

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Факультет механико-технологический
Кафедра технологии автоматизированного машиностроения

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,

_____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор

В.И. Гузеев

_____ 2018 г.

Совершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра резьбы
детали при измерении ее на КИМ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–15.04.05.2018.583.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы,

профессор, д.т.н.,

И.А. Щуров

_____ 2018г.

Автор работы

студент группы П-261

К.А. Смоляной

_____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент, к.т.н.

И.В. Шмидт

_____ 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Смоляной К. А. Выпускная квалификационная работа по теме «Совершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра резьбы детали при измерении ее на КИМ». – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ; 2018, 64 с. 50 ил., библиогр. список – 17. наим., 1 прил.

Выпускная квалификационная работа выполнена с целью снижения себестоимости операции контроля резьб, путем повышения его универсальности, на основе замены резьбовых калибров измерениями на КИМ.

При выполнении выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- 1) анализ существующих методов определения точности резьбовых поверхностей;
- 2) совершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра;
- 3) верификация методик расчета путем компьютерного моделирования.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Смоляной К.А			<i>Совершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра резьбы детали при измерении ее на КИМ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		Щуров И.А				<i>ВКР</i>	5	64
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра «ТАМ»</i>		
<i>Н.контр.</i>		Шмидт И.В						
<i>Утв.</i>		Гузеев В.И						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА РЕЗЬБЫ ДЕТАЛИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЕЕ НА КИМ.....	8
1.1 Проблемы измерения параметров резьбы на действующем производстве ..	8
1.2 Существующие методы определения точности резьбы на КИМ.....	19
1.3 Цель и задачи ВКР, направленность работы, объект и предмет исследований	26
2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА.....	27
2.1 Совершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра резьбы	27
2.2 Разработка алгоритма расчета	30
2.3 Расчеты в электронной таблице для определения угла поворота резьбовой поверхности	31
3 ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	38
3.1 Методика проведения компьютерного расчета	38
3.2 Определение рациональных величин длины базовых участков резьбы	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А	57

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

ВВЕДЕНИЕ

Резьбовые поверхности широко используются для сборки различных компонентов. Точность резьбовых поверхностей может определяться таким комплексным показателем как приведенный средний диаметр резьбы (ПСДР). Измерение такого параметра часто осуществляется с помощью калибров. Для измерения распространенных стандартных резьбовых поверхностей специализированные компании производят комплекты калибров с использованием ГОСТ 24997-2004 [13]. Однако для измерения специальных резьбовых поверхностей, например, с высокой длиной свинчиваемости, необходимо изготавливать либо приобретать специальные калибры. Очевидно, что данный случай приводит к увеличению издержек производства. При единичном и мелкосерийном производстве, такие заказы значительно увеличивают его общие затраты.

При имеющемся на производстве координатно-измерительной машины возможно проконтролировать резьбовую поверхность. Однако приведенный средний диаметр резьбы в настоящее время на координатно-измерительных машинах не контролируют.

Необходима методика, при помощи которой возможно проконтролировать любую резьбовую поверхность на координатно-измерительной машине, а именно при помощи приведенного среднего диаметра. По данному вопросу есть некоторые наработки у Щурова И.А. [4], но результаты не достаточно точны, так как данная методика заранее предполагает известное положение оси резьбовой поверхности, что не всегда встречается в производственной практике. Данный недостаток существенно ограничивает возможность применения координатно-измерительной машины для оценки точности резьбовой поверхности.

Таким образом актуальна задача повышения точности резьбовых поверхностей путем расчета приведенного среднего диаметра на основе облака точек, полученных с координатно-измерительной машины.

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА РЕЗЬБЫ ДЕТАЛИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЕЕ НА КИМ

1.1 Проблемы измерения параметров резьбы на действующем производстве

Резьба – это один или несколько равномерно расположенных выступов резьбы постоянного сечения, образованных на боковой поверхности прямого кругового цилиндра или прямого кругового конуса [1].

Поле допуска резьбы образуется сочетанием поля допуска среднего диаметра с полем допуска диаметра выступов (диаметров d или $D1$) [8].

Допуски среднего диаметра резьбы являются суммарными.

Суммарный допуск среднего диаметра резьбы – допуск, ограничивающий отклонения как приведенного среднего диаметра, так и среднего диаметра резьбы.

Приведенный средний диаметр резьбы – средний диаметр воображаемой идеальной цилиндрической резьбы, которая имеет те же шаг и углы наклона боковых сторон, что и основной или номинальный профиль резьбы, и длину, равную заданной длине свинчивания, и которая плотно, без взаимного смещения или натяга, сопрягается с реальной резьбой по боковым сторонам резьбы [1]. Приведенный средний диаметр резьбы показан на рисунке 1.1.

Из этого следует, что измерив приведенный средний диаметр резьбы, можно судить о годности резьбовой поверхности.

В определении ГОСТ 11708-82 резьбы введено теоретическое понятие ось резьбы. Ось резьбы – это ось, относительно которой образована винтовая поверхность резьбы. Но для ее реального построения нет достаточных оснований, а это важно для получения точных значений при расчете приведенного среднего диаметра. Ось резьбы показана на рисунке 1.2.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

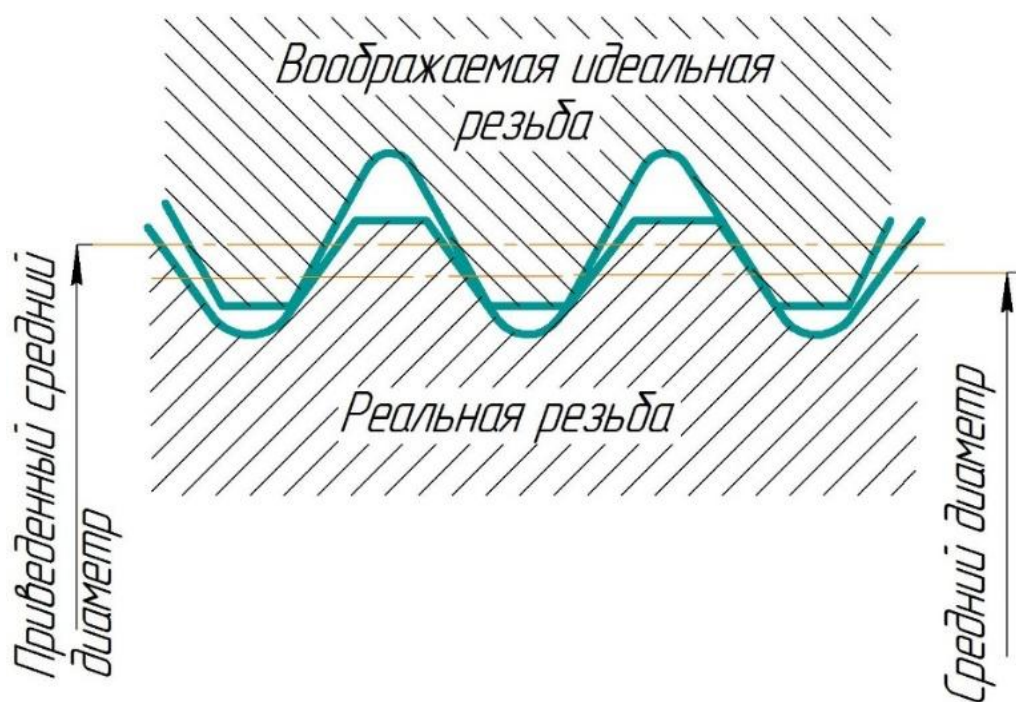


Рисунок 1.1 – Приведенный средний диаметр резьбы [1]

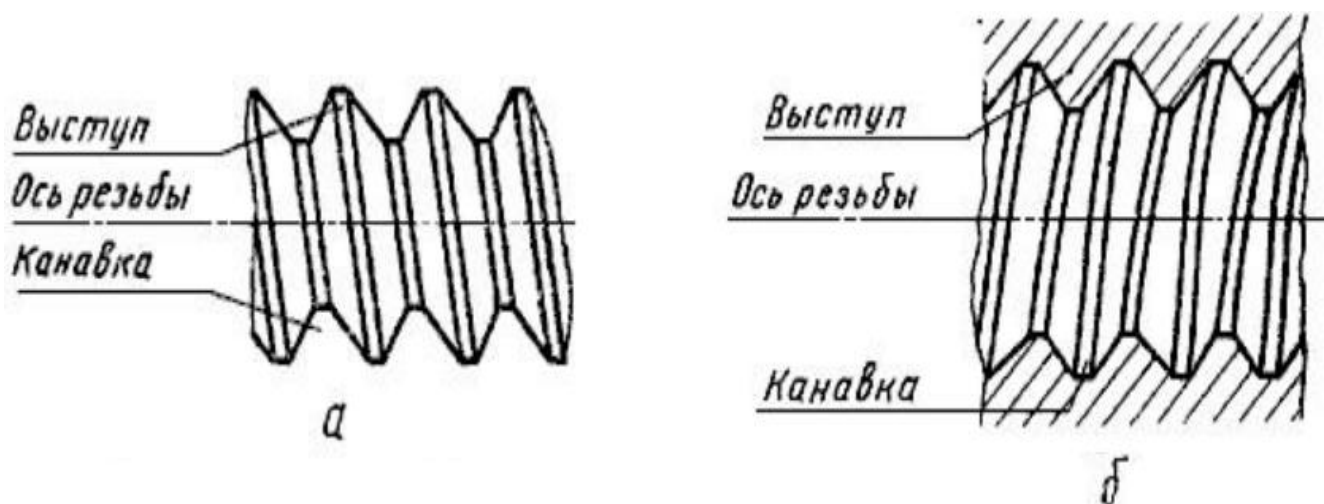


Рисунок 1.2 – Ось цилиндрической резьбы: а) наружной; б) внутренней [1]

Из этого следует, что ось фактической резьбы является идеальным понятием. Если бы каждая радиальная часть с идеальной формой имела центральную точку, множество таких точек создавало бы прямолинейную ось. Но и в этом случае эти части не расположены идеально друг относительно друга. Эта ось изогнута, то есть является ломаной линией. Таким образом, определение фактической оси резьбы не имеет смысла. Идеальная ось резьбы, которая

используется для определения фактической резьбы, может рассматриваться как термин для этого метода.

Контроль точности цилиндрических резьбовых поверхностей осуществляют комплексными и дифференциальными (т.е. поэлементными) методами. Допуск среднего диаметра, который является суммарным допуском, резьбовой поверхности, применяется комплексный метод. Метод основанный на одновременном контроле шага, наружного и внутреннего диаметров, половины угла профиля путем сравнения предельного контура с контуром резьбовой поверхности [12].

Это достигается при помощи предельных калибров, а для резьбовых поверхностей малых размеров – при помощи проекторов. Средний диаметр, половину угла профиля и шаг проверяют отдельно каждый, при дифференцированном методе контроля. Годность резьбовой поверхности при дифференцированном методе контроля определяют по приведенному среднему диаметру резьбы. Его подсчитывают по результатам измерений отдельных его составляющих [2].

Шаг резьбы измеряют с помощью универсальных или специальных средств. Из универсальных средств используют главным образом микроскопы, перекрестия которых последовательно наводят на правые и левые стороны профиля резьбы. Шаг измеряют по правым и по левым сторонам профиля и с обеих сторон, это необходимо для того чтобы, исключить погрешность от перекоса оси резьбы относительно линии измерения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Шаг измеряют в специальных измерительных машинах путем сравнения с образцовой деталью или со штриховой мерой.

Внутренний диаметр наружных резьбовых поверхностей измеряют с помощью микроскопов или контактных измерительных приборов с остроконечными вставками.

Средний диаметр наружной резьбы контролируют с помощью универсальных средств, например, микрометр МВМ, или с использованием

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

резьбовых вставок, ножей, проволочек, а для внутренней резьбы – еще и шариков или оттисков. При измерении среднего диаметра наружной резьбы с помощью микроскопа перекрестие окулярной сетки вначале наводят на верхний профиль резьбы, а затем на нижний. За результат измерений принимают полусумму результатов измерений среднего диаметра по правой и по левой сторонам профиля. Схема измерения наружного и внутреннего диаметров резьбы показана на рисунке 1.3

При этом в значительной мере уменьшается влияние погрешности шага. Однако теневое изображение профиля резьбы в этом случае из-за влияния угла подъема резьбы является искаженным, поэтому для контроля среднего диаметра часто используют приспособления с ножами, проволочками или вставками.

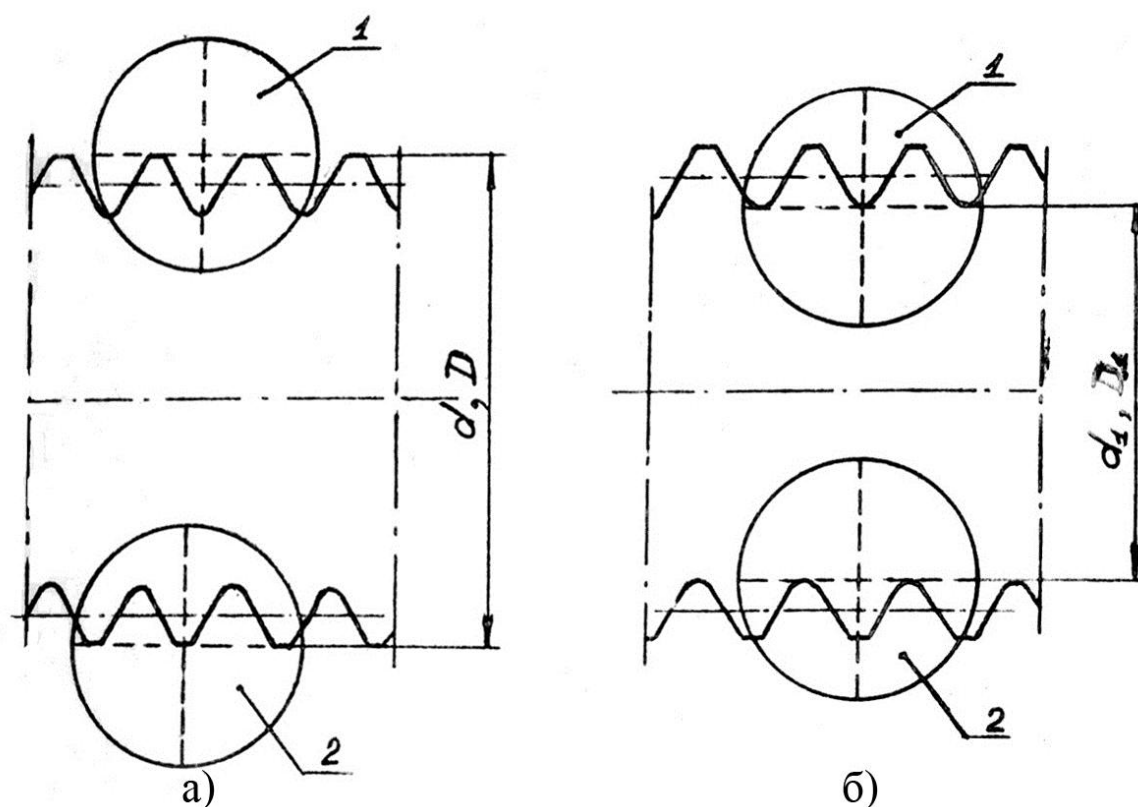


Рисунок 1.3 – Схема измерения наружного и внутреннего диаметров резьбы: а) начало отсчета; б) конец отсчета [12]

При использовании ножей их лезвия подводят с помощью специальных приспособлений и кареток к боковым сторонам выступов до плотного

соприкосновения (без просветов). Комбинированный шаблон для контроля метрической и дюймовых резьбовых поверхностей показан на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Комбинированный шаблон для контроля метрической и дюймовых резьбовых поверхностей [14]

Так как кромка лезвия ножа из-за подъема витка резьбы не видна, отсчет положения ножа проводят по рискам, нанесенным на поверхности ножа параллельно его лезвию. Для $d_2 = 100$ мм метод измерения на микроскопе обеспечивает погрешность 2,5–4,5 мкм.

Для малых образующих резьбовых поверхностей применяют метод трех, двух или одной проволоочки, закладываемых во впадины резьбы. Таким образом, контрольное средство позволяет измерить некоторый размер M , зависящий от среднего диаметра резьбы d_2 и диаметра d_{np} проволоочек.

Одним из наиболее распространенных и точных методов измерений среднего диаметра резьбы является метод трех проволоочек, являющийся косвенным методом измерений. Измерение среднего диаметра резьбы этим методом базируется на определении среднего диаметра резьбы как диаметра воображаемого цилиндра, поверхность которого пересекает витки резьбы, так что ширина витка в сечении, проходящем через ось резьбы, равна ширине впадины.

Метод заключается в следующем: во впадины резьбы закладываются три проволоочки равного диаметра $d_{пр}$ и при помощи какого-либо контактного средства измерения измеряется размер M показанный на рисунке 1.5.

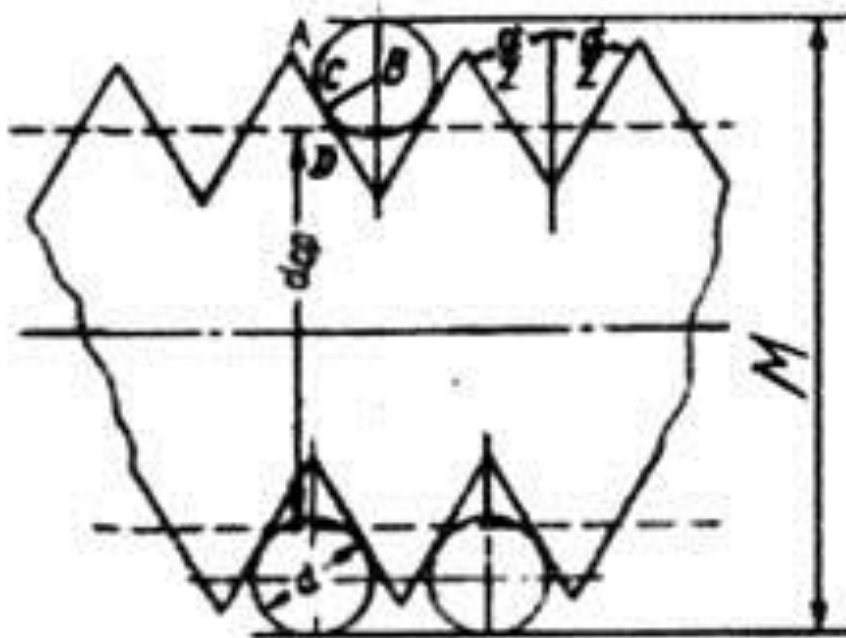


Рисунок 1.5 – Измерение среднего диаметра методом трех проволочек [12]

При изменении выбираемого диаметра $d_{пр}$ проволочки, положение её во впадине меняется и при этом в значительной мере сказываются погрешности угла профиля. Для уменьшения влияния этой погрешности выбирают проволочки наивыгоднейшего диаметра $d_{пр.н.}$, который обеспечивает их касание с впадиной резьбы по линии среднего диаметра d_2 . Тогда средний диаметр рассчитываем по формуле 1.1:

$$d_2 = M - \frac{d_{пр.н}(1 + \sin(\alpha/2))}{\sin(\alpha/2)} + \frac{P \cdot \operatorname{ctg}(\alpha/2)}{2} \quad (1.1)$$

Для метрической резьбы $\alpha = 60^\circ$, d_2 рассчитываем по формуле 1.2:

$$d_2 = M - 3d_{пр.н} + 0,866P, \quad (1.2)$$

где $d_{пр.н} = 0,5P / \cos(\alpha/2)$ – наивыгоднейший диаметр проволочек.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Для измерения размера M используют длинномеры, оптиметры, микрометры и т. п. При измерении на горизонтальном оптиметре обеспечивается погрешность измерения 1,5 – 2 мкм. Для повышения точности измерения учитывают погрешности диаметра проволочек, шага, угла профиля, угла подъема резьбы, деформации витков и др. При небольшом числе витков применяют метод двух проволочек.

Измерение среднего диаметра шариками или шариковыми наконечниками аналогично измерению проволочками. При этом используют горизонтальные и вертикальные оптиметры, индикаторы и т. п. Все параметры внутренней резьбы можно: измерять с помощью специального микроскопа ИЗК-59 (приспособление к УИМ). Также существуют автоматические средства контроля параметров резьбовых поверхностей [3].

По характеристикам точности горизонтальные длинномеры превосходят все средства измерений, применяемые в области резьбовых соединений. Измерение среднего диаметра резьбового калибра-пробки и резьбового калибра-кольца на горизонтальном длинномере продемонстрировано на рисунке 1.6.



а



б

Рисунок 1.6 – Измерение среднего диаметра на горизонтальном длинномере: а) резьбового калибра-пробки; б) резьбового калибра-кольца [15]

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Величина расширенной неопределенности измерений среднего диаметра, как правило, порядка 1 мкм. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений линейных размеров порядка $\pm(0,2-1,0)$ мкм. Длинномеры также позволяют производить измерения среднего диаметра резьбовых поверхностей в относительно широком диапазоне с сохранением высокой точности.

Рассмотрим подробнее измерительную машину, разработанной НМИ Швейцарии METAS. Машина предназначена для высокоточных измерений длины, диаметров измерительных пробок и колец, а также среднего диаметра резьбовых поверхностей. Общий вид машины приведен на рисунке 1.7 [15].



Рисунок 1.7 – Машина для измерений длины
SIP LMM5, METAS, Швейцария [15]

Данная машина относится к горизонтальным длиномерам, но конструктивно является координатной машиной. Особенность данной машины состоит в том, что на патроне установлен подвижный отражатель лазерного

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

интерферометра (рисунок 1.8). Принципиальная схема введения интерферометра в состав машины изображена на рисунке 1.9.



Рисунок 1.8 – Патрон машины SIP LMM5 с контактным измерительным щупом [15]

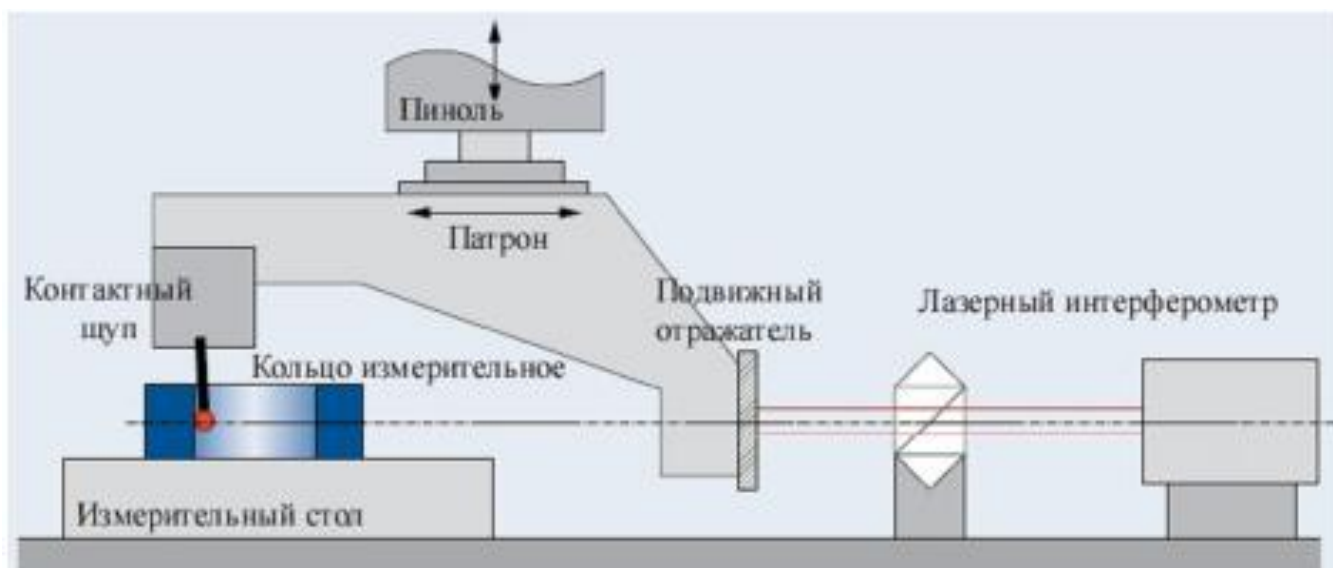


Рисунок 1.9 – Принципиальная схема использования лазерного интерферометра в машине SIP LMM5 [15]

Использование интерферометра в подобных системах измерения накладывает ограничения по условиям эксплуатации, однако, она достаточно распространена (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Горизонтальный длиномер Precimar ULM 800 L-E со встроенным лазерным интерферометром, фирма «Mahr GmbH» (Германия) [15]

В области геометрических измерений наибольшей точностью обладают системы, имеющие в составе лазеры и так или иначе основанные на принципах лазерной интерферометрии. Лазерное сканирование в настоящее время является вполне доступной и хорошо исследованной технологией. Однако, при работе с резьбовыми поверхностями точность лазерных систем снижается по тем же причинам, что и точность любых оптических измерителей, как это было сказано выше. В связи с этим, погрешность лазерных измерительных систем в области резьбовых соединений, как правило, имеет порядок $\pm(2-5)$ мкм [16], т.е. использование таких системы измерения не дает существенного преимущества по сравнению с контактными методами измерений.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Помимо длиномеров и координатно-измерительных машин, пример использования лазерных интерферометров – уникальная разработка английской лаборатории NPL – интерференционная система для измерения шага резьбовых калибров (рисунок 1.11).

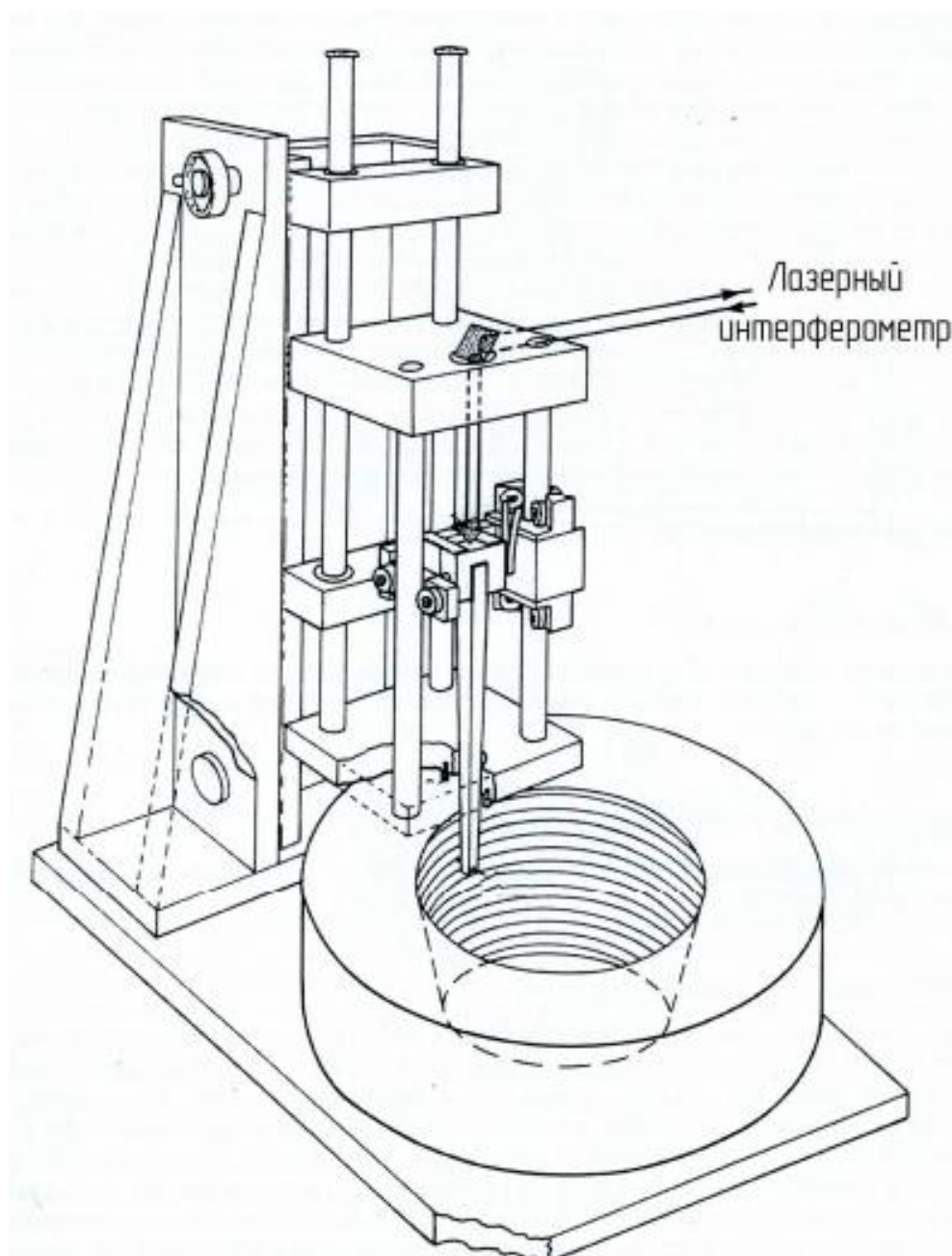


Рисунок 1.11 – Система для измерения шага резьбовых калибров (NPL, Великобритания) [15]

Основные показатели точности различных типов системы измерения отражены в сводной диаграмме на рисунке 1.12.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

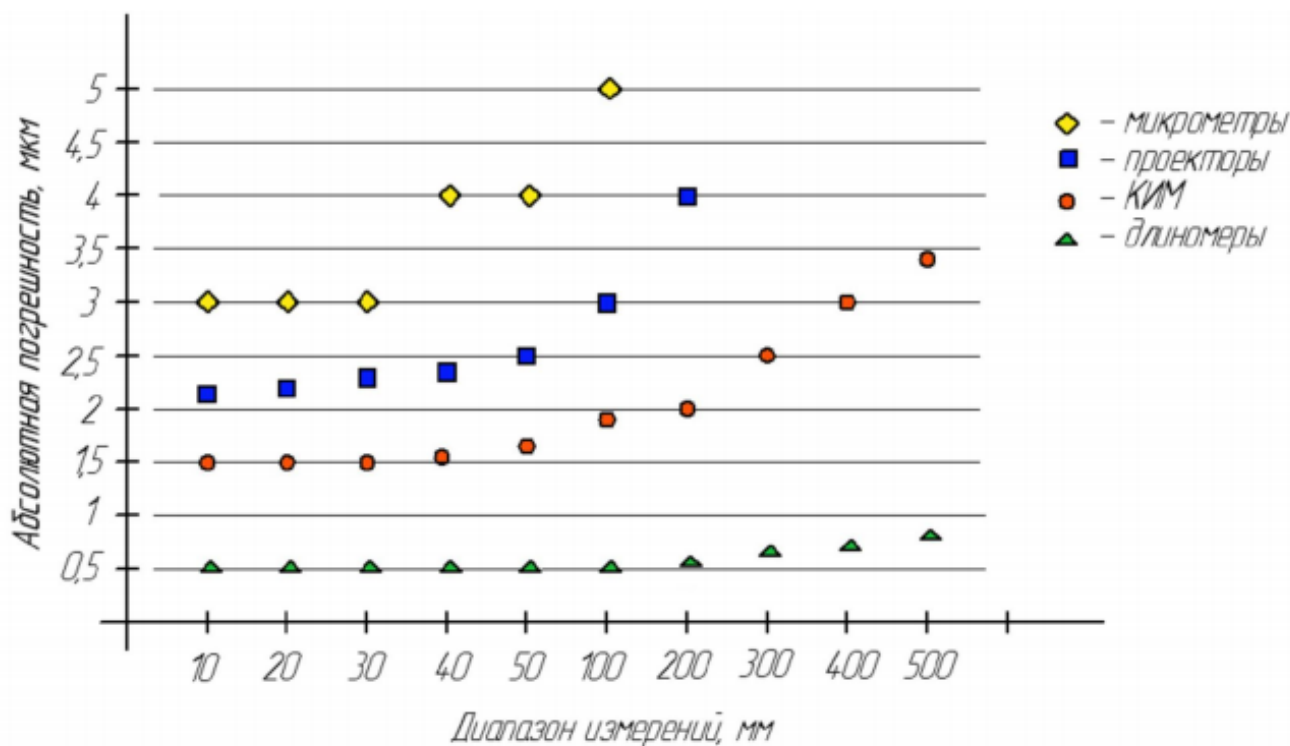


Рисунок 1.12 – Диаграмма наилучших показателей абсолютной погрешности измерений среднего диаметра резьбовых калибров для различных типов СИ [15]

1.2 Существующие методы определения точности резьбы на КИМ

Принятый метод измерения среднего диаметра «по 3-м проволочкам» не даёт точного значения диаметра цилиндра по скалярным показателям, геометрически не связанным друг с другом и не гарантирует скручивание при минимальных зазорах. Метод трех проволочек только показывает: в случайно выбранном месте есть такой размер. И даже если все полученные размеры уложились в допустимые, мы не получаем ответы: о свинчиваемости резьбы, соответствии зазоров в разных местах, т. к. мы не видим степень овальности, продольной кривизны, непостоянство шага и других погрешностей, влияющих на качество резьбы.

На рисунке 1.13 показана КИМ Moore 48M, используемая в НМИ Италии (INRIM) и США (NIST). На практике при измерениях резьбы на КИМ реализуется описанный выше метод трех проволочек. Отличие состоит в том, что в данном

случае вместо цилиндрических проволочек используются сферические наконечники контактного щупа КИМ. Конструктивно такой щуп представляет собой моноблок с несколькими наконечниками, расположенными перпендикулярно (рисунок 1.14).



Рисунок 1.13 – Общий вид КИМ Moog 48M

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

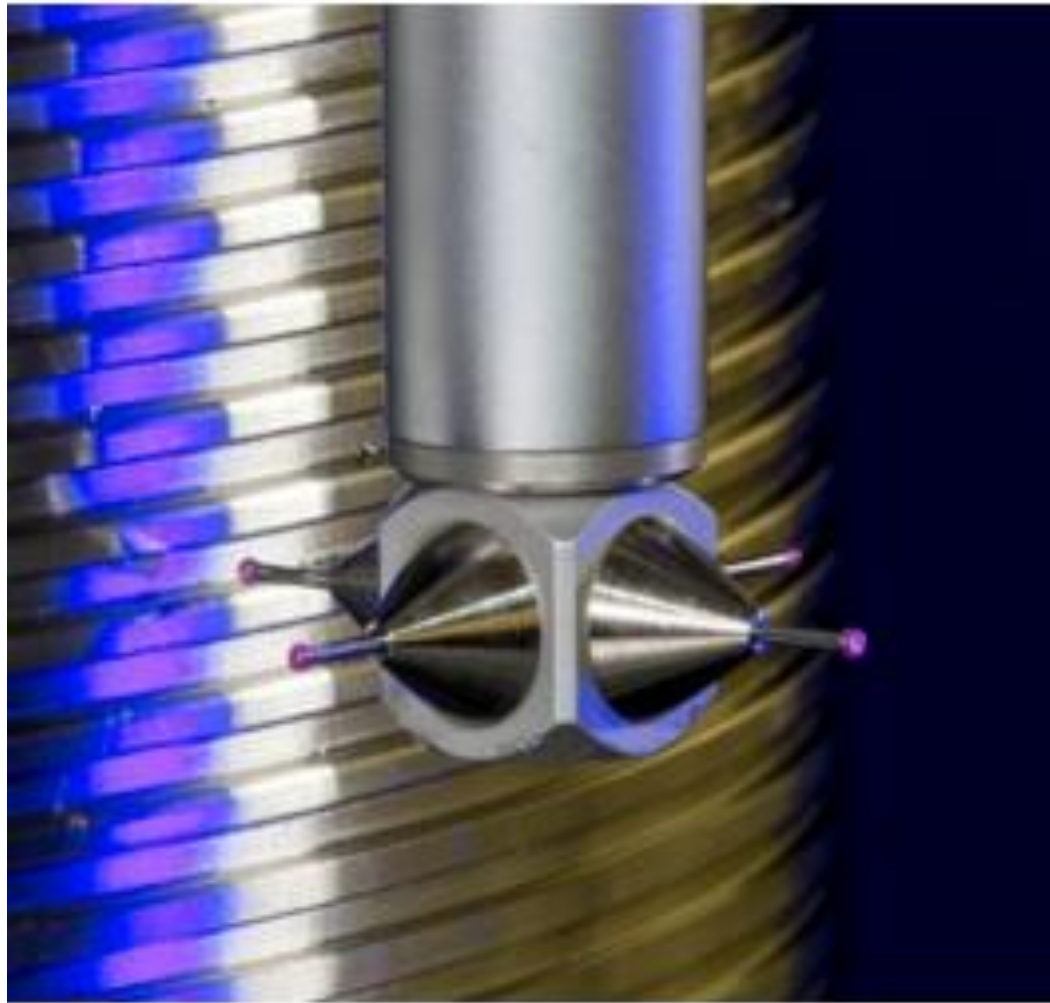


Рисунок 1.14 – Контактный щуп КИМ для измерений параметров резьбы

Проблемно и другое, определение среднего диаметра резьбового кольца (внутренней резьбы), на основе свинчивания с контркалибром – «контроль по шарикам» сложный и неprecизионный.

Если процесс свинчивания произошел с некоторым натягом, как бы беззастенчиво, мы приписываем средний диаметр пробки, кольцу. Но это значит, что вращаясь и продвигаясь, кольцо и пробка соприкасались всевозможными вариантами выступающих мест, следовательно, средний диаметр пробки заведомо меньше средний диаметр кольца. Но какие зазоры в разных сечениях неизвестно. Неучтённые параметры: непрямолинейность резьбы, разница шагов в разных местах, разница углов, овальность, конусообразность, шероховатость и др.,

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

увеличивают отличие среднего диаметра пробки, определённого по проволочкам, от среднего диаметра по определению ГОСТ и среднего диаметра кольца. Погрешность среднего диаметра, полученная таким образом, может стать неприемлемой.

Идеальная резьба получается, если заданный профиль по всему резьбовому изделию полностью заполнен материалом. То есть ось резьбы прямая, все шаги, углы и радиусы точны в реальном исполнении. Для получения таких резьб максимального качества нужна информация по всем элементам с полной взаимосвязью. Эта информация позволит корректировать технологию производства в нужных направлениях.

В крупносерийном и массовом производстве обычно применяют комплексный метод контроля резьбы, как самый производительный и экономичный.

Но для мелкосерийного и единичного производства экономически не выгодно приобретать дорогостоящие калибры, а тем более проектировать специальные калибры, при имеющейся на производстве координатно-измерительной машины.

В настоящее время с помощью координатно-измерительных машин контроль резьбы происходит дифференцированным методом т.е. поэлементным.

С появлением осевых координатно-измерительных машин (КИМ) производительность измерений и их качество заметно улучшились, стала возможной реализация поэлементного контроля внутренних резьбовых поверхностей по всем интересующим производителя параметров, указанным выше. Иными словами, технологи, базируясь на данных, полученных с помощью координатно-измерительных машин, получают возможность управлять точностью изготовления внутренних и наружных резьбовых поверхностей.

Например, российская компания ООО «Лапик» (Саратов) ведёт исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на решение задачи контроля параметров резьбовых поверхностей. К настоящему времени

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

разработаны программное обеспечение и инструмент для контроля наружных метрических резьб с шагом от 0,1 мм и внутренних метрических с диаметрами от М-3.

Предлагаемый метод ООО «Лапик» определения среднего диаметра состоит в следующем. Средний диаметр должен определяться по полной информации с реально контролируемой поверхностью резьбы (после налаженной технологии производства резьбы объём контроля резко сокращается до необходимого для поддержания технологии). В облако точек, снятых с реальной резьбы по всей длине с помощью координатно-измерительной машины, вписывается математическая модель. Определяя тип резьбы и проводя оптимизацию по каждому параметру, учитывается изделие в целом, т.е. как бы свинчиваем резьбу с идеальным калибром.

Для более простого понимания рассматривается пример стержня и отверстия. Если при замерах, выполненных по методу среднеквадратичного, их диаметры одинаковы, то вставить стержень в отверстие невозможно. Неидеальность того и другого даёт отклонения от цилиндричности на стержне в плюс, а в кольце в минус. В современных технологиях это решается так. Диаметр стержня определяется по расчёту минимально описанного цилиндра в облаке замеренных точек, а диаметр отверстия – по максимально вписанному. В этом случае стержень и отверстие могут скользить друг по другу с минимальными зазорами.

При моделировании поверхности используется понятие базовых, прилегающих и реальных поверхностей.

Также рассмотрим MasterScanner фирмы «IAC Geometrical Engineers» (Нидерланды) (далее – измеритель) [15].

Принцип действия основан на считывании с измерительных шкал информации о перемещении контактного щупа, поэтому данное средство измерений следует отнести именно к КИМ (рисунок 1.15)

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23



Рисунок 1.15 – Общий вид измерителя параметров резьбовых и гладких калибров MasterScanner [15]

В процессе измерений контактный Т-образный щуп сканирует профиль резьбового калибра в осевой плоскости (рисунок 1.16). Передает получаемое двухмерное изображение профиля в программное обеспечение для последующей обработки (рисунок 1.17).

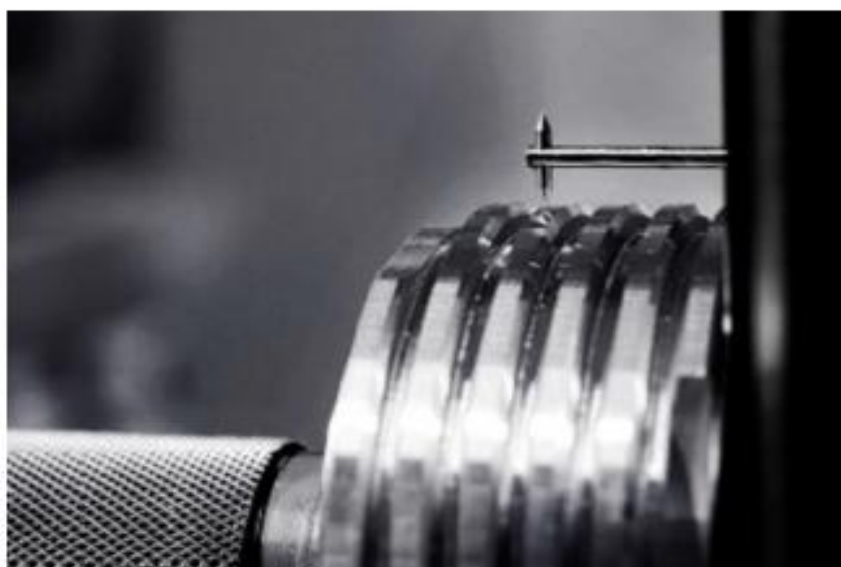


Рисунок 1.16 – Измерение геометрических параметров резьбового калибра-пробки с помощью измерителя MasterScanner [15]

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

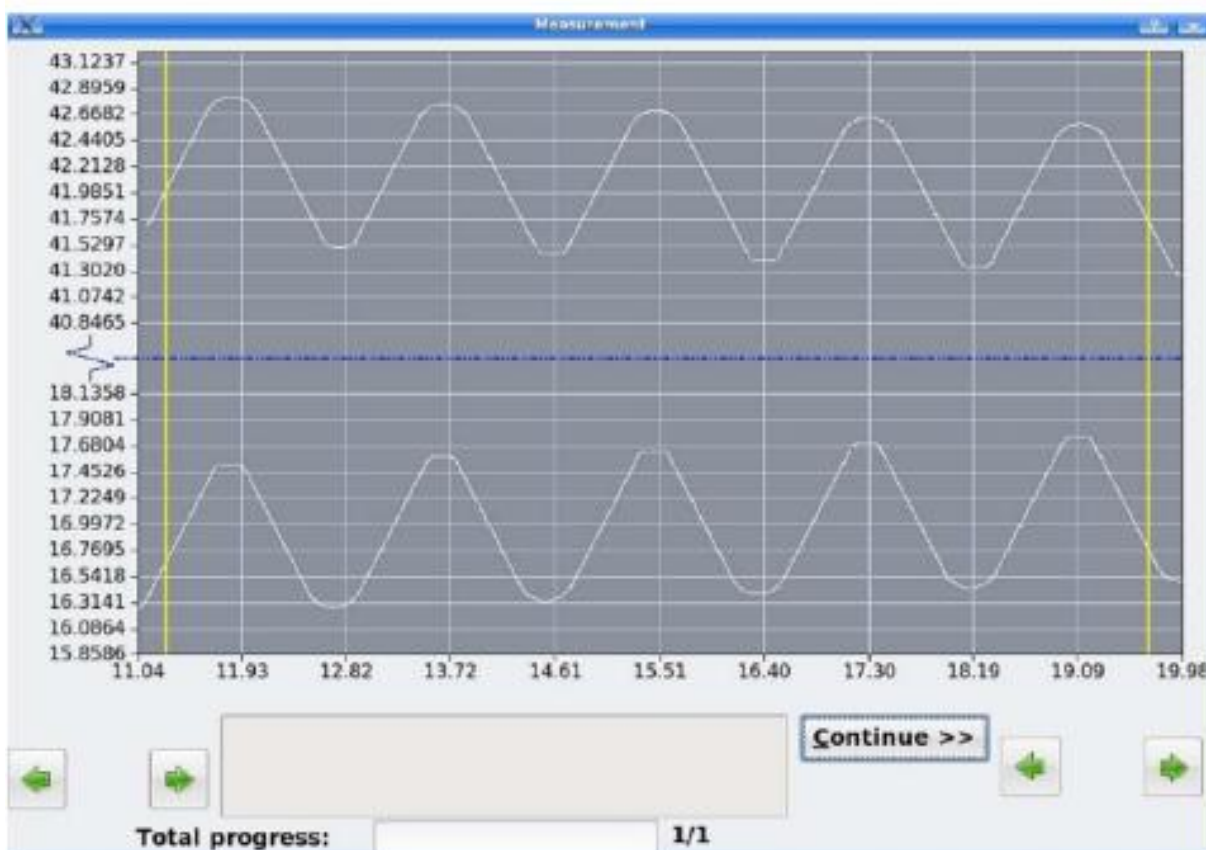


Рисунок 1.17 – Графическое отображение профиля резьбы в программном обеспечении измерителя MasterScanner [15]

В высокотехнологичных странах уже внедрены методы измерения резьбы, когда при плотно свинчивающихся пробке и кольце их средние диаметры совпадают, показатели отклонения от идеальной поверхности резьбы видны реально и разделены по параметрам. Это позволяет совершенствовать технологию производства резьбы до получения оптимальных величин, как по качеству, так и по себестоимости. В России пока делаются только первые шаги в этом направлении. В научных работах о резьбе все чаще встречается понятие приведённый средний диаметр резьбы, который должен учесть влияние различных факторов на определение среднего диаметра, свинчиваемости и надёжности резьбы. Таким образом, технология производства получает информацию для реального совершенствования.

Чрезмерные требования к технологии производства резьбы могут сделать её трудоёмкой. Но это не относится к процессу измерения. Чем лучше мы видим

результаты технологий, тем легче увидеть выигрышный способ получения нужной резьбы.

1.3 Цель и задачи ВКР, направленность работы, объект и предмет исследований

Направление: обеспечение универсальности измерения резьбовых поверхностей.

Объект: резьбовые поверхности.

Предмет исследования: приведенный средний диаметр резьбы.

Цель: снижение себестоимости операции контроля резьб, путем повышения универсальности, на основе замены резьбовых калибров измерениями на КИМ.

Задачи:

- 1) анализ существующих методов определения точности резьбовых поверхностей;
- 2) совершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра;
- 3) верификация методики расчета путем компьютерного моделирования.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА

2.1 Совершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра резьбы

В соответствии с пунктом 1.1 в качестве основных данных для расчета используется облако точек, снимаемое при контроле поверхности резьбы с помощью координатно-измерительной машины, рисунок 2.1.

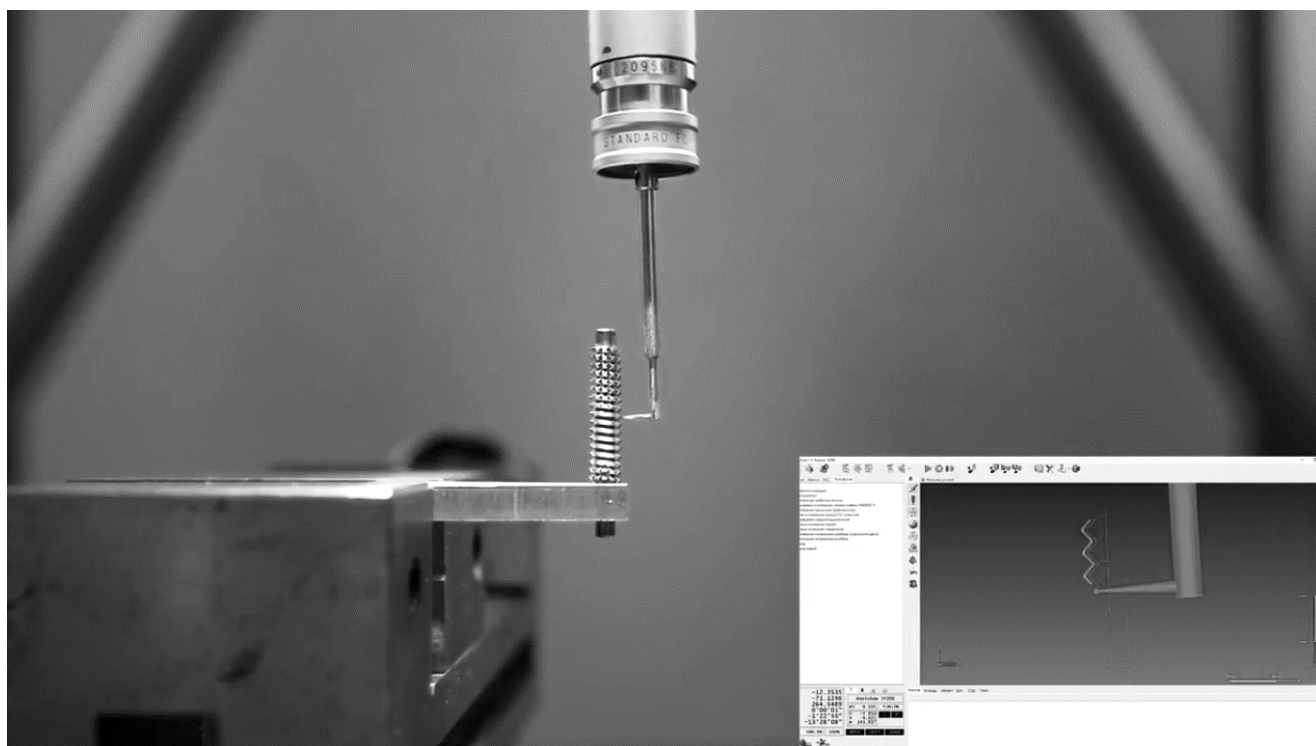


Рисунок 2.1 – Снятие координат точек на КИМ [11]

Координаты облака точек должны быть получены на поверхности резьбы по всей ее длине или длине зацепления. Координаты точек первоначально определены в системе координат КИМ. В этой системе определяется множество $CS_1 (X_1, Y_1, Z_1)$. Ось резьбы определим как ось Z системы координат КИМ, рисунок 2.2.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

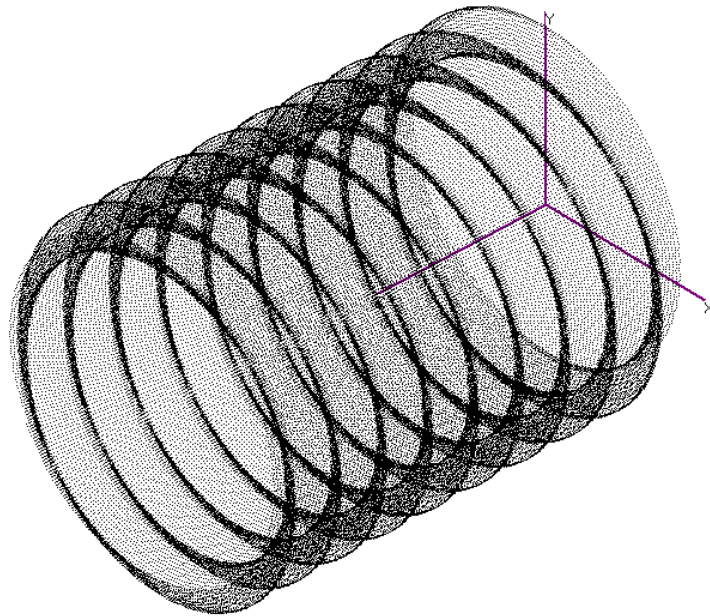


Рисунок 2.2 – Система координат резьбовой поверхности

Соответственно, на этих участках можно определить два множества точек. Выберем два участка. На расстоянии L от ее левого и правого торца. Расстояние на которых расположены данные наборы точек, обозначим как длину базового участка резьбы.

Обозначим координаты базовых точек для данных наборов S_1 и S_2 . Для левого участка базовая точка T_1 с координатами (x_{11}, y_{11}, z_{11}) , для правого участка, $T_2 (x_{12}, y_{12}, z_{12})$, где первый индекс в координатах указывает номер системы координат, а второй это номер точки. Эти базовые две точки, показанные на рисунке 2.3, определяют начальное положение искомой оси в системе координатно-измерительной машины. Координаты этих точек могут быть рассчитаны по формулам 2.1:

$$\begin{aligned}
 x_{11} &= \frac{\sum_{i=1}^L x_1^{(i)}}{L}, & y_{11} &= \frac{\sum_{i=1}^L y_1^{(i)}}{L}, & z_{11} &= \frac{\sum_{i=1}^L z_1^{(i)}}{L}; \\
 x_{12} &= \frac{\sum_{i=N}^R x_1^{(i)}}{R}, & y_{12} &= \frac{\sum_{i=N}^R y_1^{(i)}}{R}, & z_{12} &= \frac{\sum_{i=N}^R z_1^{(i)}}{R},
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

где L и $(R - N)$ – это количества точек в наборах S_1 и S_2 , соответственно;

$x_1^{(i)}, y_1^{(i)}, z_1^{(i)}$ – координаты точек этих наборов.

На следующем этапе определяются координаты точек множества S_1 в системе координат с новой осью Z . Эта ось, проходящая через, две вышеуказанные базовые точки. Для этого по формуле (2.2) необходимо определить углы θ и ψ для матриц поворота:

$$\operatorname{tg}(\theta) = (x_{12} - x_{11}) / (z_{12} - z_{11}), \operatorname{tg}(\psi) = (y_{12} - y_{11}) / \sqrt{(x_{12} - x_{11})^2 + (z_{12} - z_{11})^2} \quad (2.2)$$

Тогда новые координаты точек в этой системе CS_2 определяются:

$$\begin{pmatrix} x_{3j} \\ y_{3j} \\ z_{3j} \end{pmatrix} = R_Y(\psi) R_X(\theta) \left(\begin{pmatrix} x_{11} \\ y_{11} \\ z_{11} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{1j} \\ y_{1j} \\ z_{1j} \end{pmatrix} \right), \quad (2.3)$$

где $R_Y(\psi)$ и $R_X(\theta)$ – являются основными матрицами вращения вокруг осей Y и X на углы θ и ψ ;

x_{1j}, y_{1j}, z_{1j} – координаты облака точек в системе КИМ CS_1 [4].

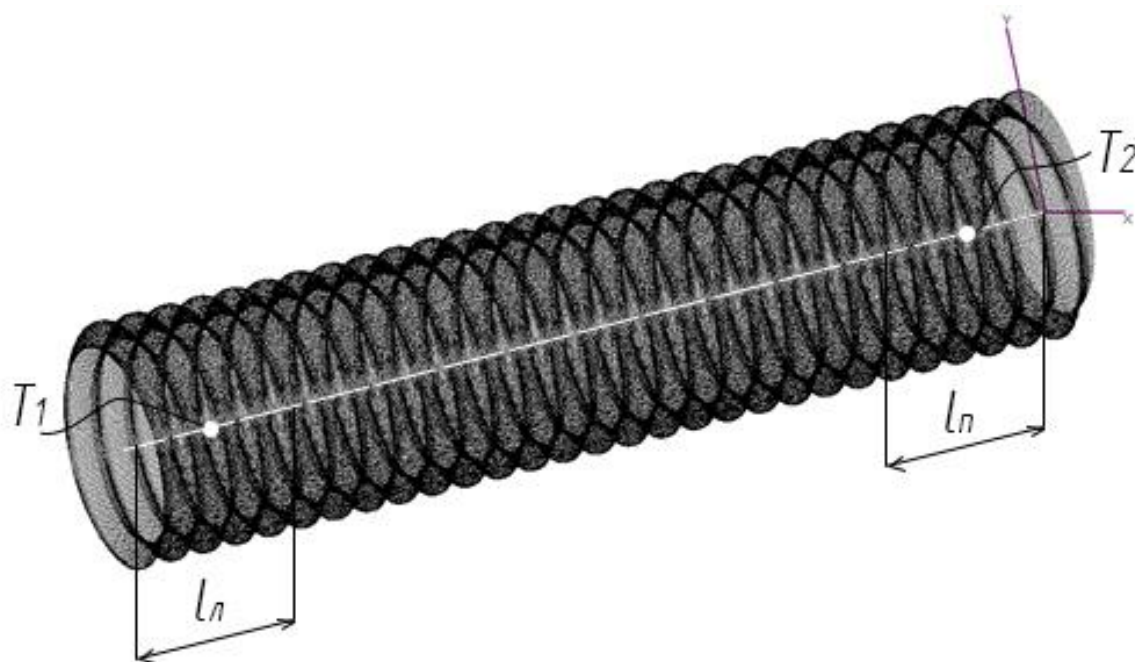


Рисунок 2.3 – Базовые точки и базовые длины резьбы

Таким образом можно получить скорректированное положение реальной резьбовой поверхности. Однако, как будет показано ниже данное решение является недостаточно точным. Причиной этого является винтовая поверхность резьбы. Целесообразно сместить витки базовых участков и получить расположение, выступ-выступ, впадина-впадина. В связи с этим предполагается дополнить методику расчета следующими формулами.

Полученным координатам точек задается условие, при $x \geq 0$, производится вычисление по формуле 2.4:

$$z_i = z_i - \frac{P}{2}, \quad (2.4)$$

где P – шаг резьбы.

После смещения точек на половину шага, необходимо удалить точки. Для левого базового участка удаляются те точки при которых $z_i < 0$. Для правого участка удаляются точки $z < z_{max} + \frac{P}{2}$, также необходимо удалить.

При помощи ранее полученной методики можно произвести расчет координат базовых точек оси резьбы для правого участка (x_p, y_p, z_p) и левого участка (x_l, y_l, z_l). На основании этого рассчитывается угол поворота ψ по формуле 2.5:

$$\text{ctg } \psi = (z_p - z_l) / (y_p - y_l) \quad (2.5)$$

2.2 Разработка алгоритма расчета

Для графического представления алгоритма используется один из распространённых тип схем – блок схема, показанная на рисунках 2.6 – 2.7.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

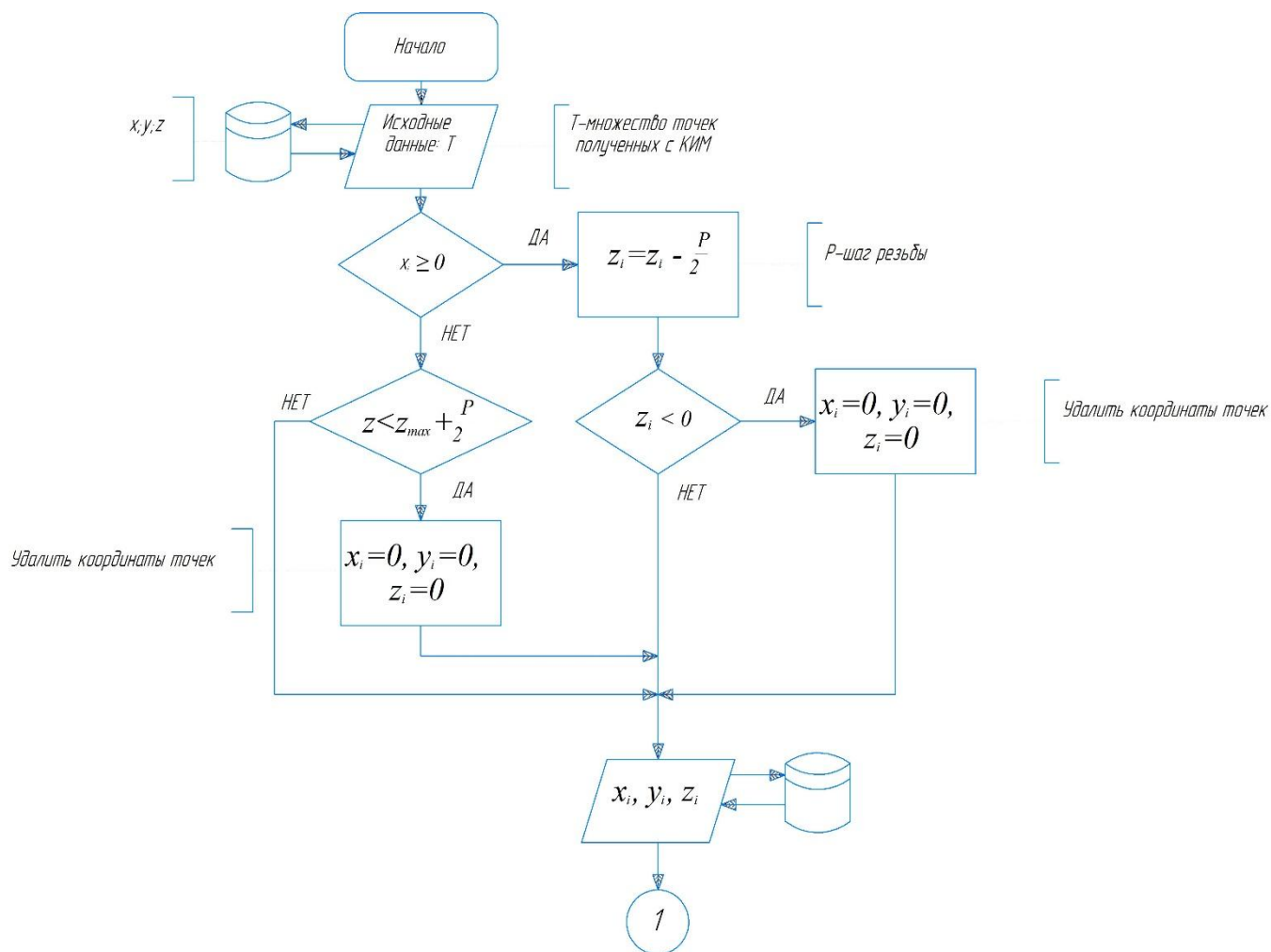


Рисунок 2.6 – Блок-схема расчета ПСДР

2.3 Расчеты в электронной таблице для определения угла поворота резбовой поверхности

Электронные таблицы – это программа обработки числовых данных, хранящая и обрабатывающая данные в прямоугольных таблицах. Применение электронных таблиц упрощает работу с данными и позволяет получать результаты без проведения расчетов вручную или специального программирования. Наиболее широкое применение электронные таблицы нашли в экономических и бухгалтерских расчетах, но и в научно-технических задачах электронные таблицы эффективно используются.

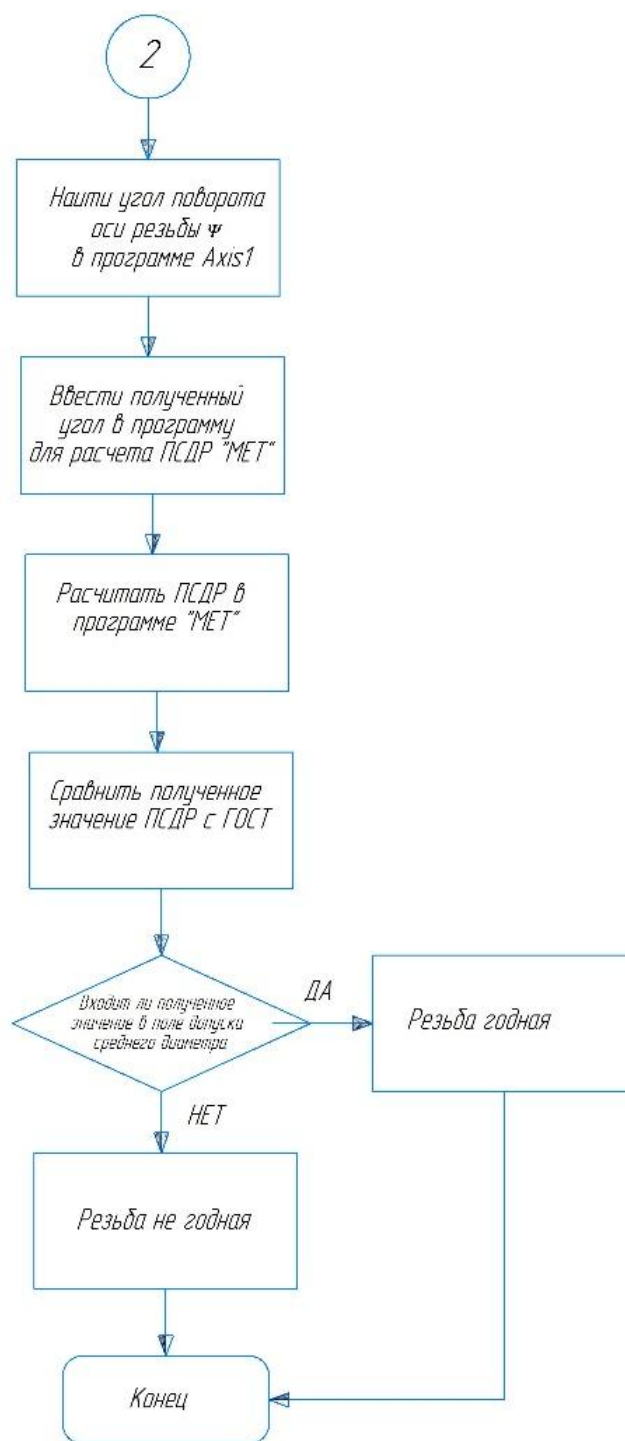


Рисунок 2.7 – Блок-схема расчета ПСДР

Необходимо ввести исходные данные. Шаг резьбы и длину резьбы. Длина базового участка резьбы должна быть кратна шагу резьбы, для повышения точности расчета угла. Поэтому введем формулу 2.6 как показано на рисунке 2.8 для каждой ячейки базового участка:

$$l_{\text{баз}} = P \cdot (1, 2, \dots, n), \quad (2.6)$$

при этом $n < l/2$.

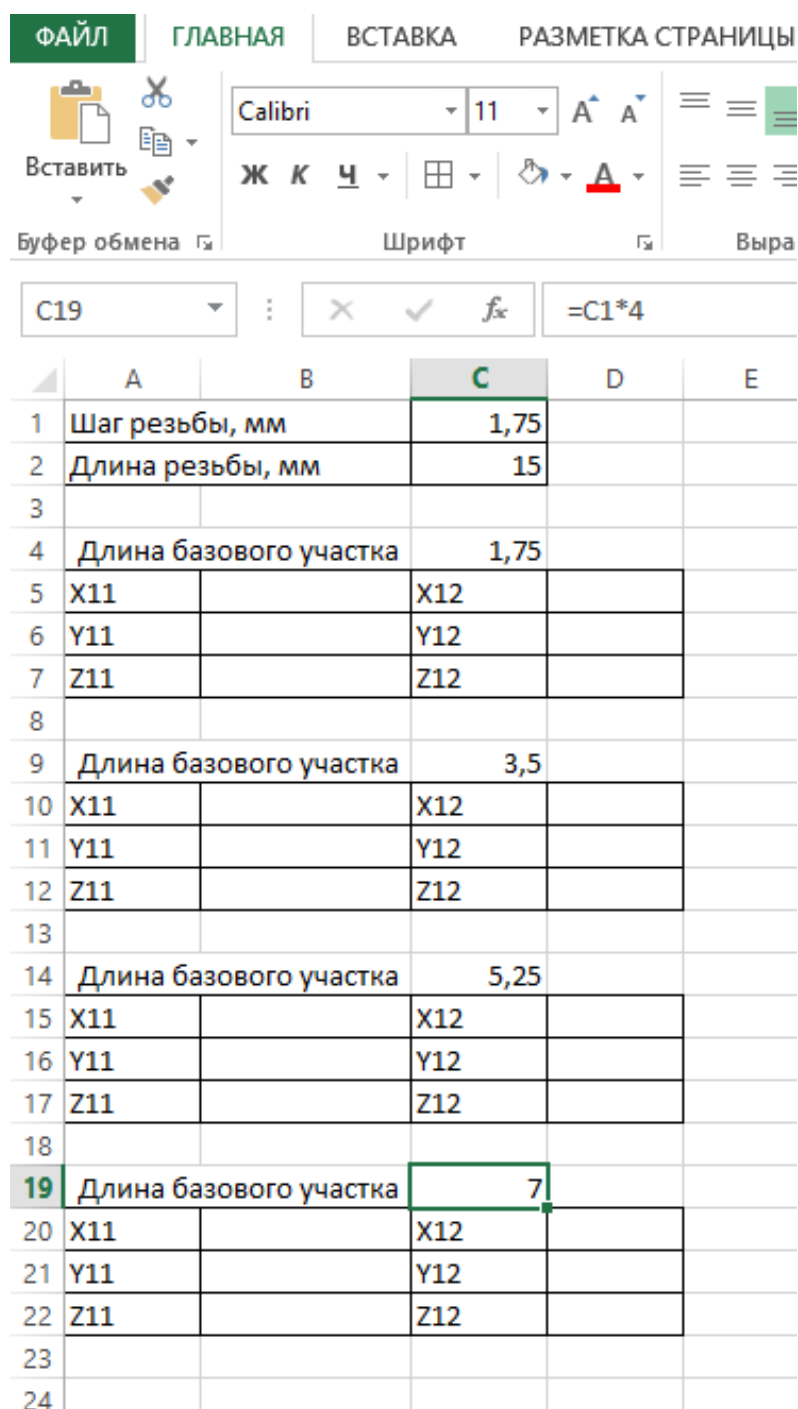


Рисунок 2.8 – Окно ввода формулы 2.6

Далее необходимо ввести координаты базовых точек оси резьбы, и формулу 2.5 для расчета котангенса угла как показано на рисунке 2.9.

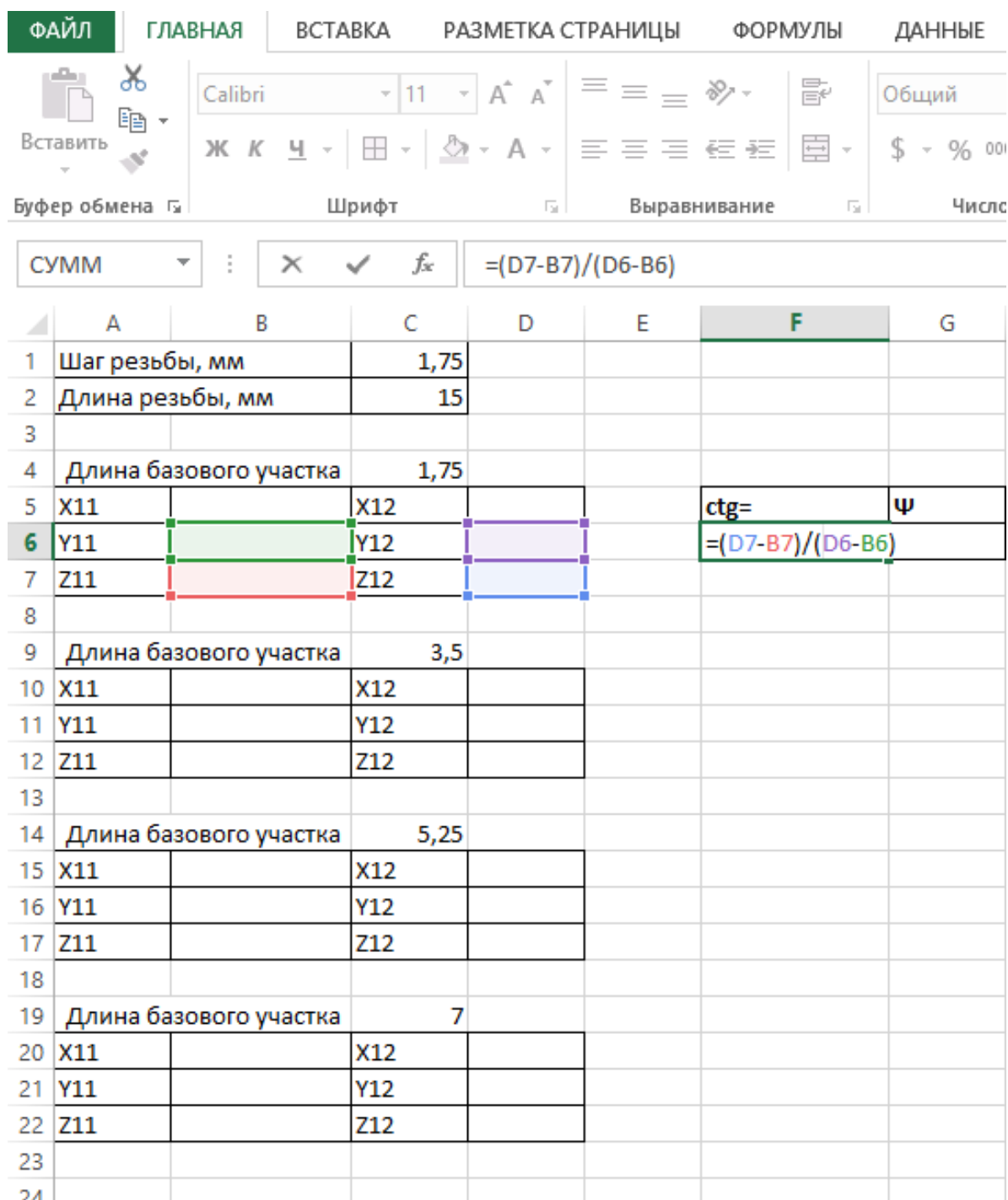


Рисунок 2.9 – Окно ввода формулы 2.5

Для расчета угла поворота ψ в ячейку G6 необходимо ввести: $=\text{ATAN}(1/F6)*180/\text{ПИ}()$, как показано на рисунке 2.10.

		СУММ		X ✓ fx		=ATAN(1/F6)*180/ПИ()	
	A	B	C	D	E	F	G
1	Шаг резьбы, мм		1,75				
2	Длина резьбы, мм		15				
3							
4	Длина базового участка		1,75				
5	X11		X12			ctg=	ψ
6	Y11		Y12			#ДЕЛ/0!	=ATAN(1/F6)*180/ПИ()
7	Z11		Z12				ATAN(число)
8							
9	Длина базового участка		3,5				
10	X11		X12				
11	Y11		Y12				
12	Z11		Z12				
13							
14	Длина базового участка		5,25				
15	X11		X12				
16	Y11		Y12				
17	Z11		Z12				
18							
19	Длина базового участка		7				
20	X11		X12				
21	Y11		Y12				
22	Z11		Z12				

Рисунок 2.10 – Окно ввода для расчета угла поворота ψ

Последние два шага повторяются для каждого базового участка. Для наглядности следует установить эмпирическое соотношение между двумя величинами: расчетный угол поворота резьбовой поверхности и длиной базового участка резьбы. Для этого в программе Excel необходимо выбрать данные для построения графика как показано на рисунке 2.11

Длина базового участка, мм	ψ
1,75	0,698067046
3,5	0,832681393
5,25	0,876541333
7	0,897202112
8,75	0,90898811

Рисунок 2.11 – Окно ввода данных для построения диаграммы

Тип диаграммы используем точечный с прямыми отрезками и маркерами, рисунок 2.12.

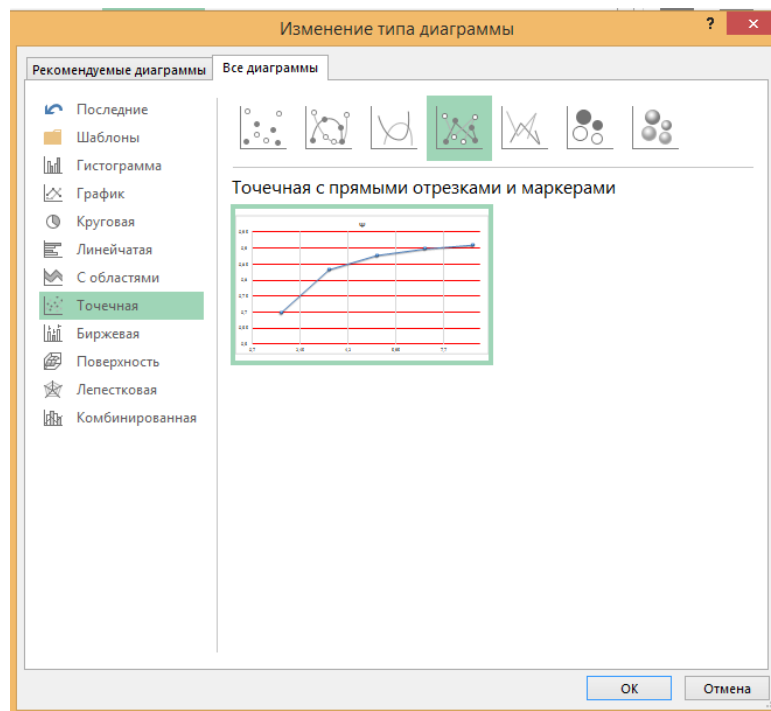


Рисунок 2.12 – Окно выбора типа диаграммы

Пример полученного результата показан на рисунке 2.13.

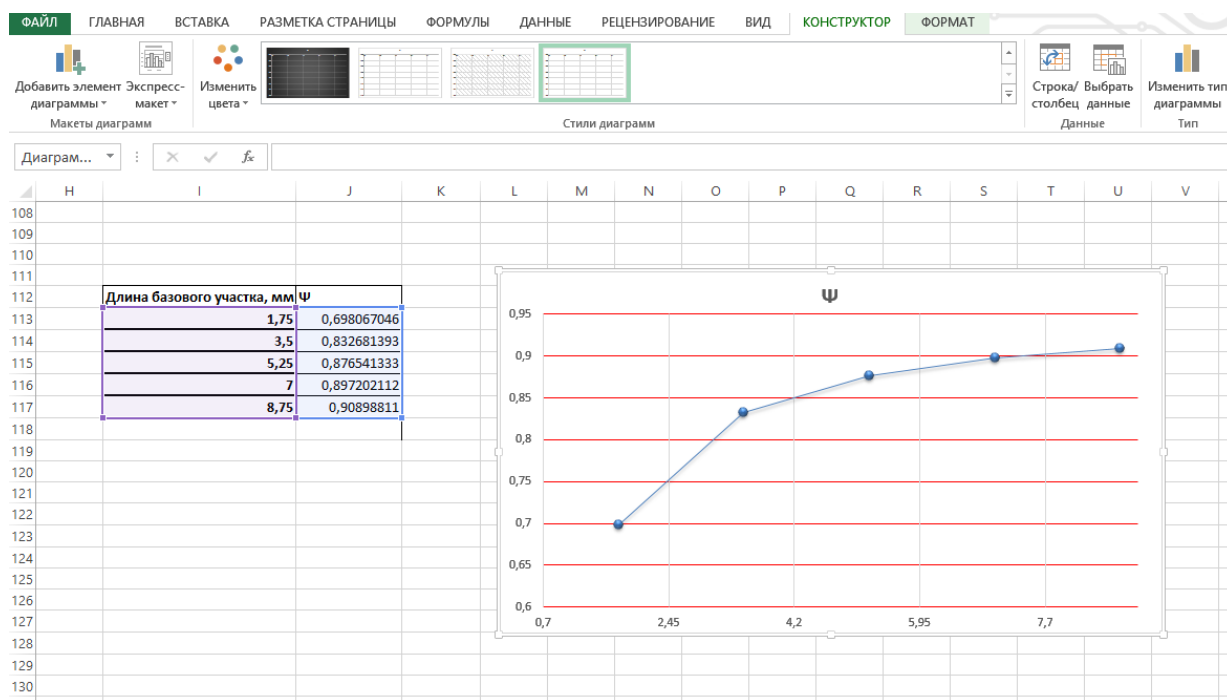


Рисунок 2.13 – Построенная диаграмма

Вывод по разделу. Усовершенствованная методика, разработанный алгоритм расчета и расчеты в электронной таблица могут быть использована в дальнейшем компьютерном моделировании, для расчета угла поворота оси резьбовой поверхности. А также для анализа полученных данных в виде графиков, что позволит сделать вывод о том, какие исходные параметры необходимы для получения наиболее точного результата угла поворота резьбовой поверхности.

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

3 ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1 Методика проведения компьютерного расчета

Для проведения эксперимента воспользуемся компьютерной программой по расчету метчиков [5]. При условии, что при проектировании метчика количество стружечных канавок будет принято равным нулю, получится резьбовая поверхность калибра.

В ходе данной выпускной квалификационной работы была разработана программа для расчета координат базовых точек резьбовой поверхности. Интерфейс программы представлен на рисунке 3.1

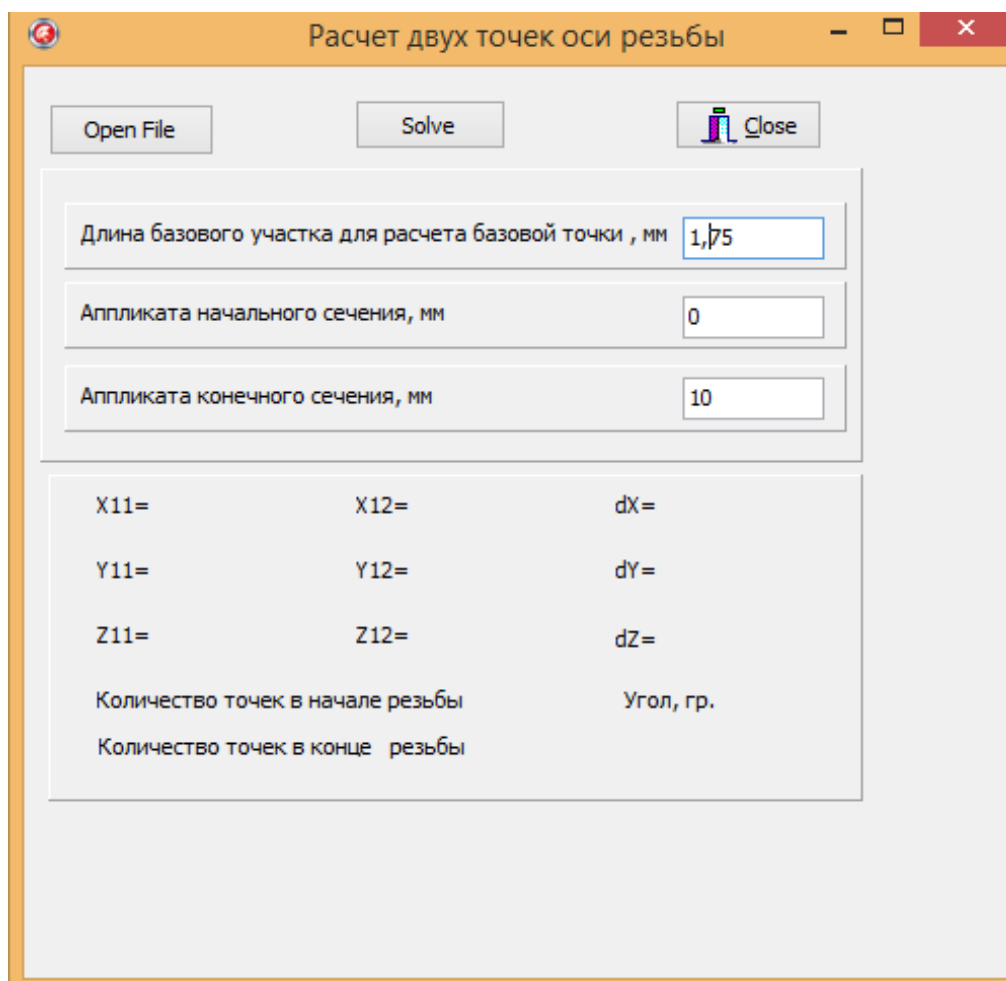


Рисунок 3.1 – Интерфейс программы

Для проектирования идеальной резьбовой поверхности необходимо ввести в компьютерную программу для расчета метчиков общие параметры резьбы. Параметры представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Общие параметры резьбы

Параметр	Значение, мм
Длина резьбы	50
Номинальный диаметр резьбы	12
Число режущих перьев	0

Остальные параметры метчика не учувствуют в проектирование резьбы. Окно ввода параметров представлено на рисунке 3.2. Следующим шагом необходимо ввести параметра профиля резьбы в соответствующем окне, показанным на рисунке 3.3. Параметры профиля резьбы представлены в таблице 3.2.

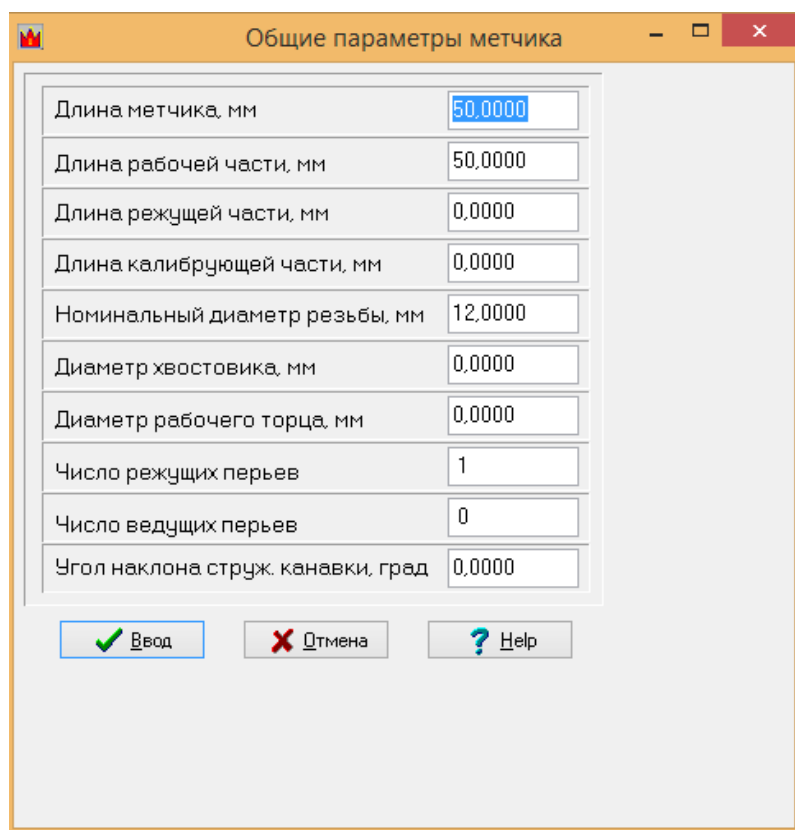


Рисунок 3.2 – Окно ввода параметров

Таблица 3.2 – Параметры профиля резьбы

Параметр	Значение, мм
Число заходов	1
Шаг резьбы, мм	1,75
Высота профиля резьбы	1,0420
Площадка на наружном диаметре	0,1730

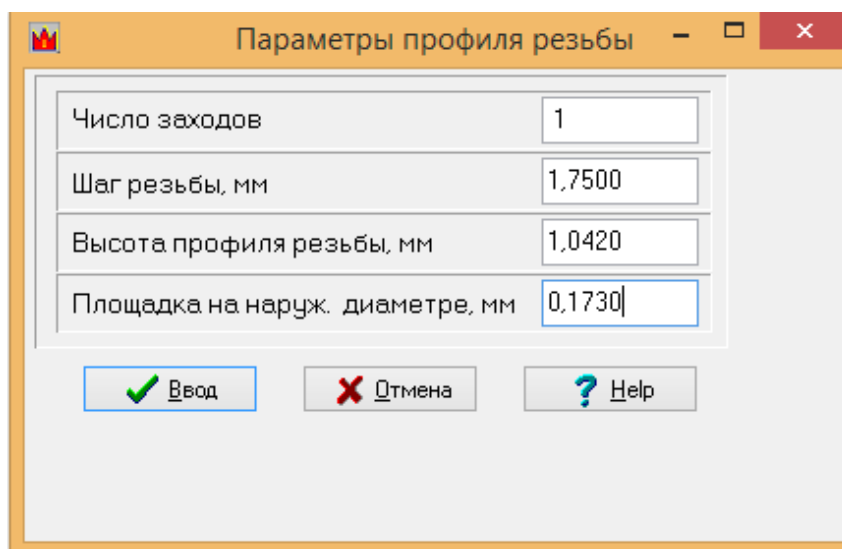


Рисунок 3.3 – Параметры профиля резьбы

Также при введении типа и формы кривой затылования следует выставить параметр «отсутствует», как показано на рисунке 3.4

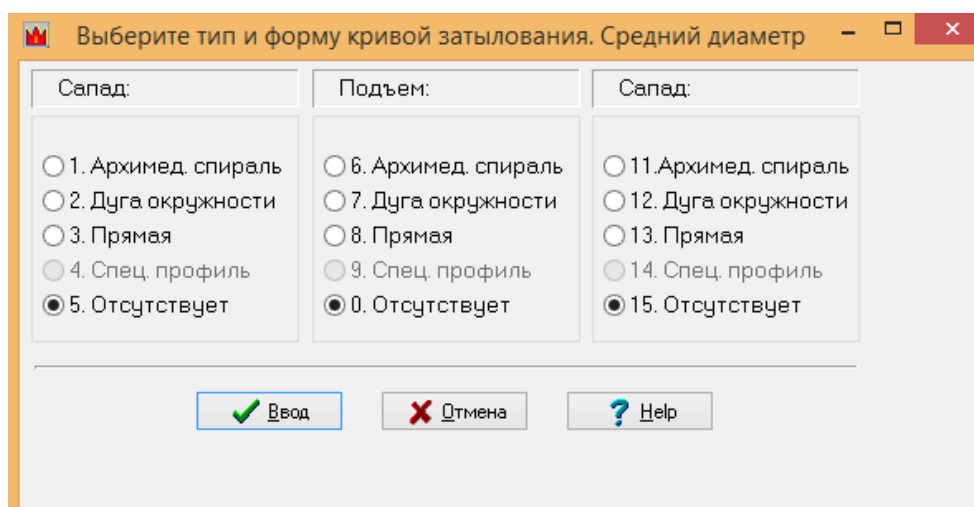


Рисунок 3.4 – Параметры затылования

Далее в соответствии с пунктом 2.1 методики необходимо рассчитать по отдельности две части поверхности резьбы. При нажатии соответствующей кнопки в главном меню программы, появляется окно ввода параметров для построения трехмерного изображения метчика. В соответствующие поля вводятся аппликаты начального и конечного сечения, и полярный угол начального и конечного сечения. Окно ввода изображено на рисунке 3.5.

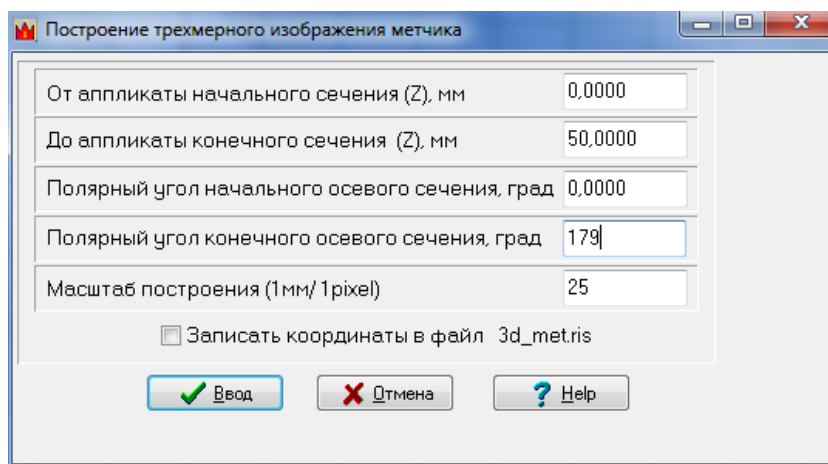


Рисунок 3.5 – Окно ввода параметров резьбы

Полученный результат первой части резьбовой поверхности с длиной резьбы 50 мм, и полярным углом начального и конечного сечения от 0 до 179 градусов представлен на рисунке 3.6

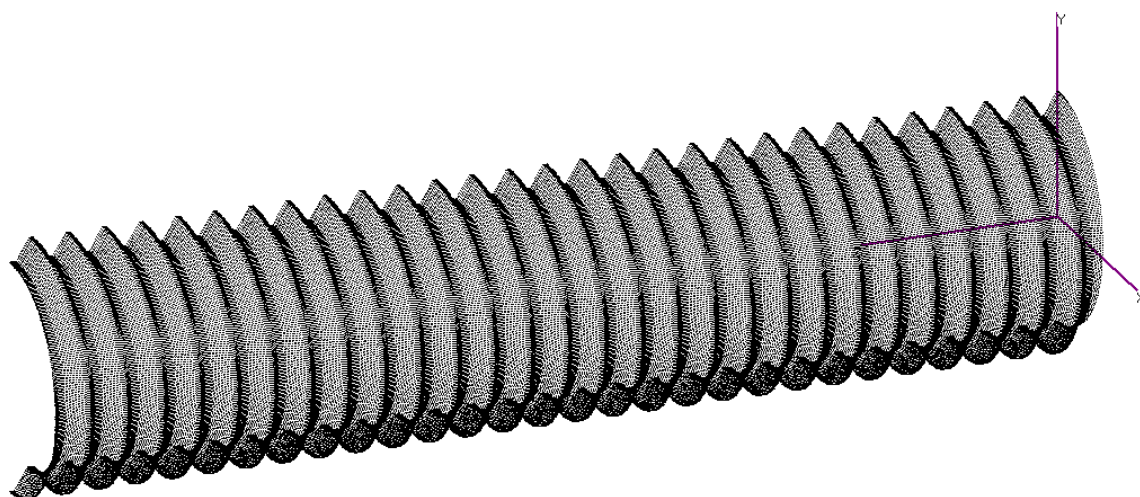


Рисунок 3.6 – Полученный результат резьбы с полярным углом начального и конечного сечения от 0 до 179 градусов

Итоговой файл с координатами точек резьбы сохраняется в формате «.ris», который возможно открыть при помощи стандартной программы «блокнот». В первой строчке записывается масштаб. В первом столбце матрицы CS_1 записываются точки с координатами относительно оси X_1 , второй столбец относительно оси Y_1 , третий столбец относительно Z_1 . Часть координат точек представлены на рисунке 3.8

Далее строим вторую часть резьбы аналогично первой, но полярный угол начального и конечного сечения будет равен от 180 до 359 градусов. Окно ввода изображено на рисунке 3.7.

Рисунок 3.7 – Окно ввода параметров резьбы

Следующим шагом в соответствии с пунктом 2.1 методики необходимо сдвинуть первую часть спроектированной резьбы относительно второй на половину шага P , так чтобы выступ и впадина первой половины резьбы были напротив выступа и впадины второй половины резьбы.

```

3d_met-50 — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
m      20
0.0000 6.0000 0.0000
0.1047 5.9991 0.0000
0.2094 5.9963 0.0000
0.3140 5.9918 0.0000
0.4185 5.9854 0.0000
0.5229 5.9772 0.0000
0.6272 5.9671 0.0000
0.7312 5.9553 0.0000
0.8350 5.9416 0.0000
0.9386 5.9261 0.0000
1.0419 5.9088 0.0000
1.1449 5.8898 0.0000
1.2475 5.8689 0.0000
1.3497 5.8462 0.0000
1.4515 5.8218 0.0000
1.5529 5.7956 0.0000
1.6538 5.7676 0.0000
1.7542 5.7378 0.0000
1.8541 5.7063 0.0000
1.9534 5.6731 0.0000
2.0521 5.6382 0.0000
2.1502 5.6015 0.0000
2.2476 5.5631 0.0000
2.3444 5.5230 0.0000
2.4201 5.4356 0.0000

```

Рисунок 3.8 – Координаты точек резьбы

Полученный результат второй части резьбовой поверхности показан на рисунке 3.9

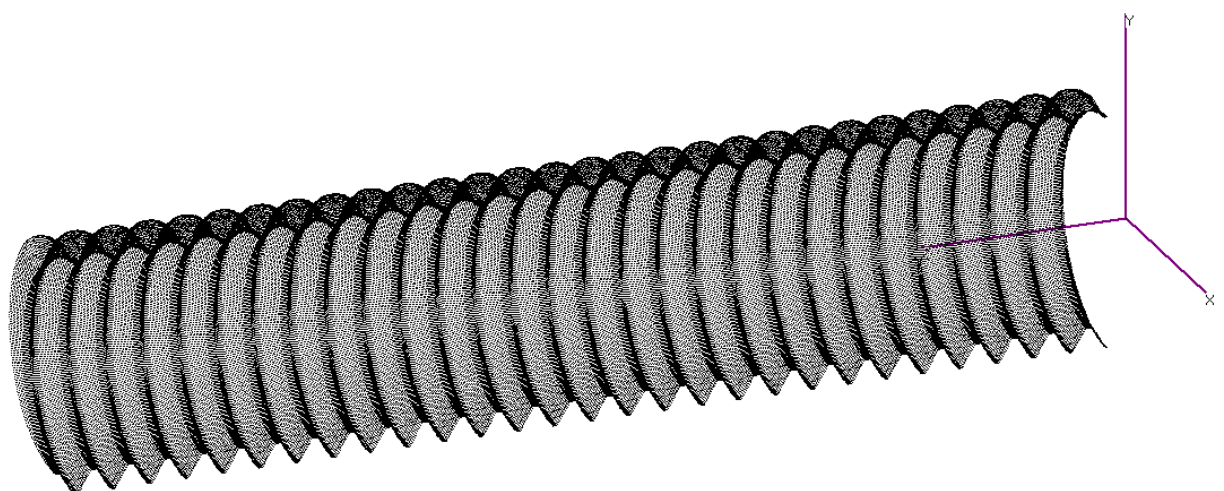


Рисунок 3.9 – Полученный результат резьбы с полярным углом начального и конечного сечения от 180 до 359 градусов

Для этого в пункте «сервис» данной программы выбирается «преобразование систем координат с данными из файлов». В окно ввода, показанное на рисунке 3.10, вводим значение $P/2 = 1,75/2 = 0,875$ мм со знаком минус.

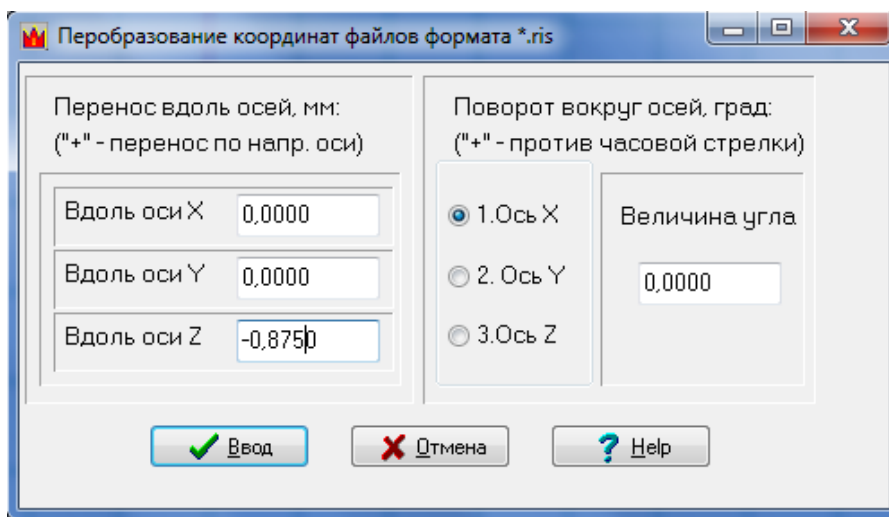


Рисунок 3.10 – Окно ввода преобразований координат

На рисунке 3.11, при более высоком масштабе хорошо виден результат смещения резьбы относительно начала системы координат на половину шага, относительно оси Z.

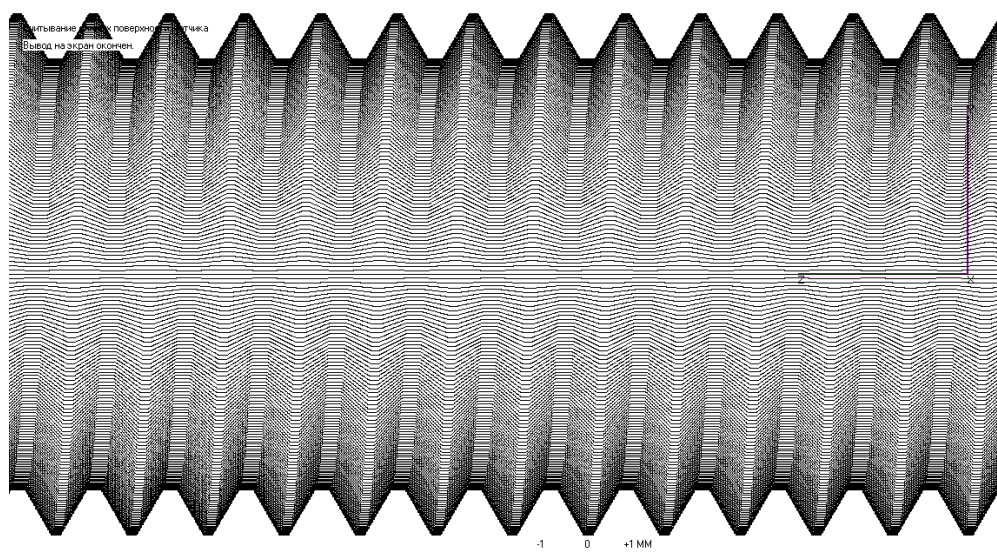


Рисунок 3.11 – Смещение половины поверхности резьбы на половину шага

Далее путем редактирования файла *gis* в программе «блокнот» необходимо удалить координаты точек при которых $z_i < 0$ в первой половине резьбы. При этом область точек $z < z_{max} + \frac{P}{2}$, также необходимо удалить во второй половине. Оба файла с координатами точек объединяется в один копированием. Полученный результат показан на рисунке 3.12

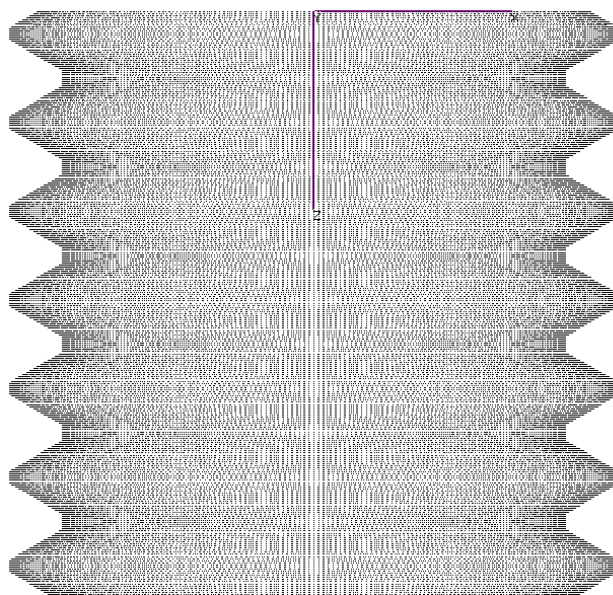


Рисунок 3.12 – Полученный результат смещенной резьбы
(показаны обе половины ее поверхности)

После того как резьбовая поверхность скорректирована, необходимо рассчитать координаты базовых точек по формулам (2.1), и далее по формуле (2.2) определить угол поворота оси данной резьбы.

Далее можно определить значение приведенного среднего диаметра резьбы (ПСДР). Так как ПСДР это диаметр воображаемого калибра, который плотно, без смещения или натяга, сопрягается с исследуемой резьбой по боковым сторонам резьбы, то и при идеальной резьбовой поверхности приведенный средний диаметр будет равен среднему диаметру. По ГОСТ 24705-2004 для наружной резьбовой поверхности с номинальным диаметром резьбы $d = 12$ мм и шагом $P = 1,75$ мм средний диаметр равен $d_2 = 10,863$ мм [10].

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	Лист
						45
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Для расчета приведенного среднего диаметра необходимо в рассматриваемой программе ввести параметры резьбового калибра, представленные в таблице 3.3, сопрягающегося с резьбовой поверхностью, как показано на рисунке 3.13.

Таблица 3.3 – Параметры профиля резьбы

Параметр	Значение
Наружный диаметр измеряемой резьбы, мм	12,000
Внутренний диаметр измеряемой резьбы, мм	10,106
Угол наклона левой стороны профиля калибра, град	30,000
Угол наклона правой стороны профиля калибра, град	30,000
Число заходов резьбы	1
Отступ от внутреннего радиуса (обычно P/10)	0,175
Отступ от наружного радиуса (обычно P/10)	0,175

Внимание! Для расчета приведенного среднего диаметра далее необходимо указать файл резьбовой поверхности, рассчитанный с использованием пункта 2.7 программы.

Тип измеряемой резьбы: 1. Наружная 2. Внутренняя

Направление резьбы: 1. Правая 2. Левая

Наружный диаметр измеряемой резьбы, мм: 12,0000

Внутренний диаметр измеряемой резьбы, мм: 10,1060

Шаг резьбы калибра, мм: 1,7500

Угол наклона левой стороны профиля калибра, град: 30,0000

Угол наклона правой стороны профиля калибра, град: 30,0000

Число заходов резьбы: 1

Отступ от внутреннего радиуса (обычно P/10), мм: 0,1750

Отступ от наружного радиуса (обычно P/10), мм: 0,1750

Ввод Отмена Help

Рисунок 3.13 – Окно ввода параметров калибра

После нажатия кнопки ввод, появляется результат приведенного среднего диаметра, показанный на рисунке 3.14

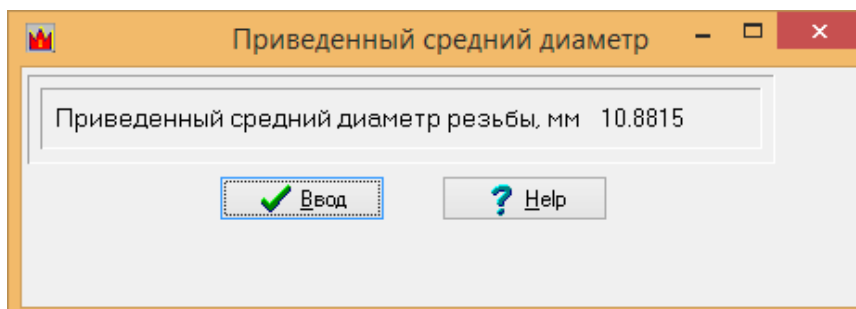


Рисунок 3.14 – Расчетное значение ПСДР

Полученное расчетное значение приведенного среднего диаметра резьбы с номинальным диаметром резьбы $d = 12$ мм и шагом $P = 1,75$ мм равно $d_{\text{псдр расч}} = 10,8815$ мм, что в пределах допуска значения среднего диаметра по ГОСТ 24705-2004, а именно $d_{\text{min}} = 10,793$ мм и $d_{\text{max}} = 10,963$ мм.

На следующем этапе необходимо рассчитать координаты точек исходного множества для контролируемой резьбовой поверхности по формуле (2.3).

Компьютерная реализация этого этапа является поворот оси идеальной резьбовой поверхности на один градус. Для это в пункте «сервис» выбирается «преобразование систем координат с данными из файлов» и вводится величина угла относительно оси X , в окно ввода, показанное на рисунке 3.15

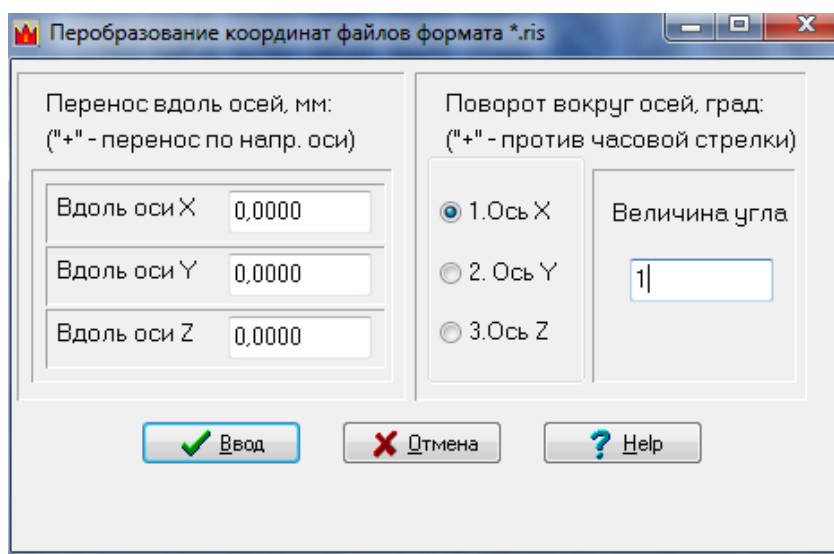


Рисунок 3.15 – Окно ввода преобразований координат

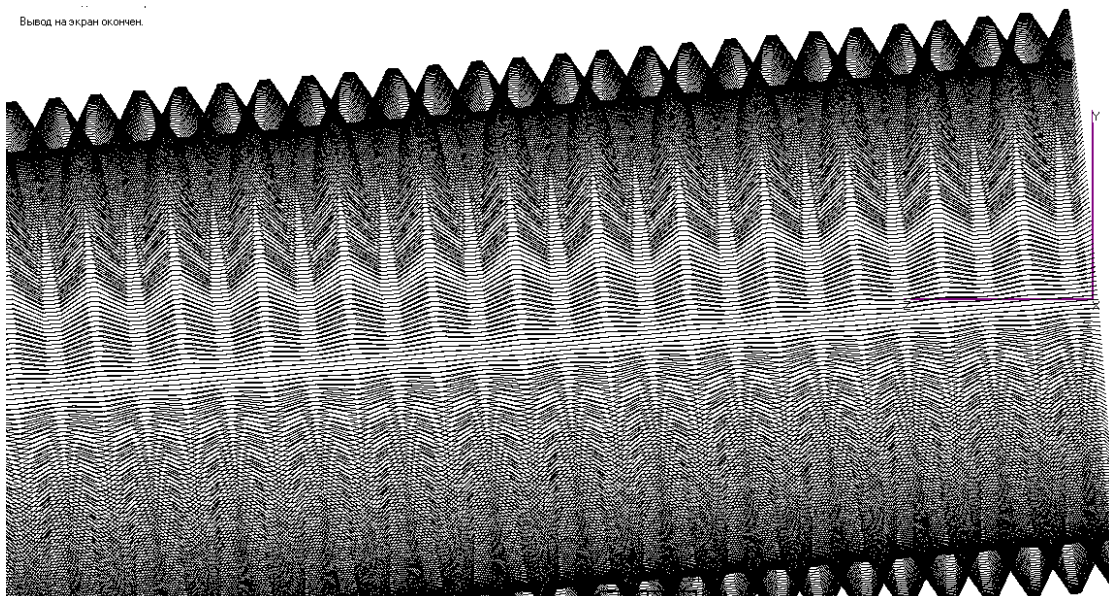


Рисунок 3.16 – Полученный результат поворота относительно оси X

При помощи разработанной электронной таблицы и компьютерной программы, изображенной на рисунке 3.1, для заданной длины резьбы, для каждой базовой длины витков, можно найти расстояние между базовыми точками и угол поворота оси, показанные на рисунке 3.17.

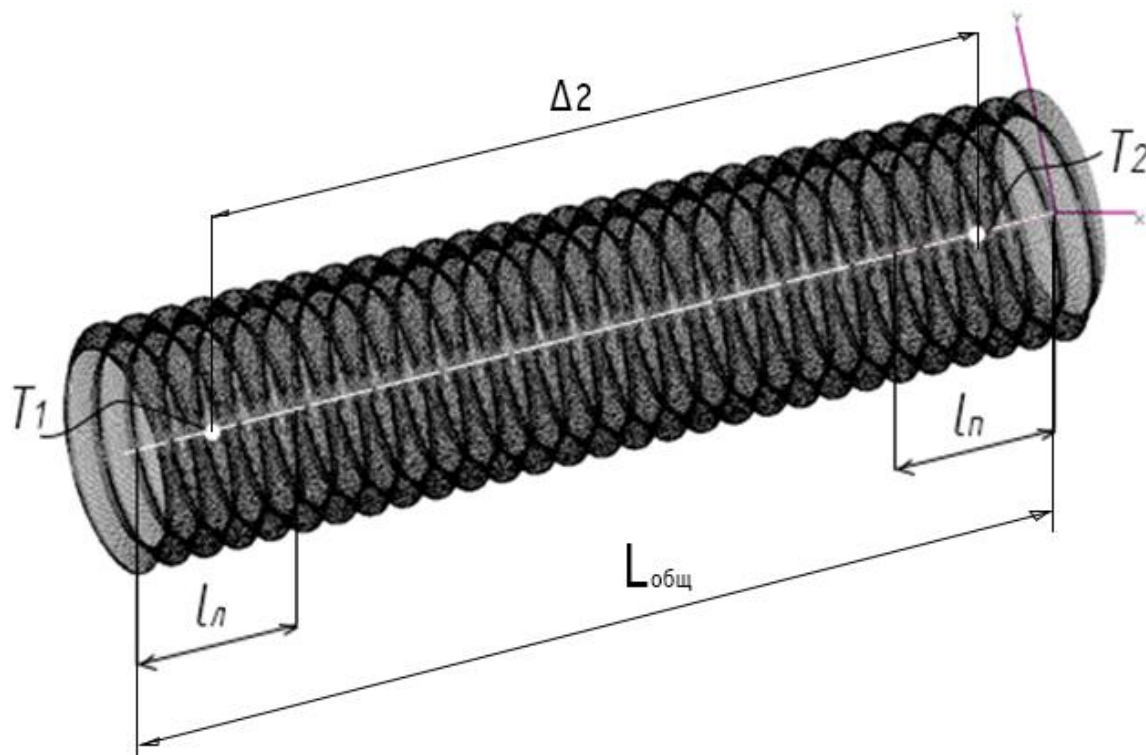


Рисунок 3.17 – Параметры резьбовой поверхности

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.05.2018.583.00 ПЗ

Лист

48

3.2 Определение рациональных величин длины базовых участков резьбы

Очевидно, что угол поворота оси резьбы будет зависеть от длины выбранных слева, и справа базовых участков резьбы. С одной стороны, их увеличение дает увеличение числа точек и, соответственно повышает точность расчета, но с другой стороны это приведет к сближению базовых точек и, как следствие этого, снижение точности расчета.

Таким образом встает задача определения рациональных величин длины базовых участков при которых точность определения угла оси резьбы будет максимальной.

Далее выполним тестовый расчет. Первоначально в программе по расчетам метчиков [5] рассчитаем множество точек резьбы для условий, приведенных выше. Далее определим новое множество точек этой резьбы, путем преобразований поворота по формулам (2.3). Схема ввода данных программы представлены выше (рисунок 3.15). Угол поворота примем равным одному градусу.

Для решения этой задачи выполним три группы расчетов, соответственно для трех длин резьбы детали: 50 мм, 25 мм, 10 мм. В каждой из этих групп выполним расчеты для длин базовых участков кратным шагу резьбы. Координаты базовых точек, представлены в приложении А.

Результаты расчетов, а именно расстояние между базовыми точками, рассчитанные углы поворота, аналогичные углы, полученные без усовершенствования рассматриваемой методики представлены ниже в таблицах 3.4 – 3.6, и на рисунках 3.18 – 3.20

Таблица 3.4 – Полученные результаты при длине резьбы 50 мм

Длина резьбы, L (мм)	Длина базовых витков резьбы, l (мм)	Расстояние между базовыми точками, Δz (мм)	Рассчитанный угол поворота оси резьбы, ψ (град)	
			Без смещения резьбы на $P/2$	Со смещением резьбы на $P/2$
50	1,75	48,259	0,656	0,749
	5,25	44,578	0,884	0,909
	8,75	41,258	0,919	0,942
	17,5	32,507	0,949	0,964
	24,5	25,507	0,955	0,968
	24,5	25,507	0,955	0,968
	29,75	20,257	0,953	0,967

Диаграмма зависимости угла оси от длины базовых витков резьбы при длине резьбы $L = 50$ мм, представлена на рисунке 3.18

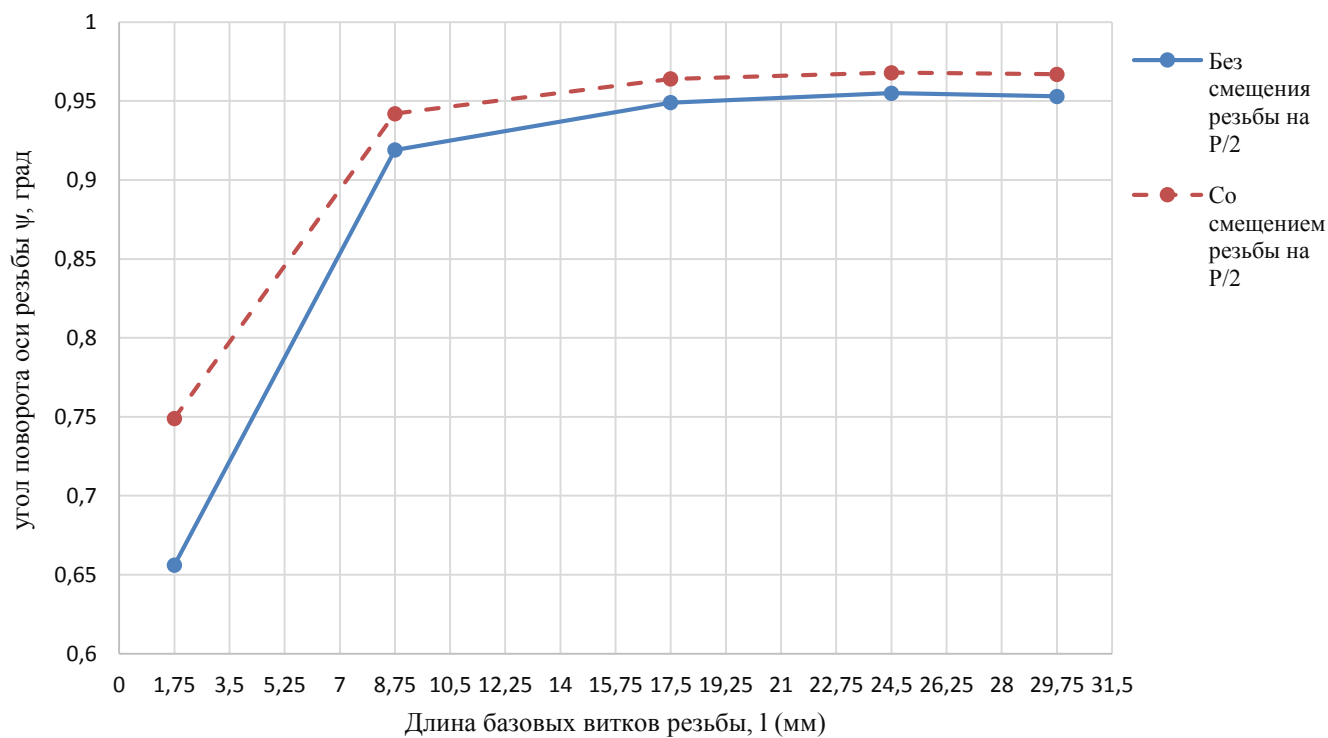


Рисунок 3.18 – Диаграмма зависимости угла оси от длины базовых витков резьбы при длине резьбы $L = 50$ мм

При длине резьбы $L = 25$ мм результаты приведены в таблице 3.5. Диаграмма зависимости угла оси от длины базовых витков резьбы при длине резьбы $L = 25$ мм, представлена на рисунке 3.19

Таблица 3.5 – Полученные результаты при длине резьбы 25 мм

Длина резьбы, L (мм)	Длина базовых витков резьбы, l (мм)	Расстояние между базовыми точками, Δz (мм)	Рассчитанный угол поворота оси резьбы, ψ (град)	
			Без смещения резьбы на $P/2$	Со смещением резьбы на $P/2$
25	1,75	23,26	0,649	0,701
	5,25	19,768	0,833	0,879
	8,75	16,268	0,901	0,922
	12,25	12,768	0,912	0,931
	17,5	7,5174	0,878	0,903

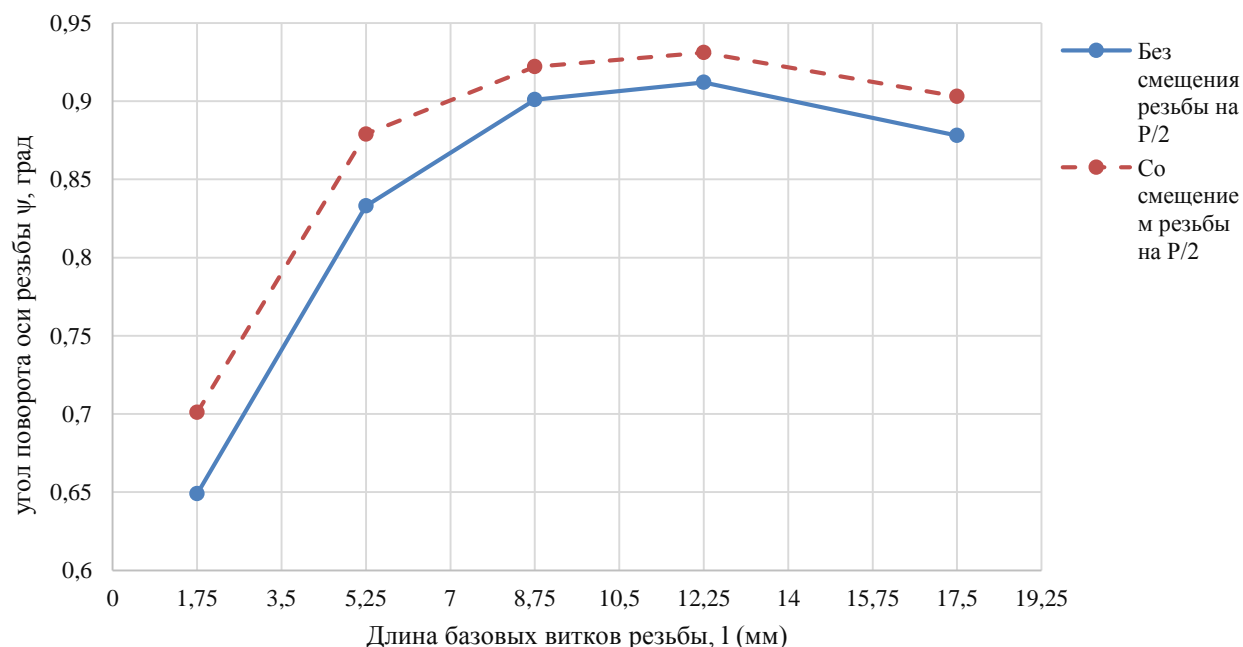


Рисунок 3.19 – Диаграмма зависимости угла оси от длины базовых витков резьбы при длине резьбы $L = 25$ мм

При длине резьбы $L = 10$ мм результаты приведены в таблице 3.6. Диаграмма зависимости угла оси от длины базовых витков резьбы при длине резьбы $L = 10$ мм, представлена на рисунке 3.20

Таблица 3.6 – Полученные результаты при длине резьбы 10 мм

Длина резьбы, L (мм)	Длина базовых витков резьбы, l (мм)	Расстояние между базовыми точками, Δz (мм)	Рассчитанный угол поворота оси резьбы, ψ (град)	
			Без смещения резьбы на $P/2$	Со смещением резьбы на $P/2$
10	1,75	8,26	0,012	0,051
	3,5	6,51	0,372	0,438
	5,25	4,76	0,427	0,539
	7	3,02	0,321	0,419

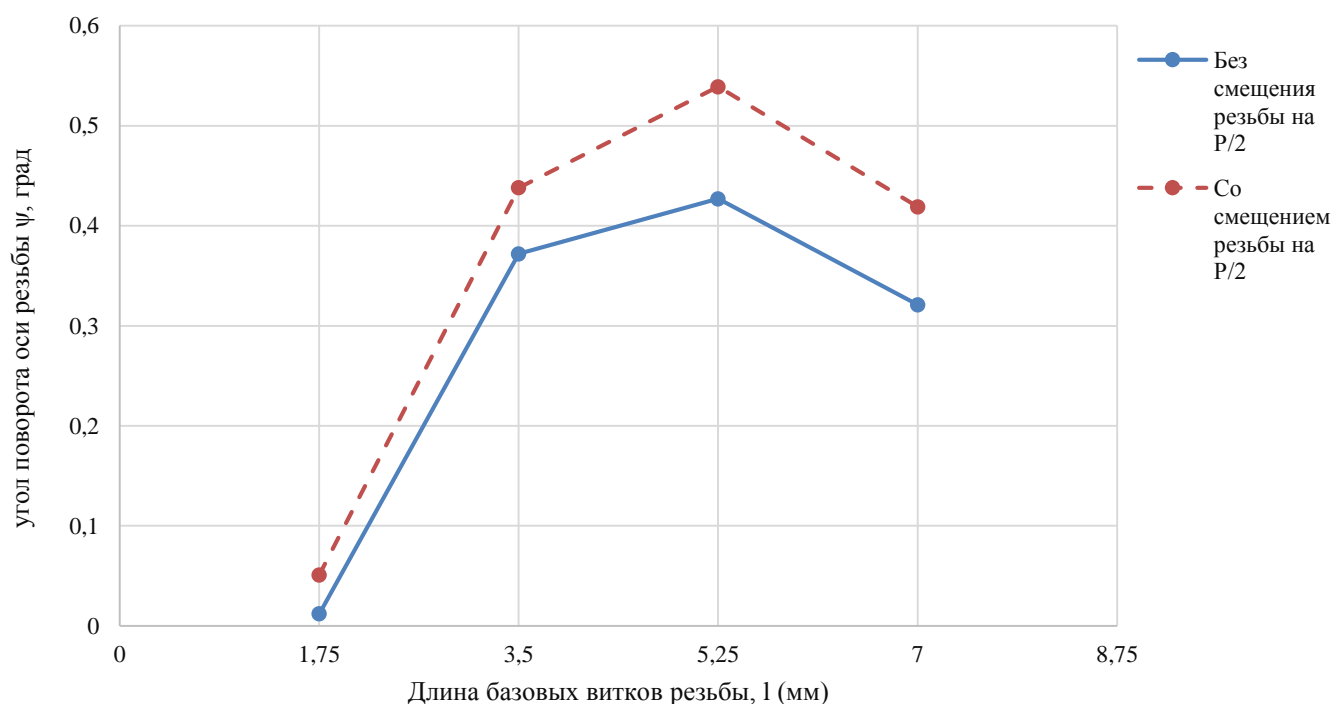


Рисунок 3.20 – Диаграмма зависимости угла оси от длины базовых витков резьбы при длине резьбы $L = 10$ мм

Выводы по разделу. По диаграммам, изображенным на рисунках 3.17-3.20, видно, что в среднем на 5-7% процентов точность расчета по совершенствованной методике выше. Увеличение длины базовых участков резьбы, до половины ее длины дает максимальную точность расчета. Предполагаемое снижение точности расчета из-за сближения базовых точек оказывается менее существенным фактором на этой длине. С увеличением длины этот фактор становится более существенным и таким образом точность далее начинает снижаться.

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе реализации выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты:

1 Выполнен анализ существующих методов определения точности резьбовых поверхностей. На основании проанализированных данных было установлено, что вопрос об измерении приведенного среднего диаметра на координатно-измерительной машине не достаточно изучен. На основании анализа литературных данных были сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

2 Выполнено усовершенствование методики расчета приведенного среднего диаметра. Также был разработан алгоритм расчета. Были произведены расчеты в электронной таблице для определения углов поворота резьбовой поверхности.

3 Выполнена верификация методик расчета путем компьютерного моделирования и определены рациональные значения длины базовых участков резьбы, позволяющих получить максимальную точность.

Работа позволила сформулировать следующие выводы:

- 1) по усовершенствованной методике точность расчета выше на 5-7%;
- 2) увеличение длины базовых участков резьбы, до половины длины резьбы дает максимальную точность расчета;
- 3) точность расчета из-за сближения базовых точек оказывается менее существенным фактором.

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 ГОСТ 11708-82. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба. Термины и определения. – разработ. 17.04.1982; введен 21.02.1987 – М.: Издательство стандартов, 1987. – 34 с.

2 Козловский, Н.С. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения / Н.С. Козловский, А.Н. Виноградов. Учебник. – М.: Машиностроение, 1979. – 175 с.

3 Никитин, В.А. Методы и средства измерений, испытаний и контроля. Учебное пособие / В.А. Никитин. – М.: НТЦ «Информрегистр», 2011. – 76 с.

4 Щуров И.А. Определение оси для расчета приведенного среднего диаметра резьбовой поверхности, заданной облаком точек от ким. / И.А. Щуров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение» – 2014. – Т.14 – №3. – С. 76-82

5 Щуров, И.А. Расчет точности обработки и параметров инструментов на основе дискретного твердотельного моделирования: монография / И.А. Щуров. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004. – 175 с.

6 Щуров, И.А. Численные методы расчета в металлообработке: текст лекций / И.А. Щуров. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2005. – 59 с.

7 Щуров, И.А. Автоматизированное проектирование инструментов: текст лекций / И.А. Щуров. – Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2001. – 100 с.

8 ГОСТ 16093-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – разработ. 14.07.2004; введен 07.12.2005 – М.: Стандартиформ, 2005. – 51 с.

9 ГОСТ 25751-83. Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий. – разработ. 07.09.1981; введен 12.05.1983 – М.: Издательство стандартов, 1983. – 34 с.

					15.04.05.2018.583.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

10 ГОСТ 24705-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры. – разработ. 17.11.2004; введен 01.02.2005 – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2004. – 27 с.

11 URL: http://laptic.ru/Izmerenie_detaley/Kontrol_rezb/ – Контроль и измерение резьбы с КИМ ООО «Лапик» (дата обращения 21.12.2017).

12 URL: <http://studall.org/all-108385.html> – Дифференцированный (поэлементный) контроль параметров резьбы (дата обращения 14.09.2016).

13 ГОСТ 24997-2004. Калибры для метрической резьбы. – разработ. 10.02.2003; введен 21.02.2004 – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2004. – 32 с.

14 URL: <https://a3-eng.com/izmeritelnye-instrumenty/shablony-i-shchupy/shablon-vogel-dlya-kontrolya-rezb-detail> – Шаблон Vogel для контроля резьб (дата обращения 18.04.2018).

15 Москалев, А.А. Разработка и исследование высокоточного измерительного комплекса для метрологического обеспечения резьбовых соединений.: дис. ... канд. тех. наук : 05.11.01 : защищена 03.02.2017 : утв. 15.06.2017 / Москалев Андрей Андреевич. – СПб., ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2017. – 149 с.

16 Sheng, C. A New Compensation Method for Measurement of Thread Pitch Diameter by Profile Scanning / C. Sheng, Z. Dongbiao, L. Yonghua // Measurement Science Review. – 2014. – V. 14. – № 6. – P. 323-330.

17 ГОСТ 7.1-2003. СИБИБД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – разработ. 14.04.2003; введен 21.08.2004 – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2004. – 58 с.

					<i>15.04.05.2018.583.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Расчетные таблицы для определения рациональных величин

Таблица А.1 – Расчетные данные

Исходные данные: M12×1,75

Показатели	Значение
Тип резьбы	наружная
Направление резьбы	правое
Шаг резьбы, мм	1,75
Высота профиля резьбы, мм	1,042
Площадка на наружном диаметре резьбы, мм	0,173
Число заходов	1
Наружный диаметр резьбы, мм	12
Внутренний диаметр резьбы, мм	10,106

При угле поворота оси 0

Длина резьбы, мм		50			
Длина базового участка, мм		1,75			
X11	0	X12	0,00325	ctg=	Ψ
Y11	0,02259	Y12	0,00828	-3371,77	-
Z11	0,87500	Z12	49,12500	0,01699	

Длина базового участка, мм		17,5			
X11	0	X12	0,00033	ctg=	Ψ
Y11	0,01583	Y12	0,01436	-22108,8	-
Z11	8,75000	Z12	41,25000	0,00259	

При угле поворота оси 1

Длина резьбы, мм		50			
Длина базового участка, мм		1,75		1	
X11	0,00123	X12	-0,00189	ctg=	Ψ
Y11	0,14262	Y12	-0,69508	-87,3877	-
Z11	0,85879	Z12	49,13700	0,65562	

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Длина базового участка, мм		8,75	5			
X11	-	0,00033	X12	-0,00018	ctg=	Ψ
Y11	-	0,08942	Y12	-0,75176		-
Z11		4,35980	Z12	45,63600	-62,3187	0,91932

Длина базового участка, мм		17,5	10			
X11	-	0,00015	X12	-0,00008	ctg=	Ψ
Y11	-	0,15138	Y12	-0,69047		-
Z11		8,73500	Z12	41,26100	-60,335	0,94954

Длина базового участка, мм		24,5	14			
X11	-	-0,0001	X12	-0,00011	ctg=	Ψ
Y11	-	-0,20816	Y12	-0,63370		-
Z11		12,23600	Z12	37,76100	-59,9826	0,95512

Длина базового участка, мм		29,75	17			
X11	-	-0,0001	X12	-0,00009	ctg=	Ψ
Y11	-	-0,25218	Y12	-0,58974		-
Z11		14,86100	Z12	35,13600	-60,0634	0,95383

Длина базового участка, мм		38,5	22			
X11	-	-0,00006	X12	-0,00005	ctg=	Ψ
Y11	-	-0,32662	Y12	-0,51543		-
Z11		19,23600	Z12	30,76100	-61,0402	0,93857

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Длина базового участка, мм		43,75	25
X11	-0,00005	X12	-0,00003
Y11	-0,37171	Y12	-0,47046
Z11	21,8610 0	Z12	28,13600

ctg=	Ψ
-63,5443	- 0,9015 9

Длина базового участка, мм		49	28
X11	-0,00005	X12	-0,00001
Y11	-0,41698	Y12	-0,42529
Z11	24,4850 0	Z12	25,51100

ctg=	Ψ
-123,466	- 0,4640 5

Длина резьбы, мм	25	14,2857142 9
------------------	----	-----------------

Длина базового участка, мм		1,75	1
X11	-0,00123	X12	-0,00173
Y11	-0,14262	Y12	-0,61896
Z11	0,85879	Z12	36,63500

ctg=	Ψ
-75,1065	- 0,7628 2

Длина базового участка, мм		3,5	2
X11	-0,00086	X12	-0,00163
Y11	-0,08661	Y12	-0,60407
Z11	1,73440	Z12	35,76000

ctg=	Ψ
-65,755	- 0,8712 8

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Длина базового участка, мм		7	4		
X11	-0,00043	X12	-0,00143	ctg=	Ψ
Y11	-0,08145	Y12	-0,57409	-61,9627	-0,9246
Z11	3,48470	Z12	34,01000		

Длина базового участка, мм		8,75	5		
X11	-0,00033 3	X12	-0,00135	ctg=	Ψ
Y11	-0,08942	Y12	-0,55905	-61,2721	0,93502
Z11	4,35980	Z12	33,13500		

Длина базового участка, мм		12,25	7		
X11	-0,00029	X12	-0,00124	ctg=	Ψ
Y11	-0,11164	Y12	-0,52898	-60,5619	0,94598
Z11	6,11010	Z12	31,38500		

Длина базового участка, мм		14	8		
X11	-0,0002	X12	-0,00121	ctg=	Ψ
Y11	-0,12439	Y12	-0,51396	-60,3868	0,94873
Z11	6,98510	Z12	30,51000		

Длина базового участка, мм		17,5	10		
X11	-0,00015	X12	-0,00111	ctg=	Ψ
Y11	-0,15138	Y12	-0,48375	-60,2491	0,95089
Z11	8,73500	Z12	28,76000		

Продолжение приложения А

Окончание таблицы А.1

Длина базового участка, мм		19,25	11			
X11	-0,00017	X12	-0,00106	ctg=	Ψ	
Y11	-0,16532	Y12	-0,46863	-60,2519	0,95085	-
Z11	9,61000	Z12	27,88500			

Таблица А.2 – Расчетные данные

Длина базового участка, мм		24,5	14
X11	-0,0001	X12	-0,00097
Y11	-0,20816	Y12	-0,42331
Z11	12,2360 0	Z12	25,25900

ctg=	Ψ
-60,5299	- 0,9464 8

Длина резьбы, мм		10	5,71428571 4
Длина базового участка, мм		1,75	1
X11	-0,00123	X12	-0,00120
Y11	-0,14262	Y12	-0,48713
Z11	0,85879	Z12	29,13400

ctg=	Ψ
-82,0737	- 0,6980 7

Длина базового участка, мм		3,5	2
X11	-0,00086	X12	-0,00112
Y11	-0,08661	Y12	-0,47212
Z11	1,73440	Z12	28,25900

ctg=	Ψ
-68,8039	- 0,8326 8

Длина базового участка, мм		5,25	3
X11	-0,00057	X12	-0,00109
Y11	-0,07803	Y12	-0,45707
Z11	2,60970	Z12	27,38400

ctg=	Ψ
-65,3606	-0,87654

Длина базового участка, мм		7	4
X11	-0,00043	X12	-0,00105
Y11	-0,08145	Y12	-0,44202
Z11	3,48470	Z12	26,50900

ctg=	Ψ
-63,8553	-0,8972

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.2

Длина базового участка, мм		8,75	5
X11	0,000333	X12	-0,00102
Y11	-0,08942	Y12	-0,42696
Z11	4,35980	Z12	25,63400

ctg=	Ψ
-63,0272	0,90899

Длина резьбы, мм		7	4
Длина базового участка, мм		1,75	1
X11	-0,00123	X12	-0,00304
Y11	-0,14262	Y12	-0,46237
Z11	0,85879	Z12	27,63100

ctg=	Ψ
-83,7286	0,68427

Длина базового участка, мм		3,5	2
X11	-0,00086	X12	-0,00293
Y11	-0,08661	Y12	-0,44726
Z11	1,73440	Z12	26,75600

ctg=	Ψ
-69,3792	0,82578

Длина базового участка, мм		5,25	3
X11	-0,00057	X12	-0,00284
Y11	-0,07803	Y12	-0,43213
Z11	2,60970	Z12	25,88100

ctg=	Ψ
-65,7196	0,87175

Длина базового участка, мм		7	4
X11	-0,00043	X12	-0,00277
Y11	-0,08145	Y12	-0,41933
Z11	3,48470	Z12	25,01700

ctg=	Ψ
-63,7277	-0,899

При угле поворота оси 1°

Длина резьбы, мм		50	
Длина базовых витков резьбы, мм	Ψ	D2	1/D2
1,75	0,74865	48,259	0,020722
5,25	0,90985	44,758	0,022342
8,75	0,94153	41,258	0,024238
17,5	0,96365	32,507	0,030763
24,5	0,96797	25,507	0,039205
29,75	0,96716	20,257	0,049366
38,5	0,95665	11,506	0,086911
43,75	0,93078	6,2561	0,159844
49	0,61778	1,00065	0,99935

Длина резьбы, мм		25		14,28571
Длина базовых витков резьбы, мм	Ψ	D2	1/D2	
1,75	0,64979	23,269	0,042976	
3,5	0,81168	21,518	0,046473	
7	0,88773	18,018	0,0555	
8,75	0,90111	16,268	0,06147	
12,25	0,91212	12,768	0,078321	
14	0,91218	11,017	0,090769	
17,5	0,8982	7,5174	0,133025	

Длина резьбы, мм		10		5,714286
Длина базовых витков резьбы, мм	Ψ	D2	1/D2	
1,75	0,01248	8,2659	0,120979	
3,5	0,3723	6,5153	0,153485	
5,25	0,42768	4,765	0,209864	
7	0,32103	3,0152	0,331653	
8,75	0,28549	1,2652	0,790389	