

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

На правах рукописи



Родионова Елена Николаевна

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОПРЯГАЕМЫХ ТРУБ
И СБОРКИ КОРПУСОВ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
(НА ПРИМЕРЕ РСЗО «ГРАД»)**

Специальность 2.5.6 – Технология машиностроения

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Ямников А.С.

Тула 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОЛОВНЫХ И ХВОСТОВЫХ ТРУБ В ОПЫТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	15
<i>1.1 Технология изготовления головных и хвостовых труб в опытном производстве.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2 Характеристика способа формообразования заготовок головных и хвостовых труб.....</i>	<i>22</i>
<i>1.3 Исследование точности изготовления головных и хвостовых труб при комбинировании обработки давлением и резанием</i>	<i>25</i>
1.3.1 Влияние технологического наследования на операции трехроликовой раскатки	25
1.3.2 Исследование точности комплексной технологии.....	28
1.3.3 Анализ низкого запаса точности при обработке некоторых поверхностей.....	33
<i>1.4 Выводы</i>	<i>36</i>
2 Исследования точности партии головных труб, обработанных по модернизированной технологии	38
<i>2.1 Основные моменты модернизированной технологии.....</i>	<i>38</i>
<i>2.1.1 Корректирование действующего технологического процесса предварительной механической обработки головных и хвостовых труб.....</i>	<i>38</i>
<i>2.1.2 Окончательная механическая обработка.....</i>	<i>39</i>
<i>2.2 Экспериментальное определение запаса точности головных труб, изготовленных на предложенном оборудовании.....</i>	<i>42</i>
<i>2.3 Статистические исследования точности обработанной партии головных и хвостовых труб</i>	<i>45</i>
2.3.1 Определение вида и параметров закона распределения замеренных параметров	45
2.3.2 Проверка массивов на соответствие нормальному закону распределения.....	46
2.3.3 Расчет основных описательных статистик	48
2.4 Множественный регрессионный анализ в системе STATISTICA.....	49
2.5 Выводы	62
3 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ СОБИРАЕМЫХ ТРУБ НА ТОЧНОСТЬ СБОРКИ КОРПУСА РАКЕТНОЙ ЧАСТИ СНАРЯДА.....	64
3.1 Анализ технологичности корпуса ракетной части снаряда.....	64
3.2 Анализ базисных свойств соединений труб по торцу, центрирующему пояску и упорной резьбе.....	65

3.3 Метрологические особенности резьбовых соединений.....	68
3.4 Определение зависимости ключевых параметров собранного корпуса ракетной части снаряда от параметров собираемых труб.....	71
3.6 Технологический процесс сборки.....	76
3.6.1 Анализ влияния параметров собираемых труб на параметры выходного сбранного ракетного двигателя.....	78
3.6.2 Выходные параметры собранного двигателя реактивного снаряда.....	84
3.7 Выводы.....	86
4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВХОЖДЕНИЯ КОРПУСА РАКЕТНОЙ ЧАСТИ СНАРЯДА В ПУСКОВУЮ НАПРАВЛЯЮЩУЮ.....	87
4.1 Определение условий вхождения собранных изделий.....	87
4.2 Математическое выражение размера вхождения.....	89
4.3 Методические основы прямого измерения фактического размера вхождения корпуса ракетной части снаряда.....	93
4.4 Апробация способа контроля вхождения реактивного снаряда в пусковую направляющую в условиях действующего производства.....	95
4.5 Выводы.....	97
5 УПРАВЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ТРУБ, СВИНЧИВАЕМЫХ ПО УПОРНОЙ РЕЗЬБЕ, И СБОРОЧНЫЙ СТЕНД ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТОГО ПРОЦЕССА.....	99
5.1 Точность формы сопрягаемых поверхностей труб.....	99
5.2 Технология сборки труб корпуса ракетной части снаряда с соблюдением предельного размера вхождения.....	102
5.3 Выводы.....	108
Заключение.....	109
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	112
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 П.1.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 П.2.....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	162

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения обороноспособности страны широкое применение находят реактивные системы залпового огня с твердотопливными ракетными двигателями. Эффективность данных систем зависит от точности доставки в расчетную точку пространства головной части, где находится носитель, определяющий функциональное назначение реактивного снаряда.

Реактивные системы залпового огня имеются у многих армий ведущих мировых государств. Значительное увеличение круга задач для реактивных снарядов залпового огня (рис. В.1), требование поражения целей различной конфигурации и размеров выдвигают требования к оптимизации тактико-технических характеристик, а также к безотказному функционированию изделий.



Рисунок В.1 – Пусковая установка

03 февраля 2017 г. Министр обороны РФ генерал армии С.К. Шойгу, с рабочей поездкой посетил НПО «Сплав», где проверил выполнение Государственного оборонного заказа (рис. В.2).



Рисунок В.2 – Визит Министра обороны РФ

На совещании Министр обороны РФ заявил, что модернизация производства НПО «Сплав» не должна отразиться ни на качестве, ни на объемах и сроках выполнения Государственного оборонного заказа [10].

Реактивные системы залпового огня являются наиболее мощным средством огневой поддержки наземных группировок войск. На современном этапе за рубежом в основном осуществляется модернизация существующих образцов, направленная на повышение боевых показателей и эксплуатационных характеристик таких систем путем совершенствования, прежде всего артиллерийской части и бортовой системы управления огнем. Данные работы ведутся для обеспечения возможности ведения стрельбы управляемыми боеприпасами и увеличения точности поражения (рис. В.3).



Рисунок В.3 – Зарубежные РСЗО

Модернизированные реактивные системы залпового огня наряду с неуправляемыми реактивными снарядами (рис. В.4) и оперативно-тактическими ракетами может применять управляемые реактивные снаряды увеличенной дальности с точностью стрельбы [114-119].

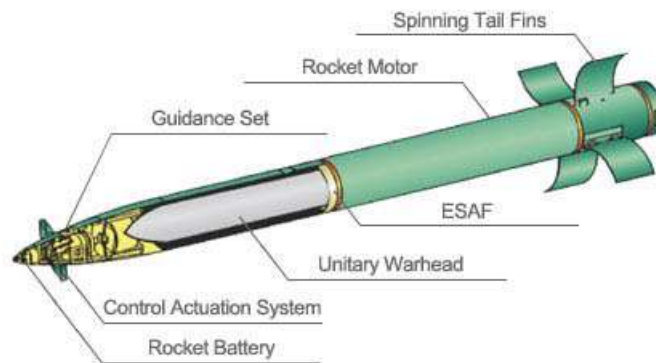


Рисунок В.4 – Реактивный снаряд установки MLRS

Таким образом, по оценке западных военных экспертов, системы реактивной артиллерии, в том числе большой дальности, занимая по своим боевым возможностям промежуточное положение между орудиями полевой артиллерии и комплексами оперативно-тактических ракет, позволяют решать широкий спектр огневых задач и обеспечивают высокую степень оперативной внезапности нанесения ударов по противнику. Вместе с тем в ближайшей перспективе разработка в ведущих государствах новых

реактивных систем залпового огня с использованием качественно новых принципов создания систем подобного типа не ожидается [16].

Анализ различных источников о технологиях изготовления корпусов реактивных двигателей зарубежных реактивных систем залпового огня показал, что информация является засекреченной и в открытом доступе не находится. Отличием зарубежных вариантов является более упрощенная конструкция и использование только цельных, а не сборных корпусов реактивного двигателя.

«В 2017 г. на предприятии АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева» был дан старт проекту «Прорыв», направленному на расширение производственных мощностей, – заявил ген. директор АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева» В. Н. Лепин. – В рамках проекта был приобретен новый цех, на базе которого будет развернуто производство снарядов для РСЗО «Град» нового поколения. Их выпуск возобновляется по поручению Президента РФ В.В. Путина. Эти изделия востребованы как Минобороны РФ, так и иностранными государствами» [17].

Конструктивными преимуществами реактивных снарядов для реактивных систем залпового огня «Град» по сравнению с реактивными снарядами для реактивных систем залпового огня «Торнадо-Г» (по которым ранее проводились исследования авторами [35, 51]) является снижение стоимости решения боевой задачи. В частности, за счет упрощения конструкции снаряда: применение корпусов, изготовленных без сварки способом холодной штамповки (обтекатель, лопасть, кольцо, звено, шунт и др.), использование сборных хвостовых и головных труб корпуса ракетной части без ряда конструктивных элементов, нежели у «Торнадо-Г» (наружной и внутренних канавок, поясков под уплотнительные манжеты).

Машиностроительное производство сталкивается с трудностями, так как ужесточение допусков на изготовление и сборку деталей и узлов реактивных снарядов приводит к необходимости повышения точности

механической обработки и разработки новых, более точных способов автоматизированной сборки. Выходные параметры качества реактивного снаряда не всегда входят в технологические размерные цепи, что приводит к тому, что изделия, признанные годными, не обеспечивают своего функционального назначения. Одним из основных требований, предъявляемых к реактивным снарядам, является его вхождение в пусковую трубу, то есть корпус снаряда должен войти в пусковую трубу и гарантированно выйти. Однако это требование не всегда выполняется при эксплуатации реактивных снарядов, что увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций. Вхождение в условиях действующего производства контролируется косвенными параметрами, которые не дают возможность управлять как процессом изготовления (механической обработкой) отдельных деталей, так и процессом сборки.

В процессе изготовления и сборки снарядов возникают различные трудности со стабильностью гарантированной точности механической обработки хвостовых и головных труб, а также случаи с повторной переборкой снарядов, связанной с селективной сборкой.

Известны работы А.С. Ямникова, В.В. Семина, А.Ю. Илюхина, О.В. Илюхиной, А.А. Редько, С.А. Полторыхина, С.А. Кудрявцева, И.Л. Косарева по изучению и разработке технических решений при изготовлении труб корпуса ракетной части снаряда из заготовок, полученных штамповкой из листового проката. Н.А. Макаровец, С.С. Яковлев, В.И. Трегубов, О.В. Пилипенко и В.А. Корольков разработали процесс трехроликовой раскатки с утонением стенки трубных полуфабрикатов из горячекатаной трубы, повышающий коэффициент использования и механические свойства материала. И.А. Матвеев рассмотрел технологию механической обработки корпуса ракетной части снаряда из монолитной трубы, полученной с использованием трехроликовой раскатки.

В рассматриваемом случае корпус ракетного двигателя получают сборкой двух труб, заготовкой для которых служит полуфабрикат, полученной с использованием трехроликовой раскатки. В процессе изготовления и сборки ракетных двигателей возникают технические проблемы со стабильностью обеспечения заданной точности механической обработки хвостовых и головных труб. Одним из основных требований, предъявляемых к ракетным двигателям, является их вхождение в пусковую трубу, то есть корпус ракетного двигателя должен войти в пусковую трубу и гарантированно выйти. Вхождение в условиях действующего производства контролируется косвенными параметрами, которые не дают возможность управлять как процессом изготовления (механической обработкой) отдельных деталей, так и процессом сборки.

Поэтому теоретическое обоснование и разработка новых технологических решений изготовления деталей и сборки корпусов ракетных двигателей, является *актуальной* научной задачей.

Целью работы является повышение эффективности механической обработки и сборки тонкостенных трубчатых корпусов ракетных двигателей, изготавливаемых при сочетании обработки резанием и трехроликовой раскатки полуфабрикатов, путем совершенствования технологии изготовления элементов корпусов, метрологии и технологии сборки ракетного двигателя.

Необходимо решить следующие **задачи**:

1. Исследовать основные закономерности изменения точности обрабатываемых заготовок по ходу опытного технологического процесса с комбинированием операций механической обработки и трехроликовой раскатки.

2. Исследовать влияние изменений, внесенных в схемы базирования, маршрут и применяемое в серийной технологии оборудование, на точность механической обработки и влияние на погрешности изготовления труб после

трехроликовой раскатки от одноименных погрешностей до трехроликовой раскатки.

3. Выявить влияние погрешностей собираемых труб на точность сборки корпуса ракетной части снаряда.

4. Найти аналитическое выражение размера вхождения и методические основы контроля размера вхождения корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу.

5. Обосновать возможность управления относительным положением труб, свинчиваемых по упорной резьбе и создать технологическую оснастку для реализации этого управления.

Объект исследования - технологические процессы механической обработки и трехроликовой раскатки труб, а также процессы технологического контроля и сборки составного корпуса реактивного двигателя.

Предмет исследования - размерные, статистические связи и зависимости в комплексной технологии изготовления составного корпуса ракетной части снаряда способами резания, давления и сборки, оказывающие влияние на точность составного корпуса реактивного двигателя.

Методологической базой исследований являются статистические и аналитические методы исследования точности изготовления деталей и сборочных размерных цепей.

Теоретической базой исследований являются теоретические основы технологии машиностроения, математического анализа и статистики.

Экспериментальной базой исследований являются действующие техпроцессы изготовления составных корпусов двигателя на АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева», поверенные универсальные средства измерения и специальные контрольные стенды, используемые в серийном производстве в отделах технического контроля и в измерительной лаборатории.

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Результаты корреляционного и регрессионного анализа опытной технологии, которые показали, что низкий коэффициент запаса точности на операциях механической обработки вызван несовершенством опытной технологии и применением нерациональных схем базирования заготовок на механической обработке, а также, что корреляционная связь между обработкой до и после трехроликовой раскатки с утонением стенки статистически незначима.

2. Результаты исследований разработанной серийной технологии, показывающие, что коэффициент запаса точности на операциях механической обработки, основанных на двойном двухстороннем центрировании заготовок, на всех операциях превышает единицу; причем операция трехроликовой раскатки с утонением стенки в комплексной технологии, включающей механическую обработку заготовки до и после трехроликовой раскатки, является бифуркационной точкой, в которой прекращается передача наследственных погрешностей.

3. Уравнения регрессии, связывающие радиальное и торцовое биение головных и хвостовых труб с биением среднего центрирующего утолщения собранного корпуса, торцовым зазором между трубами и биением соплового блока.

4. Аналитическое выражение размера вхождения и методические основы контроля размера вхождения корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу.

5. Теоретическое обоснование возможности управления относительным положением труб, свинчиваемых по упорной резьбе, и стенд для реализации этого способа.

Научная новизна: состоит в том, что

- впервые доказан факт стирания на операции трехроликовой раскатки с утонением стенки технологической наследственности от предшествующих операций механической обработки;

- теоретически обоснована замена косвенного контроля входимости собранного ракетного двигателя в пусковую трубу измерением радиального биения среднего центрирующего утолщения на более точный и производительный способ прямого контроля размера вхождения;

- теоретически обоснован способ управления относительным положением труб, свинчиваемых по упорной резьбе, при автоматизированной сборке в условиях наличия избыточных связей по основным конструкторским базам.

Теоретическая значимость состоит в том, что в работе расширена и дополнена теория точности технологических процессов в машиностроении и теория технологического наследования, а также дополнены положения теории решения сборочных размерных цепей вероятностным методом в условиях наличия избыточных связей по основным конструкторским базам.

Практическая значимость работы. Рекомендации по повышению точности токарной обработки труб двигателя и их сборки на основе предложенных технических решений гарантированно обеспечивают точность изготовления труб и собранного корпуса ракетной части снаряда.

Экспериментальные исследования сделаны на предприятии АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева». Технические рекомендации, разработанные на основании НИР, внедрены на предприятии.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа представляет собой новое решение актуальной научно-технической задачи - гарантированного обеспечения точности составных труб и сборки ракетного двигателя.

Содержание исследований соответствует **специальности** 2.5.6 – «Технология машиностроения». Область исследования: № 2

(технологические процессы, операции, позиции, технологические переходы и рабочие хода, обеспечивающие повышение качества изделий) и № 6 (технологическая наследственность в машиностроении).

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на 7 всероссийских конференциях, конференциях с международным участием и международных симпозиумах, а также на ежегодных НТК преподавателей и сотрудников ТулГУ в 2017-2021 г.:

1. XIII Международная научно-практическая конференция «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации», г. Курск, 2018 г.

2. XVI Международная научно-практическая конференция «Энерго и ресурсосбережение XXI век», г. Орел, 2018 г.

3. IV Международная научно-практическая конференция «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве», г. Чебоксары, 2018 г.

4. Международный научный симпозиум технологов-машиностроителей «Наукоемкие и виброволновые технологии обработки деталей высокотехнологичных изделий», Ростов-на-Дону, 2018 г.

5. XIX Всероссийская научно-техническая конференция АКТТИ-2018, Пермь, 2018 г.

6. Международная научная конференция теоретических и прикладных разработок, г. Москва, 2019 г.

7. Всероссийская научно-техническая конференция «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» г. Тула, 2019 г.

Публикации результатов работы. По материалам диссертации опубликовано 29 научных работ, в том числе 11 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 9 статей, входящие в международную систему цитирования Scopus, 7 публикаций по материалам

научных конференций различного уровня. Зарегистрировано 2 патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из: введения; пяти глав; заключения; списка сокращений и условных обозначений; словаря терминов; списка литературы; приложений. Основная часть работы изложена на 163 страницах, содержит 68 рисунков, 12 таблиц. Список использованных источников состоит из 119 наименования.

1 АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОЛОВНЫХ И ХВОСТОВЫХ ТРУБ В ОПЫТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

1.1 Технология изготовления головных и хвостовых труб в опытном производстве

В опытно-серийной технологии использовали имеющееся, в основном универсальное оборудование. Тем не менее, было решено провести исследование основных закономерностей изменения точности обрабатываемых заготовок по ходу технологического процесса, поскольку сами процессы формообразования не предполагалось менять и в серийном производстве. Так на рис. 1.1 и 1.2 представлены эскизы исследуемых головных и хвостовых труб.

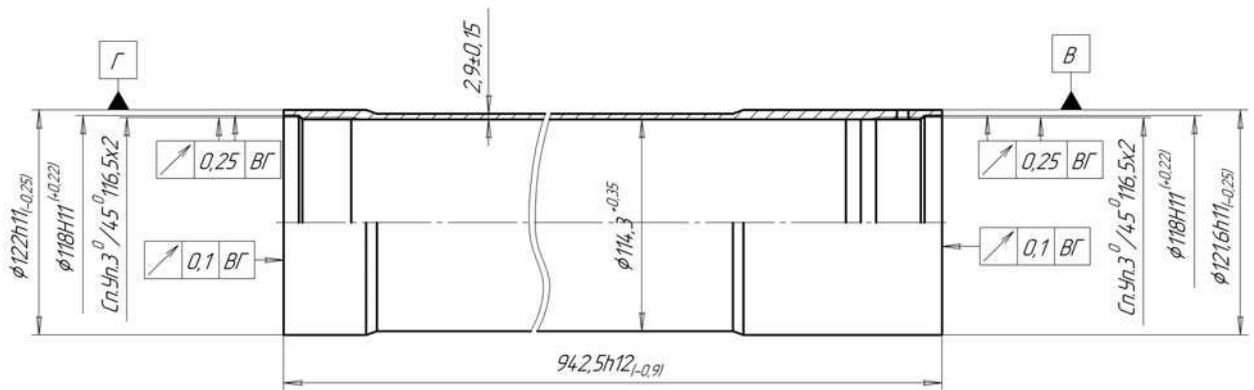


Рисунок 1.1 – Труба головная

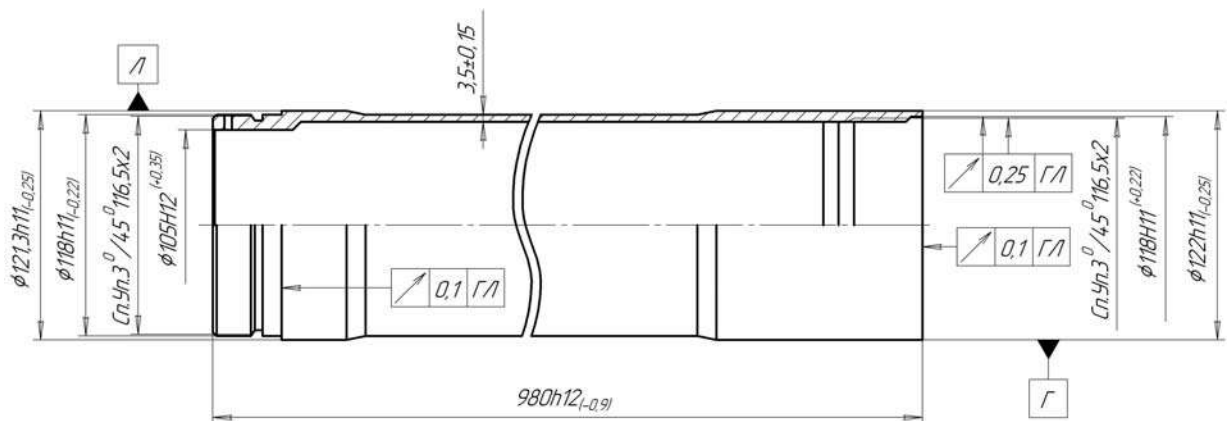


Рисунок 1.2 – Труба хвостовая

В качестве заготовки используют горячекатаную трубу 110×14 по ТУ 1308-005-33116077-2001 (комплексно-легированная конструкционная сталь 12Х3ГНМФБА [70]), производят закалку (температура 910...950°С) с охлаждением в воде или на воздухе и отпуске (температура 560...580°С).

Особым техническим требованием конструкторских чертежей труб является сочетание допуска на диаметр 0,25 мм и овальности поверхности – 0,3 мм, причем: максимальное значение диаметра $\varnothing 122_{-0,25}$ – 122,3 мм, при минимальном - 121,45 мм (в пределах партии деталей). Такое сочетание допусков противоречит общим положениям, когда допуск на погрешность формы должен укладываться в поле допуска размера контролируемой поверхности [15].

Маршрут технологического процесса изготовления сборных головных и хвостовых труб разработан для опытного производства. Характерные черты: метод формообразования заготовки трехроlikовой раскаткой; использование при механической обработке универсального оборудования, а также использование специальных средств контроля.

Технологический процесс представляет собой следующую последовательность операций: отрезная, предварительная токарная обработка, обжим и токарная обработка перед закалкой и отпуском, после этого выполняется ряд токарных операций до и после трехроlikовой раскатки с требуемыми замерами. На рис. 1.3 представлены 3D модели основных операций технологии изготовления головной и хвостовой трубы, где:

- а) отрезка;
- б) обжим;
- в) механическая обработка под закаливание;
- г) механическая обработка под раскатку;
- д) трехроlikовая раскатка;
- е) окончательная механическая обработка.

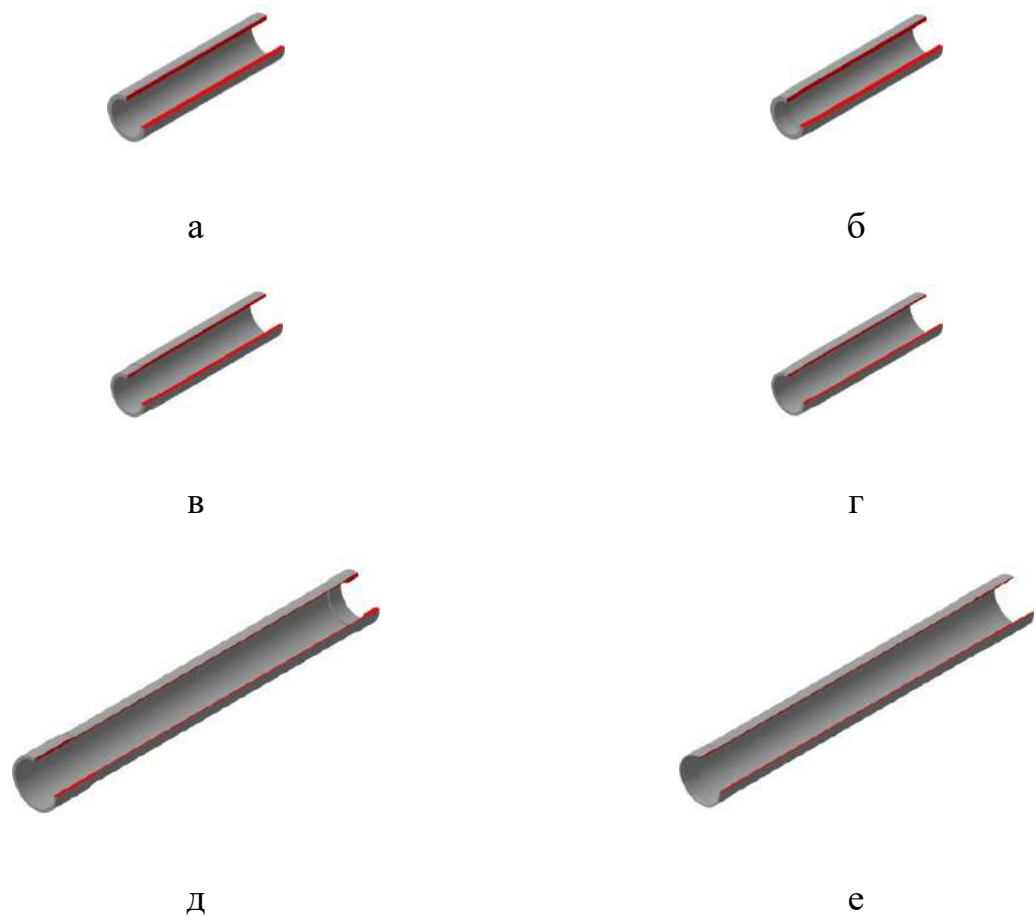


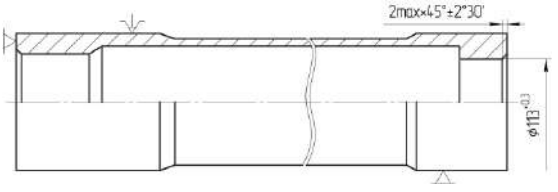
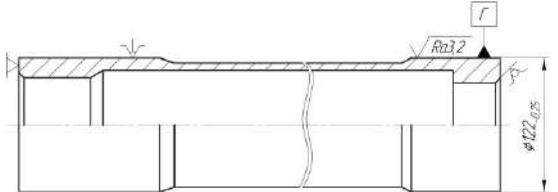
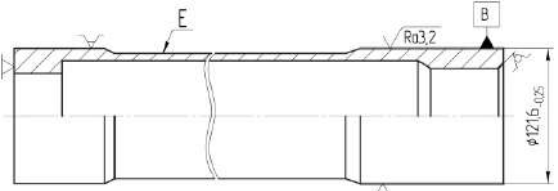
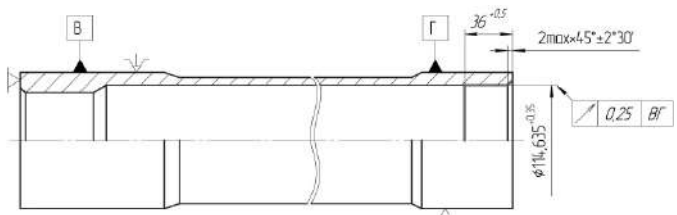
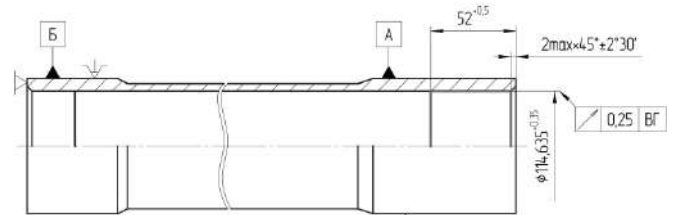
Рисунок 1.3 – 3D модели технологических стадий изменения головной трубы

Основные типовые операционные эскизы технологического процесса обработки головной и хвостовой трубы приведены в таблице 1.1. На эскизах операций 005...035 не показаны схемы базирования из-за обобщенной схемы обработки на данных эскизах.

Таблица 1.1 – Схема технологического маршрута изготовления головной и хвостовой трубы в опытном производстве (на примере трубы хвостовой)

Номер операции	Наименование операции/ Оборудование	Операционный эскиз
005	Заготовительная/ Станок ленточнопильный	
010	Токарная/ Токарно винторезный станок 1М63	
015	Обжим/ Пресс КВ-2536	
020	Токарная/ Токарно винторезный станок 1М63	
025	Термическая (закаливание)	-

Номер операции	Наименование операции/ Оборудование	Операционный эскиз
030	Токарная/ Токарно винторезный станок 1М63	
035	Трехроликовая раскатка / Раскатной стан	
040	Обжим/Пресс «Блисс»	
045	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
050	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
055	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	

Номер операции	Наименование операции/ Оборудование	Операционный эскиз
060	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
065	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
070	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
075	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
080	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	

Номер операции	Наименование операции/ Оборудование	Операционный эскиз
085	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
090	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
095	Токарная/ Резьбо-нарезной токарный полуавтомат ТР-3БМ	
100	Токарная/ Резьбо-нарезной токарный полуавтомат ТР-3БМ	

Как видно из табл. 1.1, технологический процесс изготовления головной и хвостовой трубы в опытном производстве ориентирован на

универсальное металлорежущее оборудование без применения станков с программным управлением, что сказывается на длительности технологического цикла изготовления изделий.

1.2 Характеристика способа формообразования заготовок головных и хвостовых труб

Спецификой способа формообразования заготовок головных и хвостовых труб для рассматриваемых труб является применение трехроликковой раскатки из предварительно обработанной горячекатаной трубы, что повышает точность и прочность по сравнению с вытяжкой заготовок из листа на прессах [64].

Применяемый в действующем производстве способ получения заготовок трехроликковой раскаткой, является прогрессивным и высокопроизводительным. Схема трехроликковой раскатки корпусов головных и хвостовых труб представлена на рис. 1.4.

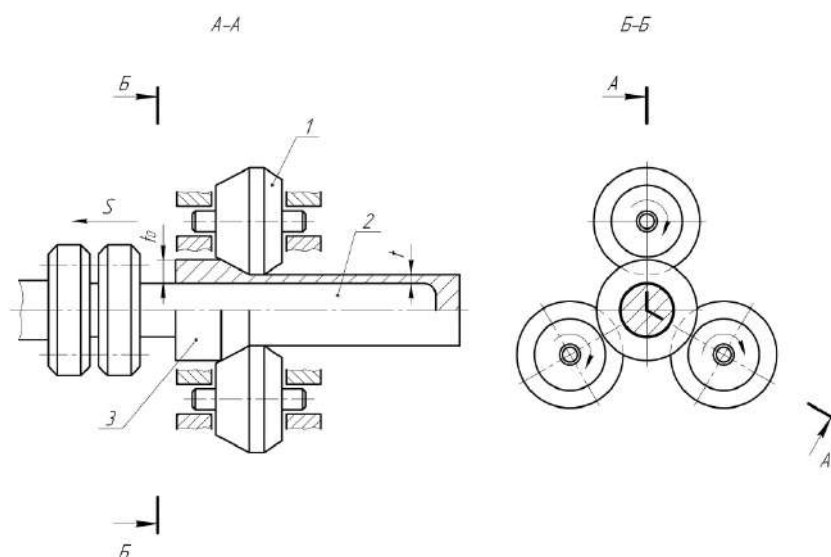


Рисунок 1.4 – Схема трехроликковой раскатки корпусов головных и хвостовых труб: 1 - ролики; 2 - оправка; 3 – корпус трубы [72]

Головная (хвостовая) труба 1 (рис. 1.5) устанавливается внутренним диаметром на оправку 2.

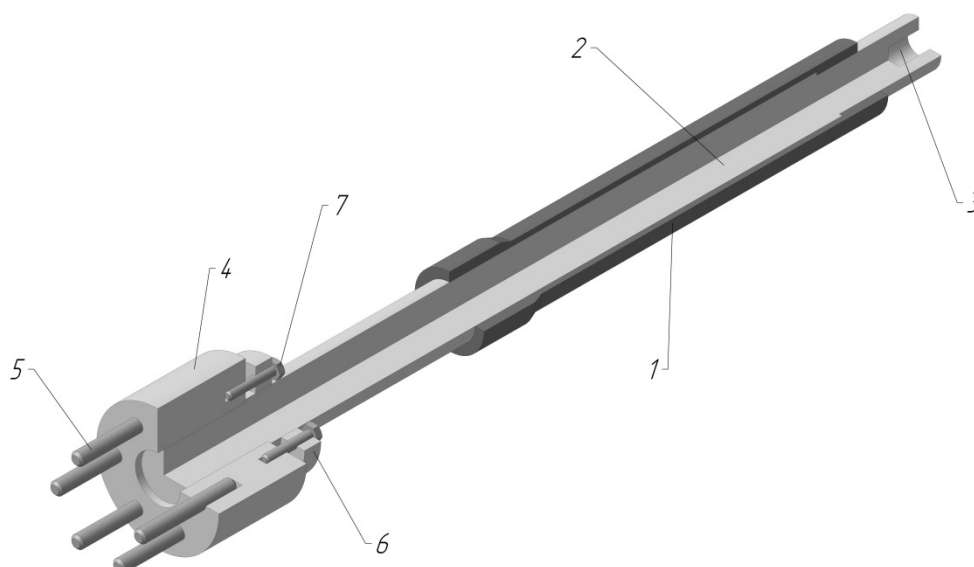


Рисунок 1.5 – Схема установки трубы на раскатном стане:
 1 – головная (хвостовая) труба; 2 – оправка; 3 – отверстие для
 центрирования;
 4 – основание; 5 – шпильки; 6 – поджимное кольцо; 7 – болты

Оправка 2 устанавливается в основании 4, которое шестью шпильками 5 крепится в шпинделе станка, с другой стороны поджимается задним вращающимся центром, входящим в отверстие для центрирования 3.

Для устранения биения оправка выставляется через поджимное кольцо 6 выборочным подтягиванием восьми болтов 7 в зависимости от показаний индикатора, как отмечается в работе [37].

На рис. 1.6 показан эскиз оправки (поз. 2, рис. 1.5).

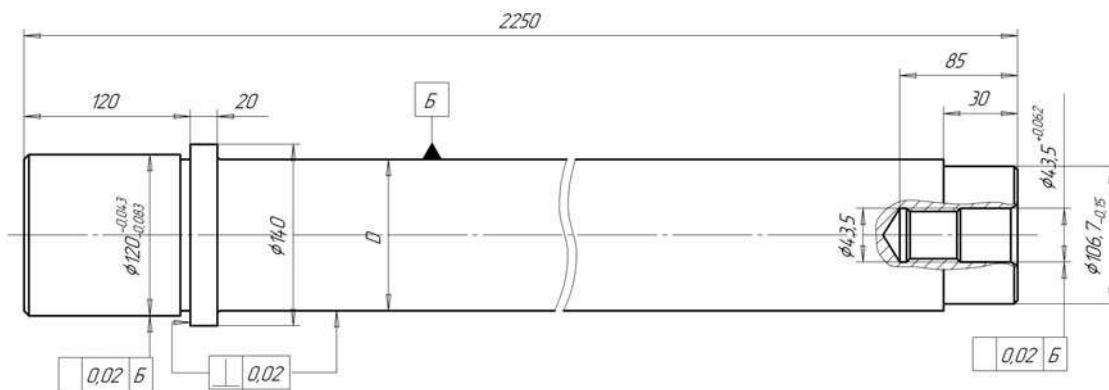


Рисунок 1.6 - Эскиз оправки для трехроликовой раскатки

Для головной трубы чертежный размер $D=114,3_{-0,07}$, фактический - $D=114,28$ мм. Для хвостовой чертежный размер $D=113,3_{-0,07}$, фактический - $D=113,27$ мм.

При трехроlikовой раскатке местный очаг деформации смещается от одного конца заготовки до другого [37], в результате можно предположить, что трехроlikовая раскатка является точкой бифуркации технологического процесса, где нет влияния предыдущих операций на размеры и свойства заготовки головных и хвостовых труб [10].

Ранними исследованиями [56] установлено, что относительные изменения внутреннего диаметра трубы $\bar{\delta}_d$ при трехроlikовой раскатке зависят от подачи - S , и угла профиля ролика - α_p (рис. 1.7).

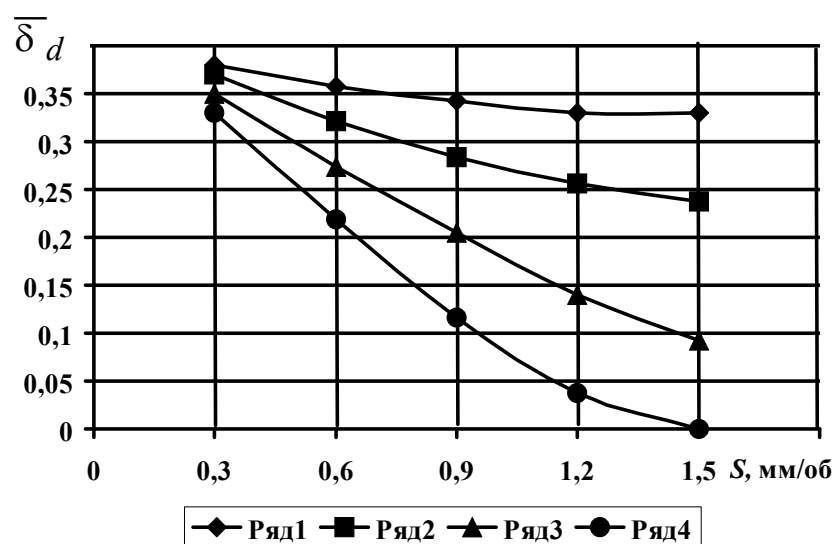


Рисунок 1.7 – Зависимость изменения значения $\bar{\delta}_d$ от подачи S

при $\varepsilon = 20\%$: ряд 1 - $\alpha_p = 5^\circ$; ряд 2 - $\alpha_p = 20^\circ$;

ряд 3 - $\alpha_p = 25^\circ$; ряд 4 - $\alpha_p = 30^\circ$

Анализ технологии изготовления труб различных конфигураций с учётом ранее проводимых исследований в области трехроlikовой раскатки [52] показал, что на точность получаемого изделия влияет внутренний базовый диаметр трубы. Поэтому при анализе опытной технологии

экспериментальному исследованию влияния трехроликовой раскатки на технологическое наследование уделено повышенное внимание [37].

1.3 Исследование точности изготовления головных и хвостовых труб при комбинировании обработки давлением и резанием

1.3.1 Влияние технологического наследования на операции трехроликовой раскатки

В опытном производстве был проведен ряд экспериментов, в частности, замерена партия из 96 заготовок головных и хвостовых труб. Эксперименты проводились на всех операциях техпроцесса изготовления труб. В результате получены замеры ключевых параметров головной и хвостовой трубы (диаметральные размеры, толщины стенок, торцовые и радиальные биения), представленные в приложении 1.

Используя, замеренные данные параметров хвостовых и головных труб, провели регрессионный анализ в программе MS Excel (табл. 1.2).

Таблица 1.2 - Замеренные данные параметров труб

X1	Y	K	X0	Yрасч
114,47	114,5	-0,07618	123,1739	114,4537
114,32	114,52			114,4651
114,32	114,45			114,4651
114,45	114,48			114,4552
114,37	114,45			114,4613
114,38	114,45			114,4605
114,08	114,5			114,4834
114,34	114,51			114,4636
114,36	114,5			114,4621
.....
.....
114,28	114,48			114,4682
114,3	114,49			114,4666

114,35	114,48			114,4628
114,3	114,48			114,4666

$$Y=123,17 - 0,08 \cdot X_1:$$

Среднее значение: $X=114,32$; $Y=114,46$

Стандартное отклонение: $X=0,10$; $Y=0,04$

Ошибка среднеарифметической: $X=0,01$; $Y=0,004$

Критерий достоверности: $X=11381,79$; $Y=27728,30$

Табличное (критическое) значение критерия Стьюдента: $t=1,99$
(уровень значимости: 0,05, число степеней свободы: 95).

Критерий достоверности ($X=11381,79$; $Y=27728,30$) $> t=1,99$
табличного (критического) значения Стьюдента – итог: результат эксперимента достоверен.

На основании статистической обработки результатов (табл. 1.2) получено уравнение регрессии

$$Y=123,17 - 0,08 \cdot X_1, \quad (1.1)$$

где Y – диаметр базового отверстия трубы после трехроликовой раскатки,

X_1 - диаметр базового отверстия трубы после растачивания.

Проверка по критерию Фишера с помощью программы MS Excel:

$$F_{\text{расч.}} = 3,345; F_{\text{табл.}} = 3,942; F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$$

Так как условие $F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$ не выполняется, то регрессионная модель не значима. График уравнения и поля расположения точек представлены на рис. 1.8.

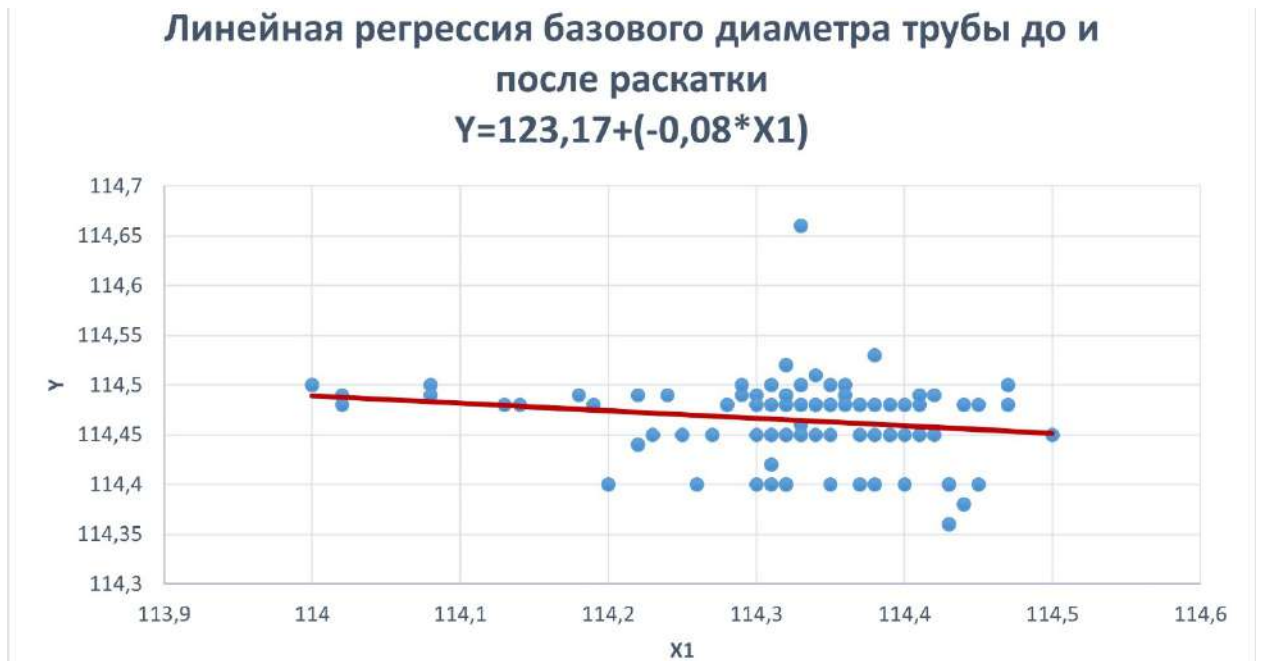


Рисунок 1.8 – Линейная регрессия базового диаметра трубы до и после трехроликовой раскатки

Поиск взаимосвязей одна из главных задач анализа данных, для измерения степени взаимосвязи в статистике есть несколько показателей, один из них самый популярный – коэффициент линейной корреляции Пирсона.

Определим тесноту линейной взаимосвязи двух переменных: $X1$ (значение базового диаметра трубы до трехроликовой раскатки) и Y (значение базового диаметра трубы после трехроликовой раскатки). В таблице 1.3 представлены результаты расчета.

Таблица 1.3 - Результаты расчета тесноты линейной взаимосвязи двух переменных X1 и Y

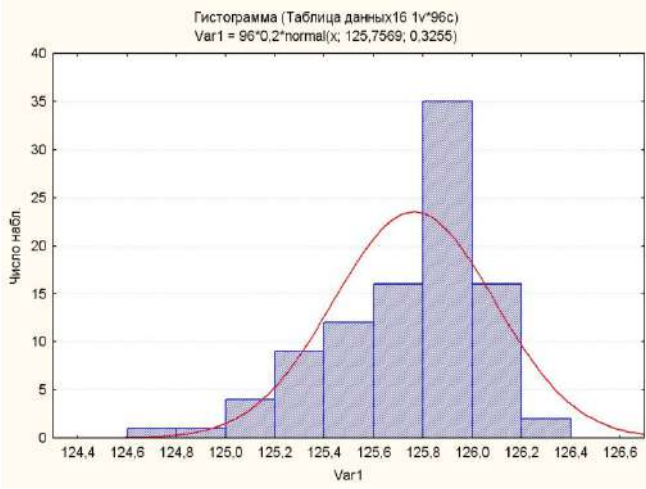
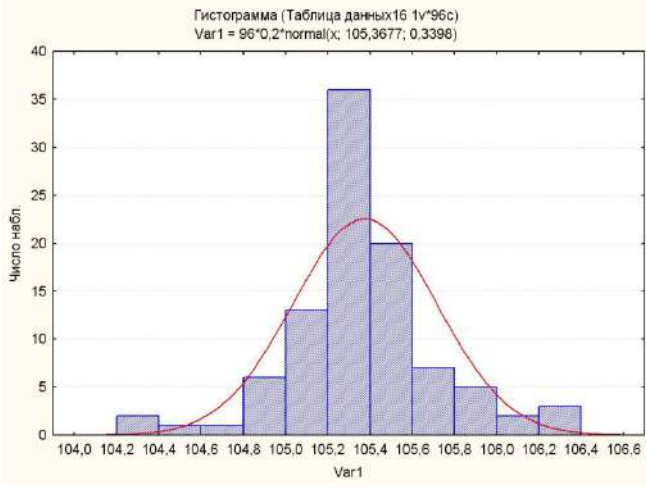
Показатель	Значение
Коэффициент корреляции Пирсона	-0,185359072
Объем выборки	96
Преобразование Фишера	-0,187526792
Стандартная ошибка	0,103695169
Квантиль (доверительный интервал 95%)	1,959963985
Граница нижнего доверительного интервала	-0,39076559
Граница верхнего доверительного интервала	0,015712005
Граница нижнего доверительного интервала (обратное преобразование Фишера)	-0,372020049
Граница верхнего доверительного интервала (обратное преобразование Фишера)	0,015710712

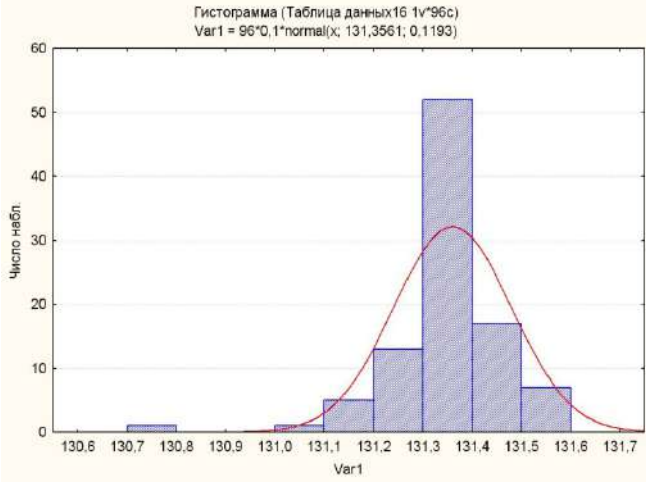
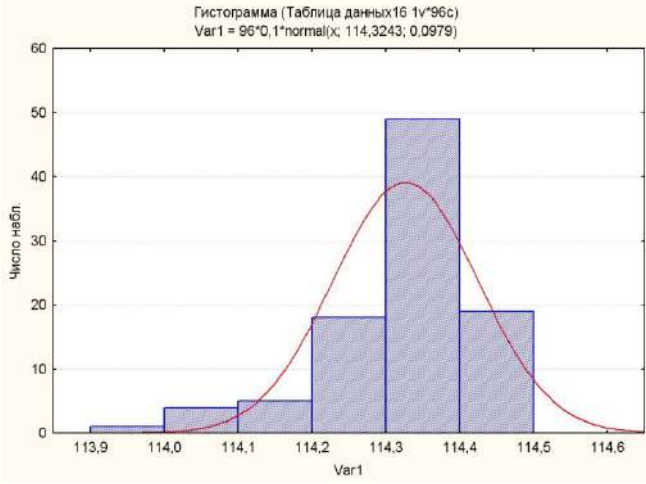
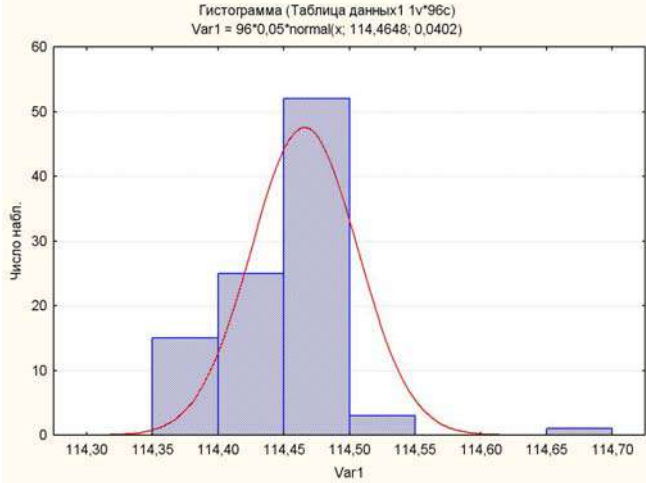
В итоге: оценка выборочного коэффициента корреляции Пирсона означает его значение **-0,19** (слабая отрицательная корреляция) и в пределах от **-0,37** до **0,02** находится истинное значение коэффициента корреляции по генеральной совокупности.

1.3.2 Исследование точности комплексной технологии

В таблице 1.4 – представлены гистограммы и теоретические кривые распределения значений, полученные на основе статистической обработки замеров размеров поверхностей, обработанных по опытной технологии.

Таблица 1.4 – Гистограммы и теоретические кривые распределения значений размеров поверхностей, обработанных по опытной технологии

Размер	Операция	Гистограмма	Брак, шт.
Ø126 ^{-0,2}	Под закаливание		59
Ø105 ^{+0,87}			19

Ø131,5-0,2		 <p>Гистограмма (Таблица данных16 1v*96с) Var1 = 96*0,1*normal(x; 131,3561; 0,1193)</p>	24
Ø114,4 ^{+0,15}	Под трехроликовую раскатку	 <p>Гистограмма (Таблица данных16 1v*96с) Var1 = 96*0,1*normal(x; 114,3243; 0,0979)</p>	74
Ø114,4 ^{+0,35}	Трехроликовая раскатка / Раскатной стан	 <p>Гистограмма (Таблица данных1 1v*96с) Var1 = 96*0,05*normal(x; 114,4648; 0,0402)</p>	

Пояснения к гистограммам (таблица 1.4):

Для поверхности диаметром $\varnothing 114,4^{+0,15}$: 114,3243-матожидание; 0,0979-стандартное отклонение от матожидания.

Для поверхности диаметром $\varnothing 114,3^{+0,35}$: 114,4648-матожидание; 0,031-стандартное отклонение от матожидания.

Сопоставление гистограмм на операциях растачивания и трехроликовой раскатки показывает:

Математическое ожидание диаметра базового отверстия трубы после трехроликовой раскатки увеличивается на $114,4648 - 114,3243 = 0,1405 \approx 0,14$ мм.

Поле рассеяния диаметра базового отверстия трубы после трехроликовой раскатки, напротив, уменьшается с $6 \times 0,0979 = 0,587$ (при допуске на технологический размер $TD = 0,15$ мм) до $6 \times 0,031 = 0,186$ мм (при допуске на технологический размер $TD = 0,35$ мм). То есть процесс трехроликовой раскатки в $0,587 / 0,186 = 3,16$ раз устойчивее процесса растачивания отверстия, причем он менее чувствителен к технологическому наследованию погрешностей от предыдущих технологических переходов.

Надежность технологического процесса выражена показателем запаса по точности [58]:

$$\psi = ITx_i / \alpha x_i, \quad (1.2)$$

где: ITx_i - допуск величины изменения размера;

x_i - полученный размер;

αx_i фактическая погрешность размера.

Если $1,0 < \psi \leq 1,2$, то надежность техпроцесса будет обеспечена, и чем этот показатель больше, то выше ожидаемая надежность техпроцесса. В программе MS Excel был произведен расчет коэффициента запаса точности технологического процесса изготовления головной трубы, результаты сведены в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Результаты расчета коэффициента запаса точности

Размер	Операция	Коэффициент запаса точности	Исправимый брак	Неисправимый брак
$\varnothing 127 \pm 1$	Обжим	1,79		
$\varnothing 108 \pm 1$		1,08		
$\varnothing 112^{+0,5}$	Обработка под закаливание	1,02		
$\varnothing 114,4^{+0,15}$	Обработка под трехроликовую раскатку	0,3	Да	
$\varnothing 107^{+0,35}$		0,26		Да
$\varnothing 114,3^{+0,35}$	Трехроликовая раскатка	1,88		
$2,9 \pm 0,15$		2,5		
$\varnothing 122_{-0,25}$	Окончательная механическая обработка	0,74		Да
$\varnothing 121,6_{-0,25}$		1		
$\varnothing 118^{+0,22}$		0,49		Да
Радиальное биение $\varnothing 118^{+0,22}$ (0,25 max)		2,5		
Торцовое биение (0,1 max)		2,5		

Проведенные исследования точности технологического процесса изготовления головных и хвостовых труб показывают недостаточную точность обработки, о чем свидетельствуют рассчитанные коэффициенты запаса точности.

1.3.3 Анализ низкого запаса точности при обработке некоторых поверхностей

Для наглядности переходы с низким запасом точности представлены в табл. 1.5а.

Таблица 1.5а – Переходы с низким коэффициентом запаса точности

Размер	Операция	Коэффициент запаса точности	Исправимый брак	Неисправимый брак
D ₂	Обработка под трехроликовую раскатку	0,3	Да	
D ₃		0,26		Да
d ₁	Окончательная механическая обработка	0,74		Да
d ₂		1		
D ₁		0,49		Да

Низкий запас точности при обработке важных поверхностей полагает невозможность работы в режиме настроенного на размер оборудования и вынуждает использовать метод настройки на размер по пробным проходам.

Трехроликовая раскатка обладает высокой исправляющей способностью, причем она более устойчива по рассеянию основных параметров точности, чем растачивание.

Операции механической обработки заготовок головных и хвостовых труб под закаливание и последующую обработку под трехроликовую раскатку, проводились на токарном станке с программным управлением

«САСТА НТ500» твердосплавными токарными пластинами 03124 (SNMM) 150416 СТ35М, установленными в расточной токарной борштанге. Базирование заготовок осуществлялось в трехкулачковом патроне с удлиненными кулачками в виде секторов. Важную роль играет схема обработки заготовок, а именно: базирование. Существующая схема базирования в опытном производстве в длинных секционных кулачках не обеспечивает заданную точность обработки. На рис. 1.9 и 1.10 показаны схема и патрон с длинными широкими кулачками и двумя плоскостями центрирования для установки заготовок головной и хвостовой трубы на операции обработки под закаливание и трехроликовую раскатку.

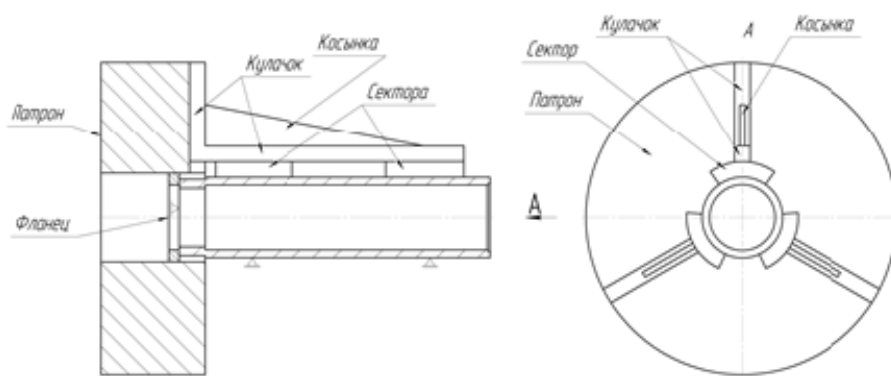


Рисунок 1.9 – Схема установки для механической обработки головных и хвостовых труб



Рисунок 1.10 – Патрон с длинными широкими кулачками с двумя плоскостями центрирования

На рис. 1.11 показан комплекс технологической оснастки для токарной обработки головных и хвостовых труб под закаливание и трехроликовую раскатку.



Рисунок 1.11 – Технологическая оснастка для токарной обработки головных и хвостовых труб под закаливание и трехроликовую раскатку

Из-за недостаточной жесткости закрепления появляется конусообразность базового отверстия, то есть разность получаемых размеров от настроечных (в зависимости от начальных и конечных фактических значений получаемых размеров). В результате в опытной технологии изготовления головной и хвостовой трубы есть операции с низкими коэффициентами запаса точности и вследствие этого заготовки с неисправимым браком. В производственных условиях при подобных случаях проводится подробный анализ, а данные заготовки, имеющие припуск до окончательного размера обрабатываются отдельной партией.

Для устранения закономерной погрешности растачивания базового отверстия $\text{Ø}114,4^{+0,15}$ в виде конусности предложено выполнять токарную операцию на токарно-винторезном станке 1М63 (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Растачивание отверстия трубы на токарном станке 1М63 [28]

Режущий инструмент: токарная державка с закрепленной твердосплавной пластиной (марка 03124 (SNMM) 150416 СТ35М), установленной в борштанге.

Предложенная схема базирования заготовки при растачивании поверхности под трехроликовую раскатку включает зажим в токарном патроне через разрезное кольцо и опору с другой стороны в люнете. Регулировка положений трех подшипников люнета обеспечивает стабильную точность обработки.

1.4 Выводы

1. Технологический процесс изготовления головных и хвостовых труб в опытном производстве не обеспечивает гарантированную точность обработки, поэтому прибегли к настройке оборудования на размер методом пробных проходов, что требует высокой квалификации персонала и повышению трудоемкости операций.

2. Трехроликовая раскатка обладает высокой исправляющей способностью, причем она более устойчива по рассеяния основных параметров точности, чем растачивание.

3. Результаты корреляционного и регрессионного анализа показывают, что эксперимент является достоверным, однако связь между обработкой до и после трехроликовой раскатки описана слабой отрицательной зависимостью с коэффициентом корреляции Пирсона равным $-0,19$.

4. В производстве головных и хвостовых труб существует необходимость совершенствования технологического процесса, в частности: корректировка схемы базирования обработки заготовок под трехроликовую раскатку с применением двухстороннего центрирования.

5. Рекомендован переход с универсального оборудования на станки с программным управлением, что позволит минимизировать количество операций, производя обработку полностью с одного установка поочередно первой и второй стороны трубы. Вышеописанные предложения дадут стабильную точность обработки, а также увеличат производительность труда.

2 Исследования точности партии головных труб, обработанных по модернизированной технологии

2.1 Основные моменты модернизированной технологии

2.1.1 Корректирование действующего технологического процесса предварительной механической обработки головных и хвостовых труб

Проведенный в главе 1 анализ точности изготовления головных и хвостовых труб в опытном производстве показал низкие коэффициенты запаса точности на ряде поверхностей труб с увеличением несоответствующих конструкторской документации изделий до 50,3 % (размеры: $\text{Ø}107^{+0,35}$; $\text{Ø}122_{-0,25}$; $\text{Ø}118^{+0,22}$). Сделанные исследования подтверждены корреляционным и регрессионным анализом, свидетельствующим о наличии связи между предшествующими и последующими операциями технологического процесса изготовления труб с копированием погрешностей обработки.

Применение несовершенной технологической оснастки (длинных секторных кулачков), нерациональных схем базирования (растачивание труб без обеспечения требуемой опоры), а также 100 % использовании универсального оборудования с большим количеством технологических операций приводит к проблеме обеспечения заданной точности обработки, а также низкой производительности.

В опытном производстве труб существует необходимость совершенствования технологического процесса. Требуется введение оснастки, позволяющей гарантировать заданную точность обработки. Использование станков с программным управлением, позволит сократить до минимума количество операций при окончательной обработке труб, оставляя использование универсальных токарно-винторезных станков только при

черновой подготовительной обработке, повышая тем самым качество и производительность выпускаемых изделий.

В качестве корректирования технологического процесса обработки труб предложено:

- замена схемы базирования обработки заготовок (расточивания) под трехроликовую раскатку с применением трехкулачкового патрона, разрезного кольца и люнета на токарно-винторезном станке 1М63;

- использование при окончательной механической обработке труб наружных базовых поверхностей токарно-винторезного станка 1К62 с обработкой внутренних поверхностей на токарном станке с программным управлением 16М30.

В итоге скорректированный маршрутный технологический процесс изготовления головных и хвостовых труб выглядит следующим образом:

- вначале на ленточной пиле режется горячекатаная труба на мерные длины, затем она проходит предварительную токарную обработку на токарно-винторезном станке и последующий обжим на прессе,

- после этого на токарно-винторезном станке проводится предварительная токарная обработка,

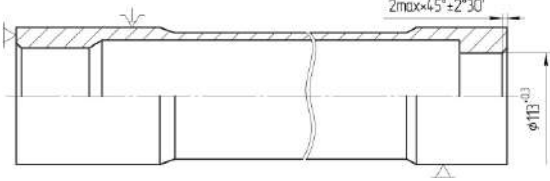
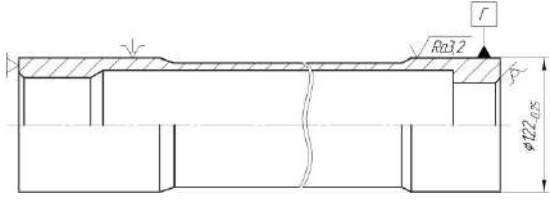
- затем закаливание и отпуск в термической печи,

- далее следует предварительная токарная обработка на токарно-винторезном станке с последующей трехроликовой раскаткой на прокатном стане и обжимом утолщения.

2.1.2 Окончательная механическая обработка

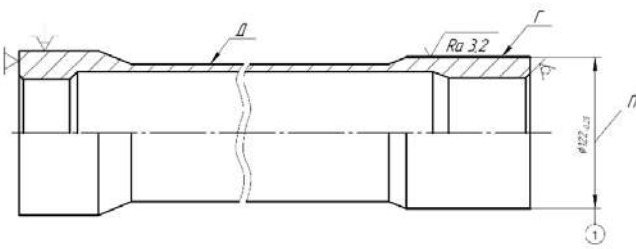
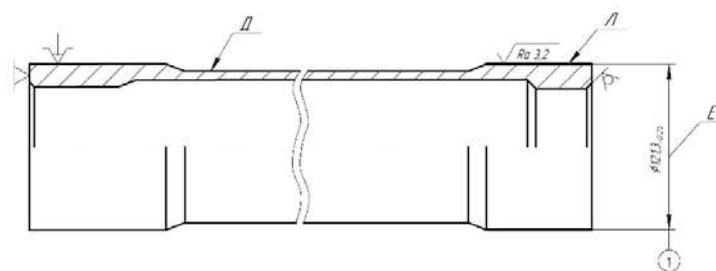
После получения раскатанной заготовки труба поступает на окончательную механическую обработку, где вначале, по аналогии с опытной технологии на двух токарных операциях (055 и 060) производят подготовку баз для точения наружных базовых поверхностей (центрирующих утолщений) при базировании с одного установка (табл. 2.1).

Табл. 2.1 – Схема маршрутной технологии изготовления головной и хвостовой трубы в серийном производстве

Номер операции	Наименование операции/ Оборудование	Операционный эскиз
055	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
060	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	

На операциях 065 и 070 на токарно-винторезном станке выполняют точение наружных базовых поверхностей (центрирующих утолщений) при базировании с двух установов – с закреплением в трехкулачковом патроне через разрезное кольцо с одной стороны и поджатием второй стороны вращающимся центром, закрепленным в задней бабке станка.

Табл. 2.1 – Продолжение

Номер операции	Наименование операции/ Оборудование	Операционный эскиз
065	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	
070	Токарная/ Токарно винторезный станок 1К62	

Далее следуют две окончательные операции механической обработки труб с внутренних сторон, при которых поочередно с двух сторон обрабатываются проточка под резьбу, центрирующий пояс и нарезание резьбы на предложенном токарном станке с программным управлением.

Табл. 2.1 – Продолжение (эскизы обработки головной и хвостовой трубы на внедренном оборудовании)

Номер операции	Наименование операции/ Оборудование	Операционный эскиз
075	Программная/ токарный станок с ПУ 16М30	
080	Программная/ токарный станок с ПУ 16М30	

Для выявления эффективности предложенной технологии необходимо провести исследования по определению зависимости погрешностей изготовления головных и хвостовых труб после трехроlikовой раскатки от одноименных погрешностей до трехроlikовой раскатки.

2.2 Экспериментальное определение запаса точности головных труб, изготовленных на предложенном оборудовании

В реальных производственных условиях был проведен ряд экспериментов по замерам головных труб на операциях токарной механической обработки и последующей операции трехроlikовой раскатки.

Размер партии составляет 96 шт. заготовок (партия обусловлена объемом садки при закаливании – 48 шт.)

Наружная поверхность изделий под трехроликую раскатку проходила программную обработку на токарном станке с ПУ 16М30 при базировании трубы в двух грибковых центрах, которые закреплены с одной стороны в патроне, с другой - во вращающемся заднем центре. Применен режущий инструмент: токарная державка с закрепленной пластиной (марка 03124 (SNMM) 150416 СТ35М).

Базовая поверхность отверстия трубы под трехроликую раскатку растачивалась на токарном станке с ПУ 16М30 с базированием трубы в 3-х кулачковом патроне, устанавливаемой в разрезном кольце с опорой в виде люнета. Режущий инструмент: расточной резец с закрепленной твердосплавной пластиной (марка 03124 (SNMM) 150416 СТ35М), установленной в борштанге.

Наружные диаметры труб измерялись микрометром (ГОСТ 6507-90), внутренние диаметры – нутромером (ГОСТ 868-82), толщина стенки - при помощи цехового прибора с установленным индикатором часового типа.

Трехроликровая раскатка производилась на стане холодной раскатки, схема контроля также производилась по выше описанным измерительным приборам.

В условиях действующего производства была обработана партия, состоящая из 96 головных труб на предложенном оборудовании (рис. 2.1).

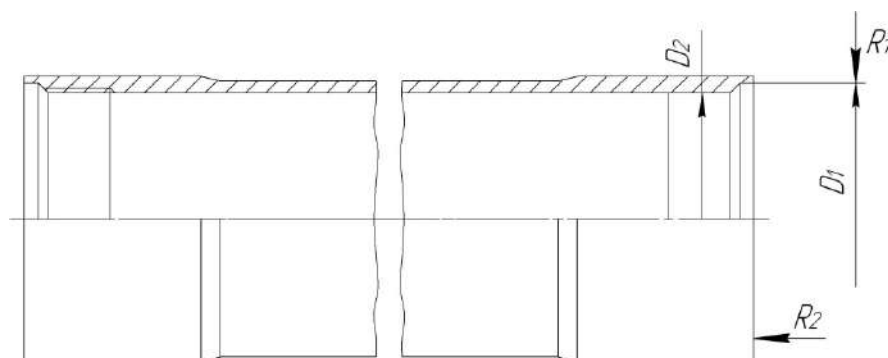


Рисунок 2.1 – Замеренные параметры партии головной трубы, обработанной по модернизированной технологии

Данные замеров снесены в таблицу 2.2, где $D_1 - \text{Ø}118^{+0,22}$; $D_2 - \text{Ø}114,635^{+0,35}$; R_1 – радиальное биение поверхности диаметром $\text{Ø}118^{+0,22}$ (0,25 max), R_2 – торцовое биение (0,1 max).

Таблица 2.2 – Замеры обработанных головных труб на внедренном оборудовании

№ п/п	D_1	D_2	R_1	R_2
1	118,11	114,81	0,12	0,02
2	118,10	114,80	0,12	0,03
...				
95	118,10	114,82	0,06	0,04
96	118,12	114,82	0,05	0,02

Результаты замеров представлены в приложении 1.

В программе MS Excel произведен расчет коэффициента запаса точности технологического процесса изготовления головной трубы. Результаты расчета сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты обработки замеров труб

Размер	Коэффициент запаса точности
D_1	1
D_2	1
R_1	3,2
R_2	5

Результаты экспериментов показали, что все проверенные изделия являются годными и полностью соответствуют требованиям конструкторской документации.

Сопоставление коэффициента запаса точности в опытном производстве (см. табл. 1.5) и в серийном (см. табл. 2.3) показывает двукратное увеличение запаса точности по всем контролируемым параметрам по предложенной технологии.

2.3 Статистические исследования точности обработанной партии головных и хвостовых труб¹

В разделе 1.3 «Исследование точности изготовления головных и хвостовых труб при комбинировании обработки давлением и резанием» получено уравнение (1.1) линейной регрессии базового диаметра трубы до и после трехроликовой раскатки. Проверка адекватности уравнения по критерию Фишера показала невысокую достоверность, поэтому следует говорить не о зависимости, а о тенденции влияния размеров до и после трехроликовой раскатки. Кроме того, низкий коэффициент регрессии в уравнении (1.1) приводит к мысли об отсутствии значимых корреляционных зависимостей размеров до и после трехроликовой раскатки, то есть об особом месте операции трехроликовой раскатки в общей технологии.

В серийном производстве провели повторение эксперимента, но уже с множественной корреляцией исследуемых факторов.

2.3.1 Определение вида и параметров закона распределения замеренных параметров

С целью выявления вида и параметров закона распределения результатов эксперимента проведен статистический анализ с помощью программного пакета «STATISTICA». На рис. 2.2 представлены данные для анализа.

¹ 4. Замечания по множественному регрессионному анализу:

1) Красными цифрами в программе STATISTICA обозначаются значимые результаты расчета;

2) Наиболее известный критерий обнаружения автокорреляции первого порядка (статистическая взаимосвязь между последовательностями величин одного ряда) – критерий Дарбина-Уотсона (DW). Статистика Дарбина-Уотсона приводится во всех специальных компьютерных программах как одна из важнейших характеристик качества регрессионной модели. Статистика DW изменяется от 0 до 4. DW=0 соответствует положительной автокорреляции, при отрицательной автокорреляции DW=4. Когда автокорреляция отсутствует, то статистика DW=2 (в диссертации DW=2,258079 и 1,918512 показывает отсутствие автокорреляции);

3) Если в расчетных таблицах только черные цифры, то значимые результаты отсутствуют.

STATISTICA - [Данные: Таблица.sta* (16v * 96c)]

Файл Правка Вид Вставка Формат Анализ Графика Сервис Данные Окно Справка

Добавить в Рабочую книгу

Arial 10 **B** *I* U

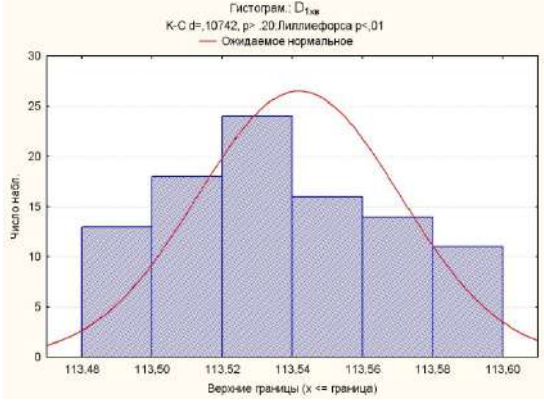
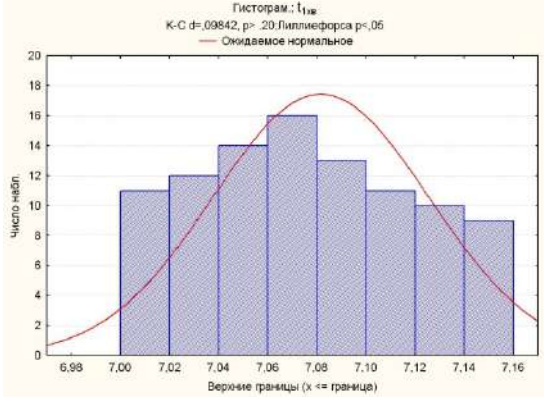
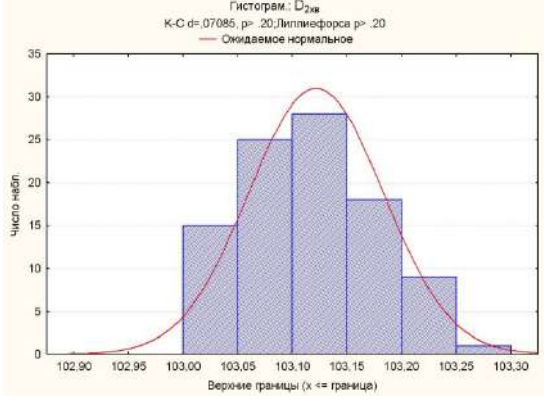
	1	2	3	4	5	6	7	8
	D _{1XB}	t _{1XB}	D _{2XB}	D _{3XB}	D _{4XB}	D _{5XB}	t _{2XB}	D _{6XB}
1	113,53	7,14	103,18	123,88	123,9	127,82	3,46	113,5
2	113,5	7,11	103,2	123,87	123,85	127,67	3,48	113,44
3	113,52	7,12	103,18	123,9	123,87	127,72	3,43	113,45
4	113,52	7,12	103,05	123,9	123,88	127,73	3,45	113,4
5	113,5	7,15	103,06	123,95	123,88	127,63	3,47	113,45
6	113,53	7,15	103,15	123,89	123,91	127,8	3,45	113,45
7	113,53	7,08	103,08	123,88	123,91	127,79	3,44	113,45

Рисунок 2.2 – Таблица данных для проведения статистического анализа

2.3.2 Проверка массивов на соответствие нормальному закону распределения

В таблице 2.4 представлены результаты анализа точности в виде гистограмм.

Таблица 2.4 – Гистограммы и кривые распределения случайных величин

Параметр	Гистограмма
$\varnothing 113,5^{+0,15}$ (D_{1XB})	
$7^{+0,15}$ (t_{1XB})	
$\varnothing 103^{+0,35}$ (D_{2XB})	

На гистограммах представлены зависимости наблюдаемых значений исследуемых случайных величин от частоты наблюдений. Из гистограмм видно, что полигон распределений значений сглаживается теоретической кривой по принятому закону распределения (теоретической кривой

распределения, по нормальному закону, например для $D_{1хв}$: $K-C d = 0,10742$, $p > 20$).

Отклонение от нормального распределения считается существенным при значении асимптотической значимости критерия Колмогорова-Смирнова $p < 0,05$. Все рассчитанные значения p (над гистограммами) являются значимыми, поэтому полученные распределения подчиняются нормальному закону.

2.3.3 Расчет основных описательных статистик

Расчитанные описательные статистики (количественные параметры исследуемого распределения) сведены в итоговую таблицу (рис. 2.3).

The image shows two screenshots of a software application window titled 'Описательные статистики (Таблица.sta)'. The first screenshot displays a table with 14 columns: N набл., Среднее, Доверит. -95,000%, Доверит. +95,000%, Геометр. Среднее, Гармонич. Среднее, Медиана, Мода, Частота моды, Сумма, Минимум, Максимум, and Нижняя Квартиль. The second screenshot displays a table with 14 columns: Нижняя Квартиль, Верхняя Квартиль, Процентиль 25,00000, Процентиль 75,00000, Размах, Квартиль Размах, Дисперс., Стд. откл., Станд. Ошибка, Асимметрия, Стд. ош. Асимметрия, Эксцесс, and Стд. ош. Эксцесс.

Переменная	Описательные статистики (Таблица.sta)												
	N набл.	Среднее	Доверит. -95,000%	Доверит. +95,000%	Геометр. Среднее	Гармонич. Среднее	Медиана	Мода	Частота моды	Сумма	Минимум	Максимум	Нижняя Квартиль
$D_{1хв}$	96	113,5419	113,5360	113,5477	113,5419	113,5419	113,5400	113,5000	13	10900,02	113,5000	113,5900	113,5200
$t_{1хв}$	96	7,0816	7,0727	7,0905	7,0814	7,0813	7,0800	7,080000	13	679,83	7,0100	7,1500	7,0500
$D_{2хв}$	96	103,1217	103,1091	103,1342	103,1216	103,1216	103,1200	Множест.	9	9899,68	103,0100	103,2600	103,0700
$D_{3хв}$	96	123,8803	123,8726	123,8880	123,8803	123,8803	123,8800	123,8800	16	11892,51	123,8100	123,9500	123,8600
$D_{4хв}$	96	123,8827	123,8764	123,8890	123,8827	123,8827	123,8800	123,8700	15	11892,74	123,8100	123,9900	123,8600
$D_{5хв}$	96	127,6982	127,6870	127,7095	127,6982	127,6982	127,7000	127,7000	12	12259,03	127,5900	127,8500	127,6600
$t_{2хв}$	96	3,4592	3,4552	3,4631	3,4591	3,4591	3,4550	3,450000	31	332,08	3,4000	3,5200	3,4500
$D_{6хв}$	96	113,4367	113,4288	113,4446	113,4367	113,4367	113,4400	113,4000	23	10889,92	113,3500	113,5300	113,4000

Переменная	Описательные статистики (Таблица.sta)												
	Нижняя Квартиль	Верхняя Квартиль	Процентиль 25,00000	Процентиль 75,00000	Размах	Квартиль Размах	Дисперс.	Стд. откл.	Станд. Ошибка	Асимметрия	Стд. ош. Асимметрия	Эксцесс	Стд. ош. Эксцесс
$D_{1хв}$	113,5200	113,5700	113,5200	113,5700	0,090000	0,050000	0,000834	0,028885	0,002948	0,213006	0,246210	-1,06076	0,487732
$t_{1хв}$	7,0500	7,1200	7,0500	7,1200	0,140000	0,070000	0,001931	0,043946	0,004485	-0,002199	0,246210	-1,14768	0,487732
$D_{2хв}$	103,0700	103,1700	103,0700	103,1700	0,250000	0,100000	0,003818	0,061792	0,006307	0,184621	0,246210	-0,69920	0,487732
$D_{3хв}$	123,8600	123,9100	123,8600	123,9100	0,140000	0,050000	0,001451	0,038098	0,003888	-0,037379	0,246210	-0,58640	0,487732
$D_{4хв}$	123,8600	123,9050	123,8600	123,9050	0,180000	0,045000	0,000976	0,031237	0,003188	0,310009	0,246210	0,40270	0,487732
$D_{5хв}$	127,6600	127,7350	127,6600	127,7350	0,260000	0,075000	0,003072	0,055422	0,005656	0,343144	0,246210	-0,34998	0,487732
$t_{2хв}$	3,4500	3,4700	3,4500	3,4700	0,120000	0,020000	0,000374	0,019340	0,001974	0,512543	0,246210	1,57714	0,487732
$D_{6хв}$	113,4000	113,4500	113,4000	113,4500	0,180000	0,050000	0,001524	0,039032	0,003984	0,242407	0,246210	-0,52386	0,487732

Рисунок 2.3 – Описательные статистические данные

В результате статистической обработки экспериментальных данных по параметрам труб установлено:

- непосредственное отношение выборок к нормальному закону распределения, что подтверждается проверкой по критерию Колмогорова-Смирнова;
- достоверность данных в выборках в соотношении с 100% качеством замеренных изделий;
- соответствие частных значений эмпирического распределения нормальному закону.

2.4 Множественный регрессионный анализ в системе STATISTICA

Регрессионный анализ определяется следующими целями:

- 1) определения зависимости между переменными и причинной связи;
- 2) определение прогнозируемых значений зависимой переменной.

Зависимость определяется величиной коэффициента корреляции.

Для множественного регрессионного анализа рассматривается головная труба, в частности:

- независимые переменные X_1 и X_2 – параметры головной трубы до трехроlikовой раскатки (внутренний базовый диаметр $\varnothing 113,5^{+0,15}$ и толщина стенки $7^{+0,15}$);
- зависимые переменные Y_1 и Y_2 – параметры головной трубы после трехроlikовой раскатки (внутренний базовый диаметр $\varnothing 113,3^{+0,46}$ и толщина стенки $3,5 \pm 0,15$).

В системе STATISTICA (рис. 2.4) сформирован исходный массив, описанных выше, данных для проведения множественного регрессионного анализа.

	1 X1	2 X2	3 Y1	4 Y2	
1	113,59	7,14	113,5	3,46	
2	113,5	7,11	113,44	3,48	
3	113,57	7,12	113,45	3,43	
4	113,59	7,12	113,4	3,45	
5	113,5	7,08	113,45	3,47	
6	113,53	7,06	113,45	3,45	
7	113,55	7,08	113,45	3,44	
8	113,54	7,08	113,48	3,48	
9	113,51	7,06	113,45	3,45	
10	113,58	7,08	113,4	3,5	

Рисунок 2.4 – Исходные данные для регрессионного анализа

Вначале приведены исследования для зависимой переменной $Y1$ от независимых переменных $X1$ и $X2$. На рис. 2.5 представлены результаты множественной регрессии.

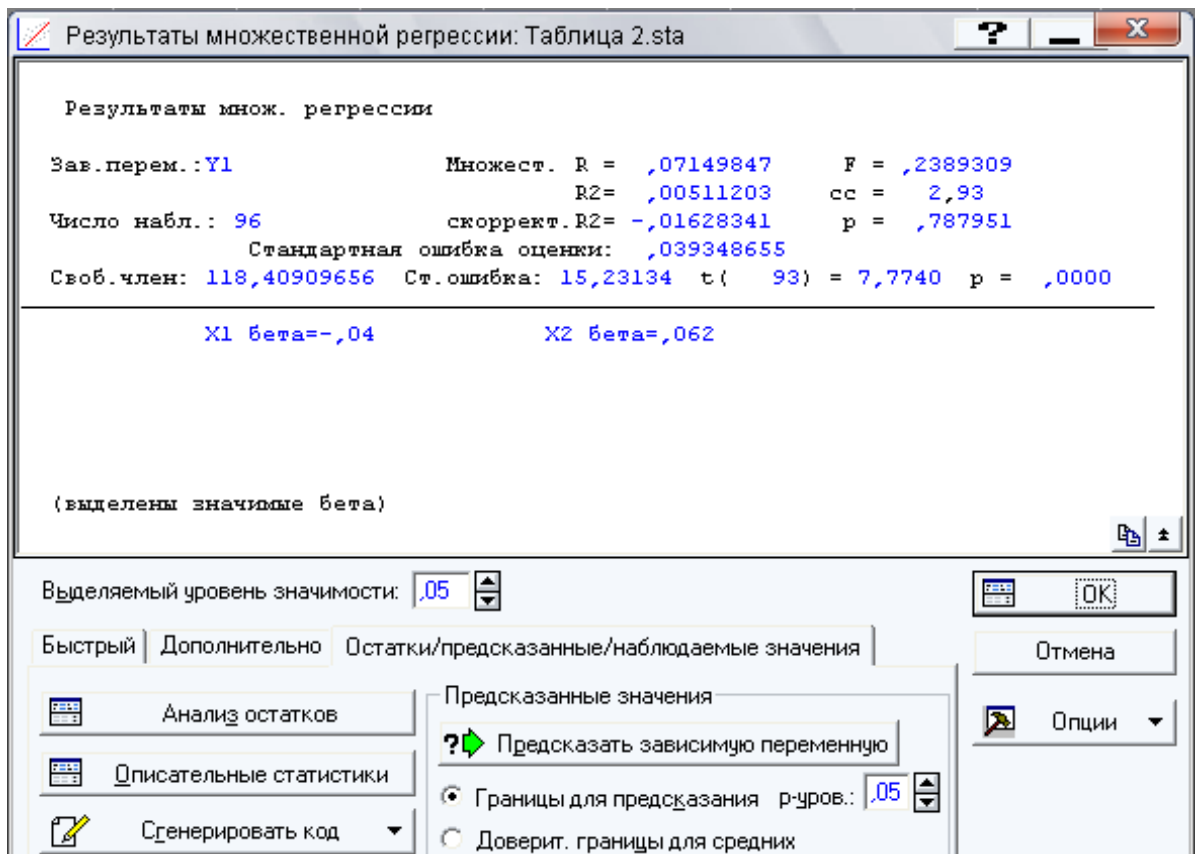


Рисунок 2.5 – Результаты множественной регрессии

На рис. 2.5 указаны следующие основные результаты:

- зависимая переменная Y1;
- количество замеров (96);
- R, множественный коэффициент корреляции (0,071);
- R², множественный коэффициент детерминации (0,005), **показывает достаточную низкую зависимость признаков;**
- скорректированный R², множественный скорректированный нормированный коэффициент детерминации (0,016);
- стандартная ошибка (0,039);
- F, критерий Фишера (0,239).

Проверка по критерию Фишера с помощью программы MS Excel:

$$F_{\text{расч.}} = 0,239$$

$$F_{\text{табл.}} = 3,942$$

$$F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$$

Условие $F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$ не выполняется, т.е. регрессионная модель не значима.

- сс, количество степеней свободы (2,93);
- р, значение для критерия Фишера (0,788);
- свободный член уравнения (118,409);
- стандартная ошибка (15,231);
- $t(93)$, значение критерия Стьюдента (7,774);
- р, значение для свободного члена (0);
- X1 beta, β -коэффициент при факторном признаке X1 равен -0,04;
- X2 beta, β -коэффициент при факторном признаке X2 равен 0,062.

На рис. 2.6 представлены результаты расчета, в которых показана проверка гипотезы значимости коэффициентов регрессии, где:

- 1) бета β -коэффициенты;
- 2) стандартная ошибка β -коэффициентов;
- 3) В – параметры уравнения;
- 4) В - стандартная ошибка оценки параметров;
- 5) $t(93)$ - t - критерий Стьюдента (t факт);
- 6) р-значение (значимость оценки параметров).

Итоги регрессии для зависимой переменной: Y1 (Таблица 2.sta)
 $R = ,07149847$ $R^2 = ,00511203$ Скорректир. $R^2 = \text{----}$
 $F(2,93) = ,23893$ $p < ,78795$ Станд. ошибка оценки: $,03935$

	БЕТА	Стд. Ош. БЕТА	B	Стд. Ош. B	t(93)	p-уров.
N=96						
Св.член			118,4091	15,23134	7,774043	0,000000
X1	-0,036941	0,103447	-0,0479	0,13409	-0,357101	0,721825
X2	0,061886	0,103447	0,0655	0,10955	0,598245	0,551131

Рисунок 2.6 – Анализ значимости расчетных данных

В результате определены расчетные параметры уравнения множественной регрессии и сделана оценка их значимости. **Красным шрифтом в программе автоматически выделяются статистически значимые данные.**

На рисунках 2.7 и 2.8 представлены анализ и результаты остатков.

Анализ остатков: Таблица 2.sta

Зав. перемен.: Y1 Множеств. R: ,07149847 F = ,2389309
 R2: ,00511203 сс = 2,93
 Число набл.: 96 скорректир. R2: -,01628341 p = ,787951
 Стандартная ошибка оценки: ,039348655
 Св.член: 118,40909656 Ст. ошибка: 15,23134 t(93) = 7,7740 p < ,0000

Диаграммы рассеяния Вероятностные графики Выбросы Сохранить
 Быстрый Дополнительно Остатки Предсказанные

Гистограмма остатков
 Построчные графики остатков
 Остатки и независимые переменные
 Гистограмма наблюдаемых

Тип остатков

- Исходные
- Стандартные
- Расстояния Махаланобиса
- Удаленные
- Расстояния Кука

Отмена Опции

Рисунок 2.7 – Анализ остатков

STATISTICA - [Workbook1* - Предсказанные значения и остатки (Таблица 2.sta)]

Предсказанные значения и остатки (Таблица 2.sta)
Зависимая перемен.: Y1

Набл. No.	Наблюд. Значение	Предск. Значение	Остатки	Станд. предск.	Станд. Остатки	Стд. Ош. предск.	Махалан. расст.	Удален. остатки	Кука расст.
1	113,5000	113,4379	0,062058	0,45678	1,57712	0,008878	3,846484	0,065386	0,046855
2	113,4400	113,4403	-0,000282	1,29646	-0,00717	0,007864	2,804723	-0,000294	0,000001
3	113,4500	113,4376	0,012405	0,33024	0,31527	0,006037	1,246674	0,012704	0,000818
4	113,4000	113,4366	-0,036629	-0,01292	-0,93088	0,007728	2,674636	-0,038098	0,012053
5	113,4500	113,4383	0,011681	0,59192	0,29685	0,007547	2,505525	0,012127	0,001185
6	113,4500	113,4356	0,014427	-0,39251	0,36665	0,005609	0,940458	0,014726	0,000949
7	113,4500	113,4359	0,014076	-0,26598	0,35773	0,004161	0,072867	0,014235	0,000488
8	113,4800	113,4364	0,043602	-0,09440	1,10809	0,004249	0,118116	0,044116	0,004886
9	113,4500	113,4365	0,013466	-0,04935	0,34222	0,007120	2,121147	0,013922	0,001366
10	113,4000	113,4345	-0,034485	-0,78072	-0,87639	0,006056	1,260969	-0,035322	0,006363
11	113,4500	113,4353	0,014679	-0,48261	0,37305	0,007087	2,091903	0,015171	0,001607
12	113,4000	113,4399	-0,039856	1,14310	-1,01289	0,006862	1,899158	-0,041106	0,011061
13	113,4400	113,4405	-0,000511	1,37794	-0,01299	0,007775	2,719016	-0,000532	0,000002
14	113,4800	113,4369	0,043121	0,07718	1,09588	0,004731	0,384006	0,043754	0,005959
15	113,4000	113,4356	-0,035568	-0,39251	-0,90393	0,005609	0,940458	-0,036306	0,005765
16	113,5000	113,4391	0,060852	0,89004	1,54648	0,006526	1,623389	0,062573	0,023185
17	113,4300	113,4386	-0,008598	0,69162	-0,21852	0,009590	4,653327	-0,009141	0,001069
18	113,4800	113,4403	0,039719	1,29646	1,00940	0,007864	2,804723	0,041371	0,014717
19	113,4000	113,4345	-0,034485	-0,78072	-0,87639	0,006056	1,260969	-0,035322	0,006363
20	113,4000	113,4314	-0,031387	-1,89169	-0,79767	0,008907	3,878400	-0,033083	0,012074
21	113,3500	113,4345	-0,084488	-0,78072	-2,14716	0,006056	1,260969	-0,086538	0,038194
22	113,4300	113,4400	-0,009979	1,18815	-0,25361	0,006418	1,537995	-0,010252	0,000602
23	113,4500	113,4353	0,014725	-0,50083	0,37421	0,004556	0,283961	0,014925	0,000643
24	113,4500	113,4354	0,014603	-0,45578	0,37111	0,006882	1,916373	0,015063	0,001494
25	113,5000	113,4410	0,059006	1,54953	1,49956	0,007845	2,787041	0,061449	0,032316
26	113,4000	113,4337	-0,033653	-1,07883	-0,85526	0,006010	1,226777	-0,034457	0,005963

Рисунок 2.8 – Предсказанные значения, остатки

На рисунках 2.9 и 2.10 представлены результаты расчета статистики Дарбина-Уотсона и графическое изображение остатков.

STATISTICA - [Workbook1* - Дарбина-Уотсона d (Таблица 2.sta)]

Дарбина-Уотсона d (Таблица 2.sta)
и сериальная корреляция остатков

	Дарбина-Уотсон.d	Сериал. Корр.
Оценка	2,258079	-0,149446

Рисунок 2.9 – Расчет статистики Дарбина-Уотсона

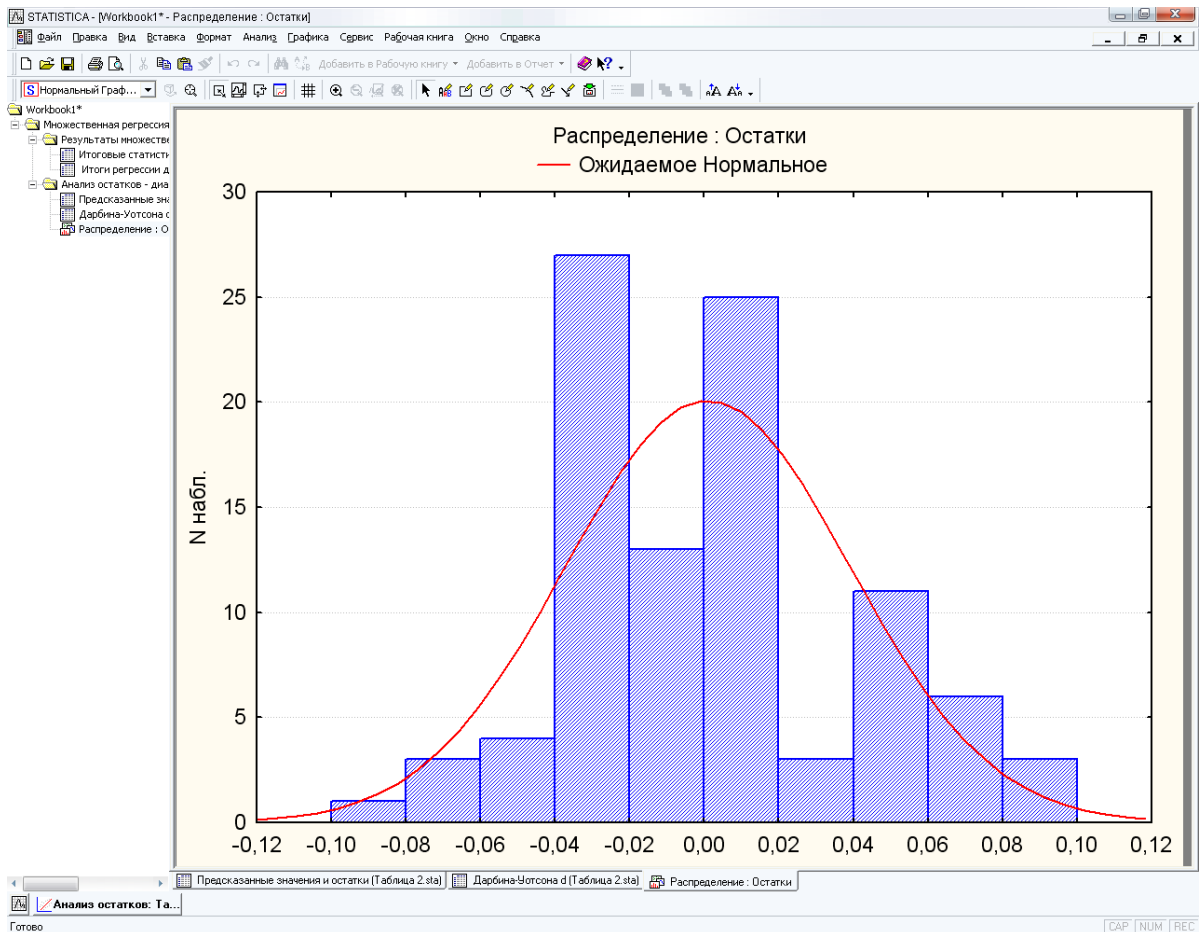


Рисунок 2.10 – Проверка распределения значений

На рис. 2.11 указано предсказанное расчетное значение результативного признака, нижняя (–) и верхняя (+) границы доверительного интервала.

STATISTICA - [Workbook1* - Предск.значения для (Таблица 2.sta)]

Файл Правка Вид Вставка Формат Анализ Графика Сервис Данные Рабочая книга Окно Справка

Workbook1*

Предск.значения для (Таблица 2.sta)
перемен.: Y1

Переменная	В-Вес	Значение	В-Вес * знач.
X1	-0,047884	113,5000	-5,4348
X2	0,065539	7,0000	0,4588
Св. член			118,4091
Предсказ.			113,4331
-95,0%ДП			113,4088
+95,0%ДП			113,4574

Рисунок 2.11 – Результаты предсказания значения результативного признака

Итоговое уравнение множественной регрессии для первой переменной имеет вид:

$$Y_1 = 118,409 - 0,048X_1 + 0,066X_2.$$

Далее приведены исследования для зависимой переменной Y2 от независимых переменных X1 и X2 по аналогичной схеме.

STATISTICA - [Workbook1* - Итоги регрессии для зависимой переменной: Y2 (Таблица 2.sta)]

Файл Правка Вид Вставка Формат Анализ Графика Сервис Данные Рабочая книга Окно Справка

Workbook1*

Итоги регрессии для зависимой переменной: Y2 (Таблица 2.sta)
R= ,03986668 R2= ,00158935 Скорректир. R2= -----
F(2,93)=,07402 p<,92871 Станд. ошибка оценки: ,01953

	БЕТА	Стд. Ош. БЕТА	В	Стд. Ош. В	t(93)	p-уров.
N=96						
Св.член			1,991436	7,560305	0,263407	0,792820
X1	0,021847	0,103630	0,014032	0,066558	0,210820	0,833489
X2	-0,033744	0,103630	-0,017707	0,054378	-0,325622	0,745442

Рисунок 2.12 – Результаты проверки значимости расчетов

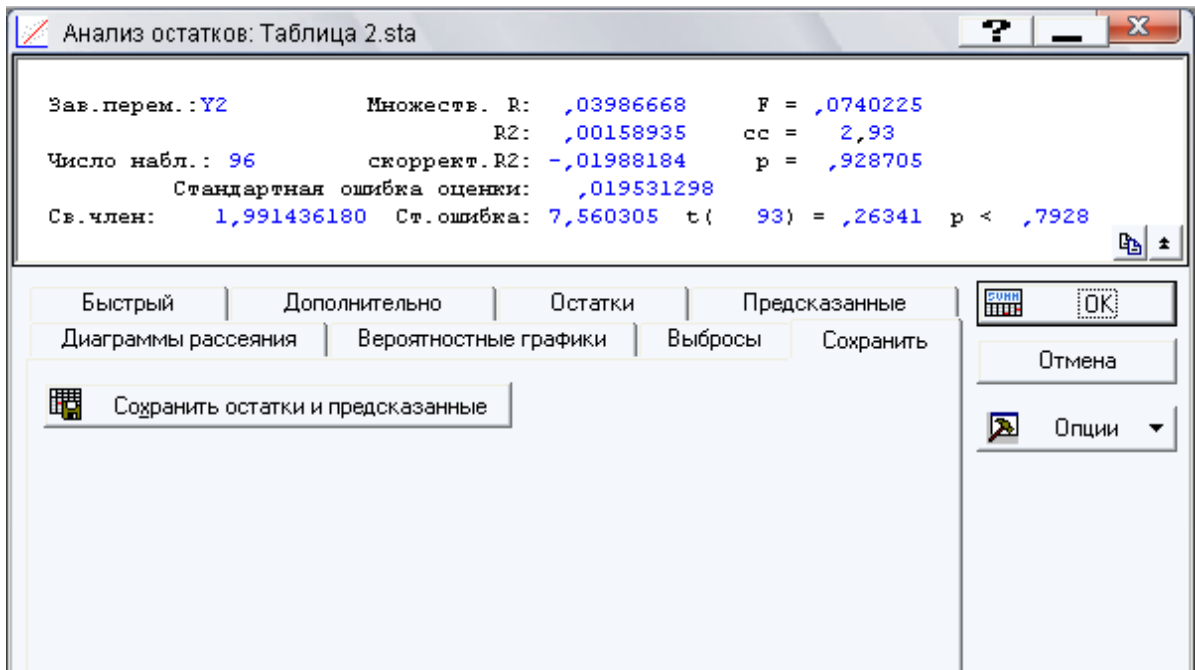


Рисунок 2.13 – Диалоговое окно, результаты

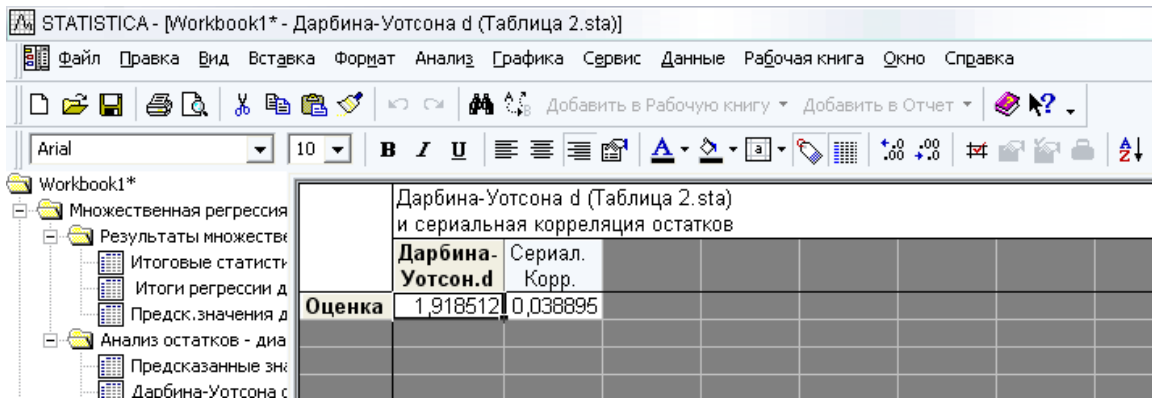


Рисунок 2.14 – Статистика Дарбина-Уотсона

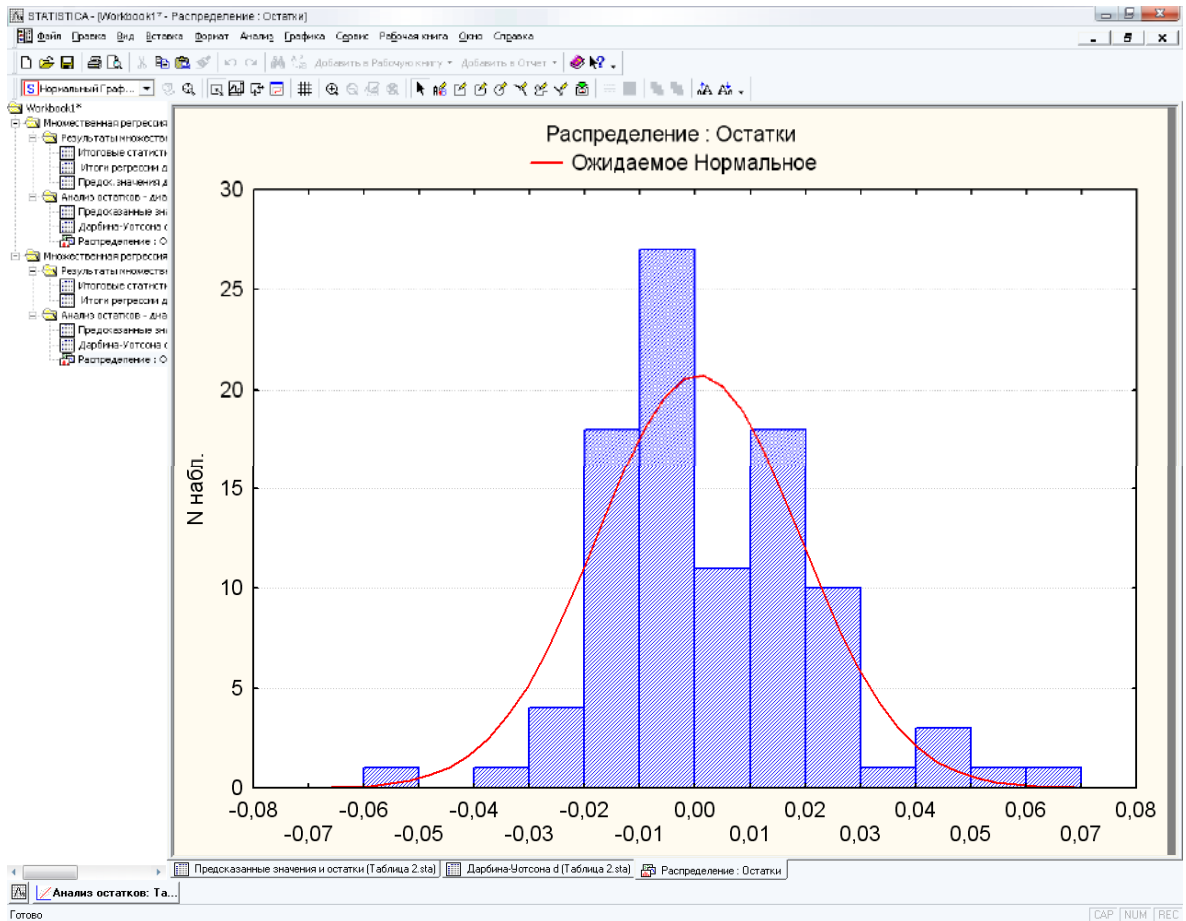


Рисунок 2.15 – Результат проверки нормальности остатков

STATISTICA - [Workbook1* - Предск.значения для (Таблица 2.sta)]

Предск.значения для (Таблица 2.sta)
перемен.: Y2

Переменная	B-Вес	Значение	B-Вес * знач.
X1	0,014032	113,5000	1,592596
X2	-0,017707	7,0000	-0,123947
Св. член			1,991436
Предсказ.			3,460085
-95,0%ДП			3,448030
+95,0%ДП			3,472140

Рисунок 2.16 – Расчетные результаты

По итогам исследования определено уравнение множественной регрессии:

$$Y_2=1,991+0,014X_1-0,018X_2.$$

Не обращаясь к таблицам, можно пользоваться приблизительным правилом и считать, что автокорреляция остатков отсутствует, если $1.5 < DW < 2.5$. Для более надежного вывода целесообразно обращаться к табличным значениям.

Итоговые уравнения множественной регрессии имеет вид:

$$Y_1=118,409-0,048X_1+0,066X_2,$$

$$Y_2=1,991+0,014X_1-0,018X_2,$$

где: X_1 - внутренний базовый диаметр $\varnothing 113,5^{+0,15}$;

X_2 - толщина стенки $7^{+0,15}$;

Y_1 и Y_2 - параметры трубы после трехроlikовой раскатки, которые должны быть: (внутренний базовый диаметр $\varnothing 113,3^{+0,46}$ и толщина стенки $3,5 \pm 0,15$).

По сформированному ранее исходному массиву данных замеров головных и хвостовых труб сделаны графики отклика поверхностей (геометрическое отображение регрессионной зависимости) для параметров Y_1 и Y_2 (рис. 2.17 и 2.18), показывающие тенденцию динамики изменения зависимых и независимых переменных.

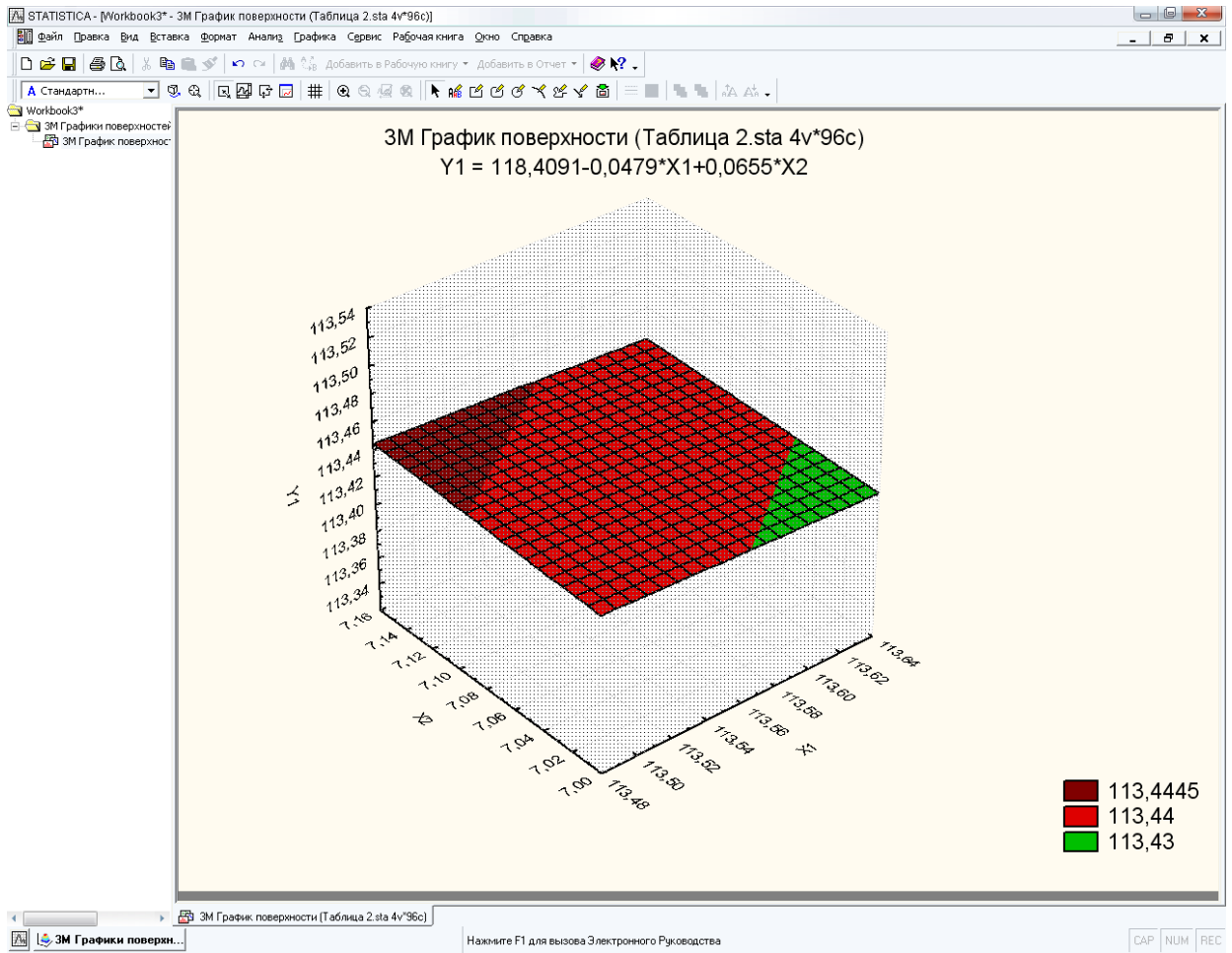


Рисунок 2.17 – Поверхность тенденции отклика для внутреннего диаметра трубы после трехроlikовой раскатки

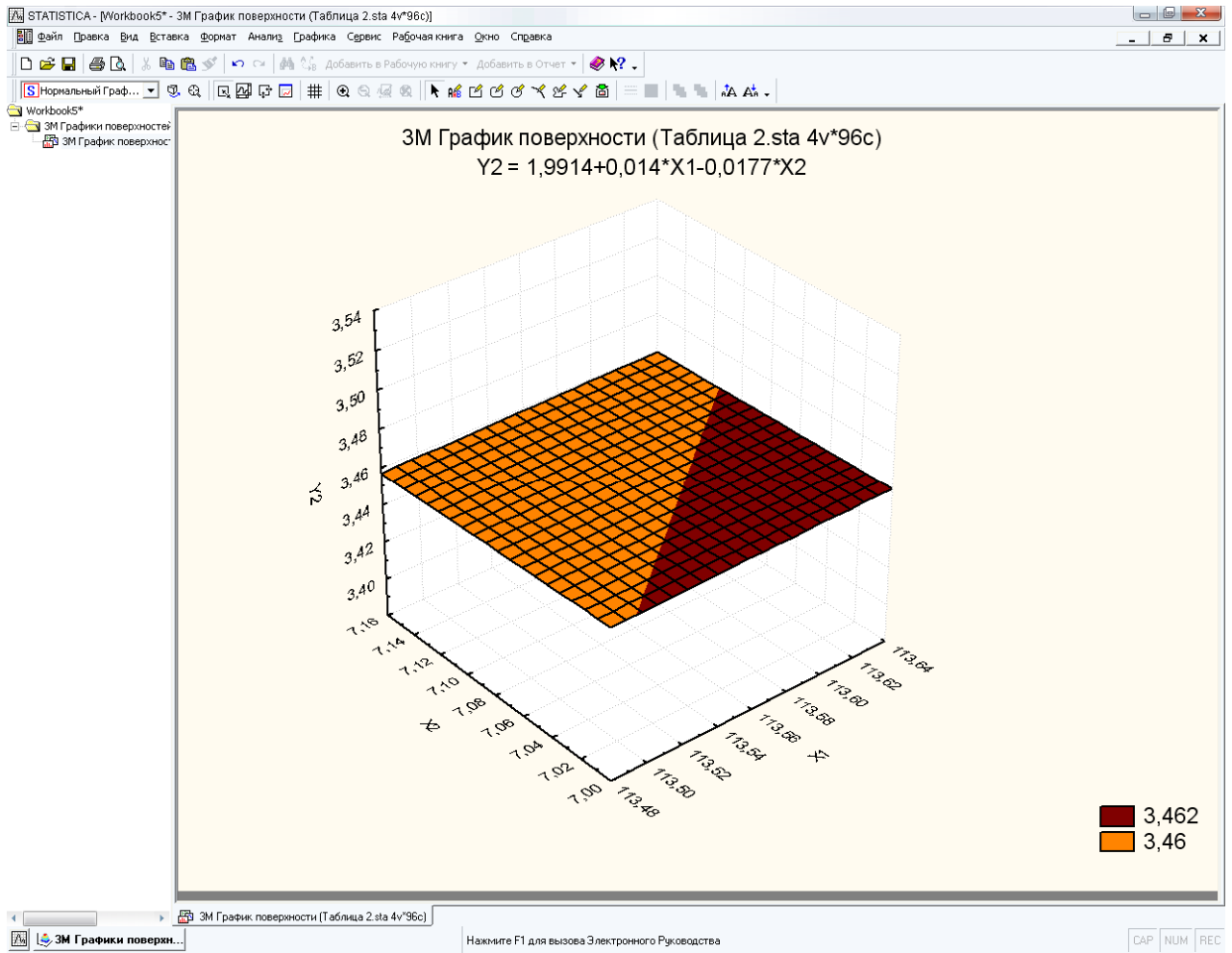


Рисунок 2.18 – Поверхность тенденции отклика
 для толщины стенки трубы после трехроlikовой раскатки

Оценка статистической значимости корреляционных зависимостей размеров до и после трехроlikовой раскатки по различным критериям показывает отсутствие тесных связей:

- 1) R^2 , множественный коэффициент детерминации (0,005), свидетельствует о достаточно низкой зависимости признаков.
- 2) Проверка по критерию Фишера $F_{расч.} = 0,239$, $F_{табл.} = 3,942$, Условие $F_{расч.} > F_{табл.}$ не выполняется, т.е. регрессионная модель не значима.
- 3) В табл. (см. рис. 2.6) красными цифрами написаны только свободные члены уравнений, то есть остальные коэффициенты недостоверны.

4) Оценка статистики Дарбина-Уотсона для обеих исследуемых величин (см. рис. 2.9 и 2.14) также показывает, что автокорреляция остатков отсутствует, так как результат находится в пределах: $1.5 < DW < 2.5$.

Все указанные выше критерии доказывают отсутствие значимых корреляционных зависимостей размеров до и после трехроликовой раскатки, то есть об особом месте операции трехроликовой раскатки в общей технологии.

Этим особым местом является точка бифуркации техпроцесса, где существенно меняются свойства заготовки, и происходит разрыв технологического наследования погрешностей механической обработки до и после трехроликовой раскатки.

Трехроликовая раскатка как точка бифуркации технологического процесса позволяет рекомендовать расширить технологические допуски на предварительную обработку, благодаря чему повысить устойчивость технологического процесса.

Проведенные исследования показали возросший запас точности обработки на 50% с полным исключением бракованных изделий, о чем свидетельствуют рассчитанные коэффициенты запаса точности.

В результате можно сделать вывод о правильном совершенствовании технологического процесса, с точки зрения, безусловного гарантирования заданной точности изготовления головных и хвостовых труб.

2.5 Выводы

1. Предложенная замена с универсального токарно-винторезного станка 1К62 на токарный станок с ПУ 16М30 со схемой обработки с двумя установками позволяет сократить число операций окончательной механической обработки в 3 раза.

2. Проведение экспериментов по замерам головных труб на предложенном оборудовании под трехроликовую раскатку с новой схемой

базирования показало, что все проверенные изделия являются годными и полностью соответствуют требованиям конструкторской документации в отличие от опытного технологического процесса.

Сопоставление коэффициента запаса точности в опытном и в серийном производстве показывает двукратное увеличение запаса точности по всем контролируемым параметрам по предложенной технологии.

3. Статистические исследования размеров обработанной партии головных и хвостовых труб показали, что замеренные данные соответствуют нормальному закону распределения.

4. Найденные уравнения множественной регрессии выходных параметров головной и хвостовой трубы показали отсутствие значимой корреляционной зависимости от ее входных параметров. Коэффициенты корреляции свидетельствуют практически об отсутствии связи параметров хвостовой трубы до и после трехроликовой раскатки.

5. Операция трехроликовой раскатки в комплексной технологии, включающей механическую обработку заготовки до и после трехроликовой раскатки, является бифуркационной точкой, в которой прекращается передача наследственных погрешностей. Поэтому можно расширять технологические допуски на выполнение размеров на предварительных операциях при соблюдении ограничений, накладываемых требованиям к заготовкам перед трехроликовой раскаткой.

6. Технологическую наследственность на чистовых операциях после трехроликовой раскатки следует рассматривать, как независимую от предварительной обработки.

3 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ СОБИРАЕМЫХ ТРУБ НА ТОЧНОСТЬ СБОРКИ КОРПУСА РАКЕТНОЙ ЧАСТИ СНАРЯДА

3.1 Анализ технологичности корпуса ракетной части снаряда

Корпус ракетного двигателя, исследуемый в диссертации, имеет простую конструкцию, прогрессивную заготовку, получаемую трехроликовой раскаткой, упрощенный технологический процесс – вследствие этого меньшую трудоемкость и стоимость готового реактивного снаряда.

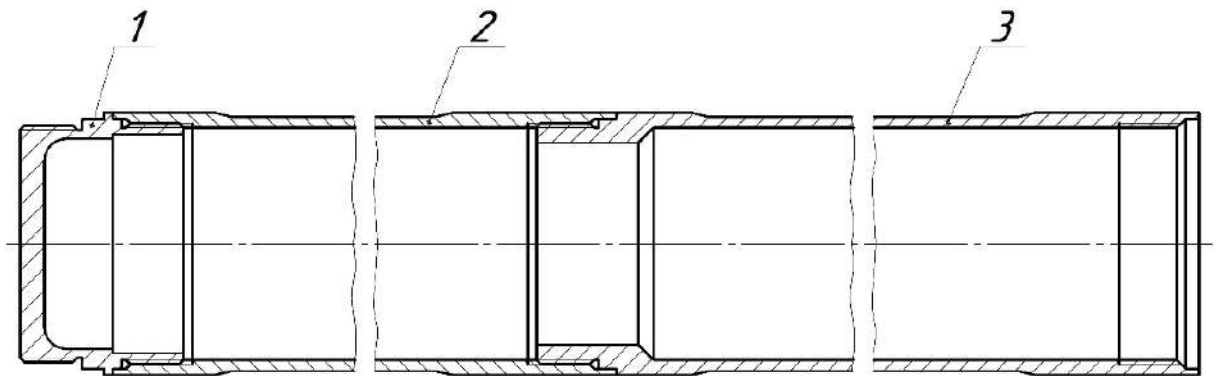


Рисунок 3.1 – Корпус ракетного двигателя (тип №2):

1 – переходное дно; 2 – труба головная; 3 – труба хвостовая;
метод получения заготовки – трехроликовая раскатка

К корпусу ракетного двигателя предъявляют два основных требования:

- 1) малое отклонение от прямолинейности;
- 2) герметичность изделий.

В процессе изготовления корпуса ракетной части снаряда основными недостатками являлись: значительные отклонения формы и положения основополагающих поверхностей изделий, анизотропия материала, получаемая при вытяжке из листа и передача наследственных погрешностей на готовое изделие [72].

Анализ технологичности конструкции корпуса ракетной части снаряда произведен следующим образом:

– Оценка размеров массы собранного изделия и их соотношение. Масса корпуса ракетной части снаряда равна 26,53 кг, поэтому допускается ручная транспортировка.

– Оценка наличия в изделии базовых деталей. Корпус ракетного двигателя имеет ярко выраженные базовые детали – головную и хвостовую трубу. Данные изделия являются источником размещения топлива реактивного снаряда, а также связующим элементом между головной и хвостовой частью снаряда.

– Оценка необходимости механической обработки при сборке. При сборке корпуса ракетной части снаряда производится механическая обработка, сверление и нарезание резьбы под направляющий штифт в собранном узле. Образование, таким образом, крепежных элементов технологично с точки зрения точности.

– Оценка наличия труднодоступных, неудобных мест для сборки, регулировки, измерения. Существует необходимость применения специальных приспособлений при сборке, а также специального измерительного инструмента при механической обработке (стапели, кондуктор, специальные калибры).

В результате проведенного анализа технологичности корпусов ракетного двигателя сделан вывод, что изделие является технологичным.

3.2 Анализ базирующих свойств соединений труб по торцу, центрирующему пояску и упорной резьбе

Обеспечение выше перечисленных требований зависит от конструкции труб и точности изготовления. Распространены резьбовые соединения, у которых трубы свинчиваются по центрально расположенным резьбам и одновременно ориентируются по цилиндрическим пояскам, соосным с

резьбовыми поверхностями (рис. 3.2). Собранный корпус получают, свинчивая трубы 1 и 2 до упора торцов. При этом обычно полагают, что центрирование производят по цилиндрическим поясам, а торцы определяют угловое положение осей собираемых труб. Однако на практике встречаются случаи, когда в собранном корпусе между прилегающими торцами имеется зазор (по техническим требованиям он не должен превышать 0,1 мм).

Анализ базирующих свойств таких соединений [24], показал, что при сборке возможны, как минимум, 4 варианта относительных положений собираемых труб.

Окончательное положение собираемых труб получается при силовом замыкании в соединении резьба-торец. Так в работах [23-25] показано, что при повторном свинчивании труб с упорной резьбой меняется относительное положение центров соединяемых сечений, что подтверждает предыдущее положение.

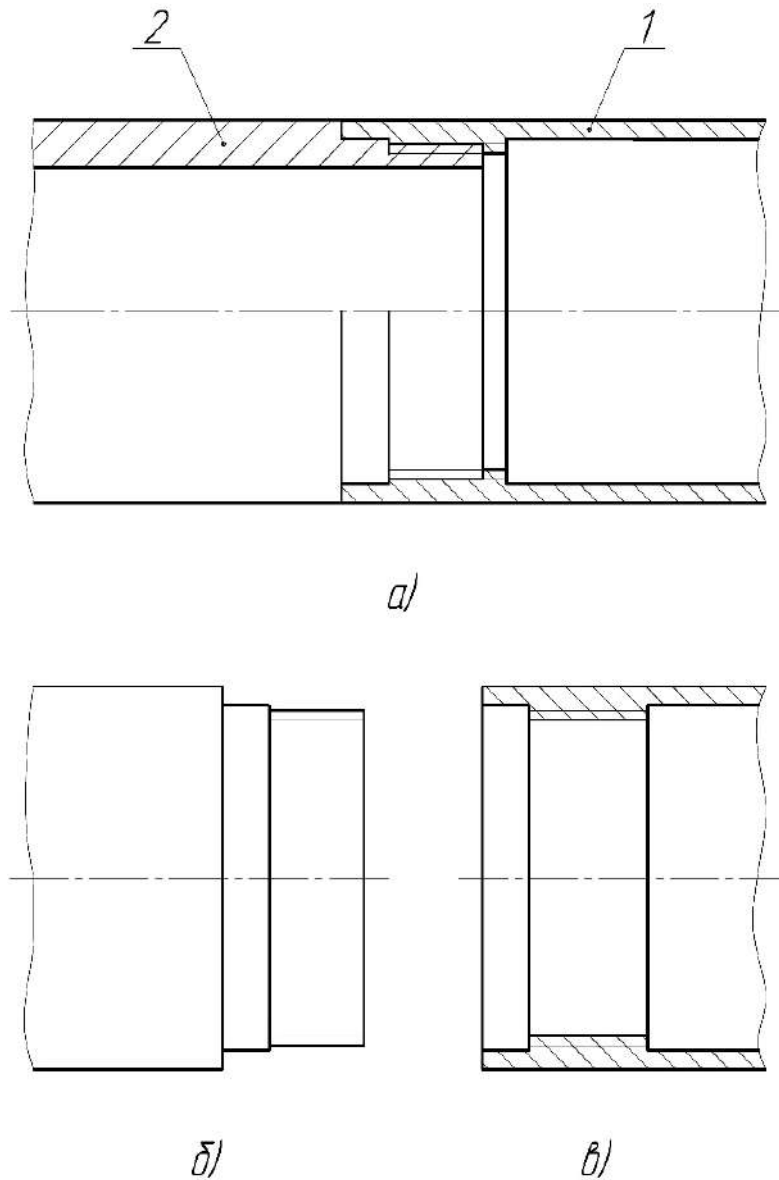


Рисунок 3.2 – Резьбовое соединение: а – сборка, б – труба с наружной резьбой, в - труба с внутренней резьбой

Гарантированное получение точности собранного корпуса должно обеспечиваться безусловным выполнением всех требований, предъявляемых к сборному корпусу ракетной части снаряда (рис. 3.3).

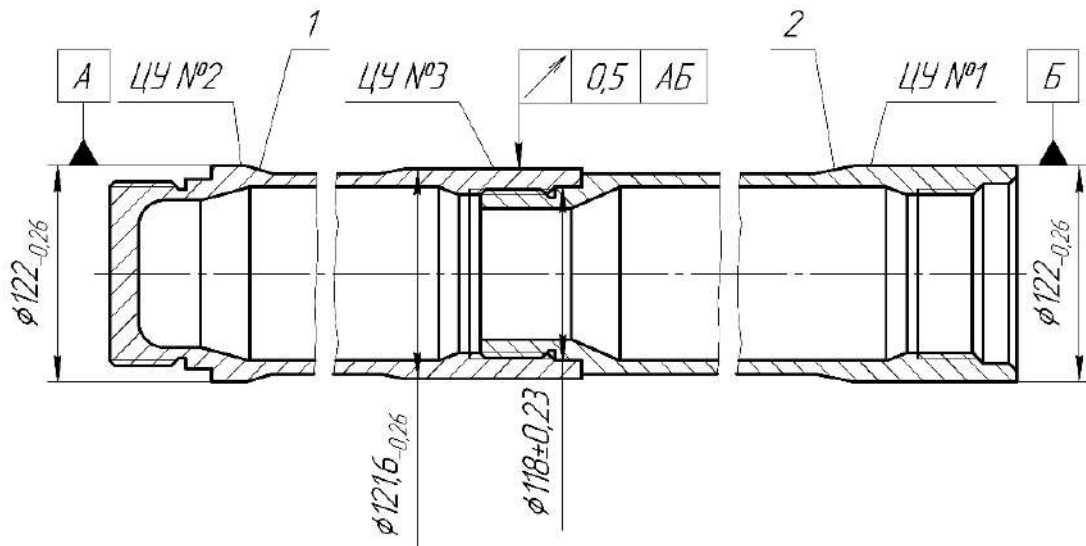


Рисунок 3.3 – Корпус ракетной части снаряда

Проведенный анализ соединений тонкостенных труб и технических требований чертежа, предъявляемых к ним, показал, что в производстве находят широкое применение корпуса ракетной части снаряда, которые состоят из 2-х и более деталей, соединенных с помощью резьбы. Чаще используется специальная упорная резьба [37].

3.3 Метрологические особенности резьбовых соединений

Как известно, допуск приведенного среднего диаметра резьбы включает в себя три составляющие:

$$TD_{2\text{пр}} = TD_2 + f_P + f_\alpha, \quad (3.1)$$

где f_P – диаметральная компенсация погрешностей шага, определяемая по формуле

$$f_P = \frac{2\Delta P_n}{\text{tg}\beta + \text{tg}\gamma}, \quad (3.2)$$

где ΔP_n - накопленная погрешность шага,

f_α - диаметральная компенсация [мкм] погрешностей угла профиля [мин], определяемая по формуле

$$f_\alpha = 0,291h \frac{\cos \beta \cos \gamma}{\sin(\beta + \gamma)} \left(\frac{\Delta \beta}{\cos^2 \beta} + \frac{\Delta \gamma}{\cos^2 \gamma} \right). \quad (3.3)$$

По ГОСТу на упорную резьбу последнее выражение упрощено до вида

$$f_\alpha(30^\circ, 3^\circ) = 0,46P(\delta\beta + 0,75\delta\gamma), \text{ мкм} \quad (3.4)$$

где $\delta\beta$ и $\delta\gamma$ - погрешности углов профиля резьбы, мин.

В то время как для метрической резьбы формула имеет вид

$$f_\alpha = 0,36 P \delta(\alpha/2), \text{ мкм}, \quad (3.5)$$

где P – шаг резьбы, мм;

$\delta(\alpha/2)$ - среднее абсолютных значений погрешностей обеих половин угла профиля, мин.

Для метрической резьбы

$$f_p = 1,732 \Delta P_n, \text{ мкм}. \quad (3.6)$$

Для упорной резьбы с углами профиля 30° и 3° диаметральная компенсация погрешности шага составит

$$f_P = \frac{2\Delta P_n}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \gamma} = 3,176 \Delta P_n. \quad (3.7)$$

Сопоставление численных коэффициентов для компенсации погрешностей угла профиля показывает, что для упорной резьбы они в 1,3 раза чувствительнее для влияния на приведенный средний диаметр, чем для метрической резьбы.

Аналогичное сопоставление численных коэффициентов для компенсации погрешностей шага показывает, что для упорной резьбы они в

1,83 раза чувствительнее для влияния на приведенный средний диаметр, чем для метрической резьбы.

В новых вариациях реактивных снарядов применяют специальную упорную резьбу с углами профиля 45° и 3° , поэтому формулы (1.4) и (1.7) для неё неприемлемы. По ГОСТ 13535-87, высота рабочей части профиля $H_1=0,5P$. Однако этот ГОСТ предназначен для резьб с шагом более 5 мм. В нашем случае используются резьбы по нормали НО 3113-59, у которых рабочая высота профиля резьбы $h=0,667P$ (рис. 3.4).

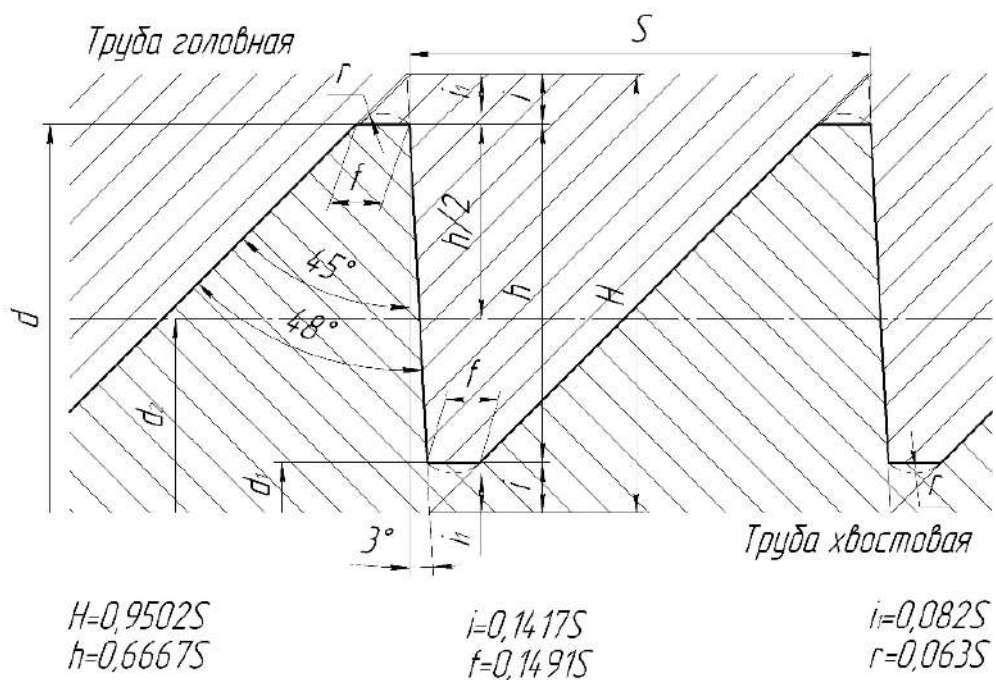


Рисунок 3.4 – Соотношения размеров профиля упорной резьбы и $3^\circ/45^\circ$ по нормали НО 3113 – 59

Подставляя в исходную формулу (3.3) данные для упорной резьбы и $3^\circ/45^\circ$ по нормали НО 3113 – 59, получили формулу для определения диаметальной компенсации погрешностей угла профиля

$$f_{\alpha}(45^\circ, 3^\circ) = 0,22P(\Delta\beta + 2,003\Delta\gamma). \quad (3.8)$$

Для упорной резьбы с углами профиля 45° и 3° диаметральная компенсация погрешности шага составит

$$f_P = \frac{2\Delta P_n}{\operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\gamma} = 1,9\Delta P_n. \quad (3.9)$$

Из этих соотношений видно, что при нарезании упорных резьб следует более жестко выдерживать допуски углов профиля и особенно, шага резьбы.

3.4 Определение зависимости ключевых параметров собранного корпуса ракетной части снаряда от параметров собираемых труб

На концах заготовок головных и хвостовых труб методом трехроликовой раскатки выполняют утолщения, предназначенные для усиления стенки с целью размещения в них крепежных резьб для объединения секций в сборные корпуса [72]. При этом возможно возникновение технологических погрешностей в виде несоосности центрирующих поверхностей, где происходит базирование проверяемых корпуса ракетной части снаряда на роликах (рис. 3.5).

При проверке биения 0,25 мм на центрирующих поясках $\text{Ø}118^{+0,22}$ и на резьбовой поверхности Сп.Уп. $3^\circ/45^\circ 116,5 \times 2$ используется индикатор часового типа. Биение на данных поверхностях, с установленным в вертикальном положении индикатором, проверяется поочередно с переворотом на обеих сторонах трубы.

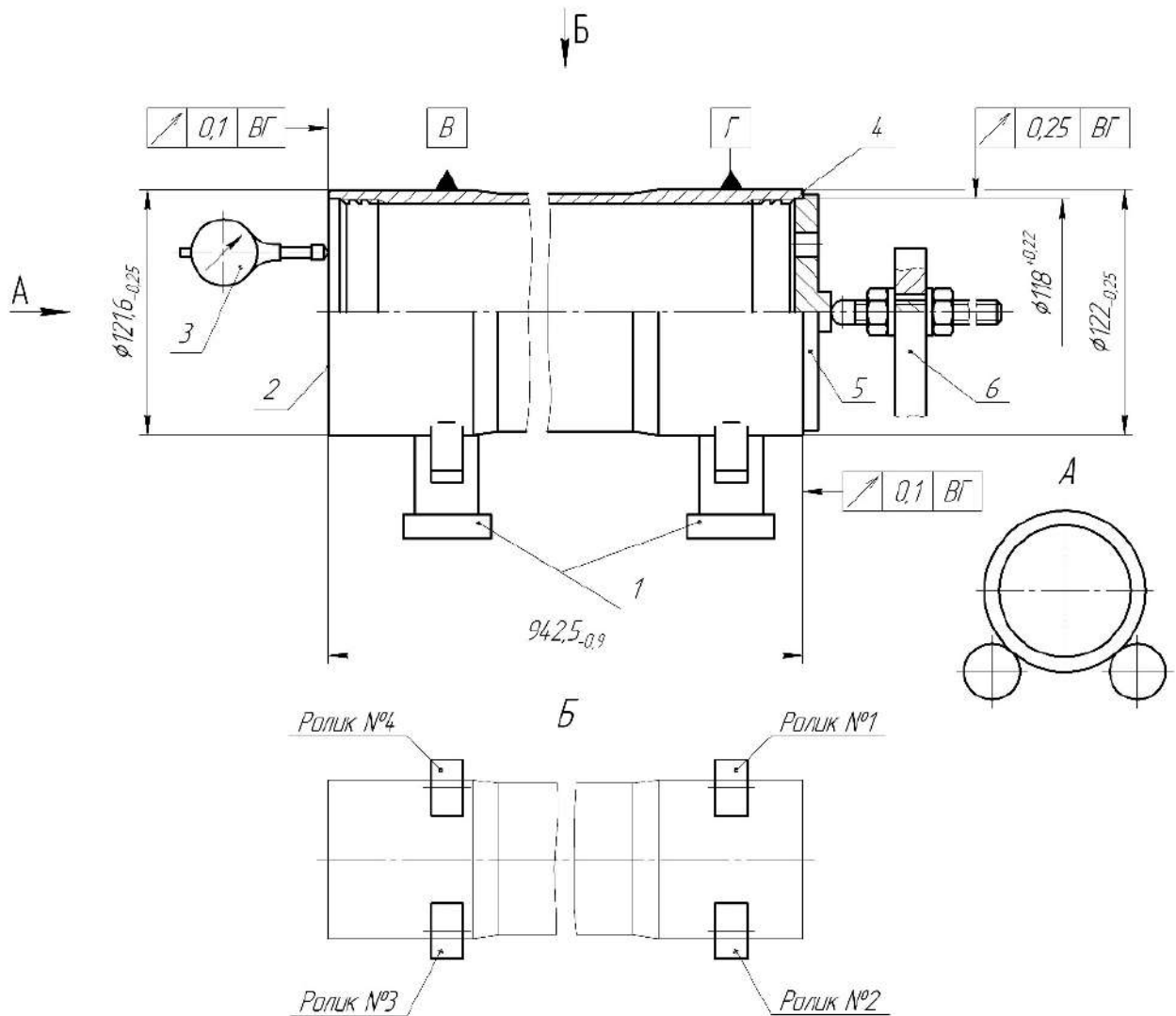


Рисунок 3.5 – Схема контроля торцовых и радиальных биений трубы:

1 – роликовые призмы; 2 – контролируемая поверхность трубы 1;
 3 – индикатор; 4 – базовая поверхность трубы 1; 5 – заглушка; 6 – упор

В условиях действующего производства проведен эксперимент, в частности, в серийном производстве обработана опытная партия из 96 труб, где были замерены ключевые параметры, потенциально влияющие на собранные изделия. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Ключевые параметры головной трубы, согласно конструкторской документации (операция окончательной механической обработки)

Фактический №	Фактический размер $\varnothing 122_{-0,25}$	Фактический размер $\varnothing 121,6_{-0,25}$	Фактический размер $\varnothing 118^{+0,22}$	Радиальное биение $\varnothing 118^{+0,22}$ (0,25 max)	Торцовое биение (0,1 max)
1	121,87	121,53	118,16	0,12	0,02
2	121,88	121,51	118,15	0,12	0,03
3	121,87	121,55	118,12	0,10	0,03
...					
94	121,93	121,47	118,19	0,07	0,01
95	121,95	121,50	118,12	0,09	0,02
96	121,90	121,50	118,05	0,10	0,04

С целью выявления закона распределения фактических размеров проведен статистический анализ с помощью программного пакета «STATISTICA» и MS Excel. На рис. 3.6 – 3.10 представлены гистограммы:

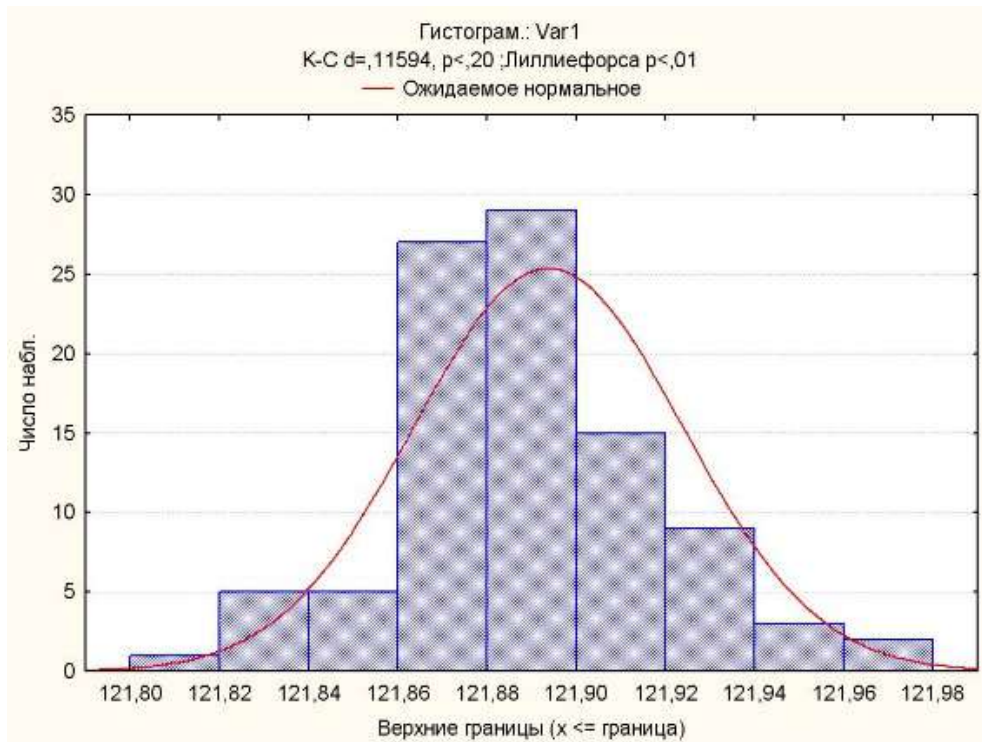


Рисунок 3.6 – Распределение замеров поверхности с номинальным диаметром $\varnothing 122_{-0,25}$

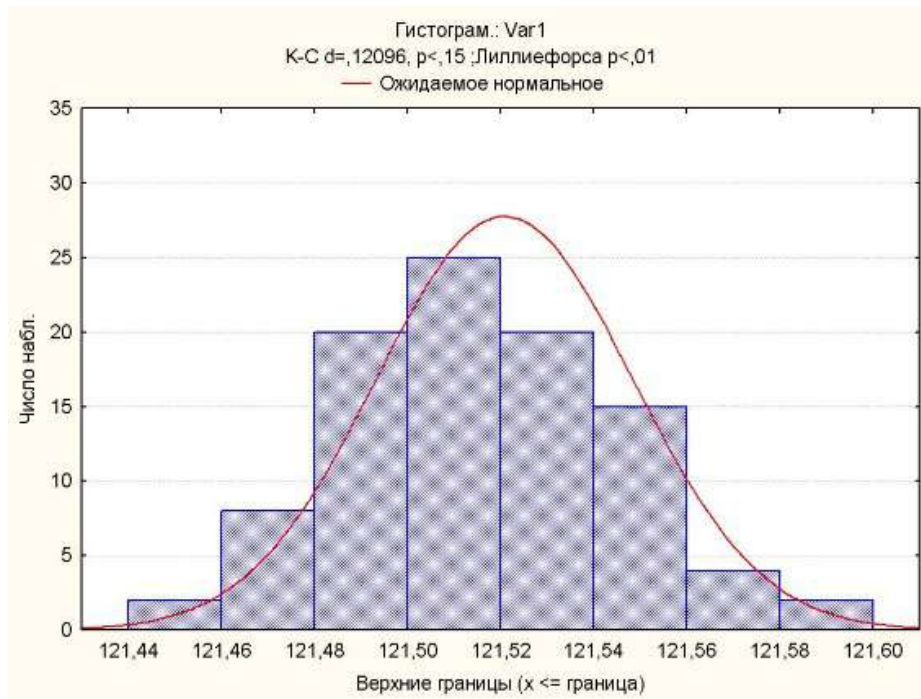


Рисунок 3.7 – Распределение замеров поверхности с номинальным диаметром $\text{Ø}121,6_{-0,25}$

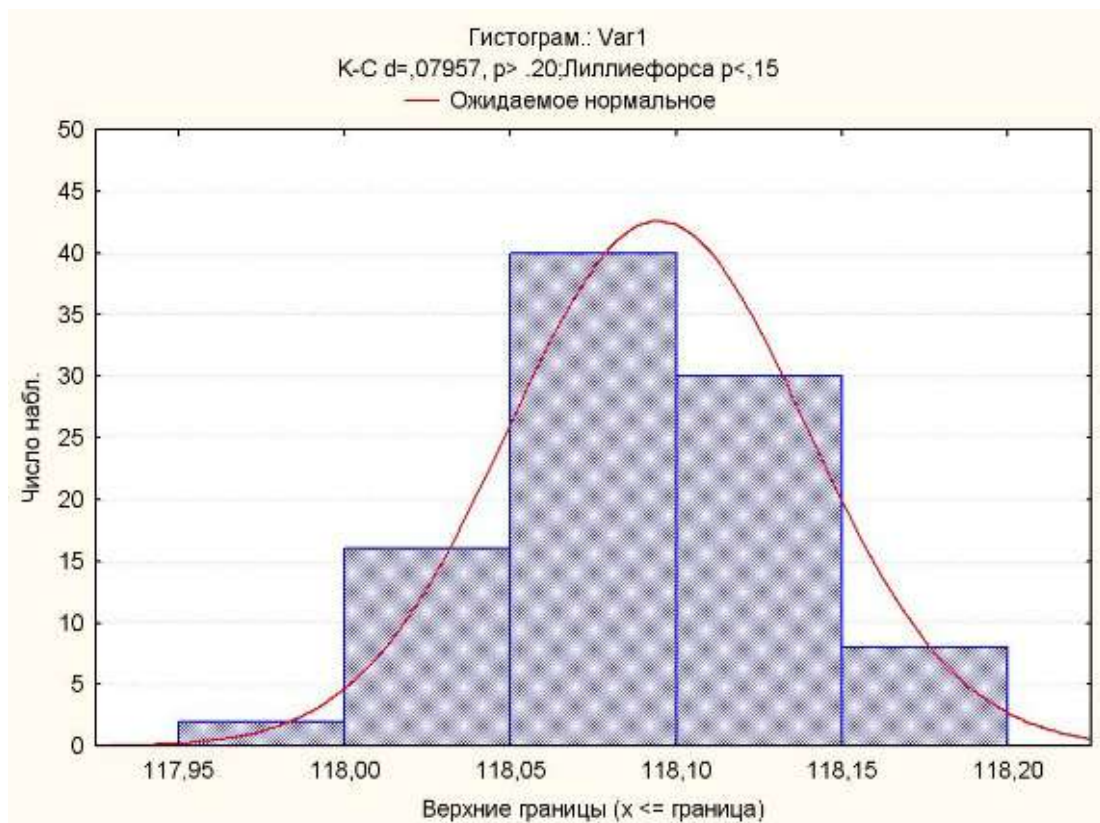


Рисунок 3.8 – Распределение замеров поверхности с номинальным диаметром $\text{Ø}118^{+0,22}$

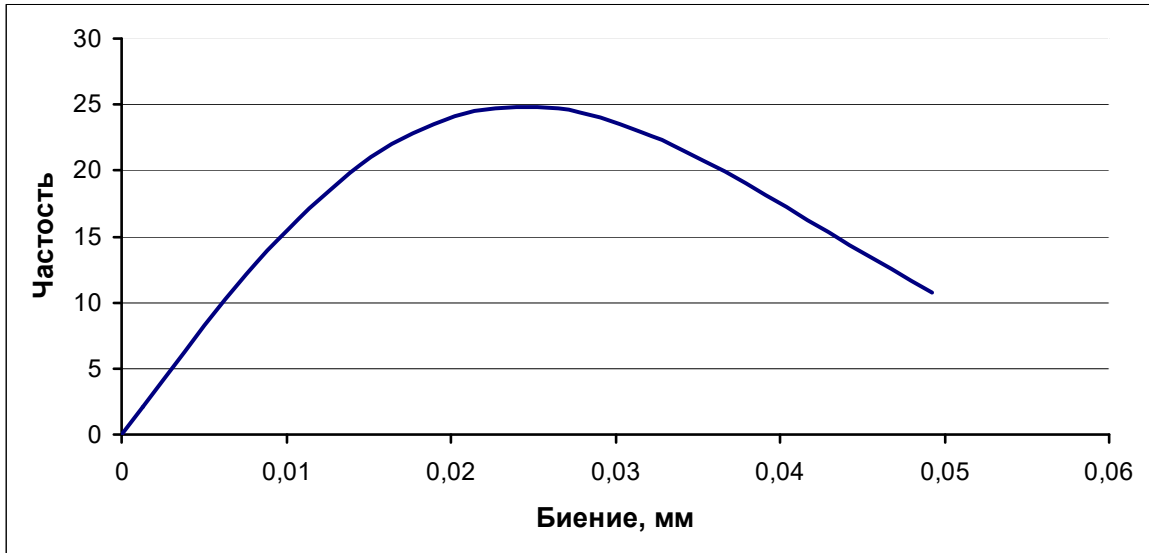


Рисунок 3.9 – Распределение биения среднего центрирующего утолщения собранного корпуса

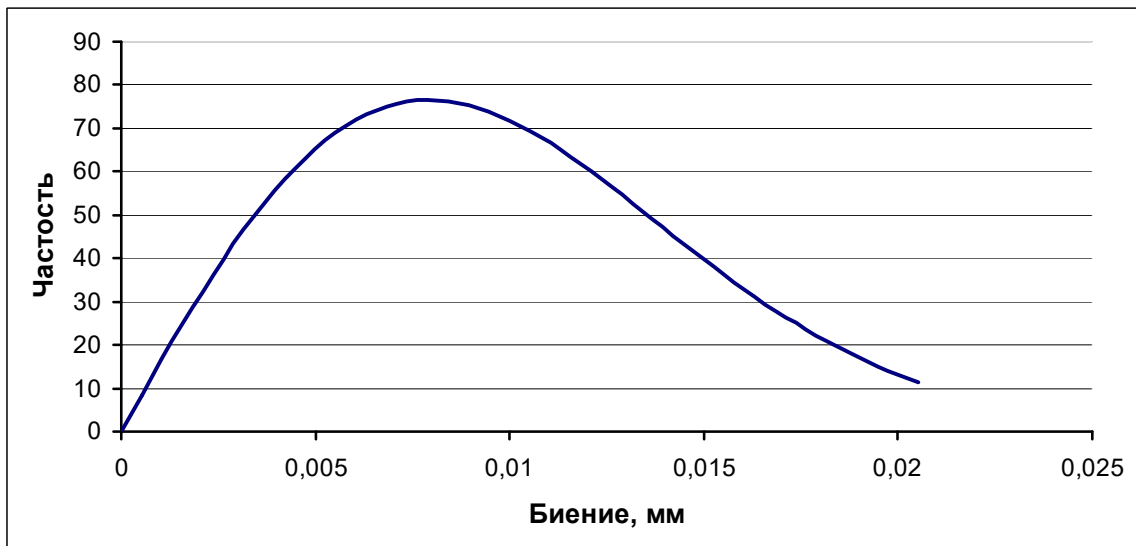


Рисунок 3.10 – Распределение случайных величин торцового биения трубы

В результате анализа можно сделать заключение, что все проверенные собранные изделия являются годными, распределения случайных величин диаметров центрирующих утолщений и диаметра центрирующего пояса трубы подчиняются нормальному закону распределения, распределения

биений центрующего пояса и торцового биения подчиняются закону распределения Рэлея.

3.6 Технологический процесс сборки

Технология сборки значительно влияет на функциональные характеристики корпуса ракетной части снаряда. В отличие от требований к идеальному реактивному снаряду, в условиях реального производства конструктивные элементы корпуса ракетной части снаряда производятся с определенными допусками.

Для корпуса ракетной части снаряда со значительными длинами наиболее важны угловые отклонения осей от их номинального положения [37].

На рис. 3.11 показан собранный ракетный двигатель, а также его составляющие единицы.

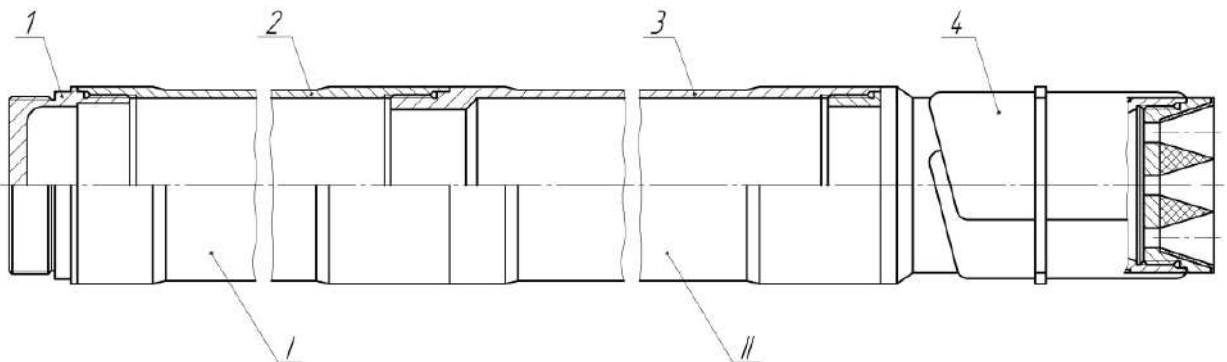


Рисунок 3.11 - Собранный ракетный двигатель:

- I – труба головная (1 – переходное дно; 2 – головная труба);
 II – блок хвостовой (3 – хвостовая труба; 4 – блок стабилизатора)

Процесс сборки ракетного двигателя состоит из следующих основных операций, а именно:

– сборка головной трубы, заключающейся в свинчивании головной трубы с переходным дном, служащим соединительным элементом с головной частью снаряда.

– сборка блока хвостового, состоящая из нескольких операций. Вначале следует предварительное свинчивание хвостовой трубы, блока стабилизатора и хвостовой диафрагмы. Затем производится сверление отверстия через эти три детали, раскручивание и нарезание резьбы под установку направляющего штифта. В завершении по аналогичной схеме сборка повторяется еще раз с установкой всех сборочных единиц;

– сборка узла ракетного двигателя, включающая в себя свинчивание двух рассмотренных ранее сборочных комплектов с проведением необходимых контрольных операций.

В процессе сборки сборочных единиц изделия располагаются на специальных стапелях.

При сборке головной трубы с переходным дном труба вывешивается собираемой стороной на специальном стапеле с базированием по крайнему центрирующему утолщению на роликах и фиксируется по центру стебля от поворота хомутом.

Аналогичным образом, по выше описанной методике, собирается хвостовая труба с блоком лопастей.

Собранные две сборочные единицы (головная труба с дном и хвостовая труба с блоком лопастей) свинчиваются между собой на специальном стапеле при базировании хвостовой трубы с блоком лопастей с двух сторон в центрирующих утолщениях на роликах с закреплением по центру стебля трубы хомутом от поворота. Закрепленная данная сборочная единица далее свинчивается с собранной головной трубой. Точность взаимного положения собираемых сборочных единиц определяется величиной зазоров по центрирующим поясам и упорным резьбам, а также точностью их относительного положения.

На рис. 3.12 отражен контроль параметров собранного корпуса ракетной части снаряда.

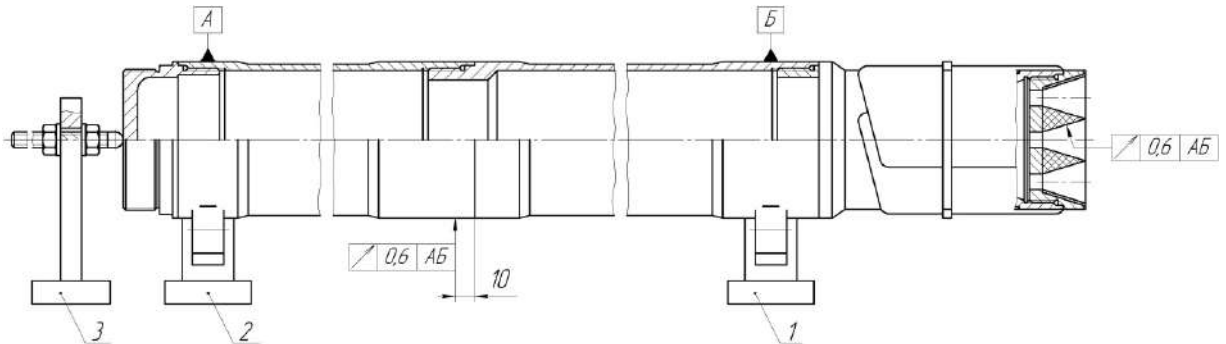


Рисунок 3.12 – Контроль параметров собранного корпуса ракетной части снаряда:

1 и 2 – ролики; 3 – упор

Корпус ракетной части снаряда центрирующими утолщениями *A* и *B* опирается на ролики 1 и 2, доводится до закрепленного упора 3. В сопловой блок устанавливается индикатор ИЧ10 ГОСТ 577-68, по колебанию стрелки которого определяется значение биения. Также индикатором контролируется радиальное биение в центре узла. Односторонние зазоры в местах свинчивания контролируются с помощью шупа, в том числе головной трубы и хвостового блока. Односторонний зазор, согласно конструкторской документации, не должен превышать 0,05 мм.

3.6.1 Анализ влияния параметров собираемых труб на параметры выходного собранного ракетного двигателя

3.6.1.1 Опытное производство

При сборке корпусов из труб с низким коэффициентом запаса точности, изготовленных по опытной технологии, наблюдались величины биения среднего утолщения изделия близкие или даже превосходящие допуск на биение. Поскольку обработка труб велась с использованием

настройки на размер по методу пробных проходов, то выявление закономерностей влияния параметров труб, на точность собираемых корпусов ракетных двигателей не представлялось целесообразным. Решено ограничиться констатацией факта, что потребность повторных переборок составила до 10 %.

3.6.1.2 Серийное производство

С целью выявления значимости влияния параметров труб, на точность собираемых корпусов реактивных двигателей был проведен регрессионный анализ с помощью программного пакета «STATISTICA». На рис. 3.13 представлены данные для анализа, где X – параметры трубы до сборки, Y_i – параметры собранного комплекта:

Параметры: Y_1 – биение среднего центрирующего собранного корпуса ($TCR_{цy} = 0,6$) - $ECR_{цy}$;

Y_2 – торцовый зазор между трубами ($(T_3 = 0,05)$ - E_3) - зависят от параметров сопрягаемых труб;

X_1 – радиальное биение на заднем стыке головной трубы ($TCR_{зп} = 0,25$) – $ECR_{зп}$;

X_2 – торцовое биение на заднем стыке головной трубы ($TCA_{зп} = 0,1$); $ECA_{зп}$;

X_3 – радиальное биение на переднем стыке хвостовой трубы ($TCR_{пз} = 0,25$); $ECR_{пз}$;

X_4 – торцовое биение на переднем стыке хвостовой трубы ($TCA_{пз} = 0,1$); $ECA_{пз}$;

На Y_3 ($ECR_{сб}$) - биение соплового блока ($TCR_{сб} = 0,6$), влияют все параметры до сборки, от X_1 до X_8 .

X_5 – радиальное биение на заднем стыке хвостовой трубы ($TCR_{зх} = 0,25$) – $ECR_{зх}$;

X_6 – торцовое биение на заднем стыке хвостовой трубы ($TCA_{зх} = 0,1$);
 $ECA_{зх}$;

X_7 – радиальное биение на переднем стыке хвостового блока ($TCR_{пх} = 0,25$); $ECR_{пх}$;

X_8 – торцовое биение на переднем стыке хвостового блока ($TCA_{пх} = 0,1$); $ECA_{пх}$;

Y_3 – биение соплового блока ($TCR_{сб} = 0,6$) – $ECR_{сб}$.

	1 X1	2 X2	3 X3	4 X4	5 X5	6 X6	7 X7	8 X8	9 Y1	10 Y2	11 Y3
1	0,1	0,02	0,13	0,02	0,12	0,02	0,03	0,01	0,25	0,01	0,1
2	0,1	0,03	0,12	0,01	0,12	0,03	0,05	0,02	0,06	0,01	0,05
3	0,1	0,01	0,1	0,02	0,1	0,03	0,03	0,02	0,13	0,01	0,15
4	0,1	0,02	0,11	0,03	0,1	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,1
5	0,1	0,01	0,08	0,01	0,08	0,02	0,01	0,02	0,07	0,01	0,2
6	0,15	0,01	0,07	0,01	0,07	0,02	0,04	0,01	0,23	0,02	0,15
7	0,2	0,01	0,12	0,02	0,09	0,01	0,03	0,02	0,15	0,02	0,15

Рисунок 3.13 – Исходные данные

На рис. 3.14–3.17 представлены результаты регрессионного анализа данных. Значимость данных оценивалась по критерию Пирсона с доверительной вероятностью $p < 0,05$.

На основании рис. 3.14–3.19 выведены уравнения множественной регрессии:

$$Y_1=0,128-0,1X_1-0,1X_2+0,003X_3+0,049X_4; \quad (3.10)$$

$$Y_2=0,014+0,159X_1-0,12X_2+0,074X_3+0,04X_4; \quad (3.11)$$

$$Y_3=0,244-0,15X_1-0,04X_2-0,01X_3-0,01X_4-0,23X_5-0,13X_6-0,21X_7-0,05X_8. \quad (3.12)$$

Уравнения (3.10) - (3.12) показывают, что наибольшее влияние на точность основных параметров собранного корпуса ракетной части снаряда оказывают параметр X_1 и X_2 – радиальное и торцовое биение на заднем стыке головной трубы.

3.6.2 Выходные параметры собранного двигателя реактивного снаряда

В условиях производства в партии из 96 собранных ракетных двигателей были проведены замеры биения среднего центрирующего утолщения собранного корпуса ракетной части снаряда и биения соплового блока. Результаты замеров сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Опытные данные замеров собранных изделий

Порядковый номер	Биение среднего центрирующего утолщения собранного корпуса	Биение соплового блока
1	0,25	0,10
2	0,06	0,05
3	0,13	0,15
...		
94	0,15	0,17
95	0,10	0,10
96	0,10	0,15

С целью выявления вида закона распределения результатов эксперимента, проведен статистический анализ с помощью программного пакета «STATISTICA» и MS Excel. На рис. 3.20 и 3.21 представлены результаты анализа:

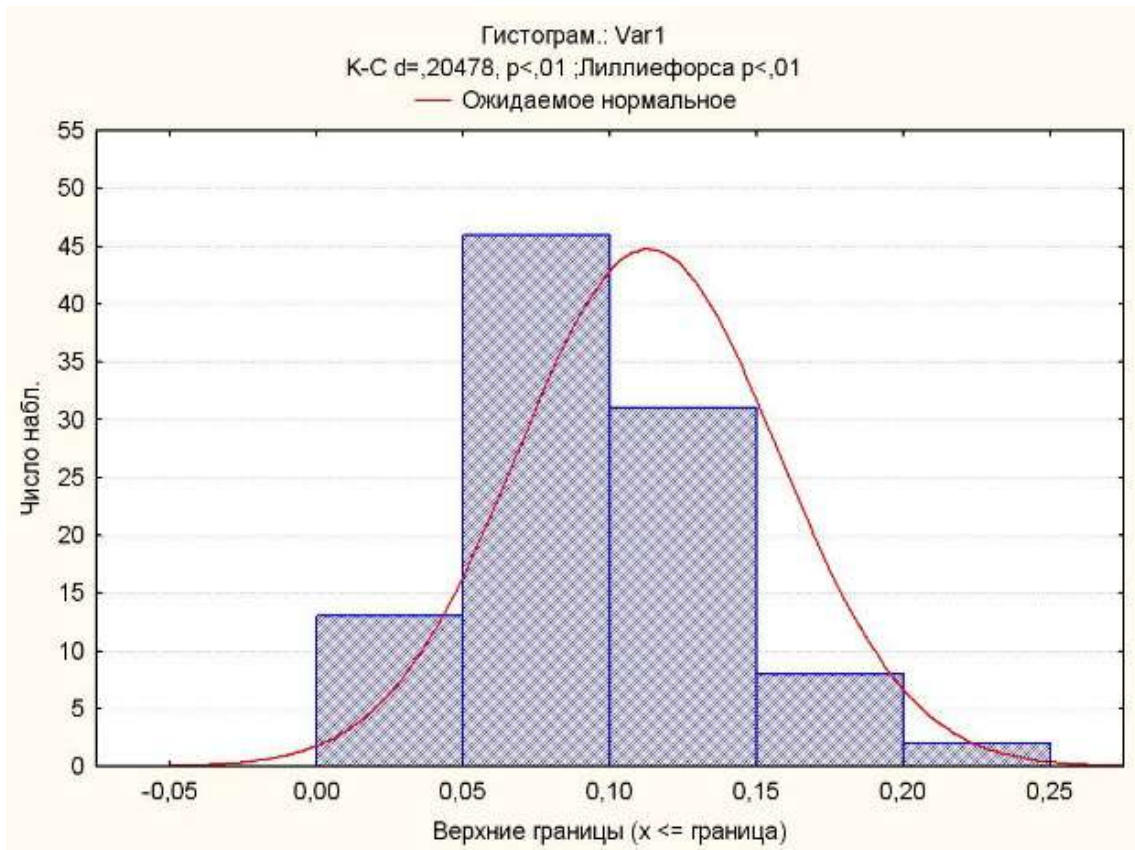


Рисунок 3.20 – Гистограмма распределения величины биения среднего центрирующего утолщения собранного корпуса

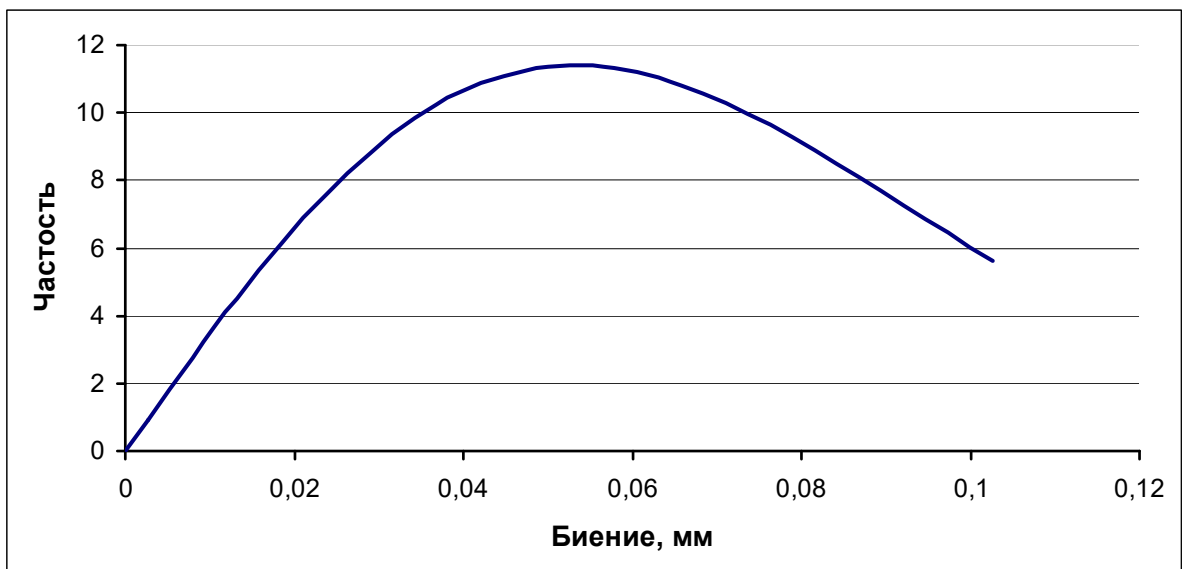


Рисунок 3.21 – Распределение случайных величин биения соплового блока

В результате анализа можно сделать заключение, что все проверенные собранные ракетные снаряды являются годными, распределения случайных величин биения центральной части корпуса подчиняются нормальному закону распределения, распределения биения соплового блока закону распределения Рэлея.

3.7 Выводы

1. Сопоставление численных коэффициентов для компенсации погрешностей шага и угла профиля показывает, что для упорной резьбы с углами профиля 3° на 30° они в 1,3 раза чувствительнее для влияния на приведенный средний диаметр, чем для метрической резьбы. Для упорной резьбы с углами профиля 3° на 45° , коэффициенты для компенсации погрешностей угла профиля примерно равны, а для компенсации погрешностей шага – на 12% больше.

2. Все собранные изделия являются годными, распределения случайных величин диаметров центрирующих утолщений и диаметра центрирующего пояска трубы подчиняются нормальному закону распределения, распределения биений центрирующего пояска и торцового биения подчиняются закону распределения Рэлея.

3. Выведенные регрессионные уравнения показывают, что наибольшее влияние на точность ключевых параметров собранного ракетного двигателя оказывают радиальное и торцовое биение на заднем стыке головной трубы.

4. Установлена зависимость выходных параметров собранных корпусов ракетного двигателя от параметров собираемых труб с получением математических моделей (уравнений регрессии) влияния радиального и торцового биения головных и хвостовых труб на: биение среднего центрирующего утолщения собранного корпуса, торцовый зазор между трубами, биение соплового блока.

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВХОЖДЕНИЯ КОРПУСА РАКЕТНОЙ ЧАСТИ СНАРЯДА В ПУСКОВУЮ НАПРАВЛЯЮЩУЮ

4.1 Определение условий вхождения собранных изделий

Для обеспечения работы реактивного снаряда залпового огня [58] необходимо гарантировать собираемость [65] реактивного снаряда в пусковую направляющую. Свободное вхождение реализуется, когда присутствует зазор между прилегающим цилиндром корпуса реактивного снаряда и прилегающим цилиндром пусковой направляющей. Корпусы реактивного снаряда должны войти в пусковую направляющую и гарантированно выйти, при этом они должны обладать герметичностью и прямолинейностью. Все эти требования связаны между собой, сложным является обеспечение вхождения.

Анализ применяемых в реактивном снаряде соединений показал, что наиболее широко используемым является соединение с цилиндрическим центрирующим пояском и специальной упорной резьбой.

Анализ сборочного чертежа корпуса ракетной части снаряда, технических требований сборочного чертежа, технических условий изготовления изделия – показал, что основными параметрами являются:

- биение центральной части корпуса ракетной части снаряда не более 0,6 мм относительно двух крайних центрирующих утолщений,
- отсутствие круговых зазоров между сборочными единицами, при допущении одностороннего зазора не более 0,05 мм,
- диаметральные размеры базовых центрирующих утолщений и центрирующего пояска.

Корпус ракетной части снаряда отличается от большинства машиностроительных конструкций наличием в середине центрирующего

утолщения, диаметр которого выполнен меньше, чем диаметры базовых крайних центрирующих утолщений [24].

Условие вхождения изделия:

$$z_{\min} = D_{ad} - d_{ad} > 0,$$

где: z_{\min} - минимально допускаемый зазор между прилегающими поверхностями сопрягаемых изделий;

D_{ad} и d_{ad} – диаметры прилегающих цилиндров отверстий и валов [37].

На рис. 4.1 изображена схема положения корпуса реактивного снаряда в пусковую направляющую.

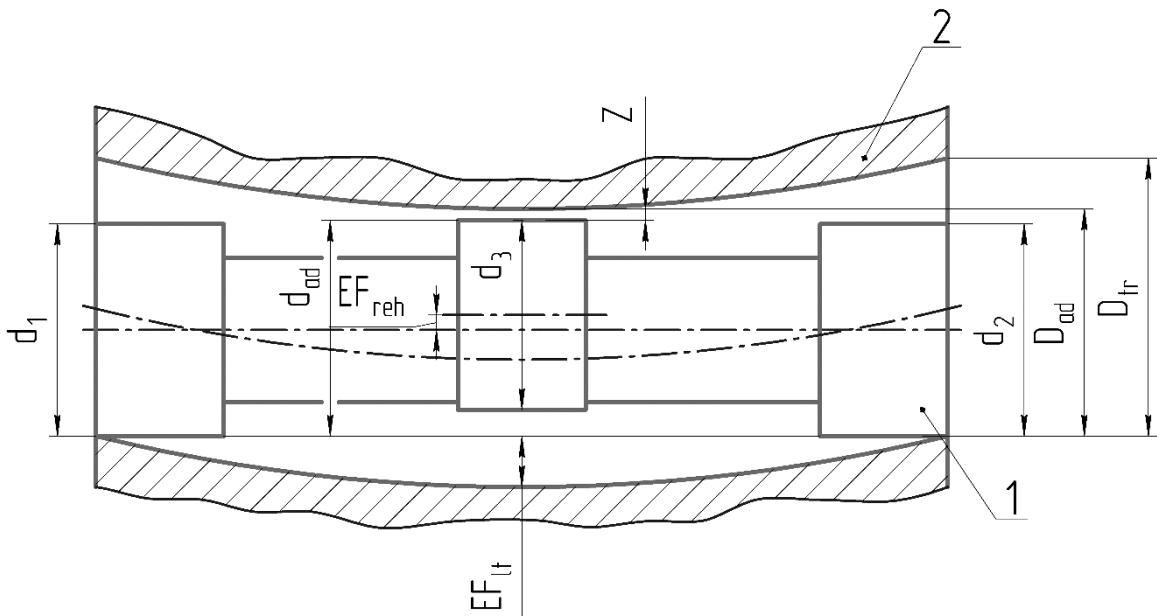


Рисунок 4.1 - Схема положения корпуса ракетной части снаряда в пусковую направляющую:

1 – корпус ракетной части снаряда, 2 – пусковая направляющая

Принцип взаимозаменяемости изделия реализуется при условии:

$$\begin{cases} d_1 < D_{pt \min} > d_2, \\ 0,25(d_1 + d_2) + 0,5d_3 + EF_{reh} + EF_{ovreh\Sigma} = d_{0reh} \leq D_{0d} = A_0 \end{cases}, \quad (4.1)$$

где: $D_{lt\min}$ - минимально допустимый диаметр пусковой направляющей,

d_1, d_2 - диаметры крайних утолщений,

d_3 - диаметр среднего центрирующего утолщения,

A_0 - диаметр цилиндра нулевой кривизны пусковой направляющей;

d_{0reh} - номинальный размер вхождения ступенчатого корпуса ракетной

части снаряда;

EF_{reh} - кривизна оси корпуса ракетной части снаряда;

$EF_{ovreh\Sigma}$ - сумма проекций овальностей центрирующих утолщений на вектор EF_{reh} .

При контроле радиального биения корпуса ракетной части снаряда устанавливают в двух призмах по центрирующим утолщениям и медленно вращают. По колебанию стрелки индикатора, установленного в плоскости биссектрисы угла призм и контактирующему со средним утолщением, определяют радиальное биение комплекта [86].

4.2 Математическое выражение размера вхождения

При косвенном контроле размера вхождения измерением радиального биения среднего утолщения 3 собранного корпуса ракетной части снаряда на показания влияет только овальность центрирующего утолщения 3, а влияние овальностей центрирующего утолщения 1 и центрирующего утолщения 2 компенсировано путем использования особых свойств призм с углом 90° (рис. 4.2) [74].

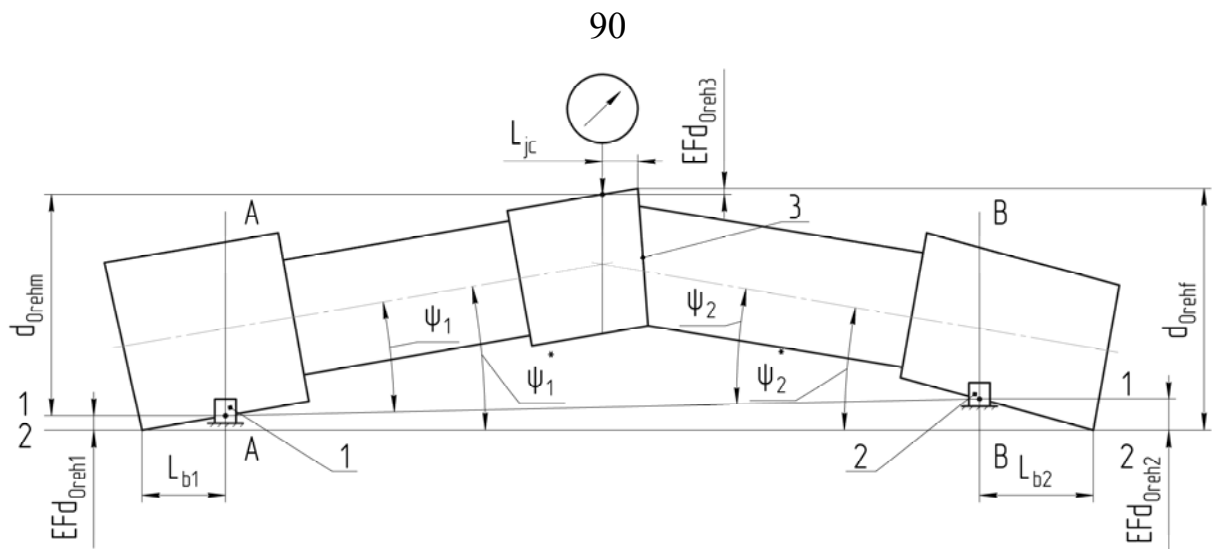


Рисунок 4.2 - Схема влияния перекоса осей труб корпуса ракетной части снаряда на погрешность измерения размера вхождения

Из рис. 4.2 видно, что способ непосредственного контроля диаметра прилегающего контура корпуса ракетной части снаряда прямо учитывает влияние всех шести случайных составляющих уравнения (4.3), поэтому погрешность формы всех центрирующих утолщений корпуса ракетной части снаряда и их фазовые углы не создают погрешностей определения размера вхождения по исследуемому способу.

$$d_{0rehf} = 0,5(b_1 + b_2) + b_3 + EF_{reh} + EF_{ovreh\Sigma} \quad (4.2)$$

$$EF_{ovreh\Sigma} = 0,5(EF_{ovreh1} \cdot \sin \varphi_1 + EF_{ovreh2} \cdot \sin \varphi_2) + EF_{ovreh3} \cdot \sin \varphi_3 \quad (4.3)$$

В уравнении (4.2) полагают, что вектор кривизны оси корпуса ракетной части снаряда $-EF_{reh}$, напрямую влияет на размер вхождения. Однако смещение центра центрирующего утолщения 3 относительно общей оси корпуса ракетной части снаряда, реализуемой осью O_1O_2 , проходящей через центры крайних центрирующего утолщения 1 и центрирующего утолщения 2, вызывает перекося осей труб, составляющих корпус ракетного двигателя.

Трубы корпуса ракетной части снаряда соединяют с помощью резьбовых полузамков, включающих упорные резьбы, короткие центрирующие пояски и торцы. В работе [24] показано, что в соединении возможны как параллельные смещения осей, так и их перекося.

Обычно призмы располагают примерно посередине длины центрирующего утолщения на расстоянии L_{b1} и L_{b2} от края труб, поэтому возникает смещение линии 1-1 контроля размера относительно линии, служащей началом отсчета фактического размера d_{0rehf} на изделии. Погрешность измерения $Efd_{0reh1,2}$ приблизительно определяют по зависимости

$$Efd_{0reh1,2} = 0,5(Efd_{0reh2} + Efd_{0reh1}), \quad (4.4)$$

где: $Efd_{0reh1} = L_{b1}\psi_1$ $Efd_{0reh2} = L_{b2}\psi_2$ - погрешности измерения размера от «проседания» изделия в призмах;

L_{b1} и L_{b2} - расстояние до базового сечения от торцов труб 1 и 2.

Равенство может быть точным только при $Efd_{0reh1} = Efd_{0reh2}$, когда линии 1-1 и 2-2 параллельны, и углы $\psi_1 = \psi_1^*$ и $\psi_2 = \psi_2^*$ наклона осей труб с осью контроля (отсчета размера d_{0rehf}) равны.

Смещение плоскости контроля на расстояние L_{jC} от плоскости стыка, приводит к погрешности измерения

$$Efd_{0reh3} = L_{jc}\psi_1, \quad (4.5)$$

где: L_{jC} - расстояние от плоскости контроля до плоскости стыка объединяемых труб (до края контролируемой поверхности);

ψ_1 - угол наклона оси первой трубы с осью контроля.

Для определения порядка значений углов ψ рассмотрены сочетания размеров и допусков на типовой корпус ракетного двигателя:

- длины труб около 1000 мм (на рис. 4.2 не показаны),
- длины центрирующего утолщения 1 и центрирующего утолщения 2 – около 80 мм,
- максимально допускаемое радиальное биение среднего центрирующего утолщения 3 – 0,5 мм,

откуда допустимая кривизна оси корпуса ракетной части снаряда – 0,25 мм. Тогда $L_{b1} = L_{b2} \approx 40$ мм.

Из рис. 4.2 находят:

$$\sin \psi_1 \approx \sin \psi_2 = \frac{TEFd_{0reh}}{L}, \quad (4.6)$$

где: L - длина трубы.

Подставляя в уравнение (4.6), имеют максимально возможное значение:

$$\sin \psi_1 \approx \sin \psi_2 \approx \frac{0,25 \cdot}{1000} = 0,00025,$$

учитывая, что при малых углах функции синуса, тангенса и углы в радианах равны, получают $\psi_1 \approx \psi_2 \approx \psi_3 = 0,00025 \text{ рад} = 0,143^\circ$.

Откуда $EFd_{0reh1} \approx EFd_{0reh2} \approx 0,00025 \cdot 40 = 0,01$ мм. Аналогично находят по формуле (4.5) - $EFd_{0reh3} \approx 0,01$ мм. В этом случае суммарная погрешность измерения размера вхождения, вызванная перекосом осей труб корпуса ракетной части снаряда определяют из выражения:

$$EFd_{0reh\Sigma} = 0,5(EFd_{0reh1} + EFd_{0reh2}) + EFd_{0reh3}, \quad (4.7)$$

подставляя в которое максимально возможные значения составляющих $EFd_{0rehi} \approx 0,01$ мм, получают $EFd_{0reh\Sigma} = 0,02$ мм.

Как правило, установить реальное значение углов Ψ_1 и Ψ_2 на практике невозможно, поэтому учесть погрешность измерения можно только пользуясь расчетными предельными величинами углов Ψ_1 и Ψ_2 , ужесточая допуск на размер $TEFd_{0reh\Sigma}$ при настройке прибора.

Для уменьшения погрешностей измерения размера вхождения корпуса ракетной части снаряда d_{0reh} , призмы при контроле нужно устанавливать как можно ближе к краям корпуса ракетной части снаряда, однако они не должны выходить за его пределы, поэтому расстояние от края базовых центрирующих утолщений берется минимальным 2-3 мм, что обычно соответствует погрешности $EFd_{0reh1,2} \approx 0,001 \div 0,00075$ мм.

4.3 Методические основы прямого измерения фактического размера вхождения корпуса ракетной части снаряда

Если датчик линейных перемещений 3 установить под углом в 45° к биссектрисе угла призмы 1, то есть перпендикулярно одной из граней призмы (рис. 4.3), то будет измерен непосредственно фактический размер вхождения корпуса ракетной части снаряда - d_{0rehf} .

Для настройки индикатора используют эталон 2, который изготавливают близко к номинальным размерам корпуса ракетной части снаряда.

Фактический размер вхождения – корпуса ракетной части снаряда можно выразить из второго уравнения системы (4.1), заменив диаметры центрирующих утолщений – d_1, d_2, d_3 , на удвоенные размеры малых полуосей эллипсов соответствующих ЦУ – $b_{1.2.3}$:

$$d_{0rehf} = 0,5(b_1 + b_2) + b_3 + EF_{reh} + EF_{ovreh\Sigma}. \quad (4.8)$$

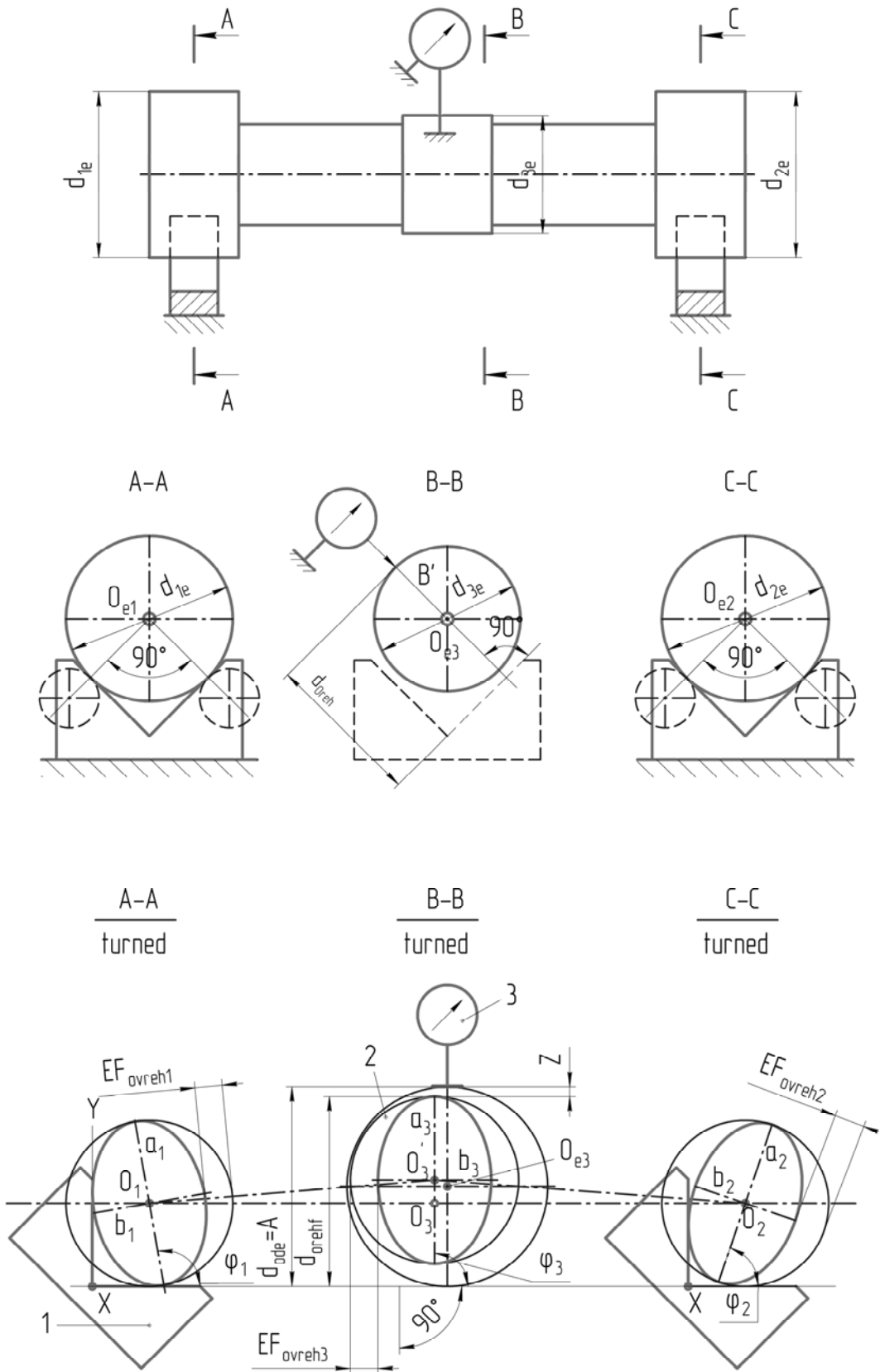


Рисунок 4.3 - Схема контроля размера вхождения корпуса ракетной части снаряда: 1 – призмы, 2 – эталон, 3- индикатор

В уравнении (4.8) априори полагают, что вектор кривизны оси корпуса ракетной части снаряда - EF_{reh} перпендикулярен измерительной базе, т.к. из опыта косвенной проверки размера вхождения путем измерения радиального биения среднего центрирующего утолщения, практически во всех случаях они совпадают.

Сложнее установить значение и направление суммарного вектора проекций овальностей центрирующих утолщений на вектор $EF_{reh} - EF_{ovreh\Sigma}$.

По правилам математики проекция суммы векторов на заданное направление (в рассматриваемом случае на ось Y) в соответствии с передаточными отношениями диаметров на размер вхождения определяют зависимостью:

$$EF_{ovreh\Sigma} = 0,5(EF_{ovreh1} \cdot \sin \varphi_1 + EF_{ovreh2} \cdot \sin \varphi_2) + EF_{ovreh3} \cdot \sin \varphi_3. \quad (4.9)$$

В правой части уравнения (4.9) расположены 6 независимых величин. Для овальностей центрирующих утолщений установлены допуски $TEF_{ovreh} = 0,3 \text{ мм}$, обычно такие величины распределяются по закону Релея [65]. В таких случаях целесообразно использовать статистическое исследование влияния погрешностей или математическое моделирование этого влияния.

4.4 Апробация способа контроля вхождения реактивного снаряда в пусковую направляющую в условиях действующего производства

Для апробации предлагаемого способа в условиях действующего производства, был изготовлен эталон, имитирующий номинальные размеры сборной трубы, у которого все центрирующие утолщения были отшлифованы за одну установку. Эталон имел следующие размеры: $d_{1\text{э}} = 121,995 \text{ мм}$; $d_{2\text{э}} = 121,998 \text{ мм}$; $d_{3\text{э}} = 121,760 \text{ мм}$. При этом размер

$d_{0rehf} = 121,903$ мм, при допустимой величине $d_{0rehf} = 121,9$ мм [113] (см. рис. 4.3).

В сборочном цехе предприятия были замерены следующие параметры: радиальное биение E_p и размер вхождения d_{0rehf} , соответствующие старому и новому способам контроля вхождения изделия в трубу, у двух выборок ракетных двигателей.

Первая выборка, объемом $N = 50$ шт., - это изделия, признанные негодными контролерами ОТК по параметру E_p при действующем способе производства, то есть у них $E_p > 0,6$ мм

Вторая выборка, объемом $N = 50$ шт., - это изделия, признанные годными по параметру, для которых $E_p < 0,6$ мм.

Анализ данных первой выборки показывает, что восемь изделий забракованных по E_p неверно, их можно не подвергать переборке, так как у них $d_{0rehf} < 121,9$ мм; а $Z_{min} > 0$ и их вхождение гарантировано, что было подтверждено вхождением в эталонную пусковую трубу, параметры которой были близки экстремальным. Таким образом, 16% изделий, забракованных по радиальному биению среднего центрирующего утолщения, можно признать годными по размеру вхождения.

Анализ данных второй выборки показал, что 9 изделий (что составляет 18%) признано ОТК годными неверно, так как у них $d_{0rehf} > 121,9$ мм и $Z_{min} < 0$. Их вхождение в трубу не гарантируется, что подтверждено непосредственной проверкой вхождения по эталонной пусковой трубе. Это подтверждает вывод о том, что способ контроля по радиальному биению не может гарантировать вхождение.

Следует отметить тот факт, что одно изделие было признано годным по радиальному биению контролерами ОТК ошибочно, так как $E_p = 0,61$ мм, что подтверждает субъективность оценки годности по радиальному биению.

В результате контроля изделия, предлагаемым способом, трудоемкость сокращается на 40 %. Исключается необходимость производить несколько оборотов изделия в призмах и рассчитывать максимальную разницу показаний индикатора.

4.5 Выводы

1. Анализ сборочно-эксплуатационных размерных цепей показал, что наибольшее влияние на вхождение корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу оказывает кривизна оси корпуса ракетной части снаряда - EF_{reh} , которая зависит от взаимного положения деталей корпуса ракетной части снаряда в сборе. Поскольку кривизну оси корпуса ракетной части снаряда - EF_{reh} как правило, в расчетах принимают в качестве конечного звена, то ее контроль закладывают в техпроцесс.

2. Косвенный контроль вхождения корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу, производимый по биению наружного утолщения не позволяет объективно гарантировать вхождение корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу, что вызывает риск получения рекламаций от заказчика. В действующем сборочном производстве корпусов ракетных двигателей имеются случаи, связанные с повторной переборкой из-за перекоса секций (превышение радиальных биений 0,6 мм и допустимого зазора на собранных корпусах 0,05 мм).

3. Математическое выражение размера вхождения корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу показало, что существующие овальности центрирующих утолщений (от 0,05 до 0,15 мм) оказывают значимое влияние на величину размера вхождения, поэтому расчет предельного значения размера вхождения необходимо производить из условия обеспечения требуемого размера вхождения с учетом погрешностей формы поверхностей всех центрирующих утолщений.

4. Предложенный способ прямого измерения размера вхождения d_{0reh} гарантирует 100% вхождение корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу, более производителен и объективен, исключает появление рекламаций по геометрическим параметрам собранного корпуса ракетной части снаряда.

5 УПРАВЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ТРУБ, СВИНЧИВАЕМЫХ ПО УПОРНОЙ РЕЗЬБЕ, И СБОРОЧНЫЙ СТЕНД ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТОГО ПРОЦЕССА

Задачей технического решения является повышение точности сборки составных корпусов ракетного двигателя и повышение производительности путем сокращения количества непроизводительных операций по переборке несоответствующих конструкторской документации собранных комплектов.

5.1 Точность формы сопрягаемых поверхностей труб

Для облегчения сборки труб с овальностью стыковых частей нами предложен «Способ сборки деталей в виде оболочек с размещением одной детали внутри другой на заданную длину и заданным зазором»², в котором перед соединением труб с овальностью предлагается исправить овальность путем упругого деформирования стыковых частей с помощью самоцентрирующих приспособлений

Способ сборки деталей в виде оболочек с размещением одной детали в внутри другой на заданную длину и заданным зазором включает установку и закрепление деталей на сборочном стенде с последующим неподвижным положением одной детали и осевым вставлением другой внутрь первой детали на заданную длину.

Первую деталь 1, являющейся охватывающей и находящейся в неподвижном положении, закрепляют по ее наружной поверхности в приспособлении с широкими кулачками 3, расточенными в диаметральный размер обжимаемой поверхности детали (рис. 5.1).

² Патент РФ на изобретение 2785982. МПК В23Р19/10. «Способ сборки деталей в виде оболочек с размещением одной детали внутри другой на заданную длину и с заданным зазором»

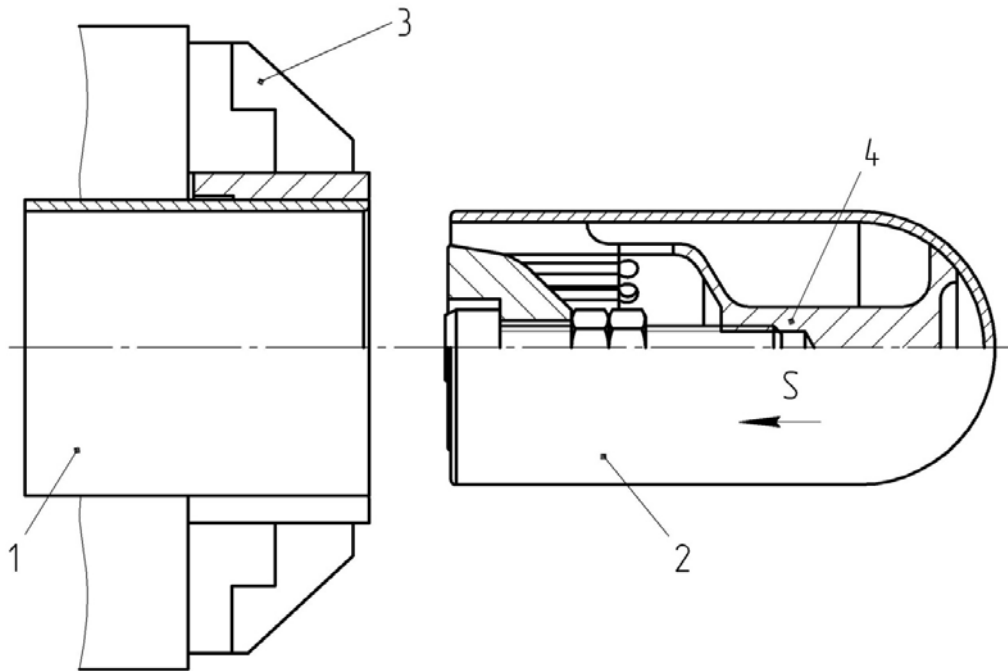


Рисунок 5.1 – Установка детали 1 в приспособлении с широкими кулачками 3

Деталь 2, являющуюся охватываемой, закрепляют по ее внутренней поверхности на оправке 4, обточенной в диаметральный размер внутренней поверхности детали.

Воздействуют деформирующими силами зажима Q_1 от оправки 4 и Q_2 от патрона 3 на собираемые детали 1 и 2 до устранения их овальности и обеспечения заданного зазора посадки деталей (рис. 5.2).

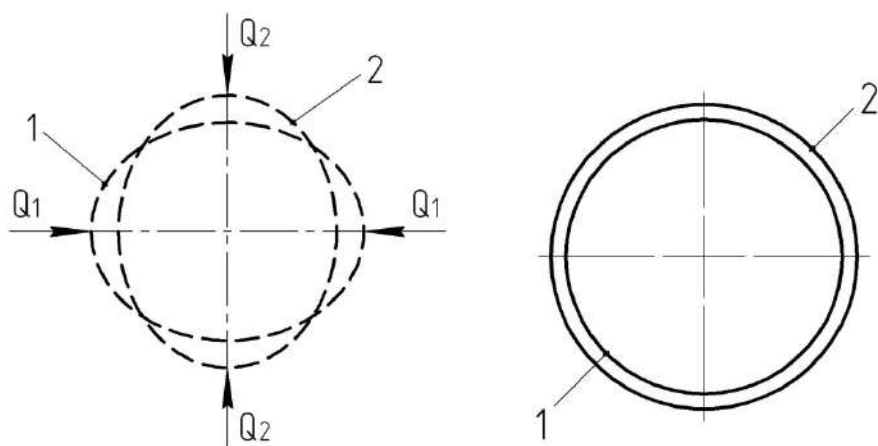


Рисунок 5.2 – Схема устранения их овальности и обеспечения заданного зазора посадки деталей

После этого вставляют охватываемую деталь в охватывающую, перемещая оправку на заданную длину, после чего отключают продольную подачу, а собранную сборочную единицу снимают со сборочного стенда (рис. 5.3). Преимуществом предлагаемого способа является устранение овальности у собираемых деталей с гарантией необходимого зазора посадки, обеспечиваемым применением при сборке самоцентрирующих приспособлений, с помощью, оправки для охватываемой детали и патрона с широкими кулачками, расточенными в размер обжимаемой поверхности, для охватывающей детали, обеспечивающих упругое деформирование овальных деталей, что обеспечивает точность и снижение трудоемкости.

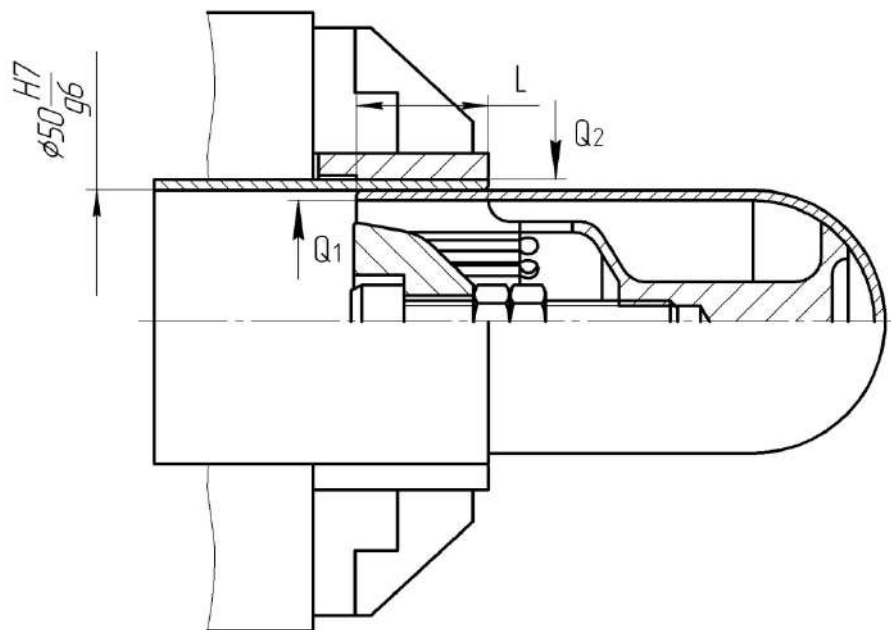


Рисунок 5.3 – Схема сборки труб

Опытно-промышленные испытания описанного способа сделаны при производстве изделий специального назначения, показав отличную стабильность результатов сборки с увеличением годных изделий с 30 до 100 % при снижении трудоемкости на 75 %, без расширения допусков посадки поверхностей объединяемых деталей.

5.2 Технология сборки труб корпуса ракетной части снаряда с соблюдением предельного размера вхождения

Трубы предварительно устанавливаются на конвейере так, чтобы их оси примерно совпадали с осями сборочного станда, закрепляют трубы с последующим вращением одной и осевым перемещением другой.

Перед свинчиванием наружную цилиндрическую поверхность головной трубы упруго центрируют в пневматическом рычажно-клещевом механизме, который после начального контакта торцов свинчиваемых труб, при пересопряжении контакта свинчиваемых поверхностей с нерабочей стороны на рабочую (упорную), перемещает наружную цилиндрическую поверхность к общей оси собираемого корпуса ракетной части снаряда.

Достигнутое положение окончательно фиксируется затяжкой винтового соединения до заданных параметров (крутящего момента и осевой силы), затем освобождают от зажима собранные трубы.

Собираемые трубы 1, 2 предварительно устанавливают на конвейере 3, 4, чтобы их оси примерно совпадали с осями сборочного станда (рис. 5.4).

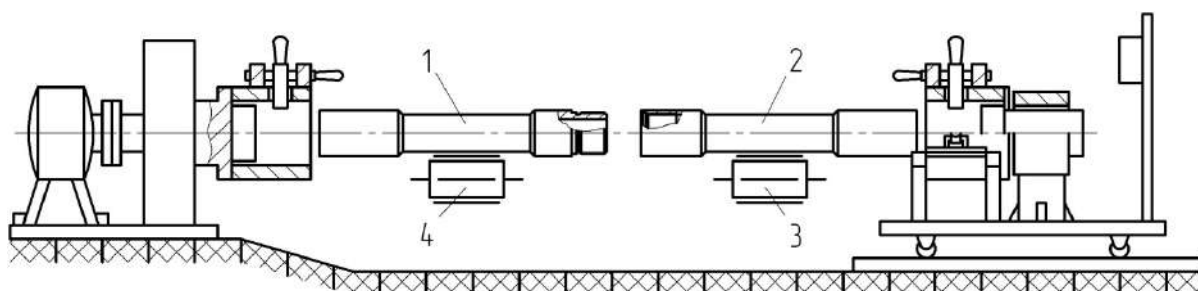


Рисунок 5.4 – Сборочный стенд

Место свинчивания труб охватывают клещевым механическим зажимным устройством рычажного типа 5 с пневматическим приводом качательным движением C при поступательном перемещении центральной

оси зажима D , фиксируя по наружному диаметру место стыкования труб (рис. 5.4 и 5.5).

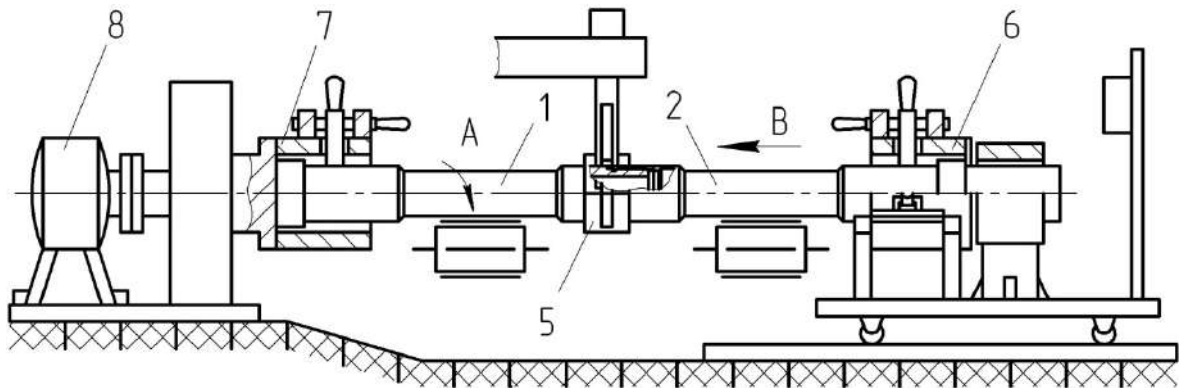


Рисунок 5.5 – Процесс свинчивания труб

Клещевое механическое зажимное устройство рычажного типа имеет рабочие элементы, выполненные по среднему в пределах допуска диаметру среднего центрирующего утолщения головной трубы (рис. 5.6). Это позволяет выправить имеющуюся овальность утолщения и облегчить вхождение хвостовой трубы в соединительную часть головной (см. п. 5.1 работы). Базирующую поверхность клещей растачивают в номинальный размер вхождения ступенчатого корпуса ракетной части снаряда - d_{0reh} . Это позволяет сборке с отклонениями доминирующих параметров свинтиться и не выйти по фактическому размеру вхождения корпуса ракетного - d_{0rehf} двигателя за допустимые пределы $d_{0rehf} < d_{0reh}$.

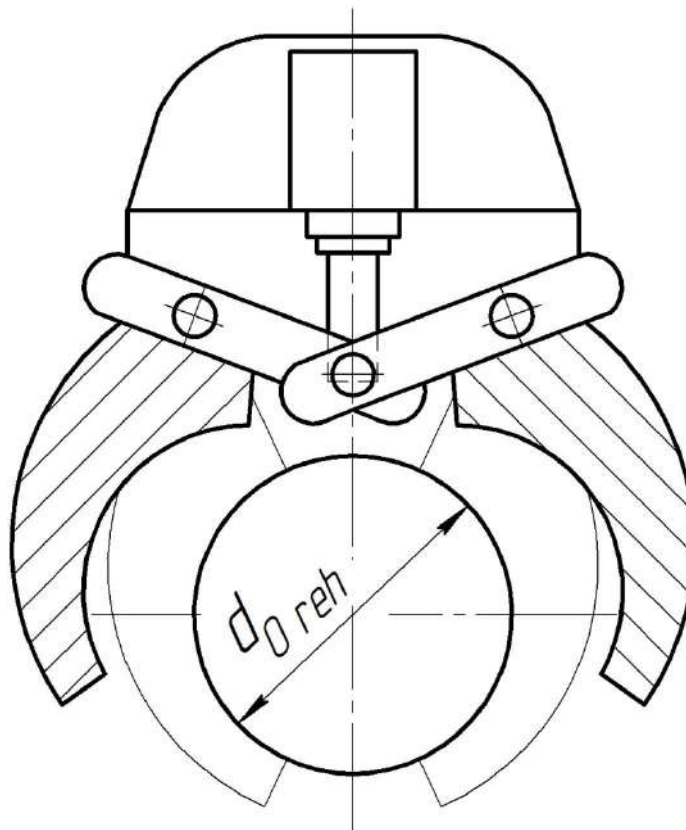


Рисунок 5.6 – Клещевое механическое зажимное устройство рычажного типа

Далее на головную трубу 2 (см. рис. 5.4) надвигают подвижный узел зажима 6 (см. рис. 5.5) В, доводя ее до касания с деталью 1 (см. рис. 5.4) и до полного вхождения хвостовой трубы 1 в патрон 7 (см. рис. 5.5), зажимают собираемые трубы в патронах, включают вращение зажатого патрона 7 двигателем 8 по направлению А (см. рис. 5.5) с некоторой суммарной силой наживления - ΣR_o , распределенной по площади контакта по нерабочим сторонам витков резьб (рис. 5.7).

Действие указанной силы вызывает ответную распределенную силу осевой реакции ΣR_o и противоположно направленные распределенные радиальные силы ΣR_{r1} ΣR_{r2} , стремящиеся совместить оси винтовых поверхностей нерабочих сторон витков резьб.

По мере свинчивания, в контакт вступают торцовые поверхности сопрягаемых труб (рис. 5.7 – 5.9).

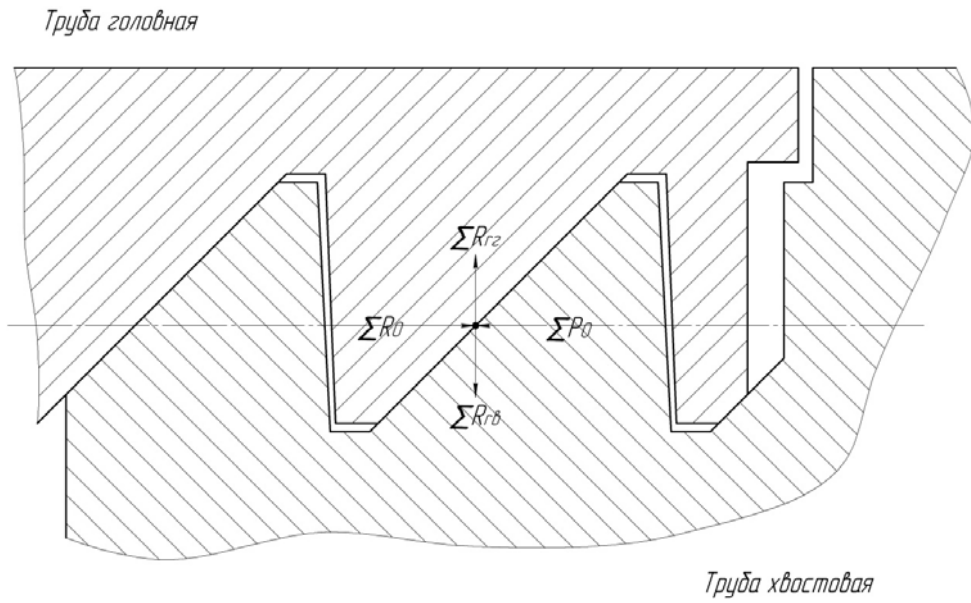


Рисунок 5.7 – Начальная стадия свинчивания резьбы

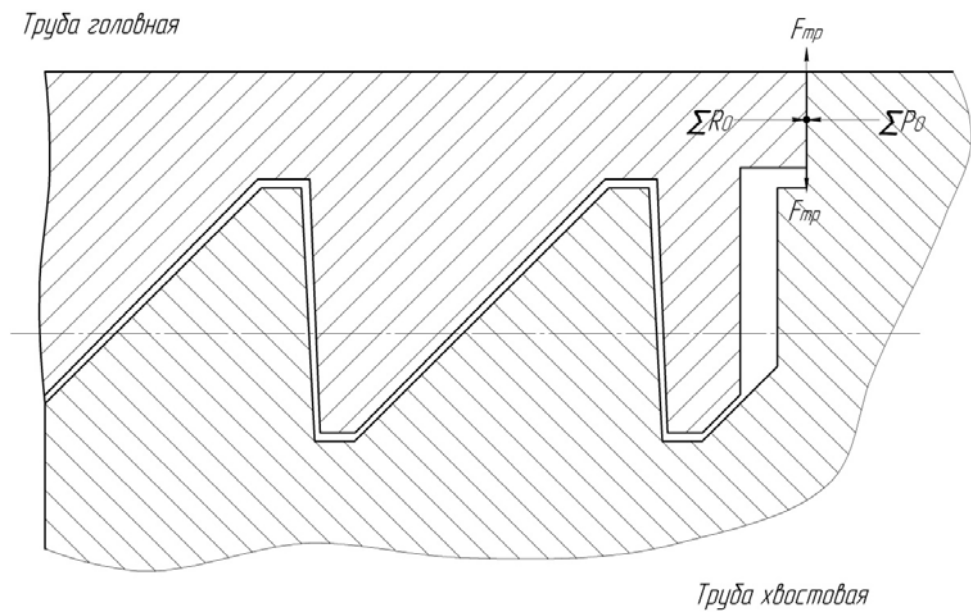


Рисунок 5.8 – Средняя стадия свинчивания резьбы

Вся осевая сила наживления воспринимается торцовыми поверхностями, при этом детали удерживают от взаимного смещения только небольшие по величине силы трения в стыках $\Sigma F_{тр}$, при этом между витками резьбы образуются зазоры как в осевом, так и в радиальном направлениях.

В этот момент клещевой захват (см. рис. 5.6), преодолевая указанную силу трения $\Sigma F_{тр}$ в стыке, перемещает наружную цилиндрическую поверхность детали 2 по направлению в общей оси собираемого комплекта.

При продолжении свинчивания происходит перераспределение поверхностей контакта с не рабочей на рабочую (упорную) сторону резьбы и на этих сторонах и торцах деталей создается необходимое усилие затяжки $\Sigma P_{зат}$ и вызываемую им реакцию $\Sigma R_{зат}$, а также фиксирующие достигнутое положение силы трения $\Sigma F_{зат}$ (рис. 5.9).

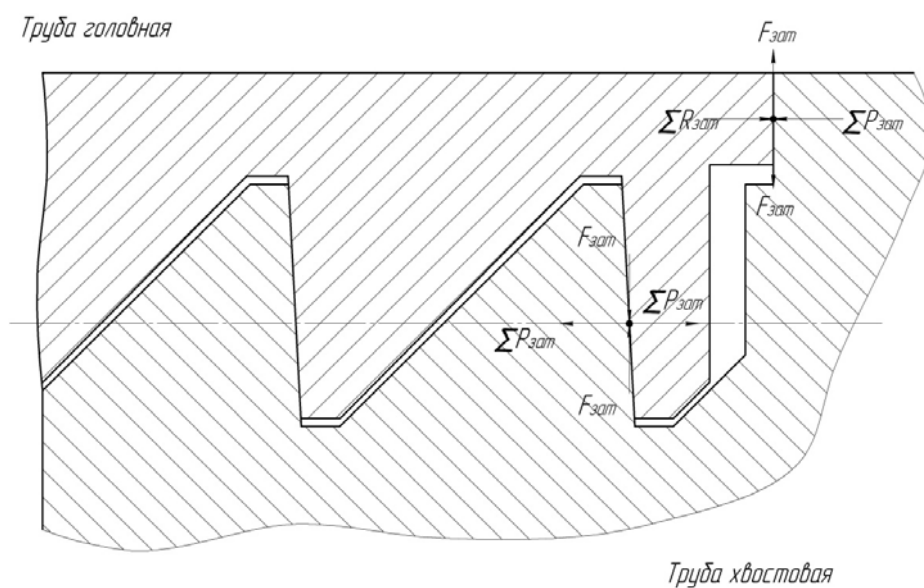


Рисунок 5.9 – Окончательная стадия свинчивания резьбы

Свинчивание детали 1 с деталью 2 завершено с уточнением относительного положения наружных цилиндрических поверхностей сопрягаемых деталей. Поскольку сила трения затяжки намного больше силы трения наживления $\Sigma F_{зат} \gg \Sigma F_{тр}$, то несмещаемость деталей относительно друг друга обеспечена этим силовым замыканием.

Разжимают патрон 7 и перемещают патрон 6 с собранным узлом в направлении, противоположном B , в среднее положение, соответствующее началу контакта свинчиваемых труб, патрон 6 разжимают и возвращают в

исходное положение, освобождают корпус ракетного двигателя от зажима клещевым захватом качательным движением в направлении, обратном C , при поступательном перемещении центральной оси зажима в направлении обратном D . Свинченный корпус ракетного двигателя подается на транспортер и отправляется на следующую позицию (например, контроля).

Устройство предварительно настраивают по эталону и используют для плотного облегания всей поверхности центрального утолщения $D_{цy}$ в месте стыкования собираемых деталей, выравнивая оси приспособлений шпинделей $П_1$ и $П_2$, центрируя их в точки $П_1$ и $П_2$. Также способ обеспечивает плотное прилегание торцов деталей, исключая перекося собранных изделий, а именно осей деталей $O_{1.1}$, $O_{2.2}$ и углов Ψ_1 , Ψ_2 (рис. 5.10).

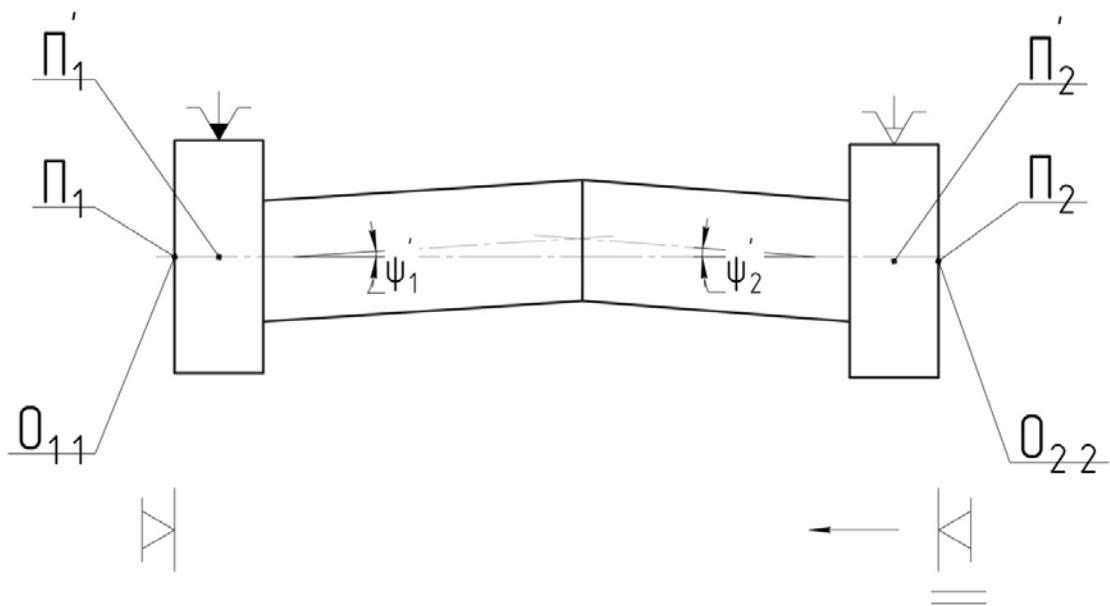


Рисунок 5.10 – Схема отклонения общей оси сборки

Опытно-промышленные испытания описанного способа дали отличную стабильность результатов сборки и исключили потребность повторных переборок с 10 до 0 %, без ужесточения допусков на взаимное расположение поверхностей объединяемых деталей.

5.3 Выводы

1. Овальность, допускаемая для тонкостенных труб, превышает допуски диаметральных размеров в 1,2 - 1,5 раза, что нарушает общепринятое соотношение допусков формы и размера в машиностроении. Предложенный способ устранения овальности у собираемых деталей с гарантией необходимого зазора посадки обеспечивает точность и снижение трудоемкости.

2. Показана возможность управления относительным положением труб, свинчиваемых по упорной резьбе в пределах радиального зазора по приведенным средним диаметрам сопрягаемых резьбовых поверхностей.

3. Разработана и апробирована установка для свинчивания протяженных корпусов ракетного двигателя по упорной резьбе при жестком базировании, крайних центрирующих утолщений и базировании среднего центрирующего утолщения в клещевом зажиме с базовой цилиндрической поверхностью, диаметр которой соответствует номинальному размеру вхождения корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу. Такая схема базирования позволяет трубам перед моментом затяжки самоустановиться друг по другу, компенсируя при этом весь комплекс погрешностей относительного положения и формы (овальности) в допустимых пределах размера вхождения.

4. Разработанная установка повышает точность сборки составных корпусов реактивных снарядов и производительность путем сокращения количества непроизводительных операций по переборке несоответствующих конструкторской документации собранных комплектов. Опытно-промышленные испытания описанного способа дали отличную стабильность результатов сборки и исключили потребность повторных переборок с 10 до 0%, без ужесточения допусков на взаимное расположение поверхностей объединяемых труб. Новый способ сборки обеспечивает биение среднего центрирующего утолщения не более 0,3 мм при допуске 0,6 мм.

Заключение

В диссертации решена актуальная научная задача теоретического обоснования и разработки новых технологических решений изготовления деталей и сборки корпусов ракетных двигателей.

Выводы:

1. Трехроликовая раскатка с утонением стенки обладает высокой исправляющей способностью, причем она более устойчива по рассеиванию основных параметров точности, чем растачивание. Несовершенство опытной технологии механической обработки вызвано неудачным выбором технологических баз и схем установок заготовок. Осуществлен переход с универсального оборудования на станки с программным управлением, что позволит обеспечить точность обработки и минимизировать количество операций.

2. Проведение экспериментов по замерам головных труб на предложенном оборудовании под трехроликовую раскатку с новой схемой базирования показало, что все проверенные изделия являются годными и полностью соответствуют требованиям конструкторской документации в отличие от опытного технологического процесса. Коэффициент запаса точности в серийном производстве удваивается относительно опытного.

3. Найденные уравнения множественной регрессии выходных параметров головной и хвостовой трубы, котротые показали отсутствие значимой корреляционной зависимости от ее входных параметров.

4. Выведенные регрессионные уравнения показывают, что наибольшее влияние на точность ключевых параметров собранного ракетного двигателя оказывают радиальное и торцовое биение на заднем стыке головной трубы.

5. Аналитическое выражение размера вхождения корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу показало, что существующие овальности центрирующих утолщений (от 0,05 до 0,15 мм) оказывают значимое влияние

на величину размера вхождения. Предложенный способ прямого измерения размера вхождения гарантирует стопроцентное вхождение корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу, более производителен и объективен, исключает появление рекламаций по геометрическим параметрам собранного корпуса ракетной части снаряда.

6. Овальность, допускаемая для сборных тонкостенных труб, превышает допуски диаметральных размеров в 1,2 - 1,5 раза. Предложенный способ устранения овальности у собираемых деталей обеспечивает точность и снижение трудоемкости.

7. Реализована возможность управления относительным положением труб, свинчиваемых по упорной резьбе в пределах радиального зазора по приведенным средним диаметрам сопрягаемых резьбовых поверхностей. Разработана и апробирована установка для свинчивания протяженных корпусов ракетных двигателей по упорной резьбе при жестком базировании крайних ЦУ и базировании среднего центрирующего в клещевом зажиме с базовой цилиндрической поверхностью диаметром, соответствующим номинальному размеру вхождения корпуса ракетной части снаряда в пусковую трубу. Такая схема базирования позволяет трубам перед моментом затяжки самоустановиться друг по другу, компенсируя при этом весь комплекс погрешностей относительного положения и формы (овальности), в допустимых пределах размера вхождения.

8. Опытно-промышленные испытания описанного способа дали стабильность результатов сборки и исключили потребность повторных переборок с 10 до 0%, без ужесточения допусков на взаимное расположение поверхностей объединяемых труб. Новый способ сборки обеспечивает биение среднего центрирующего утолщения не более 0,3 мм при допуске 0,6 мм.

Дальнейшее направление исследований целесообразно распространить на корпуса ракетных двигателей всей номенклатуры АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Структурный элемент «Обозначения и сокращения» содержит перечень обозначений и сокращений, применяемых в данной работе:

ТТХ – тактико-технические характеристики;

РСЗО – реактивная система залпового огня;

ПТ – пусковая труба;

ПН – пусковая направляющая;

РС – реактивный снаряд;

КРЧ – корпус ракетной части;

ЦУ – центрирующее утолщение;

ТП – технологический процесс;

МО – механическая обработка;

КД – конструкторская документация;

КРД – корпус реактивного двигателя;

СЕ – сборочная единица.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

деталь - изделие, являющиеся часть машины, изготовленная из однородного по структуре и свойствам материала без применения каких-либо сборочных операций. Детали (частично или полностью) объединяют в узлы;

исходная заготовка - заготовка перед первой технологической операцией;

штампованная заготовка - поковка, полученная технологическим методом объемной штамповки;

глубокая вытяжка - разновидность штамповки. При глубокой вытяжке приходится преодолевать большие силы трения, развивающиеся при скольжении металла между матрицей и державкой заготовки, а также при вытяжке его по радиусу матрицы;

трехроликовая раскатка - получение полой осесимметричной детали из плоской или объемной, полой, вращающейся заготовки, деформируемой одним или несколькими роликами по вращающейся оправке;

резьбовое замковое соединение - соединение двух деталей с помощью упорной резьбы, ось которой совпадает с осями объединяемых деталей;

радиальное биение - разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси;

торцовое биение - разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцовой поверхности, до плоскости, перпендикулярной базовой оси;

овальность - отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях;

частость - это частоты, выраженные в виде относительных величин (долях единиц или процентах);

технологическая наследственность - явление переноса свойств объектов от предшествующих технологических операций к последующим;

корреляционная зависимость - статистическая взаимосвязь двух или более случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми). При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) **Астапов, В.Ю.** Ротационная вытяжка тонкостенных цилиндрических деталей / В.Ю. Астапов – М.: Машиностроение, 2015. – С. 15–18.
- 2) **Бобров, В.Ф.** Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом / В.Ф. Бобров – М.: Машиностроение, 1982. – 104 с.
- 3) **Бурцев, В.М.** Технология машиностроения: В 2 т. Т1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с.
- 4) **Быков, Г.Т.** Центрирование овальных тонкостенных цилиндров на цанговой оправке // Г.Т. Быков, А.А. Маликов, А.С. Ямников // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – № 1. – С. 10–17.
- 5) **Васильев, А.С.** Технологическая наследственность в машиностроении // А.С. Васильев // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2017. – № 1. – С. 198–202.
- 6) **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей: учебник для вузов / Е.С. Вентцель – М.: Кнорус, 2010. – 658 с.
- 7) **Военно-технический сборник «Бастион». Журнал оборонно-промышленного комплекса** [сайт]. – 2021. – URL: http://bastion-karpenko.ru/opk_rf. (дата обращения 17.04.17).
- 8) **Гаврилов, А.Н.** Точность производства в машиностроении и приборостроении / А.Н. Гаврилов – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
- 9) **Гаврюшин, С.С.** Численное моделирование процессов нелинейного деформирования тонких упругих оболочек // С.С. Гаврюшин // Математическое моделирование и численные методы. – 2014. – № 1. – С. 115–130.

- 10) **Гейликман, А.И.** О точности центрирования деталей по резьбовым поверхностям // А.И. Гейликман // Прогрессивная технология машиностроения. – 1966. – С. 129–133.
- 11) **Гипп, Б.А.** Средства контроля положения резьбы относительно смежных поверхностей детали // Б.А. Гипп // Контроль размеров в машиностроении. – М.: МДНТП, 1967. – С. 42–50.
- 12) **ГОСТ 24642-81.** Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. (ИУС 1 – 90). 45 с.
- 13) **ГОСТ 27.202-83** Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. М. Стандартиформ. 2002. 35 с.
- 14) **ГОСТ 31254-2004** (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999). Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения. М. Стандартиформ, 2005. 12 с.
- 15) **ГОСТ Р 53442-2015** (ИСО 1101:2012). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения. М. Стандартиформ. 2016. 91 с.
- 16) **Громыко, Г.Л.** Теория статистики / Г.Л. Громыко. – М.: Инфра-М, 2001. – 160 с.
- 17) **Гуров, С.В.** Реактивная система залпового огня 9К58 «Смерч» / С.В. Гуров. – Тула: ФГУП ГНПП «Сплав», 2010. – 206 с.
- 18) **Дальский, А.М.** Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев. – М.: Машиностроение, 2000. – 358 с.
- 19) **Дальский, А.М.** Наследственные связи заготовительного и механосборочного производств // А.М. Дальский // Вестник машиностроения. 1998. № 1. С. 34–36.

- 20) **Дьяконов, В.П.** MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения / В.П. Дьяконов. – Библиотека профессионала. М.: «СОЛОН-Пресс», 2008. – 800 с.
- 21) **Дьячков, В.С.** Исследования в обл. технологии мех. обработки и сборки машин // В.С. Дьячков, В.В. Семин, А.С. Ямников // Влияние способа установки на точность обработки тонкостенных труб. – Тула, ТПИ, 1979. – С. 125–139.
- 22) **Иванов, В.В.** Токарная обработка заготовок под операции ротационной вытяжки // В.В. Иванов, Е.В. Сорокин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Ч. 1. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – С. 207–214.
- 23) **Илюхин, А.Ю.** Основы построения инфологических моделей проектирования технологических процессов механической обработки и сборки изделий // А.Ю. Илюхин, О.В. Миронова // Труды Международной научно-технической конференции, «Технологические системы в машиностроении» посвященной памяти выдающихся ученых Коганова И.А. и Лашнева С.И., ТулГУ. – Тула, 2002. – С. 72–74.
- 24) **Илюхин, А.Ю.** Специфика сборки соединений с избыточными связями // А.Ю. Илюхин, А.С. Ямников // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. № 4. С. 27–29.
- 25) **Илюхин, А.Ю.** Моделирование формирования выходных характеристик изделий с учетом взаимодействия сопрягаемых деталей // А.Ю. Илюхин, В.А. Петров, А.С. Ямников // Известия ТулГУ. / Технология машиностроения. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2006. С. 10–14.
- 26) **Канатников, Н.В.** Влияние углов заточки инструмента на температуры, возникающие в процессе обработки зубчатых колес // Н.В. Канатников, Г.А. Харламов, П.А. Канатникова, А.С. Пашментова // В сборнике: Актуальные проблемы прикладной математики,

- информатики и механики. Сборник трудов Международной научно-технической конференции. Воронежский государственный университет. 2017. – С. 694–699.
- 27) **Киселев, А.В.** Влияние углового положения овальной заготовки на точность центрирования в патроне // А.В. Киселев, И.А. Матвеев, А.С. Ямников // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 5: в 2 ч. Ч. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – С. 113–121.
- 28) **Кован, В.М.** Основы технологии машиностроения / В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.Г. Косилова. – М.: Машиностроение, 1965. – 492 с.
- 29) **Киричек, А.В.** Конечно-элементная модель поверхностного пластического формообразования со статико-импульсным нагружением инструмента // А.В. Киричек, А.Н. Афонин // В сборнике: Машиностроение - основа технологического развития России (ТМ-2013). Сборник научных статей V Международной научно-технической конференции. – 2013. – С. 428–431.
- 30) **Гипп, Б.А.** Контрольные приспособления / Б.А. Гипп, Ю.М. Гоникберг, М.М. – М.: Машгиз, 1960. – 339 с.
- 31) **Линник, Ю.В.** Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: 1962. – 349 с.
- 32) **Макаров, Е.Г.** Инженерные расчеты в Mathcad 15 Учебный курс / Е.Г. Макаров. СПб.: Питер, – 2011. – 400 с.
- 33) **Макаровец, Н.А.** Реактивные системы залпового огня и их эффективность / Н.А. Макаровец, Л.А. Устинов, Б.А. Авотынь. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – С. 45,46,48.
- 34) **Марков, А.Л.,** Краткий справочник контрольного мастера машиностроительного завода / А.Л. Марков, Ф.П. Волосевич. – Л.: Машиностроение, 1973. – 312 с.

- 35) **Маталин, А.А.** Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А.А. Маталин. – Издательство: Лань, 2008. – 512 с.
- 36) **Матвеев, И.А.** Влияние избыточных связей замковых соединений на точность автоматизированной сборки // И.А. Матвеев, А.В. Киселев, А.С. Ямников // Сб. материалов НТК АПИР-19. – Изд-во ТулГУ, 2014. – С. 90–93.
- 37) **Матвеев, И.А.** Повышение точности трубных корпусов-оболочек с учётом технологического наследования при обработке и сборке: дисс. канд. техн. наук / И.А. Матвеев. – Тула, 2018. – 168 с.
- 38) **Матвеев, И.А.** Корреляционная связь размеров базового отверстия протяженных деталей до и после ротационной вытяжки // И.А. Матвеев, А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Справочник. Инженерный журнал. – 2017 №7. – С. 3–7.
- 39) **Матвеев, И.А.** Статистический анализ точности предварительной токарной обработки трубной заготовки // И.А. Матвеев, А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №11: в 2 ч. Ч. 1. – 2015. – С. 111–120.
- 40) **Матвеев, И.А.** Повышение точности изготовления корпусов реактивных двигателей // И.А. Матвеев // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. Пермь. ПНИУ. 2016. Т. 1. С. 94-98.
- 41) **Матвеев, И.А.** Точность токарной обработки базовых поверхностей тонкостенной корпусной детали типа трубы // И.А. Матвеев // Вестник современных технологий. Донецк. ДНУ. 2016. № 2 (2). С. 56-62.
- 42) **Матвеев, И.А.** Исследование параметров точности тонкостенных протяженных осесимметричных деталей при комбинировании

- обработки резанием и давлением // И.А. Матвеев // СТИН. № 3-2018. С. 20-21.
- 43) **Матвеев, И.А.** Влияние технологии изготовления секций полых осесимметричных корпусов на биение базовых торцов // И.А. Матвеев // Технология машиностроения. № 12-2017. С. 37-41.
- 44) **Матвеев, И.А.** Влияние схемы базирования на точность относительного положения окончательно обработанных базовых поверхностей секций сборных корпусов // И.А. Матвеев // XIII-я МНТК Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации (15-16 марта 2018 года) /; Юго-Зап. гос. ун-т., Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2018. С. 134-137.
- 45) **Матвеев, И.А.** Технологическая наследственность в прогрессивной технологии изготовления протяженных осесимметричных корпусов // И.А. Матвеев // Научное периодическое издание по материалам XV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: «Механики XXI века». Вып. 15. Братск: Изд-во БрГУ, 2016. 455 с. С. 119-124
- 46) **Матвеев, И.А.** Влияние погрешностей базовой детали на погрешности сборки протяженных осесимметричных корпусов // И.А. Матвеев // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2018. Том 19. № 2. С. 59-63.
- 47) **МИ 199-79.** Методика установления вида математической модели распределения погрешностей. – М.: Изд-во стандартов, – 1981. – 16с.
- 48) **Нгуен Хыу Луен** Геометрические параметры качества труб // Нгуен Хыу Луен, В.Н. Киселев, А.С. Ямников // Известия ТулГУ. Технология машиностроения. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2006. – С. 27–31.
- 49) **Панфилов, Г.В.** Конспект лекций по дисциплине элементы теории планирования эксперимента / Г.В. Панфилов. – Тула, – 2011. – 39 с.

- 50) **Пат. 143098 РФ, МПК В23В 31/10.** Патрон для закрепления длинномерных нежестких тонкостенных заготовок / Чуприков А.О., Ямников А.С., Иванов В.В., Маликов А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» № 2014105140, заявл. 11.02.2014, Бюл. №19-2с. опубл. 10.07.14, ил. (Полезная модель).
- 51) **Пат. 147617 РФ, МПК В23В 31/10.** Патрон для закрепления нежестких заготовок. / Чуприков А.О., Ямников А.С., Иванов В.В., Маликов А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» №2014105142, заявл. 11.02.2014, Бюл. №31; опубл. 10.11.2014, ил. (Полезная модель).
- 52) **Патент РФ 2295416 на изобретение МПК⁸ С21D8/10, С21D8/10.** Способ изготовления осесимметричных корпусов (RU 2295416) / Макаровец Н.А., Трегубов В.И., Корольков В.А. [и др.]. Владельцы патента: Федеральное Государственное унитарное предприятие "Государственное научно-производственное предприятие "Сплав" (RU). Опубл.: 20.03.2007.
- 53) **Поллард Дж.** Справочник по вычислительным методам статистики / Дж. Поллард. – М.: Финансы и статистика, – 1982. – 344 с.
- 54) **Раннев, Г.Г.** Методы и средства измерений: учебник для вузов. 4-е изд., стер / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – М.: Академия, – 2008. – 336 с.
- 55) **РД 50-635-87.** Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. – 46 с.
- 56) **Редько, А.А.** Влияние технологических отклонений при изготовлении РС РСЗО на их рассеивание при стрельбе // А.А. Редько, С.А. Полторыхин, С.А. Кудрявцев, И.Л. Косарев // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. № 1, – 2008. С. 32–35.

- 57) **Родионова, Е.Н.** Влияние схемы базирования на точность относительного положения окончательно обработанных базовых поверхностей секций сборных корпусов // Е.Н. Родионова // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник научных трудов XIII-ой Международной научно-практической конференции 15-16 марта 2018 года, Курск. С. 134-137.
- 58) **Родионова, Е.Н.** Анализ исходного технологического процесса изготовления протяженного корпуса // Е.Н. Родионова // Материалы IV международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве» (Чебоксары, 5-7 декабря 2018 года). С. 261-266.
- 59) **Родионова, Е.Н.** Статистическое исследование точности параметров сборки высокотехнологичных изделий // Е.Н. Родионова // Научно-технические и виброволновые технологии обработки деталей высокотехнологичных изделий [электронный ресурс]: материалы международ. Науч. симпозиума технологов-машиностроителей (Ростов-на-Дону, 26-28 сент. 2018)/ отв. Ред. М.А. Тамаркин; Донской гос. техн. ун-т. – Электрон. Тестовые дан. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. С. 29-33.
- 60) **Родионова, Е.Н.** Описание исходного технологического процесса изготовления кольца // Е.Н. Родионова, И.А. Матвеев // (XIX Всероссийская научно-техническая конференция АКТИИ-2018, Пермь, 15 - 17 ноября 2018 г.) Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2018. 350 с. С. 85-89.
- 61) **Родионова, Е.Н.** Влияние схемы базирования на торцовое биение полых цилиндрических корпусов // Е.Н. Родионова, И.А. Матвеев, А.С. Ямников // Slovak international scientific journal. №24, 2018. С. 21-26.
- 62) **Родионова, Е.Н.** Влияние погрешностей положения стыковых поверхностей сборного осесимметричного корпуса на погрешность

- положения исполнительных поверхностей // Е.Н. Родионова, И.А. Матвеев, А.С. Ямников // Вестник БГТУ. №7, 2017. С. 13-17.
- 63) **Родионова, Е.Н.** Исследование точности токарной обработки сложнопрофильных поверхностей корпуса блока системы управления // Е.Н. Родионова, И.А. Матвеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. Вып. 4. С. 214-218.
- 64) **Родионова, Е.Н.** Специфические операции технологии изготовления сборного полого корпуса // Е.Н. Родионова, И.А. Матвеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. Вып. 8. С. 56-62.
- 65) **Родионова, Е.Н.** Способ непосредственного контроля годности сборного протяженного цилиндрического корпуса реактивного снаряда // Е.Н. Родионова, А.С. Ямников, И.А. Матвеев // Измерительная техника. №9, 2018. С. 31-35.
- 66) **Родионова, Е.Н.** Экспериментальное определение погрешностей закрепления тонкостенных труб // Е.Н. Родионова, А.С. Ямников, И.А. Матвеев // СТИН. №6, 2019. С. 16-20.
- 67) **Родионова, Е.Н.** The effect of errors of the form and position of the base surfaces of a composite axisymmetric body on the size of an adjacent contour // Е.Н. Родионова, А.С. Ямников, И.А. Матвеев // Measurement Techniques, Vol. 62, No. 8, November, 2019. 692-696.
- 68) **Родионова, Е.Н.** Проявление технологического наследования при токарной обработке нежестких трубных заготовок // Е.Н. Родионова, А.С. Ямников, И.А. Матвеев // Черные металлы. №5, 2019. С. 51-55.
- 69) **Семи́н, В.В.** Измерение среднего диаметра внутренней упорной резьбы на горизонтальном оптиметре // В.В. Семи́н, А.И. Гейликман, А.С. Ямников, В.М. Фоменков // Измерительная техника, № 4, – 1980. – С. 23–24.

- 70) **Соколовский, А.П.** Расчет точности обработки на металлорежущих станках / А.П. Соколовский. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, – 1952. – 289 с.
- 71) **Суслов, А.Г.** Основы технологии машиностроения. Часть 2 / А.Г. Суслов, А.С. Ямников. – Тула: ТулГУ, – 2014. – 296 с.
- 72) **Трегубов, В.И.** Ротационная вытяжка с утонением стенки цилиндрических деталей из труб на специализированном оборудовании: монография / В.И. Трегубов. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2002. – 148 с.
- 73) **Трегубов, В.И.** Технологическое обеспечение заданных конструктивных параметров деталей двигателя РСЗО «Торнадо-Г» // В.И. Трегубов, А.С. Ямников, И.А. Матвеев // Известия РАН. №4, – 2017. – С. 94–98.
- 74) **Трегубов, В.И.** Исследование влияния технологических параметров ротационной вытяжки на геометрические характеристики цилиндрических деталей // В.И. Трегубов // Вестник машиностроения, – 2002. – С. 55–56.
- 75) **ТУ 2-034-812-88.** Призмы поворачные и разметочные чугунные. Технические условия. ВНИИ измерений. – 1988. – 9 с.
- 76) **Чуприков, А.О.** Обеспечение точности изготовления резьбовых полузамков на тонкостенных сварных корпусах / А.О. Чуприков, В.В. Иванов, А.С. Ямников. – Тула. Изд-во ТулГУ, – 2014. – 137 с.
- 77) **Шишкин, И.Ф.** Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: учебник для вузов, 4-е издание, перераб. и доп. / И.Ф. Шишкин – Спб.: Питер, – 2010. – 192 с.
- 78) **Яковлев, С.С.** Ротационная вытяжка осесимметричных оболочек из анизотропных материалов с разделением очага деформации // С.С.

- Яковлев, В.И. Трегубов, О.В. Пилипенко [и др.] // Вестник машиностроения, – 2015. №1. – С. 73–78.
- 79) **Ямников, А.С.** Научные основы технологии машиностроения: Учеб. пос. Ч. 1. / А.С. Ямников. – Тула: ТулГУ, – 2014. – 398 с.
- 80) **Ямников, А.С.** Статистический анализ точности механической обработки протяженных деталей из штампованной заготовки типа «стакан» // А.С. Ямников, И.А. Матвеев // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 9: в 2 ч. Ч. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2015. – С. 121–126.
- 81) **Ямников, А.С.** Влияние погрешностей положения стыковых поверхностей сборного осесимметричного корпуса на погрешность положения исполнительных поверхностей // А.С. Ямников, О.А. Ямникова, И.А. Матвеев, Е.Н. Родионова // Вестник Брянского государственного технического университета № 7 (60), – 2017. – С. 13–17.
- 82) **Ямников, А.С.** Влияние деформаций тонкостенных резьбовых деталей на точность сборки соединений с избыточными связями // А.С. Ямников, В.В. Семин, В.М. Логунов // Проблемы машиностроения и надежности машин. № 2, – 1991. – С. 74–82.
- 83) **Ямников, А.С.** Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / А.С. Ямников, Ю.Н. Федоров, Г.М. Шейнин Г.М. – Тула: Изд-во ТулГУ, – 2006. – 269 с.
- 84) **Ямников, А.С.** Определение условий виброустойчивого течения нежестких заготовок многорезцовыми головками // А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2012, №11. – С. 15–21.
- 85) **Ямников, А.С.** Влияние овальности базовых поверхностей тонкостенных протяжённых осесимметричных полых деталей на погрешности измерения радиального биения в призмах // А.С.

- Ямников, О.А. Ямникова, И.А. Матвеев // Измерительная техника, – 2018. № 3. – С. 32–36.
- 86) **Ямников, А.С.** Способ контроля диаметра прилегающего цилиндра сборного ступенчатого корпуса // А.С. Ямников, О.А. Ямникова, И.А. Матвеев, Е.Н. Родионова // Российский патент, – 2019. № 2682572. – С. 8.
- 87) **Ямников, А.С.** Способ сборки деталей в виде оболочек с размещением одной детали внутри другой на заданную длину и с заданным зазором // А.С. Ямников, Е.Н. Родионова, И.А. Матвеев, О.А. Ямникова // Решение о выдаче патента на изобретение, – 2022. Заявка № 2022109682/05(020233).
- 88) **Ямников, А.С.** Упругие деформации заготовок полых осесимметричных корпусов при закреплении в трехкулачковых патронах // А.С. Ямников // Черные металлы, – 2018. № 6. – С. 25–30.
- 89) **Ямников, А.С.** Проявление технологического наследования при токарной обработке нежестких трубных заготовок // А.С. Ямников // Черные металлы, – 2019. № 5. – С. 36–40.
- 90) **Ямников, А.С.** Технологическое наследование свойств исходной заготовки в параметрах точности протяженных осесимметричных деталей // А.С. Ямников // Черные металлы, – 2017. № 12. – С. 50–56.
- 91) **Ямников, А.С.** Влияние погрешностей положения стыковых поверхностей сборного осесимметричного корпуса на погрешность положения исполнительных поверхностей // А.С. Ямников // Вестник Брянского государственного технического университета № 7 (60) 2017. С. 13-17.
- 92) **Ящерицин, П.И.** Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей / П.И. Ящерицын, – Минск: Наука и техника, – 1971. – 210 с.

- 93) **Bauer P.** Numerical investigation of the fin geometry of ram accelerator projectiles in subdetonative propulsion mode // P. Bauer // Eur. Phys. J. AP 2003, 23, No. 2, 139–145
- 94) **Bengherbia T.** Numerical study of gaseous reactive flow over a ram accelerator projectile in subdetonative velocity regime // T. Bengherbia // EPJ Appl. Phys 2011, 55, No. 1, July
- 95) **Jacov H.** Rollentconstruckzion für Fliebdrücken Kreisylindischer Höhlkörper // H. Jacov, E. Gorries // Fertigungstechnik und Betrieb, – 1965. Bd. 15. – P. 279–283.
- 96) **Kishawy H.A.** An Energy Based Analysis of Broaching Operation: Cutting Forces and Resultant Surface Integrity. CIRP Annals – Manufacturing Technology // H.A. Kishawy, A. Hosseini, B. Moetakef-Imani, V. Astakhov, – 2012, vol. 61, iss. 1, – P. 107–110.
- 97) **Kryvyi P.D.** Technological heredity and accuracy of the cross-section shapes of the hydro-cylinder cylindrical surfaces. Proceedings of the ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference Collocated with the JSME 2014 International Conference on Materials and Processing and the 42nd North American Manufacturing Research Conference // P.D. Kryvyi, V. Dzyura; N. Tymoshenko; V. Krypa, – Detroit, MI, USA, 9–13 June 2014; – p. 2, Paper No. MSEC2014-3946.
- 98) **Kugultinov S.P.** Tool Creation and Operation System Development for Large Engineering Enterprises // S.P. Kugultinov, R. Khisamutdinov, M. Khisarmtdinov // World Applied Sciences Journ. (WoS), – 2014. N 30 (5), – pp. 588–591.
- 99) **Liennard M.** , An analysis of the accelerations of a projectile in a gun tube by direct measurements and telemetry of the data // M. Liennard // Mech. 2018 Ind., 19, No. 4, Art. 406

- 100) **Madureira L.R.** Deformation of thin straight pipes under concentrated forces or prescribed edge displacements // L.R. Madureira, F. Melo // *Mechanics Research Communications*, – 2015. Vol. 70, – pp. 79–84.
- 101) **Mellor P. B.** Plasticity Analysis of Sheet Metal Forming // *Mech. Sheet Metal Forming Mater* // P.B. Mellor, A. Parmar // *Behav. and Deformation Anal. Proc. Symp. Warren, Mich. New York – London*, – 1977. – P. 53–74.
- 102) **Matveev I.** Precision of long thin-walled axisymmetric parts in cutting and pressure treatment // I. Matveev // *Russ. Eng. Res.*, 38, No. 9 2018, 719–720
- 103) **Shinkin V.N.** Mathematical model of technological parameters' calculation of flanging press and the formation criterion of corrugation defect of steel sheet's edge // V.N. Shinkin // *CIS Iron and Steel Review*, – 2017, vol. 13, – pp. 44–47.
- 104) **Shinkin V.N.** Springback coefficient of the main pipelines' steel largediameter pipes under elastoplastic bending // V.N. Shinkin // *CIS Iron and Steel Review*, – 2017. Vol. 14, – pp. 28–33.
- 105) **Orlov A.** The Mathematics of Chance. Probability and Statistics // A. Orlov // *Basic Facts 2004: Textbook*, MZ-Press.
- 106) **Wu M. C.** Anisotropic plasticity with application to sheet metals // M.C. Wu, H. Hong, Y. Shiao // *Int. J. Mech. Sei.*, – 1999. 41, №6. – P. 703–724.
- 107) **Wu M. C.** Some Considerations in the Endochronic Description of Anisotropic Hardening // M.C. Wu, W. Yeh // *Acta. Mech.*, – 1987. 69. №1. – P. 59–76.
- 108) **Yakovlev S.S.** Rotary Drawing of Axisymmetric Shells with Distribution of the Deformation Zone // S.S. Yakovlev, K.S. Remnev, V.I. Tregubov, O.V. Pilipenko // *Russian Engineering Research*, – 2015. T. 35. № 4. – P. 270–276.

- 109) **Yakovlev S.S.** Limiting Deformation in Rotary Drawing of Anisotropic Pipe Blanks with Wall Thinning // S.S. Yakovlev, V.I. Tregubov, E.V. Osipova // Russian Engineering Research, – 2016. V. 36. № 6, – pp. 472–475.
- 110) **Yamnikov A. S.** Chucks for Thin - Walled Blanks // A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov // Russian Engineering Research, – 2015. V. 35 N. 11. – P. 838–840.
- 111) **Yamnikov A. S.** The Effect of Errors of the Form and Position of the Base Surfaces of a Composite Axisymmetric Body on the Size of an Adjacent Contour // A.S. Yamnikov // Measurement Techniques. November 2019, Volume 62, Issue 8, pp 692–696.
- 112) **Yamnikov A. S.** The Effect of Errors of the Form and Position of the Base Surfaces of a Composite Axisymmetric Body on the Size of an Adjacent Contour // A.S. Yamnikov // Measurement Techniques. November 2019, Volume 62, Issue 8, pp 692–696.
- 113) **Yamnikov A.** The Influence of the Method of Obtaining Metal Blanks for Precision Fabrication of Long Axisymmetric Enclosures // A. Yamnikov // CIS Iron and Steel Review. 2020. №2. pp 54-67.
- 114) **URL:** <http://rbase.new-factoria.ru>
- 115) **URL:** <http://rostec.ru/news/4521978/>
- 116) **URL:** <http://splay.org>
- 117) **Информационно - новостная система.** Ракетная техника. [Электронный ресурс]. <http://rbase.new-factoria.ru>. Дата обращения 31.03.2020.
- 118) **Military Informant.** Военный Информатор. Основы военной доктрины. [Электронный ресурс]. <http://military-informer.narod.ru>. Дата обращения 31.03.2020.
- 119) **Китайский Военный Форум** [Электронный ресурс]. <http://sinodefence.com>. Дата обращения 31.03.2020.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 П.1

Таблица П.1.1 – Ключевые параметры головной трубы, согласно конструкторской документации (операция отрезки)

№ п/п	Фактический размер Ø110*	Фактический размер 14*
1	109,52	14,13
2	109,64	14,93
3	110,09	14,99
4	109,66	14,74
5	109,57	13,04
6	110,00	13,73
7	109,78	13,58
8	109,73	14,43
9	109,46	13,65
10	109,58	14,50
11	109,28	14,87
12	109,21	14,54
13	109,58	14,26
14	109,91	13,80
15	109,62	14,28
16	109,87	14,64
17	109,66	14,65
18	110,42	14,39
19	109,4	13,90
20	109,15	14,42
21	110,52	13,83
22	109,72	14,18
23	109,30	13,17
24	109,70	15,23
25	109,65	14,74
26	110,10	14,86
27	109,61	13,20
28	109,31	14,36
29	109,63	15,08
30	109,68	14,36
31	109,94	15,11
32	110,19	14,36
33	109,72	14,61
34	109,62	14,27
35	110,54	14,85
36	109,78	13,60
37	109,78	13,92
38	109,50	15,13
39	109,57	13,79
40	109,60	14,69

41	109,93	14,53
42	109,96	14,61
43	109,64	14,11
44	109,73	14,66
45	109,97	13,59
46	109,50	14,58
47	109,64	15,49
48	109,67	14,19
49	109,65	14,15
50	109,48	14,50
51	109,87	14,86
52	109,81	14,32
53	109,90	14,78
54	109,38	14,96
55	109,79	14,58
56	109,70	15,04
57	109,39	15,06
58	109,19	13,92
59	110,37	14,33
60	109,70	14,40
61	109,74	12,93
62	109,46	15,39
63	109,73	13,81
64	109,80	14,42
65	109,51	14,60
66	110,07	13,93
67	109,60	15,20
68	109,86	14,71
69	109,67	14,13
70	109,67	15,14
71	109,69	14,45
72	109,90	13,77
73	109,29	14,69
74	109,54	14,63
75	109,64	13,44
76	109,81	13,58
77	110,10	14,56
78	109,35	14,19
79	109,63	13,67
80	109,53	14,55
81	109,76	13,31
82	109,45	14,24
83	109,38	13,76
84	110	14,32
85	110,02	14,47
86	109,75	14,87
87	110,12	13,72
88	110,08	14,59

89	109,82	14,11
90	109,60	14,87
91	110,11	13,93
92	109,95	14,36
93	109,67	13,99
94	109,65	15,03
95	109,78	14,63
96	109,53	14,31

Таблица П.1.2 – Ключевые параметры головной трубы, согласно конструкторской документации (операция обжима)

№ п/п	Фактический размер Ø127±1	Фактический размер Ø108±1	Фактический размер Ø134*
1	127,43	107,97	135,85
2	127,24	107,96	135,94
3	126,83	108,12	135,87
4	127,34	107,35	135,61
5	127,17	107,53	135,62
6	127,02	108,02	135,51
7	127,10	107,7	135,66
8	127,59	107,69	135,67
9	127,38	107,99	136,08
10	127,60	107,43	136,30
11	127,60	107,22	136,31
12	127,42	106,61	136,15
13	127,56	107,91	136,35
14	127,59	107,81	136,14
15	127,52	107,6	135,6
16	127,55	108,16	135,13
17	127,54	107,69	135,86
18	126,83	108,08	136,28
19	127,36	108,14	135,98
20	127,43	107,98	136,43
21	126,70	108,06	134,86
22	127,49	108,18	136,26
23	127,21	108,14	135,92
24	127,42	108,07	136,00
25	127,68	107,79	135,99
26	127,35	108,03	136,22
27	127,42	107,68	136,21
28	127,21	107,64	135,48
29	127,29	107,68	135,77
30	127,26	107,73	135,86
31	127,38	107,97	135,89
32	127,50	108,02	135,30
33	127,38	107,74	136,02
34	127,08	107,61	136,23
35	127,43	107,94	135,46
36	127,35	107,87	135,62
37	127,29	107,85	135,56
38	127,42	107,72	135,58
39	127,53	107,38	135,73
40	127,47	107,95	135,97
41	127,52	107,91	135,88
42	127,30	107,64	136,17
43	127,18	107,93	135,39

44	127,06	107,72	135,94
45	127,36	107,77	135,53
46	127,64	108,04	136,14
47	127,48	107,78	135,96
48	127,60	108,00	135,46
49	127,42	107,32	135,72
50	126,75	107,92	136,03
51	127,29	107,65	135,63
52	127,41	108,05	136,07
53	127,42	107,96	135,58
54	127,43	108,01	136,32
55	127,31	108,01	136,14
56	127,37	107,81	135,44
57	127,44	108,08	135,95
58	127,31	107,37	135,48
59	127,32	108,12	136,03
60	127,05	107,68	135,67
61	127,39	107,85	135,48
62	127,19	107,74	136,03
63	127,31	107,75	135,58
64	127,43	107,94	136,17
65	127,75	107,20	135,75
66	127,18	107,86	135,67
67	127,53	107,74	135,83
68	127,22	107,47	135,63
69	127,73	107,72	135,57
70	127,57	107,53	135,84
71	127,30	107,90	135,49
72	127,42	108,04	135,89
73	127,36	107,78	136,10
74	126,87	108,09	135,85
75	127,42	107,46	135,80
76	127,38	107,71	135,73
77	127,15	107,64	135,25
78	126,89	107,83	135,69
79	127,56	106,35	135,94
80	127,43	107,86	135,71
81	127,55	107,94	135,95
82	127,18	108,04	135,94
83	127,32	107,95	136,26
84	127,82	108,20	135,08
85	127,33	108,14	135,41
86	127,23	107,67	135,81
87	127,34	107,92	135,81
88	127,51	107,93	135,45
89	127,60	107,83	135,55
90	127,38	107,90	135,95
91	127,45	107,88	135,51

92	127,30	107,79	135,78
93	126,96	107,89	135,94
94	127,47	107,55	136,14
95	127,50	108,17	135,72
96	127,17	107,38	135,86

Таблица П.1.3 – Ключевые параметры головной трубы, согласно конструкторской документации (операция обработки под закаливание)

№ п/п	Фактический размер Ø126 _{-0,2}	Фактический размер Ø105 ^{+0,87}	Фактический размер Ø112 ^{+0,5}	Фактический размер Ø131,5 _{-0,2}
1	126,03	104,74	112,18	131,35
2	125,87	105,16	112,11	131,38
3	126,06	106,24	111,88	131,35
4	125,87	105,23	112,16	131,55
5	126,10	105,48	111,97	131,41
6	126,02	104,99	112,14	131,34
7	125,85	106,06	112,01	131,35
8	125,24	105,26	112,17	131,39
9	125,99	105,23	112,07	131,42
10	125,25	105,17	112,18	131,30
11	126,09	105,02	112,14	131,33
12	126,14	105,35	112,20	131,44
13	125,90	106,22	112,16	131,36
14	126,04	105,50	112,11	131,37
15	125,98	105,32	112,18	131,36
16	126,20	105,22	112,03	131,49
17	125,93	105,31	112,36	131,29
18	126,04	105,35	112,24	131,39
19	125,73	105,41	112,20	131,37
20	125,98	105,13	112,18	131,60
21	125,95	106,22	112,30	131,36
22	125,91	105,53	112,12	131,33
23	125,99	105,55	112,12	131,31
24	125,56	105,36	112,20	131,14
25	125,99	105,64	112,18	131,41
26	125,98	105,37	112,20	131,46
27	126,05	105,40	112,14	131,34
28	125,76	105,85	112,12	131,02
29	125,78	105,55	112,15	131,36
30	125,96	105,89	112,27	131,46
31	125,89	105,44	112,13	131,35
32	125,51	105,26	112,14	131,15
33	126,07	105,59	112,23	131,40
34	125,93	105,41	112,22	131,45
35	125,03	105,40	112,08	131,34
36	125,99	105,47	112,06	131,38
37	125,97	105,42	112,18	131,49
38	125,32	105,47	112,12	131,39
39	125,97	105,37	112,13	131,30
40	125,68	105,07	112,07	131,36
41	126,15	105,33	112,21	131,34
42	126,00	105,42	112,01	131,37
43	125,87	105,40	112,02	131,31

44	125,82	105,89	112,05	131,44
45	126,08	105,39	112,22	131,40
46	125,84	105,51	112,24	131,36
47	125,92	105,33	112,12	131,39
48	126,25	106,02	112,05	131,39
49	125,51	105,34	112,20	131,47
50	125,94	105,24	112,12	131,59
51	126,20	105,72	112,17	131,34
52	125,87	105,48	112,20	131,32
53	125,55	105,35	112,23	131,50
54	125,68	105,08	112,15	131,47
55	125,74	105,19	112,18	131,25
56	125,42	105,61	111,95	131,13
57	126,09	104,95	112,09	131,40
58	125,83	105,69	112,17	131,55
59	125,09	105,45	112,06	131,24
60	125,92	105,39	111,87	131,29
61	125,82	105,36	112,12	131,24
62	124,66	105,36	112,17	131,33
63	125,76	105,42	112,25	131,36
64	125,85	105,17	112,05	131,30
65	125,64	105,36	112,22	131,32
66	125,63	105,61	112,12	131,33
67	125,80	105,32	112,24	131,34
68	125,87	104,99	111,88	131,48
69	125,29	105,39	112,27	131,34
70	125,93	105,09	112,04	131,25
71	125,36	104,87	112,03	131,22
72	125,73	105,39	112,20	131,34
73	125,45	105,39	112,07	130,72
74	125,17	105,29	112,12	131,55
75	125,68	105,95	112,15	131,32
76	124,84	105,61	112,16	131,33
77	125,08	105,33	112,28	131,48
78	125,52	105,10	112,08	131,25
79	125,53	105,62	112,33	131,35
80	125,46	104,52	112,27	131,46
81	126,39	105,35	112,22	131,35
82	125,42	105,19	112,15	131,18
83	125,32	105,25	112,22	131,24
84	125,93	104,21	112,27	131,40
85	125,34	104,32	112,07	131,35
86	125,94	105,14	112,10	131,32
87	125,59	104,92	112,21	131,52
88	126,00	104,95	112,15	131,37
89	125,78	105,46	112,17	131,40
90	125,75	105,88	112,14	131,20
91	125,80	105,17	112,10	131,46

92	125,28	105,21	112,23	131,38
93	125,78	105,57	112,12	131,33
94	125,58	105,57	112,11	131,26
95	126,04	105,24	112,19	131,56
96	125,28	105,30	112,18	131,37

Таблица П.1.4 – Ключевые параметры головной трубы, согласно конструкторской документации (операция обработки под ротационную вытяжку)

№ п/п	Фактический размер $\varnothing 114,4^{+0,15}$	Фактический размер $7^{+0,15}$	Фактический размер $\varnothing 107^{+0,35}$	Фактический размер $\varnothing 124_{-0,2}$
1	114,47	7,10	107,04	123,88
2	114,32	6,94	107,08	123,97
3	114,32	7,09	107,05	123,83
4	114,45	7,05	107,15	123,84
5	114,37	7,05	107,07	123,81
6	114,38	7,02	107,01	124,04
7	114,08	7,12	107,05	124,06
8	114,34	7,05	107,03	123,96
9	114,36	7,2	107,03	123,87
10	114,35	7,08	107,09	124,06
11	114,19	7,03	107,05	123,78
12	114,34	7,02	107,03	123,85
13	114,31	6,98	107,10	124,08
14	114,38	7,11	107,12	124,03
15	114,41	6,97	107,09	123,86
16	114,32	7,05	107,08	124,01
17	114,26	7,16	107,10	123,86
18	114,42	7,08	107,07	123,87
19	114,33	7,05	107,05	124,01
20	114,44	7,11	107,03	123,95
21	114,13	6,86	107,05	124,15
22	114,27	7,21	107,07	124,01
23	114,35	7,13	107,04	123,98
24	114,43	7,08	106,92	124,02
25	114,38	7,08	107,0	123,79
26	114,31	7,15	107,14	124,08
27	114,41	7,01	107,09	123,98
28	114,37	7,09	107,04	124,05
29	114,14	7,05	107,11	123,79
30	114,25	7,08	107,10	123,93
31	114,0	7,12	106,91	123,83
32	114,33	7,45	107,05	123,96
33	114,20	7,09	107,07	123,75
34	114,30	7,04	107,16	124,02
35	114,40	7,08	107,12	123,92
36	114,33	7,06	107,07	123,81
37	114,44	7,18	107,03	124,09
38	114,32	7,10	107,18	123,97
39	114,25	7,06	107,09	123,83
40	114,35	7,08	107,07	123,81
41	114,35	7,06	107,06	123,81

42	114,42	7,08	107,07	124,04
43	114,31	7,06	107,08	123,79
44	114,43	7,10	107,07	123,98
45	114,30	6,89	107,11	124,09
46	114,35	7,05	107,12	123,98
47	114,33	7,03	106,98	124,06
48	114,39	7,11	107,06	124,00
49	114,31	7,08	107,01	123,93
50	114,45	7,08	107,10	123,96
51	114,32	7,04	107,05	123,82
52	114,08	7,07	107,12	123,88
53	114,29	7,03	107,12	123,92
54	114,30	7,07	107,04	123,88
55	114,31	7,02	107,12	123,78
56	114,41	6,99	107,01	123,89
57	114,32	7,12	107,01	123,94
58	114,32	7,12	107,05	123,98
59	114,32	7,14	107,04	123,92
60	114,40	7,09	107,06	123,84
61	114,23	7,02	107,06	123,83
62	114,18	7,06	107,09	123,57
63	114,47	7,03	107,12	123,82
64	114,37	7,08	107,06	123,91
65	114,33	7,08	107,08	123,90
66	114,43	7,09	107,05	123,89
67	114,31	7,05	107,15	123,92
68	114,50	7,06	107,11	123,99
69	114,39	7,02	107,10	123,88
70	114,41	7,05	107,06	123,94
71	114,34	7,04	107,06	124,82
72	114,22	7,06	107,01	123,92
73	114,33	7,04	107,09	123,83
74	114,29	7,12	107,03	123,80
75	114,24	7,07	107,01	123,86
76	114,41	7,06	107,09	123,93
77	114,36	7,04	107,9	123,93
78	114,39	7,08	107,04	123,93
79	114,02	7,03	107,01	123,9
80	114,39	7,05	106,88	123,94
81	114,02	7,10	107,04	123,82
82	114,34	7,08	107,10	123,93
83	114,40	7,14	107,05	123,94
84	114,42	7,03	107,07	123,93
85	114,28	7,09	107,09	123,94
86	114,22	7,05	106,54	123,83
87	114,34	7,08	106,90	123,91
88	114,37	7,08	107,11	123,93
89	114,24	7,06	106,66	123,88

90	114,38	7,05	107,05	123,89
91	114,36	7,06	106,87	123,88
92	114,41	7,06	107,10	124,01
93	114,28	7,04	107,10	123,9
94	114,30	7,07	107,07	123,93
95	114,35	7,10	107,04	123,88
96	114,30	7,33	107,01	123,97

Таблица П.1.5 – Ключевые параметры головной трубы, согласно конструкторской документации (операция ротационной вытяжки)

№ п/п	Фактический размер $\varnothing 114,3^{+0,35}$	Фактический размер $2,9 \pm 0,15$	Фактический размер $\varnothing 124_{-0,2}$	Фактический размер $\varnothing 128,4^*$
646	114,50	2,80	123,89	128,55
609	114,52	2,85	123,89	128,48
628	114,45	2,79	123,75	128,49
632	114,48	2,79	123,73	128,45
635	114,45	2,78	123,73	128,52
621	114,45	2,89	123,93	128,65
619	114,50	2,85	123,87	128,56
605	114,51	2,84	123,92	128,54
638	114,50	2,78	123,82	128,51
641	114,48	2,78	123,84	128,63
647	114,48	2,78	123,86	128,50
643	114,45	2,79	123,85	128,53
611	114,50	2,84	123,93	128,52
615	114,53	2,83	123,96	128,62
625	114,45	2,85	123,86	128,42
601	114,40	2,78	123,86	128,54
627	114,40	2,78	123,87	128,59
645	114,49	2,79	123,87	128,59
617	114,48	2,82	123,94	128,66
612	114,48	2,85	123,92	128,46
606	114,48	2,78	123,96	128,01
614	114,45	2,82	123,95	128,57
616	114,45	2,81	123,97	128,61
603	114,36	2,84	123,87	128,69
633	114,40	2,78	123,80	128,50
604	114,42	2,85	123,95	128,58
678	114,48	2,79	123,75	128,45
610	114,48	2,85	123,91	128,58
644	114,48	2,78	123,68	128,48
631	114,45	2,78	123,91	128,55
629	114,50	2,82	123,80	128,56
607	114,46	2,85	123,85	128,56
634	114,40	2,79	123,82	128,56
618	114,45	2,81	123,92	128,54
623	114,48	2,87	123,93	128,66
642	114,50	2,80	123,81	128,53
602	114,38	2,85	123,98	128,54
640	114,45	2,80	123,87	128,61
630	114,45	2,90	123,80	128,53
636	114,40	2,80	123,95	128,60
639	114,48	2,79	123,87	128,50
613	114,45	2,80	123,95	128,69
648	114,45	2,79	123,79	128,50

608	114,40	2,80	123,99	128,64
620	114,48	2,88	123,93	128,16
637	114,50	2,78	123,83	128,50
622	114,45	2,88	123,82	128,53
624	114,45	2,90	123,92	128,65
672	114,45	2,78	123,83	128,54
653	114,40	2,78	123,93	128,65
675	114,49	2,78	123,91	128,48
687	114,49	2,78	123,93	128,56
670	114,49	2,78	123,85	123,56
692	114,40	2,79	123,82	128,58
673	114,40	2,79	123,80	128,47
668	114,48	2,79	123,84	128,61
677	114,48	2,78	123,87	128,52
649	114,49	2,80	123,92	128,48
681	114,40	2,78	123,90	128,58
656	114,45	2,79	123,86	128,52
661	114,45	2,78	123,86	128,52
695	114,49	2,79	123,53	128,52
660	114,48	2,78	123,81	128,54
658	114,40	2,80	123,90	128,51
683	114,66	2,80	123,79	128,53
680	114,40	2,78	123,83	128,56
667	114,48	2,79	123,86	128,46
682	114,45	2,79	123,92	128,60
650	114,45	2,78	123,85	128,48
655	114,45	2,78	123,88	128,59
691	114,48	2,78	123,79	128,46
662	114,49	2,79	123,76	128,53
327	114,45	2,88	123,97	128,66
666	114,50	2,80	123,71	128,48
679	114,49	2,78	123,84	128,53
652	114,49	2,79	123,83	128,51
669	114,49	2,78	123,84	128,56
657	114,48	2,80	123,79	128,53
676	114,49	2,78	123,84	128,55
651	114,45	2,78	123,84	128,45
696	114,48	2,79	123,78	129,61
694	114,48	2,78	123,83	128,61
671	114,40	2,78	123,90	128,60
690	114,49	2,78	123,89	128,55
684	114,48	2,78	123,93	128,46
693	114,44	2,78	123,80	128,40
654	114,48	2,79	123,92	128,67
689	114,48	2,79	123,93	128,57
659	114,49	2,78	123,79	128,65
664	114,48	2,78	123,80	128,62
674	114,48	2,79	123,80	128,51

685	114,49	2,78	123,87	128,54
686	114,48	2,79	123,83	128,51
665	114,49	2,79	123,84	128,51
663	114,48	2,78	123,83	128,63
688	114,48	2,79	123,89	128,52

Таблица П.1.6 – Ключевые параметры головной трубы, согласно конструкторской документации (операция окончательной механической обработки)

Фактический №	Фактический размер $\text{Ø}122_{-0,25}$	Фактический размер $\text{Ø}121,6_{-0,25}$	Фактический размер $\text{Ø}118^{+0,22}$	Радиальное биение $\text{Ø}118^{+0,22}$ (0,25 max)	Торцовое биение (0,1 max)
269	121,87	121,53	118,16	0,12	0,02
248	121,88	121,51	118,15	0,12	0,03
274	121,87	121,55	118,12	0,10	0,03
279	121,84	121,53	118,17	0,10	0,02
333	121,90	121,50	118,14	0,08	0,02
247	121,89	121,50	118,15	0,07	0,02
272	121,85	121,55	118,12	0,09	0,01
305	121,94	121,55	118,12	0,08	0,01
264	121,89	121,50	118,16	0,09	0,01
569	121,90	121,55	118,18	0,08	0,01
735	121,87	121,5	118,15	0,09	0,01
246	121,93	121,53	118,14	0,12	0,01
284	121,90	121,52	118,17	0,12	0,01
244	121,90	121,50	118,11	0,11	0,01
263	121,89	121,47	118,08	0,10	0,02
655	121,90	121,53	118,12	0,10	0,02
659	121,92	121,50	118,06	0,10	0,01
687	121,88	121,50	118,09	0,11	0,01
649	121,87	121,50	118,12	0,07	0,02
668	121,89	121,55	118,10	0,06	0,01
631	121,90	121,53	118,10	0,05	0,01
684	121,87	121,48	118,06	0,04	0,02
679	121,92	121,50	118,08	0,08	0,02
682	121,92	121,55	118,06	0,07	0,02
683	121,90	121,50	118,10	0,07	0,01
664	121,91	121,55	118,07	0,12	0,03
642	121,70	121,50	118,01	0,10	0,01
640	121,90	121,48	118,12	0,12	0,01
641	121,90	121,55	118,00	0,09	0,03
627	121,88	121,50	118,00	0,11	0,02
636	121,87	121,52	118,09	0,08	0,01
663	121,87	121,50	118,07	0,09	0,02
657	121,90	121,52	118,05	0,10	0,03
667	121,92	121,50	118,01	0,11	0,02
662	121,88	121,48	118,02	0,12	0,02
633	121,92	121,57	118,01	0,07	0,01
689	121,93	121,52	118,03	0,08	0,02
658	121,92	121,57	118,04	0,10	0,03
654	121,89	121,57	118,02	0,07	0,01

690	121,86	121,50	118,12	0,06	0,01
629	121,84	121,52	118,10	0,08	0,01
630	121,82	121,50	118,12	0,07	0,01
676	121,84	121,55	118,07	0,07	0,02
653	121,85	121,52	118,05	0,05	0,02
648	121,89	121,51	118,05	0,03	0,01
672	121,90	121,52	118,02	0,09	0,02
696	121,97	121,60	118,12	0,08	0,02
677	121,87	121,46	118,09	0,07	0,01
681	121,93	121,55	118,10	0,05	0,01
665	121,95	121,52	118,14	0,08	0,02
623	121,87	121,52	118,09	0,07	0,03
614	121,90	121,52	118,10	0,05	0,01
647	121,85	121,52	118,09	0,05	0,01
637	121,85	121,55	118,11	0,08	0,02
605	121,94	121,52	118,06	0,07	0,02
651	121,92	121,55	118,10	0,07	0,02
619	121,88	121,55	118,13	0,05	0,03
607	121,93	121,60	118,13	0,06	0,04
625	121,90	121,71	118,02	0,05	0,02
688	121,88	121,52	118,03	0,08	0,01
602	121,97	121,55	118,12	0,08	0,02
692	121,92	121,48	118,10	0,09	0,03
616	121,90	121,50	118,05	0,10	0,04
611	121,87	121,52	118,12	0,05	0,05
638	121,90	121,54	118,06	0,03	0,02
604	121,88	121,55	118,04	0,05	0,01
617	121,90	121,61	118,18	0,05	0,01
613	121,92	121,55	118,14	0,06	0,01
693	121,87	121,50	118,10	0,03	0,02
608	121,87	121,53	118,09	0,07	0,02
621	121,90	121,53	118,09	0,06	0,01
650	121,89	121,57	118,13	0,03	0,02
685	121,91	121,53	118,13	0,04	0,03
620	121,91	121,53	118,12	0,05	0,02
695	121,87	121,50	118,13	0,05	0,02
673	121,90	121,54	118,10	0,03	0,03
601	121,91	121,50	118,09	0,05	0,02
678	121,83	121,56	118,10	0,05	0,02
675	121,68	121,50	118,12	0,02	0,01
686	121,63	121,50	118,13	0,09	0,01
609	121,67	121,48	118,07	0,09	0,02
652	121,91	121,53	118,13	0,11	0,02
622	121,88	121,50	118,11	0,10	0,01
615	121,97	121,47	118,09	0,09	0,02
694	121,87	121,49	118,19	0,08	0,01
606	121,87	121,52	118,12	0,08	0,01
618	121,93	121,46	118,12	0,07	0,02

603	121,87	121,48	118,12	0,10	0,02
632	121,92	121,54	118,45	0,11	0,01
624	121,90	121,48	118,13	0,12	0,02
628	121,87	121,47	118,07	0,10	0,02
612	121,93	121,52	118,10	0,09	0,01
646	121,90	121,48	118,13	0,07	0,02
327	121,93	121,47	118,19	0,07	0,01
610	121,95	121,50	118,32	0,09	0,02
501	121,90	121,50	118,05	0,10	0,04

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 П.2

Таблица П.2.1 – Замеры хвостовой трубы

№ п/п	$\varnothing 113,5^{+0,15}$ (D _{1хв})	$7^{+0,15}$ (t _{1хв})	$\varnothing 103^{+0,35}$ (D _{2хв})	$\varnothing 124_{-0,2}$ (D _{3хв})
1	113,53	7,14	103,18	123,88
2	113,50	7,11	103,20	123,87
3	113,52	7,12	103,18	123,90
4	113,52	7,12	103,05	123,90
5	113,50	7,15	103,06	123,95
6	113,53	7,15	103,15	123,89
7	113,53	7,08	103,08	123,88
8	113,54	7,08	103,14	123,88
9	113,51	7,03	103,06	123,88
10	113,51	7,08	103,14	123,91
11	113,50	7,10	103,13	123,88
12	113,55	7,14	103,06	123,86
13	113,55	7,15	103,17	123,93
14	113,53	7,08	103,13	123,88
15	113,53	7,09	103,13	123,88
16	113,53	7,10	103,11	123,91
17	113,52	7,05	103,02	123,89
18	113,50	7,01	103,10	123,88
19	113,58	7,08	103,20	123,87
20	113,59	7,04	103,06	123,81
21	113,58	7,08	103,07	123,83
22	113,52	7,12	103,11	123,84
23	113,55	7,01	103,23	123,87
24	113,52	7,05	103,18	123,86
25	113,54	7,15	103,04	123,89
26	113,57	7,15	103,23	123,88
27	113,57	7,14	103,09	123,86
28	113,58	7,10	103,10	123,83
29	113,52	7,15	103,13	123,81
30	113,59	7,09	103,11	123,88
31	113,50	7,12	103,04	123,82
32	113,50	7,01	103,06	123,83
33	113,57	7,12	103,23	123,88
34	113,54	7,03	103,07	123,88
35	113,52	7,15	103,15	123,88
36	113,56	7,08	103,20	123,95
37	113,52	7,05	103,18	123,89
38	113,52	7,03	103,09	123,90
39	113,56	7,13	103,12	123,93
40	113,56	7,08	103,08	123,86
41	113,59	7,12	103,18	123,90
42	113,59	7,10	103,23	123,95

43	113,55	7,03	103,23	123,86
44	113,53	7,02	103,08	123,89
45	113,53	7,07	103,23	123,89
46	113,50	7,04	103,05	123,89
47	113,50	7,11	103,16	123,83
48	113,50	7,03	103,09	123,95
49	113,54	7,15	103,19	123,95
50	113,55	7,14	103,13	123,95
51	113,54	7,14	103,07	123,86
52	113,55	7,08	103,18	123,92
53	113,59	7,01	103,16	123,91
54	113,58	7,03	103,26	123,81
55	113,54	7,14	103,09	123,86
56	113,59	7,02	103,02	123,86
57	113,57	7,05	103,14	123,83
58	113,58	7,14	103,10	123,86
59	113,57	7,03	103,01	123,86
60	113,54	7,14	103,05	123,93
61	113,51	7,06	103,17	123,85
62	113,56	7,10	103,23	123,85
63	113,58	7,12	103,13	123,91
64	113,54	7,03	103,12	123,93
65	113,51	7,13	103,12	123,92
66	113,55	7,08	103,14	123,92
67	113,52	7,10	103,06	123,95
68	113,50	7,06	103,13	123,89
69	113,57	7,07	103,05	123,89
70	113,57	7,08	103,01	123,86
71	113,53	7,05	103,14	123,85
72	113,51	7,11	103,01	123,93
73	113,52	7,09	103,13	123,93
74	113,50	7,06	103,14	123,91
75	113,54	7,01	103,12	123,83
76	113,53	7,15	103,17	123,88
77	113,55	7,02	103,12	123,89
78	113,59	7,12	103,23	123,85
79	113,59	7,05	103,09	123,91
80	113,59	7,01	103,07	123,88
81	113,57	7,05	103,14	123,91
82	113,51	7,01	103,02	123,81
83	113,59	7,03	103,09	123,81
84	113,55	7,10	103,05	123,81
85	113,56	7,08	103,23	123,89
86	113,54	7,09	103,03	123,93
87	113,52	7,02	103,14	123,81
88	113,50	7,10	103,11	123,83
89	113,55	7,06	103,19	123,83
90	113,53	7,06	103,10	123,90

91	113,59	7,07	103,10	123,86
92	113,53	7,08	103,17	123,86
93	113,54	7,06	103,04	123,90
94	113,54	7,10	103,13	123,93
95	113,50	7,06	103,16	123,86
96	113,55	7,03	103,09	123,88

№ п/п	Ø124 _{-0,2} (D _{4XB})	Ø127,5* (D _{5XB})	3,5±0,15 (t _{2XB})	Ø113,3 ^{+0,46} (D _{6XB})
1	123,90	127,82	3,46	113,50
2	123,85	127,67	3,48	113,44
3	123,87	127,72	3,43	113,45
4	123,88	127,73	3,45	113,40
5	123,88	127,63	3,47	113,45
6	123,91	127,80	3,45	113,45
7	123,91	127,79	3,44	113,45
8	123,87	127,72	3,48	113,48
9	123,87	127,69	3,45	113,45
10	123,92	127,67	3,50	113,40
11	123,86	127,69	3,45	113,45
12	123,86	127,66	3,44	113,40
13	123,92	127,70	3,45	113,44
14	123,83	127,66	3,50	113,48
15	123,93	127,66	3,50	113,40
16	123,93	127,71	3,47	113,50
17	123,87	127,72	3,48	113,43
18	123,91	127,76	3,47	113,48
19	123,84	127,74	3,49	113,40
20	123,81	127,79	3,45	113,40
21	123,92	127,63	3,43	113,35
22	123,82	127,65	3,48	113,43
23	123,99	127,66	3,47	113,45
24	123,85	127,70	3,47	113,45
25	123,90	127,74	3,48	113,50
26	123,91	127,68	3,45	113,40
27	123,87	127,59	3,48	113,40
28	123,85	127,62	3,45	113,40
29	123,84	127,76	3,47	113,42
30	123,90	127,66	3,48	113,48
31	123,90	127,66	3,44	113,42
32	123,85	127,70	3,40	113,38
33	123,93	127,70	3,45	113,45
34	123,87	127,79	3,45	113,45
35	123,87	127,76	3,48	113,42
36	123,93	127,66	3,44	113,52
37	123,90	127,69	3,46	113,40
38	123,92	127,63	3,46	113,48
39	123,89	127,62	3,45	113,42
40	123,91	127,74	3,47	113,50
41	123,91	127,66	3,45	113,42
42	123,92	127,75	3,47	113,40
43	123,89	127,62	3,45	113,44
44	123,85	127,69	3,43	113,40
45	123,86	127,63	3,45	113,42

46	123,92	127,70	3,46	113,36
47	123,87	127,70	3,45	113,53
48	123,93	127,71	3,46	113,45
49	123,87	127,73	3,44	113,42
50	123,87	127,69	3,48	113,41
51	123,92	127,72	3,47	113,45
52	123,90	127,66	3,47	113,38
53	123,86	127,64	3,46	113,44
54	123,89	127,65	3,46	113,48
55	123,84	127,69	3,46	113,42
56	123,86	127,74	3,45	113,40
57	123,91	127,8	3,46	113,46
58	123,89	127,62	3,45	113,40
59	123,89	127,74	3,45	113,45
60	123,84	127,64	3,47	113,45
61	123,87	127,63	3,45	113,40
62	123,91	127,69	3,47	113,40
63	123,95	127,65	3,46	113,50
64	123,89	127,70	3,42	113,45
65	123,87	127,70	3,47	113,45
66	123,89	127,70	3,43	113,45
67	123,87	127,60	3,45	113,37
68	123,85	127,71	3,48	113,48
69	123,85	127,69	3,45	113,45
70	123,90	127,63	3,46	113,48
71	123,85	127,62	3,45	113,42
72	123,87	127,63	3,45	113,48
73	123,88	127,70	3,47	113,48
74	123,90	127,68	3,52	113,45
75	123,91	127,65	3,47	113,45
76	123,88	127,76	3,44	113,37
77	123,90	127,85	3,52	113,48
78	123,84	127,79	3,46	113,52
79	123,93	127,76	3,48	113,40
80	123,84	127,70	3,46	113,42
81	123,90	127,73	3,44	113,43
82	123,84	127,64	3,45	113,45
83	123,83	127,68	3,48	113,50
84	123,88	127,71	3,44	113,40
85	123,89	127,60	3,45	113,44
86	123,88	127,66	3,45	113,40
87	123,85	127,74	3,44	113,40
88	123,88	127,68	3,44	113,38
89	123,89	127,73	3,45	113,40
90	123,89	127,70	3,44	113,45
91	123,87	127,79	3,45	113,40
92	123,88	127,74	3,45	113,42
93	123,86	127,73	3,45	113,42

94	123,88	127,73	3,45	113,50
95	123,88	127,79	3,46	113,40
96	123,86	127,79	3,47	113,48

Таблица П.2.2 – Замеры головной трубы

№ п/п	$\varnothing 114,4^{+0,15}$ ($D_{1\text{гл}}$)	$7^{+0,15}$ ($t_{1\text{гл}}$)	$\varnothing 107^{+0,35}$ ($D_{2\text{гл}}$)	$\varnothing 124_{-0,2}$ ($D_{3\text{гл}}$)
1	114,47	7,10	107,04	123,88
2	114,42	7	107,08	123,93
3	114,42	7,09	107,05	123,83
4	114,45	7,05	107,15	123,84
5	114,47	7,05	107,07	123,81
6	114,48	7,02	107,01	123,87
7	114,48	7,12	107,05	123,87
8	114,44	7,05	107,03	123,96
9	114,46	7,1	107,03	123,87
10	114,45	7,08	107,09	123,87
11	114,49	7,03	107,05	123,8
12	114,44	7,02	107,03	123,85
13	114,45	7	107,10	123,87
14	114,48	7,11	107,12	124,0
15	114,43	7	107,09	123,86
16	114,42	7,05	107,08	123,87
17	114,46	7,15	107,10	123,86
18	114,42	7,08	107,07	123,87
19	114,43	7,05	107,05	124,0
20	114,44	7,11	107,03	123,95
21	114,43	7	107,05	123,87
22	114,47	7,01	107,07	123,88
23	114,45	7,13	107,04	123,98
24	114,43	7,08	107,02	123,87
25	114,48	7,08	107,0	123,8
26	114,45	7,15	107,14	123,93
27	114,45	7,01	107,09	123,98
28	114,47	7,09	107,04	123,86
29	114,44	7,05	107,11	123,8
30	114,45	7,08	107,10	123,93
31	114,5	7,12	107,01	123,83
32	114,43	7,15	107,05	123,96
33	114,40	7,09	107,07	123,8
34	114,40	7,04	107,16	123,87
35	114,40	7,08	107,12	123,92
36	114,45	7,06	107,07	123,81
37	114,44	7,08	107,03	124,0
38	114,42	7,10	107,18	123,97
39	114,45	7,06	107,09	123,83
40	114,45	7,08	107,07	123,81
41	114,45	7,06	107,06	123,81
42	114,42	7,08	107,07	123,87
43	114,45	7,06	107,08	123,8
44	114,45	7,10	107,07	123,98
45	114,40	7	107,11	123,88

46	114,45	7,05	107,12	123,98
47	114,43	7,03	107,03	123,86
48	114,49	7,11	107,06	123,87
49	114,43	7,08	107,01	123,93
50	114,45	7,08	107,10	123,96
51	114,42	7,04	107,05	123,82
52	114,48	7,07	107,12	123,88
53	114,49	7,03	107,12	123,92
54	114,40	7,07	107,04	123,88
55	114,43	7,02	107,12	123,8
56	114,45	7	107,01	123,89
57	114,42	7,12	107,01	123,94
58	114,42	7,12	107,05	123,98
59	114,42	7,14	107,04	123,92
60	114,40	7,09	107,06	123,84
61	114,43	7,02	107,06	123,83
62	114,48	7,06	107,09	123,87
63	114,47	7,03	107,12	123,82
64	114,47	7,08	107,06	123,91
65	114,43	7,08	107,08	123,90
66	114,43	7,09	107,05	123,89
67	114,45	7,05	107,15	123,92
68	114,50	7,06	107,11	123,99
69	114,49	7,02	107,10	123,88
70	114,45	7,05	107,06	123,94
71	114,44	7,04	107,06	123,87
72	114,42	7,06	107,01	123,92
73	114,43	7,04	107,09	123,83
74	114,49	7,12	107,03	123,80
75	114,44	7,07	107,01	123,86
76	114,45	7,06	107,09	123,93
77	114,46	7,04	107,09	123,93
78	114,49	7,08	107,04	123,93
79	114,42	7,03	107,01	123,87
80	114,49	7,05	107,05	123,94
81	114,42	7,10	107,04	123,82
82	114,44	7,08	107,10	123,93
83	114,40	7,14	107,05	123,94
84	114,42	7,03	107,07	123,93
85	114,48	7,09	107,09	123,94
86	114,42	7,05	107,09	123,83
87	114,44	7,08	107,05	123,91
88	114,47	7,08	107,11	123,93
89	114,44	7,06	107,06	123,88
90	114,48	7,05	107,05	123,89
91	114,46	7,06	107,07	123,88
92	114,45	7,06	107,10	123,87
93	114,48	7,04	107,10	123,9

94	114,40	7,07	107,07	123,93
95	114,45	7,10	107,04	123,88
96	114,40	7,13	107,01	123,93

№ п/п	Ø114,3 ^{+0,35} (D _{4гп})	2,9±0,15 (t _{2гп})	Ø124-0,2 (D _{5гп})	Ø128,4* (D _{6гп})
1	114,50	2,93	123,89	128,55
2	114,52	2,85	123,89	128,48
3	114,45	2,89	123,85	128,49
4	114,48	2,89	123,83	128,45
5	114,45	3,02	123,83	128,52
6	114,45	2,89	123,93	128,65
7	114,50	2,85	123,87	128,56
8	114,51	2,84	123,92	128,54
9	114,50	2,9	123,82	128,51
10	114,48	2,91	123,84	128,63
11	114,48	2,91	123,86	128,50
12	114,45	2,89	123,85	128,53
13	114,50	2,84	123,93	128,52
14	114,53	2,83	123,96	128,62
15	114,45	2,85	123,86	128,42
16	114,40	2,88	123,86	128,54
17	114,40	2,88	123,87	128,59
18	114,49	2,89	123,87	128,59
19	114,48	2,82	123,94	128,66
20	114,48	2,85	123,92	128,46
21	114,48	2,88	123,96	128,41
22	114,45	2,82	123,95	128,57
23	114,45	2,81	123,97	128,61
24	114,36	2,84	123,87	128,69
25	114,40	2,93	123,80	128,50
26	114,42	2,85	123,95	128,58
27	114,48	2,89	123,9	128,45
28	114,48	2,85	123,91	128,58
29	114,48	2,88	123,87	128,48
30	114,45	2,88	123,91	128,55
31	114,50	2,82	123,80	128,56
32	114,46	2,85	123,85	128,56
33	114,40	2,89	123,82	128,56
34	114,45	2,81	123,92	128,54
35	114,48	2,87	123,93	128,66
36	114,50	2,93	123,81	128,53
37	114,38	2,85	123,98	128,54
38	114,45	2,93	123,87	128,61
39	114,45	3,0	123,80	128,53
40	114,40	2,93	123,95	128,60
41	114,48	2,89	123,87	128,50
42	114,45	2,80	123,95	128,69
43	114,45	2,89	123,87	128,50
44	114,40	2,80	123,9	128,64

45	114,48	3,02	123,93	128,66
46	114,50	2,88	123,83	128,50
47	114,45	2,88	123,82	128,53
48	114,45	3,0	123,92	128,65
49	114,45	2,88	123,83	128,54
50	114,40	2,89	123,93	128,65
51	114,49	2,9	123,91	128,58
52	114,49	2,88	123,93	128,56
53	114,49	2,88	123,85	128,56
54	114,40	3,0	123,82	128,58
55	114,40	2,93	123,80	128,57
56	114,48	2,92	123,84	128,61
57	114,48	2,93	123,87	128,52
58	114,49	2,93	123,92	128,58
59	114,40	3,01	123,90	128,58
60	114,45	2,8	123,86	128,52
61	114,45	2,98	123,86	128,52
62	114,49	2,89	123,83	128,52
63	114,48	2,88	123,81	128,54
64	114,40	2,93	123,90	128,51
65	114,53	2,85	123,8	128,53
66	114,40	2,88	123,83	128,56
67	114,48	2,89	123,86	128,56
68	114,45	2,89	123,92	128,60
69	114,45	2,88	123,85	128,58
70	114,45	2,98	123,88	128,59
71	114,48	2,88	123,89	128,56
72	114,49	2,8	123,86	128,53
73	114,45	3,01	123,87	128,66
74	114,50	2,93	123,81	128,58
75	114,49	2,94	123,84	128,53
76	114,49	3,0	123,83	128,51
77	114,49	2,88	123,84	128,56
78	114,48	2,80	123,89	128,53
79	114,49	2,88	123,84	128,55
80	114,45	2,88	123,84	128,55
81	114,48	3,01	123,88	128,61
82	114,48	2,88	123,83	128,61
83	114,40	2,9	123,90	128,60
84	114,49	2,94	123,89	128,55
85	114,48	2,88	123,93	128,56
86	114,44	3,01	123,80	128,50
87	114,48	2,89	123,92	128,67
88	114,48	2,89	123,93	128,57
89	114,49	2,92	123,89	128,65
90	114,48	3,02	123,80	128,62
91	114,48	3,0	123,80	128,51
92	114,49	3,01	123,87	128,54

93	114,48	2,93	123,83	128,51
94	114,49	2,98	123,84	128,51
95	114,48	2,88	123,83	128,63
96	114,48	2,98	123,89	128,52

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

1005

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2682572

**Способ контроля диаметра прилегающего цилиндра
сборного ступенчатого корпуса**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тулский государственный университет" (ТулГУ) (RU)*

Авторы: *Ямников Александр Сергеевич (RU), Ямникова Ольга Александровна (RU), Матвеев Иван Александрович (RU), Родионова Елена Николаевна (RU)*

Заявка № 2017140572
 Приоритет изобретения 21 ноября 2017 г.
 Дата государственной регистрации в
 Государственном реестре изобретений
 Российской Федерации 19 марта 2019 г.
 Срок действия исключительного права
 на изобретение истекает 21 ноября 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Измаилов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2785982

Способ сборки деталей в виде оболочек с размещением одной детали внутри другой на заданную длину и с заданным зазором

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тульский государственный университет" (ТулГУ) (RU)*

Авторы: *Ямников Александр Сергеевич (RU), Родионова Елена Николаевна (RU), Матвеев Иван Александрович (RU), Ямникова Ольга Александровна (RU)*

Заявка № 2022109682

Приоритет изобретения 11 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 15 декабря 2022 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 11 апреля 2042 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Документ подготовлен в соответствии с требованиями
Сертификат 08860177014440103044024241454527
Выдан: 15.12.2022 г. Юридический отдел
Действителен с 15.12.2022 по 25.03.2025

Ю.С. Зубов



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

УТВЕРЖДАЮ
 Директор техперевооружению –
 главный технолог АО «НПО «СПЛАВ»
 им. А.Н. Ганичева»
 Ю.А. Иванов
 «09» 06 2021 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящий акт составлен в том, что на предприятии АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева» в опытном производстве при совершенствовании существующих и создании новых технологических процессов изготовления труб двигателя и способов сборки использованы методики и рекомендации аспиранта ФГБОУ ВО «Тюльский государственный университет», главного метролога – начальника отдела метрологии Родионовой Е.Н., разработанные в научной работе «Технологическое обеспечение точности изготовления сопрягаемых труб и сборки корпусов ракетных частей (на примере РСЗО Град)».

В работе реализована цель, заключающаяся в технологическом обеспечении точности механической обработки и сборки тонкостенных трубчатых корпусов ракетных двигателей, изготавливаемых при сочетании обработки резанием и ротационного выдавливания полуфабрикатов, путем совершенствования технологии изготовления элементов корпусов, метрологии и технологии сборки ракетного двигателя.

В результате проведенных исследований разработаны следующие рекомендации по совершенствованию изготовления и сборки труб двигателя:

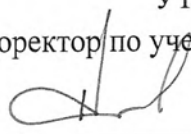
1. Показана возможность управления относительным положением труб, свинчиваемых по упорной резьбе в пределах радиального зазора по приведенным средним диаметрам сопрягаемых резьбовых поверхностей.

2. Разработана и апробирована установка для свинчивания протяженных корпусов ракетной части по упорной резьбе при жестком базировании, крайних центрирующих утолщений и базировании среднего центрирующего утолщения в клещевом зажиме с базовой цилиндрической поверхностью, диаметр которой соответствует номинальному размеру вхождения корпуса ракетной части в пусковую трубу. Такая схема базирования позволяет трубам перед моментом затяжки самоустановиться друг по другу, компенсируя при этом весь комплекс погрешностей относительного положения и формы (овальности) в допустимых пределах размера вхождения.

3. Разработанная установка повышает точность сборки составных корпусов реактивных снарядов и производительность путем сокращения количества непроизводительных операций по переборке несоответствующих конструкторской документации собранных комплектов. Опытно-промышленные испытания описанного способа дали отличную стабильность результатов сборки и исключили потребность повторных переборок с 10 до 0%, без ужесточения допусков на взаимное расположение поверхностей объединяемых труб. Новый способ сборки обеспечивает биение среднего центрирующего утолщения не более 0,3 мм при допуске 0,6 мм.

Директор по качеству
 Начальник службы технического контроля
 Начальник отдела № 31
 Начальник цеха № 21

И.В. Степаничев
 Б.В. Кулыгин
 П.П. Лахов
 А.Б. Собакин

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
ТулГУ

В.В. Котов

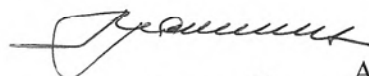
АКТ

о внедрении результатов научно-квалификационной работы Е.Н. Родионовой
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СОПРЯГАЕМЫХ ТРУБ И СБОРКИ КОРПУСОВ РАКЕТНЫХ ЧАСТЕЙ (НА
ПРИМЕРЕ РСЗО ГРАД)»
в учебном процессе


Мы, нижеподписавшиеся, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», доктор технических наук, профессор А.А. Маликов и директор политехнического института О.И. Борискин составили настоящий акт о том, что результаты научно-квалификационной работы аспиранта Е.Н. Родионовой внедрены в разделы лекционного курса «Технология машиностроения» по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроения»

Заведующий кафедрой ТМС

Директор ПТИ



А.А. Маликов



О.И. Борискин