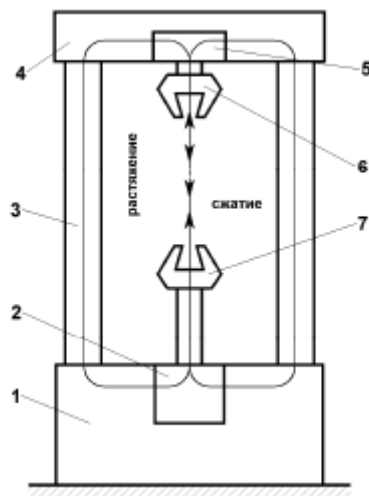


Рисунок 14 – Силевая схема испытательной машины:

1 – станина; 2 – привод; 3 – колонны; 4 – верхняя траверса; 5 – датчик силы; 6,7 – захваты для испытуемого образца соответственно верхний и нижний

На рисунке 15 представлена расчетная схема, показывающая способ закрепления винта.

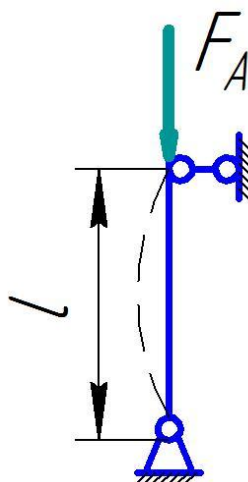


Рисунок 15 – Расчетная схема

Вычисляют значение критической силы  $F_{кр}$  по Эйлеру [18]:

$$F_{кр} = \frac{\pi^3 E d_3^4}{64 S (l)^2} \quad (4.6)$$

где  $E$  – модуль упругости материала винта,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа ;



$S$  – коэффициент запаса,  $S=3$  [18];

$\mu$  – коэффициент, зависящий от способа закрепления винта,  $\mu=1$  [18];

$l$  – длина нагруженного (не опорного) участка винта,  $l=1440$  мм;

Значение критической силы:

$$F_{кр} = \frac{\pi^3 E d_3^4}{64 S \mu l^3} = \frac{3,14^3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 42^4}{64 \cdot 3 \cdot 1440^3} = 1,144 \cdot 10^{11} \text{ Н}$$

Статическая устойчивость обеспечена если:

$$F_A \leq F_{кр}. \quad (4.7)$$

Условие (4.7) выполняется:

$$F_A \leq F_{кр}; \\ 20000 \text{ Н} \leq 1,144 \cdot 10^{11} \text{ Н}.$$

Проверка резьбы гайки на срез [30]

$$\tau_{ср} = \frac{F_A}{\pi \cdot d \cdot k \cdot P \cdot k_m \cdot z} \leq [\tau_{ср}] \quad (4.8)$$

где  $k$  – коэффициент полноты резьбы  $k=0,65$  [18];

$k_m$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения осевой силы по виткам резьбы,  $k=0,7$  [18];

$[\tau_{ср}]$  – допускаемое напряжение среза,  $[\tau_{ср}]=40$  Н/мм<sup>2</sup> [19].

$$\tau_{ср} = \frac{20000}{3,14 \cdot 50 \cdot 0,65 \cdot 8 \cdot 0,7 \cdot 10} = 3,499 \text{ Н / мм}^2.$$

Условие (4.8) выполняется.

## 4.2 Расчет колонн

Расчетную схему можно представить в виде рамы с учетом следующих допущений [23]:

- 1) принимать поперечины абсолютно жесткими;
- 2) колонны жестко закреплены в поперечинах.

Так как сила возникающая при растяжении/сжатии образца действует по оси разрывной машины, то она располагается на расстоянии  $e=525$  мм до оси колонны (рисунок 18) и нормально действующая сила равна 10кН.

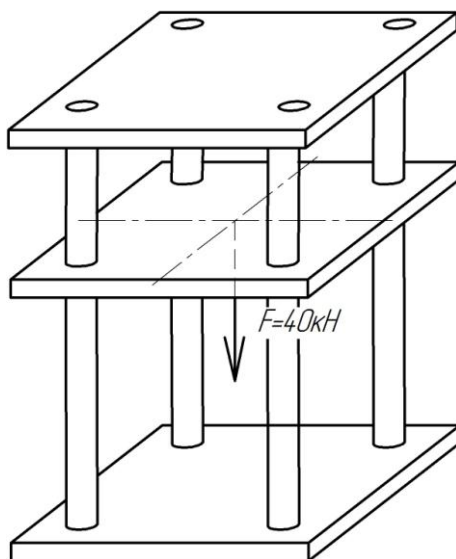


Рисунок 18 – Расчетная схема

Напряжение в колонне [23]

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}, \quad (4.9)$$

где  $A$  – площадь сечения колонны,  $A=2826 \text{ мм}^2$ ;

$W$  – момент сопротивления кручению,  $W=0,2d^3=0,2*60^3=43200 \text{ мм}^3$ ;

$M$  – изгибающий момент,  $M=eN=525*10000=5250000 \text{ Н*мм}^2$ .

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{10000}{2826} + \frac{5250000}{43200} = 125 \text{ Н / мм}^2.$$

Допускаемое напряжение [14]:

$$\sigma \leq \frac{\sigma_T}{3}, \quad (4.5)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести винта,  $\sigma_T=490$  МПа для стали 40Х [13].

Допустимое напряжение:

$$\sigma \leq \frac{\sigma_T}{3} = \frac{490}{3} = 163 \text{ Н / мм}^2.$$

Таким образом условие выполняется:

$$\sigma \leq \frac{\sigma_T}{3};$$

$$125 \text{ МПа} < 163 \text{ МПа}.$$

### 4.3 Расчет болтового соединения

Расчет напряжения в болтах крепления верхней поперечины и плитовины рассчитывается по формуле [32]:

$$\sigma_B = \frac{4F}{\pi d_B^2} k, \quad (4.6)$$

где  $F$  – максимальная нагрузка,  $F=40000$  Н;

$d_B$  – диаметр резьбы болтового соединения,  $d_B=48$  мм;

$k$  – коэффициент учитывающий предварительную затяжку болтов,  $k=1,3$  [32].

Тогда:

$$\sigma_B = \frac{8F}{\pi d_B^2} k = \frac{8 \cdot 40000}{3,14 \cdot 48^2} 1,3 = 44,232 \text{ МПа}.$$

Материал болтового соединения – сталь 40Х,  $\sigma_B=980$  МПа [19].

Тогда коэффициент запаса прочности [32]:

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma_B} = \frac{980}{44,232} = 22,156. \quad (4.7)$$

Рекомендуемый запас прочности болтового соединения [32] – 10, в данном расчете запас прочности составляет 22,156.

### 4.4 Проверочный расчет пальца на срез

Проводится проверочный расчет на срез пальца, схема среза представлена на рисунке 19. Расчет ведет по максимальной прикладываемой силе  $P=40$  кН. Материал пальца – Сталь 50.

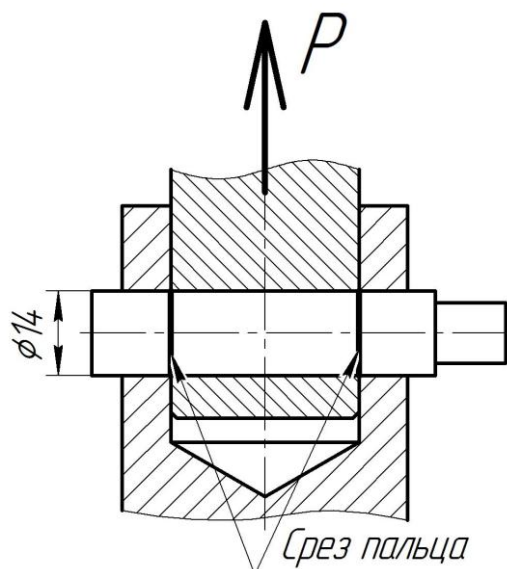


Рисунок 19 – Срез пальца

Допускаемое напряжение при срезе находится по зависимости [33]:

$$[\sigma_{ср}] = [0,4...0,5] \sigma_T = [0,4...0,5] 315 = 126...158 \text{ МПа}. \quad (4.8)$$

Расчетное напряжение среза не должно превышать допустимого по условию [33]:

$$\tau_{ср} \leq [\sigma_{ср}] \quad (4.9)$$

Расчетное напряжение среза определяется по следующей формуле [33]:

$$\tau_{ср} = \frac{P}{k \frac{\pi d^2}{4}}, \quad (4.10)$$

где  $P_{ш}$  – прикладываемая сила, кН;

$k$  – число плоскостей среза,  $k=2$ ;

$d$  – диаметр оси в месте среза,  $d=14$  мм.

Тогда:

$$\tau_{ср} = \frac{P}{k \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{40 \cdot 10^3}{2 \frac{3,14 \cdot 14^2}{4}} = 129,988 \text{ МПа}.$$

Условие (4.9) выполняется:

$$\tau_{ср} \leq [\sigma_{ср}]$$

$$129,988 \text{ МПа} \leq 158 \text{ МПа}.$$

## 5 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ

Разрывная машина состоит из рамы, которая состоит из верхней 1 и нижней 2 поперечины (чертеж ЮУрГУ-15.04.02-2017-227-01.00.00 СБ лист 3), плитовины 4 и направляющих колонн 12. Между двумя поперечинами установлены ходовые винты 13, связанный с приводом. При вращении винта 13 перемещаются гайки 20 и 21 (чертеж ЮУрГУ-15.04.02-2017-227-01.00.00 СБ лист 2), и перемещается связанная с ней траверса 3 по направляющим колоннам 12. В траверсе закреплены направляющие втулки. Винты вращаются от привода, состоящего из электродвигателя 64, червячного редуктора 65. Электродвигатель соединен с червячным редуктором посредством муфты 62, червячный редуктор с ходовым винтом посредством муфты 63.

Разрывная машина работает следующим образом. Крутящий момент от электродвигателя 64 через червячные редуктора 65 передается винтам 13. Вращение винтов 13 преобразуется гайками 20 и 21, размещенные в корпусе 19, который закреплен в траверсе 3, в поступательное перемещение.

В подвижной траверсе на каждом винте 3 имеется две гайки, нижняя гайка 20 закрепляется жестко в корпусе 19, который крепится к траверсе, а верхняя гайка 21 – выполнена плавающей, от проворачивания гайки 21 в корпусе 19 имеется направляющая шпонка 54. Между гайками внутри корпуса установлена пружина тарельчатая 55, которая выбирает люфт в резьбе по мере износа и перемещается в направляющей шпонке 54.

Верхние и нижние концы винтов установлены на подшипниках качения 42 и 43 в стаканах 16. На подвижную траверсу и нижнюю поперечину устанавливается зажим клиновой 6 фиксируемый пальцем 18 и круглой гайкой.

Для закрепления образца при испытании применяется клиновой захват. Достоинством клинового захвата является то, что при испытании происходит самозатягивание губок, сила зажима возрастает пропорционально приложенному усилию. На рисунке 20 представлен общий вид клинового захвата. Захват содержит корпус 1, в котором размещены клиновые губки 2. Приводная часть

включает в себя гайку 3, рукоятки 6 и резьбовую часть 4, взаимодействующую с корпусом 1. Для предотвращения перемещения гайки применяется буртик на штоке 5 и гайка 7. В корпусе 1 захвата установлен шток 5, на одном конце размещены губки 2, а на другом выполнен резьбовой участок на котором накручена гайка для фиксации захвата и отверстие для крепления захвата к разрывной машине с помощью пальца 9.

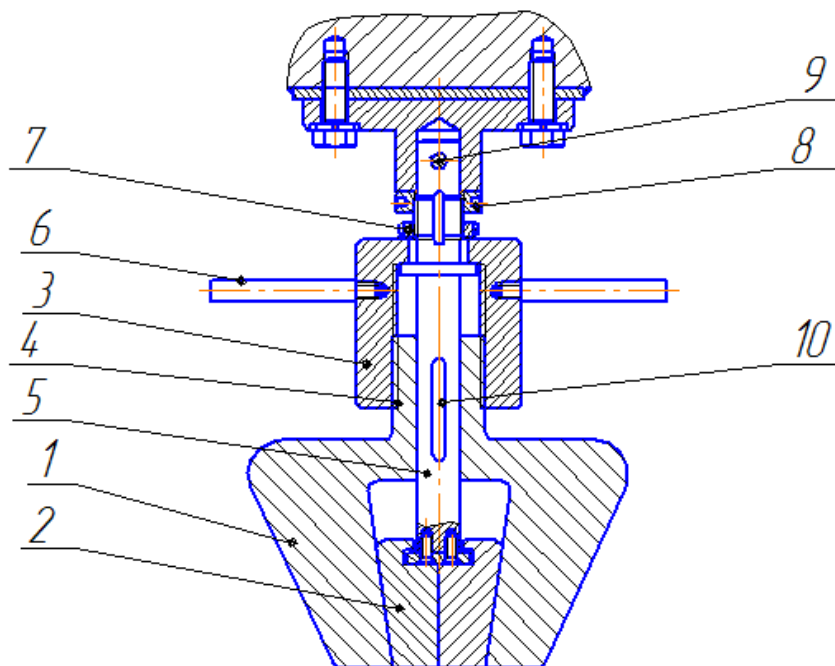


Рисунок 20 – Клиновой захват

Вращением гайки 3 осуществляется поступательное перемещение корпуса 1 относительно штока 9, при этом губки 2 сдвигаются к центру, происходит закрепление образца установленного между губок. Для предотвращения проворачивания гайки 3 применяется шпоночное соединение 10.

## **6 РАЗРАБОТКА СОПУТСТВУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБ**

### **6.1 Разработка оснастки для определения адгезии покрытия к стали методом отслаивания покрытия под углом 90°**

Метод предназначен для измерения адгезии покрытия на образцах, вырезанных из труб. Сущность метода заключается в определении нагрузки, при которой отслаивается покрытие под углом  $(90 \pm 10)^\circ$  полоса шириной  $(20 \pm 1)$  мм.

Адгезию полиэтиленового или полипропиленового покрытия к стали при температуре  $+20^\circ\text{C}$  определяют по ГОСТ 411 (метод А, угол отслаивания  $90^\circ$ ) [4]. Адгезию полиэтиленового или полипропиленового покрытия к стали при температуре  $+60^\circ\text{C}$ ,  $+80^\circ\text{C}$  и  $+110^\circ$ , а также после выдержки 1000 ч. в воде при температурах  $+20^\circ\text{C}$ ,  $+40^\circ\text{C}$ ,  $+60^\circ\text{C}$ ,  $+80^\circ\text{C}$ , определяют по ГОСТ 31448-2012 (приложения А и Б) [2].

Кроме указанных выше стандартных методик по определению адгезии покрытия к стали методом отслаивания полосы под углом  $(90 \pm 10)^\circ$ , данное испытание присутствует в следующих нормативных документах, отраслевых стандартах и технических условиях на трубы с покрытием:

1. CSA/Z245.20 «Заводское наружное покрытие для стальных труб» [6].
2. ГОСТ 9.602 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие технические требования к защите от коррозии» [7].
3. DIN 30670 «Полиэтиленовое покрытие для стальных труб и фитингов – технические требования и испытания» [8].
4. ОТТ-25.220.01-КТН-212-10 «Заводское полиэтиленовое покрытие труб. Общие технические требования» [34].

5. ОТТ-25.220.01-КТН-113-14 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Антикоррозионное покрытие для защиты подземных трубопроводов и оборудования. Общие технические требования» [35].

Образцами для испытаний являются образцы, вырезанные из труб с покрытием (полиэтиленовое и полипропиленовое покрытие) и образцы-свидетели (полиуретановое и полимочевинное покрытие). Рекомендуемые размеры образцов для испытаний  $(150...180) \times (80...100)$  мм [2] вырезанные длинной частью по направлению экструзии. Пропилы в покрытии выполняют вдоль длины образца на все толщину покрытия до металла. Ширина полос покрытия между пропилами  $(20 \pm 1)$  мм. Образец с пропилами приведен на рисунке 21. Количество параллельных образцов для заданных условий испытаний не менее трех. С каждого конца образца отслаивают по три полосы покрытия на дину  $(30 \pm 5)$  мм.

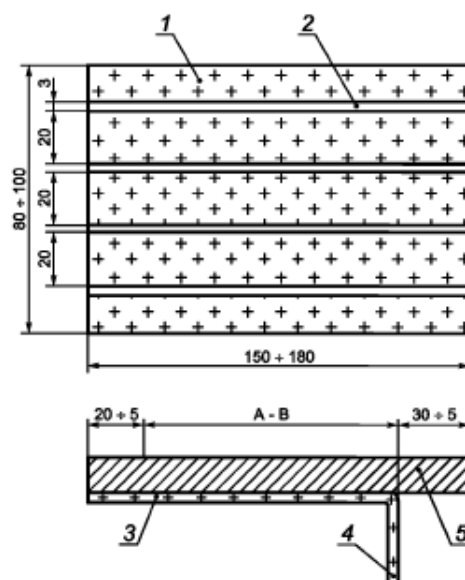


Рисунок 21 – Образец для определения адгезии покрытия под углом  $(90 \pm 10)^\circ$ : 1 – покрытие; 2 – пропил; 3 – основанная зона отслаивания; 4 – образец отслаиваемого покрытия; 5 – стальная подложка

Основное требование во всех стандартных методиках – обеспечить угол отслаивания покрытия под углом  $(90 \pm 10)^\circ$ . Для выполнения этого условия, предлагается оснастка к разрывной машине (рисунок 22).



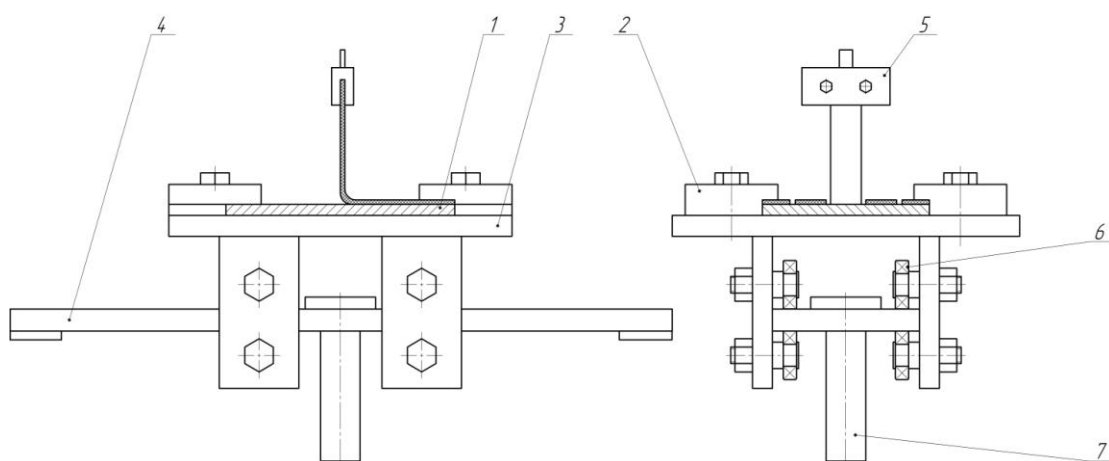


Рисунок 22 – Схема оснастки для определения адгезии покрытия к стали методом отслаивания полосы:

1 – образец; 2 – прихват; 3 – плита; 4 – направляющая; 5 – захват полосы; 6 – подшипник; 7 – переходник

На чертеже ЮУрГУ–15.04.02–2017–227–02.00.00 СБ, представлена оснастка разработанная на основе выше приведенной схемы, для определения адгезии покрытия к стали по ГОСТ 411 (метод А) на образцах-свидетелях и образцах вырезанных из труб диаметром от 530 мм до 1420 мм. При испытаниях образцов вырезанных из труб диаметром менее 530 мм не будет выполняться требование по отслаивания покрытия к криволинейной поверхности под углом  $(90 \pm 10)^\circ$ .

Образец закрепляется на подвижной каретке с помощью прихватов 5 (чертеж ЮУрГУ–15.04.02–2017–227–02.00.00 СБ), винта прижимного 6 и установочного 7. Каретка состоит из следующих деталей: столика 1, опор 2 и осей 3 с установленными на них подшипниками качения 18. Каретка перемещается по направляющей 4. Для остановки каретки в крайнем положении на направляющей 4 смонтированы планки 8. Подвижная каретка за счет подшипников качения 18 имеет возможность передвигаться по направляющей 4. К разрывной машине оснастка крепится с помощью переходника 9 и пальца, для фиксации в захвате разрывной машины предусмотрена гайка 10.

Испытание на оснастке проходит следующим образом. Образец крепится на подвижной каретке с помощью прихватов 5 и винта прижимного 6 и установочного 7. Свободный конец отслоенного покрытия закрепляют в подвижной захвате разрывной машины. Затем производят «натяг» полосы с

помощью разрывной машины, с целью выбрать зазоры и упругие деформации свободного конца покрытия. После проводят отслаивание покрытия от стали при скорости подвижного захвата разрывной машины 10 мм/мин. По мере отслаивания покрытия каретка будет смещаться в сторону, а свободный конец покрытия будет оставаться в вертикальном положении, тем самым обеспечивая угол отслаивания от криволинейной поверхности трубы пределах  $(90 \pm 10)^\circ$ .

Обработку результатов испытания проводят в соответствии с ГОСТ 31448-2012 (приложение А). Характер отрыва определяют в соответствии с ГОСТ 9.602 (приложение И).

## **6.2 Разработка оснастки для определения адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва (метод «грибка»)**

Метод предназначен для определения адгезии покрытия к стали при отслаивании методом нормального отрыва (метод «грибка»).

Адгезию лакокрасочного, полиуретанового или полимочевинного покрытия определяют по ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2016) [5] при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , а также после выдержки 1000 часов в воде при температурах  $+20^\circ\text{C}$ ,  $+40^\circ\text{C}$ ,  $+60^\circ\text{C}$  и  $+80^\circ\text{C}$  и автоклавных тестов.

Кроме указанных выше стандартных методик по определению адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва, данное испытание присутствует в следующих нормативных документах, отраслевых стандартах и технических условиях на трубы с покрытием:

1. CSA/Z245.20 «Заводское наружное покрытие для стальных труб» [6].
2. ОТТ-25.220.01-КТН-113-14 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Антикоррозионное покрытие для защиты подземных трубопроводов и оборудования. Общие технические требования» [35].
3. ОТТ-25.220.01-КТН-187-13 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Антикоррозионное покрытие для защиты внутренней поверхности резервуаров. Общие технические требования» [36].

4. ОТТ-23.080.00-КТН-137-09 «Магистральный нефтепровод. Трубы с силикатно-эмалевым покрытием для систем пожаротушения. Общие технические требования» [37].

Образцами для испытаний являются пластины или образцы-свидетели, металлические пластины с покрытием, нанесенном по принятой технологии одновременно с нанесением покрытия на изделие. Рекомендуемые размеры образцов для испытаний (150x100) мм [5]. Пропилы в покрытии выполняют вокруг «грибка», на все толщину покрытия до металла. Образец с пропилами и приклеенными «грибками» приведен на рисунке 23. Количество параллельных образцов для заданных условий испытаний не менее трех. С каждого конца образца отслаивают по три «грибка» диаметром 20 мм.

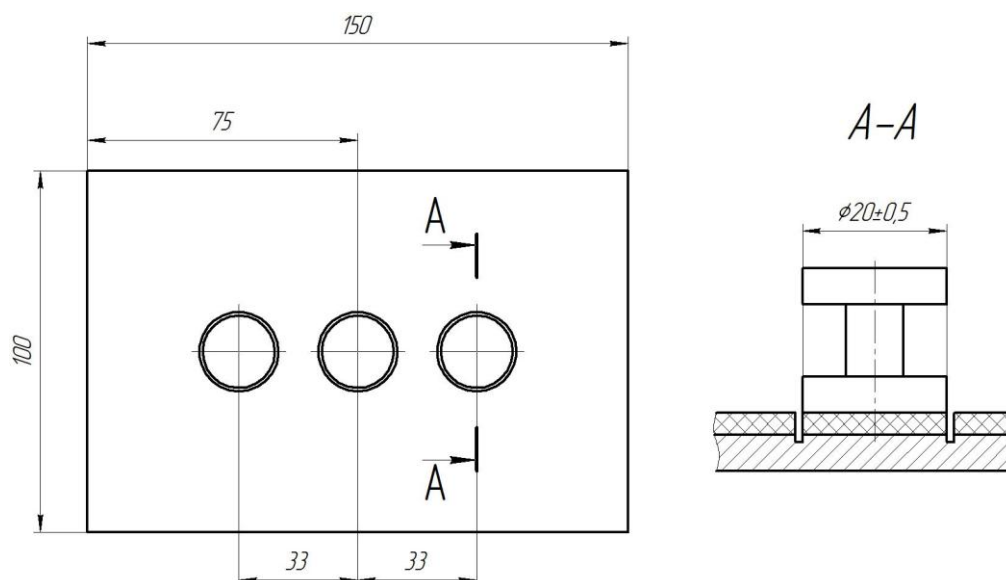


Рисунок 23 – Образец для определения адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва (метод «грибка»)

На чертеже ЮУрГУ–15.04.02–2017–227–03.00.00 СБ представлена оснастка для разрывной машины по определению адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва по ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2016) на пластинах и образцах-свидетелях.

Образец крепится в оснастке с помощью прихватов 4 (чертеж ЮУрГУ–15.04.02–2017–227–03.00.00 СБ), которые затягиваются с помощью гайки 2 и шпильки 9. Закрепление образца прихватами 4 обеспечивает его не подвижность в процессе испытания. Прихваты опускается по направляющим пальцам 5 и

подымаются при ослаблении затяжки гайки 2 за счет пружин 6. К разрывной машине оснастка крепится с помощью переходника 1 и пальца, для фиксации в захвате разрывной машины предусмотрена гайка 2.

После закрепления образца в оснастке, верхняя часть «грибка» закрепляется в подвижном захвате разрывной машины, после чего производится отрыв покрытия при скорости растяжении в соответствии с требованиями нормативных документов.

Обработку результатов испытания проводят в соответствии с ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2016). Характер отрыва определяют в соответствии с ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2016).

### 6.3 Разработка оснастки для определения стойкости покрытия к растрескиванию при трехточечном изгибе

Метод заключается в воздействии на середину образца, установленного на две опоры, изгибающего усилия, вызывающего прогиб образца на определенную величину. При этом покрытие должно сохранить сплошность. На рисунке 24 представлена схема трехточечного изгиба.

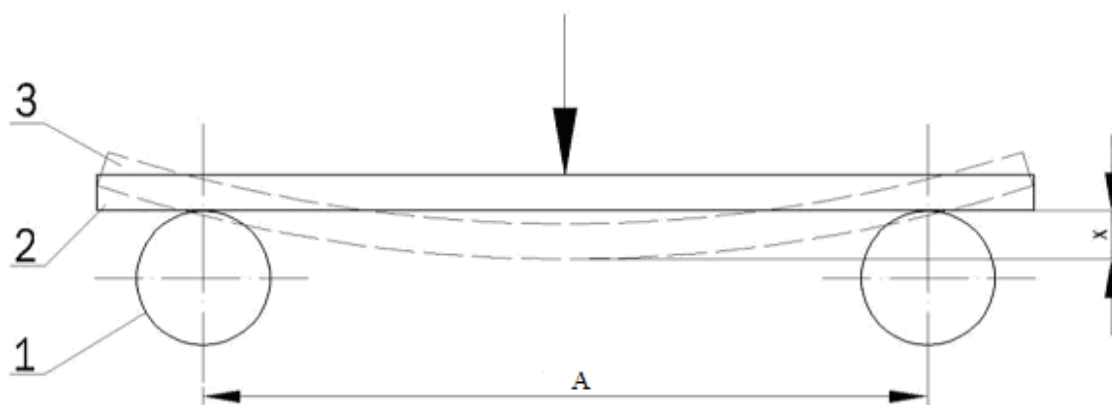


Рисунок 24 – Схема испытания при трехточечном изгибе:

1 – опора; 2 – образец с покрытием; 3 – изогнутый образец с покрытием;  
х – стрела прогиба; А - расстояние между опорами.

Испытания проводят на исходных образцах и образцах после испытаний по стойкости к термоциклированию по ГОСТ Р 53651-2009 (ISO 3248:1998) [38] и к воздействию переменных температур (термоциклирование) по ГОСТ 27037 [39].

Испытание по стойкости покрытия к трехточечному изгибу проводится в соответствии с требованиями нормативных документах, отраслевых стандартах и технических условиях на трубы с покрытием:

1. ОТТ-25.220.01-КТН-187-13 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Антикоррозионное покрытие для защиты внутренней поверхности резервуаров. Общие технические требования» [36].

2. ТУ 14-3Р-144-2016 «Трубы стальные насосно-компрессорные с внутренним защитным лакокрасочным покрытием» [40].

Также при разработке оснастки учитываются требования к оснастке для трехточечного изгиба, в разрабатываемом на данный момент ГОСТ Р «Внутренние защитные покрытия стальных труб и соединительных деталей, используемых в нефтяной и газовой промышленности»

На основе анализа приведенных выше нормативной документации составляется таблица 6.1 с требованиями к оснастке.

Таблица 6.1 – Требования к оснастке для определения стойкости покрытия к растрескиванию при трехточечном изгибе

	ГОСТ Р	ОТТ-25.220.01-КТН-187-13	ТУ 14-3Р-144-2016
Размеры образца, мм	(250...270)х(25...50)	–	(250...270)х(25...50)
Радиус пуансона и опор, мм	$10 \pm 0,5$	–	10
Расстояние между опорами, мм	$200 \pm 10$	100	200

Из таблицы 6.1 видно, что необходимо спроектировать оснастку с возможностью менять расстояние между опорами, в зависимости по какой нормативной документации будет проводиться испытание.

Оснастка для определения стойкости покрытия к трехточечному изгибу состоит из двух частей: опоры (чертеж ЮУрГУ–15.04.02–2017–227–04.00.00 СБ) и пуансона (чертеж ЮУрГУ–15.04.02–2017–227–05.00.00 СБ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ используемой нормативной документации при проведении механических испытаний полимерных защитных покрытий труб. Рассматривалась нормативная документация следующих видов, как национальные стандарты, отраслевые стандарты, технические условия. В результате анализа определены особенности проведения механических испытаний полимерных защитных покрытий труб, а также необходимость разработки универсальной разрывной машины и сопутствующей оснастки, с целью обеспечения соответствия проводимых механических испытаний защитных полимерных покрытий труб требованиям стандартных методик.

2. На основе рассмотренных существующих конструкции разрывных машин и предъявляемых требований, предложена конструкция разрывной машины, которая удовлетворяет предъявленные требования. Отличительной особенностью разрывной машины является увеличенный ход траверсы, что позволяет проводить испытания по определению прочности при разрыве отслоенного покрытия при повышенных температурах.

3. На основе требований нормативной документации по проведению испытаний, разработана сопутствующая оснастка к разрывной машине. Разработана оснастка для определения адгезии покрытия к стали методом отслаивания полосы по ГОСТ 411 (метода А). Данная оснастка обеспечивает угол отслаивания покрытия  $(90 \pm 10)^\circ$  к криволинейной поверхности образца, вырезанного из трубы диаметром 530...1420 мм. Разработана также оснастка для определения адгезии покрытия к стали методом нормального отрыва (метод «грибка») по ГОСТ 32299–2013 (ISO 4624:2016). Разработана оснастка для определения стойкости внутреннего покрытия к трехточечному изгибу.

Задачи выпускной квалификационной работы решены. Поставленные цели достигнуты.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жуков, А.Е. Механические испытания материалов: учебное пособие / А.Е. Жуков, А.Г. Кипарисов, А.А. Миронов, Н.Н. Михеев и др. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2014. – 86 с.
2. ГОСТ 31448–2012. Трубы стальные с защитными наружными покрытиями для магистральных газонефтепроводов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.
3. ГОСТ 11262–80. Пластмассы. Методика испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 16 с.
4. ГОСТ 411–77. Резина и клей. Методы определения прочности связи с металлом при отслаивании. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 11 с.
5. ГОСТ 32299–2013 (ISO 4624:2016). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
6. CSA Z245.20 Series-14. Plant-applied external coatings for steel pipe / Заводское внешнее покрытие труб. –Mississauga: Canadian standards association, 2014. – 202 с.
7. ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие технические требования к защите от коррозии. – М.: Стандартинформ, 2006. – 55 с.
8. DIN 30670:2012–04. Polyethylen coatings of steel pipes and fittings - Requirements and testings / Полиэтиленовые покрытия для стальных труб и фитингов – технические требования и испытания. – Берлин: German Institute for Standardisation, 2012. – 39 с.
9. ГОСТ 28840-90. Машины для испытаний материалов на растяжения, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – М.: изд-во стандартов, 1993. – 8 с.
10. Испытательная техника: справочник: в 2-х кн. /Г.С. Батуев, А.С. Больших, В.С. Голубков, Д.А. Гречинский, В.Н. Гудцов и др.; под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 528 с.

11. <http://www.measurement.ru/gk/mehan/03/010.htm> (дата обращения: 11.2015 г.).
12. Пат. 2194264 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 N 3/08. Машина испытательная разрывная / А.Ф. Кравченко, А.И. Бугаец, С.М. Чиликов, Е.Н. Потаенко. – № 2001107331/28; заявл. 19.03.2001; опубл. 10.12.2002. – 4 с.
13. Испытательные машины компании ООО «МЕТРОТЕСТ» – <http://машина-разрывная.рф/katalog.pdf>. (дата обращения: 11.2015 г.)
14. Испытательные машины компании Zwick серия ProLine – <http://www.zwick.ru/ru/produkcija/staticheskie-ispytatelnye-mashiny/ispytatelnye-mashiny-nominalom-ot-5-kn-do-250-kn/ispytatelnye-mashiny-proline.html> (дата обращения: 11.2015 г.).
15. А.с. 1037149 А1 СССР, МКИ G 01 N 19/04. Устройство для определения прочности сцепления покрытия с подложкой при отслаивании / С.В. Буйлов, С.И. Корягин. – №3431124/25-28; заявл. 21.04.82; опубл. 23.08.83, Бюл. № 31.
16. А.с. 1516903 А1 СССР, МКИ G 01 N 19/04. Устройство для определения прочности сцепления покрытия с подложкой при отслаивании / С.П. Александров, И.П. Сухарев. – №4354788/25-28; заявл. 04.01.88; опубл. 23.10.89, Бюл. № 39.
17. Пат. 2394224 Российская Федерация, МПК G 01 N 19/04. Устройство для определения прочности сцепления покрытия на трубе при отслаивании / В.Л. Дебеев, А.М. Кочкин, С.И. Оловянников, В.Д. Павлов. – 2008107433/28; заявл. 26.02.2008; опубл. 10.07.2010. – 3 с.
18. Варганов, В.О. Передача винт-гайка: учебное пособие / В.О. Варганов, М.В. Авакумов, В.М. Гребникова, В.А. Романов. – СПб.: СПбГТУРП, 2015. – 57 с.
19. Сорокин, В.Г. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В.Г. Сорокин и др. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2001. – 608с.
20. Мартыненко, В.А. Детали машин. Раздел «Винтовые передачи»: учебное пособие / В.А. Мартыненко, В.А. Грядунов. – Днепропетровск: НМетАУ, 2009. – 44 с.



21. ГОСТ 24737-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба трапецеидальная однозаходная. Основные размеры. – М.: изд-во стандартов, 1982. – 11 с.
22. Бабкин, А.И. Проектирование винтовых механизмов. Учебно-методическое пособие для курсового проектирования / А.И. Бабкин, А.С. Морозов, И.А. Дужевский. – Северодвинск: РИО Севмашвуз, 2008. – 68 с.
23. ГОСТ 6639-69. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры. – М.: изд-во стандартов, 1970. – 5 с.
24. Гребник, В.М. Расчет металлургических машин и механизмов / В.М. Гребник, Ф.К. Иванченко, В.И. Ширяев. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 448 с.
25. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / В.И. Анурьев; под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – Т.2 – 912 с.
26. Чернавский, С.А. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов / С.А.Чернавский, И. М. Чернин и др. – 2-е изд., переизд. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 416с.
27. ГОСТ 2144-76. Передачи червячные цилиндрические. Основные параметры. – М.: издательство стандартов, 1977 – 4 с.
28. <http://www.265260.ru/katalog/internet-magazin/motors/elektrodvigateli-asinhronnye/elektrodvigateli-serii-ais-750-ob/55-kvt-750-ob-min-54> (дата обращения: 11.2016 г.).
29. <http://www.indelta.ru/elektrooborudovanie/preobrazovateli-chastoty/vesper-pch/preobrazovatelchastoty-vesper-ei-7011~art9592.html> (дата обращения: 11.2016 г.)
30. <http://www.evroprivod.ru/about/> (дата обращения: 11.2016 г.)
31. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: учеб. пособие для вузов / Г.М. Ицкович, Л.С. Минин, А.И. Винокуров; под ред. Л.С. Минина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1999. – 592 с.

32. Детали машин. Расчет и конструирование. Справочник в 2 т. / В.Л. Бидерман, В.В. Ермаков, В.В. Каминская и др.; под ред. Н.С. Ачеркана. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – Т.2. – с.
33. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / В.И. Анурьев; под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – Т.3 – 920 с.
34. ОТТ-25.220.01-КТН-212-10 «Заводское полиэтиленовое покрытие труб. Общие технические требования».
35. ОТТ-25.220.01-КТН-113-14 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Антикоррозионное покрытие для защиты подземных трубопроводов и оборудования. Общие технические требования».
36. ОТТ-25.220.01-КТН-187-13 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Антикоррозионное покрытие для защиты внутренней поверхности резервуаров. Общие технические требования».
37. ОТТ-23.080.00-КТН-137-09 «Магистральный нефтепровод. Трубы с силикатно-эмалевым покрытием для систем пожаротушения. Общие технические требования».
38. ГОСТ Р 53651-2009 (ISO 3248:1998). Материала лакокрасочные. Метод определения теплового воздействия. – М.: Стандартиформ, 2015. – 11 с.
39. ГОСТ 27037-86. Материалы лакокрасочные. Метод определения устойчивости к воздействию температур. – М.: изд-во стандартов, 1987. – 4 с.
40. ТУ 14-ЗР-144-2016 «Трубы стальные насосно-компрессорные с внутренним защитным лакокрасочным покрытием»