

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование кафедры)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки)

Технология автоматизированного машиностроения

(профиль)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: «Размерный анализ технологического процесса вала привода
лебедки» _____

Студент	<u>А.А Ахметсафина</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>Л.А Резников</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>В. Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент Н.М. Бобровский _____
(личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой
к.т.н, доцент Н.Ю. Логинов _____
(личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Оглавление

Введение	4
Глава 1	6
1.1 История размерного анализа	6
1.2 Размерные цепи	8
1.3 Инновационные разработки в сфере размерного анализа.	9
1.4 Проведение размерного анализа с помощью новейшего метода компьютерной программы GRAF2.	11
1.5 Расчет размерных цепей в программе Компас 3D	13
1.6 KON7- программа для построения и расчета технологических размерных цепей	18
1.7 Программа «Normal» для размерного анализа	22
Глава 2	24
2.1 Анализ исходных данных	24
2.2 Анализ технологичности детали	26
2.3 Анализ технологичности вала привода лебедки	27
2.4 Тип производства и форма организации	28
2.5 Способ получения заготовки и ее проектирование	29
2.6 Разработка технологического маршрута вала привода лебедки, плана изготовления и схем базирования ступенчатого вала	30
2.7 Разработка технологических операций	31
2.8 Расчет технологической нормы времени	34
Глава 3	40

3.1 Размерный анализ технологического процесса вала привода лебедки.	40
3.2 Уравнения размерных цепей в продольном направлении.	40
3.3 Уравнения размерных цепей в радиальном направлении.	45
3.4 Проверка выполнения требований по точности изготовления вала привода лебедки.	49
3.5 Расчет припусков	55
3.6 Расчет операционных размеров	57
Заключение	61
Список используемой литературы	63

Введение

Всё в мире стремится к совершенству. И проектирование технологических процессов не исключение. Технологи постоянно ищут более совершенные методы изготовления деталей. От качества проектирования технологических процессов напрямую зависит эффективность производства. Размерный анализ технологического процесса составляющая технологической подготовки производства. Размерный анализ – это весь спектр расчетных, а также аналитических процессов, которые проводятся при разработке конструкций и их анализе.

В производстве деталей важны качество и экономия, на всех этапах изготовления деталей. Размерный анализ полностью обеспечивает и то и другое, так как связан с рабочими процессами, всей технологической документацией и эксплуатацией станков.

Цели размерного анализа чрезвычайно разнообразны. С помощью него мы можем проверить, обеспечивается ли заданная точность детали на настроенном оборудовании, можем определить, является ли количество технологических переходов наиболее приемлемым, также выяснить размеры заготовки с минимально допустимыми припусками. И конечно одна из главных целей - минимизация издержек производства.

С помощью размерного анализа мы можем изготавливать по - истине качественные детали и вывести производство на новый уровень. Интересный факт состоит в том, что при выполнении размерного анализа без преобразования чертежей, даже опытные технологи часто ошибаются, и на поиск этих ошибок уходит больше времени, чем на создание самих чертежей.

Таким образом, размерный анализ обеспечивает отличное качество и технологичность изделий, а также их элементов и заготовок. С помощью размерного анализа получают предельные отклонения для технологических

карт, размеры, операционные эскизы, чертежи наладок и заготовок. И в конечном итоге минимизацию издержек производства.

В данной работе мы выясним, являются ли инновационные методы проведения размерного анализа проще и удобнее в использовании. И проведем анализ технологического процесса наиболее удобным методом.

Глава 1

1.1 История размерного анализа.

Размерный анализ впервые был изложен Н.А Морозовым в монографии «Основы качественного физико-математического анализа и новые физические факторы, которые он обнаружил в явлениях природы» в 1908 году. Суть предлагаемого метода Николай Александрович характеризует так: «Укажите лишь какое-либо одно из многообразных соотношений между несколькими сложными физическими факторами, и качественный физико-математический анализ обнаружит перед вами и все остальные факторы, присутствующие в данном явлении природы»

Николай Александрович основывает метод размерности на основной теореме анализа размерности. «Всякое математическое равенство заключает в себе полный и законченный логический смысл только в том случае, когда обе части изотезичны, то есть те же самые тезисы, состоят из одноименных величин.

Аналогичная методика использовалась другими учёными ещё в XIX веке и получила известность после работ Рэля (1892 г.) и Э. Бакингема (π-теорема). В чем же заключается метод? Метод заключается в том, что для нахождения одного из параметров системы через другие параметры составляется формула, имеющая определенную размерность. В большинстве случаев именно формула является соотношением, которое мы искали.

О важности применения анализа размерности говорил академик С. И Вавилов. «Принято рассматривать размерность только как удобный метод перехода от одной системы к другой и в лучшем случае еще как средство первого контроля правильности физических уравнений». Также физики широко используют анализ размерности в качестве простого приема,

позволяющего предугадать решение сложных задач, за исключением постоянного множителя.

Также размерным анализом занимались такие выдающиеся личности как Р. Бартини, П. Кузнецов, Г. Хантли, Б. Хайм, М. Вудынский.

Самой простой методичкой является методика И.Г. Фридлендера. Однако ее применение для анализа технологических процессов обработки, ограничено тем, что она применима для технологических процессов, на операциях которых не изменяется простановка технологических размеров (в противном случае трудоемкость проведения размерного анализа значительно возрастает). В реальных производствах в результате смены баз простановка технологических размеров в ходе техпроцесса может неоднократно изменяться. Поэтому данная методика может успешно использоваться для анализа технологических процессов обработки валов, где преимущественно вся обработка производится с одного комплекта баз (центровые отверстия, боковой торец и некоторые др.).

В 1987 году была предложена методика, компьютеризировать процесс проведения размерного анализа, чтобы эта процедура не занимала много времени. На сегодняшний момент разработана компьютерная программа для решения размерного анализа технологических процессов обработки валов. С помощью этой программы можно легко и в короткий срок провести абсолютно любой размерный анализ. Современные средства программирования позволяют создавать развитые САПР с высокой степенью интерактивности. Применение визуального и объектно-ориентированного программирования, являющихся стандартными для данных средств программирования, сокращают время на разработку проекта программы и способствуют упорядочиванию ее логико-иерархической структуры.

1.2 Размерные цепи

Звеньями называются размеры, из которых состоит размерная цепь. Звенья, как правило, обозначают заглавными буквами русского алфавита, а угловые размеры маленькими буквами греческого алфавита. Одно из звеньев размерной цепи называется замыкающим, а остальные составляющими. Замыкающее звено мы получим последним при сборке механизма.

Увеличивающим звеном называется такое звено, с увеличением которого увеличивается и замыкающее звено. Выделить уменьшающие и увеличивающие звенья в короткой размерной цепи достаточно просто. Эта задача усложняется по мере увеличения размерной цепи. Существуют технологические размерные цепи, конструкторские (делятся на сборочные и подетальные), и измерительные размерные цепи. При конструировании используют конструкторские цепи, технологические при изготовлении, третьи - при измерении.

Если звенья расположены в параллельных плоскостях, то размерная цепь является плоской. Если в не параллельных плоскостях, то пространственной цепью. Если у цепей есть несколько общих параллельно связанных звеньев, ее называют параллельно - связанной. Если размерная цепь имеет одну общую базу с предыдущей цепью, то ее называют последовательно - связанной.

1.3 Инновационные разработки в сфере размерного анализа.

Есть теория, что трудоемкий размерный анализ технологических процессов можно усовершенствовать при помощи разработки специальных математических моделей, которые учитывают расположение поверхностей и параметров размерностей. Также его можно усовершенствовать при помощи математического и компьютерного моделирования.

Для того, чтобы понять, какие именно упущения были сделаны в ходе размерного анализа технологического процесса, следует досконально изучить сам процесс проведения размерного анализа. Чтобы решить любую проблему следует выяснить, что именно нам следует исправить.

Размерный анализ можно усовершенствовать путем исследования при помощи размерного анализа кромок деталей. Также при помощи структурного изображения сборочных единиц на основе кромок детали. А также метода связи поверхности и кромочной модели. Также можно создать матричный граф, но он нужен только в тех случаях, если поверхности на размерной схеме накладываются друг на друга или если нам неизвестно куда направлены звенья.

В общем смысле основой размерного анализа является точность выпускаемых на производстве деталей. Аналитические, а также комплексные параметры точности являются одной из основ любого размерного анализа.

Этой проблемой уже занимались в своих работах ученые Балакшин, Соколовский и Корсаков. Аналитическими параметрами занимались Кравцов и Ляндон. Безъязычный, Дальский и Жигалова занимались построением математической модели машины. Для того, чтобы построить математическую модель машины нужно подробно рассмотреть изготовление машины, изучить геометрические структуры по уже имеющейся

информации. Сам метод размерных цепей, который является непосредственной основой анализа размерностей, разрабатывали такие великие учёные как Пузанова, Балакшин, Лившиц, Базаров, Дунаев, Леликов, Иващенко и другие специалисты данной области. Так как получение размерных связей получается путем построения линейных размерных цепей и цепей относительных поворотов, оба подвида размерных связей строятся отдельно, что очень часто приводит к серьезным промахам в расчетах. Качественный анализ и изучение детали не проводится, так как имеется лишь одно уравнение и одна проверка допусков.

Аввакумов, Скворцов и Шамин разработали автоматический метод размерного анализа. Bryan, Ngoi, Ping Ji, Shah, Villeneuve, Wade, Zhang занимались той же проблемой за рубежом. Но и здесь было все не так гладко - обнаружилось, что крайне трудоемко вводить множество данных в ЭВМ.

Технологам все равно приходилось выполнять множество рутинной работы- назначать квалитет, припуски и допуски. Приходилось задавать отдельный алгоритм для выявления диаметральных размеров.

С помощью построения эпюр предлагал рассчитать пространственные отклонения Мордвинов, но минус этого метода в том, что приходится строить множество сложных эпюр. Это трудоемкая работа и она занимает много времени. И даже размерный анализ для простых деталей становится сложно произвести. Если мы имеем несколько общих осей, расчеты выполнить становится еще труднее, так как начинают появляться параллельные связи и комбинации параллельных и последовательных связей.

Таким образом, даже в самых последних разработках есть множество минусов.

1.4 Проведение размерного анализа с помощью компьютерной программы GRAF2.

Моделирование проводим с помощью программы GRAF2.bas, проведем размерный анализ технологического процесса. Вводим данные нужного технологического процесса.

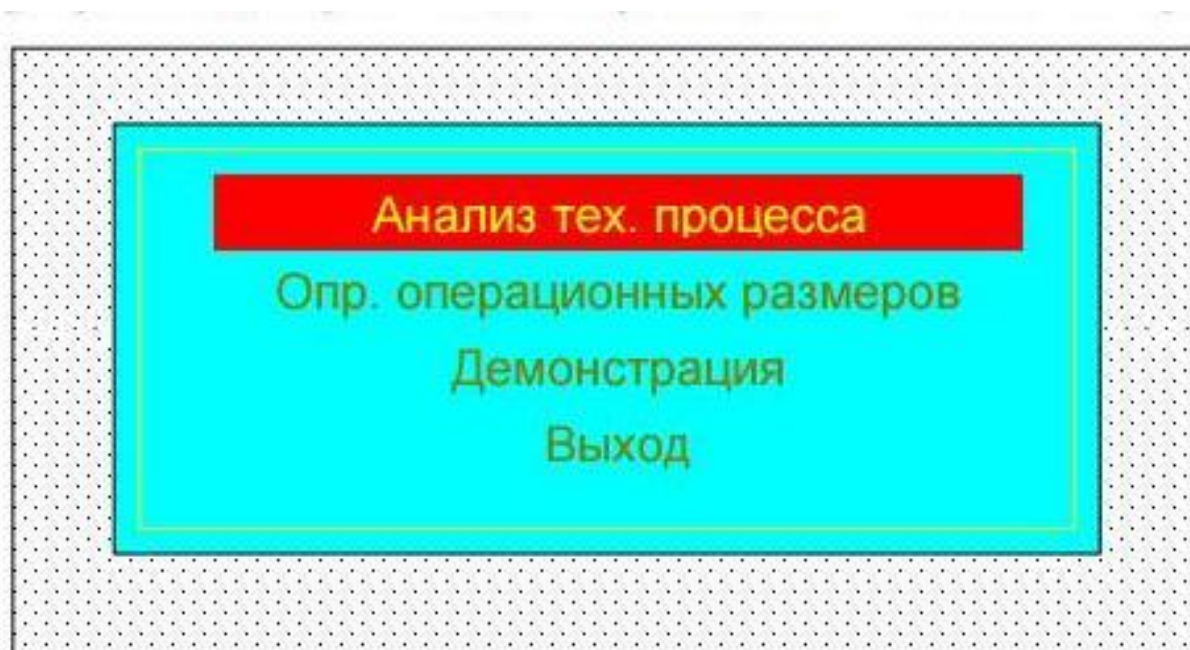


Рисунок 1.1 Меню программы GRAF2.bas

Введите количество поверхностей – N 4

Таблица конструкторских размеров						Таблица технологических размеров		
N	Размер		A	ES	EI	N	Размер	
1	1	4	200	0	-0.8	1	1	4
2	3	4	100	0.2	-0.2	2	1	3
3	1	2	50	0.45	0	3	2	4

Рисунок 1.2 Расчеты в программе GRAF2

Компьютерный метод является тоже трудоемким, так как множество параметров мы вынуждены считать вручную.

Его плюсом является то, что размерные цепи он строит автоматически. Графы появляются на экране монитора компьютера.

Затем технологу приходится вручную назначать допуски, если же при проверке выяснится, что точность обработки детали меньше компьютерных данных, и корректировка не помогла, то приходится пересматривать весь технологический процесс.

В результате расчет некоторых отклонений производится автоматически.

Расчет операционных размеров проводится также в программе.

Программа также рассчитывает диаметральные размеры.

Данный метод подходит не для всех случаев, когда необходимо сделать размерный анализ. Для некоторых деталей, в том числе и для нашей, подходит другой способ. Он является более простым.

Что нужно иметь в наличии для компьютерного моделирования размерного анализа технологического процесса?

1. Чертеж сборочной единицы
2. Маршрут обработки
3. Расчет значения Z_{min}
4. Знать тип заготовки
5. Справочник

Технолог должен сделать вручную следующие действия:

1. Проставить индексы на поверхностях детали
2. Проставить конструкторские размеры и пронумеровать их
3. Проставить технологические размеры и поставить индексы на них

Программа для компьютерного моделирования выполняет следующие действия:

1. Выявляет технологические размерные связи

2. Чертит размерные цепи
3. Находит увеличивающие и уменьшающие составляющие звеньев
4. Определяет допуск
5. Определяет предельные отклонения
6. Определяет технологические размеры
7. Рассчитывает промежуточные технологические размеры
8. Дает прогноз максимальных припусков
9. Анализирует вероятность принятия качественной детали за бракованную

В ходе размерного анализа по данному методу будут принимать участие только окончательные размеры детали.

1.5 Расчет размерных цепей в программе Компас 3D

В САПР Компас-3D имеется библиотека расчета размерных цепей. Но к сожалению, с помощью этой программы можно решить только обратную задачу, когда по известным значениям номинальных размеров, допусков, предельных отклонений составляющих звеньев, определяются номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена.

Для того чтобы рассчитать размерную цепь в программе Компас 3D нужно создать документ типа «фрагмент» и построим размерную цепь, используя вертикальные вспомогательные линии.

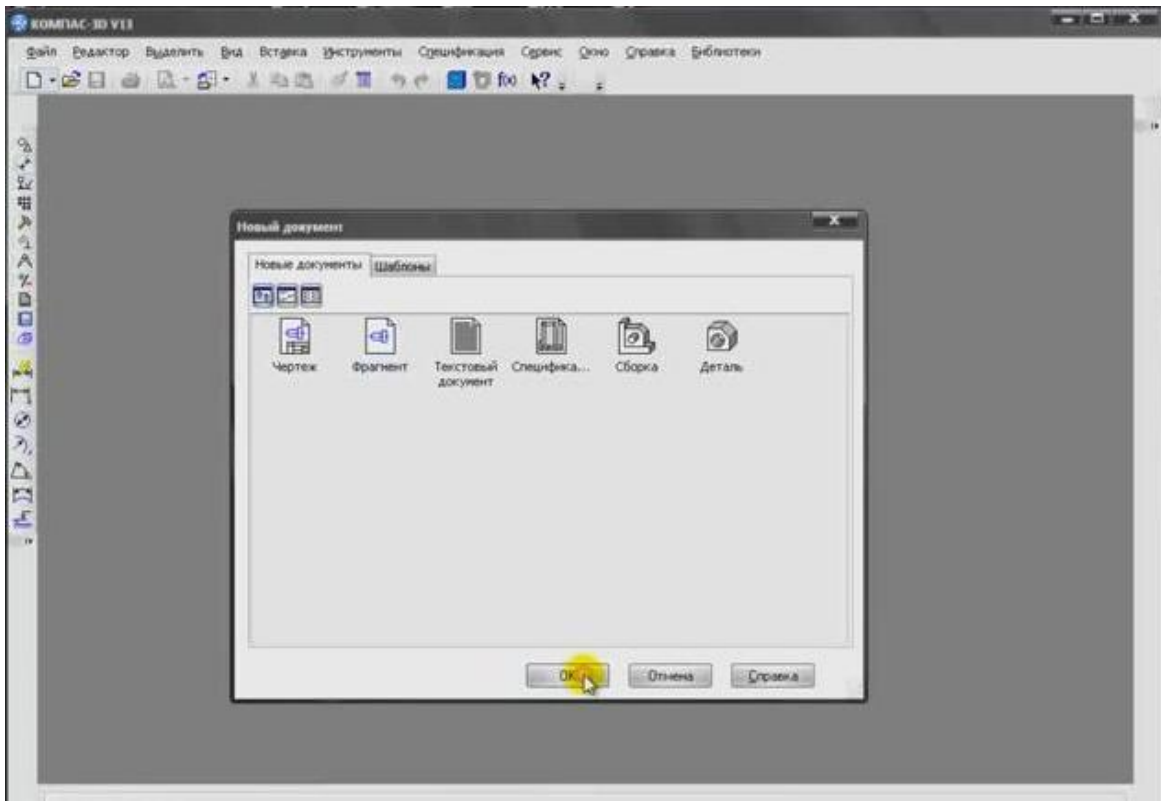


Рисунок 1.3 Меню программы Компас 3D

Создадим локальную систему координат.

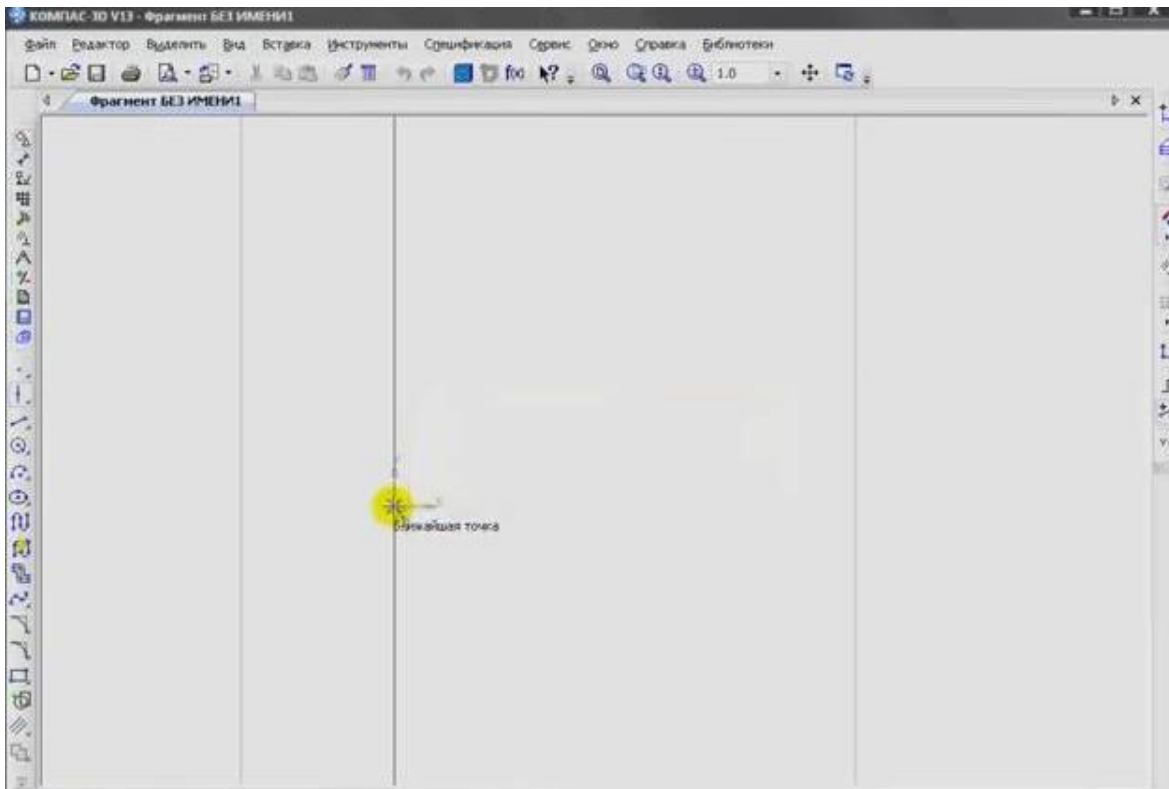


Рисунок 1.4 Система координат в Компас 3D

С помощью основных линий построим размерную цепь.

Вспомогательные линии теперь можно удалить.

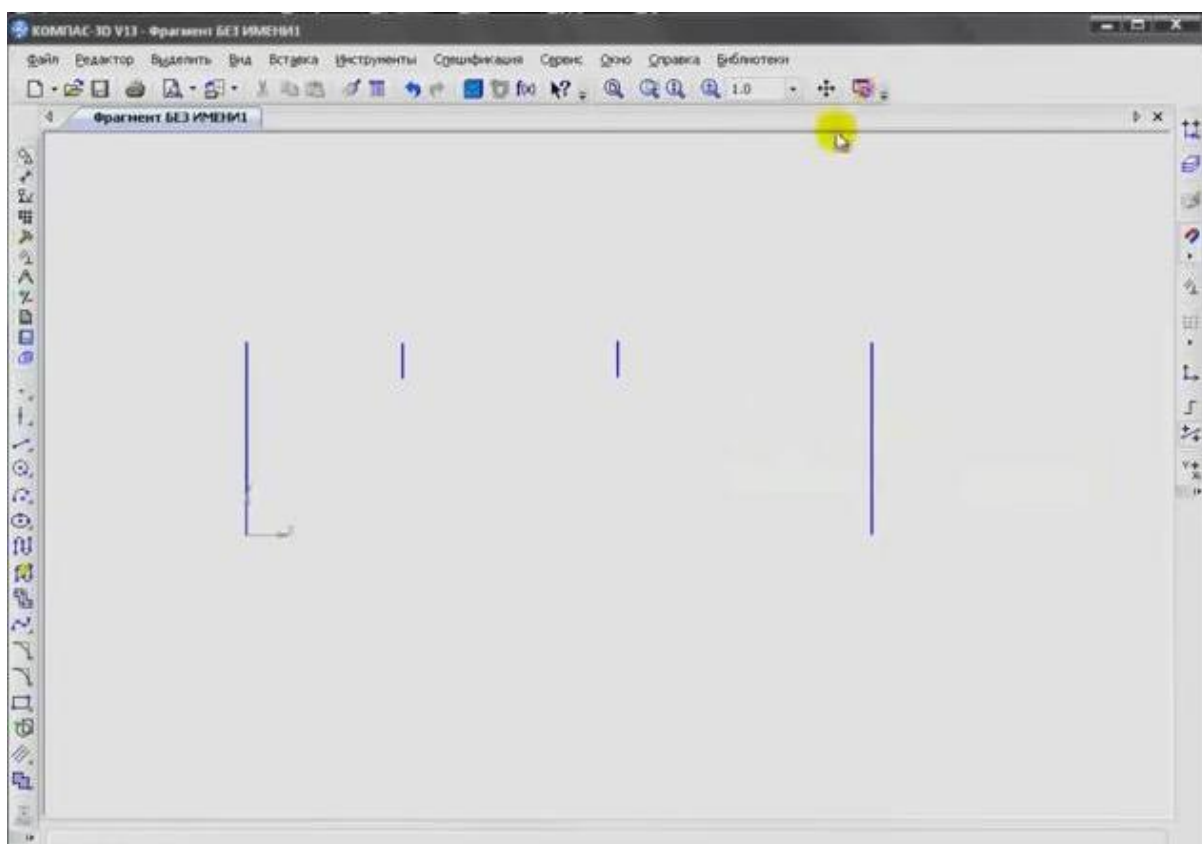


Рисунок 1.5 основные линии размерной цепи в Компас 3D

На рисунке мы видим, что вспомогательные линии удалены. Теперь построим окончательную размерную цепь.

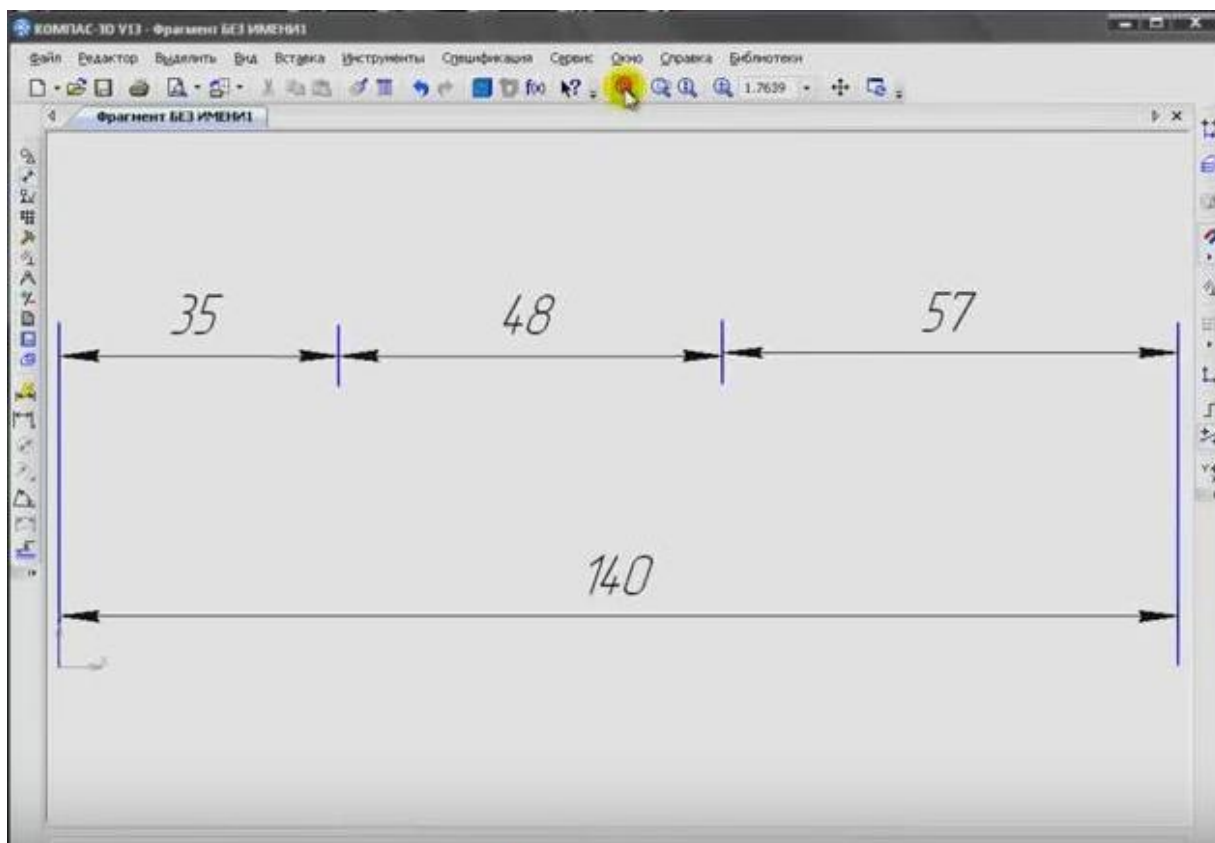


Рисунок 1.6 Размерная цепь

Остается ее рассчитать. Для этого сохраняем ее в виде файла фрагмента.

Затем открываем библиотеку расчета размерных цепей. С помощью нового расчета указываем замыкающее звено размерной цепи. Затем указываем все составляющие звенья.

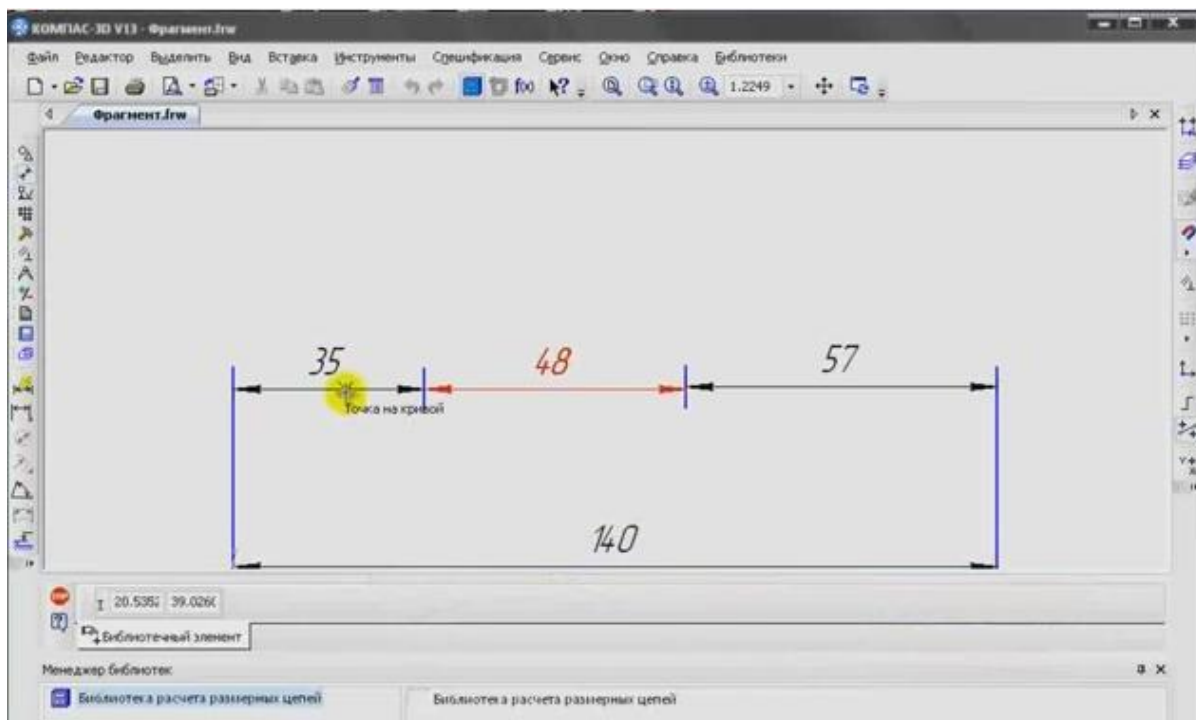


Рисунок 1.7 Замыкающее звено размерной цепи

Все звенья размерной цепи автоматически попадают в библиотеку расчета.

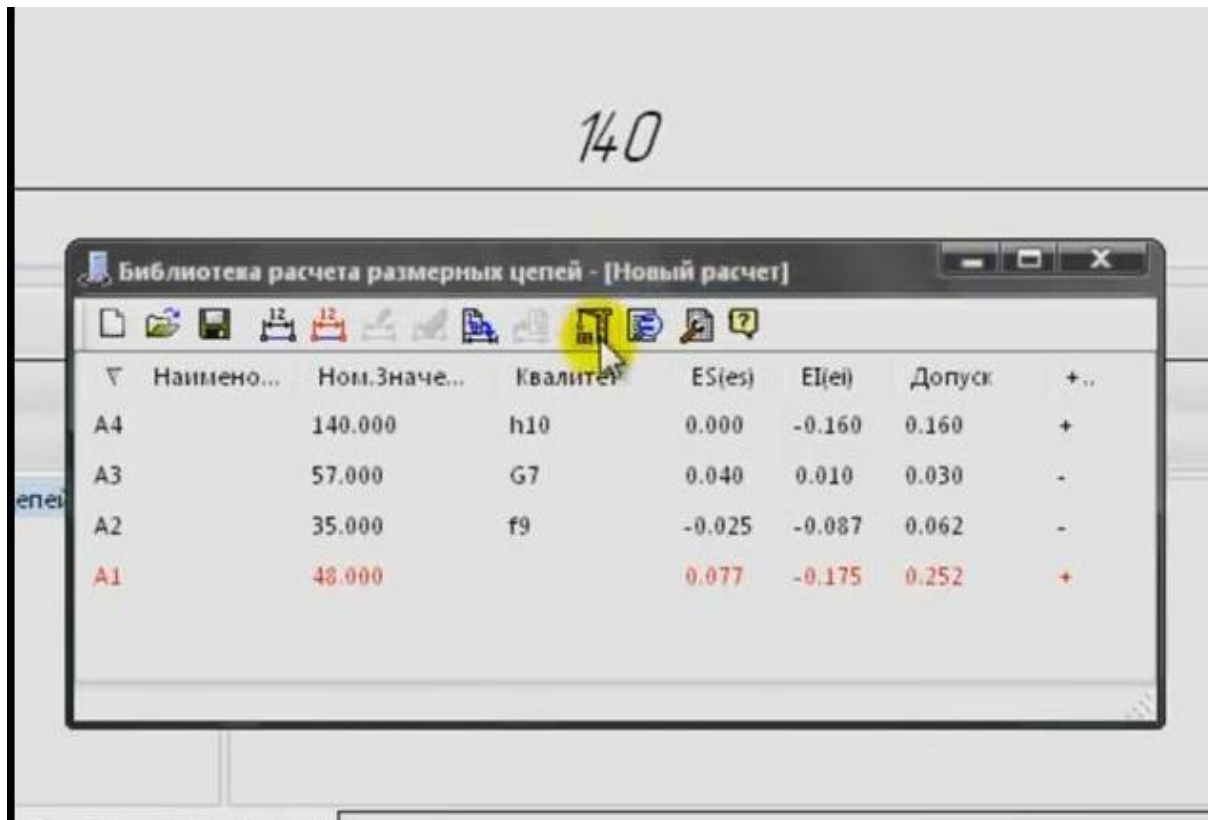


Рисунок 1.8 Библиотека расчета размерной цепи

Остается сохранить расчет. Мы рассмотрели расчет размерной цепи с помощью программы Компас 3D. Программа может упростить размерный анализ, но используется, к сожалению, только для решения обратной задачи.

1.6 KON7- программа для построения и расчета технологических размерных цепей

Данную программу разработал Калачёв. О.Н. Программа является разновидностью САПР-системы. Даная программа предназначена для размерного анализа технологического процесса. Но и эта программа не способна заменить технолога. Она создана лишь для помощи технологу. Программа способна проводить интеллектуальную диагностику исходных данных при вводе, моделировать размерные изменения заготовки, водить гарантированный минимальный припуск.

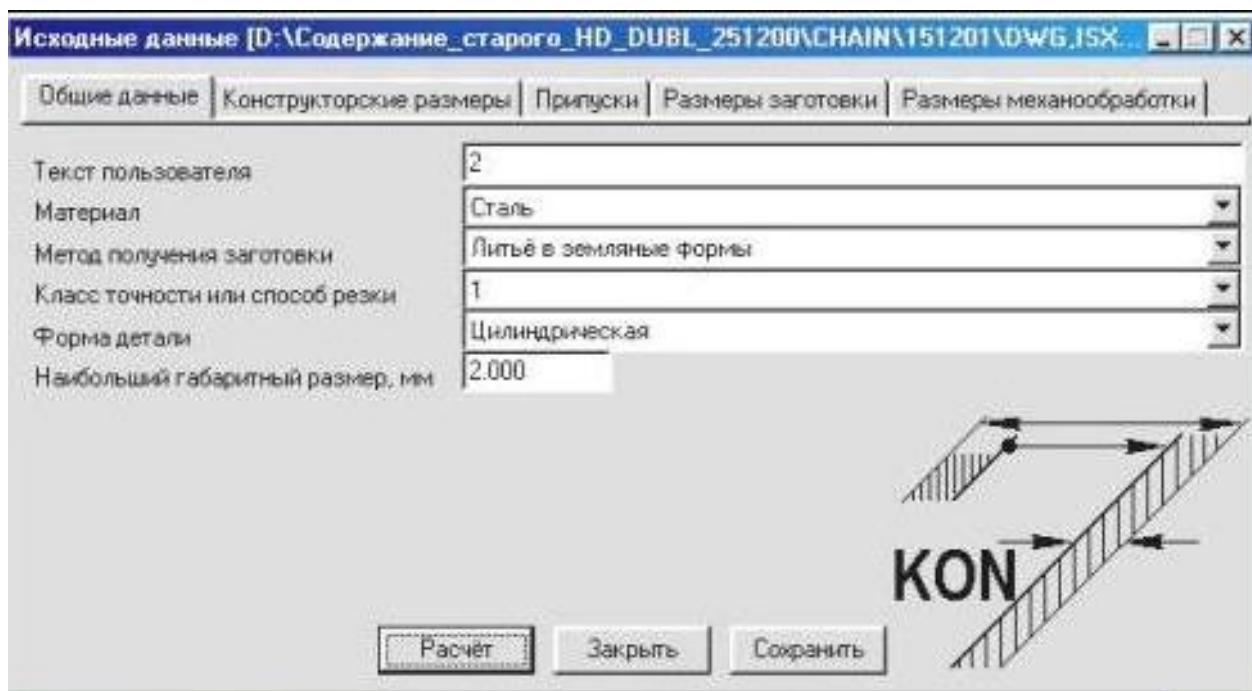


Рисунок 1.9 Исходные данные в программе KON7

В программе можно вводить конструкторские размеры

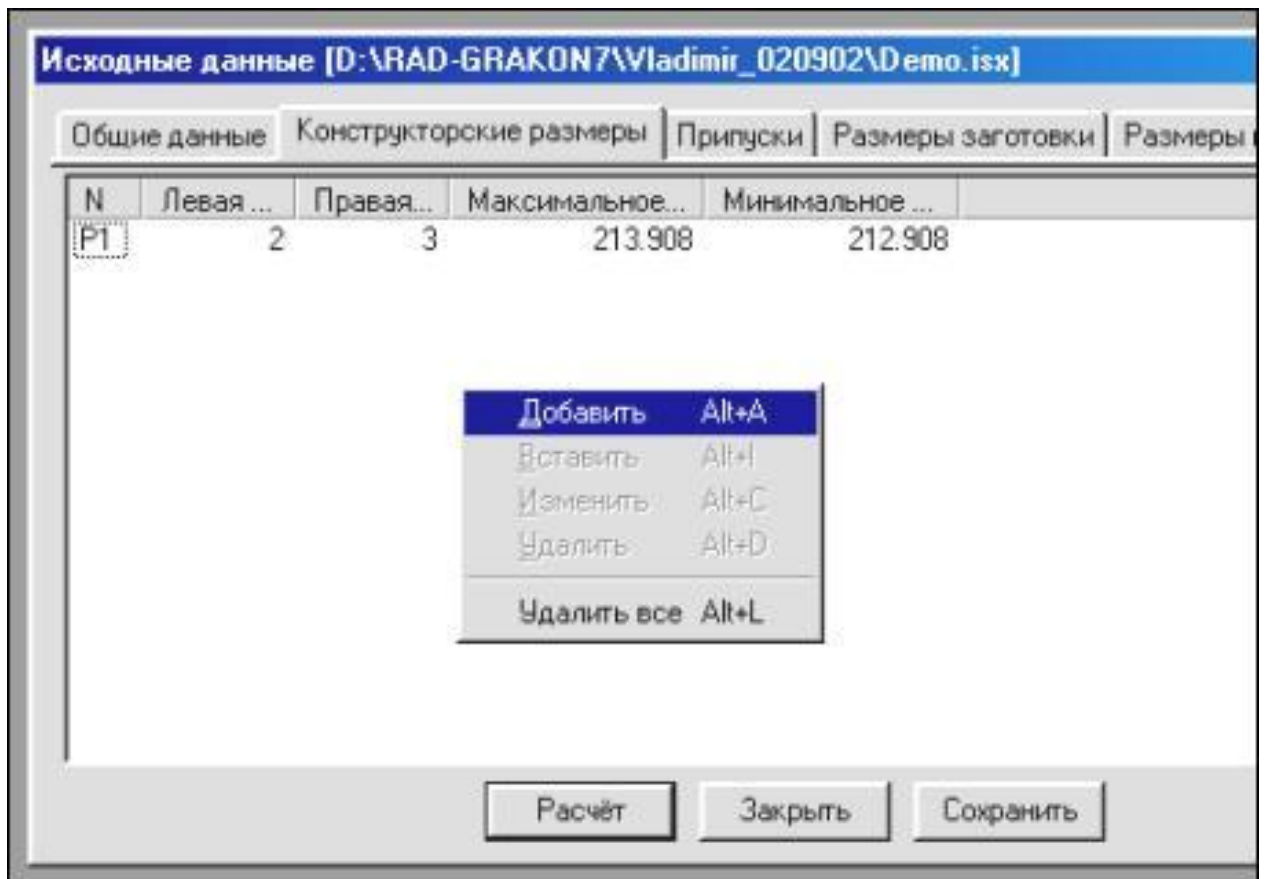


Рисунок 1.10 Конструкторские размеры в программе в программе KON7

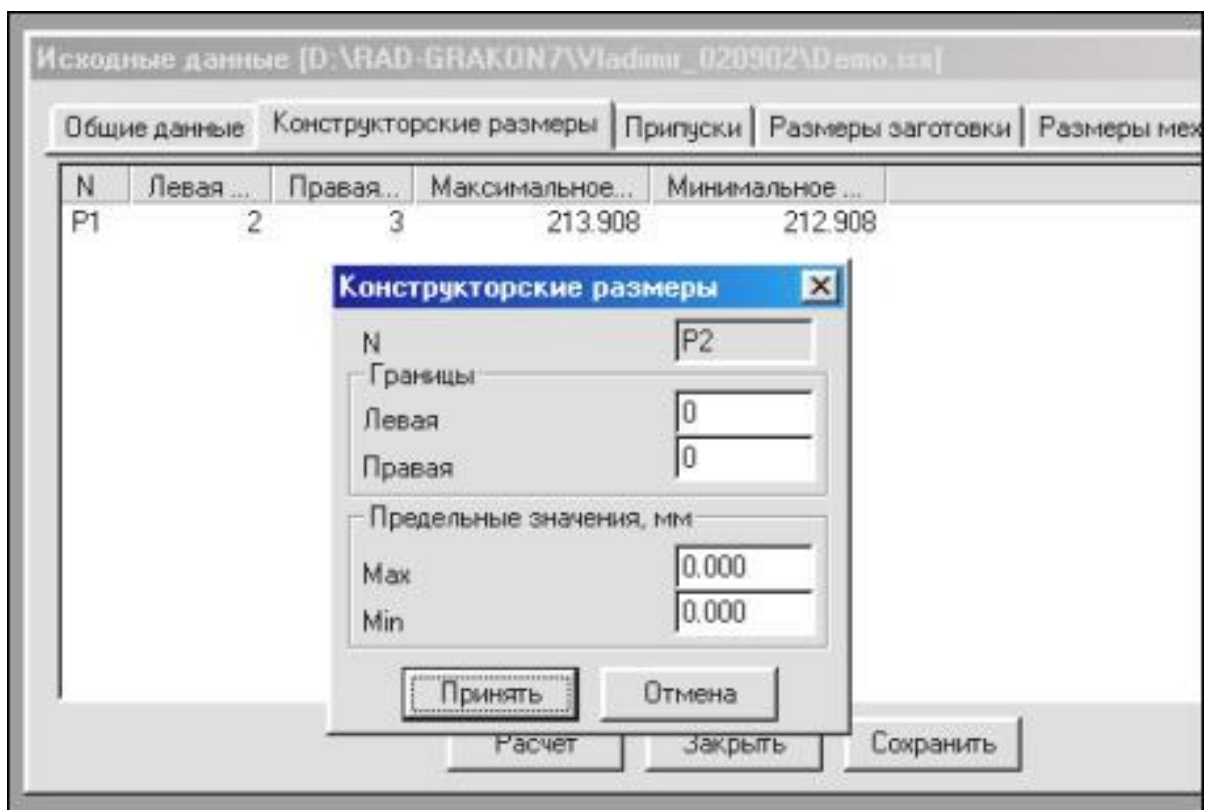


Рисунок 1.11 Конструкторские размеры в программе в программе KON7

Также вводить припуски

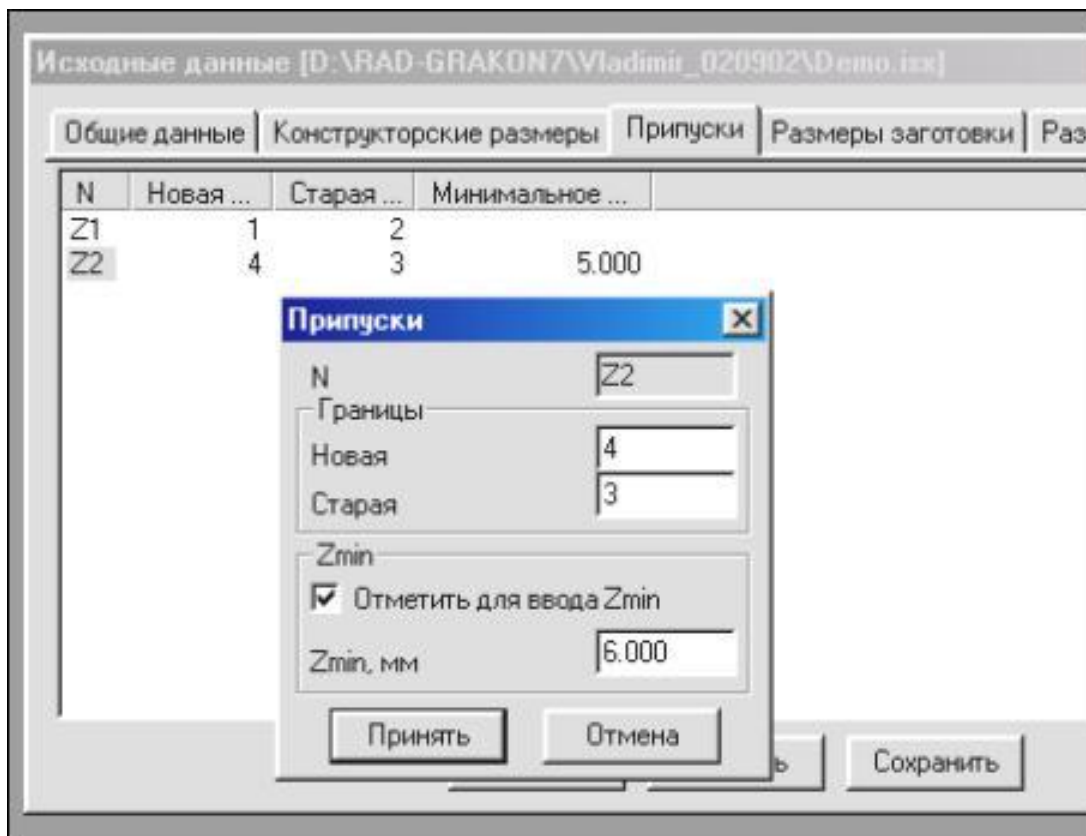


Рисунок 1.12 Припуски в программе в программе KON7

Вводить размеры заготовки

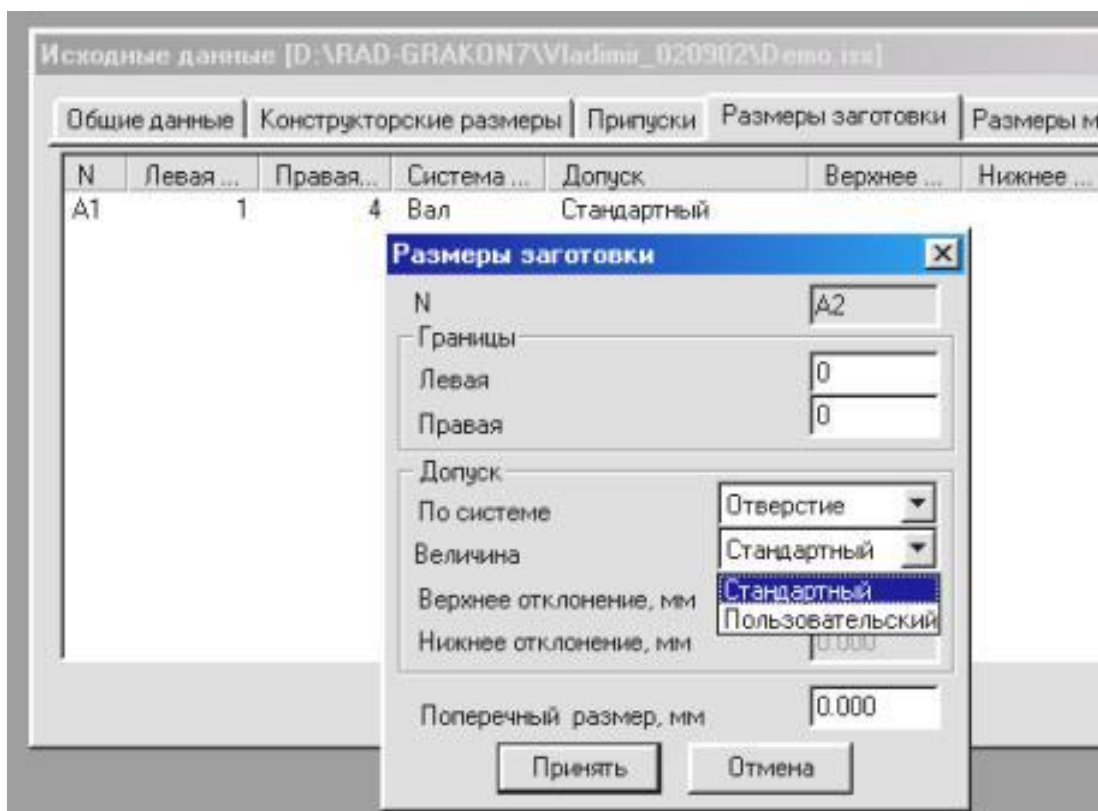


Рисунок 1.13 Размеры заготовки в программе в программе KON7

Программа проводит диагностику ввода данных на каждом этапе работы.

Например, если случайно два раза ввести один конструкторский размер программа выдаст сообщение:

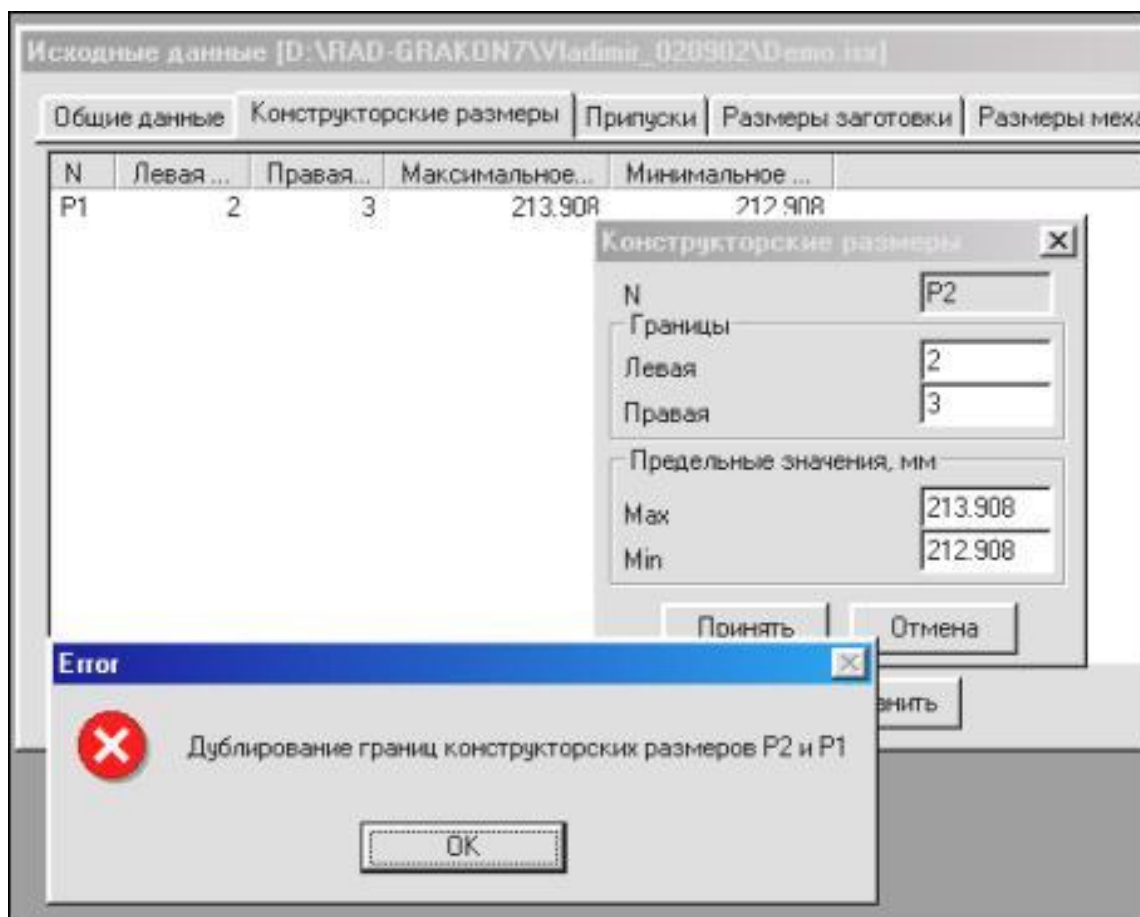


Рисунок 1.14 Ошибка в программе в программе KON7

После правильного ввода всех данных программа производит расчет. Данная программа в отдельных случаях способна облегчить работу технолога.

Текст пользователя		Пример		Таблица 1									
Распечатка введенных исходных данных (проверьте правильность ввода!)													
Сведения о заготовке:													
Материал.....		сталь											
Способ получения.....		Литьё в земляные формы											
Класс (степень) точности..		1											
Габар. p-r по направл. =A=		125.000											
Замыкающие звенья				Составляющие звенья: размеры A				Габариты				Отклонения	
P-черт.размер, Z-припуск				заготовки <--> и механообработки 0-->				рита обра				допуска DT пользователя	
Зве-но	Границ	Предел значения		Зве-но	Границ	Метод обработки		Сист бот.	допу пове			-----	
P: л-п		-----		но <----->	База-->		ска рхи. Верх. Нижнее						
Z: н-с		max	min										
P1	2 5	125.848	125.598	A1	1 4	Литьё в земляные формы		вал	60	0.000	0.000		
P2	2 3	36.070	35.920	A2	1 6	Литьё в земляные формы		вал	60	0.000	0.000		
Z1	1 2	0.000	0.000	A3	1 5	Точение чистовое		вал	60	0.000	0.000		
Z2	4 3	0.000	0.000	A4	1 3	Точение чистовое		вал	60	0.000	0.000		
Z3	6 5	0.000	0.000	A5	3 2	Точение тонкое		вал	60	0.000	0.000		

Таблица 2											
Результаты поиска уравнений размерных цепей и последовательности их решения											
Номер решения	Неизв. звено	Уравнения в символьной форме									
1	A5	P2=+A5									
2	A4	Z1=-A5+A4									
3	A3	P1=-A4+A3+A5									
4	A1	Z2=-A4+A1									
5	A2	Z3=-A3+A2									

Рисунок 1.15 Расчеты в программе в программе KON7

системой= 0.050 : верхн. откл.= 0.050 нижн. откл.= 0.000											
принимаям расчётный размер звена A5 с учётом технолог. допуска:											
номинал= 36.070		max= 36.070 min= 36.020									
Решается разм. цепь 3 с неизв. звеном A3											
с о с т а в ц е п и :											
уменьш. звено A4 :		max= 36.310		min= 36.210							
увелич. звено A3 :		max= 0.000		min= 0.000							
увелич. звено A5 :		max= 36.070		min= 36.020							
замк. звено - констр. размер P1 :		max= 125.848		min= 125.598							
результаты расчёта звена A3 :		max= 125.988		min= 125.888							
следовательно, расч. допуск= 0.100											
технолог. допуск заданного метода получения звена, предлагаемый											
системой= 0.160 : верхн. откл.= 0.160		нижн. откл.= 0.000									
номинал= 36.750		max= 37.050 min= 36.450									
Таблица 3											
Результаты расчета технологических ЦЦ по программе KON7 (С) Калачёв О.Н., 2000 Okalachev@mail.ru											
Замыкающие звенья				Составляющие звенья							
P - черт.размер, Z - припуск				A - размеры заготовки и механообработки							
-----kon7-114b-----											
Ин-декс звена	Гра-ниды звена	Предел значения		Ин-декс звена	Гра-ниды звена	Метод обработки		Номинал	Отклонения		
		-----							-----		
		max	min						Верхнее Нижнее		
P1	2 5	125.848	125.598	A1	1 4	Литьё в земляные формы		36.750	0.300	-0.300	
P2	2 3	36.070	35.920	A2	1 6	Литьё в земляные формы		126.728	0.600	-0.600	
Z1	1 2	0.290	0.140	A3	1 5	Точение чистовое		125.988	0.000	-0.100	
Z2	4 3	0.840	0.140	A4	1 3	Точение чистовое		36.310	0.000	-0.100	
Z3	6 5	1.440	0.140	A5	3 2	Точение тонкое		36.070	0.000	-0.050	

Рисунок 1.16 Расчеты в программе в программе KON7

1.7 Программа «Normal» для размерного анализа

К сожалению, эта программа предназначена для частного случая: расчета осесимметричных деталей с использованием метода максимума и минимума. Программа выдает геометрические модели с плоскими и цилиндрическими поверхностями, которые отражают данные о заготовке, самой детали и технологическом процессе. Назначает допуски и технологические размеры, также делает их корректировку. Программа удобна тем, что справочные данные, при помощи которых она производит расчеты, могут корректироваться пользователем.

Вот так выглядит интерфейс программы с изображением напусков и припусков:

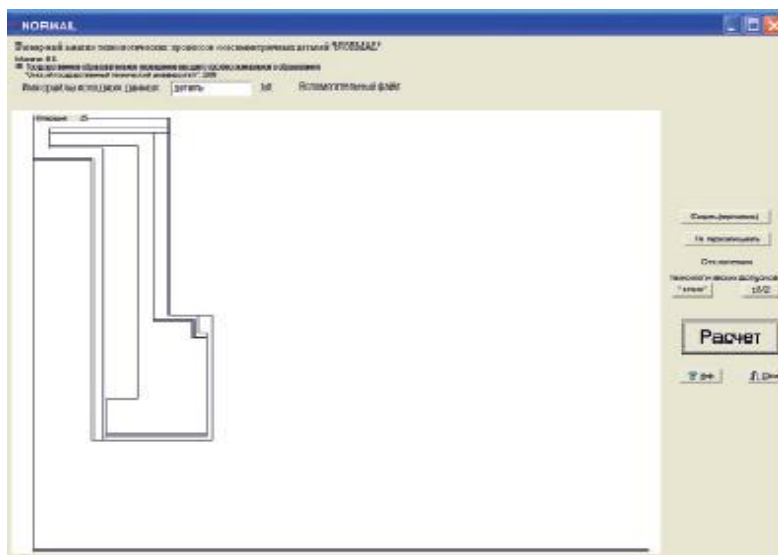


Рисунок 1.17

Таким образом, программа Normal может повысить качество размерного анализа, но только для определенных деталей.

Глава 2

2.1 Анализ исходных данных.

2.1.1 Анализ служебного назначения детали

Ступенчатый вал - одна из частей механизма предназначенная для погрузки в кузов автомобиля тяжелых грузов. Материал, из которого изготовлена деталь сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Основная функция детали передача крутящего момента.

Физико-механические характеристики материала.

Химический состав материала, % (ГОСТ 4543-71)

Углерод 0,35-0,45% , Кремний 0,18-0,38%

Марганец 0,51-0,81%, Хром 0,81-1,11%

Сера 0,036%, Фосфор 0,036%, Медь 0,31%

Механические свойства материала.

Сталь 40Х

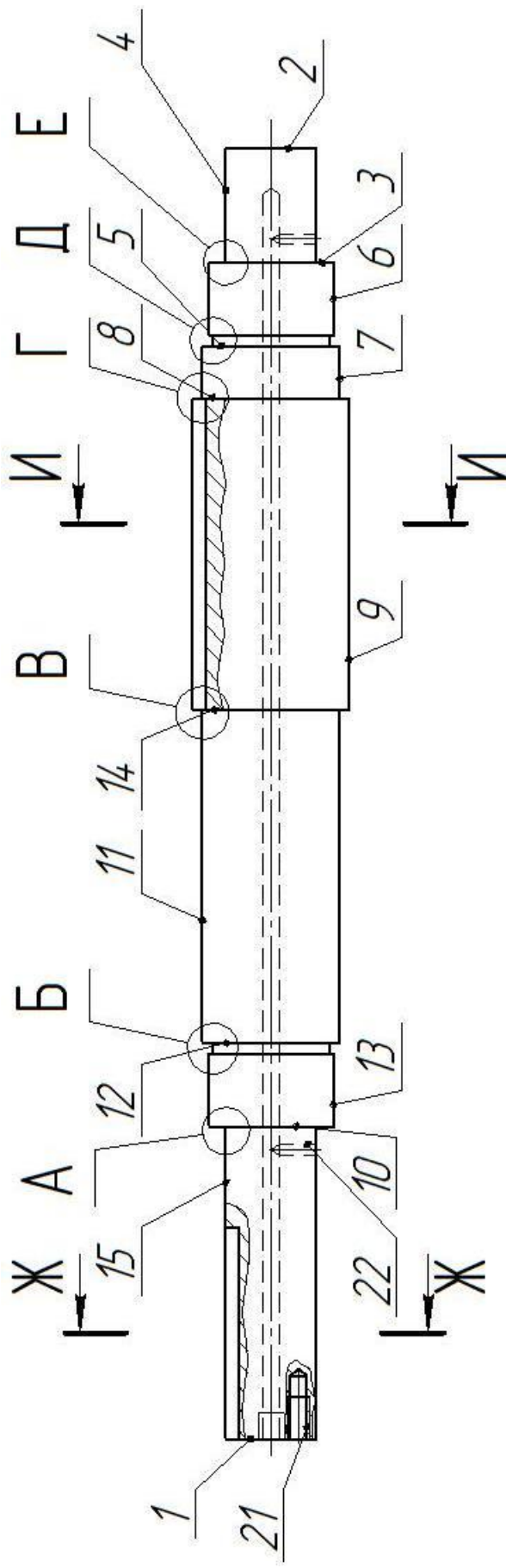
Предел текучести материала 310 Н/мм²

Временное сопротивление 600 кгс/мм²

Относительное удлинение материала 16%

Классификация поверхностей детали

Исполнительными поверхностями являются поверхности 14, 16. ОКБ – поверхности 4,9,17. ВКБ- 2,3,5,6,7,21,11. Свободные-остальные.



Ж-Ж И-И В, ØД(2,5:1) Б, ØД(2,5:1) А, В, ØГ, Е(2,5:1)

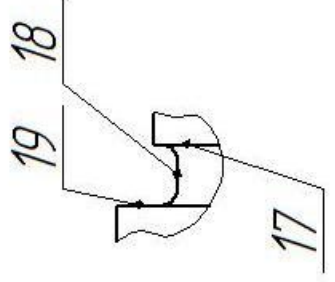
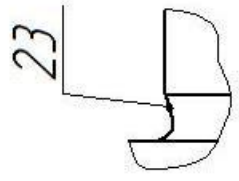
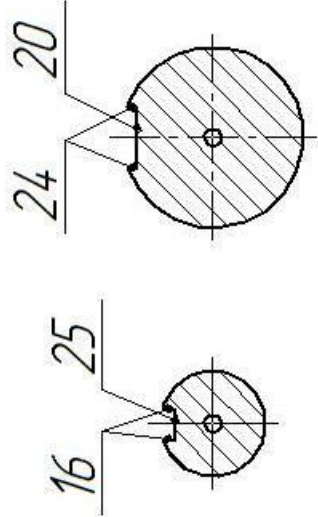


Рисунок 2.1 Ступенчатый вал

2.2 Анализ технологичности детали

Чтобы уменьшить себестоимость обработки вала за счет совершенствования конструкции детали, используют анализ технологичности.

Таблица 1.1 Анализ технологических требований

№	Назначение поверхности	Габариты	Квалитет	Шероховатость	ТТ	
					расположения	формы
1	3	4	5	6	7	8
1	С	35	12	12,5		
2	ВКБ	120	6	1,25		
3	ВКБ	45	12	1,25		
4	ОКБ	24	6	0,8		
5	ВКБ	128	8	12,5		
6	ВКБ	120	6	1,25		
7	ВКБ	20	8	12,5		
8	С	120	12	1,25		
9	ОКБ	24	6	0,8	0,02	
10	С	45	12	1,25		
11	ВКБ	44	6	0,8		
12	С	35	12	12,5		
13	С	10	12	3,2		
14	И	5	9	1,6	0,02 0,01	
15	С	20	12	3,2		
16	И	5	9	1,6	0,02 0,01	
17	ОКБ	53	12	3,2	0,05	
18	С	48	12	1,6		
19	С	45	12	1,25		
20	С	35	12	12,5		
21	ВКБ	16	12	12,5		
22	С	17,5	12	12,5		
23	С	60	12	1,25		
24	С	17,5	12	12,5		

2.3 Анализ технологичности вала привода лебедки.

$$K_{y.n} = \frac{N_y}{N}$$

Где N_y – унифицированные поверхности;

N- Все поверхности детали.

$$K_{y.n} = \frac{23}{23} = 1$$

Инструмент - стандартный

Оборудование – стандартное

Деталь - технологична

т.к $K_y > 0,95$

1) Коэффициент точности обработки вала, привода лебедки:

$$K_{m.\partial} = 1 - \frac{1}{A}$$

A- средний квалитет точности поверхности детали.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^k IT \cdot n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

$$A = \frac{6 \cdot 5 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 12 \cdot 14}{23} = 11,09:$$

$$K_{m.\partial} = 1 - \frac{1}{11,09} = 0,90$$

Вывод: деталь технологичная, в связи с тем, что:

$$K_{m.\partial} = 0,90 > 0,86$$

2) Средняя шероховатость поверхностей вала привода лебедки:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^k R_{a_i}}{k}$$

k- Количество поверхностей.

$$R_a = \frac{0,8 \cdot 3 + 1,6 \cdot 2 + 1,25 \cdot 7 + 3,2 \cdot 2 + 12,5 \cdot 9}{23} = 5,8 \text{ мкм}$$

2.4 Тип производства и форма организации

Характеризует тип производства в основном коэффициент закрепления K_z для группы рабочих мест. Он определяется как:

$$K_z = \frac{K_{опi}}{K_{р.м}}$$

$K_{опi}$ – количество операций, выполняемых на рабочем месте

$K_{р.м}$ – число всех имеющихся рабочих мест в цехе

Изделия единичного производства выпускаются в малом количестве. Их не выпускают повторно и они не подвергаются ремонту.

Изделия массового производства выпускаются в огромном количестве. Изделия многократно ремонтируются. Изделия серийного производства подвергаются ремонту и выпускаются партиями. В нашем случае, среднесерийное производство со следующими характеристиками:

Объём выпуска -1000 штук в год

Масса детали 7 кг.

Выбираем среднесерийное производство.

Базовые характеристики серийного производства:

Количество выпуска деталей, а также длительность выпуска деталей, степень автоматизации, квалификация работников – средние. Технологическое оборудование, СТО - универсальное с ЧПУ, специализированное. Форма организации - переменнo-поточная. Станки устанавливаются по группам. Технологические размеры определяют расчетно-аналитическим методом. Подробность описания – операционная маршрутная. Метод обеспечения точности – по подобным деталям.

2.5 Способ получения заготовки и её проектирование

Для этого сравниваем технологическую себестоимость изготовления детали из равных исходных заготовок.

Себестоимость детали (штамповка) :

$$C_T = \frac{q}{K_{ИМ}} \cdot C_{ЗАГ} + C_{МЕХ} - C_{ОТХ} \cdot 1 - K_{ИМ}$$

$$C_{ЗАГ} = C_{шт} \cdot h_T \cdot h_c \cdot h_B \cdot h_M \cdot h_{П}$$

$$C_{ЗАГ} = 43,16 \cdot 0,90 \cdot 1,18 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,5 = 32,08$$

Где $h_T, h_c, h_B, h_M, h_{П}$ коэффициенты, которые находим по классу точности, группе сложности, массе, марке материала заготовки и объему ее производства.

$$C_{МЕХ} = C_c + E_H \cdot C_k$$

$$C_{МЕХ} = 1,88 + 0,1 \cdot 5,66 = 2,446 \text{ руб/кг}$$

$$C_m = \frac{7}{0,7} (32,08 + 2,446 - 1,4 \cdot 1 - 0,7) = 323,9 \text{ руб}$$

Технологическая себестоимость на изготовление детали проката

$$C_{ЗАГ} = C_{пр} \cdot h_{\varphi} = 18,45 \cdot 1,06 = 19,56 \text{ руб/кг}$$

$$K_{ИМ} = \frac{m_D}{m_3} = \frac{7}{10,96} = 0,64$$

$$C_m = 7/0,64(19,56 + 2,446 - 1,4 \cdot 1 - 0,64) = 218 \text{ руб}$$

Выбираем изготовление вала из сортового проката, опираясь на себестоимость.

Таблица 1.2 Технологический маршрут изготовления детали.

№ операции	Наименование оп	Содержание оп	Квалитет	Шероховатость	Оборудование
000	Заготовительная				
010	Фрезерно-центровальная	Фрезеровать торцы 1,20 Сверлить центровальные отверстия	12	12,5	Фрезерно-центровальный МР-71М
			8	2,5	
020	Токарная	Точить поверхности Установ А:4-8 Установ Б:9-15	12	12,5	Токарный 16Б16П
030	Токарная	Точить поверхности Установ А:9-15 Установ Б:4-8	10	2,5	Токарный 16Б16ПФ3
040	Шпоночно-фрезерная	Фрезеровать пазы 16-19	8	6,3	Шпоночно-фрезерный 6Д91
050	Сверлильная	Сверлить отверстия 20,21	12	12,5	Радиально-сверлильный 2М57

Продолжение таблицы 1. 2

055	Сверлильная	Сверлить отверстия 23,27	12	12,5	Радиально-сверлильный 2М57
060	Сверлильная	Сверлить отверстие 22	12	12,5	Гор.-сверлильный 2540П

065	ТО	Закалка, высокий, отпуск			
070	Торце-круглошлифовальная	Шлифовать поверхности Установ А: 2,8,24 Установ Б:10,12,14	8	1,25	Торце-круглошлифовальный 2М163Ф2Н1В
080	Круглошлифовальная	Шлифовать поверхности Установ А: 4,6,7 Установ Б:9,11.13,15	6	0,8	Круглошлифовальный 2М163Ф2Н1В
090	Моечная				Моечная машина
100	Контрольная				Контрольный стенд

2.6 Разработка технологических операций

010 операция - фрезерно-центровальная

Позиция-сверлильная

Методика расчета.

Длина рабочего хода:

$$L_{p.x} = l + l_1, \text{ мм}$$

$$l_1 = 2 \text{ мм}$$

$$L_{p.x} = 14 + 2 = 16, \text{ мм}$$

Подача на оборот:

$$S_0 = 0,1 \text{ мм/об}$$

$$S_{0 \text{ доп}} = 0,1 \text{ мм/об}$$

$$S_{0 \text{ пр}} = 0,1 \text{ мм/об}$$

Скорость резания :

$$V = V_H + k_{mv} + k_{lv} + k_{uv} \text{ м/мин,}$$

$$k_{mv} = 0,45$$

$$k_{lv} = 0,85$$

$$k_{uv} = 0,65$$

$$V_H = \frac{C_V D^q}{T m S Y} = \frac{7 \cdot 4^{0,4}}{8^{0,2} \cdot 0,1^{0,7}} = 47,1 \text{ м/мин}$$

$$V = V_H + k_{mv} + k_{lv} + k_{uv} = 47,1 \cdot 0,45 \cdot 0,85 \cdot 0,65 = 11,7 \text{ м/мин}$$

Обороты заготовки:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = 1000 \cdot \frac{1000 \cdot 11,7}{\pi \cdot 4} = 931,52 \text{ об/мин}$$

$$n_{\text{пр}} = 900 \text{ об/мин}$$

Уточненная скорость:

$$V_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{пр}} \cdot \pi \cdot d}{1000} = 11,3 \text{ м/мин}$$

Мощность при резании:

$$N_{\text{рез}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750}$$

Крутящий момент: $M_{\text{кр}} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 0,025 \text{ Нм}$

$$N_{\text{рез}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750} = \frac{0,025 \cdot 900}{9750} = 0,002 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{см}} = 7 \text{ кВт}$$

Основное время обработки:

$$T_0 = \frac{L_{\text{р.х}}}{n_{\text{пр}} \cdot S_0} = \frac{16}{900 \cdot 0,1} = 0,18 \text{ мин}$$

Для торцевой фрезы определим длину рабочего хода и подачу на зуб:

$$L_{\text{р.х}} = l + l_1 \text{ мм}$$

$$l_1 = 10 \text{ мм}$$

$$L_{\text{р.х}} = 5 + 67 = 72 \text{ мм}$$

$$S_{\text{ZH}} = 0,16 \text{ мм/зуб}$$

Скорость фрезерования:

$$V_H = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot Z^p \cdot B^u} K_p = \frac{80^{0,2} \cdot 332}{180^{0,2} \cdot 2^{0,1} \cdot 16^{0,4} \cdot 70^{0,2} \cdot 10^0} \cdot 0,6$$
$$= 122,7 \text{ м/мин}$$

Обороты фрезы:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot d} = 488,4 \text{ об/мин}$$

Минутная подача

$$S_m = S_z \cdot z \cdot n = 781,44 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

$$n_{\text{пр}} = 497 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$S_{\text{мпр}} = 800 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot d}{1000} n_{\text{пр}} = 125,6 \text{ м/мин}$$

$$S_{z\text{нн}} = \frac{S_{\text{мпр}}}{n_{\text{пр}z}} = 0,16 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$$

Рассчитаем тангенциальную составляющую

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot B^u \cdot z \cdot S_z^y}{D^q \cdot n^w} K_{\text{мр}} = 2053 \text{ Н}$$

Мощность фрезерования

$$N_э = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} = 4,1 \text{ кВт}$$

Основное время на фрезеровании:

$$T_0 = \frac{L_{\text{рх}}}{S_{\text{мпр}}} = \frac{72}{800} = 0,1 \text{ мин}$$

2.7 Расчет технологической нормы времени

Под технологической нормой времени принято понимать время, необходимое для обработки той или иной детали при определенном технологическом процессе ее изготовления.

При определении технической нормы времени необходимо иметь в виду, что, во-первых, станочник не должен выполнять те работы, которые предусмотрены для вспомогательных рабочих (например, подносить материал и пр.). Во-вторых, в норму времени нельзя включать потери, связанные с организационно-техническими неполадками,- норма времени должна строиться исходя из условий бесперебойного обслуживания рабочего места, и, наконец, в-третьих, припуски на обработку, сорт и качество материала должны соответствовать техническим условиям.

Отклонения от этих нормальных условий специально учитываются нормировщиком в каждом отдельном случае.

При отклонении от нормальных условий работы рабочий получает отдельный доплатной наряд, компенсирующий дополнительную затрату его труда.

Штучное - калькуляционное время на операцию определяем по формуле:

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{T_{\text{п-з}}}{n} + T_{\text{шт}}$$

Штучное время рассчитаем по формуле:

$$T_{\text{шт}} = T_0 + T_{\text{ус}} + T_{\text{зо}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}} + T_{\text{тех}} + T_{\text{орг}} + T_{\text{от}}$$

Где T_0 – основное время, мин

T_{yc} – время, затрачиваемое на установку детали и ее снятие(мин)

$T_{зо}$ – время, которое необходимо затратить на закрепление детали и ее открепление (мин)

$T_{уп}$ - время, которое рабочий расходует на управление станком(мин)

$T_{из}$ – время, которое рабочий затрачивает на измерение (мин)

$T_{тех}$

– время, которое необходимо затратить на техническое обслуживание

$T_{орг}$ – время, затрачиваемое на обслуживание рабочего места мин

$T_{от}$ – время отдыха(мин)

Каждые 12 дней запускаем новую партию:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{1000}{254} \cdot 12 = 47$$

Операция – фрезерно-центровальная

$$T_{пз} = 14 + 2 + 7 = 23 \text{ мин}$$

$$T_{yc} = 0,086 \text{ мин}$$

$$T_{уп} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ мин}$$

$$T_{из} = \frac{2,8}{100} = 0,028 \text{ мин}$$

$$T_{в} = 0,086 + 0,04 + 0,028 \cdot 1,85 = 0,29 \text{ мин}$$

$$T_{оп} = 0,28 + 0,29 = 0,57 \text{ мин}$$

$$T_{\text{обот}} = \frac{0,3}{47} = 0,01 \text{ мин}$$

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{23}{47} + 0,28 + 0,083 + 0,04 + 0,028 \cdot 1,85 + 0,01 = 1,1 \text{ мин}$$

Для 005 сверильной операции с использованием однокромочного сверла: глубина $t=4$ мм, подача $S=0,03$ мм/об, скорость $v=79$ м/мин, обороты инструмента $n=3144$ об/мин, минутная подача $S_{\text{мин}}=94$ мм/мин. Для аналогичной операции спиральным сверлом получается: глубина $t=4$ мм, подача $S=0,06$ мм/об, скорость $v=32$ м/мин, обороты инструмента $n=1273$ об/мин, минутная подача $S_{\text{мин}}=76$ мм/мин. Тогда на операции основное время по вариантам:

$$T_{0-1} = \frac{L_{\text{рх}}}{S_{\text{мпр}}} = \frac{480}{94} = 5,1 \text{ мин}$$

$$T_{0-2} = \frac{480}{76} = 6,3 \text{ мин}$$

С учетом необходимости комплекта спиральных сверл (при увеличении глубины сверления), необходимости 2-3 х кратного вывода на одном переходе, эффективность обработки пушечным сверлом больше.

Общее время на операции:

$$T_{\text{в}} = 0,086 + 0,04 + 0,028 \cdot 1,85 = 0,29 \text{ мин}$$

$$T_{\text{ш-к}} = 23/47 + 5.1 + 0,083 + 0,04 + 0,028 \cdot 1,85 + 0,01 = 6,8 \text{ мин}$$

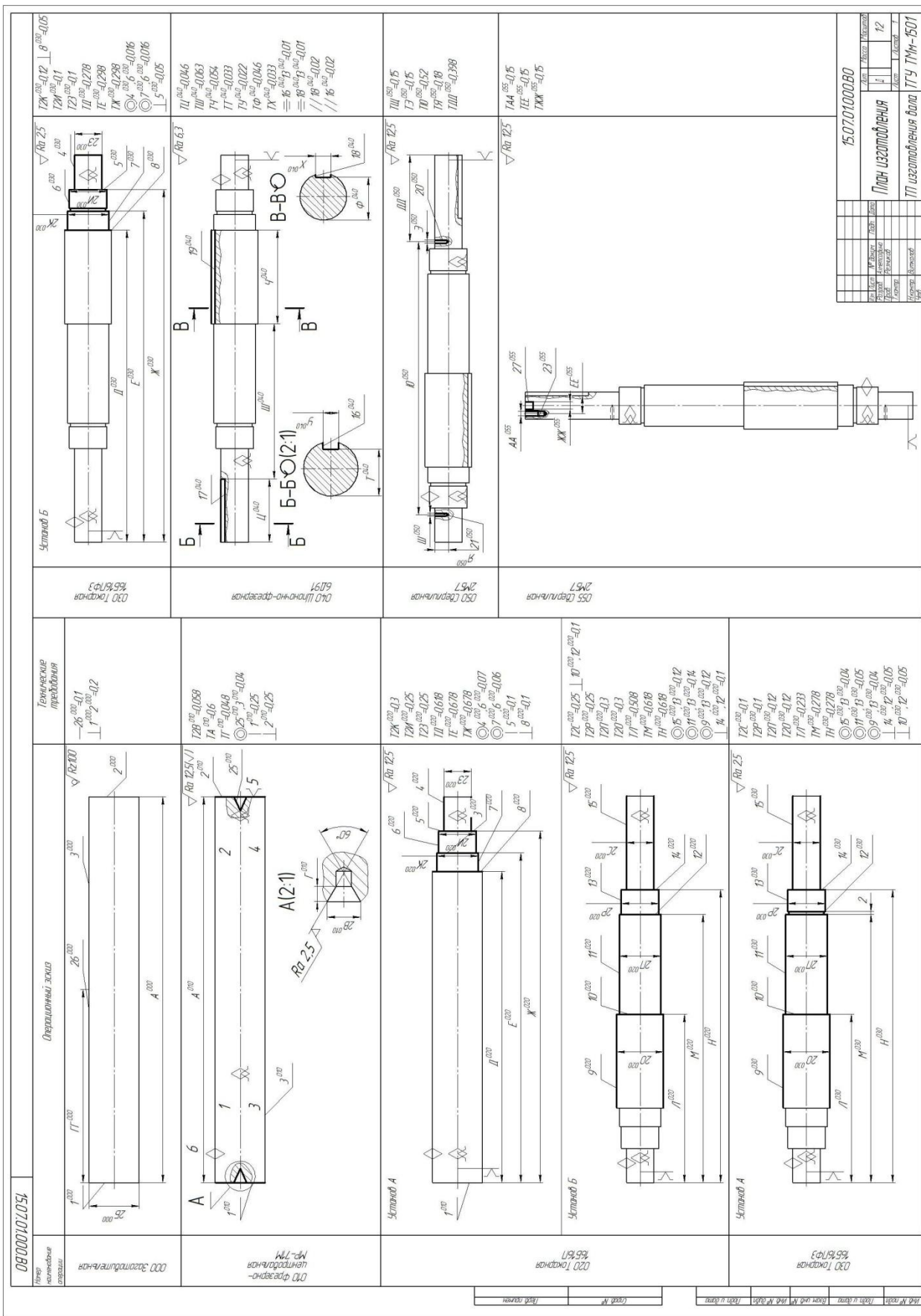


Рисунок 2.2 Операционный эскиз

<p>15070100060</p> <p>Операционный эскиз</p>		<p>Станок Б</p> <p>090 Калитин/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>Техническая информация</p> <p>ТЗМ⁰⁰⁰-0157</p> <p>ЛРБ⁰⁰⁰-0115</p>		<p>090 Калитин/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>15070100060</p> <p>Экз. № 01</p> <p>Лист 1 из 1</p> <p>Исполн. П.Резер</p> <p>Провер. В.Смир</p> <p>Курсовый</p>			
								<p>Прожить деталь</p>		<p>090 Мещеря</p>	
										<p>000 Контроль</p> <p>Контроль детали</p>	
<p>15070100060</p> <p>Операционный эскиз</p>		<p>Станок А</p> <p>090 Калитин/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>Техническая информация</p> <p>ТЗМ⁰⁰⁰-0157</p> <p>ЛРБ⁰⁰⁰-0115</p>		<p>090 Калитин/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>15070100060</p> <p>Экз. № 01</p> <p>Лист 1 из 1</p> <p>Исполн. П.Резер</p> <p>Провер. В.Смир</p> <p>Курсовый</p>			
								<p>095 10</p> <p>Завалка выскочки отпуску</p>			
<p>15070100060</p> <p>Операционный эскиз</p>		<p>Станок А</p> <p>070 Гусев/Григорьев/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>Техническая информация</p> <p>ТЗМ⁰⁰⁰-0157</p> <p>ЛРБ⁰⁰⁰-0115</p>		<p>070 Гусев/Григорьев/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>15070100060</p> <p>Экз. № 01</p> <p>Лист 1 из 1</p> <p>Исполн. П.Резер</p> <p>Провер. В.Смир</p> <p>Курсовый</p>			
								<p>095 10</p> <p>Завалка выскочки отпуску</p>			
<p>15070100060</p> <p>Операционный эскиз</p>		<p>Станок А</p> <p>090 Калитин/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>Техническая информация</p> <p>ТЗМ⁰⁰⁰-0157</p> <p>ЛРБ⁰⁰⁰-0115</p>		<p>090 Калитин/Исидоров</p> <p>ЗМБФ-2НВ</p>		<p>15070100060</p> <p>Экз. № 01</p> <p>Лист 1 из 1</p> <p>Исполн. П.Резер</p> <p>Провер. В.Смир</p> <p>Курсовый</p>			
								<p>095 10</p> <p>Завалка выскочки отпуску</p>			

Продолжение рисунка 2.3 Операционный эскиз

Глава 3

3.1 Размерный анализ технологического процесса вала привода лебедки.

Приступим непосредственно к размерному анализу технологического процесса вала привода лебедки. Составим уравнения размерных цепей в продольном и радиальном направлениях.

3.2 Уравнения размерных цепей в продольном направлении.

$$010) -A^{10} = Z_1^{10} + A^{00}$$

$$020) [И^{20}] = +Д^{20} - A^{10} + Н^{20}$$

$$[П^{20}] = +Е^{20} - A^{10} + М^{20}$$

$$[С^{20}] = Ж^{20} - р^{20}$$

$$[О^{20}] = Л^{20} - М^{20}$$

$$[Р^{20}] = -A^{10} + М^{20}$$

$$030) [Z_{10}^{30}] = Л^{20} - Л^{20}$$

$$[Z_{12}^{30}] = М^{20} - М^{30}$$

$$[Z_{14}^{30}] = Н^{20} - Н^{30}$$

$$[Z_8^{30}] = -Д^{20} + Д^{30}$$

$$[Z_7^{30}] = -E^{20} + E^{30}$$

$$[Z_5^{30}] = -\mathcal{K}^{20} + \mathcal{K}^{30}$$

$$[И^{30}] = +D^{30} - A^{10} + H^{30}$$

$$[\Pi^{30}] = +E^{30} - A^{10} + M^{30}$$

$$[C^{30}] = \mathcal{K}^{30} - p^{30}$$

$$[O^{30}] = L^{30} - M^{30}$$

$$[p^{30}] = -A^{10} + M^{30}$$

$$065) [A^{65}] = \alpha_1^{65} + A^{10} + \alpha_3^{65}$$

$$[O^{65}] = \alpha_1^{65} + L^{30} - M^{30} + \alpha_{12}^{65}$$

$$070) [Z_{10}^{70}] = \alpha + L^{30} + \alpha - L^{70}$$

$$[Z_{12}^{70}] = \alpha + M^{30} + \alpha - M^{70}$$

$$[Z_{14}^{70}] = \alpha + H^{30} + \alpha - H^{70}$$

$$[Z_8^{70}] = -\alpha - E^{30} - \alpha + E^{70}$$

$$[Z_5^{70}] = -\alpha - \mathcal{K}^{30} - \alpha + \mathcal{K}^{70}$$

$$[И^{70}] = +D^{70} - \alpha - A^{10} - \alpha + H^{70}$$

$$[\Pi^{70}] = +E^{70} - \alpha - A^{10} - \alpha + M^{70}$$

$$[C^{70}] = \mathcal{K}^{70} - p^{30}$$

$$[O^{70}] = L^{70} - M^{70}$$

$$[p^{70}] = -\alpha - A^{10} - \alpha + M^{70}$$

$$080) [Z_{10}^{80}] = \mathcal{L}^{70} - \mathcal{L}^{80}$$

$$[Z_{12}^{80}] = \mathcal{M}^{70} - \mathcal{M}^{80}$$

$$[Z_{14}^{80}] = \mathcal{H}^{70} - \mathcal{H}^{80}$$

$$[Z_8^{80}] = -\mathcal{D}^{70} + \mathcal{D}^{80}$$

$$[Z_7^{80}] = -\mathcal{E}^{70} + \mathcal{E}^{80}$$

$$[Z_5^{80}] = -\mathcal{K}^{70} + \mathcal{K}^{80}$$

$$[\mathcal{I}] = +\mathcal{D}^{80-\alpha} - \mathcal{A}^{10-\alpha} + \mathcal{H}^{70}$$

$$[\mathcal{II}] = +\mathcal{E}^{80-\alpha} - \mathcal{A}^{10-\alpha} + \mathcal{M}^{70}$$

$$[\mathcal{C}] = \mathcal{K}^{80} - \mathcal{p}^{80}$$

$$[\mathcal{O}] = \mathcal{L}^{80} - \mathcal{M}^{80}$$

$$[\mathcal{p}] = -\alpha - \mathcal{A}^{10-\alpha} + \mathcal{M}^{80}$$

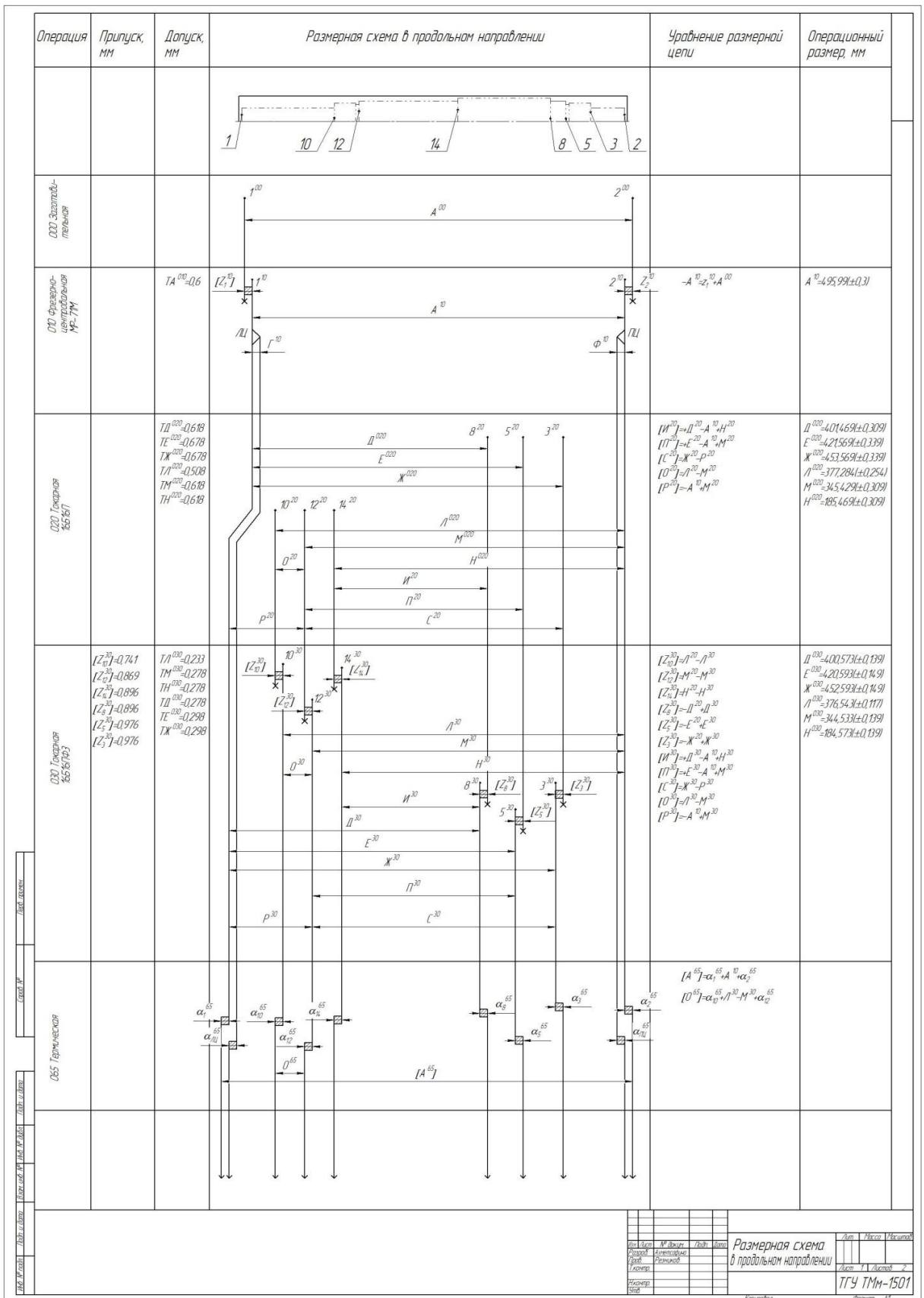


Рисунок 3.1 Размерная схема в продольном направлении.

Операция	Припуск, мм	Допуск, мм	Размерная схема в продольном направлении	Уравнение размерной цепи	Операционный размер, мм
070. Точение цилиндрической поверхности ЭУМ66Ф21НБ	$[Z_0^{70}] = -0,313$ $[Z_1^{70}] = -0,303$ $[Z_2^{70}] = -0,309$ $[Z_3^{70}] = -0,309$ $[Z_4^{70}] = -0,313$ $[Z_5^{70}] = -0,313$	$T/\lambda^{070} = -0,12$ $TM^{070} = -0,12$ $TH^{070} = -0,137$ $TD^{070} = -0,137$ $TE^{070} = -0,145$ $TЖ^{070} = -0,145$		$[Z_0^{70}] = \alpha \cdot \lambda^{70} - \alpha \cdot \lambda^{70}$ $[Z_1^{70}] = \alpha \cdot M^{70} - \alpha \cdot M^{70}$ $[Z_2^{70}] = \alpha \cdot H^{70} + \alpha \cdot H^{70}$ $[Z_3^{70}] = \alpha \cdot D^{70} - \alpha \cdot D^{70}$ $[Z_4^{70}] = \alpha \cdot \epsilon^{70} - \alpha \cdot \epsilon^{70}$ $[Z_5^{70}] = \alpha \cdot \lambda^{70} - \alpha \cdot \lambda^{70}$ $[I]^{70} = \alpha \cdot Ж^{70} - \alpha \cdot Ж^{70}$ $[J]^{70} = D^{70} - \alpha \cdot A^{70} - \alpha \cdot H^{70}$ $[K]^{70} = K^{70} - \alpha \cdot A^{70} - \alpha \cdot M^{70}$ $[L]^{70} = L^{70} - \alpha \cdot M^{70}$ $[O]^{70} = L^{70} - M^{70}$ $[P]^{70} = \alpha \cdot A^{70} - \alpha \cdot M^{70}$	$D^{070} = 400,274 \pm 0,07$ $\epsilon^{070} = 420,290 \pm 0,07$ $Ж^{070} = 452,290 \pm 0,07$ $\lambda^{070} = 376,240 \pm 0,06$ $M^{070} = 344,240 \pm 0,07$ $H^{070} = 194,274 \pm 0,07$
			080. Круглошлифовальная ЭУМ66Ф21НБ	$[Z_0^{80}] = -0,240$ $[Z_1^{80}] = -0,240$ $[Z_2^{80}] = -0,274$ $[Z_3^{80}] = -0,274$ $[Z_4^{80}] = -0,290$ $[Z_5^{80}] = -0,290$	$T/\lambda^{080} = -0,12$ $TM^{080} = -0,137$ $TH^{080} = -0,137$ $TD^{080} = -0,137$ $TE^{080} = -0,145$ $TЖ^{080} = -0,145$
<div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"> ЭУМ66Ф21НБ 080. Круглошлифовальная ЭУМ66Ф21НБ </div>					

Продолжение рисунка 3.1 Размерная схема в продольном направлении.

3.3 Уравнения размерных цепей в радиальном направлении.

$$020) [Z_9^{20}] = O^{20} - O^{00} + e9^{20}25^{10} + e9^{00}25^{10}$$

$$030) [Z_4^{30}] = 3^{30} - 3^{20} + e4^{30}25^{10} + e4^{20}25^{10}$$

$$[Z_5^{30}] = И^{30} - И^{20} + e5^{30}25^{10} + e5^{20}25^{10}$$

$$[Z_6^{30}] = K^{30} - K^{20} + e6^{30}25^{10} + e6^{20}25^{10}$$

$$[Z_9^{30}] = O^{30} - O^{20} + e9^{30}25^{10} + e9^{20}25^{10}$$

$$[Z_{11}^{30}] = \Pi^{30} - \Pi^{20} + e11^{30}25^{10} + e11^{20}25^{10}$$

$$[Z_{13}^{30}] = p^{30} - p^{20} + e13^{30}25^{10} + e13^{20}25^{10}$$

$$[Z_{15}^{30}] = C^{30} - C^{20} + e15^{30}25^{10} + e15^{20}25^{10}$$

$$065) [C^{65}] = C^{30} + \alpha_{15}^{65}$$

$$070) [Z_4^{70}] = 3^{30} - 3^{70} + e4^{70}25^{10} + e4^{30}25^{10} * \tan 26,6$$

$$[Z_5^{70}] = И^{30} - И^{70} + e5^{70}25^{10} + e5^{30}25^{10} * \tan 26,6$$

$$[Z_6^{70}] = K^{30} - K^{70} + e6^{70}25^{10} + e6^{30}25^{10} * \tan 26,6$$

$$[Z_9^{70}] = O^{30} - O^{70} + e9^{70}25^{10} + e9^{30}25^{10} * \tan 26,6$$

$$[Z_{11}^{70}] = \Pi^{30} - \Pi^{70} + e11^{70}25^{10} + e11^{30}25^{10} * \tan 26,6$$

$$[Z_{13}^{70}] = p^{30} - p^{70} + e13^{70}25^{10} + e13^{30}25^{10} * \tan 26,6$$

$$[Z_{15}^{70}] = C^{30} - C^{70} + e15^{70}25^{10} + e15^{30}25^{10} * \tan 26,6$$

080)

$$[Z_4^{80}] = 3^{80} - 3^{70} + e4^{80}25^{10} + e4^{70}25^{10}$$

$$[Z_5^{80}] = \mathbb{H}^{80} - \mathbb{H}^{70} + e6^{80}25^{10} + e6^{70}25^{10}$$

$$[Z_9^{80}] = 0^{80} - 0^{70} + e9^{80}25^{10} + e9^{70}25^{10}$$

$$[Z_{11}^{80}] = \Pi^{80} - \Pi^{70} + e11^{80}25^{10} + e11^{70}25^{10}$$

$$[Z_{13}^{80}] = p^{80} - p^{70} + e13^{80}25^{10} + e13^{70}25^{10}$$

$$[Z_{15}^{80}] = C^{80} - C^{70} + e15^{80}25^{10} + e15^{70}25^{10}$$

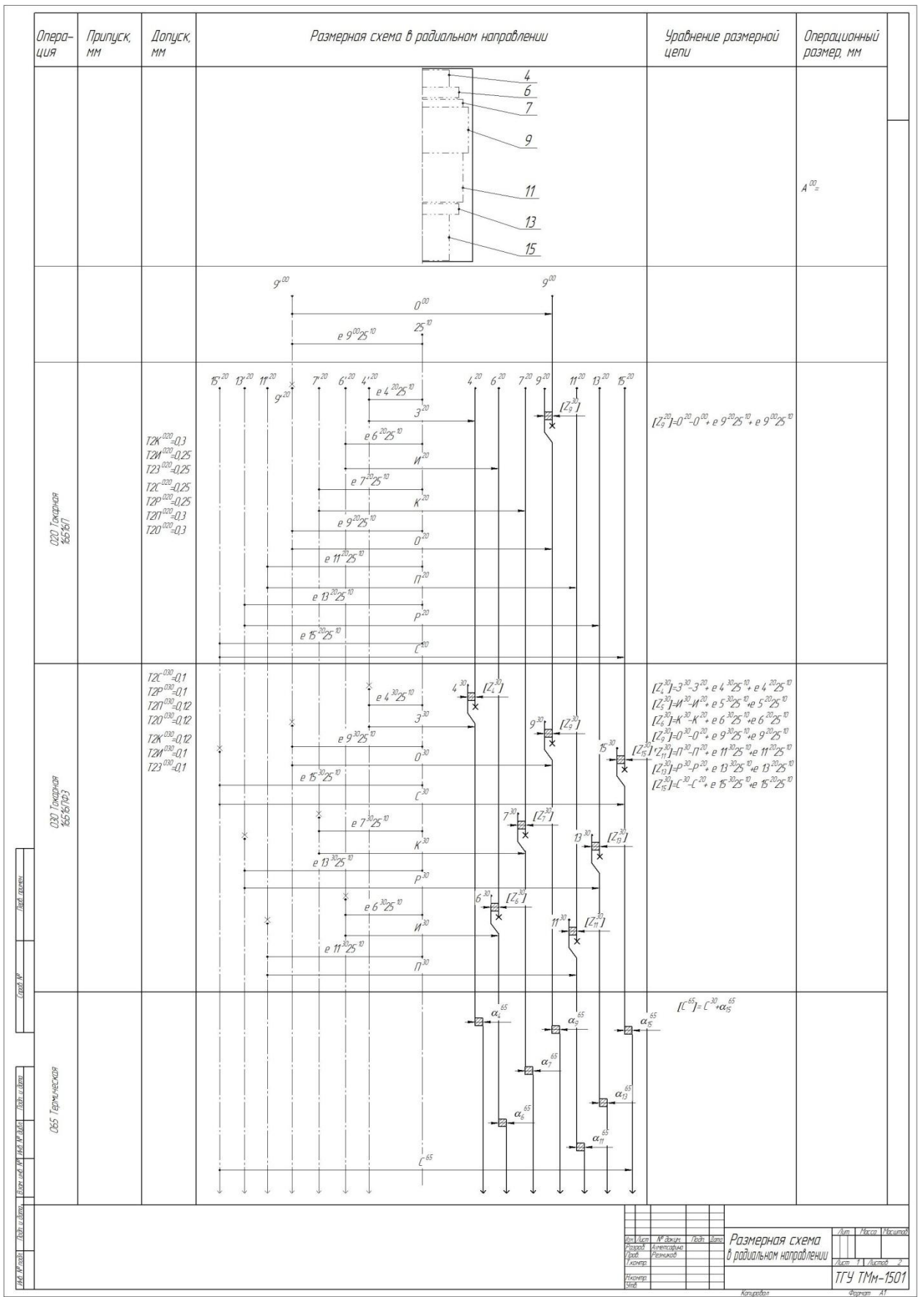


Рисунок 3.2 Размерная схема в радиальном направлении.

Опера- ция	Припуск, мм	Допуск, мм	Размерная схема в радиальном направлении	Уравнение размерной цепи	Операционный размер, мм
070 Гидроцилиндр		$12K^{070}_{-0,046}$ $12M^{070}_{-0,039}$ $12J^{070}_{-0,039}$ $12c^{070}_{-0,039}$ $12o^{070}_{-0,039}$ $12n^{070}_{-0,046}$ $120^{070}_{-0,046}$		$[Z_4^{70}] = 3^{70} - 3^{70} + e 4^{70} 25^{70} + e 4^{30} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_3^{70}] = M^{70} - M^{70} + e 6^{70} 25^{70} + e 6^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_0^{70}] = K^{70} - K^{70} + e 7^{70} 25^{70} + e 7^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_C^{70}] = 0^{70} - 0^{70} + e 9^{70} 25^{70} + e 9^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_K^{70}] = П^{70} - П^{70} + e 11^{70} 25^{70} + e 11^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_B^{70}] = P^{70} - P^{70} + e 5^{70} 25^{70} + e 5^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_P^{70}] = C^{70} - C^{70} + e 7^{70} 25^{70} + e 7^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_W^{70}] = W^{70} - W^{70} + e 6^{70} 25^{70} + e 6^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$ $[Z_П^{70}] = П^{70} - П^{70} + e 11^{70} 25^{70} + e 11^{70} 25^{70} /_{\pm 26,6^\circ}$	
080 Круглый вал		$12K^{080}_{-0,046}$ $12M^{080}_{-0,039}$ $12J^{080}_{-0,039}$ $12c^{080}_{-0,039}$ $12o^{080}_{-0,039}$ $12n^{080}_{-0,046}$ $120^{080}_{-0,046}$		$[Z_4^{80}] = 3^{80} - 3^{80} + e 4^{80} 25^{80} + e 4^{70} 25^{80}$ $[Z_3^{80}] = M^{80} - M^{80} + e 6^{80} 25^{80} + e 6^{70} 25^{80}$ $[Z_0^{80}] = K^{80} - K^{80} + e 7^{80} 25^{80} + e 7^{70} 25^{80}$ $[Z_C^{80}] = 0^{80} - 0^{80} + e 9^{80} 25^{80} + e 9^{70} 25^{80}$ $[Z_K^{80}] = П^{80} - П^{80} + e 11^{80} 25^{80} + e 11^{70} 25^{80}$ $[Z_B^{80}] = P^{80} - P^{80} + e 5^{80} 25^{80} + e 5^{70} 25^{80}$ $[Z_P^{80}] = C^{80} - C^{80} + e 7^{80} 25^{80} + e 7^{70} 25^{80}$ $[Z_W^{80}] = W^{80} - W^{80} + e 6^{80} 25^{80} + e 6^{70} 25^{80}$ $[Z_П^{80}] = П^{80} - П^{80} + e 11^{80} 25^{80} + e 11^{70} 25^{80}$	

Продолжение рисунка 3.2 Размерная схема в радиальном направлении.

3.4 Проверка выполнения требований по точности изготовления вала привода лебедки.

В продольном направлении:

Проводим поверку оп.020

$$[И^{20}] = +Д^{20} - А^{10} + Н^{20}$$

$$\omega[И^{20}] = 0,618+0,3+0,618=1,536$$

$$[П^{20}] = +Е^{20} - А^{10} + М^{20}$$

$$\omega[П^{20}] = 0,678+0,3+0,618=1,626$$

$$[С^{20}] = Ж^{20} - р^{20}$$

$$\omega[С^{20}] = 0,678+0,918=1,596$$

$$[О^{20}] = Л^{20} - М^{20}$$

$$\omega[О^{20}] = 0,508+0,618=1,126$$

$$[Р^{20}] = -А^{10} + М^{20}$$

$$\omega[Р^{20}] = 0,3+0,618=0,918$$

Проводим проверку оп.030

$$[Z_{10}^{30}] = Л^{20} - Л^{20}$$

$$\omega[Z_{10}^{30}] = 0,508+0,233=0,741$$

$$[Z_{12}^{30}] = М^{20} - М^{30}$$

$$\omega[Z_{12}^{30}] = 0,618+0,278=0,896$$

$$[Z_{14}^{30}] = H^{20} - H^{30}$$

$$\omega[Z_{14}^{30}] = 0,618 + 0,278 = 0,896$$

$$[Z_8^{30}] = -D^{20} + D^{30}$$

$$\omega[Z_8^{30}] = 0,618 + 0,278 = 0,896$$

$$[Z_7^{30}] = -E^{20} + E^{30}$$

$$\omega[Z_7^{30}] = 0,678 + 0,298 = 0,976$$

$$[Z_5^{30}] = -Ж^{20} + Ж^{30}$$

$$\omega[Z_5^{30}] = 0,678 + 0,298 = 0,976$$

$$[И^{30}] = +D^{30} - A^{10} + H^{30}$$

$$\omega[И^{30}] = 0,278 + 0,3 + 0,278 = 0,856$$

$$[\Pi^{30}] = +E^{30} - A^{10} + M^{30}$$

$$\omega[\Pi^{30}] = 0,278 + 0,3 + 0,278 = 0,856$$

$$[C^{30}] = Ж^{30} - p^{30}$$

$$\omega[C^{30}] = 0,298 + 0,578 = 0,876$$

$$[O^{30}] = L^{30} - M^{30}$$

$$\omega[O^{30}] = 0,233 + 0,278 = 0,511$$

$$[p^{30}] = -A^{10} + M^{30}$$

$$\omega[p^{30}] = 0,3 + 0,278 = 0,578$$

Проводим проверку оп.070

$$[Z_{10}^{70}] = \alpha + L^{30} + \alpha - L^{70}$$

$$\omega[Z_{10}^{70}] = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,133^2 + 0,005^2 + 0,005^2 + 0,12^2)} =$$

$$3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,0177 + 0,000025 + 0,000025 + 0,0144)} = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,03215)} = 0,179$$

$$[Z_{12}^{70}] = \alpha + M^{30} + \alpha - M^{70}$$

$$\omega[Z_{12}^{70}] = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,278^2 + 0,005^2 + 0,005^2 + 0,12^2)} =$$

$$3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,0772 + 0,000025 + 0,000025 + 0,0144)} = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,091734)} = 0,303$$

$$[Z_{14}^{70}] = \alpha + H^{30} + \alpha - H^{70}$$

$$\omega[Z_{14}^{70}] = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,278^2 + 0,005^2 + 0,005^2 + 0,137^2)} =$$

$$3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,0772 + 0,000025 + 0,000025 + 0,0187)} = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,09595)} = 0,309$$

$$[Z_8^{70}] = -\alpha - E^{30} - \alpha + E^{70}$$

$$\omega[Z_8^{70}] = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,278^2 + 0,005^2 + 0,005^2 + 0,137^2)} = 0,309$$

$$[Z_5^{70}] = -\alpha - \mathcal{K}^{30} - \alpha + \mathcal{K}^{70}$$

$$\omega[Z_5^{70}] = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,298^2 + 0,005^2 + 0,005^2 + 0,145^2)} =$$

$$3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,0772 + 0,000025 + 0,000025 + 0,0210)} = 3 \sqrt{\frac{1}{9}(0,09825)} = 0,313$$

$$[H^{70}] = +D^{70} - \alpha - A^{10} - \alpha + H^{70}$$

$$\omega[I^{70}] = 3 \frac{1}{9} (0,137^2 + 0,005^2 + 0,3^2 + 0,005^2 + 0,137^2 =$$

$$3 \frac{1}{9} (0,01876 + 0,000025 + 0,000025 + 0,09 + 0,01876 =$$

$$3 \frac{1}{9} (0,12757) = 0,357$$

$$[\Pi^{70}] = +E^{70-\alpha} - A^{10-\alpha} + M^{70}$$

$$\omega[\Pi^{70}] = 3 \frac{1}{9} (0,145^2 + 0,005^2 + 0,3^2 + 0,005^2 + 0,12^2 =$$

$$3 \frac{1}{9} (0,021025 + 0,000025 + 0,000025 + 0,09 + 0,0144 = 3 \frac{1}{9} (0,035475) =$$

$$= 0,326$$

$$[C^{70}] = \mathcal{K}^{70} - p^{30}$$

$$\omega[C^{70}] = 0,145 + 0,226 = 0,371$$

$$[O^{70}] = \mathcal{L}^{70} - M^{70}$$

$$\omega[O^{70}] = 0,12 + 0,12 = 0,24$$

$$[p^{70}] = -\alpha - A^{10-\alpha} + M^{70}$$

$$\omega[p^{70}] = 3 \frac{1}{9} (0,005^2 + 0,3^2 + 0,005^2 + 0,12^2 =$$

$$3 \frac{1}{9} (0,000025 + 0,000025 + 0,09 + 0,144 =$$

$$3 \frac{1}{9} (0,23405) = 0,484$$

Проводим проверку оп.080

$$[Z_{10}^{80}] = L^{70} - L^{80}$$

$$\omega[Z_{10}^{80}] = 0,12 + 0,12 = 0,24$$

$$[Z_{12}^{80}] = M^{70} - M^{80}$$

$$\omega[Z_{12}^{80}] = 0,12 + 0,12 = 0,24$$

$$[Z_{14}^{80}] = H^{70} - H^{80}$$

$$\omega[Z_{14}^{80}] = 0,137 + 0,137 = 0,274$$

$$[Z_8^{80}] = -D^{70} + D^{80}$$

$$\omega[Z_8^{80}] = 0,137 + 0,137 = 0,274$$

$$[Z_7^{80}] = -E^{70} + E^{80}$$

$$\omega[Z_7^{80}] = 0,145 + 0,145 = 0,290$$

$$[Z_5^{80}] = -Ж^{70} + Ж^{80}$$

$$\omega[Z_5^{80}] = 0,145 + 0,145 = 0,290$$

$$[И] = +D^{80} - \alpha - A^{10} - \alpha + H^{70}$$

$$\omega[И] = 3 \frac{1}{9} (0,137^2 + 0,005^2 + 0,3^2 + 0,005^2 =$$

$$3 \frac{1}{9} (0,000025 + 0,000025 + 0,09 + 0,018769 = 0,329$$

$$[II] = +E^{80} - \alpha - A^{10} - \alpha + H^{80}$$

$$\omega[\Pi]=3 \frac{1}{9} (0,145^2 + 0,005^2 + 0,3^2 + 0,005^2 + 0,137^2=$$

$$3 \frac{1}{9} (0,021025 + 0,00005 + 0,09 + 0,018769=0,360$$

$$[C] = Ж^{80} - p^{80}$$

$$\omega [C]=0,145+0,230=0,375$$

$$[O] = Л^{80} - М^{80}$$

$$\omega [O]=0,12+0,137=0,257$$

$$[p] = -\alpha - A^{10} - \alpha + M^{80}$$

$$\omega [p]=3 \frac{1}{9} (0,005^2 + 0,005^2 + 0,3^2 + 0,005^2 + 0,137^2=0,230$$

В ходе проверки условия точности выполняются либо ими можно пренебречь, так как эти размеры не играют большой роли в исполнении деталью своего назначения.

3.5 Расчет припусков

С припуском изготавливаются абсолютно все заготовки, которые в дальнейшем будут обрабатываться. Для того чтобы получить окончательные размеры а также класс чистоты поверхностей нужен излишек материала, который удаляется в ходе получения качественной поверхности детали. Минимальный припуск берем из таблицы. Максимальный припуск ищем по формуле:

$$Z_{\max}^i = Z_{\min}^i + \omega[Z^i]$$

Средний припуск равен:

$$Z_{\text{cp}}^i = Z_{\min}^i + \frac{\omega[Z^i]}{2} = \frac{Z_{\max}^i + Z_{\min}^i}{2}$$

Таблица 1.3 Операционные припуски.

№ операции	№ поверх	Тип поверхности	Припуск на сторону			
			Z_{\min}	$\omega[Z]$	Z_{\max}	Z_{cp}
1	2	3	4	5	6	7
010	1	торец	2,1	1,200	1,221	
	2	торец	2,1	1,200	1,221	
030	3	торец	0,5	0,976	1,026	
	4	цилиндр	0,7			
	5	торец	0,5	0,976	1,026	
	6	цилиндр	0,7			
	7	цилиндр	0,7			
	8	торец	0,5	0,896	0,946	
	9	цилиндр	0,8			
	10	торец	0,5	0,741	0,791	

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7
	11	цилиндр	0,7			
	12	торец	0,5	0,896	0,946	
	13	цилиндр	0,7			
	14	торец	0,5	0,896	0,946	
	15	цилиндр	0,8			
070	3	торец	0,026	0,313	0,339	
	4	цилиндр	0,035			
	5	торец	0,020	0,313	0,333	
	6	цилиндр	0,035			
	7	цилиндр	0,035			
	8	торец	0,026	0,309	0,335	
	9	цилиндр	0,050			
	10	торец	0,020	0,313	0,199	
	11	цилиндр	0,035			
	12	торец	0,026	0,303	0,329	
	13	цилиндр	0,035			
	14	торец	0,026	0,309	0,335	
	15	цилиндр	0,050			

Продолжение таблицы 1.3

080	3	торец	0,014	0,290	0,304	0,159
	4	цилиндр	0,016			
	5	торец	0,012	0,290	0,302	0,157
	6	цилиндр	0,016			
	7	цилиндр	0,016			
	8	торец	0,014	0,274	0,288	0,151
	9	цилиндр	0,022			
	10	торец	0,014	0,240	0,254	0,134
	11	цилиндр	0,016			
	12	торец	0,014	0,240	0,254	0,134
	13	цилиндр	0,016			
	14	торец	0,014	0,274	0,288	0,151
	15	цилиндр	0,022			

3.6 Расчет операционных размеров.

Таблица 1.4

№ операц ии	Операц размер	Уравнение замыкающего звена и расчет операционного размера по чертежу детали	Операционный размер
1	2	3	4
020	L^{20}	$L^{20} = L^{30} + Z_{10}^{30}$ $L^{20} = 376,543 + 0,74$ $= 377,284(\pm 0,254)$	L^{20} $= 377,284(\pm 0,254)$
	M^{20}	$M^{20} = M^{30} + Z_{12}^{30}$ $M^{20} = 344,533 + 0,896$ $= 345,429(\pm 0,309)$	M^{20} $= 345,429(\pm 0,309)$

Продолжение таблицы 1. 4

	H^{20}	$H^{20} = H^{30} + Z_{14}^{30}$ $H^{20} = 184,573 + 0,896$ $= 185,469(\pm 0,309)$	H^{20} $= 185,469(\pm 0,309)$
	D^{20}	$D^{20} = D^{30} + Z_8^{30}$ $D^{20} = 400,573 + 0,896$ $= 401,469(\pm 0,309)$	D^{20} $= 401,469(\pm 0,309)$
	E^{20}	$E^{20} = E^{30} + Z_5^{30}$ $E^{20} = 420,593 + 0,976$ $= 421,569(\pm 0,339)$	$E^{20} = 421,569(\pm 0,339)$
	$Ж^{20}$	$Ж^{20} = Ж^{30} + Z_3^{30}$ $Ж^{20} = 452,593 + 0,976$ $= 453,569(\pm 0,339)$	$Ж^{20}$ $= 453,569(\pm 0,339)$
1	2	3	4
030	L^{30}	$L^{30} = L^{70} + z - \alpha - \alpha$ $= 376,24 + 0,313$ $- 0,005 - 0,005$ $= 376,543(\pm 0,117)$	L^{30} $= 376,543(\pm 0,117)$

Продолжение таблицы 1.4

	M^{30}	$M^{30} = M^{70} + z - \alpha - \alpha$ $= 344,24 + 0,303$ $- 0,005 - 0,005$ $= 344,533(\pm 0,139)$	M^{30} $= 344,533(\pm 0,139)$
	H^{30}	$H^{30} = H^{70} + z - \alpha - \alpha$ $= 184,274 + 0,309$ $- 0,005 - 0,005$ $= 184,573(\pm 0,139)$	H^{30} $= 184,573(\pm 0,139)$
	D^{30}	$D^{30} = D^{70} + Z_8^{70} - \alpha - \alpha$ $= 400,274 + 0,309$ $- 0,005 - 0,005$ $= 400,573(\pm 0,139)$	D^{30} $= 400,573(\pm 0,139)$
	E^{30}	$E^{30} = E^{70} + Z_5^{70} - \alpha - \alpha$ $= 420,29 + 0,313$ $- 0,005 - 0,005$ $= 420,593(\pm 0,149)$	$E^{30} = 420,593(\pm 0,149)$
	J^{30}	$J^{30} = J^{70} + Z_3^{70} - \alpha - \alpha$ $= 452,29 + 0,313$ $- 0,005 - 0,005$ $= 452,593(\pm 0,149)$	J^{30} $= 452,593(\pm 0,149)$
1	2	3	4

Продолжение таблицы 1.4

070	L^{70}	$L^{70} = L^{80} + [z_{10}^{80}] = 376 + 0,24$ $= 376,24(\pm 0,06)$	$L^{70} = 376,24(\pm 0,06)$
	M^{70}	$M^{70} = M^{80} + [z_{12}^{80}] = 344 + 0,24$ $= 344,24(\pm 0,07)$	$M^{70} = 344,24(\pm 0,07)$
	D^{70}	$D^{70} = D^{80} + [z_8^{80}] = 400 + 0,274$ $= 400,274(\pm 0,07)$	$D^{70} = 400,274(\pm 0,07)$
	$Ж^{70}$	$Ж^{70} = Ж^{80} + [z_3^{80}] = 452 + 0,29$ $= 452,29(\pm 0,07)$	$Ж^{70} = 452,29(\pm 0,07)$
	E^{70}	$E^{70} = E^{80} + [z_5^{80}] = 420 + 0,29$ $= 420,29(\pm 0,07)$	$E^{70} = 420,29(\pm 0,07)$
1	2	3	4

Заключение.

В магистерской диссертации мы рассмотрели размерный анализ технологического процесса и пути его усовершенствования. И пришли к выводу, что наиболее удобным для данной детали является метод Фридлендера. Хотя его и разработали довольно давно, но мы пришли к выводу, что он действительно является лучшим. Особенно для размерного анализа вала, технологический процесс которого мы рассматривали.

Новизна данной работы состоит в том, чтобы сделать размерный анализ с помощью компьютерного моделирования, что мы и сделали, но пришли к выводу, что простым в этом случае для данной детали этот метод не является.

Прогресс охватывает мир, но далеко не всегда новые методы являются более простыми. Несомненно, компьютерное моделирование приносит огромное количество плюсов, но не всегда этот метод является более выгодным.

Таким образом, наиболее простым и удачным способом был усовершенствован технологический процесс, разработанный мной в бакалаврской работе наилучшим способом. Но не при помощи компьютерной программы, как это было задумано мной в начале работы, а с помощью метода Фридлендера. Мы пришли к выводу, что анализ размерностей с помощью программы не оправдывает затраченного времени на создание самой программы.

Обеспечено проектирование оптимального технологического процесса с минимальным числом операций.

Установлены научно обоснованные операционные размеры и технологические требования, что позволит спроектировать такой

технологический процесс, при использовании которого потребуются минимальные его корректировки.

Установлены необходимые припуски на обработку, потребные размеры исходной заготовки, повышен коэффициент рационального использования материала заготовки.

В итоге мы получили более совершенный технологический процесс, который позволит минимизировать издержки производства и повысить качество деталей.

Список используемой литературы

1. Филонов, И.П. Инновации в технологии машиностроения: Учебное пособие / И.П. Филонов, И.Л. Баршай. - Минск: Высшая школа, 2009. - 110 с.
2. Папенова, К.В. Основы технологии машиностроения (для бакалавров) / К.В. Папенова. - М.: КноРус, 2013. - 288 с.
3. Безъязычный, В. Основы технологии машиностроения: Учебник / В. Безъязычный. - М.: Машиностроение, 2013. - 568 с.
4. Бурцев, В.М. Технология машиностроения. В 2-х т.Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Бурцев. - М.: МГТУ им. Баумана, 2011. - 478 с.
5. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. - М.: Альянс, 2015. - 256 с.
6. Горохов, В.А. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов. В 2-х т. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: Учебник / В.А. Горохов. - Ст. Оскол: ТНТ, 2012. - 1072 с.
7. Иванов, А.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Иванов, П.А. Давыденко, Н.П. Шамов. - М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2012. - 280 с.
8. Кулыгин, В.Л. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие для студентов вузов / В.Л. Кулыгин, И.А. Кулыгина. - М.: БАСТЕТ, 2011. - 168 с.
9. Некрасов, С.С. Практикум и курсовое проектирование по технологии сельскохоз. машиностроения / С.С. Некрасов. - М.: Мир, 2004. - 240 с.
10. Никифоров, А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. / А.Д. Никифоров. - М.: Высшая школа, 2006. - 392 с.

11. Михайлов, А. В , Расторгуев Д.А Основы проектирования технологических процессов механосборочного производства/А. В Михайлов, Д.А Расторгуев. – Тольятти : ТГУ, 2003.-160 с.
12. Боровков, В. М. Методические указания по дисциплине «Проектирование заготовок»/ В. М Боровков. - Тольятти: ТГУ, 2002.-34 с.
13. Горбачевич. А. Ф, Шкред В. А Курсовое проектирование по технологии машиностроения. –Мн. Высш. Школа, 1983.-256 с.
14. Круглов Г.А. Специальные технологические процессы: Учебн. пособ. - М.: МГТУ «Станкин», 1997. - 188 с.
15. Технологические процессы машиностроительного производства. Альбом в 3-х ч. – М: МГТУ «Станкин», 1993.-121 с.
16. Фридлиндер И.Г. Размерный анализ технологический процессов обработки.- Машиностроение, 1987.- 159 с.
- 17.Сергеев А.В. Проектирование рациональных технологических процессов с применением размерного анализа. –Тольятти 2008.
- 18.Михайлов. А.В – Методические указания «определение операционных размеров механической обработки в условиях серийного производства» - Тольятти, 1992.
19. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 2005. -736 с.
20. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. - М.: Машиностроение, 1975. -222 с.
- 21.Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. - М.: Высшая школа, 1999. - 591 с.
22. Матвеев В.В Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. - М.: Машиностроение, 1982. - 264

23. Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. - М.: Машиностроение, 2004. -400 с.
24. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для вузов/ Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. - М.: Машиностроение, 1986. -352 с.
25. Twist Drills. Their Uses And Abuses <http://chestofbooks.com/crafts/popular-mechanics/Amateur-Work-4/Twist-Drills-Their-Uses-And-Abuses.html#.VnVVU7aLQtt>
26. Sharpening Drills (by Colin Binnie)
http://home.iae.nl/users/summer/16mmngm/Articles_https/ColinBinnie/DrillSharpening.htm
27. Sharpening Twist drills
<http://www.smithy.com/machining-handbook/chapter-6/page/4>
28. Milling and Drilling Tough Materials (11822 знака с пробелами)
http://www.secotools.com/CorpWeb/india/pdf/52_Seco_Aerospace%20Machining.pdf
29. Mill/Drill Error Sources
<http://rick.sparber.org/Articles/mde/mde.pdf>
30. Drills & Drilling Operations
<http://www.metalartspress.com/books/chapters/chapter-5-drills-drilling-operations>