Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

на правах *рукописи*

Никитин Павел Дмитриевич

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ КОНТАКТНО-СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ И ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., доцент Асоян А.Р.

Москва – 2026 г.

Оглавление

Введение 4

Глава 1. Основные причины неудовлетворительной работы и выхода из строя ЦПГ 11

1.1 Состояние отечественного двигателестроения в настоящее время 11

1.2 Условия работы ЦПГ современных ДВС и тенденции развития требований к ее деталям 13

1.3 Основные причины неудовлетворительной работы и выхода из строя ЦПГ 19

1.4 Основные производители и поставщики деталей ЦПГ, преимущества и недостатки их продукции 20

1.5 Анализ существующих методов расчёта поршневых колец и оценки параметров их силового взаимодействия с гильзой цилиндров 24

1.6 Выводы, цель и задачи исследования 39

Глава 2. Теоретическое обоснование методики расчета формы поршневых колец 42

2.1 Разработка метода расчета геометрического места точек нейтральной линии поршневого кольца в свободном состоянии 42

2.2 Разработка методологии определения параметров силового взаимодействия поршневого кольца с охватывающей поверхностью и математической модели для их вычисления 53

2.3 Эскизное проектирование конструкции поршневых колец 55

2.4 Выводы по главе 59

Глава 3. Программа и общая методика исследований 60

3.1 Программа исследований 60

3.2 Методика определения деформаций гильзы (экспериментальная и аналитическая) 62

3.3 Методика вычислительного эксперимента по адаптации поршневых колец к гильзе цилиндра, имеющей отклонения размера и формы 64

3.4 Методика определения эффективности работы ЦПГ и оценке ее ресурса в составе двигателя 67

3.5 Методика эксплуатационных испытаний и оценка технической эффективности работы 69

3.6 Выводы по главе 72

Глава 4. Проектирование и изготовление 73

экспериментального комплекта поршневых колец 73

4.1 Определение требуемых параметров и вычисление геометрического места точек нейтральной линии поршневого кольца 73
4.1.1 Расчет верхнего компрессионного кольца 75
4.1.2 Расчет второго компрессионного кольца 80
4.2 Аналитическое определение параметров контактно-силового взаимодействия колец с гильзой, имеющей отклонения от номинальной формы 86
4.3 Результаты изготовления поршневых колец и контроля их параметров 89
4.4 Выводы по главе 91
Глава 5. Результаты экспериментов и эксплуатационных испытаний 92
5.1 Результаты исследования монтажных деформаций гильз цилиндров 92
5.2 Результаты подконтрольной эксплуатации дизелей, укомплектованных экспериментальными кольцами, и оценка остаточного ресурса 96
5.3 Выводы по главе 99
Глава 6. Оценка экономической эффективности предложенных мероприятий ... 101
6.1 Выводы по главе 102
Общие выводы 103
Список литературы 105
ПРИЛОЖЕНИЯ 113

Введение

Актуальность темы. Энергообеспечение многих отраслей народного хозяйства и оборонного комплекса РФ, особенно в труднодоступных и арктических регионах, невозможно без наличия надежных и эффективных автономных энергетических установок, основным агрегатом которых в большинстве случаев являются поршневые двигатели внутреннего сгорания.

Следует осознавать, что именно они обеспечивают подавляющий объём энергии, потребляемой мобильной техникой во всех отраслях народного хозяйства как в нашей стране, так и за её пределами.

Однако, вместе с этим, именно на их долю приходится и основная часть – более половины выходов из строя силовых установок, а на сервисные воздействия и ремонт приходится не менее 20% трудоемкости работ. При этом существенная часть этих показателей приходится на детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ).

Кроме того, состояние деталей ЦПГ влияет на такие показатели, как расход масла на угар, эффективная мощность, расход топлива и пусковые качества двигателя.

Поршневые кольца в составе ЦПГ составляют весьма небольшой удельный вес, определяя в совокупности с топливной аппаратурой работоспособность, экономичность и долговечность ДВС.

В настоящее время в РФ, как было отмечено в работе [1], производители силовых установок столкнулись с серьёзной проблемой при комплектации своих агрегатов: собственные производственные мощности и компетенции по производству наукоемких компонентов в силу тех или иных причин утрачены, а поставки от серьёзных компетентных поставщиков из европейских стран запрещены ввиду того, что вся гамма комплектующих (детали ЦПГ, топливная аппаратура, электронные компоненты управления) относятся к продукции двойного назначения и их ввоз в Россию находятся под жесткими санкциями ЕС. В результате поставки осуществляются в основном из азиатских стран и имеют целую гамму сопутствующих проблем, таких, как нестабильное качество, пониженных ресурс, постоянная угроза срывов поставок из-за вторичных санкций.

Таким образом налицо проблемная ситуация, заключающаяся в противоречии между потребностью отечественного двигателестроения в надежных поставках наукоёмких комплектующих, в частности, деталей ЦПГ, и отсутствии такого поставщика внутри страны. Настоящая работа призвана способствовать решению именно этой проблемы посредством решения актуальной для отечественного двигателестроения задачи повышения надёжности уплотнения камеры сгорания путем повышения приспособляемости и ряда других качественных характеристик поршневых колец.

В данной работе планируется повысить следующие показатели свойств надежности цилиндро-поршневой группы двигателей, как:

- безотказность ЦПГ - «Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки» [72];
- долговечность - «Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта» [72].

Степень разработанности темы.

Анализ литературных источников показал, что большой вклад в решение проблемы повышения долговечности и эффективности эксплуатации двигателей внутреннего сгорания и в том числе в методы расчета формы поршневых колец в свободном состоянии внесли такие отечественные ученые, как А.В. Адамович, А.Я. Александров, Б.Я. Гинцбург, Ю. А. Голицын, В. Г. Гончаренко, А.Ю. Дунин, Ю. А. Коган, А. П. Мартынов, В. П. Молдованов, Д.О. Онищенко, А. Р. Пикман, Н. И. Савицкий, Р.Н. Хмелев. Из зарубежных ученых необходимо отметить, К. Энглиша, K. Reinhardt, J. Prescott, H. Arnold, A. Iskra, E. Tomanik, V. Dunaevsky.

В публикациях [23, 35, 36], посвященных теме исследования в основном методы содержат ряд заложенных методических погрешностей, что естественным образом отображается на результатах расчетов. На определенных этапах это было приемлемо, однако в настоящее время, когда к удельной мощности, экологичности и экономичности силовых установок требования существенно повысились, эти методические погрешности стали критичными и потребовалось их устранение.

Таким образом задача исключения из результатов расчетов принимаемых допущений, методических и вычислительных погрешностей является актуальной, требующей своего решения на современном этапе.

Результаты работы показали не только свою актуальность, но и востребованность в реальном промышленным сектором. Это подтверждается как актом о внедрении, так и протоколом о намерении использования этих разработок.

В соответствии с вышеизложенным сформулированы цель и задачи исследований.

Цель работы: Повышение надежности уплотнения камеры сгорания ДВС путем обеспечения постоянства силового замыкания сопряжения кольцо – гильза цилиндра в диапазоне возможных отклонений формы и размеров гильзы цилиндра.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Определить теоретические зависимости, достоверно описывающие силовое взаимодействие поршневого кольца и гильзы цилиндра и разработать методику оптимизации контактно-силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания.

2. Исследовать деформации гильзы, вызываемые затяжкой головок (крышек) блока цилиндров и износом в пределах нормативного срока эксплуатации.

3. На основании вычислительных экспериментов предложить конструкцию комплекта поршневых колец, обеспечивающих надежную герметизацию камеры сгорания в широком диапазоне возможных износов и деформаций гильзы.

4. Изготовить поршневые кольца предложенной конструкции и экспериментально определить эффективность уплотнения камеры сгорания при их использовании.

5. Определить экономическую эффективность работы.

Объект исследования – поршневые кольца.

Предмет исследования – закономерности, обосновывающие постоянство силового замыкания сопряжения кольцо – гильза цилиндра в диапазоне возможных отклонений формы и размеров гильзы цилиндра.

Научную новизну работы представляют:

- уточненный метод расчета формы нейтральной линии поршневого кольца;
- аналитически обоснованная и экспериментально подтвержденная методика определения параметров силового замыкания сопряжения кольцо – гильза цилиндра.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке методики определения формы нейтральной линии поршневых колец, которая позволила отказаться от использования устоявшихся допущений и исключить существенную долю методических и вычислительных погрешностей. Полученные зависимости уточняют существующие представления о контактно-силовом взаимодействии кольца и гильзы и создают основу для аналитического прогнозирования работоспособности сопряжения на этапе проектирования.

Практическая значимость исследования заключается в применении методики определения параметров контактно-силового взаимодействия поршневого кольца с гильзой цилиндра и ее использование при проектировании поршневых колец, что способствует повышению их эксплуатационной надёжности и межремонтного ресурса ЦПГ ДВС в целом.

Методология и методы исследования.

Исследования выполнялись в соответствии с требованиями действующих нормативных документов (стандартов, технических регламентов и требований).

Методика проведения исследований основывалась на анализе базовых явлений, влияющих на долговечность деталей ЦПГ: лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания, вычислительные эксперименты, проводимые на современной материальной и теоретической базе.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Теоретическое обоснование методики расчета формы поршневых колец в свободном состоянии.

2. Теоретическое обоснование методики определения параметров силового замыкания сопряжения кольцо – гильза цилиндра.

3. Результаты аналитических экспериментов и стендовых и эксплуатационных испытаний.

Достоверность и обоснованность научных результатов диссертационного исследования обеспечивается:

1. Использованием фундаментальных законов теории упругости, механики твёрдого тела и соответствующих этим законам уравнений и граничных условий, а также современных аналитических и численных методов реализации математических моделей.

2. Применением для обоснования математических моделей достоверных данных, полученных автором в лабораторных и производственных условиях.

3. Экспериментальным подтверждением адекватности разработанных математических моделей контактно-силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра.

4. Удовлетворительной сходимостью результатов теоретических расчётов и экспериментальных исследований (расхождение не превышает 1,5 %).

5. Согласованностью основных положений работы с результатами исследований других авторов, опубликованными в открытой печати.

Апробация результатов исследования.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи «НТТМ-2011» награжден медалью и дипломом «Лауреат ВВЦ» (Приложение А);

- 30-м международном научно-техническом семинаре имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2017);
- International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control (DS ART 2019), 1 ноября 2019 г., Чолпон-Ата, Кыргызстан;
- 78-й международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (Москва, 2020);
- 79-й международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (Москва, 2021);
- конференции «Intelligent technologies and electronic devices in vehicle and road transport complex» (TIRVED 2021);
- 81-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (Москва, 2023);
- XXXVIII международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2025).

Публикации. По теме диссертации опубликована 21 научная работа, из них 2 работы опубликованы в изданиях, входящих в Перечень ВАК, 1 работа в изданиях, входящих в базу RSCI, 1 работа в изданиях, входящих в журналы индексируемые в международной базе научного цитирования Scopus, а также получены патент на изобретение (приложение В) и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (приложение Б).

Личный вклад автора.

Все основные идеи и разработки, положенные в основу метода расчета формы нейтральной линии поршневого кольца в свободном состоянии, и методика определения параметров контактно-силового взаимодействия поршневого кольца и гильзы цилиндра принадлежат автору.

Структуры и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, списка литературы, приложения. Объем диссертации составляет 111 страниц основного текста, содержащего 8 таблиц и 55 рисунков, список литературы содержит 72 источника отечественных и зарубежных авторов, 95 страниц приложений.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы реализованы и используются как в процессе производства, так и при проектировании новых типоразмеров поршневых колец в ООО «ППК», что подтверждается соответствующим актом внедрения. (Приложение Н).

Глава 1. Основные причины неудовлетворительной работы и выхода из строя ЦПГ

1.1 Состояние отечественного двигателестроения в настоящее время

Наличие собственного двигателестроения, не зависящего от поставок импортных комплектующих, является с одной стороны - одним из признаков промышленного развития государства, с другой – одним из элементов обороноспособности и продовольственной безопасности. Советский Союз входил в число промышленно развитых стран, имеющих развитое двигателестроение. Это обеспечивало независимость наиболее важных отраслей народного хозяйства, инфраструктурных объектов (сельское хозяйство, автомобильный, речной, морской и железнодорожный транспорт, автономная и резервная энергетика) и оборонной техники от зарубежных поставок.

По состоянию на сегодняшний день для всей широкой гаммы энерговооруженной техники поршневые двигатели являются практически безальтернативной энергетической установкой, благодаря чему объём отечественного производства высокооборотных поршневых двигателей для грузовых автомобилей, автобусов, сельскохозяйственной, военной и спец. техники в РФ составляет 180 тыс. шт. в год (денежный эквивалент около 80 млрд. рублей в год), для легковых автомобилей отечественных моделей - 650 тыс. штук в год (около 60 млрд. рублей). Отдельно необходимо отметить промышленные силовые установки энергетических машин, используемые в дизельных и газопоршневых генераторных установках (ДГУ и ГПУ), применяемых на морском, речном и железнодорожном транспорте, а также в качестве автономных источников электроэнергии. С учетом ситуации на внутреннем рынке автомобильной и колесной техники, можно с уверенностью прогнозировать устойчивый рост потребности в данных двигателях.

На сегодняшний момент при создании новых образцов энерговооруженной мобильной техники производители уже сталкиваются с проблемой при комплектации, что препятствует развитию, помимо прочих отраслей, сельскохозяйственного машиностроения и тракторостроения. Аналогичные

проблемы испытывает производство поршневых двигателей малой авиации, которые являются силовыми установками для более чем половины всех выпускаемых в мире летательных аппаратов.

В России в настоящее время практически отсутствуют предприятия, производящие промышленные среднеоборотные четырехтактные дизельные двигатели мощностью выше 7500 кВт, используемые в качестве главных силовых установок. Так же нет предприятий, производящих высокооборотные современные промышленные дизели в диапазоне мощностей 400 – 3000 кВт для судостроения, малой энергетики, транспортно-технологических средств и ряд других производств. Тем не менее, в ДВС данного семейства нуждаются производители автомобильной техники (Группа ГАЗ, СОЛЛЕРС, АвтоВАЗ), сельскохозяйственной, морской и речной техники, малая авиация (в том числе и беспилотная), производители электрогенераторов малой и средней мощности и т.д.

В частности, транспортное и сельскохозяйственное машиностроение остро нуждается в типоразмере дизельных двигателей 1 и 2 литра на цилиндр (ЯМЗ 530 – КАМАЗ КАММИНЗ и ЯМЗ 780 – КАМАЗ ЛИБХЕР), а также УДМЗ (СИНАРА), ЗВЕЗДА и Коломзавод (ТМХ) для судовых и тепловозных дизелей семейства ДМ 185, М150, Д300 и Д500.

В сложившейся ситуации одним из блокирующих факторов развития двигателестроения, в которой оказались некоторые предприятия нашей страны, является отсутствие производства базовых компонентов для существующих ДВС, в особенности наукоемких – деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), топливной аппаратуры, систем управления двигателем. И это ярко свидетельствует о необходимости интенсификации импортозамещения на рынке компонентов ДВС. И к этому есть свои предпосылки.

Так, касаемо деталей ЦПГ специалисты коллектива научно-исследовательской лаборатории поршневых и уплотнительных колец ФГОУ ВО «Вавиловский университет» имеют богатый опыт и обладают соответствующими компетенциями в области расчета и сопровождения производства поршневых колец. В частности, ранее ими осуществлялось научное и технологическое

сопровождение производства поршневых колец на КАМАЗе, ГАЗе, ПО ИЖМАШ, а также на таких специализированных предприятиях, как Макинский, Ставропольский, Мичуринский и Клинцовский заводы поршневых колец. Различные модификации двигателя КАМАЗ 740, укомплектованные кольцами, изготовленными по их расчетам и при их непосредственном участии на ЗД КАМАЗ были аттестованы на соответствие требованиям ЕЭК ООН вплоть до ЕВРО IV. Однако, под давлением корпорации Федерал Могул в настоящее время производства качественных поршневых колец в РФ практически не существует.

Подводя промежуточный итог следует констатировать, что в нашей стране имеется серьёзная проблема с поставками на двигателестроительные заводы наукоёмких комплектующих в целом и деталей ЦПГ – в частности. Собственного производства этих компонентов внутри страны просто нет, а импорт осложнен санкциями ЕС и США, как прямыми, так и вторичными.

1.2 Условия работы ЦПГ современных ДВС и тенденции развития требований к ее деталям

Эксплуатационная надёжность поршневых двигателей внутреннего сгорания напрямую зависит от качества деталей цилиндропоршневой группы, на которую, как известно [1], приходится почти половина (до 45%) отказов. Так же именно качество ЦПГ во многом определяет экономичность двигателя и его экологичность (чистоту выхлопных газов).

Наибольшее влияние на эти показатели оказывает контактно-силовое взаимодействие сопряжения гильза–поршневое кольцо-поршень, эффективность которого почти полностью определяется качеством и потребительскими свойствами поршневых колец, которые, не смотря на свою внешнюю простоту являются одними из самых значимых, наукоемких и сложных для производства деталей [7].

Отсутствие силового контакта между кольцом и гильзой приводит к возможности прорыва рабочих газов в картерную полость (рис. 1).

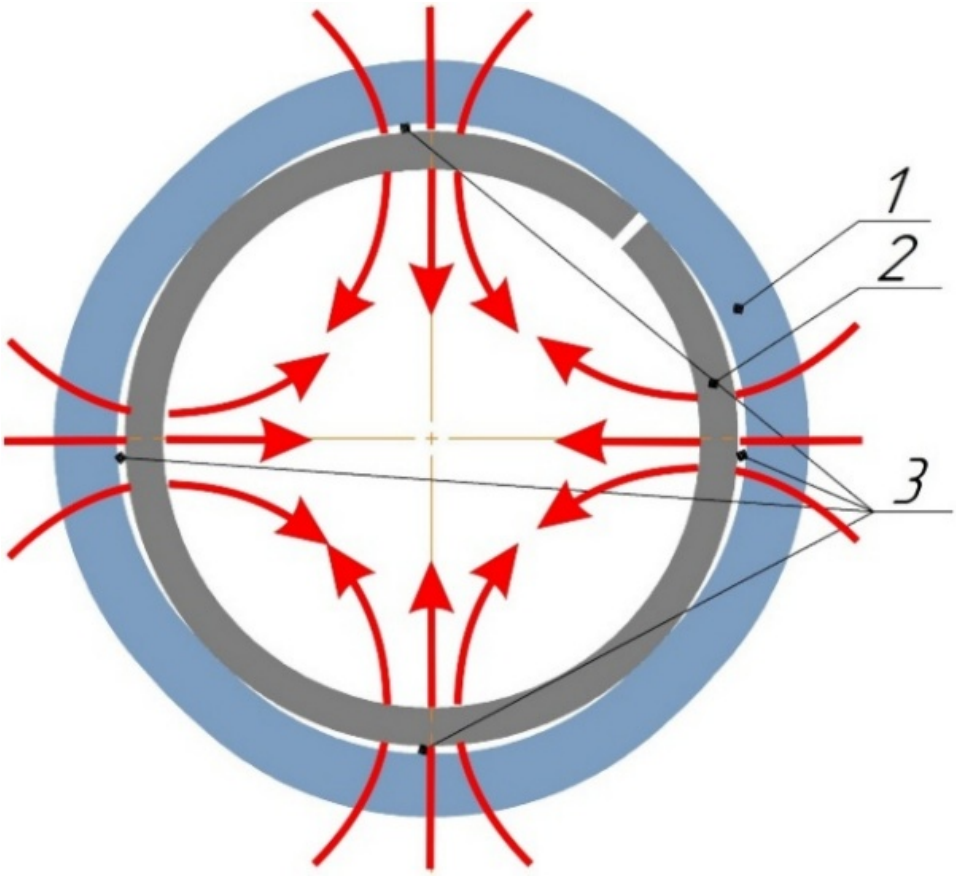


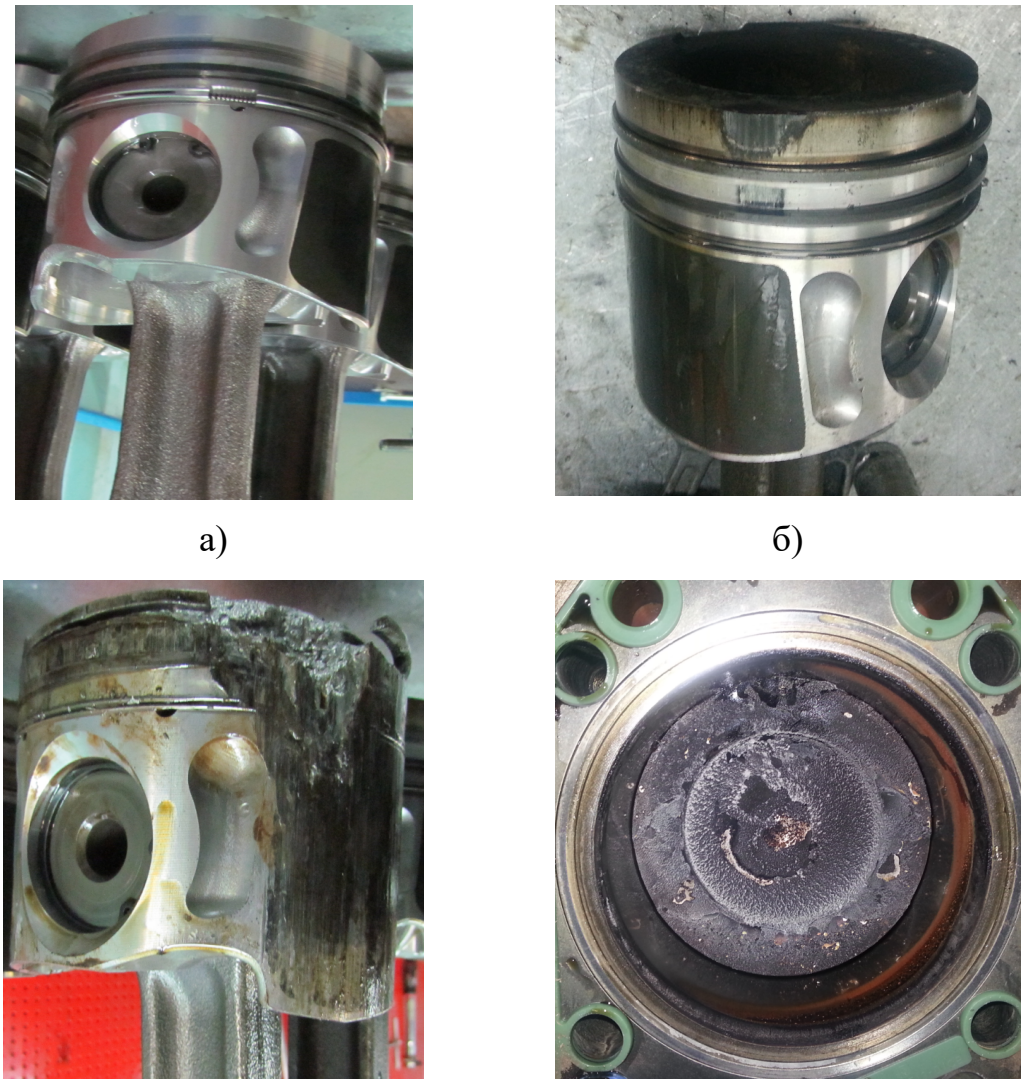
Рисунок 1 – Результат нарушения постоянства контактно-силового замыкания поршневого кольца и гильзы цилиндра

В результате этого явления в зазоре 3 (рис. 1), между кольцом 2 и гильзой 1 на этапе воспламенения рабочей смеси и рабочего хода поршня образуется кумулятивная «струя» горячих газов, приводящая к таким явлениям, как оплавление поршня, чрезмерный нагрев деталей ЦПГ, отложение нагара в камере сгорания со всеми вытекающими последствиями (рис. 2) и, как следствие, к утрате работоспособности двигателя в целом.

Как известно из многих источников [6, 10-13], поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания помимо основного своего назначения – герметизации полостей картера и камеры сгорания, выполняют целую гамму важных дополнительных функций:

- предотвращают сухое и граничное трение в сопряжении кольцо–гильза цилиндра посредством оптимального распределения смазочных материалов по рабочей поверхности гильзы;

- именно через поршневые кольца осуществляется теплоотдача от поршня к охлаждаемой гильзе;
- кольца позволяют избежать прямого трения поршня и гильзы, компенсируя неизбежные отклонения от соосности поршня во время его движения.



а) б)

в) г)

Рисунок 2 - Последствия прорыва газов через уплотнение кольцо-гильза
а – поршень в сборе с кольцами до эксплуатации; б – поршень с кольцами после наработки 50 часов со следами прорыва газов; в - оплавление поверхности поршней; г - отложения на поршнях

ЦПГ автотракторного двигателя внутреннего сгорания представлена на рисунке 3, а на рисунке 4 представлена ЦПГ промышленных дизелей в общем виде. Несмотря на некоторые конструктивные различия, в обоих случаях надежная работоспособность ЦПГ во многом определяется именно поршневыми кольцами.

Возложенные на поршневые кольца функции определяют предъявляемые к ним требования. Так, учитывая, что основная часть механических потерь в двигателе приходится именно на ЦПГ, то пара трения кольцо-цилиндр должна иметь возможно наименьший коэффициент трения. Это достигается минимизацией площади контактирующих поверхностей и применением специальных упрочняющих покрытий. Кроме того, упрочняющие покрытия призваны снижать износ колец, а правильно подобранные сочетания материалов кольца, гильзы цилиндра и поршня должны предотвращать интенсивный износ торцевых поверхностей канавок поршня и поверхность цилиндра. При этом упругие свойства поршневых колец не должны снижаться под воздействием рабочих температур в течении нормируемого срока эксплуатации.

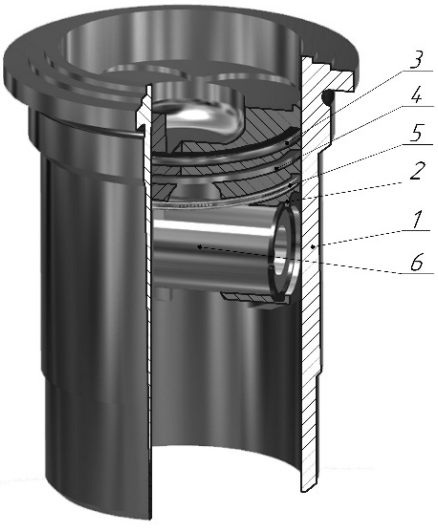


Рисунок 3 – Классическая комплектация ЦПГ современного автотракторного двигателя
1 –цилиндр; 2 – поршень; 3 – компрессионное поршневое кольцо, 4 – скребковое (маслосбрасывающее) поршневое кольцо, 5 –маслосъемное кольцо;
6 – стопорные кольца и поршневой палец

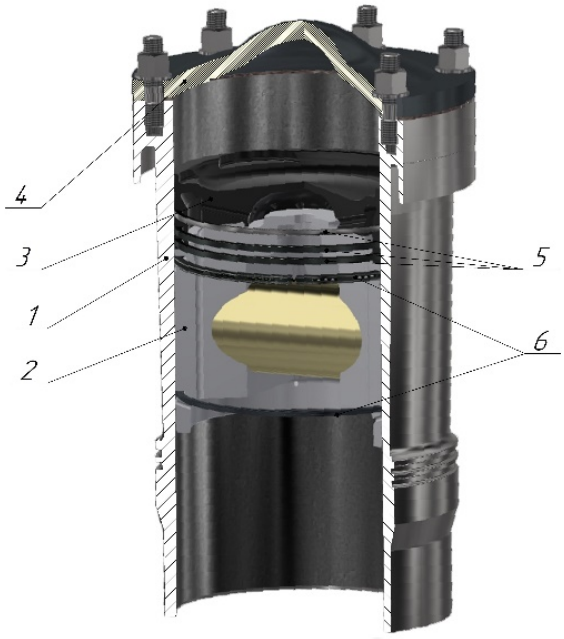


Рисунок 4 –ЦПГ промышленного дизеля Д–49
1 – гильза; 2 – базовая часть составного поршня; 3 – тронк; 4 – индивидуальная головка цилиндра; 5 – комплект из трех компрессионных поршневых колец; 6 – комплект из 2-х маслосъёмных колец

При этом необходимо понимать, что несмотря на то, что в контактно-силовом взаимодействии поршневого кольца и гильзы существенная роль принадлежит давлению газов в заколечном пространстве (рис. 5), они работают при условии непрерывности контакта (беспросветном прилегании кольца к цилиндру). В противном случае рабочие газы направляются в имеющийся «просвет» вызывая кумулятивный износ поршня, что будет показано ниже в настоящей работе.

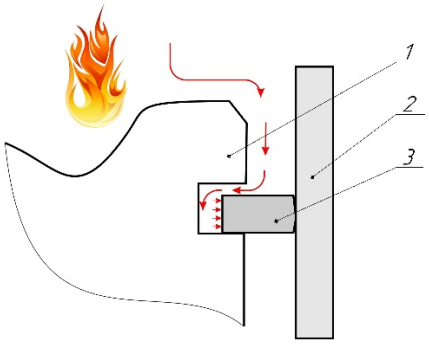


Рисунок 5 – Роль давления газов в обеспечении непрерывности контакта поршневого кольца и цилиндра
1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 –компрессионное кольцо

Современные тенденции развития энергетических установок для мобильной техники неуклонно требуют повышения показателей эффективности и роста удельной мощности при одновременном ужесточении экологических показателей.

На основании обзора литературы выявлено следующее. Основными качественными показателями силовых установок современной мобильной техники на ближайшую перспективу являются её экономическая эффективность, прежде всего обуславливаемая низким расходом топлива, и высокая надежность при нормативном ресурсе. Следовательно, в ближайшей перспективе сохраниться тенденция к форсированию двигателей, а это влечет за собой повышение термонапряженности деталей ЦПГ, что существенно влияет на упругие, а, следовательно, и эксплуатационные свойства поршневых колец.

На основании вышеизложенного можно сказать, что к поршневым кольцам современных ДВС, как к элементам линейного уплотнения, постоянно ужесточаются такие требования, как термическая и химическая стойкость, снижение коэффициента трения по чугуну (материалу гильзы), высокая износостойкость, сопротивляемость термомеханической усталости и коррозии. При этом поршневые кольца не должны приводить к интенсивному износу гильзы цилиндра и сохранять свои параметры в течении длительного срока эксплуатации.

Принимая тот факт, что основной причиной выхода из строя поршневых машин применительно к двигателям внутреннего сгорания является утрата герметичности полостей камеры сгорания и картера, основное требование, предъявляемое к поршневым кольцам – способность обеспечения надежного контакта в сопряжении кольцо-гильза цилиндра в течение всего срока эксплуатации ДВС. При этом контакт должен обеспечиваться не только в гильзе номинальных размеров и формы, но и в гильзе, имеющей отклонения от номинальных размеров в пределах монтажных и температурных деформаций и нормативных износов.

1.3 Основные причины неудовлетворительной работы и выхода из строя ЦПГ

Цилиндропоршневая группа современного двигателя внутреннего сгорания, работая в самых неблагоприятных условиях в ДВС, является ресурсо-определяющим элементом двигателя в целом (на примере дизеля ЯМЗ 236, рис. 6.). Как видно из рисунка 6 – большая доля отказов двигателя приходится именно на отказ деталей ЦПГ.

Детальный анализ условий работы поршневых колец представлен в [2, 3, 4]. Из этих работ очевидно, что на работоспособность ЦПГ в процессе эксплуатации ДВС существенное влияние оказывают крайне неблагоприятные условия её работы:

- высокое давление в камере сгорания (до 20 МПа, и имеет тенденцию к повышению);
- высокая температура поршневых колец в зоне трения поршневых колец в верхней мертвой точке (ВМТ), достигающая 350 °С;
- граничное (или полусухое) трение в зонах перекладки (смены направления движения) поршня.

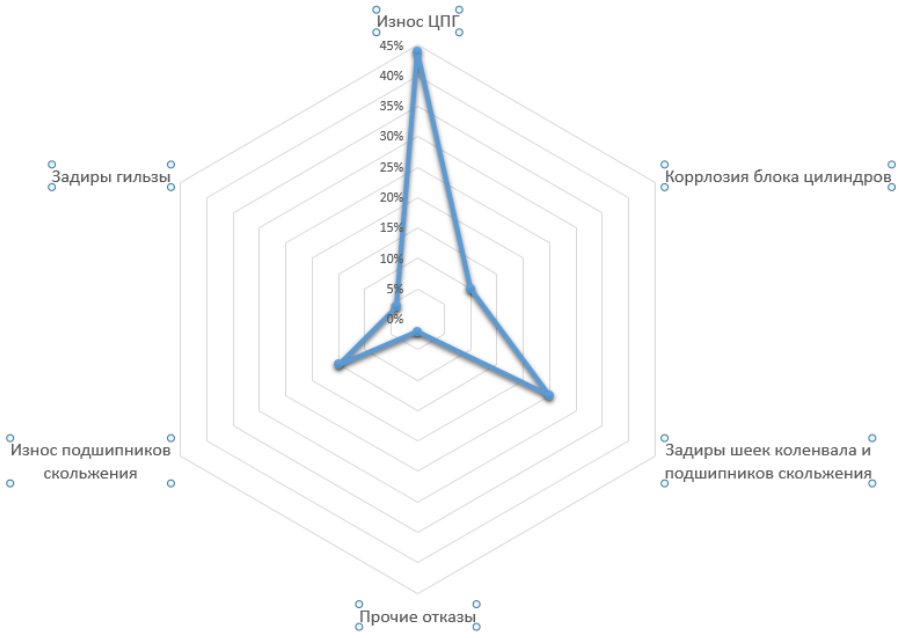


Рисунок 6 – Типичное распределение отказов современного двигателя

Именно условия работы ЦПГ являются причиной нарушения её нормальной работоспособности. Особенно сильно это проявляется при нарушении уплотнительной способности поршневых колец. В результате прорыва газов происходит сверхнормативное локальное нагревание поршня, что часто приводит к его оплавлению (рис. 2). Кроме того, прорыв газов в картерную полость приводит к изменению физико-химических свойств моторного масла и утрате им своих рабочих характеристик, что приводит к увеличению износа всех трибосопряжений двигателя. В то же время нарушение герметизации полости камеры сгорания приводит к попаданию в неё масла, которое сгорает вместе с топливом. Продукты горения масла оседают на стенках камеры сгорания, на головке поршня и в канавках под поршневые кольца, вызывая их закоксовывание и ухудшая теплоотвод. Следовательно, нарушение полноценного прилегания образующих поверхностей поршневых колец приводит к резкому изменению условий работы ДВС, ухудшению условий смазки, теплообмена и, в конечном итоге, к преждевременному выходу двигателя из строя.

Таким образом, основной причиной нарушения работоспособности ЦПГ является отсутствие нормального полноценного контакта образующей поверхности поршневого кольца и гильзы цилиндра. Для предотвращения этого необходимо, чтобы компрессионные кольца обладали не только 100%-й прилегаемостью к гильзе цилиндра, но и обладали приспособляемостью – способностью сохранять надежный непрерывный контакт с гильзой цилиндра, имеющей отклонения формы [5, 6, 7].

1.4 Основные производители и поставщики деталей ЦПГ, преимущества и недостатки их продукции

В Советском Союзе производство наукоемких деталей двигателей внутреннего сгорания, к которым относятся и поршневые кольца, осуществлялось на специализированных заводах таких как:

- Мичуринск – 2 завода – прекратили существование с 2004 года;
- Ставрополь (ОАО СтапРи) – существует на грани банкротства).
- Лебедин, Украина.
- Макинск – северный Казахстан – прекратил существование.
- Клинцы – Брянская область, – балансирует на грани банкротства, компетенции утрачены, продукция спросом не пользуется.
- Петушки – завод СТАКОЛ, прекратил существование.

Помимо специализированных заводов, в советские времена практически каждый производитель двигателей имел и собственное производство деталей ЦПГ и поршневых колец – в частности. Так, в составе собственного производства линии по производству поршневых колец имели:

- ВАЗ;
- ГАЗ;
- ЗИЛ;
- ИжМаш;
- КАМАЗ;
- ЯМЗ.

И это далеко не полный перечень имевшихся производств.

Следует отметить, что поршневое кольцо обладает рядом свойств, требующих серьёзного научного сопровождения производства. И в Советском союзе, помимо занимавшегося проблемой расчета поршневых колец НАМИ, существовали две серьезные и востребованные научные школы в области расчета и проектирования поршневых колец:

- Одесский конструкторско-технологический институт по поршневым кольцам (ОКТИПК);
- Лаборатория поршневых и уплотнительных колец при Саратовском институте механизации сельского хозяйства (сегодня – Вавиловский университет, г. Саратов).

Эти два научных центра осуществляли расчет формы поршневых колец, изготовление формообразующей оснастки и авторский надзор за изготовлением поршневых колец всеми производителями, кроме Волжского автомобильного завода, на котором действовали цеха по производству, построенные по лицензии японской компании Riken, которая и осуществляла научное сопровождение.

В настоящее время в России работают:

- МОТОРДЕТАЛЬ – ЗАО «Костромской завод автокомпонентов» под патронажем и на заготовках «Kolbenschmidt», несмотря на широкую гамму выпускаемых поршневых колец, квалифицированных инженеров и конструкторов не позволяет выпускать продукцию, соответствующую техническим условиям. Спрос на продукцию определяется дефицитом на рынке. Подтверждением тому является тот факт, что ни один из производителей двигателей не использует продукцию данного предприятия при первичной комплектации;
- Клинцовский завод поршневых колец использует крайне устаревшую технологию, которая не позволяет выпускать конкурентоспособную, отвечающую современным требованиям продукцию;
- По праву флагманом отечественного производства деталей ЦПГ является совместное предприятие Federal Mogul Набережные Челны, однако, вместо обещанного Американской корпорацией современного производства данное предприятие работает на устаревшем оборудовании под патронажем американского соучредителя. При этом заготовка поставляется из-за рубежа. Копиры изготавливаются так же за пределами РФ. Данное предприятие выпускает только 1 типоразмер колец для семейства дизелей КАМАЗ 740 и не имеет перспектив развития.

Результатом произошедших после распада СССР изменений в данной отрасли практически все оставшиеся в РФ производители двигателей перешли на комплектацию цилиндропоршневой группы деталями импортного производства, преимущественно компаний, входящих в корпорацию Federal Mogul (США). Изначально этот подход приветствовался под эгидой повышения качества, однако, в условиях санкций в отношении РФ со стороны США и их союзников появились

как отказы от поставок поршневых колец в адрес отечественных двигателестроителей (например, со стороны «Piston Ring Manufacturer Prima Co», Польша), так и поставки деталей заведомо низкого качества (например, со стороны Federal Mogul, США), особенно в части комплектующих высокофорсированных дизелей и газовых двигателей. В результате сокращается объем выпуска современных двигателей, широкая гамма поршневых машин комплектуется деталями, заведомо не удовлетворяющими требованиям чертежей и ТУ, часто под угрозой срыва находится выполнение оборонного заказа, что ставит под угрозу, в том числе, и обороноспособность страны.

Кроме того, постоянно обсуждается перевод отечественной автотракторной техники на двигатели импортного производства. Так, компания Cummins Inc. (США, с производством, размещённым в Китае) на протяжении ряда лет предлагает свои дизели ПАО «КАМАЗ», ГАЗ и ряду производителей сельхозтехники, что может привести к полной утрате отечественного двигателестроения.

Переход на импортные комплектующие в двигателестроении серьезно ударил по отечественному станкостроению.

В результате в РФ сложилась проблемная ситуация, заключающаяся в противоречии между потребностью отечественного двигателестроения в надежных поставках наукоёмких комплектующих, в частности, деталей ЦПГ, и отсутствии такого поставщика внутри страны.

Положительным моментом в сложившейся ситуации является то, что в РФ сохранились носители требуемых знаний и компетенций, имеющих большой позитивный практический опыт в области расчета поршневых колец, технологической оснастки и их внедрения на вышеперечисленных заводах.

Практический опыт разработки и внедрения в массовое и серийное производство технологических процессов производства поршневых колец большой гаммы назначений и размеров, наличие собственных программных комплексов и опыта расчета как геометрических параметров нейтральной линии поршневых колец в свободном состоянии, так и специфической технологической оснастки для их изготовления, (включая монтажные шаблоны для отливок и

копиры) и технологией нанесения металлокерамических упрочняющих покрытий гальваническим методом, владения методами контроля требуемых параметров поршневых колец и опыта литья высококачественных заготовок является потенциалом, не использование которого в настоящее время неизбежно приведет к окончательной утрате данной технологии в РФ, зависимости отечественного двигателестроения от импорта.

1.5 Анализ существующих методов расчёта поршневых колец и оценки параметров их силового взаимодействия с гильзой цилиндров

Как уже было отмечено выше – для надежного функционирования двигателя внутреннего сгорания поршневые кольца должны обеспечивать постоянство силового контакта в сопряжении с гильзой, в том числе и имеющей отклонение от номинальных размеров и формы. Обеспечить такое положение сопряжения можно только имея кольцо строго определенной формы.

К расчету формы поршневых колец в свободном состоянии обращались многие ученые и инженеры. Родоначальником этих расчетов принято считать К. Рейнхарда [8], который ещё в 1901 году на основании системного научного подхода и глубокого анализа производственных данных впервые предложил обоснованную методику расчета. В отечественной технической литературе начала 20 века к данной теме обращались такие ученые, как Гюльднер, Лювов, Геллер, Дуббель, Хельт, Девилльер, Хрущев, Клименко, Островский и др. Однако, все они (часто опуская описательную часть) приводят формулы и справочные таблицы Рейнхарда.

За рубежом в это время над вопросом расчета формы поршневых колец активно работали такие ученые, как Прескотт, Мелдах, Арнольд, К. Энглиш и другие [9 – 15].

Обширный обзор существующих до середины прошлого века методов расчета формы поршневых колец в свободном состоянии, включающий их полный анализ, был выполнен Загребиным Г.Г. [16, 17].

В это время в Советском союзе на специализированных заводах (Макинский, Мичуринский и Одесский заводы поршневых колец) использовались приближённые эмпирические методы расчета [18].

Суть этих методов (с некоторыми несущественными отличиями) сводилась к построению контура кольца дугами окружностей (рис. 7), центры которых находятся на одной линии (оси «спинка кольца» – «замок»), а расстояния между центрами и радиусы дуг определяются эмпирически исходя из номинального диаметра *Dn*, радиальной толщины кольца *t*, осевой высоты кольца *b,* требуемой упругости кольца *Q* и модуля упругости материала кольца *E*.

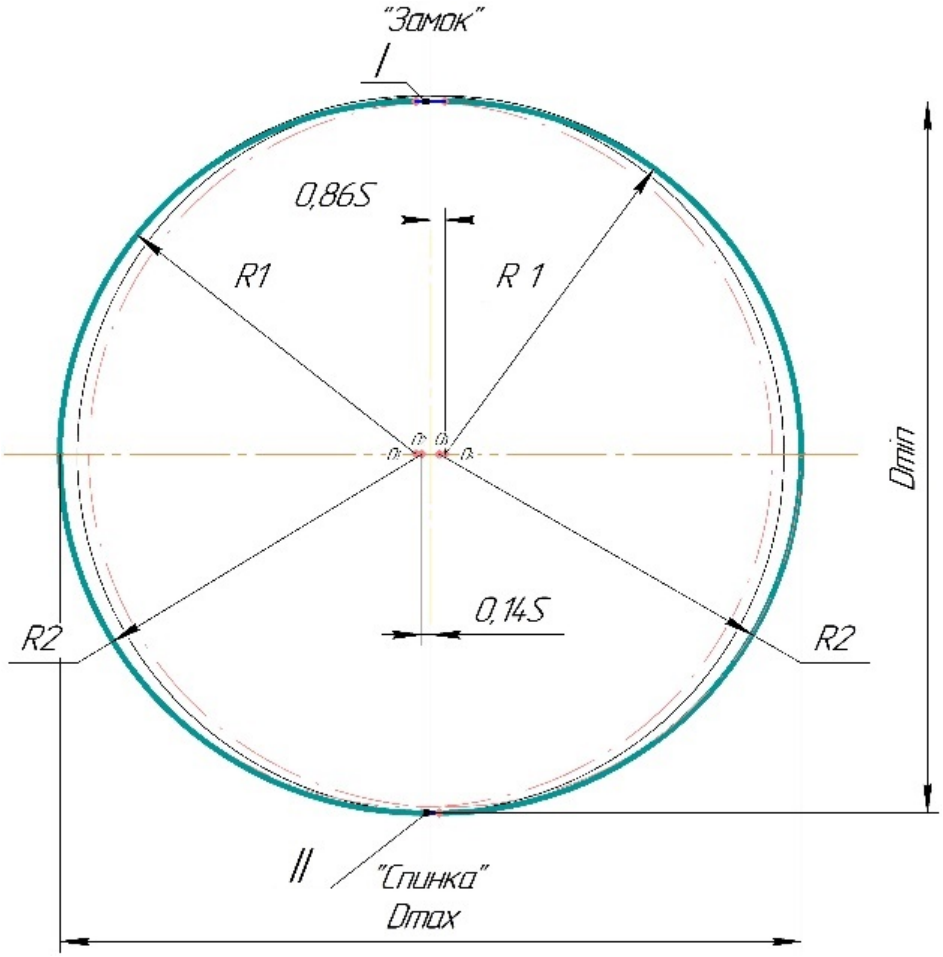


Рисунок 7 – Расчетная схема построения осевой линии кольца

При этом методе расчета вначале определялся наибольший диаметральный размер поршневого кольца *Dmax*:

$$Dmax = k\frac{Q}{E \cdot b}\left(\frac{Dn}{t} - 1\right)^3 + Dn, \quad (1)$$

где: k – эмпирический коэффициент, величина которого варьируется в пределах 2,05…2,48.

Радиусы дуг окружностей, соответственно, определяются по следующим зависимостям:

$$R_1 = R_{max} - 0{,}86S \quad (2\ а)$$

$$R_2 = R_{max} - 0{,}14S, \quad (2\ б)$$

где Rmax определяется по следующей зависимости:

$$R_{max} = \frac{D_{max}}{2} \quad (3)$$

После чего построение ведется согласно схеме, представленной на рисунке 7. Естественно, к такому способу построения на сегодняшнем уровне развития теории поршневого кольца относиться нельзя. Тем более, что результат такого построения содержит 2 прямолинейных участка – I и II, что неприемлемо, так как в этих точках будет точечный контакт готового кольца и гильзы.

Соответственно, использование этих методов не позволило получать кольца с заданными параметрами, а тем более кольца с требуемыми овальностью и эпюрой распределения радиальных давлений (ЭРД).

Следующим серьезным этапом в развитии методики расчета формы поршневых колец в свободном состоянии явились труды проф. Гинцбурга Б.Я. [5, 6, 7]. Именно он обосновал и вывел аналитическую зависимость, связывающую форму осевой линии кольца в свободном состоянии от основных параметров кольца – номинального радиуса осевой линии r_n, массо-инерционных характеристик сечения кольца *J и b* и необходимой эпюры радиальных давлений кольца на поверхность гильзы *p(ϕ)*:

$$\frac{EJ}{br_n^4}\left[\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi)\right] = p(\varphi) \quad (4)$$

Поясним его решения данной задачи на рисунке 8.

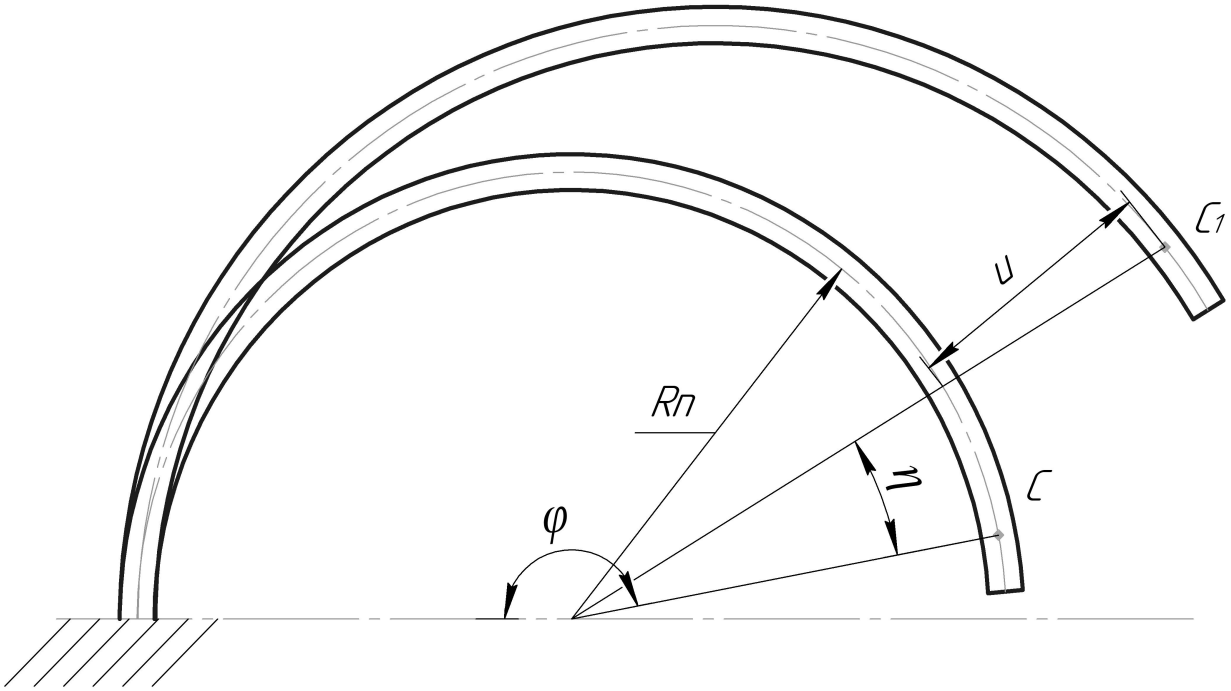


Рисунок 8 – Графическая интерпретация величин, входящих в уравнение 6

На этом рисунке *C* и C_1– положение точки нейтральной линии поршневого кольца с угловой координатой в сжатом положении φ˚ в сжатом в круг и в свободном состоянии соответственно; η и u – величины поворота и радиального перемещения *C* при переходе кольца из свободного положения в сжатое.

Так же, профессор Гинцбург предложил аппроксимировать ЭРД тригонометрическим полиномом (фрагментом тригонометрического ряда Фурье), используя при этом первые 12 членов.

$$g_\varphi = g_0(1 + 0{,}205\cos 2\varphi - 0{,}571\cos 3\varphi + 0{,}472\cos 4\varphi - 0{,}322\cos 5\varphi + \\ + 0{,}279\cos 6\varphi - 0{,}267\cos 7\varphi + 0{,}286\cos 8\varphi - 0{,}214\cos 9\varphi + \\ + 0{,}178\cos 10\varphi - 0{,}177\cos 11\varphi + 0{,}094\cos 12\varphi). \quad (5)$$

Однако, учитывая, что уравнение 4 не имеет аналитического решения относительно перемещений *u*, а численные методы требовали больших мощностей вычислительной техники, недоступных на момент получения данной зависимости, профессор Гинцбург Б.Я. ограничился эмпирическим приблизительным решением (формулы 6, 7), содержащих в своем составе достаточно большие погрешности:

$$u(\varphi)=\frac{g_o R^4}{EJ}\left[1+\frac{1-\xi}{2}(\varphi)\cdot\sin\varphi+\sum_{n=2}^{12}\frac{1}{\left(n^2-1\right)^2}\cdot\frac{g(\varphi)}{g_o}\cos n\cdot(\phi)\right], \quad (6)$$

$$\eta=\frac{g_o R^3}{EJ}\left[\varphi-\frac{1-\xi}{2}\varphi\cdot\cos\varphi+\frac{1-\xi}{2}\sin\varphi+\sum_{n=2}^{12}\frac{1}{n\left(n^2-1\right)^2}\cdot\frac{g(\varphi)}{g_o}\sin n\cdot\varphi\right], \quad (7)$$

Таким образом, данная методика расчета являлась весьма прогрессивной, но не нашла применения в практических целях в силу больших сложностей вычислений, а упрощенные эмпирические зависимости 6 и 7 вносили в результаты вычислений неприемлемо большие погрешности.

Еще одним направлением расчета формы поршневого кольца было использование энергетических методов расчета, сводящихся к использованию интеграла Мора (рис. 9). Его использовали многие авторы [18, 19, 20]. Данный метод расчета основан на работе, совершаемой внешними силами, действующие на систему и опирается на теоремы Бетти (о взаимности работ) и Максвелла (о взаимности перемещений).

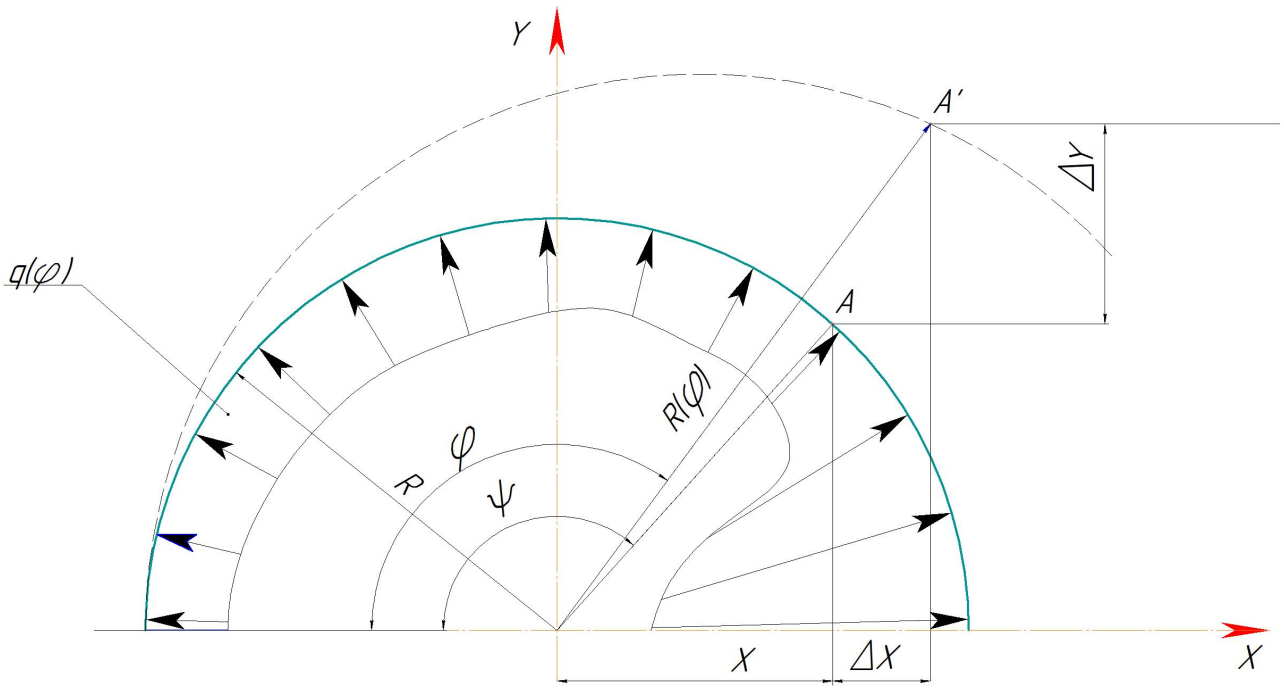


Рисунок 9 – Расчетная схема вычисления положения осевой линии кольца с использованием интеграла Мора

Данный интеграл позволяет вычислять как линейные, так и угловые перемещения любой точки кольца:

$$\Delta = \frac{1}{EJ}\int_S M \cdot \overline{M} \cdot dS, \tag{8}$$

где

Δ – линейное или угловое перемещение точек сечения периметра поршневого кольца;

EJ – жесткость кольца;

M – изгибающий момент в произвольном сечении кольца от заданного распределенного радиального давления q_ψ;

$\overline{M}$ – изгибающий момент в произвольном сечении от единичного силового фактора на контуре кольца;

S – длина дуги кольца.

При этом требуемое распределение давлений кольца на стенки цилиндра задается полиномом вида (5), или, в общем виде:

$$g_\psi = p_0 + \sum_{n=2}^{k} g_n \cdot \cos(n \cdot \psi) \tag{9}$$

Значение интеграла, в итоге, определяется по зависимости 10:

$$M_\psi = g_0 R\left[1 + (1 - a\zeta)\cdot\cos\psi + a\sum_{i=2}^{12}\frac{1}{i^2 - 1}\cdot\frac{g_\psi}{g_0}\cos n\cdot\psi\right], \tag{10}$$

Тогда, в соответствии со схемой (рис. 9), изгибающие моменты по интересующим нас перемещениям точек нейтральной линии кольца в диапазоне угловых координат $\varphi \le \psi \le \pi$ определятся по следующим формулам:

$$\overline{M}_y = 1 \cdot R \cdot (\cos\varphi - \cos\psi) \tag{11}$$

$$\overline{M}_x = 1 \cdot R \cdot (\sin\psi - \sin\varphi) \tag{12}$$

А, зная значения моментов от единичных сил, используя зависимость (8), авторы получили перемещения точек нейтральной линии кольца по координатам *X* и *Y*:

$$x = R(1-\cos\psi) + \frac{g_0 R^4}{EJ}\left(1-\psi\cdot\sin\psi-\frac{\sin^2\psi}{2}-\cos\psi\right), \quad (13)$$

$$y = R\cdot\sin\psi + \frac{g_0 R^4}{EJ}\left(\frac{\psi}{2}+\sin\psi-\psi\cdot\cos\psi-\frac{1}{4}\cdot\sin 2\psi\right), \quad (14)$$

Несмотря на простоту и доступность метода, согласно оценке, данной в работе [21], погрешность метода не может быть менее 20%, что неприемлемо в современных условиях.

Наиболее приемлемой и распространенной методикой расчета до последнего времени в нашей стране являлась методика расчета формы кольца в свободном состоянии, предложенная проф. Александровым А.Я. [22, 23], нашедшая своё продолжение в [24].

Данная методика основана на решении уравнения изгиба кривого бруса малой кривизны [25]:

$$\frac{1}{R}-\frac{1}{\rho}=\frac{M}{E\cdot J}\ , \quad (15)$$

где:

R – радиус нейтральной линии поршневого кольца; ρ – радиус кривизны нейтральной линии кольца в свободном состоянии; M – изгибающий момент в текущей точке; J – массо-инерционная характеристика сечения бруса; E – условный модуль упругости.

Расчетная схема этого метода представлена на рисунке 10.

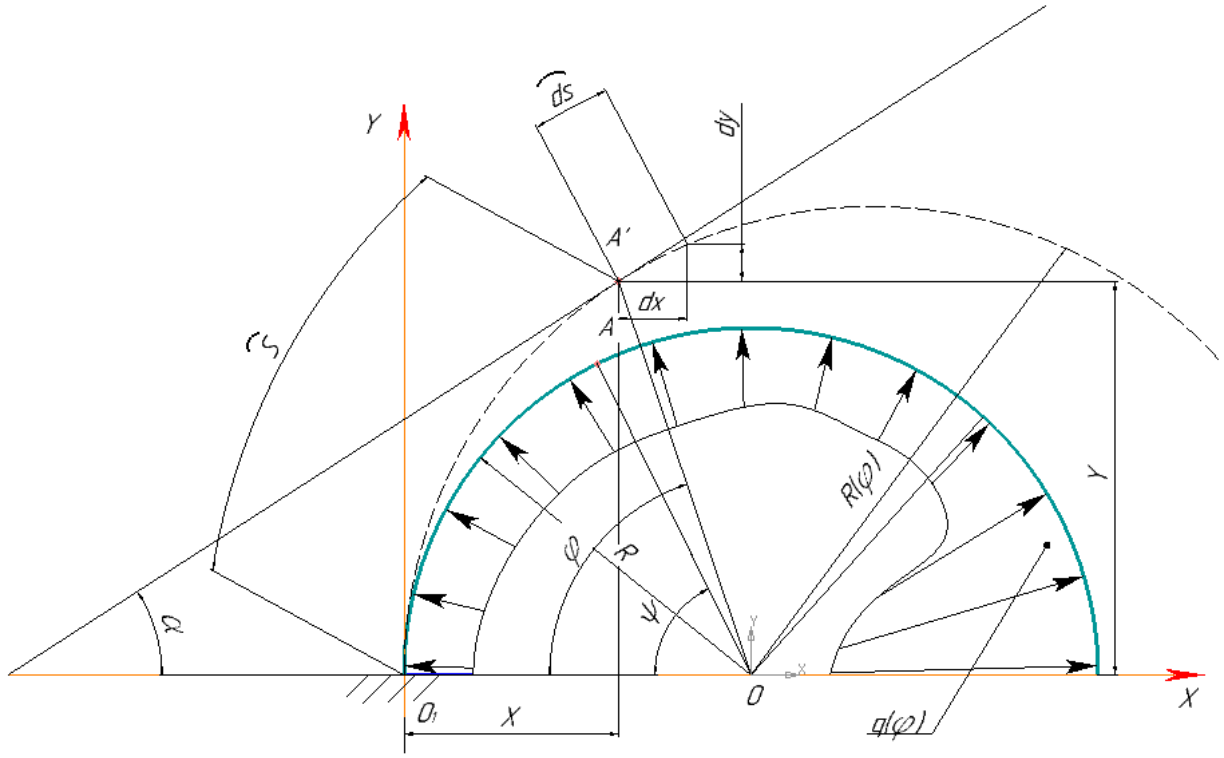


Рисунок 10 – Расчетная схема вычисления положения осевой линии по методу, предложенному проф. Александровым А.Я. [22, 23]

α – угол между касательной к осевой линии поршневого кольца в свободном состоянии и осью x; S – длина осевой линии кольца от начала отсчета до касательной; dS – приращение длины дуги; O – центр полярной системы координат; O_1 – середина спинки поршневого кольца по осевой линии; β – угол между нормалью к осевой линии и осью x; ψ – угловая координата точек осевой линии сжатого кольца; φ – угловая координата точек осевой линии кольца в свободном состоянии; x, y – координаты точек осевой линии поршневого кольца в свободном состоянии; dx, dy – приращение координат точек осевой линии кольца

Суть метода заключается в следующем:

В зависимости от требуемой упругости колец в зависимости от вида её задания среднее удельное давление *P* определяют по одной из формул:

$$P = 2 \cdot \frac{Q}{b \cdot D}, \text{ где:} \quad (16)$$

Q – радиальная упругость кольца;

$$P = \frac{0.76 \cdot Q_m}{b \cdot D}, \text{ где:} \quad (17)$$

Qm – тангенциальная упругость кольца;

После этого определяют изгибающие моменты по периметру кольца:

$$M(\varphi) = \int_{\varphi}^{\pi} R \cdot \sin(\psi - \phi) \cdot p_{\psi} d\psi \quad \text{, где:} \tag{18}$$

P_{ψ} – погонная нагрузка в точке нейтральной линии кольца с угловой координатой у, определяемая с помощью следующего полинома:

$$p\psi = P(1 + a_1 \sum_{k=2}^{12} a_k \cos(k \cdot \psi)) \text{, где:} \tag{19}$$

P_{φ} – функция распределения ЭРД;

a_1 – коэффициент, характеризующий форму ЭРД;

$a_к$ – коэффициенты полинома.

у – угловая координата кольца, °;

P – средняя погонная нагрузка кольца.

После чего, используя зависимость 20 определяли радиусы кривизны кольца:

$$\rho(\varphi) = \frac{R_n \cdot E \cdot J}{E \cdot J - M(\varphi) \cdot R_n} \tag{20}$$

Далее (см. рис. 8) определяли угол наклона α касательной к нейтральной линии кольца в текущей точке:

$$\alpha(\phi) = \int_{0}^{\phi} \frac{R_n}{\rho(\phi)} d\phi + \frac{\pi}{2} \tag{21}$$

После чего по формулам 22 и 23 определялись декартовы координаты точек нейтральной линии кольца в свободном состоянии:

$$x(\phi) = \int_{0}^{\phi} -R_n \cdot \cos(\alpha(\phi)) d\phi \tag{22}$$

$$y(\phi) = \int_0^{\phi} R_n \cdot \sin(\alpha(\phi))d\phi \tag{23}$$

Соответственно, полярные координаты и углы этих точек определяли по формулам 24 и 25:

$$Rsk(\phi) := \sqrt{(R_n - x(\phi))^2 + y(\phi)^2}\ , \tag{24}$$

$$\gamma(\phi) := a\cos\left(\frac{R_n - x(\phi)}{Rsk(\phi)}\right), \tag{25}$$

Однако и этот метод не идеален, поскольку численные методы вычисления декартовых координат имеют большие погрешности при величине угла наклона касательной, близкой к 0°.

При этом методики расчета формы поршневых колец в свободном состоянии до последнего времени были недоступны. В последнее время появились публикации [26] со ссылкой на [27], в которой приводятся расчетные формулы, используемые западными производителями, в частности – корпорацией *Federal Mogool* (входящие величины пояснены на рис. 11)

$$\frac{x}{r_m} = cos\varphi + K(\varphi \cdot sin\varphi + \frac{sin^2\varphi}{2} + cos\varphi - 1) \tag{26}$$

$$\frac{y}{r_m} = sin\varphi + K(\frac{\varphi}{2} + sin\varphi - \varphi \cdot cos\varphi - \frac{sin\varphi cos\varphi}{2}), \text{ где:} \tag{27}$$

K – характеристический параметр кольца, определяемый по одной из формул (28 … 31):

$$K = 12\frac{p_0}{E}\left(\frac{r_m}{g_p}\right)^3 \tag{28}$$

$$K = \frac{p_0 h_p r_m^3}{E \cdot J} \tag{29}$$

$$K = \frac{F_t r_m^2}{E \cdot J} \tag{30}$$

$$K = \frac{3 \cdot (d - g_p) \cdot F_t}{E \cdot h_p \cdot g_p^3} \tag{31}$$

$$K = \frac{m}{3 \cdot \pi r_m} \tag{32}$$

Несложные математические вычисления показывают, что характеристический параметр кольца меняется в незначительных пределах, а итоговые зависимости носят чисто эмпирический характер. Следовательно, назвать эти формулы точными нельзя, и они не дают физического понимания взаимосвязи формы кольца в свободном состоянии с такими параметрами готового кольца, как распределение давления, упругость и овальность. Соответственно, их использование в практических целях не целесообразно.

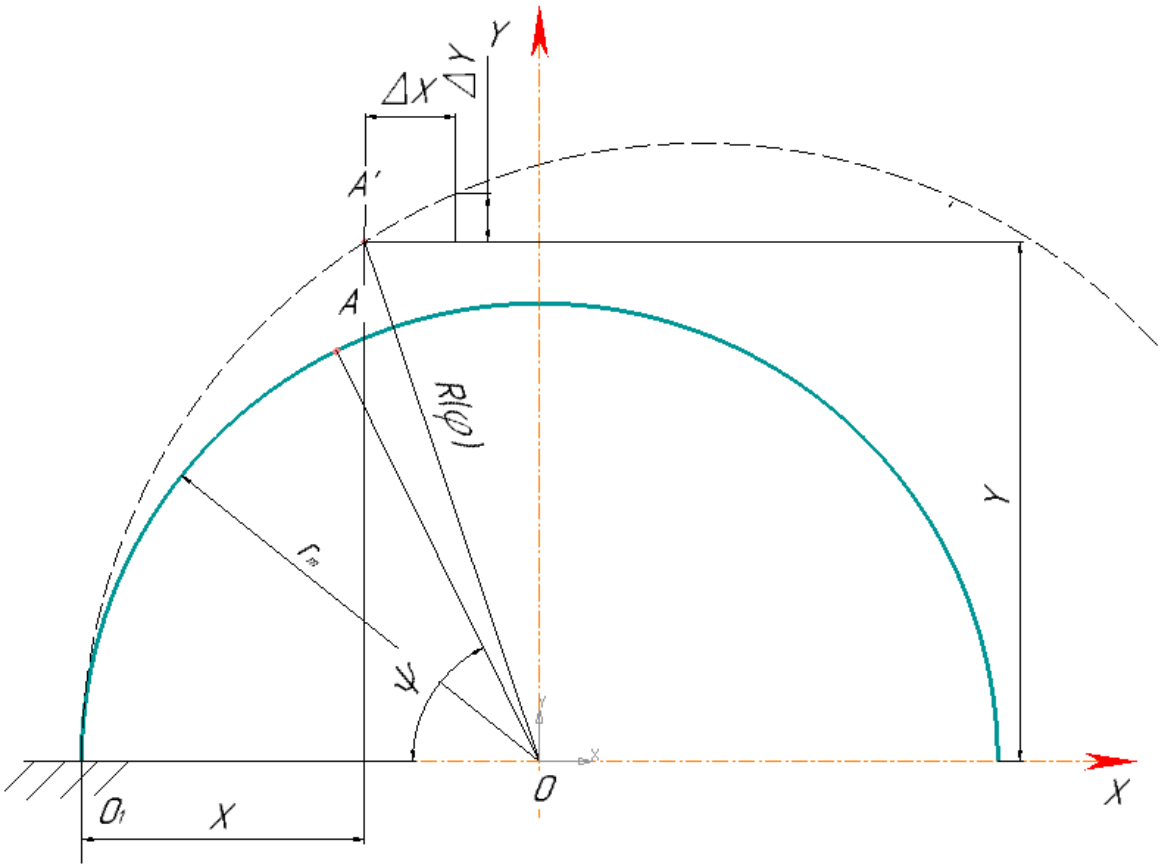


Рисунок 11 – Расчетная схема вычисления положения осевой линии по методу, опубликованному *A. Iskra* [27]

В качестве промежуточного вывода по разделу следует отметить, что из имеющихся в открытой печати методов определения формы кольца в свободном состоянии наиболее достоверными являются методы проф. Александрова А.Я. и

Гинцбурга Б.Я., но и они содержат численные методы, вносящие погрешности в результаты расчета. При этом, как было отмечено ранее надежная герметизация требует не только полного «беспросветного» контакта между кольцом и цилиндром, но и в целях обеспечения приспособляемости, при обеспечении требуемого строго определенного распределения радиальных давлений кольца на стенки цилиндра. Обеспечить выполнение этих условий может только одна единственная строго рассчитанная форма нейтральной линии кольца [14]. Оставив в стороне вопрос технологического воспроизведения расчетной формы, стоит обратить, что мало изготовить кольцо, прилегающее без просвета к гильзе цилиндра за счет сил собственной упругости, необходимо обеспечить надёжный силовой контакт между кольцом и гильзой в случае деформации последней.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что если относительно приемлемую с точки зрения точности методику расчета формы нейтральной линии можно найти в открытой печати, то решение обратной задачи, то есть определения параметров контактного давления между кольцом и цилиндром по форме кольца в свободном состоянии до настоящего времени не решена.

Вместе с тем, согласно [1, 28 - 33] гильза цилиндров в большинстве случаев имеет отклонения как от номинального размера, так и от формы (как в продольном, так и в поперечном сечениях).

В общем случае, отклонения формы могут быть в виде овальности, огранки, конусности, бочкообразности (рис. 12).

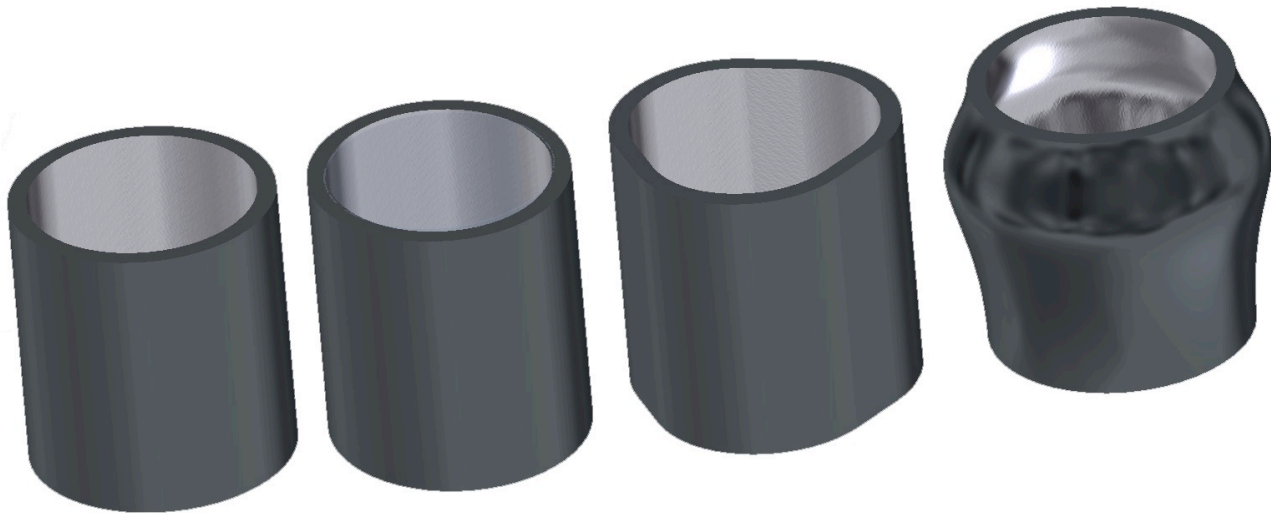


Рисунок 12 – Наиболее распространенные отклонения формы гильз цилиндров

Причинами этих отклонений являются как технологические погрешности, возникающие в процессе изготовления гильзы, так и отклонения, возникающие под воздействием температуры, монтажных напряжений и в следствии износа в процессе работы.

Решением задачи обеспечения надёжного силового контакта между кольцом и гильзой в случае деформации последней в разное время занимались многие ученые. Очевидно, впервые эту проблему обнародовал К. Энглиш [12, 13]. Но решить задачу он не смог по различным, не зависящим от него причинам.

Частично, применительно к круглому цилиндру эту задачу пробовал решить в своих трудах профессор Гинцбург [5, 6 и 7]. Сформулировав задачу и предпринимая попытки её решения ему принадлежит формулирование понятия приспособляемости поршневого кольца как «их способности без просветов прилегать к искаженной форме цилиндров» [5, 6 и 7]. Однако, он не смог решить не имеющего аналитического решения уравнения изгиба кривого бруса (дифференциальное уравнение четвертого порядка), остановившись лишь на формулировании задачи.

Первое адекватное решение этой задачи, по мнению автора, представлено Егурновым Н.В. и Симдянкиным А.А. в работах [35, 36]. Эти ученые использовали нестандартный подход – они применили к решению задачи модель упругого

основания Винклера. С таким дополнением в виде реакции упругого основания уравнение 4 приняло следующий вид:

$$u(\varphi) + 2\frac{d^2u}{d\varphi^2} + \frac{d^4u}{d\varphi^4} = \frac{r^4}{EJ}[p(\varphi) - q(\varphi)] \quad (33)$$

Где: q(φ) – реакция цилиндра, представляющего собой, согласно принятой модели, упругое Винклеровское основание [37] с коэффициентом постели k и определяемое по следующей зависимости:

$$q(\varphi) = k \cdot (r(\varphi) - R_{\text{г}}(\varphi)), \text{ где:} \quad (34)$$

$r(\varphi)$ – форма наружной поверхности кольца;

$R_{\text{г}}(\varphi)$ – форма внутренней поверхности гильзы цилиндра.

При этом авторам удалось удачно формализовать задачу и получить универсальный механизм. Так, полагая основание жестким (задав k=0), и необходимую ЭРД решение уравнения 33 относительно $u(\varphi)$ авторы получали классическое решение задачи определения точек нейтральной линии кольца в свободном состоянии. А вот напротив, решая это уравнение относительно реакции опоры, заложив определенное значение коэффициента постели и заданные форму нейтральной линии кольца в свободном состоянии – авторы получили решение контактной задачи. На момент опубликования эти работы явились откровенным прорывом. Но, попытки практически использовать их результаты не увенчались успехом. Дело в том, что метод имел погрешность, неприемлемую при сегодняшних требованиях. Решение прямой и обратной задачи дает расхождение как минимум в 10%, что свидетельствует о недостоверности метода и накладывает ограничения на его практическое использование.

Чисто эмпирическое решение было предложено в работе [26]. Однако, использование чисто эмпирических зависимостей серьезно подрывает доверие к результатам. Воспроизвести их в данной работе не удалось.

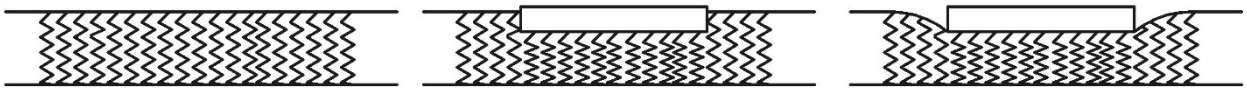
В работах [38 – 43] авторы так же используют преимущественно численные эмпирические модели, используя в том или ином виде одни и те же зависимости с

большим количеством допущений, что приводит к серьезным погрешностям, не позволяющим использовать их методы для практического применения.

Таким образом, наиболее приемлемое решение задачи моделирования контактно-силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра дано в работах [35, 36]. Очевидно, что высокая погрешность (11%), [70] предопределена не корректным выбором авторами модели упругого основания. Выбранная ими модель имеет ряд допущений, неприемлемых в решаемой задачи. Так, согласно гипотезе Винклера основание является упругим и линейно-деформируемым. Но, если эти допущения и применимы к грунтам, то металлы, и чугун (а именно из чугуна изготавливаются гильзы цилиндров), в частности, этим допущениям не соответствует.

Тем более не соответствует металлам допущение, на основании которого Винклер пренебрег касательными реакциями по поверхности контакта. Это может быть реально в сыпучих грунтах, и то с оговорками. Для чугуна это допущение не приемлемо. С остальными допущениями, такими, как равномерное распределение реакции опоры по ширине контакта и пропорциональность реакции опоры нормальным перемещениям, по мнению автора, можно согласиться.

Геометрическая интерпретация этих допущений представлена на рисунке 13, где основание представляет собой не связанные между собой вертикальные пружины. Согласно Винклеровской теории под нагрузкой модель принимает вид, представленный на рисунке 11б, что с некоторой оговоркой, может быть приемлемо, как было указано выше, для сыпучих материалов, но совершенно не подходит для пластично-упругих материалов, какими являются металлы. Адекватно картина должна была соответствовать представленной на рисунке 11в.



а) б) в)

Рисунок 13 – Сравнение основания Винклера с упруго-пластичным

Таким образом, обзор открытых литературных источников показал, что не смотря на важность и практическую востребованность решения задачи контактно-силового взаимодействия поршневого кольца и поверхности гильзы цилиндра, достоверного решения её в открытых источниках найти не удалось. Эта задача требует своего решения, так как в современных условиях позволит своевременно оценивать поведение кольца в гильзе с нормируемыми отклонениями, экономить существенные средства производителей на проведение ресурсных испытаний и устранять имеющиеся недочеты еще на этапе проектирования деталей ЦПГ.

1.6 Выводы, цель и задачи исследования

Основными тенденциями поршневого двигателестроения в настоящее время являются и, очевидно, будут приоритетными в ближайшем будущем, наряду с растущей удельной мощностью, рост межремонтного ресурса, повышение экономической эффективности и экологической чистоты. Эти показатели ДВС определены приоритетными направлениями развития отечественной мобильной техники на ближайшую перспективу как в гражданском, так и в оборонном секторе и определяют качественные показатели современных энергетических установок.

Однако повышение удельных мощностных характеристик двигателей неизбежно влечет за собой повышенное выделение тепла, что предъявляет повышенные требования к материалам и качеству исполнения деталей ЦПГ. Повышенное тепловыделение приводит к росту температурной деформации деталей ЦПГ, а следовательно, к нарушению геометрии сопрягаемых поверхностей и, как следствие, к нарушению герметичности полостей картера и камеры сгорания. В рамках имеющихся в РФ технологических возможностей решение данной задачи ввиду утраты компетенций в области производства наукоемких деталей затруднено. Данная проблема усугублена сложившейся международной обстановкой и тотальными санкциями, введенными в отношении нашей страны. Это привело к тому, что отечественные производители двигателей внутреннего сгорания утратили собственное производство наукоемких деталей и узлов (детали

ЦПГ, топливная аппаратура), а введенные санкции отрезали их от европейских поставщиков, таких, например, как *BOSH* и *Federal Mogul* или *Male*.

Таким образом производители поршневых двигателей в России оказались в тупиковой ситуации и вынуждены закупать эти элементы на азиатских рынках, качество которых не прошло испытания временными рамками и зачастую оставляет желать лучшего.

Основная задача, решаемая в диссертации, – повышение надежности и эффективности силовых установок путем обеспечения постоянства силового замыкания сопряжения «кольцо–гильза» в условиях технологических отклонений формы и размеров гильзы цилиндра.

В частности, применительно к поршневым кольцам в данной работе планируется повышение таких показателей надежности, как:

- показатели безотказности (свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки);
- показатели долговечности (свойство элемента или системы длительно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния).

На основании вышеизложенного была сформулирована **цель работы** – повышение надежности уплотнения камеры сгорания ДВС путем обеспечения постоянства силового замыкания сопряжения кольцо – гильза цилиндра в диапазоне возможных отклонений формы и размеров гильзы цилиндра.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследований:

1. Определить теоретические зависимости, достоверно описывающие силовое взаимодействие поршневого кольца и гильзы цилиндра и разработать методику оптимизации контактно-силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания.

2. Исследовать деформации гильзы, вызываемые затяжкой головок (крышек) блока цилиндров и износом в пределах нормативного срока эксплуатации.

3. На основании вычислительных экспериментов предложить конструкцию комплекта поршневых колец, обеспечивающих надежную герметизацию камеры сгорания в широком диапазоне возможных износов и деформаций гильзы.

4. Изготовить поршневые кольца предложенной конструкции и экспериментально определить эффективность уплотнения камеры сгорания при их использовании.

5. Определить экономическую эффективность работы.

Глава 2. Теоретическое обоснование методики расчета формы поршневых колец

2.1 Разработка метода расчета геометрического места точек нейтральной линии поршневого кольца в свободном состоянии

Как было отмечено выше, при определении формы кольца в свободном состоянии наиболее точным является метод, предложенный проф. Гинцбургом Б.Я. в работах [5 - 7], сводящийся к решению дифференциального уравнения 4. Кроме того, выше была указана ограниченность применения этого метода тем, что на момент разработки метода вычислительные мощности были несравненно ниже сегодняшних возможностей, что вынудило автора перейти на приближенное решение этого уравнения по зависимостям 6 и 7.

Учитывая, что уравнение 4 не имеет аналитического решения, приемлемым и реализуемым является метод решения методом конечных разностей (МКР) [44, 35, 36].

При использовании этого метода решения производные заменяются их численно вычисленными значениями. Учитывая, что нам необходимо решить уравнение 4 относительно перемещений точек кольца $u(\phi)$ (рис. 6), а решение будет получено таблично, зададимся шагом угла ϕ. Тогда, понимая, что производная представляет из себя предел отношения приращения u к приращению угла ϕ при H стремящемся к 0, что соответствует углу наклона касательной в рассматриваемой точке кривой (рис. 14). При этом известно, что в центральных разностях первую производную численно можно вычислить по следующей формуле:

$$\frac{du_i}{d\varphi} = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2H} = \frac{1}{2H} \tag{34}$$

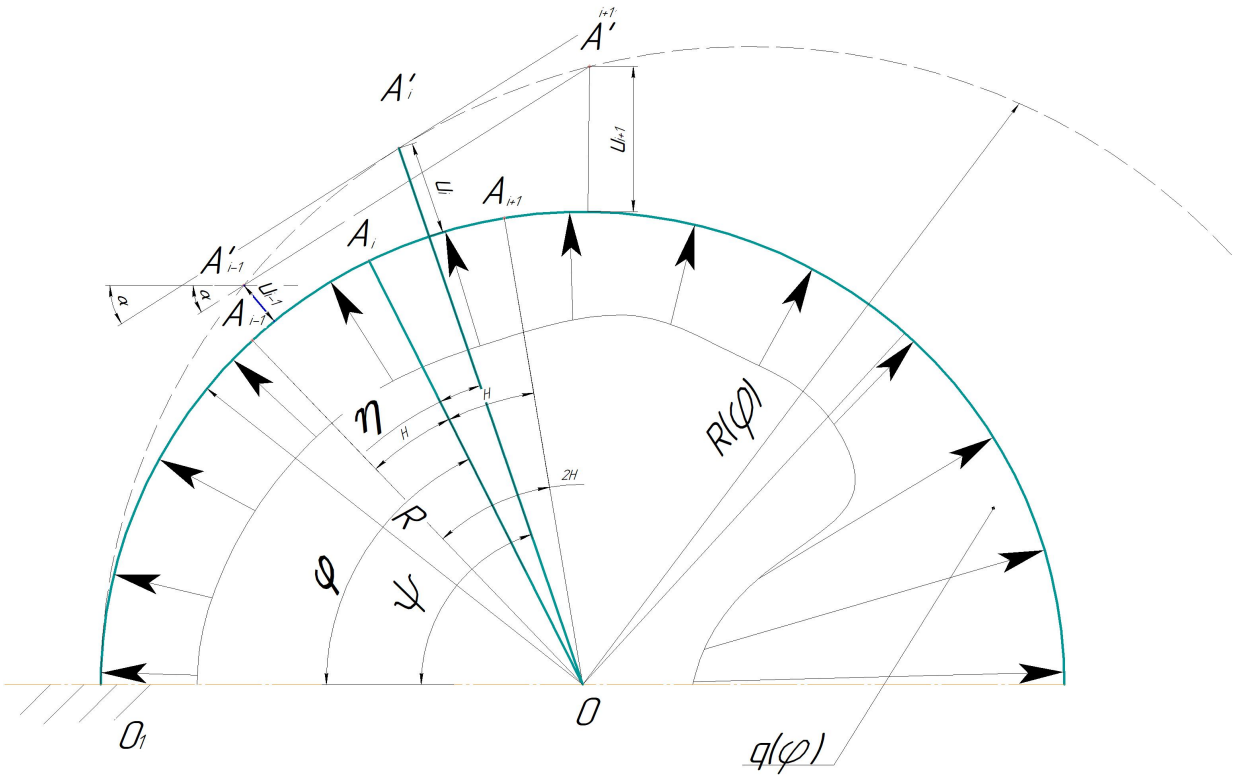


Рисунок 14 – пояснение величин, входящих в формулы расчета

Для определения второй, третьей и четвертой производной, выводя их последовательно из уравнения 34, получим и будем использовать следующие выражения:

$$\frac{d^2u_i}{d\varphi^2} = \frac{\frac{du_{i+1}}{d\varphi} - \frac{du_{i-1}}{d\varphi}}{2H} = \frac{\frac{u_{i+2}-u_i}{2H} - \frac{u_i-u_{i-2}}{2H}}{2\text{H}} = \frac{1}{4H^2}[u_{i-2} - 2u_i + u_{i+2}] \quad (35)$$

$$\frac{d^3u_i}{d\varphi^3} = \frac{\frac{d'''u_{i+1}}{d\varphi} - \frac{d'''u_{i-1}}{d\varphi}}{2H} = \frac{1}{2H}\left[\frac{1}{4H^2}[u_{i-1} - 2u_{i+1} + u_{i+3}] - \frac{1}{4H^2}[u_{i-3} - -2u_{i-1} + u_{i+1}]\right] =$$

$$\frac{1}{8H^3}[-u_{i-3} + 3u_{i-1} - 3u_{i+1} + u_{i+3}] \quad (36)$$

$$\frac{d^4u_i}{d\varphi^4} = \frac{\frac{d''''u_{i+1}}{d\varphi} - \frac{d''''u_{i-1}}{d\varphi}}{2H} = \frac{1}{2H}\left[\frac{1}{8H^3}[-u_{i-2} + 3u_i - 3u_{i+2} + u_{i+4}] - -\frac{1}{8H^3}[-u_{i-4} +\right.$$

$$\left. 3u_{i-2} - 3u_i + u_{i+2}]\right] = \frac{1}{16H^4}[u_{i-4} - 4u_{i-2} + 6u_i - -4u_{i+2} + u_{i+4}] \quad (37)$$

Тогда очевидно:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) = \frac{1}{16H^4}[u_{-4} + (8H^3 - 4)u_{-2} + (16H^4 - -16H^3 + 6)u_0 + (8H^3 - 4)u_2 + u_4] \quad (38)$$

Соответственно, уравнение 4 примет вид:

$$\frac{EJ}{16br_0^4H^4}[u_{-4} + (8H^3 - 4)u_{-2} + (16H^4 - -16H^3 + 6)u_0 + (8H^3 - 4)u_2 + u_4] = p(\varphi) \quad (39)$$

Где *i* принимает значения от 0 до *n* (*n* – количество точек разбиения кольца).

Вычисление производных в начальных точках кольца не вызывает трудностей в виду симметрии последнего, т.е. равенство u_{-i} и u_i.

Для вычислений значений производных в последних точках кольца (i=*N*-4, *N*-3, *N*-2, *N*-1 и *N*) воспользоваться центральными разностями не удается, так как не хватает значений с правой стороны интервала (значения в точках i+1 … 1+4 не заданы). Определим приращения кольца в этих точках воспользовавшись интерполяционным полиномом Лагранжа:

$$u_{n+1} = -u_{n-3} + 4u_{n-2} - 6u_{n-1} + 4u_n \quad (40)$$

$$u_{n+2} = -4u_{n-3} + 15u_{n-2} - 20u_{n-1} + 10u_n \quad (41)$$

$$u_{n+3} = -10u_{n-3} + 36u_{n-2} - 45u_{n-1} + 20u_n \quad (42)$$

$$u_{n+4} = -20u_{n-3} + 70u_{n-2} - 84u_{n-1} + 35u_n \quad (43)$$

Тогда уравнение 4 в разностных схемах будет выглядеть следующим образом:

I=0:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) = \frac{1}{16H^4}[u_{-4} + (8H^3 - 4)u_{-2} + (16H^4 - 16H^3 + 6)u_0 + (8H^3 - 4)u_2 + u_4]$$

В силу симметрии кольца:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) = \frac{1}{16H^4}[(-16H^3 + 6)u_0 + (16H^3 - 8)u_2 + 2u_4]$$

I=1:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) = \frac{1}{16H^4}[(16H^4 - 8H^3 + 2)u_1 + (8H^3 - 3)u_3 + u_5]$$

I=2:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) = \frac{1}{16H^4}[(8H^3 - 4)u_0 + (16H^4 - 16H^3 + 7)u_2 + (8H^3 - 4)u_4 + u_6]$$

I=3:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) = \frac{1}{16H^4}[(8H^3 - 3)u_1 + (16H^4 - 16H^3 + 6)u_3 + (8H^3 - 4)u_5 + u_7]$$

I=4…N-4:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) = \frac{1}{16H^4}[u_{i-4} + (8H^3 - 4)u_{i-2} + (16H^4 - 16H^3 + 6)u_i + (8H^3 - 4)u_{i+2} + u_{i+4}]$$

I=N-3:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi)$$
$$= \frac{1}{16H^4}[u_{n-7} + (8H^3 - 4)u_{n-5} + (16H^4 - 16H^3 + 5)u_{n-3} + 4u_{n-2} + (8H^3 - 10)u_{n-1} + 4u_n]$$

I=N-2:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi)$$
$$= \frac{1}{16H^4}[u_{n-6} + (8H^3 - 4)u_{n-4} - 4u_{n-3} + (16H^4 - 16H^3 + 21)u_{n-2} - 20u_{n-1} + (8H^3 + 6)u_n]$$

I=N-1:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi)$$

$$= \frac{1}{16H^4}[u_{n-5} + (-10)u_{n-3} + (32H^3 + 20)u_{n-2} + (16H^4 - 64H^3 - 15)u_{n-1} + (32H^3 + 4)u_n]$$

I=N:

$$\frac{d^4u(\varphi)}{d\varphi^4} + 2\frac{d^2u(\varphi)}{d\varphi^2} + u(\varphi) =$$

$$= \frac{1}{16H^4}[u_{n-4} + (8H^3 - 4)u_{n-2} + (16H^4 - 16H^3 + 6)u_n + (8H^3 - 4)u_{n+2} + u_{n+4}]$$

Тогда левая часть уравнения (4) в матричной форме примет вид (44)

$$A = \frac{1}{16H^4} \cdot \begin{vmatrix} -16H^3+6 & 0 & 16H^3-8 & 0 & 2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16H^4-8H^3+2 & 0 & 8H^3-3 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 8H^3-4 & 0 & 16H^4-16H^3+7 & 0 & 8H^3-4 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 8H^3-3 & 0 & 16H^4-16H^3+6 & 0 & 8H^3-3 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 8H^3-4 & 0 & 16H^4-8H^3+2 & 0 & 8H^3-4 & 0 & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 1 & 0 & 8H^3-4 & 0 & 16H^4-16H^3+6 & 0 & 8H^3-4 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 8H^3-4 & -4 & 16H^4-16H^3+5 & -20 & 8H^3+6 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & -10 & 32H^3+20 & 16H^4+64H^3-15 & 32H^3+4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & -160H^3-4 & 128H^3+6 & -160H^3-3 & 16H^4+64H^3+1 \end{vmatrix} \quad (44)$$

А правая часть, соответственно, вид (45):

$$P = \begin{vmatrix} p(0) \\ p(\varphi_1) \\ \cdots \\ p(\varphi_n) \end{vmatrix} \quad (45)$$

Матрица перемещений точек кольца при его переходе из свободного состояния в замкнутое примет вид:

$$U = \begin{vmatrix} u(0) \\ u(\varphi_1) \\ \cdots \\ u(\varphi_n) \end{vmatrix} \quad (46)$$

При этом известное выражение проф. Гинцбурга Б.Я. (4) примет следующий вид:

$$A \cdot U = P \quad (47)$$

Решение этого уравнения выглядит следующим образом:

$$U = A^{-1} \cdot P \quad (48)$$

Решение уравнения 4, в конечном итоге, сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), что не содержит в своём составе вычислительных сложностей.

Однако, следует обратить внимание на погрешности численного дифференцирования. Классическая теория численных вычислений для уменьшения погрешностей рекомендует уменьшением шага численных вычислений (то есть существенным увеличением числа интервалов *n)*. При этом при решении системы алгебраических уравнений сильно усложняется, растет объём необходимых вычислений. Указанное обстоятельство не является существенным ограничением, так как вычислительная трудоёмкость решения задачи на современных ЭВМ незначительна. Основной проблемой является рост погрешностей и сложность представления в машинной памяти результатов

вычисления, так как, согласно формулам (44), шаг интегрирования стоит в знаменателе в степени 4. То есть приходится практически осуществлять деление некоторых чисел на величину, асимптотически приближающуюся к «0», что неизбежно влечет за собой взрывной рост вычислительных погрешностей и погрешностей представления чисел в 64-битной памяти вычислительной машины.

И это речь идет о первой производной, понятно, что последовательное её дифференцирование до более высоких порядков (в нашей задаче – до четвертого), соответственно повысит погрешность.

Снизить погрешность можно понизив порядок дифференцирования, с одной стороны, и оптимизировав шаг разбиения H – с другой.

Для снижения порядка дифференцирования преобразуем уравнение 4 к другому, известному виду:

$$M(\varphi) = \frac{EJ}{r_n^2}\left(u(\varphi) + \frac{d^2u}{d\varphi^2}\right) \tag{49}$$

Как видно, при этом удается понизить порядок дифференцирования с четвертого до второго. При этом, согласно [3, 24], значения изгибающего момента вычисляют с помощью следующего уравнения:

$$M(\varphi) = \int_{\varphi}^{\pi} r_n \cdot \sin(\psi - \varphi) \cdot p(\psi) d\psi, \text{ где:} \tag{50}$$

$p(\psi)$ – давление кольца на гильзу в точке с угловой координатой у, согласно [24] определяемое по следующей формуле:

$$p(\psi) = p[1 + (z-1) \cdot 0.53726 \cdot \sum_{i=2}^{12} k_i \cdot cos(i \cdot \psi)] \text{ , где:} \tag{51}$$

p – среднее значение давления кольца на стенку гильзы;

z – степень коррекции (отношение в замке к средней величине) давлений кольца на стенки гильзы;

k_i – коэффициенты:

κ_2=0.3092, k_3= -0.4355, k_4= 0.2877, k_5=-0.1963, k_6= 0.1412, k_7= -0.1087, k_8= 0.0970, k_9=-0.0936, k_{10}=0.0797, k_{11}= -0.0711, k_{12}=0.0413

Это приведет к тому, что уравнение 49 примет следующий вид:

$$u(\varphi) + \frac{d^2u}{d\varphi^2} = \int_{\varphi}^{\pi} r_n \cdot \sin(\psi - \varphi) \cdot p(\psi) d\psi \frac{r_n^2}{EJ} \quad (52)$$

Как видно, это уравнение содержит производные не выше 2-го порядка.

Распишем вторую производную в разностных схемах, используя центральные конечные разности:

$$\frac{d^2u_i}{d\varphi^2} = \frac{u_{i+1} - 2u_i - u_{i-1}}{H^2} \quad (53)$$

Тогда уравнение 52 примет вид:

$$u_{i-1}[-1] + u_i[-2 - H^2] + u_{i+1}[1] = \frac{H^2 \cdot M(\varphi_i) \cdot r_n^2}{EJ} \quad (54)$$

Для вычислений при i=1 будем использовать симметрию кольца, т.е. зависимость: $u_{-i} = u_i$, а также равенство $u_0 = 0$. В результате для $i = 1$ получим:

$$u_1[2 + H^2] + u_2[1] = \frac{H^2 \cdot M(\varphi_i) \cdot r_n^2}{EJ} \quad (55)$$

Для i=2…n-1воспользуемся зависимостью (54):

Для $i = n$ с учетом:

$$u_{n+1} = (2 - H^2)u_n - u_{n-1} \quad (56)$$

получим:

$$u_{n-1}[-2] + u_n[-2H^2] = \frac{H^2 \cdot M(\varphi_i) \cdot r_n^2}{EJ} \quad (57)$$

Приводя уравнение 52 к матричному виду с учетом уравнений 54, 55 и 57 получим:

$$\begin{vmatrix} 2+H^2 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2-H^2 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & & \dots & & \dots & & \dots \\ 0 & \dots & -1 & -2-H^2 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & & \dots & & \dots & & \dots \\ & & & & -1 & -2-H^2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -2 & -2H^2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ \dots \\ u_{n-1} \\ u_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{H^2 \cdot M(\varphi_1) \cdot r_n^2}{EJ} \\ \frac{H^2 \cdot M(\varphi_2) \cdot r_n^2}{EJ} \\ \dots \\ \frac{H^2 \cdot M(\varphi_i) \cdot r_n^2}{EJ} \\ \dots \\ \frac{H^2 \cdot M(\varphi_{n-1}) \cdot r_n^2}{EJ} \\ \frac{H^2 \cdot M(\varphi_n) \cdot r_n^2}{EJ} \end{vmatrix} \quad (58)$$

Изменение значения угловых координат текущих точек кольца при этом вычислим по известной зависимости:

$$\eta = \frac{1}{r_n}\int_0^{\varphi} u(\varphi)d\varphi \quad (59)$$

На основании выше обоснованных и предложенных уравнений методика определения геометрического места точек нейтральной линии поршневого кольца в свободном состоянии определится в соответствии с линейным алгоритмом, представленном в виде укрупненной блок-схемы, на рисунке 15.

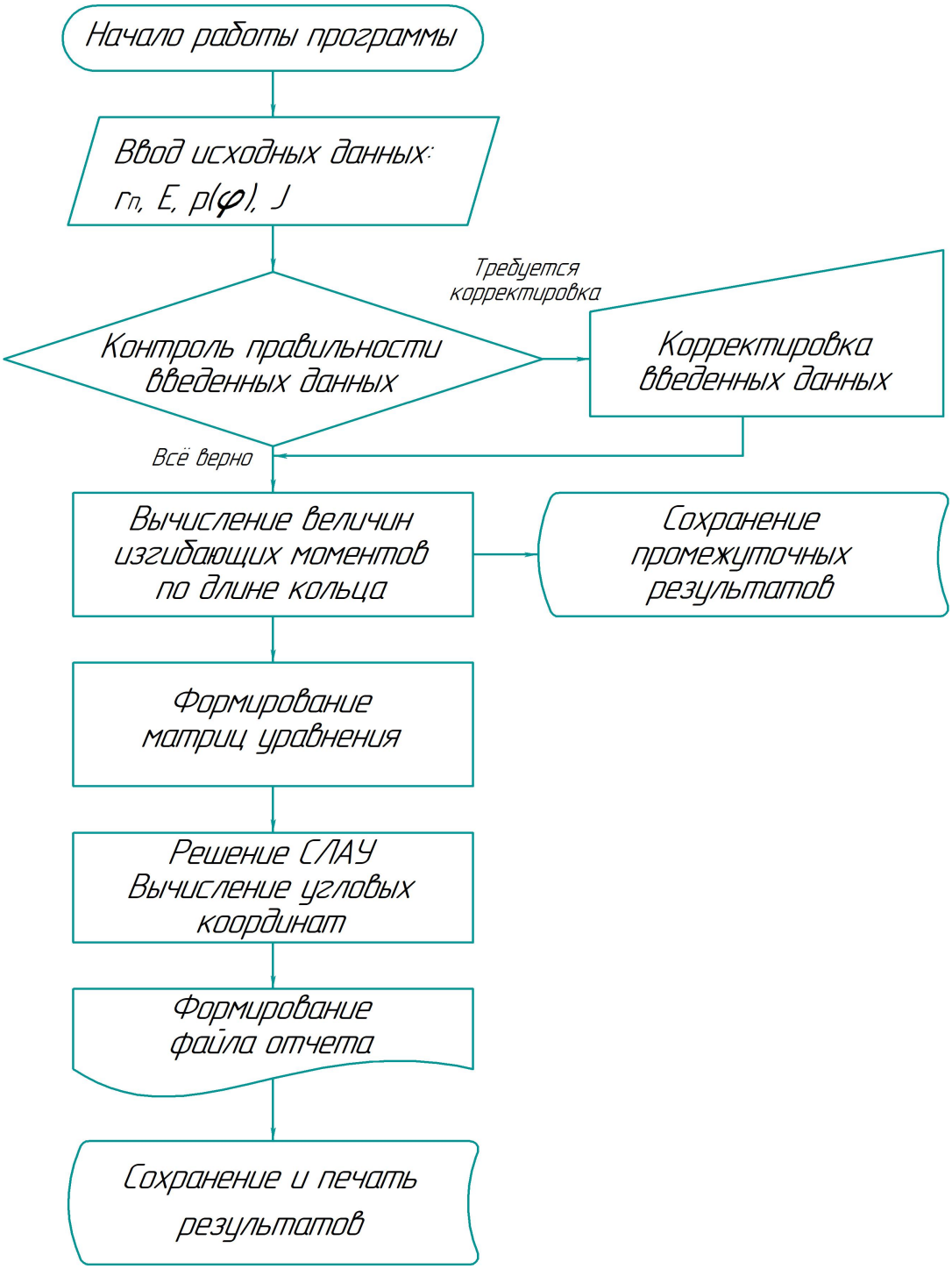


Рисунок 15 - Укрупненная схема расчета формы кольца в свободном состоянии

Данный алгоритм реализован с использованием современного языка программирования [45], на программу получен охранный документ Федерального института промышленной собственности в виде свидетельства на регистрацию программы для ЭВМ (приложение Б).

Таким образом, задача определения формы кольца в свободном состоянии решена.

2.2 Разработка методологии определения параметров силового взаимодействия поршневого кольца с охватывающей поверхностью и математической модели для их вычисления

Как было отмечено выше, математическая реализация контактно-силового взаимодействия поршневого кольца и гильзы цилиндра, изложенная в [35, 36] содержит погрешности, ограничивающие применяемость модели, что связано тем, что она не обладает распределительной способностью основания, присущей в реальности упругим телам в целом, и, в том числе – гильзе цилиндра (рис. 2).

При этом известны и описаны в литературе иные модели упругого основания, учитывающие, в отличии от модели Винклера, распределительные эффекты на краях контакта.

В частности, более адекватна по отношению к решаемой в данной работе задаче модель Проктора, известная под названием модель сплошного упругого основания. Её суть заключается в том, что она рассматривается как упругое полупространство, на котором расположено основание, перемещения которого определяются по зависимости, выведенной Жозефом Валентином Буссинеском применительно к теории упругости [46]. Существенным недостатком этой модели, делающим её неприемлемой для решения сформулированной задачи, является неизбежное обращение реакции основания на сосредоточенную силу в бесконечность, что противоречит физическому смыслу и неприемлемо при решении поставленной задачи, так как повлечет за собой несоразмерно большие погрешности вычислений на границах участков контакта кольца и гильзы.

Более близка по физическому содержанию рассматриваемому случаю контактного взаимодействия модель упругого основания, опирающаяся на два коэффициента постели.

Известна еще модель сплошного упругого основания с двумя коэффициентами постели – модель Пастернака. Эта модель представляет собой двухпараметрическое основание, которое можно интерпретировать как набор параллельных вертикальных пружин Винклера, дополнительно «связанных» горизонтальными упругими прокладками. Наличие горизонтальных связей позволяет более корректно и адекватно моделировать, и математически описывать процессы на границах контакта. Соответственно, она гораздо ближе к требуемому решению.

Соответственно, реакцию основания применительно к уравнению (52) можно расписать следующим образом:

$$q = ky - 2ty'', \tag{60}$$

где: y – деформация цилиндра под воздействием ЭРД; k и t – коэффициенты постели.

Коэффициент k определим исходя из следующей зависимости:

$$k = \frac{E_0\delta}{\bar{H}(1-\upsilon_0^2)} \tag{61}$$

А коэффициент t в свою очередь, из следующей:

$$t = \frac{E_0\delta\bar{H}}{12(1-\upsilon_0^2)} \tag{62}$$

Входящие в эти формулы величины известны. Так H и δ – толщины деформируемых слоев основания и объекта (в нашем случае – поршневого кольца), υ_0 – коэффициент, характеризующий способность материала деформироваться в поперечном направлении под воздействием продольной нагрузки, E – модуль упругости материала основания.

С учетом всего вышесказанного, а также учитывая уравнения (60 … 62), известное выражение Гинцбурга примет вид:

$$u(\varphi) + 2\frac{d^2u}{d\varphi^2} + \frac{d^4u}{d\varphi^4} = \frac{r^4}{EJ}\left[p(\varphi) - \frac{E_0\delta}{\bar{H}(1-\upsilon_0^2)}y - \frac{E_0\delta\bar{H}}{6(1-\upsilon_0^2)}y''\right] \quad (63)$$

Основными сложностями при решения данного уравнения являются вопросы перехода к безразмерному виду и обратно, а также строгое формулирование граничных условий.

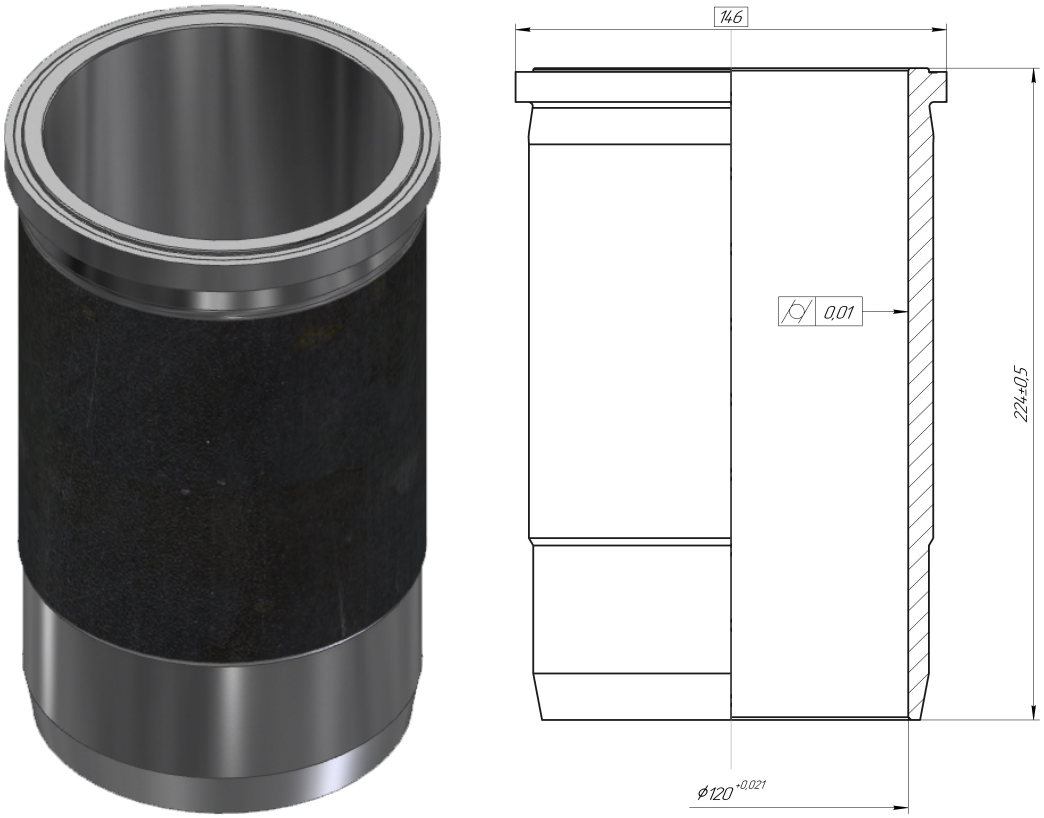
В результате, решение сложной задачи сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Каждое из уравнений в этой системе представляет из себя расписанное в разностных схемах для конкретной точки нейтральной линии кольца уравнение (63). В разработанном программном обеспечении [45] при реализации данной задачи использовали шаг интегрирования 0,1˚, что позволило обеспечить требуемую точность вычислений [70] и хорошую сходимость результатов. Математическая модель реализована с использованием современного языка программирования *python* [47]. Для определения модуля упругости материалов поршневых колец при этом использовалось авторское запатентованное устройство (патент на изобретение RU 2 538 414), приложение В.

Предложенный математический аппарат позволил рассчитать форму нейтральной линии кольца в свободном состоянии, и, смоделировав контактно-силовое взаимодействие поршневых колец и гильзы цилиндра с возможными в процессе изготовления и эксплуатации отклонениями от номинальной формы и, тем самым, обеспечить непрерывность контактно-силового взаимодействия кольца и гильзы цилиндра на этапе проектирования деталей ЦПГ, а не в результате эксплуатации (что выражается как недостаточный ресурс), как это было ранее.

2.3 Эскизное проектирование конструкции поршневых колец

В данной работе отсутствует возможности вносить изменения в макрогеометрию объекта исследований – поршневые кольца двигателя КАМАЗ, номинальный диаметр и основные геометрические параметры, которые предопределены конструкцией деталей, в частности – номинальным диаметром гильзы и геометрическими параметрами поршня (канавок под поршневые кольца).

Чертежи гильзы и поршня представлены в приложениях Г и Д соответственно и проиллюстрированы на рисунках 16 и 17.



а) б)

Рисунок 16 - Гильза двигателя КАМАЗ с необходимыми размерами (приложение Г)
а – общий вид; б – эскиз с необходимыми размерами

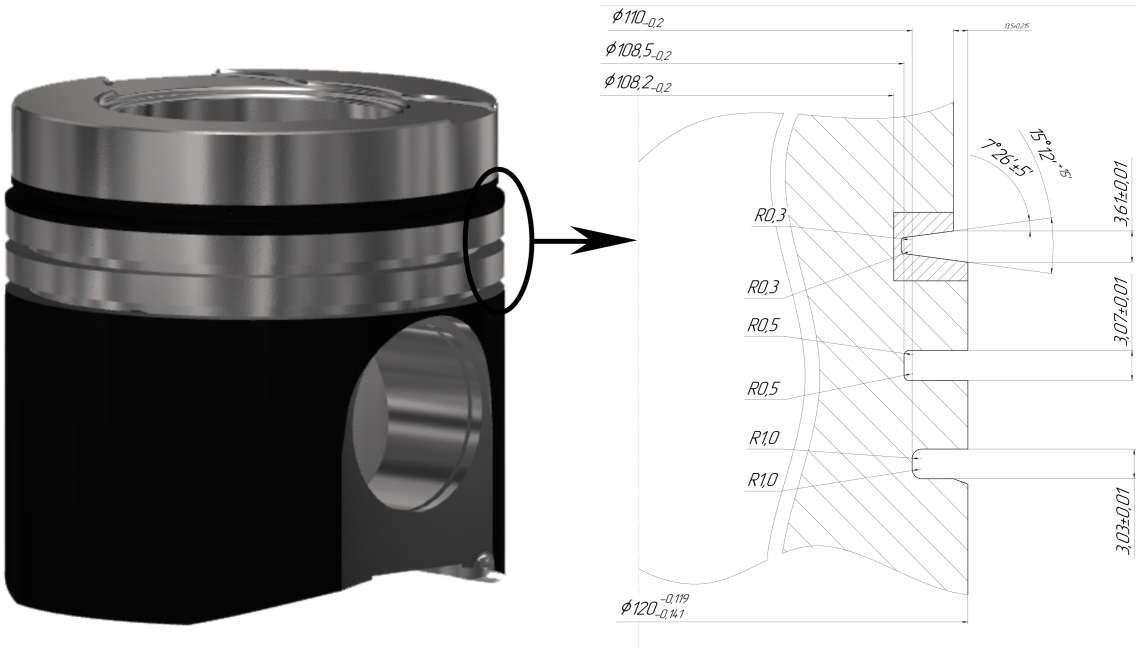


Рисунок 17 - Поршень двигателя КАМАЗ (приложение Д) с размерами канавок под кольца

Исходя из этих данных, а также опыта эксплуатации дизелей, наложив определенные требования (зазоры) получим эскизы профиля колец.

В частности, верхнее (первое компрессионное кольцо, 030) должно быть (в силу конфигурации канавки в торсионной вставке поршня) в виде двухсторонней трапеции, высотой b = 3,5 мм, радиальной толщиной t = 5 мм и с асимметричной бочкообразной наружной поверхностью, с упрочняющим покрытием в виде пористого хрома с включением диоксида алюминия (металлокерамики) Al_2O_3 (рис. 18).

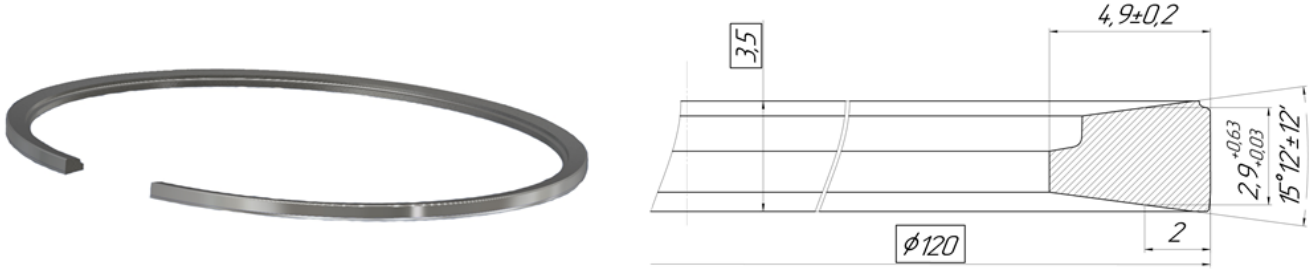


Рисунок 18 - Эскизный проект верхнего кольца

Второе компрессионное кольцо (032) предполагается скребкового типа высотой b = 3,0 мм, радиальной толщиной t = 5 мм. Способ упрочнения поверхности – азотирование (рис. 19).

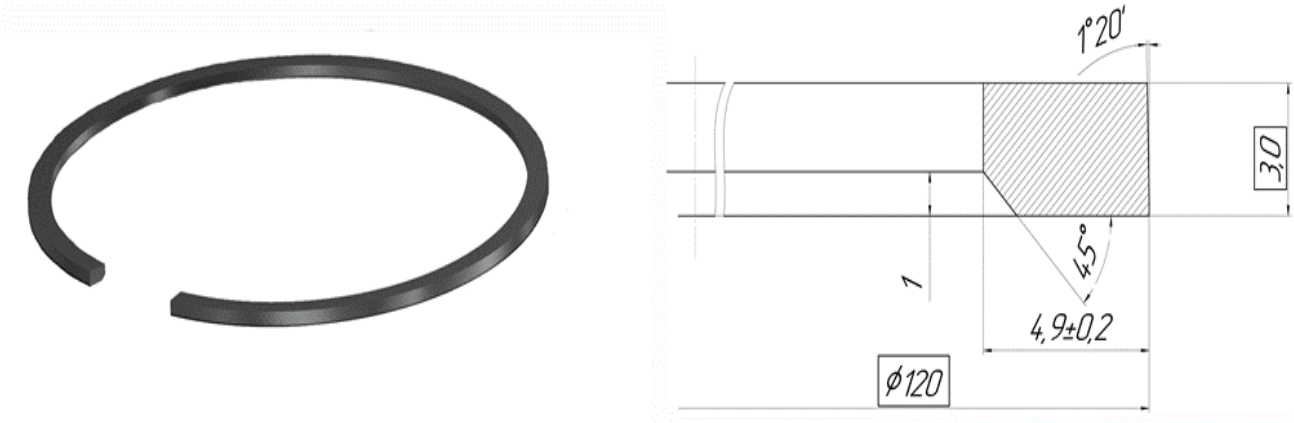


Рисунок 19 - Эскизный проект второго компрессионного кольца

Маслосъёмное кольцо (035) коробчатого типа с пружинным эспандером высотой (без учета размера эспандера) b = 3,0 мм, радиальной толщиной t = 3,25 мм. Контактирующие с гильзой поверхности должны иметь упрочняющие покрытия в виде пористого хрома с включением диоксида алюминия (металлокерамики) Al_2O_3.

Эскиз сечения кольца представлены на рисунке 20.

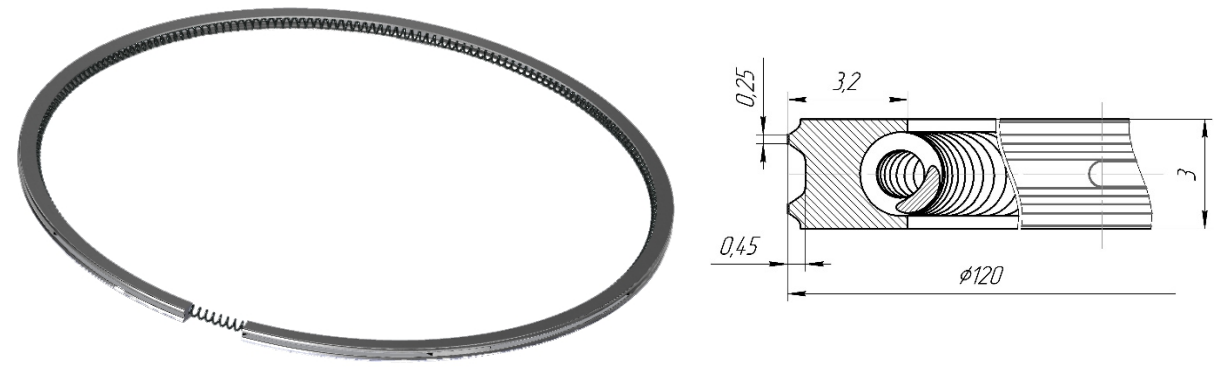


Рисунок 20 – Эскизный проект маслосъемного кольца

2.4 Выводы по главе

- в доступных литературных источниках представлено достаточное количество методик расчета формы нейтральной линии поршневых колец в свободном состоянии, однако их детальный анализ показал, что все они основаны на использовании допущений, неприемлемых для современных требований к контактно-силовому взаимодействию кольца и цилиндра, а также содержат методические и вычислительные погрешности, приводящие в совокупности к погрешности вычислений на уровне 10-11% [70], что не обеспечивает требуемой точности при современных требованиях к работе ЦПГ;
- предложены и достоверно обоснованы пути исключения из расчетов ряда допущений и методы снижения вычислительных погрешностей повышения точности расчета формы поршневых колец в свободном состоянии;
- предложен, теоретически обоснован и реализован в виде зарегистрированной в ФИПСе программы для ЭВМ метод расчёта формы нейтральной линии поршневого кольца в свободном состоянии, позволивший снизить суммарные погрешности вычислений до 1.5% [70, 71];
- разработана теоретическая модель контактно-силового взаимодействия кольца и гильзы цилиндра;
- на основе конструктивных параметров поршня и гильзы выполнено эскизное проектирование поршневых колец.

Глава 3. Программа и общая методика исследований

3.1 Программа исследований

Общая схема достижения поставленной в работе цели - обеспечение надежности уплотнения камеры сгорания ДВС путем обеспечения постоянства силового замыкания сопряжения кольцо – гильза цилиндра в диапазоне возможных отклонений формы и размеров гильзы цилиндра представлена на рисунке 21.

Программа исследования включала в себя:

- анализ требований, предъявляемых к деталям ЦПГ современных двигателей и причин нарушения нормальной работоспособности;

- исследование деформаций гильз цилиндров двигателей КАМАЗ в реальных условиях монтажа и эксплуатации;

- лабораторные исследования и вычислительные эксперименты по повышению надежности контактно-силового взаимодействия колец и гильзы цилиндра с учетом реальных геометрических параметров последней;

- эксплуатационные испытания двигателей, укомплектованных экспериментальными деталями, и технико-экономическая оценка работы.

Изготовлена опытная партия поршневых колец двигателя КАМАЗ и проведены их испытания в составе двигателя. Эксплуатационные испытания изготовленных комплектов поршневых колец проводились в условиях ПАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны, Республика Татарстан).

Для определения экономической эффективности предложенных мероприятий использовались опробованные методики и типовые, рекомендованные нормативными документами методики и нормы.

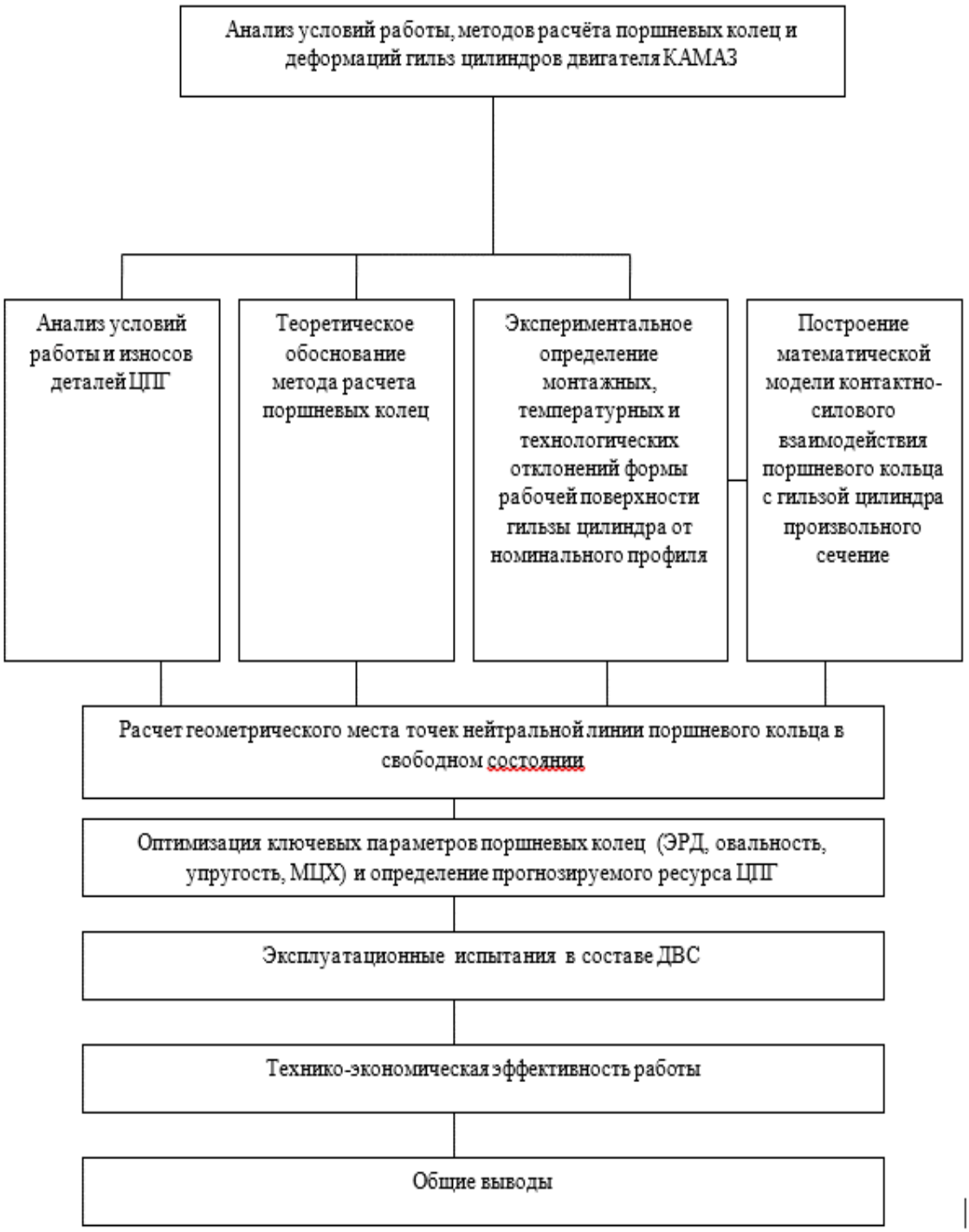


Рисунок 21 - Общая программа исследований

3.2 Методика определения деформаций гильзы (экспериментальная и аналитическая)

Исследования монтажных деформаций гильз цилиндров проводились на 8-цилиндровом блоке двигателя КАМАЗ-740. При этом замер диаметров гильз осуществлялся посредством нутромера с ценой деления шкалы 0,002 мм (ГОСТ 9244-75) [47].

На начальном этапе были произвольно отобраны на сборочном конвейере завода блок, 8 гильз, 8 головок и другие необходимые для установки и затяжки гильз детали (уплотнительные прокладки, уплотнительные кольца, болты, шайбы и штифты). Все отобранные детали прошли контроль ОТК и входной контроль, следовательно – соответствовали конструкторской документации. Во избежание искажения результатов, у отобранного блока контролировались размеры центрирующих поясков и посадочных мест буртов гильзы на всех цилиндрах.

У гильз замеры диаметра ($120^{+0,03}$ согласно требованиям чертежа) проводились в 4-х сечениях, в плоскостях, перпендикулярных оси гильзы, и в 3-х осевых сечениях согласно схеме, представленной на рисунке 22.

Гильзы на верхнем буртике помечались номерами и точкой проведения замеров в сечении А-А.

Замеры в этих же сечениях проводились после установки гильз в блок до и после затяжки болтов головок цилиндров. Затяжка болтов крепления головок проводилась с использованием поверенного динамометрического шкального ключа с ценой деления 1 гкс·м согласно ГОСТ 33530-2015 (ISO 6789:2003) [48] в 4 приема последовательно с моментами затяжки болтов 1 гкс·м, 5 гкс·м, 10 гкс·м и 17 гкс·м. Последовательность затяжки болтов осуществлялась в соответствии со схемой, принятой на производстве и представленной на рисунке 23.

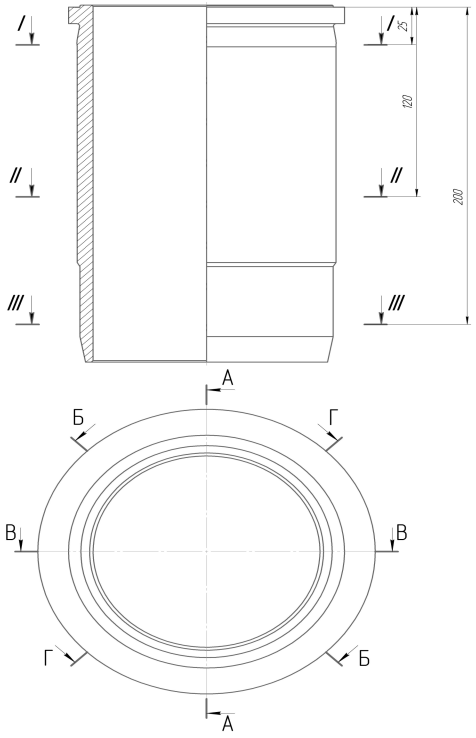


Рисунок 22 – Схема замера диаметров гильзы

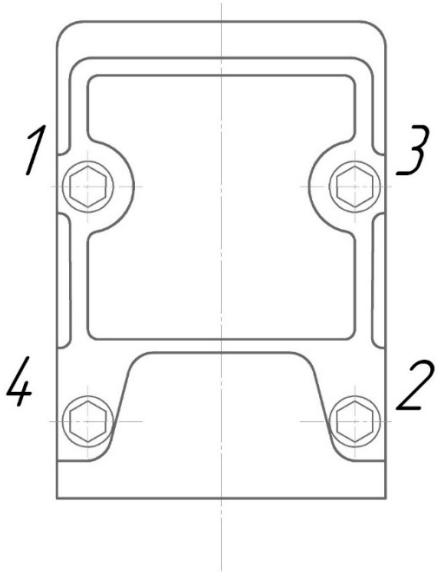


Рисунок 23 – Последовательность затяжки болтов головок блока цилиндров

В качестве параметра деформации гильзы в поперечном направлении примем овальность, определяемую как абсолютную разность предельных (наибольшего и наименьшего) диаметров гильзы во взаимно перпендикулярных плоскостях.

3.3 Методика вычислительного эксперимента по адаптации поршневых колец к гильзе цилиндра, имеющей отклонения размера и формы.

Как известно, при расчете колец закладывается ряд параметров, часть которых принимается априорными исходя из имеющихся конструктивных и технологических аспектов, на которые повлиять невозможно. В данной работе к таким данным относятся геометрические размеры (номинальный диаметр и сечение кольца), физико-механические свойства материала (прежде всего модуль упругости). А вот упругость и распределение эпюры радиальных давлений (ЭРД) колец на гильзу являются детерминантными. Их влияние на работоспособность ЦПГ невозможно выявить однозначно или предсказать, но их изменение оказывает существенное влияние на параметры контактно-силового взаимодействия кольца и гильзы.

Для достижения поставленной в работе цели – повышения надежности уплотнения камеры сгорания ДВС путем обеспечения постоянства силового замыкания сопряжения кольцо–гильза цилиндра в диапазоне возможных отклонений формы и размеров гильзы цилиндра – необходимо оптимизировать эти параметры. При этом в качестве целевой функции оптимизации в глобальном смысле является повышение ресурса ЦПГ, а локально – гарантированный непрерывный контакт кольца и гильзы по всему периметру кольца в пределах допустимых отклонений формы и нормативного износа гильзы в процессе эксплуатации.

Достижение поставленного результата осуществляется согласно алгоритму, представленному на рисунке 24.

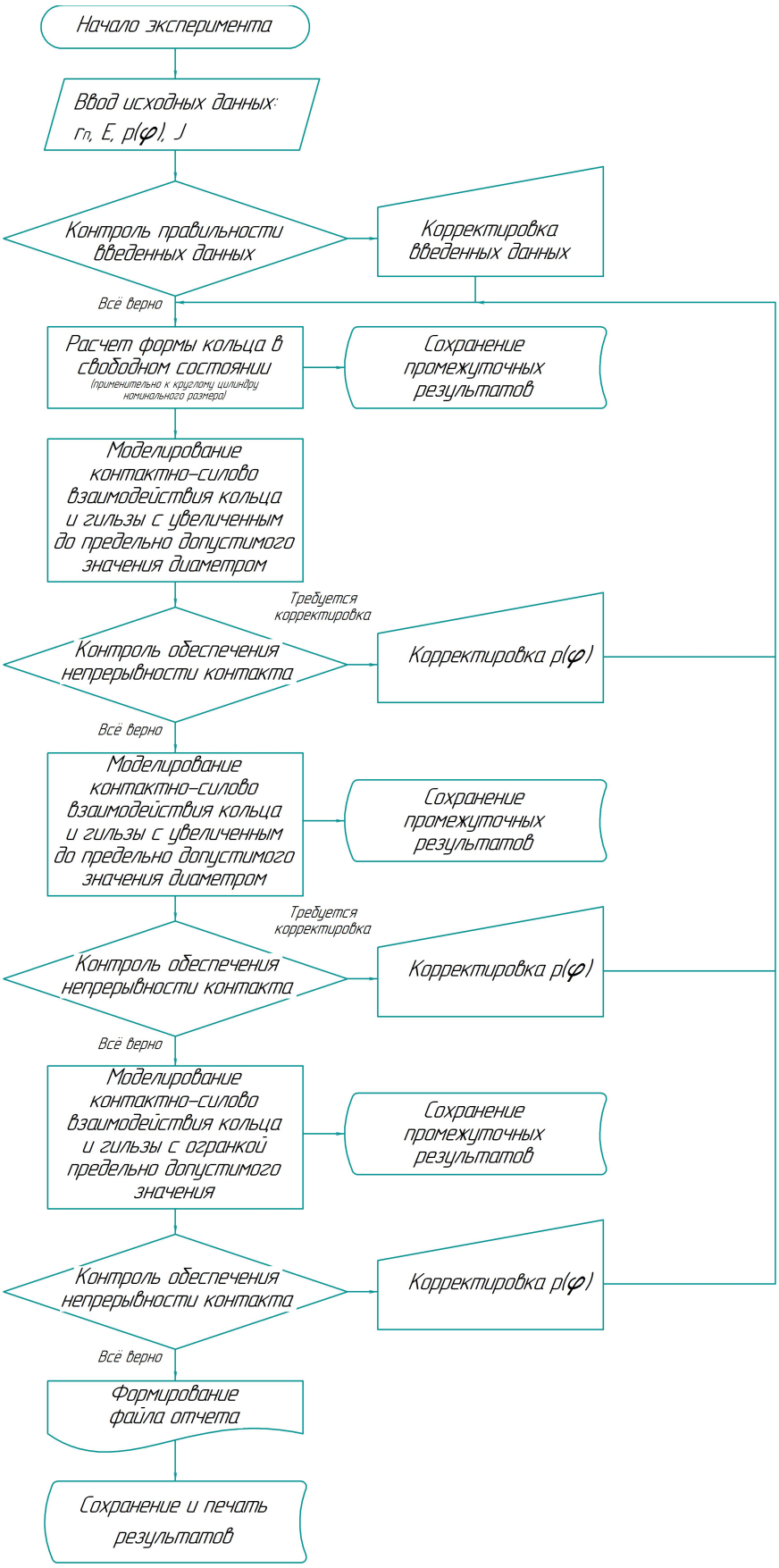


Рисунок 24 – Алгоритм адаптации поршневых колец к гильзе цилиндров, имеющей отклонения размера и формы

При этом в качестве исходных данных принимались:

J – основная массо-центровочная характеристика поперечного сечения кольца, момент инерции его сечения в центральной системе координат;

E – условный модуль упругости материала тела кольца;

Rn – номинальный радиус нейтральной линии кольца (определяется как разность половины номинального диаметра гильзы цилиндра и расстояния от внешней поверхности сечения кольца до нейтральной линии);

p – среднее удельное давление кольца, приведенное к его нейтральной линии;

z – степень коррекции ЭРД.

Учитывая, что расчет формы нейтральной линии кольца в свободном состоянии велись по зависимостям (58) и (59) и шагом разбиения по угловой координате H, на дуге 0…180°, M_i определим по формуле (51):

$$M(\varphi) = \int_{\varphi}^{\pi} R \cdot \sin(\psi - \phi) \cdot p_{\psi} d\psi$$, где:

P_{ψ} – погонная нагрузка в точке нейтральной линии кольца с угловой координатой у, определяемая с помощью полинома (52):

$$p\psi = P(1 + a_1 \sum_{k=2}^{12} a_k \cos(k \cdot \psi))$$, где:

P_{φ} – функция распределения ЭРД;

Тогда, после соответствующих преобразований получим аналитическое значение изгибающих моментов в любой точке кольца без использования численных методов:

$$M(\varphi) = RnP \sum_{i=2}^{12} \left[\cos(\varphi) + 1 + \frac{0.53726}{i^2-1} [a_i z \cos(\varphi i) + a_i z \cos(\pi i) \cos(\varphi) - a_i i z \sin(\pi i) \sin(\varphi) - a_i \cos(\varphi i) - a_i \cos(\pi i) \cos(\varphi) + a_i i \sin(\pi i) \sin(\varphi)]\right]$$ [64]

Используя зависимости (58) и (59), получим расчетную форму нейтральной линии кольца в свободном состоянии, соответствующую заданным параметрам.

На следующем этапе исследований проводилось моделирование контактно-силового взаимодействия кольца и гильзы с увеличенным до предельно допустимого значения диаметром согласно математической модели, разработанной и описанной в разделе 2.2 настоящей работы [49].

Аналогичные действия проводились для гильзы с деформациями, огранкой и износами. При этом в качестве правильно подобранных параметров будем считать такие параметры, обеспечивающие форму кольца, при которой имеется надежный силовой контакт по всему периметру кольца и гильзы, имеющей предельные значения отклонений формы от номинальной, получить которые можно по методике, изложенной в разделе 3.2. настоящей работы.

3.4 Методика определения эффективности работы ЦПГ и оценке ее ресурса в составе двигателя

Как неоднократно было отмечено выше в настоящей работе, ключевое влияние на ресурс цилиндропоршневой группы оказывает контактно-силовое взаимодействие поршневого кольца и гильзы цилиндра. Общепринято, что основная составляющая усилия прижатия кольца к гильзе цилиндров возникает за счет давления рабочих газов в заколечном пространстве. При этом считается, что именно эта составляющая гарантированно обеспечивает надежную герметизацию камеры сгорания от картерной полости (рис.14). Очевидно, это справедливое утверждение. Но оно справедливо лишь в том случае, если кольцо по всему периметру не просто надежно прилегает к гильзе цилиндра, но и обеспечивает некоторое давление на неё. В противном случае, вследствие нарастания давления в камере сгорания из-за взрывного характера расширения рабочего тела в результате сгорания топливной смеси, газы устремляются по кратчайшему пути – между кольцом и гильзой, и создают не прижимающую силу, а напротив – стремятся отжать кольцо от гильзы и просочиться в картерную полость двигателя.

Для аналитического прогнозирования ресурса цилиндро-поршневой группы использовался известный и хорошо зарекомендовавший себя метод [50, 51]. Однако, в целях повышения его достоверности, для определения предельных

износов гильзы цилиндра (т.е. определения предельного состояния, при котором нарушается надежная герметизация камеры сгорания от картерной полости), использовались авторские наработки, изложенные во второй главе настоящей работы.

Как известно из теории трения, износ в паре трения прямо пропорционален с учетом коэффициента пропорциональности ***c*** пути трения T и описывается известным классическим уравнением:

$$\frac{\mathrm{d}\tau(\varphi)}{\mathrm{d}T} = c\frac{q}{b} = cq(\varphi), \tag{65}$$

Естественно, в процессе износа поршневого кольца по образующей будет изменяться и геометрия его сечения, а, следовательно, и момент инерции его сечения в центральной системе координат. Соответственно, это явление необходимо учитывать. Влияние износа поясняется на рисунке 25:

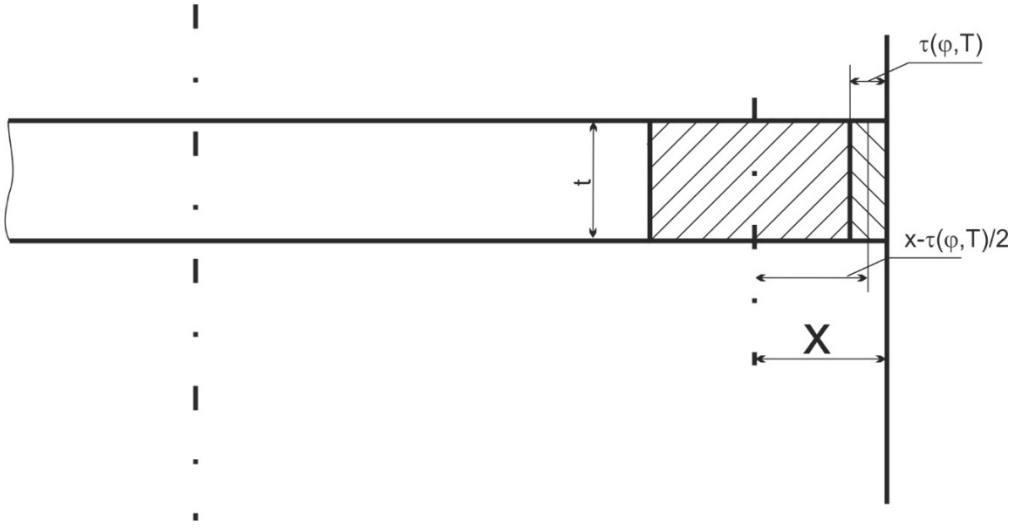


Рисунок 25 – Изменение профиля поперечного сечения поршневого кольца при его износе

Используя рисунок определить площадь изношенной части сечения не представляет трудностей:

$$F = t \cdot \tau(\varphi, T) \tag{66}$$

При этом момент инерции сечения поршневого кольца в центральной системе координат определиться по следующей зависимости:

$$J(\varphi) = J - t \cdot \tau(\varphi,T) \cdot (x - \frac{\tau(\varphi,T)}{2})^2 \quad (67)$$

Зная эти величины определение ресурса (наработки, при которой кольцо прекратит обеспечивать надежное контактно-силовое взаимодействие с гильзой цилиндра) не составит труда. Математически это описывается следующим выражением: $q(\varphi,T) \Rightarrow 0$.

В результате, вычислив посредством зависимостей (65), (66), (67) наработку, при которой возникает отсутствие давления в любой точке кольца был определен предельный ресурс ЦПГ.

3.5 Методика эксплуатационных испытаний и оценка технической эффективности работы

Эксплуатационные испытания двигателей, укомплектованных экспериментальными кольцами, проводились в условиях действующих автотранспортных предприятий методом подконтрольной эксплуатации автомобилей КАМАЗ.

В процессе эксплуатации на двигателях подконтрольных автомобилей с заданной периодичностью контролировали наработку двигателей и изменение компрессии.

Достоверность результатов обеспечивалась с учетом рекомендаций, изложенных в работах [52 … 54].

В процессе эксплуатации у наблюдаемых двигателей с определенной периодичностью фиксировались контролируемые параметры и, кроме их фиксации, оценивались статистические показатели, такие, как отклонение измеряемой величины (среднеквадратичное), его среднее значение, коэффициенты вариации и надежности опыта. Это позволило использовать лишь достоверные данные, исключающие грубые и субъективные ошибки.

Используя эти параметры в соответствии с выбранной методикой,

определяли оптимальное количество требуемых для обеспечения достоверности измерений

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{T^2}, \tag{68}$$

$$n = \frac{t^2 V^2}{\varepsilon^2}, \tag{69}$$

При этом задавались нормативной точностью *t*, относительной точностью эксперимента ε и паспортной погрешностью используемых средств измерений *T*.

При математической обработке результатов замера компрессии у подконтрольных двигателей использовали общепринятый для таких процедур метод наименьших квадратов [55], согласно которому среднее арифметическое значение выборки составляет:

$$a_{\text{вер}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} X_k}{n}, \tag{70}$$

Для исключения из обсуждения результатов эксперимента заведомо недостоверных данных, оценивали среднюю квадратичную ошибку среднего арифметического значения измеряемых значений. Это позволило использовать только достоверные данные. Вероятностная характеристика совокупности всех возможных значений средних арифметических из n измерений определялась как средняя квадратичная ошибка среднего арифметического значения результатов наблюдений на основании следующей зависимости:

$$D(\bar{a}) = \frac{\sigma^2}{n}. \tag{71}$$

А средняя квадратичная ошибка одного измерения, в свою очередь, по следующей:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(X_k - \bar{a})^2}{n-1}}\,. \qquad (72)$$

Оценку качества измерений производили по следующим параметрам:

а) вероятная ошибка:

$$\tau = \frac{2}{3}\sigma\,, \qquad (73)$$

б) абсолютная ошибка:

$$m \approx 0{,}86\sigma\,, \qquad (74)$$

в) мера точности:

$$n \approx \frac{0{,}7}{\sigma}\,, \qquad (75)$$

Рекомендации по оценке качества измерений и оценки точности использовали согласно [53].

Используя полученные в ходе эксплуатационных испытаний данные, предполагается дать экономическую оценку результатов работы. В качестве оценочной характеристики был выбран годовой экономический эффект от применения рекомендованных к эксплуатации поршневых колец при оказании ремонтных воздействий, который, согласно рекомендациям нормативных документов [55] определяли по следующей известной зависимости:

$$Э_Г = \left(\frac{C_1}{W_1} - \frac{C_2}{W_2}\right) W^Г \qquad (76)$$

где: $Э_Г$ – годовой экономический эффект, руб.;

C_1, C_2 – себестоимость ремонта двигателя до и после внедрения рекомендаций, руб.;

W_1, W_2 – ресурс двигателя, моточас;

$W^Г$ – среднегодовая наработка, моточас.

3.6 Выводы по главе

- Для достижения поставленной в работе цели разработана программа исследований.
- На основании литературных данных методика определения деформаций гильзы адаптирована для использования на конкретном двигателе.
- Разработаны методики вычислительных и натурных экспериментов по определению параметров контактно-силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра.

Глава 4. Проектирование и изготовление экспериментального комплекта поршневых колец

4.1 Определение требуемых параметров и вычисление геометрического места точек нейтральной линии поршневого кольца

При выборе исходных данных для расчета колец было использовано эскизное проектирование, выполненное в разделе 2.3. настоящей работы. Для определения массо-центровочных характеристик, прежде всего момента инерции сечения колец воспользуемся эскизами сечений колец, представленными на рисунках 26, 27 и 28. Для вычисления точных значений момента инерции использовали возможности CAD-системы КОМПАС 3D. Протоколы вычисления массо-центровочных характеристик (МЦХ) представлены в приложениях Е, Ж, И.

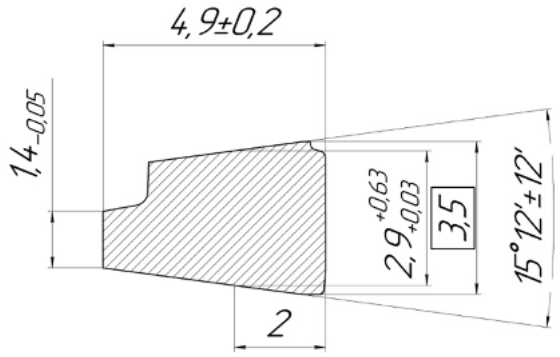


Рисунок 26 – Эскиз для вычисления массо-центровочных характеристик верхнего компрессионного кольца

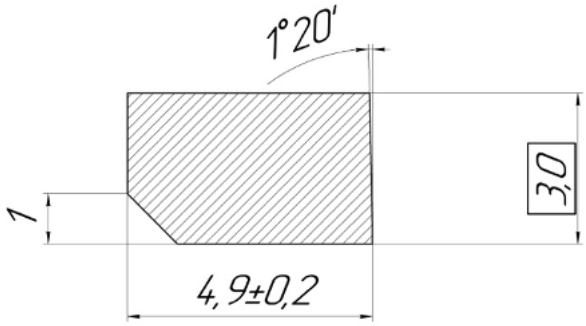


Рисунок 27 – Эскиз для вычисления массо-центровочных характеристик второго компрессионного кольца

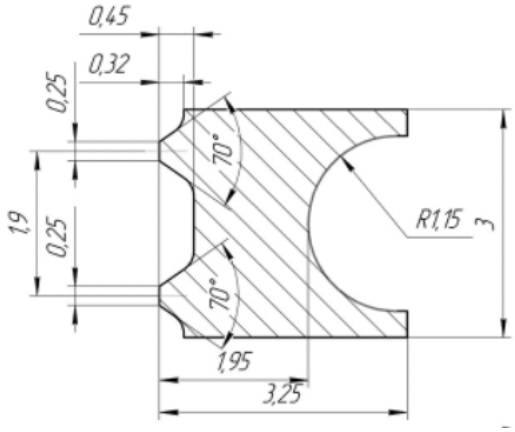


Рисунок 28 – Эскиз для вычисления массо-центровочных характеристик маслосъёмного кольца

Значения моментов инерции составили 22.408975 мм^4, 26.614324 мм^4 и = 3.579474 мм^4 для верхнего компрессионного, второго компрессионного и маслосъемного колец соответственно.

4.1.1 Расчет верхнего компрессионного кольца

Требуется рассчитать форму кольца в свободном состоянии. Сечение кольца показано на рисунке 26, геометрические размеры на рисунке 29.

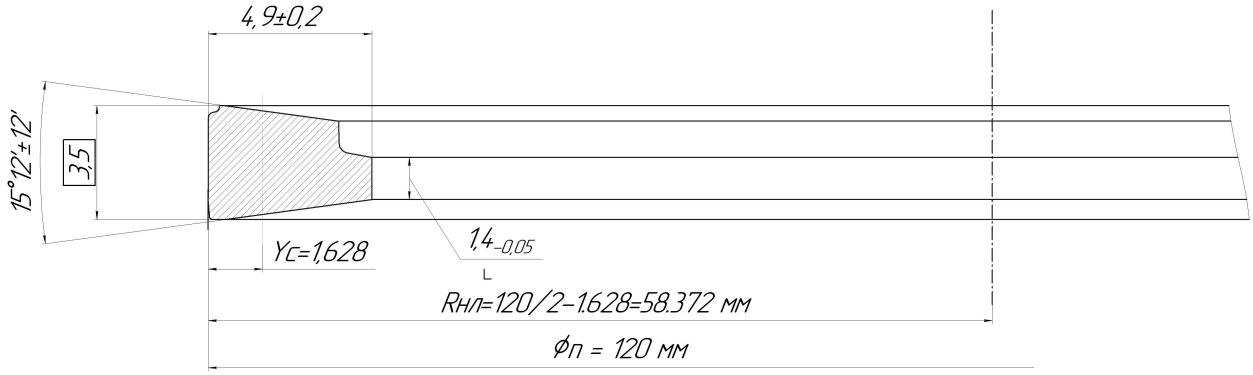


Рисунок 29 – Эскиз верхнего компрессионного кольца

1. Определим массо-центровочные характеристики (МЦХ) сечения и номинальный радиус нейтральной линии кольца.

Как было отмечено выше, МЦХ целесообразно определять с помощью CAD-систем. В частности, мы использовали Компас 3D V16.1. Протокол расчета представлен в приложении Е, мы воспользуемся положением центра масс по оси *У* *Yc* = 1,628 мм, и осевой момент инерции Jy = 22.408975 мм^4 в центральной системе координат.

2. Номинальный радиус (Rn) нейтральной линии кольца определится по следующей формуле:

$$Rn = \frac{D_n}{2} - Yc = \frac{120}{2} - 1.628 = 58{,}372 \text{ мм}. \quad (77)$$

3. Тангенциальную упругость предварительно примем исходя из практики эксплуатации дизелей, оснащенными кольцами разных производителей, взяв за основу кольца, производимые компанией *Goetze*, входящей в корпорацию корпорацией *Federal Mogul* [56, 57], а также рекомендаций, изложенных в [58 … 64] величиной 25 … 35 Н, грушевидное распределение эпюры радиальных давлений (ЭРД) со степенью коррекции *z* = 1,2.

Среднее погонное давление при этом определим по формуле:

$$\text{Pср}=P\text{ср} = \frac{2 \cdot Q}{D}\text{, где:} \quad (78)$$

Q – тангенциальная упругость, равная для данного кольца 50 Н;

Dn – номинальный диаметр нейтральной линии кольца:

$$P\text{ср} = \frac{2 \cdot 30}{0{,}116744} = 513{,}945\ Н/м$$

4. Зададим модуль упругости, согласно спецификации материала *E*=17100 Кг/мм^2, что соответствует 165,97 ГПа (коэффициент k=0,00970585).

5. Припуски на механическую обработку по наружному и внутреннему диаметрам задавали по 0,5 мм.

Расчет производился с использованием зарегистрированной в ФИПСе авторской программы (приложение Б) в соответствии с алгоритмом, детально разъясненным на рисунке 15 настоящей работы. При этом исходные данные представлены в таблице 1.

Результат вычисления изгибающих моментов по периметру кольца выполненный по формуле (18) представлен на рисунке 30.

На рисунке 31 представленная график заданной ЭРД в полярных координатах, соответствующий исходным данным таблицы 1.

Таблица 1 - Исходные данные для расчета формы верхнего кольца в свободном состоянии

№ п.п.	Параметр	Значение	Единица измерения
1	Кольцо	Верхнее компрессионное	–
2	Номинальный диаметр	120	мм
3	Радиус нейтральной линии	58,372	мм
4	Расстояние от внешней поверхности до нейтральной линии	1,628	мм
5	Момент инерции сечения	22.408975	мм^4
6	Среднее погонное давление	513,945	Н/м
7	Степень коррекции ЭРД	1,2	–
8	Материал	Чугун высокопрочный	
9	Модуль упругости материала	165,97	ГПа

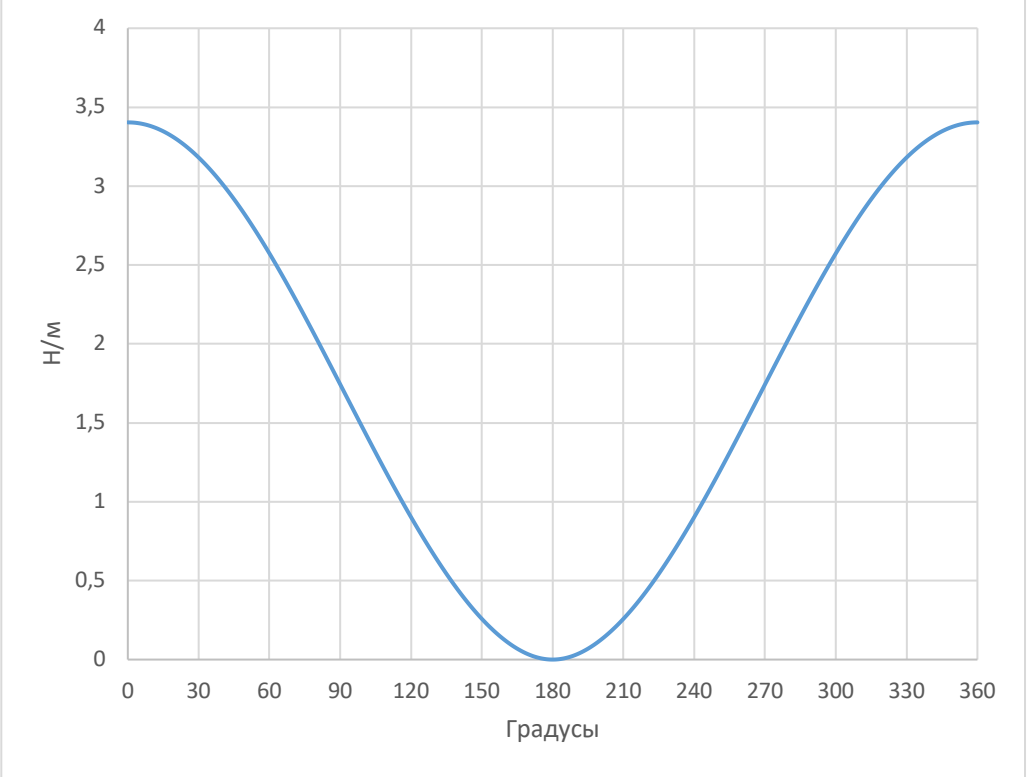


Рисунок 30 - Значения изгибающих моментов по периметру кольца, Н/м

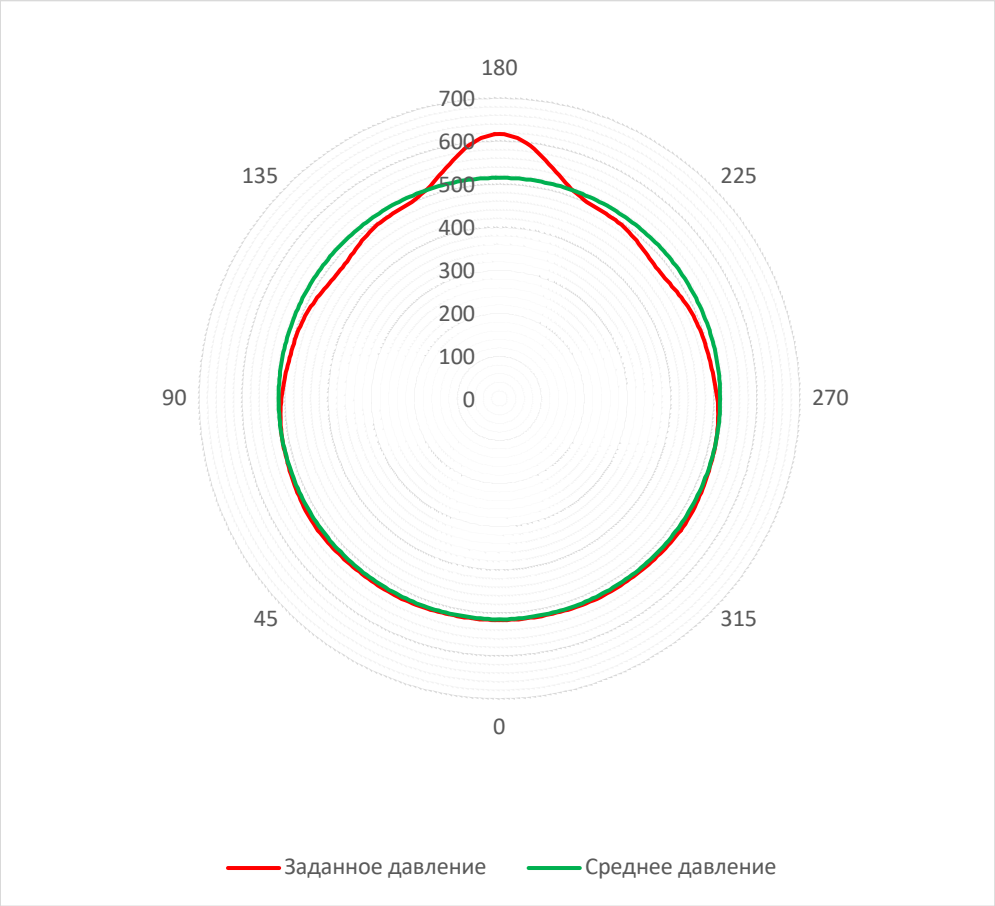


Рисунок 31 - Заданное распределение погонного давления кольца на гильзу по её периметру, Н/м.

Результат расчета формы нейтральной линии кольца в декартовых координатах и график приращений радиус-векторов кольца представлены на рисунках 32 и 33 соответственно.

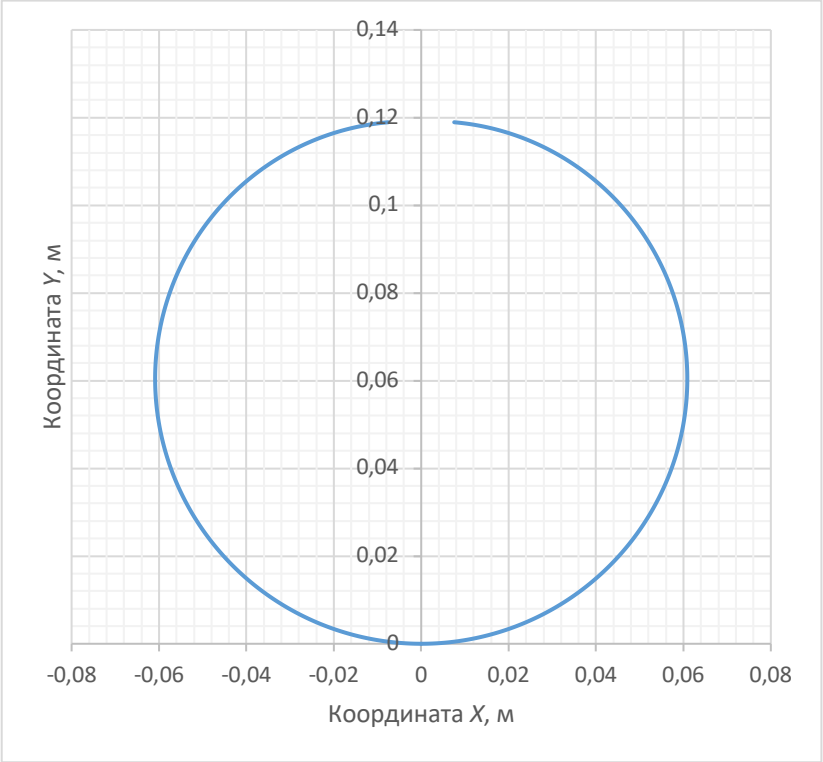


Рисунок 32 – Форма нейтральной линии кольца, полученная в результате расчета

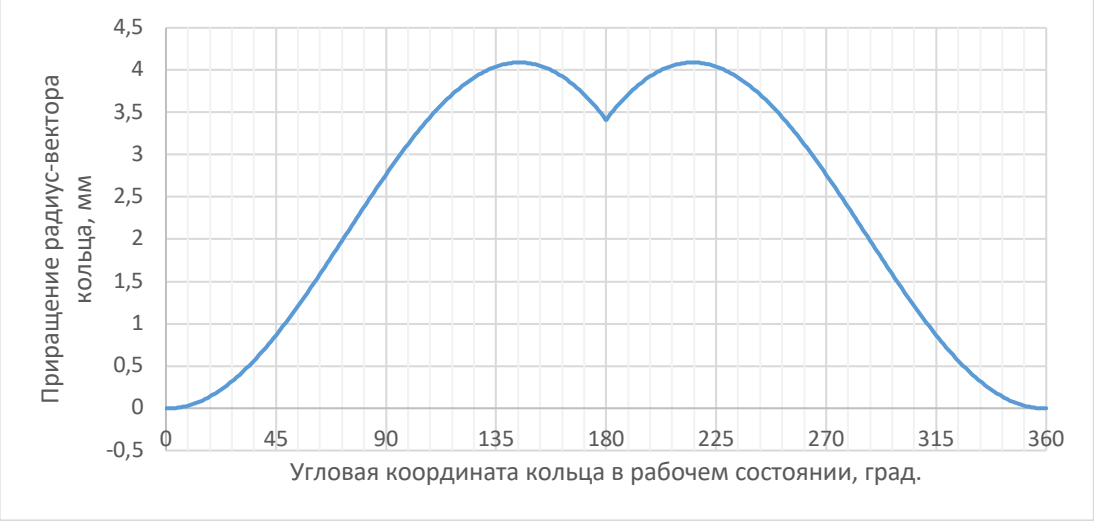


Рисунок 33 - График приращений радиус-векторов кольца

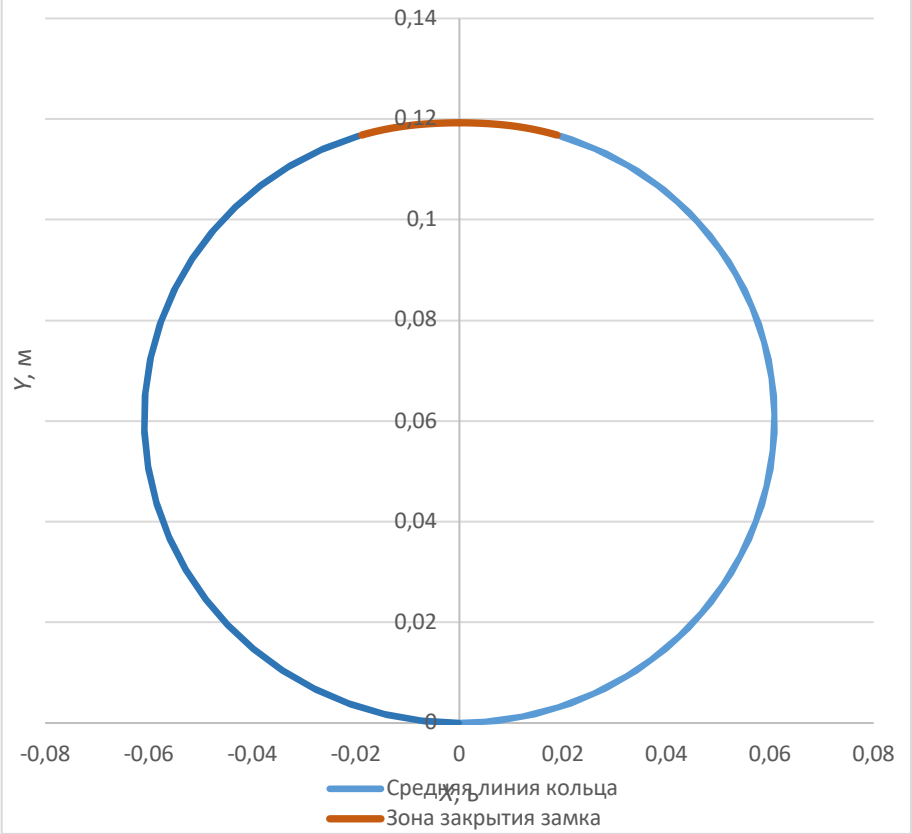


Рисунок 34 – Форма нейтральной линии кольца с замкнутой зоной замка

В результате расчетов получена форма нейтральной линии кольца в свободном состоянии. Кольцо с заданными параметрами должно в процессе механической обработки иметь следующие параметры:

Величина замка кольца в свободном состоянии: 15,100 мм;

Величина овальности в гибкой ленте: +0,00254 мм;

Величина упругости: 28 Н;

Диаметр обточки в плоскости оси спинка-замок: 122,07 мм;

Диаметр обточки в плоскости,

перпендикулярной оси спинка-замок: 124,57 мм.

4.1.2 Расчет второго компрессионного кольца

Требуется рассчитать форму кольца в свободном состоянии. Сечение кольца приведено на рисунке 27, геометрические размеры на рисунке 35.

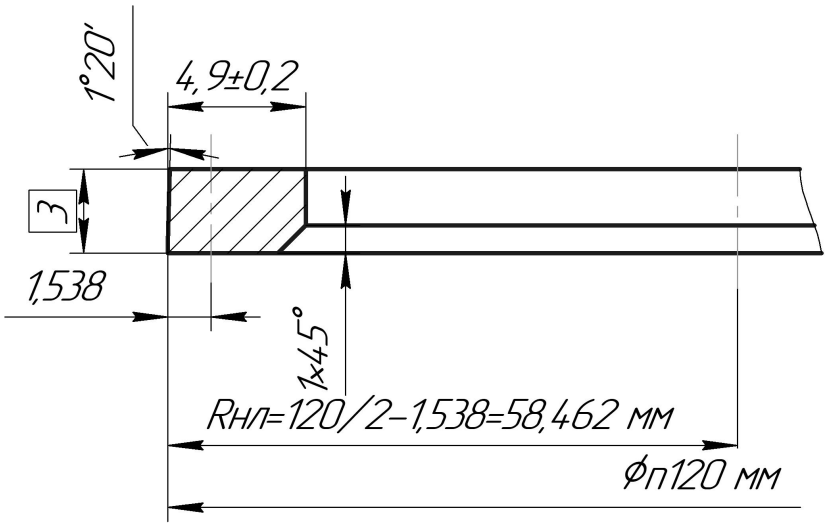


Рисунок 35 – Эскиз второго компрессионного кольца

1. Определим массо-центровочные характеристики (МЦХ) сечения и номинальный радиус нейтральной линии кольца.

Как было отмечено выше, МЦХ целесообразно определять с помощью *CAD*-систем. В частности, использовался Компас 3D V16.1. Протокол расчета представлен в приложении Ж. Воспользуемся положением центра масс по оси *У Yc* = 1,538 мм, и осевой момент инерции Jy = 26,614324 мм^4 в центральной системе координат.

2. Номинальный радиус (Rn) нейтральной линии кольца определялся по следующей формуле (77):

$$Rn = \frac{D_n}{2} - Yc = \frac{120}{2} - 1.538 = 58{,}462 \text{ мм}. \quad (77)$$

3. Тангенциальную упругость предварительно принимали исходя из практики эксплуатации дизелей, оснащенными кольцами разных производителей, взяв за основу кольца, производимые компанией *Goetze*, входящей в корпорацию

корпорацией *Federal Mogul* [56, 57], а также рекомендаций, изложенных в [58 - 64] величиной 22 - 30 Н, грушевидное распределение эпюры радиальных давлений (ЭРД) со степенью коррекции 1.4.

Среднее погонное давление при этом определяли по формуле:

$$Pср = \frac{2 \cdot 26}{0{,}116924} = 444{,}733\ Н/м. \quad (78)$$

4. Модуль упругости определялся согласно спецификации материала E=17100 Кг/мм^2, что соответствует 165,97 ГПа (коэффициент k=0,00970585).

5. Припуски на механическую обработку по наружному и внутреннему диаметрам зададим по 0,5 мм.

Как и для верхнего компрессионного кольца, расчет производили с использованием зарегистрированной в ФИПСе авторской программы (приложение Б) в соответствии с алгоритмом, детально разъясненным на рисунке 13 настоящей работы. При этом исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные для расчета формы второго кольца в свободном состоянии

№ п.п.	**Параметр**	**Значение**	**Единица измерения**
1	Кольцо	Второе компрессионное	–
2	Номинальный диаметр	120	мм
3	Радиус нейтральной линии	58,462	мм
4	Расстояние от внешней поверхности до нейтральной линии	1,538	мм
5	Момент инерции сечения	26.614	мм^4
6	Среднее погонное давление	444,733	Н/м
7	Степень коррекции ЭРД	1,4	–
8	Материал	Чугун высокопрочный	
9	Модуль упругости материала	165,97	ГПа

Результат вычисления изгибающих моментов по периметру кольца выполняем по формуле 18 представлен на рисунке 36.

На рисунке 37 представленная график заданной ЭРД в полярных координатах, соответствующий исходным данным таблицы 2.

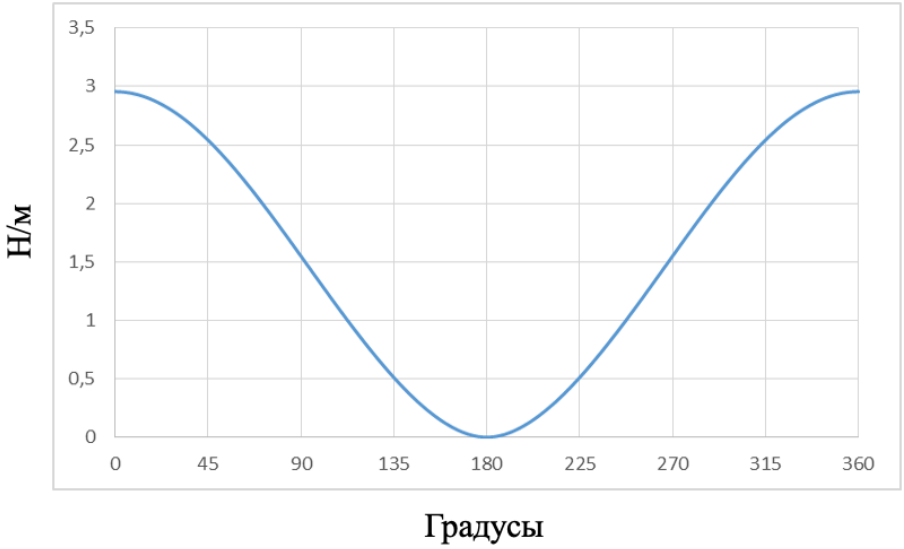


Рисунок 36 - Значения изгибающих моментов по периметру кольца, Н/м

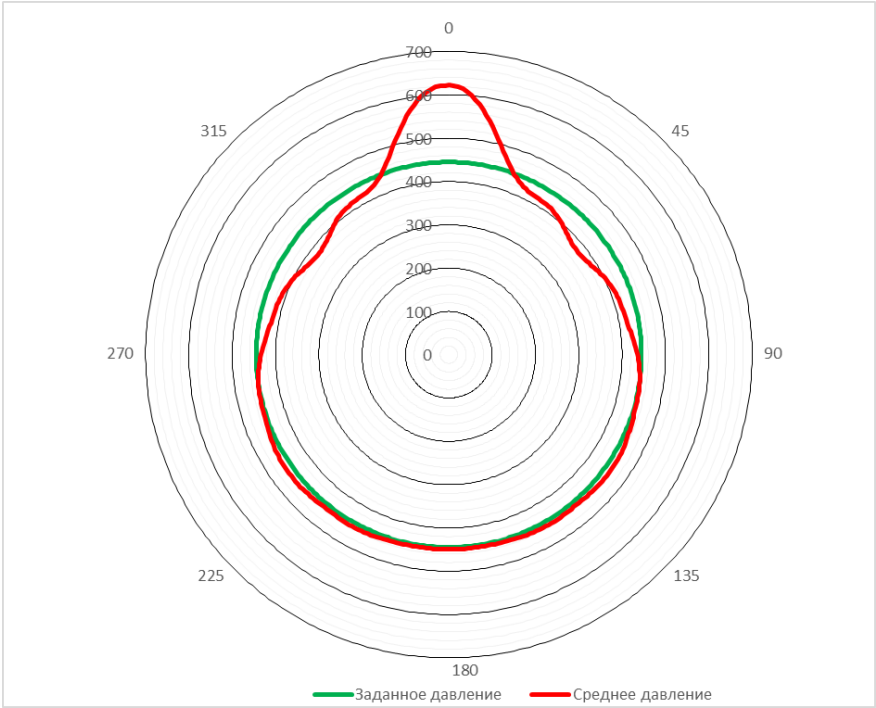


Рисунок 37 – Заданное распределение погонного давления кольца на гильзу по её периметру, Н/м.

Результат расчета формы нейтральной линии кольца в декартовых координатах и график приращений радиус-векторов кольца представлены на рисунках 38 и 39 соответственно.

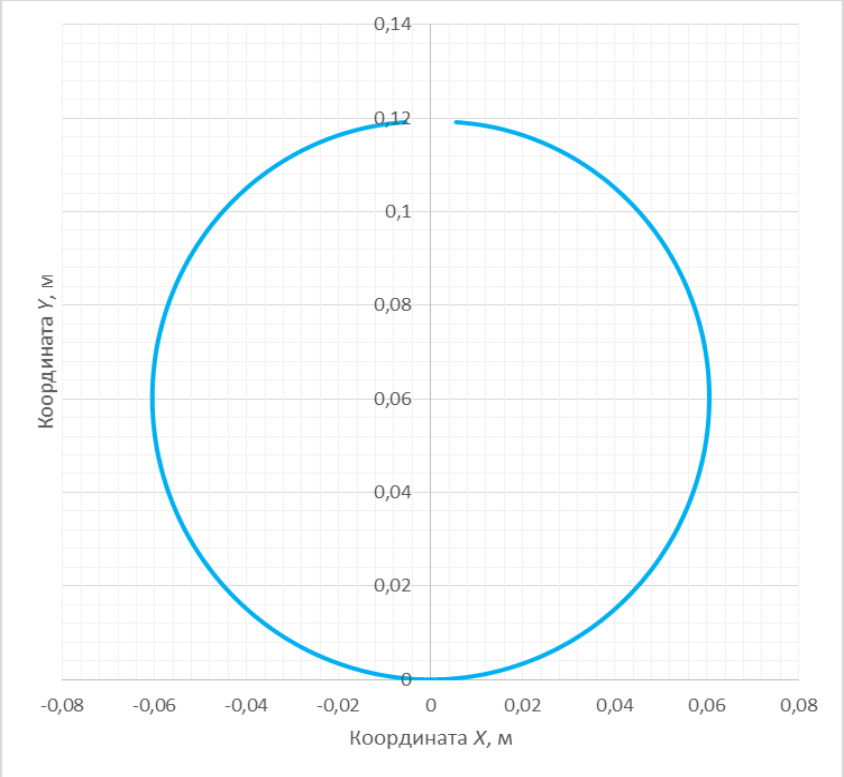


Рисунок 38 – Форма нейтральной линии кольца, полученная в результате расчета



Рисунок 39 – График приращений радиус-векторов кольца

На рисунке 40 представлена форма нейтральной линии с замкнутой зоной замка.

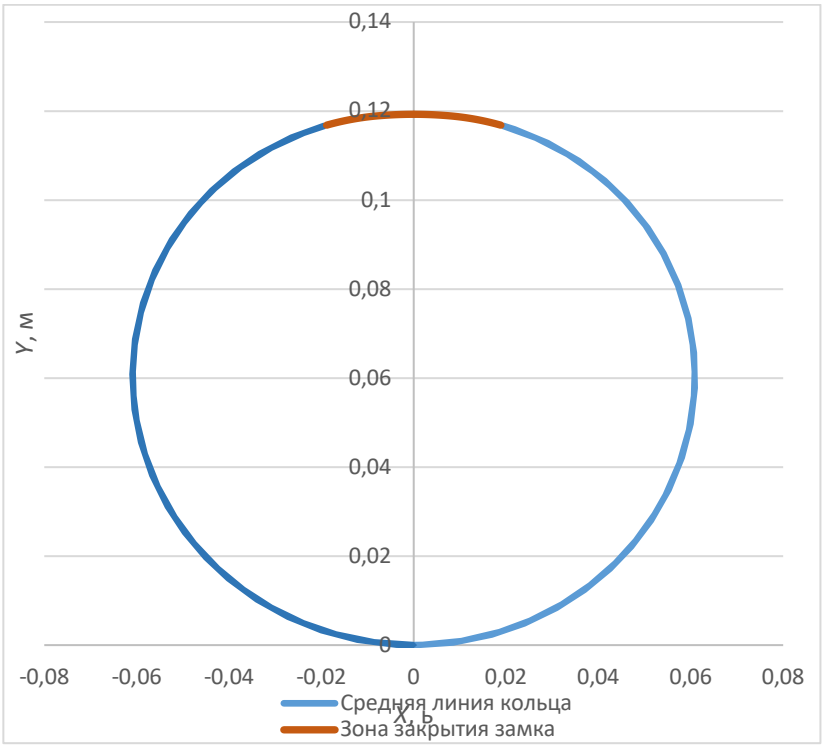


Рисунок 40 – Форма нейтральной линии кольца с замкнутой зоной замка

В результате расчетов получена форма нейтральной линии кольца в свободном состоянии. Кольцо с заданными параметрами должно в процессе механической обработки иметь следующие параметры:

Величина замка кольца в свободном состоянии: 10,975 мм;

Величина овальности в гибкой ленте: +0,04515 мм;

Величина упругости: 24,4 Н;

Диаметр обточки в плоскости оси спинка-замок: 123,22 мм;

Диаметр обточки в плоскости,
перпендикулярной оси спинка-замок: 124,95 мм.

Расчет формы нейтральной линии маслосъемного кольца не является предметом рассмотрения данной работы, так как его упругие свойства определяются в большей степени эспандером, а методика расчета существенных отличий не имеет.

Расчет формы колец в свободном состоянии осуществлялся с использованием авторского программного обеспечения Piston Ring Design V01.00.00 (рис. 41, 42).



Рисунок 41 – Стартовая страница работы программы расчета

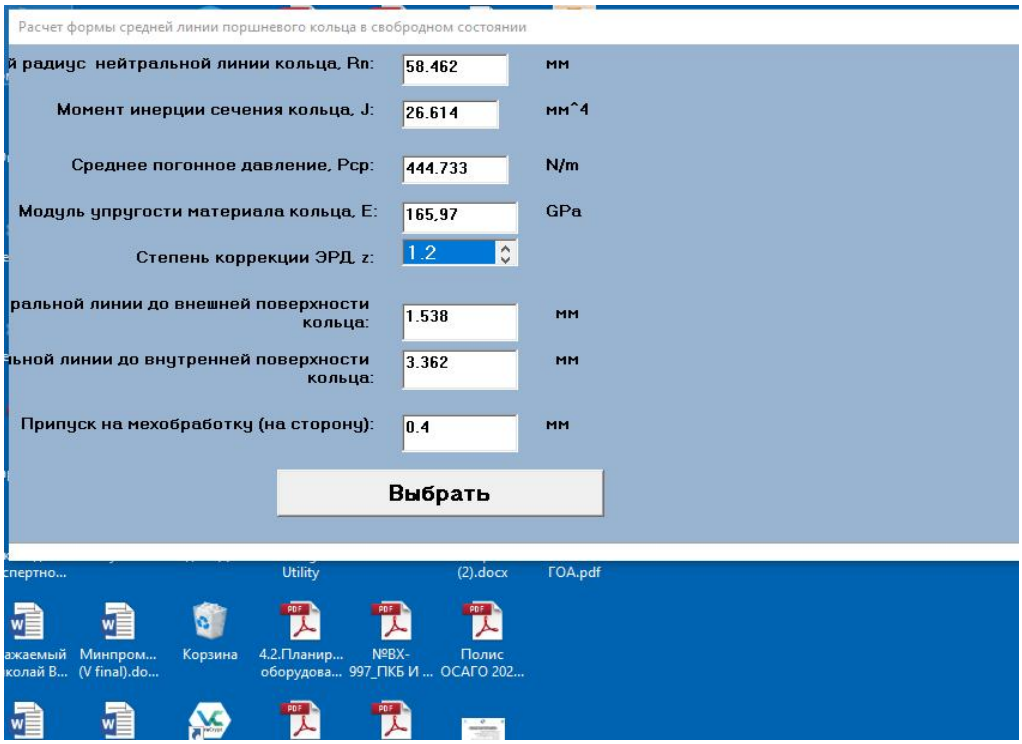


Рисунок 42 – Работа программы расчета (на этапе выбора исходных данных)

Зону замка замыкали степенным полиномом четвертой степени, что обусловлено плавностью и отсутствием ударных нагрузок в процессе резания и симметрией кольца относительно оси «замок» – «спинка». Соответственно четность степени полинома обусловлена симметрией, а степень – требованием равенства «0» 1-ой и 2-ой производных в точках сопряжения с нейтральной линией кольца для обеспечения плавности резания.

В итоге получили расчеты формы колец в свободном состоянии, представленные в приложениях Л и М.

4.2 Аналитическое определение параметров контактно-силового взаимодействия колец с гильзой, имеющей отклонения от номинальной формы

Определение контактно-силового взаимодействия компрессионных колец проводилось согласно методике, изложенной в разделе 3.3. настоящей работы.

При этом учитывали, что реальная форма гильзы имеет отклонение от номинальной (круг) в виде овальности, а отдельные гильзы в процессе затяжки имеют огранку 4 порядка (подробно описано в разделе 5.1. настоящей работы).

На первом этапе исследований оценивали непрерывность контактно-силового взаимодействия между верхним компрессионным кольцом и гильзой круглого поперечного сечения с увеличенным диаметром, что возможно в соответствии с допуском на её изготовление, а также в процессе износа гильзы. Результаты представлены на рисунке 43.

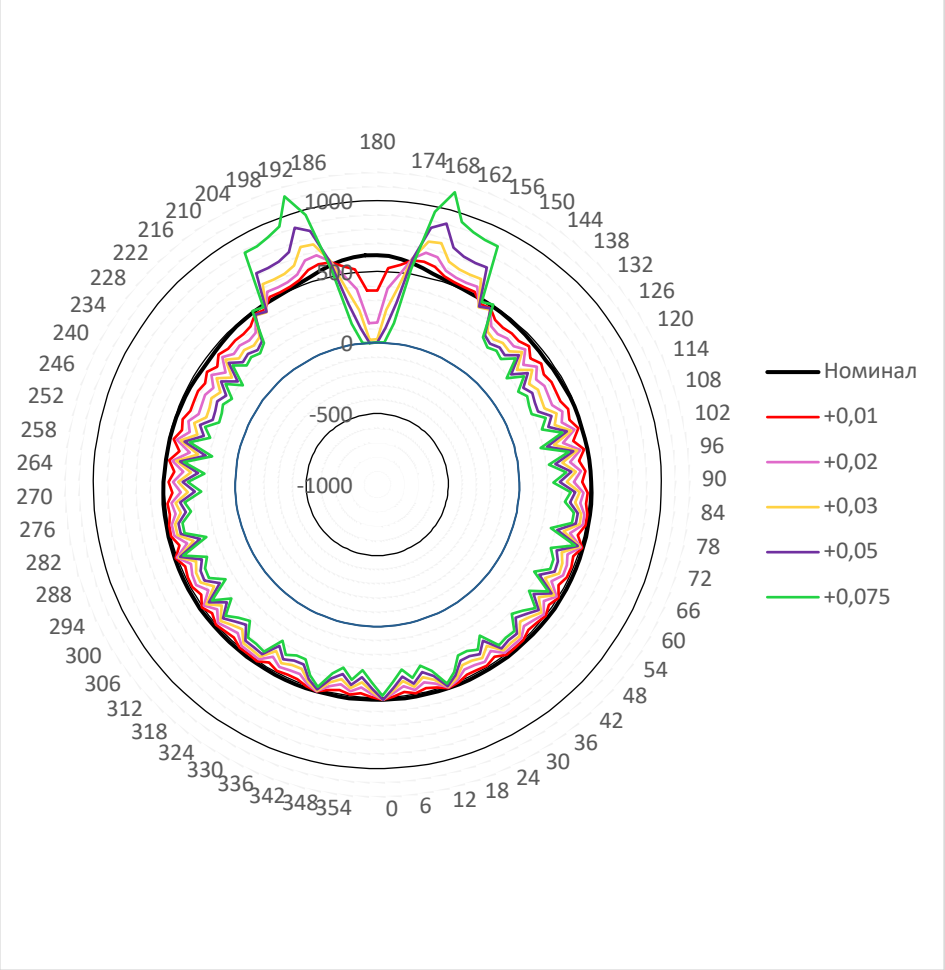


Рисунок 43 – Динамика изменения ЭРД при увеличении диаметра гильзы

Анализ расчетных данных показывает, что при увеличении номинального диаметра гильзы происходит снижение давления в зоне замка. При этом давление достигает нулевого значения при диаметре гильзы 120,75 мм, что не противоречит техническим требованиям двигателя.

Следует отметить, что перераспределение давления происходит следующим образом: зона максимального давления смещается в точки кольца с угловыми координатами 150 … 174°, а в зоне замка давление резко снижается, то есть ЭРД из заданной – «грушевидной» формы со степенью коррекции 1, 2 переходит в «яблокообразную» с резким понижением давления в зоне замка.

Так же следует обратить внимание на практически полное соответствие ЭРД в гильзе номинального размера заданному распределению радиальных давлений (рис. 29), что характеризует сопоставимость полученных результатов и адекватность разработанной в разделе 2.2. настоящей работы математической модели контактно-

силового взаимодействия поршневого кольца и гильзы цилиндра.

Также было оценено изменение ЭРД в гильзе, имеющей отклонение от заданной формы в виде овальности (в соответствии с данными, полученными в разделе 5.1. настоящей работы). Результаты представлены на рисунке 44.

Как показано на рисунке 44, с увеличением овальности гильзы грушевидный характер ЭРД принимает более ярко выраженный характер. При этом есть тенденция незначительного снижения давления в зоне 150 … 156° от спинки кольца, что не приводит к снижению работоспособности кольца.

Проведенный анализ показывает, что параметры кольца были выбраны верно, а разработанный математический аппарат работает адекватно.

Кроме того, учитывая, что в силу стремления к снижению напряженности кольца в такой гильзе ориентируются по большой оси овала гильзы, их уплотняющая способность не снижается.

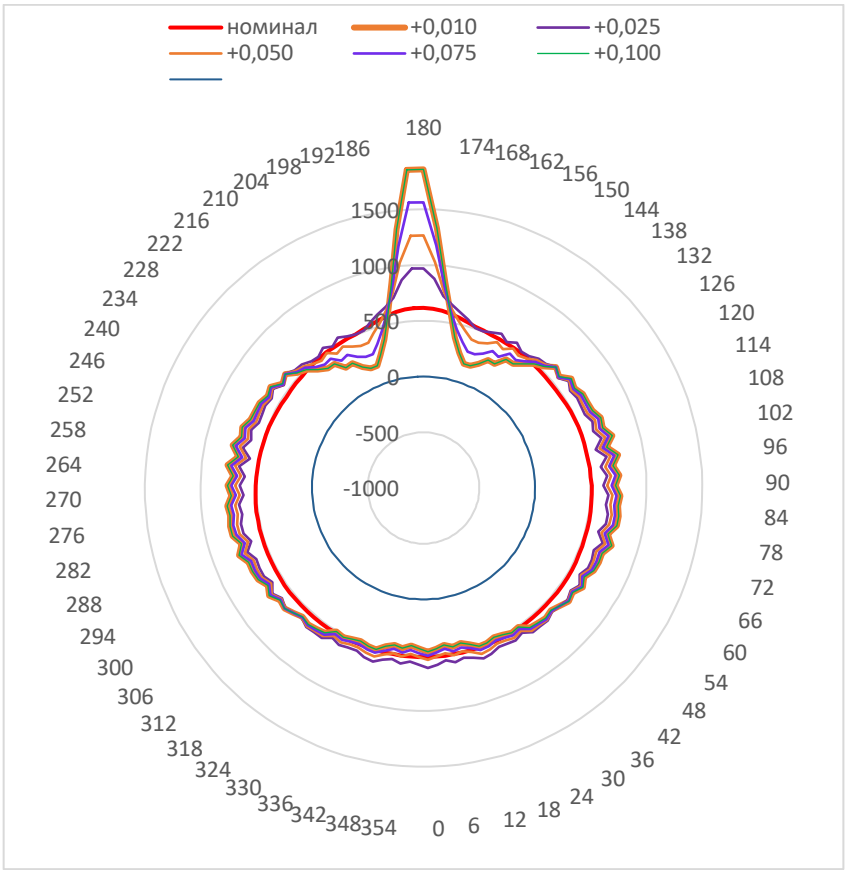


Рисунок 44 – Динамика изменения ЭРД при увеличении овальности гильзы

4.3 Результаты изготовления поршневых колец и контроля их параметров

Согласно произведенным в п. 4.1. настоящей работы расчетам, кольца изготавливались в условиях ООО «Производство поршневых колец» (ООО «ППК») согласно следующему технологическому маршруту обработки, представленного в таблице 3:

Таблица 3 – Последовательность операций обработки верхнего поршневого кольца

№ п.п.	Операция	Содержание операции	Оборудование
1	Слесарная	Обрубка отливок	Верстак
2	Фрезерная	Разрезка отливки на заготовки	Фрезерный станок для разрезки заготовок поршневых колец *YH01-5*
3	Торцешлифовальная	Шлифовка торцев черновая	Торцешлифовальный автомат *Goetze AG 3440*
5	Моечная		Машина моечная
6	Термическая	Нормализация высокотемпературная	Камерная печь с выкатным подом *КЭП 640/1200ПВП*
7	Торцешлифовальная	Шлифовка торцев чистовая	Торцешлифовальный автомат *Goetze AG 3443*
8	Моечная		Машина моечная
9	Токарно- копировальная	Одновременная копирная обточка и расточка	Токарно-фрезерный станок для обработки поршневых колец *HCFX-2*
10	Горизонтально-фрезерная	Вырезать замок	
11	Вертикально-фрезерная	Калибровка	Автоматический станок для шлифовки замка *YH05*
12	Токарная	обточка	Автоматический токарный станок с ЧПУ для наружного точения *YH26*
13	Токарная	фаска	Автоматический станок для снятия фаски на поршневых кольцах *YH15-2*
14	Вертикально-фрезерная	Калибровка	Автоматический станок для шлифовки замка *YH05*
15	Токарная	Расточка фасонная	Станок с ЧПУ для внутренней расточки поршневых колец *YH15-1*
16	Моечная		Машина моечная
17	Гальваническая		По техпроцессу гальванической линии
18	Шлифовальная	Шлифовка профиля	Кругло-шлифовальный станок для шлифовки профиля YH18
19	Токарно-фрезерная	Трапеция	Токарно-шлифовальный станок с ЧПУ для обработки трапеции поршневых колец *YHKTM*
20	Токарно-фрезерная	Трапеция	
21	Моечная		
21	Вертикально-фрезерная	Калибровка	Автоматический станок для шлифовки замка YH05
22	Демагнитизация		Демагнитизатор

У колец непосредственно в производственных условиях, помимо геометрических параметров и толщины покрытия, контролировались упругость, овальность и прилегаемость (посредством контроля на просвет).

Результаты контроля представлены в таблицах 4, 5 и 6.

Для оценки точности воспроизводства заданных параметров (прилегаемость, овальность, упругость) поршневых колец осуществлялся контроль параметров для 40 колец каждого типа, а результаты сопоставлялись с требованиями чертежей (которые полностью соответствуют данным, использовавшимися в качестве исходных для расчета форм нейтральной линии колец в свободном состоянии). Результаты ведены в таблицы 4 … 6.

Таблица 4 - Результаты контроля прилегаемости поршневых колец

№ п.п.	**Параметр**	**Заданный параметр**	**У готового кольца**		**Заключение**
			Диапазон	**Среднее значение**	
1	2	3	4	5	6
1.	Прилегаемость	При введении кольца в калибр просвет не допускается	Отсутствует	-	Годные

Таблица 5 - Результаты контроля упругости и овальности верхних поршневых колец

№ п.п.	**Параметр**	**Заданный параметр**	**У готового кольца**		**Заключение**
			Диапазон	**Среднее значение**	
1	Упругость	25 … 35 Н	22 …35	32	Годные
2.	Овальность	-0,02 … +0,02 мм	0 …0,018	0,006	Годные

Таблица 6 - Результаты контроля упругости и овальности вторых компрессионных колец

№ п.п.	**Параметр**	**Заданный параметр**	**У готового кольца**		**Заключение**
			Диапазон	**Среднее значение**	
1	Упругость	22 … 30 Н	22 …35	32	Годные
2.	Овальность	0 … 0,060 мм	0 …0,058	0,048	Годные

Как видно из таблиц 4, 5 и 6, все изготовленные кольца удовлетворяют заложенным в ходе расчета данным, следовательно, предложенная автором методика расчета формы нейтральной линии поршневого кольца в свободном состоянии обладает достоверностью и обеспечивает сходимость результатов.

4.4 Выводы по главе

- Исходя из опыта ведущих мировых производителей и анализа имеющихся в открытых источниках данных определены конструктивные параметры и исходные данные для расчета формы компрессионных поршневых колец в свободном состоянии.
- С использованием авторской методики выполнены расчеты формы поршневых компрессионных колец в свободном состоянии.
- Проведено моделирование контактно-силового взаимодействия компрессионных поршневых колец с гильзой цилиндра искаженной формы. Результат моделирования подтвердил достоверность математического аппарата. Результаты моделирования подтверждают работоспособность изготовленных компрессионных колец при наличии отклонений размера и формы гильзы цилиндра в пределах определённых техническими требованиями.
- Контроль основных параметров изготовленных в производственных условиях ООО «ППК» колец подтвердил их соответствие параметрам чертежей.

Глава 5. Результаты экспериментов и эксплуатационных испытаний

5.1 Результаты исследования монтажных деформаций гильз цилиндров

Исследования монтажных деформаций гильз цилиндров проводились в соответствии с методикой, изложенной в п. 3.2. настоящей работы. Геометрическая интерпретация результатов замеров предоставлены на рисунках 45-52.

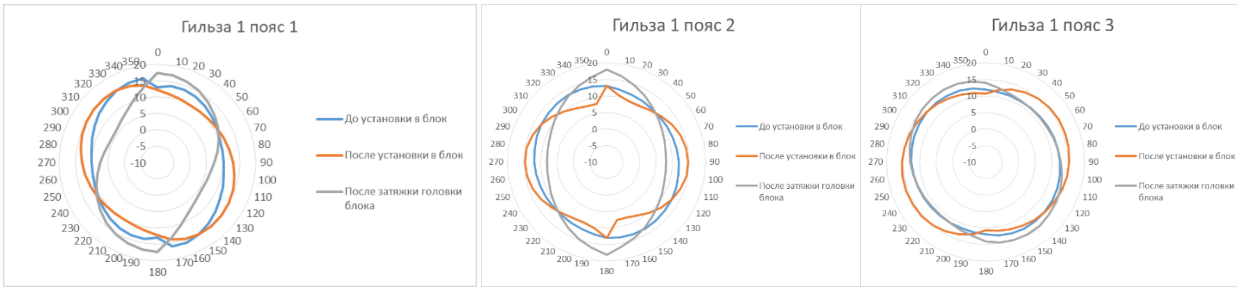


Рисунок 45 – Отклонение формы первой гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

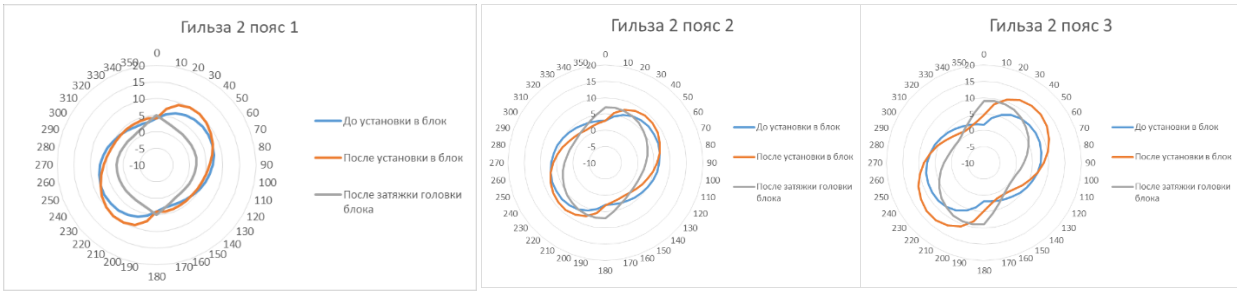


Рисунок 46 – Отклонение формы второй гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

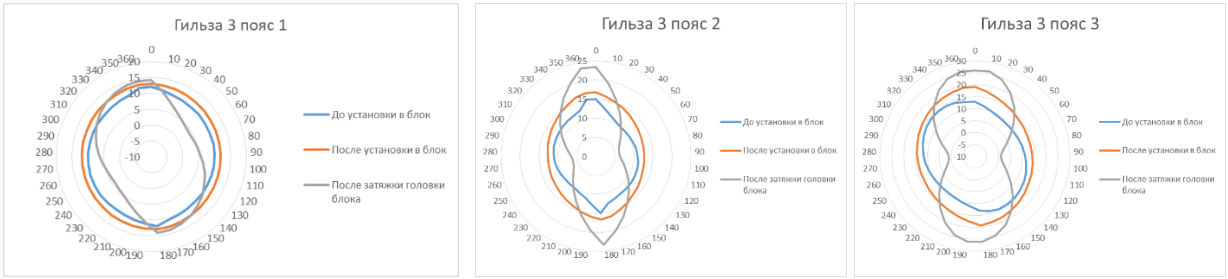


Рисунок 47 – Отклонение формы третьей гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

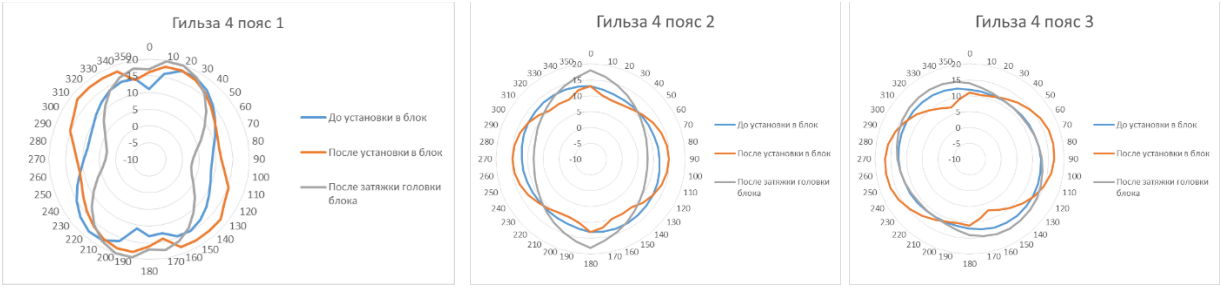


Рисунок 48 – Отклонение формы четвертой гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

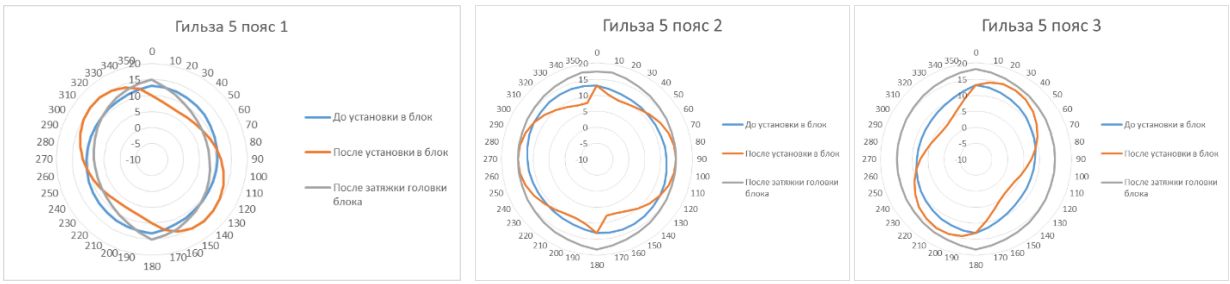


Рисунок 49 – Отклонение формы пятой гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

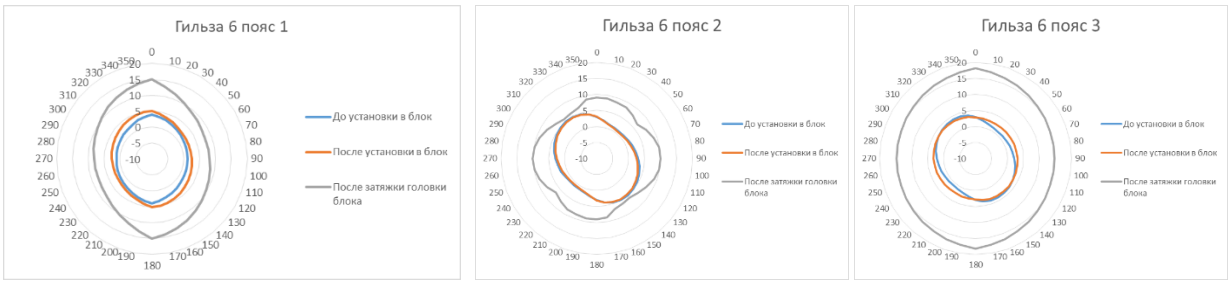


Рисунок 50 – Отклонение формы шестой гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

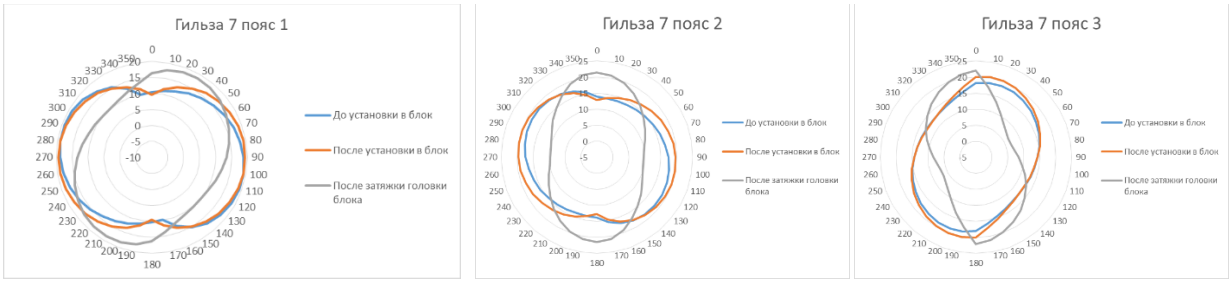


Рисунок 51 – Отклонение формы седьмой гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

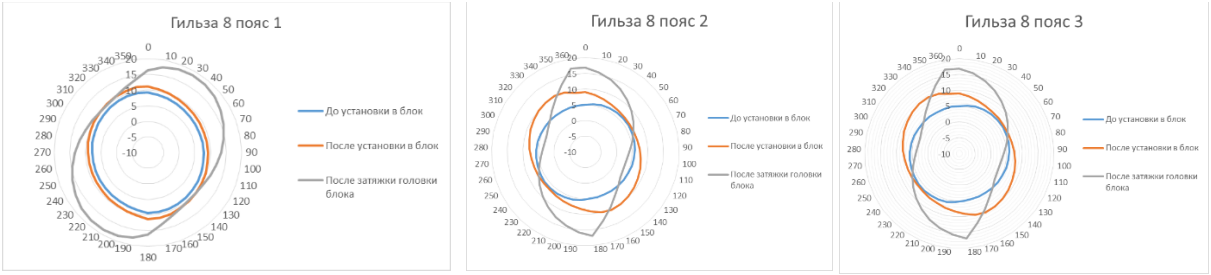


Рисунок 52 – Отклонение формы восьмой гильзы до установки в блок, после установки и после затяжки крышек блока цилиндра по результатам замеров.

При этом ориентация деформаций характеризуется совпадением большой оси овалов гильз с плоскостью перекладки поршня. Усредненные результаты деформаций представлены на рисунке 53, а их пространственная направленность на рисунке 54.

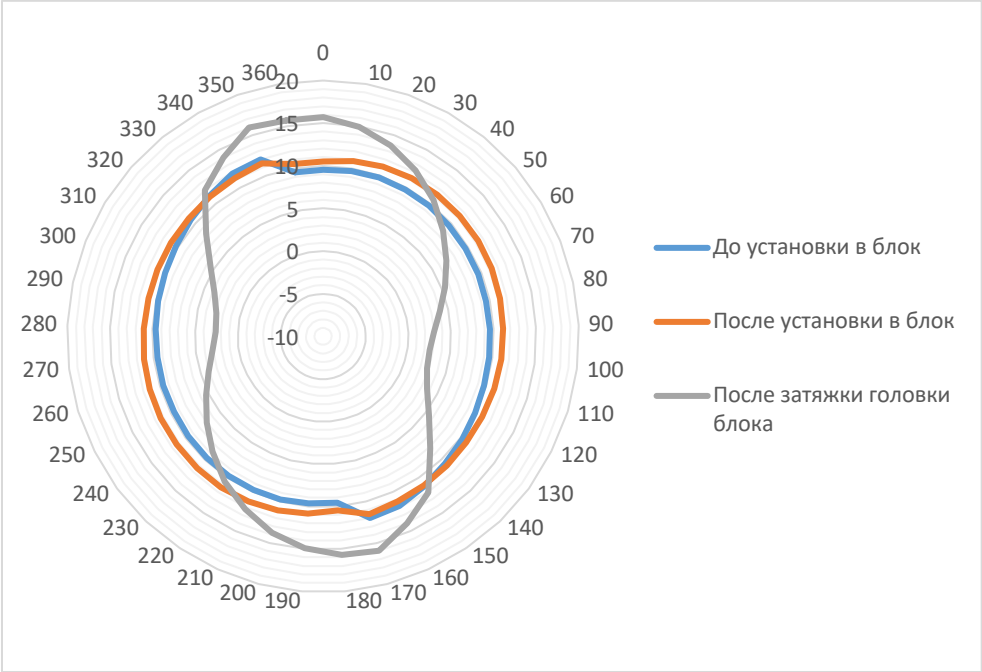


Рисунок 53 – Усредненные значения деформаций гильз

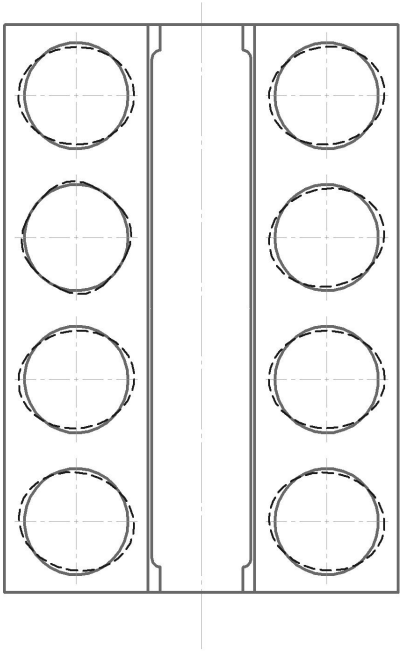


Рисунок 54 – Ориентация деформаций гильз в блоке

Анализ результатов замеров показал следующее:

- Внутренний диаметр всех отобранных гильз удовлетворяет требованиям технической документации (Ø $120^{+0,03}$).
- После установки гильз в блок цилиндров их внутренний диаметр незначительно изменяется.
- После затяжки болтов крышек цилиндров внутренняя поверхность гильз приобретает эллипсоидальную форму (рис. 43-50), при этом большая ось эллипса лежит в плоскости перекладки поршня. Максимальная величина эллипсности составляет 36 мкм.
- Вдоль оси гильзы деформация увеличивается от верхнего пояса к нижнему.
- После монтажа большинство гильз имеют овальность внутреннего диаметра, однако часть гильз (например, гильза № 6 в средней части) имеет ярко выраженную огранку 4-й степени. Очевидно, что этот факт необходимо учитывать при анализе работоспособности колец.
- Результаты эксперимента коррелируют с литературными данными по изменению формы гильз цилиндров (рис. 12).

5.2 Результаты подконтрольной эксплуатации дизелей, укомплектованных экспериментальными кольцами, и оценка остаточного ресурса

Целью проведения эксплуатационных испытаний являлось сопоставление эффективности уплотнения камеры сгорания с использованием экспериментальных и серийно применяемых поршневых колец, а также прогнозная оценка ресурса ЦПГ. В качестве объекта исследования использовался дизель КАМАЗ 746.

Подконтрольной эксплуатации были подвергнуты автомобили, использующиеся в течение 2020 - 2023 годов при выполнении транспортных операций (перевозок).

План наблюдений выбирался согласно рекомендациям ГОСТ Р 27.403-2009 «Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность» [65].

В качестве рабочего был использован рекомендуемый стандартами в области надежности техники план наблюдений NUT.

При количественной оценке остаточного и прогнозируемого ресурса подконтрольных двигателей все действия соответствовали с требованиями ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения [67].

Рекомендации используемых нормативных документов позволяют достоверно определять значение контролируемого параметра в интересующий момент времени на основании знания начальных значений. Это позволило оценить остаточный ресурс дизелей.

Как отмечалось выше в настоящей работе, в качестве критерия оценки было использовано давление в камерах сгорания двигателя (компрессия), так как именно этот параметр позволяет достоверно оценить уплотняющую способность поршневых колец.

В качестве средства измерения компрессии использовался серийно выпускаемый и широко используемый для этих целей компрессометр Car-Tool CT-030 (рис. 55).

Замеры компрессии, в соответствии с рекомендациями нормативной документации, осуществлялись последовательно в каждом цилиндре каждого подконтрольного дизеля.

Согласно паспорту дизеля КАМАЗ 746 величина давления сжатия при $n_{х/х}$ = 800 мин$^{-1}$ должна составлять *рс* = 2,6…2,8 МПа (26…28 кг/см^2).



Рисунок 55 – Прибор для измерения компрессии дизелей Car-Tool CT-030

Предельное значение давления сжатия при $n_{х/х}$ = 800 мин$^{-1}$ составляет рс=2,1 МПа (21 кг/см2).

Остаточный ресурс определялся по следующей формуле:

$$t_{ОСТ} = t_K \left[\left(\frac{u_П}{П(t_K) - П_Н - \Delta П} \right)^{1/\alpha} - 1 \right], \quad (79)$$

где: $П_Н$ - номинальное значение параметра;

$П_П$ - предельное значение параметра;

$\Delta П$ - показатель изменения параметра технического состояния за период приработки;

t_K - наработка составной части от начала ее эксплуатации или от возобновления эксплуатации после ремонта до момента контроля;

$П(t_K)$ - значение параметра, измеренное при наработке t_K;

$u_П = |П_П - П_Н| - \Delta П$ - предельное отклонение параметра технического состояния;

α - показатель функции, аппроксимирующей изменение параметра, $\alpha = 1{,}0$.

При этом исходили из линейного характера изменения диагностируемого параметра в соответствии с методикой, описанной в главе 3 настоящей работы.

Предельное значение давления сжатия принимали 2,1 МПа.

Параметры $П(t_K)$ измеряли через 500 моточасов наработки двигателя. Результаты замеров компрессии сведены в следующую таблицу:

Таблица 7 – Результаты замера компрессии

№ п/п	**Время проведения замеров**	**Давление в цилиндрах, МПа**	
		Экспериментальные кольца	**Серийные кольца (*Federal Mogul*)**
1.	После сборки двигателя	3,0	3,0
2.	После прохождения периода приработки	2,98	2,82
3.	После наработки tк	2,84	2,78

На основании этих данных, используя формулу (79) определяли время наработки до предельного состояния:

$$t_{ОСТ} = 2000\left[\left(\frac{|2{,}1 - 2{,}6| - 0{,}16}{2{,}84 - 2{,}6 - 0{,}16}\right)^{1/1} - 1\right] = 8500 \ моточасов$$

Тогда общий ресурс дизелей можно определить как:

$$T = t_K + t_{OCT} \quad (80)$$

Т=2000 +8500 = 10500 моточасов.

Аналогично для двигателей, укомплектованных серийными кольцами, получим:

$$t_{OCT} = 2000\left[\left(\frac{|2{,}1-2{,}6|-0{,}22}{2{,}74-2{,}6-0{,}22}\right)^{1/1}-1\right] = 5000 \ моточасов$$

Полный прогнозируемый ресурс работы восстановленных двигателей определяется:

Т=2000 +5000 = 7000 моточасов.

В результате вышеприведенных расчетов можно сделать заключение, что, основываясь на известных из открытых источников данных и предполагая линейный характер изменения контролируемого параметра, ресурс подконтрольных двигателей до планово-предупредительной замены поршневых колец составит не менее 10500 моточасов работы в то время, как согласно технических требований на двигатель [68] рекомендуемое значение – 10000 моточасов.

Таким образом, определенный на основании методов, рекомендованных ГОСТами, ресурс дизелей, укомплектованных серийными кольцами, превышает ресурс нового серийно выпускаемого двигателя. Результаты подконтрольной эксплуатации подтверждены соответствующим актом.

5.3 Выводы по главе

1. Внутренний диаметр всех отобранных гильз до их установки в блок цилиндров удовлетворяет требованиям технической документации (Ø $120^{+0,03}$). В результате установки, вследствие воздействия монтажных напряжений все гильзы подверглись деформациям. Подавляющее большинство приняло овальную форму, хотя имели место и другие отклонения, такие, как огранка 4 – го порядка.

Максимальная величина овализации составила 36 мкм.

2. Выявлено, что в продольном направлении имеет место отклонение формы гильз в виде конусности с явно выраженным характером: деформация увеличивается от верхнего пояса к нижнему.

3. Подконтрольная эксплуатация двигателей, в составе которых применялись экспериментальные кольца, подтвердила повышение их ресурса на 12 … 15% по сравнению с двигателями, укомплектованными серийно применяемыми кольцами, а их основные параметры полностью соответствовали нормативным.

Глава 6. Оценка экономической эффективности предложенных мероприятий

Экономическая эффективность настоящей работы определялась на основании 2-х составляющих: стоимостной и эксплуатационной.

Стоимостная составляющая учитывалась как разность себестоимости предлагаемых и серийно-используемых (*Federal Mogul*) колец.

Эксплуатационная составляющая вычислялась как экономическая составляющая от повышения ресурса, и, как следствие, уменьшение удельных (на единицу пробега) затрат на ремонтные воздействия. Оценка определялась как разность приведенных суммарных затрат на единицу наработки двигателей, укомплектованных экспериментальными и серийными кольцами.

Результаты расчетов позволили сделать вывод о повышении ресурса дизеля с действующих 7 000 до реальных 10 500 моточасов, что, согласно рекомендациям, изложенным в [69], позволило определить годовой экономический эффект от внедрения по следующей формуле:

$$Э_Г = \left(\frac{C_1}{W_1} - \frac{C_2}{W_2} \right) W^Г \qquad (81)$$

где: C_1, C_2 – себестоимость серийных и экспериментальных моторкомплектов колец, руб.;

W_1, W_2 – ресурс двигателя, моточас;

$W^Г$ – среднегодовая наработка, моточас.

Весь необходимый для расчета количественный материал сведен в таблицу 8:

Таблица 8 – Количественные данные для определения экономического эффекта

Наименование показателя	Единица измерения	Обозначение и формула расчета	Показатели	
			С серийными кольцами	С экспериментальными кольцами
Среднегодовая наработка	моточас	$W^{Г}$	2000	2000
Ресурс цилиндро-поршневой группы	моточас	W	7000	10500
Стоимость моторкомплекта колец	руб.	C	32 000	12 000
Годовой экономический эффект	руб.	$Э_{Г} = \left(\frac{C_1}{W_1} - \frac{C_2}{W_2} \right) W^{Г}$	-	6 862

6.1 Выводы по главе

Годовой экономический эффект от внедрения разработанных в настоящей работе мероприятий на 1 дизель составил 6 862 рубля. Учитывая годовую программу выпуска данных силовых агрегатов на уровне 1200 шт/год суммарный экономический эффект, составит 8,2 млн. руб.

Общие выводы

На основе выполненных исследований решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности уплотнения камеры сгорания ДВС путем обеспечения постоянства силового замыкания сопряжения кольцо – гильза цилиндра в диапазоне возможных отклонений формы и размеров гильзы цилиндра.

1. Определены теоретические зависимости, достоверно описывающие силовое взаимодействие поршневого кольца и гильзы цилиндра.

Предложена методика оптимизации параметров контактно-силового взаимодействия кольца и гильзы произвольной формы, что позволило уже на этапе проектирования поршневых колец учитывать возможные деформации гильзы (технологические, монтажные, температурные), а при изготовлении, приспособляемость колец позволяет обеспечивать надежную герметизацию камеры сгорания от картерной полости при самых неблагоприятных условиях. Разработан алгоритм определения формы нейтрально линии поршневого кольца в свободном состоянии, позволяющий снизить погрешность расчета до 1,5%.

2. Исследованы деформации гильз цилиндров, вызываемые затяжкой головок (крышек) блока цилиндров, выявлено, что в результате установки в блок вследствие воздействия монтажных напряжений все гильзы подверглись деформациям. Подавляющее большинство приняло овальную форму, хотя имели место и другие отклонения, такие, как огранка 4 – го порядка. Максимальная величина овализации составила 36 мкм. Кроме того выявлено, что все гильзы в продольном направление имеют отклонение формы в виде конусности с явно выраженным характером: деформация увеличивается от верхнего пояса к нижнему.

3. Применение разработанной на основе теоретических исследований программы позволило спроектировать и предложить конструкцию пакета поршневых колец с повышенной приспособляемостью, с использованием разработанного метода расчета рассчитана их форма в свободном состоянии.

4. Изготовлены поршневые кольца предложенной конструкции и экспериментально подтверждено повышение эффективность уплотнения камеры сгорания при их использовании на 20%.

5. Опыт эксплуатации мобильной техники с силовыми установками, укомплектованными экспериментальными поршневыми кольцами подтвердил повышение ресурса дизелей на 12-15% по сравнению с дизелями, укомплектованными серийными кольцами. Годовой экономический эффект от внедрения разработанных методик при годовой производственной программе 1200 двигателей составил 8,2 млн. руб.

Рекомендации производству. Положительный опыт практического применения разработанных методик и алгоритмов в условиях ООО «ППК» позволяет рекомендовать их к широкому применению на предприятиях, производящих поршневые кольца.

Перспективы дальнейшей разработки темы, заключаются в распространении полученных зависимостей и математического аппарата на другие упругие системы. В частности, предложенный метод расчёта может быть адаптирован для поршневых и уплотнительных колец компрессоров, турбокомпрессоров, а также гидравлических и пневматических уплотнений.

Список литературы

1. Теоретическое обоснование процесса оптимизации силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра / С. В. Снарский, Д. А. Никитин, А. Р. Асоян, А. А. Гафиятуллин // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 81-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 31 января – 02 2023 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. – С. 192-198. – EDN QZDOPH.
2. Условия работы и основные требования, предъявляемые к материалу гильз блока цилиндров / Крутилин А.Н., Курбатов М.И., Курбатова М.И.//Литье и металлургия, 2005, №2
3. Никитин Д.А. Повышение ресурса дизелей совершенствованием узлов уплотнения при изготовлении и ремонте / Никитин Д.А., автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.20.03 / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2013
4. Никитин Д.А. Влияние упругих свойств чугунов на ресурс цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания / Д.А. Никитин, М.Ю. Ерюшев, В.В. Чекмарев, П.Д. Никитин. М: Научное обозрение, 2012, №1, с. 34 - 38.
5. Б.Я. Гинцбург. Теория поршневого кольца. М.: Машиностроение, 1979, 271 с.
6. Б.Я. Гинцбург. Теория и расчет поршневых колец. М.: МАШГИЗ, 1945, 124 с.
7. Б.Я. Гинцбург. Теория поршневого колца. М.: ГОСМАШМЕТИЗДАТ, 1934, 88 с.
8. Reinhardt K. Selbstspannende Kolbenringe, Z. VDT, 1901.
9. Prescott J/ Applied Elasticity, Jongmans, Green and Co., N.-Y., 1924.
10. Энглиш, К. Радиальные давления поршневых колец на стенки цилиндра//ATZ. 1940. №2.

11. Meldahl A. En sqalvspannande Kolberingsexakta form, Automobel - och mo-torteknic. Hafte 12 arg. 73. Zurich, 1943.

12. Энглиш, К. Поршневые кольца//М., 1962. Т.1.

13. Энглиш К. Поршневые кольца//М., 1963. Т.2.

14. Arnold, H. Berechnung und praktische Verwendung von offenen, ebenen Ringfedern konstanter und inkonstanter. Starke, Diss., Karlsruhe, 1951.

15. Адамович, А.В. Расчет поршневых колец с учетом переменного модуля упругости и остаточной деформации// Тракторы и сельскохозмашины. М., 1966. №11.

16. Загребин, Г.Г. Научное обоснование процесса формообразования поршневых колец судоходных двигателей: Автореф. дис. … д-ра техн. наук. СПб, 1999

17. Загребин, Г.Г. Научное обоснование процесса формообразования поршневых колец судовых дизелей. Дис. д-ра. техн. наук: 05.02.08/СГАУ. Саратов, 1999.- 387 с.

18. Голицын, Ю.А. Графоаналитический способ определения формы поршневого кольца в свободном состоянии/Тракторы и сельхозмашины. 1959. №9.

19. Хохлов, А.В. Теоретическое обоснование повышения долговечности поршневых колец дизелей/ А.В. Хохлов, Г.А. Ивашенцев. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», Саратов, 2004. - 136 с.

20. Голицын, Ю.А., Ивашенцев Г.А. Определение контура поршневого кольца в свободном состоянии с помощью интеграла Мора//Труды СИМСХ.1969. Ч. III. Вып. 42.

21. Никитин Д.А., Повышение ресурса дизелей совершенствованием узлов уплотнения при изготовлении и ремонте. автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.20.03 / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2013

22. Александров А.Я. Расчет поршневых колец малой жесткости //Тр. НИИЖТ. 1952. №8.

23. Александров, А.Я. О расчетном построении формы поршневых колец в свободном состоянии//Вестник машиностроения. 1965. №4.

24. Методика расчета формы поршневых колец для дизелей и газовых двигателей при копирном способе формообразования. РТМ 24.060.36-81. М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по тяжелому и транспортному машиностроению, 1982. 48 с. ил.

25. Лурье, А.И. О малых деформациях криволинейных стержней//ЛПИ. Л., 1941. №3.

26. W. Serdecki/ Variability of compression ring pressure against the deformed cylinder wall during engine operation // Journal of POLISH CIMAC. Energetic aspects, Gdańsk 2013, Vol. 8, N 1.

27. Iskra A., Studium konstrukcji i funkcjonalności pierścieni w grupie tłokowo-cylindrowej. Wydawnictwo PP, Poznań 1996.

28. Влияние температурной деформации деталей цилиндропоршневой группы ДВС на силовое взаимодействие сопряжения кольцо - гильза цилиндра / Д. А. Никитин, А. Р. Асоян, С. В. Снарский [и др.] // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 26–27 января 2021 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. – С. 283-290.

29. Influence of the Piston Ring Shape in a Free State on the Efficiency of Sealing the Combustion Chamber / D. A. Nikitin, P. D. Nikitin, A. R. Asoyan [et al.] // 2021 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex, TIRVED 2021 - Conference Proceedings, Moscow, 11–12 ноября 2021 года. – Moscow, 2021. – DOI 10.1109/TIRVED53476.2021.9639210.

30. Галиев, А. Р. Конструкция ДВС со съемными гильзами и их деформация при монтаже / А. Р. Галиев, А. Т. Кулаков // XI Камские чтения :

сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Набережные Челны, 22 ноября 2019 года / Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт ; ответственный редактор Л. А. Симонова. – Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института КФУ, 2019. – С. 293-295.

31. Повышение работоспособности гильз цилиндров созданием тонкослойных покрытий в сопряжении / А. Т. Кулаков, Е. П. Барыльникова, С. В. Снарский [и др.] // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2019 (МНТК «ИМТОМ - 2019») : Материалы X Международной научно-технической конференции, Казань, 05–06 декабря 2019 года. Том часть 2. – Казань: Акционерное общество «Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий», 2019. – С. 251-255.

32. Деформации гильз цилиндров и их влияние на работу цилиндропоршневой группы / А. Т. Кулаков, Е. П. Барыльникова, И. П. Талипова, Ю. Т. Талипова // Естественные и технические науки. – 2019. – № 5(131). – С. 176-178

33. Диагностирование и оперативный контроль остаточного ресурса узлов и агрегатов автомобиля / И. В. Макарова, А. Т. Кулаков, Э. М. Мухаметдинов [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2018. – № 2. – С. 54-60.

34. Галиев, А. Р. Конструкция ДВС со съемными гильзами и их деформация при монтаже / А. Р. Галиев, А. Т. Кулаков // XI Камские чтения : сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Набережные Челны, 22 ноября 2019 года / Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт ; ответственный редактор Л. А. Симонова. – Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института КФУ, 2019. – С. 293-295. Влияние допусков формы и расположения поверхностей сопрягаемых деталей на монтажную

макрогеометрию гильзы цилиндра / М. Н. Ахметов, Н. Д. Ахметов, М. М. Гимадеев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 4. – С. 42-44.

35. Симдянкин, А. А. Повышение качества поршневых колец технологическим обеспечением приспособляемости кольца к цилиндру: автореферат дис. на соискание ученой степени канд.техн.наук: 05.02.08 / А. А. Симдянкин. - Саратов, 1992. - 23 с.

36. Егурнов Н.В. Математическое моделирование приспособляемости поршневых колец к стенке гильзы двигателя внутреннего сгорания /Н.В. Егурнов., А.А. Симдянкин // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2000. – № 2. – С. 114-119.

37. Сопротивление материалов.М.: Наука. 1976. 608 с.

38. E. Tomanik, “Piston ring conformability in a distorted bore,” Society of Automotive Engineers, 960356, pp. 169-180, 1996.

39. A. Wolf, A. Piechna, «Numerical simylation of piston ring pack operation», The archive of mechanical engineering, 2003, Vol. L, №3, p.p. 303 … 329

40. Tian T., Wong V. W., Heywood B.: A Piston Ring Pack Film Thickness and Friction Model for Multigrade Oils and Rough Surfaces. SAE Paper, No. 962032, pp. 27+39, 1996.

41. V. V. Dunaevsky, “Analysis of distortions of cylinder and conformability of piston rings”, Tribology Transactions, Vol. 33, No. 1, pp. 33-40, 1990.

42. Yamamoto Kenji, Ochiai Masayuki, Dynamic Contact Analysis of Piston Ring in Distorted Cylinder Bore // Proceedings of the Society of Automotive Engineers of Japan. Vol.50, №1, January 2019.

43. Yang Liu and Tian Tian, Development and Application of Ring-Pack Model Integrating Global and Local Processes. Part 1// SAE International Journal of Engines. Vol. 10, No. 4 (October 2017), pp. 1927-1939 (13 pages). Published By: SAE International

44. А.А. Самарский. Теория разностных схем. М.: Наука. 1977. 656 с.

45. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025691034 Российская Федерация. Программа вычисления координат нейтральной оси поршневого кольца в свободном состоянии с учетом влияния химических упрочняющих покрытий на упругие характеристики: заявл. 31.10.2025: опубл. 12.11.2025 / П. Д. Никитин, А. Р. Асоян, Д. А. Никитин, Л. В. Никитина; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

46. Тимошенко, С.П., Гудьер, Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979, 560 с.

47. ГОСТ 9244-75. Нутромеры с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия. М: Издательство стандартов. 2004. 7 с.

48. ГОСТ 33530-2015 (ISO 6789:2003). Инструмент монтажный для нормированной затяжки резьбовых соединений. Ключи моментные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ Р 51254-99 ; введ. 2017-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 19 с.

49. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ФОРМЫ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ В СВОБОДНОМ СОСТОЯНИИ

50. Ерюшев М.В. Повышение межремонтного ресурса дизелей путем адаптации формы поршневых колец к изношенной гильзе цилиндров при текущем ремонте (на примере двигателя ЯМЗ-236) дис. …канд. техн. наук / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2012

51. Никитин Д.А. Повышение ресурса дизелей совершенствованием узлов уплотнения при изготовлении и ремонте: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.20.03 / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2013

52. Митряков, А. В. Надежность восстановительной технологии / А. В. Митряков. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та., 1979. – 184 с.

53. Пустыльник, Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.

54. Веденякин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г. В. Веденякин. – М.: Колос, 1973. – 200 с.

55. Экономика: справочное пособие / под ред. Д. В. Валовой [и др.] – М.: Интел-Синтез, 2001. – 432 с.

56. Piston rings Kolbenringe: интернет-ресурс https://www.enginepartsuk.net/sites/default/files/goetze-rings-cat.pdf

57. Каталог оригинальных запчастей производства ОАО «КАМАЗ», Цилиндропоршневая группа:/ Заказчик: ОАО «КАМАЗ». Изготовитель ГК «Артик» (г. Казань). Издание 2010 г. Тираж: 1000 шт. 22 с.

58. Камский моторный завод. Детали цилиндропоршневой группы:/ Камский моторный завод, ООО «Автокомпонент», г. Набережные челны 2020, 156 с.

59. Dowson, D., Ruddy, B. L., and Economou, P. N. Elasto hydrodynamic lubrication of piston rings. Proc. R. Soc., 1983, A386, 409–430.

60. Okamoto, M. and Sakai, I. Contact pressure distribution of piston rings – calculation based on piston ring contour. SAE technical paper 2001-01-0571, 2001, pp. 1–7.

61. Dunaevsky, V. V., Alexandrov, S., and Barlat, F. Analysis of three-dimensional distortions of the piston rings with arbitrary cross-section. SAE technical paper 2000-01-3453, 2000, pp. 1–7.

62. Balakrishnan, S. and Rahnejat, H. Isothermal transient analysis of piston skirt-to-cylinder wall contacts under combined axial–lateral–tilting motion. J. Phys. D Appl. Phys., 2005, 38, 787–799.

63. Dunaevsky, V. V. Analysis of distortions of cylinders and conformability of piston rings. STLE Tribol. Trans., 1990, 33(10), 33–40.

64. Balakrishnan, S. and Rahnejat, H. Isothermal transient analysis of piston skirt-to-cylinder wall contacts under combined axial–lateral–tilting motion. J. Phys. D Appl. Phys., 2005, 38, 787–799.

65. ГОСТ Р 27.403-2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа. – Взамен ГОСТ 27.410-87 (в части планов испытаний) ; введ. 2011-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – III, 23 с

66. ГОСТ 221571-76 Система технического обслуживания и ремонта. Методы определения допускаемого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин. М: Издательство стандартов. 1988. 112 с.

67. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. М: Издательство стандартов. 1997. 12 с.

68. www.cartechnic.ru/remont_dvigateley/ocenka_tehnich.html

69. Экономика : справочное пособие / под ред. Д. В. Валовой [и др.] – М. : Интел-Синтез, 2001.

70. Оценка точности расчета формы поршневых колец в свободном состоянии / П. Д. Никитин, А. Р. Асоян, Д. А. Никитин, В. В. Чекмарев // Двигателестроение. – 2026. – № 1(303). – С. 18-26.

71. Повышение эффективности уплотнения в сопряжении поршневое кольцо - гильза цилиндра путем снижения погрешностей при расчете формы кольца в свободном состоянии / П. Д. Никитин, А. Р. Асоян, Д. А. Никитин [и др.] // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2026. – № 1(47).

72. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике (ССНТ). Основные понятия. Термины и определения [Текст]. — Введ. 1990–01–01. — Москва: Издательство стандартов, 1990. — 38 с

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Выписка о награждении

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ВЫСТАВКА ДОСТИЖЕНИЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА»
129223, Россия, г.Москва, проспект Мира, дом 119, строение 230
Телефон: +7 495 544 3400, факс: +7 495 748 3480, info@vdnh.ru, www.vdnh.ru
ОКПО 00038540, ОГРН 1027700008874, ИНН 7717037582, КПП 771701001

14.09.2026 № Исх-08-393/16
на № _____ от _____

АРХИВНАЯ ВЫПИСКА

УТВЕРЖДАЮ:
Начальник Управления организации
выставочных мероприятий
ОАО «ГАО ВВЦ»

_____/подпись/ Н.И.Бобровская
«_____» _____2011 г.

ПРОТОКОЛ

Заседания Экспертного совета Всероссийской выставки научно-технического творчества молодежи «НТТМ-2011», проведенной в павильоне № 75 с 28 июня по 1 июля 2011 года.

Рассмотрев и оценив представленные работы, конкурсная комиссия выставки считает возможным рекомендовать Правлению ОАО «ГАО ВВЦ» наградить следующих участников выставки: медалью «Лауреат ВВЦ»

№ п/п	Наименование организации, почтовый индекс, адрес, номер телефона	Фамилия, имя, отчество, должность	Наименование экспоната, чем конкретно выражается участие в его создании	Предложение о награждении дипломом ВВЦ, медалью «Лауреат ВВЦ»
22.	Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова 410012, г.Саратов, Театральная пл., 89 Тел: (8452) 73 47 45	Никитин Павел Дмитриевич, аспирант	за глубокую проработку инвестиционного проекта по отраслевой тематике	«Лауреат ВВЦ»

Заместитель начальника Управления
организации выставочных мероприятий /подпись/ Т.Г.Зарецкая

Основание: ф.6, инд.15, оп.20, ед./хр.31, лл.109, 114, 117.
Архивная выписка верна.

Начальник управления
по организации работы с документами
Аппарата генерального директора **Е.Л.Конева**

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025691034

Программа вычисления координат нейтральной оси поршневого кольца в свободном состоянии с учетом влияния химических упрочняющих покрытий на упругие характеристики

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (RU)***

Авторы: ***Никитин Павел Дмитриевич (RU), Асоян Артур Рафикович (RU), Никитин Дмитрий Анатольевич (RU), Никитина Людмила Владимировна (RU)***



Заявка № **2025690235**

Дата поступления **31 октября 2025 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***12 ноября 2025 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 00a570e4f7aa3d531b4b8818e75f29506
Владелец Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 04.09.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Патент на изобретение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 538 414** (13) **C2**

(51) МПК
G01N 3/20 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013121248/28, 07.05.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.05.2013

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 07.05.2013

(43) Дата публикации заявки: 20.11.2014 Бюл. № 32

(45) Опубликовано: 10.01.2015 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2308016 C2 10.10.2007 . RU 75241 U1 27.07.2008 . SU 953511 A1 23.08.1982 . DE 4234950 C1 21.04.1994

Адрес для переписки:
410054, г.Саратов, ул. Политехническая, 77, СГТУ имени Гагарина Ю.А., патентно-лицензионный отдел ЦТТ

(72) Автор(ы):
Никитина Людмила Владимировна (RU),
Никитин Дмитрий Анатольевич (RU),
Межецкий Геннадий Дмитриевич (RU),
Чекмарев Василий Васильевич (RU),
Сякин Саид Митхатьевич (RU),
Никитин Павел Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А." (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:

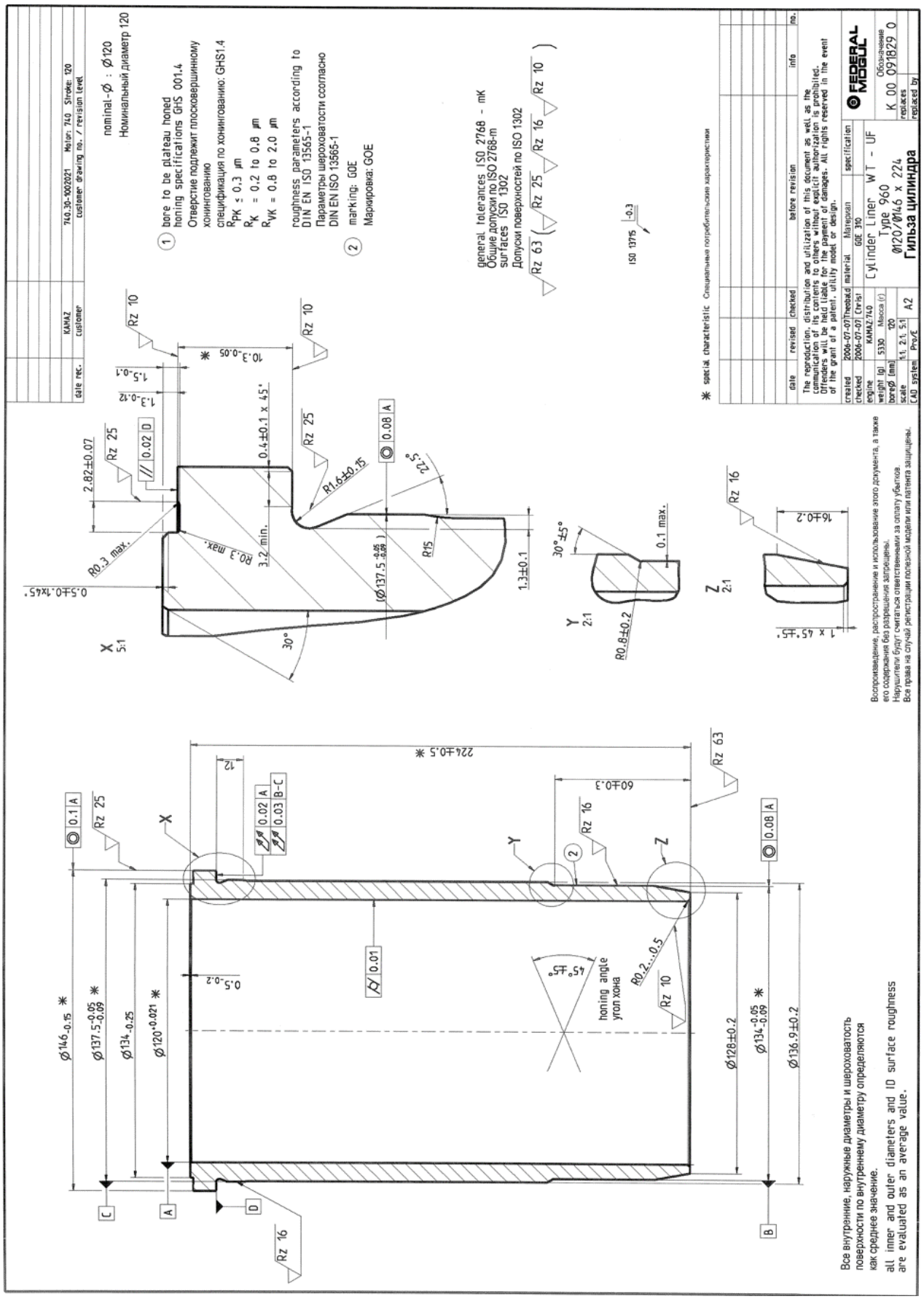
Изобретение относится к области испытательной техники, а именно к устройствам для определения упругих характеристик материалов при изгибе, и может быть использовано для определения зависимости модуля упругости конструкционных материалов как от температуры, так и от величины изгибающих напряжений. Устройство содержит помещенный в муфельную печь, оснащенную системой регулирования температуры, опорный столик с призматическими опорами, нагружающий механизм. Нагружающий механизм со стороны приложения нагрузки содержит набор калиброванных разновесов, а со стороны опорного столика нагрузочную скобу, снабженную опорными призматическими выступами, непосредственно контактирующими с испытуемым образцом. Технический результат: повышение точности измерений модуля упругости, расширение функциональных возможностей устройства и снижение трудоемкости процесса испытаний. 2 ил.

RU 2538414 C2

RU 2538414 C2

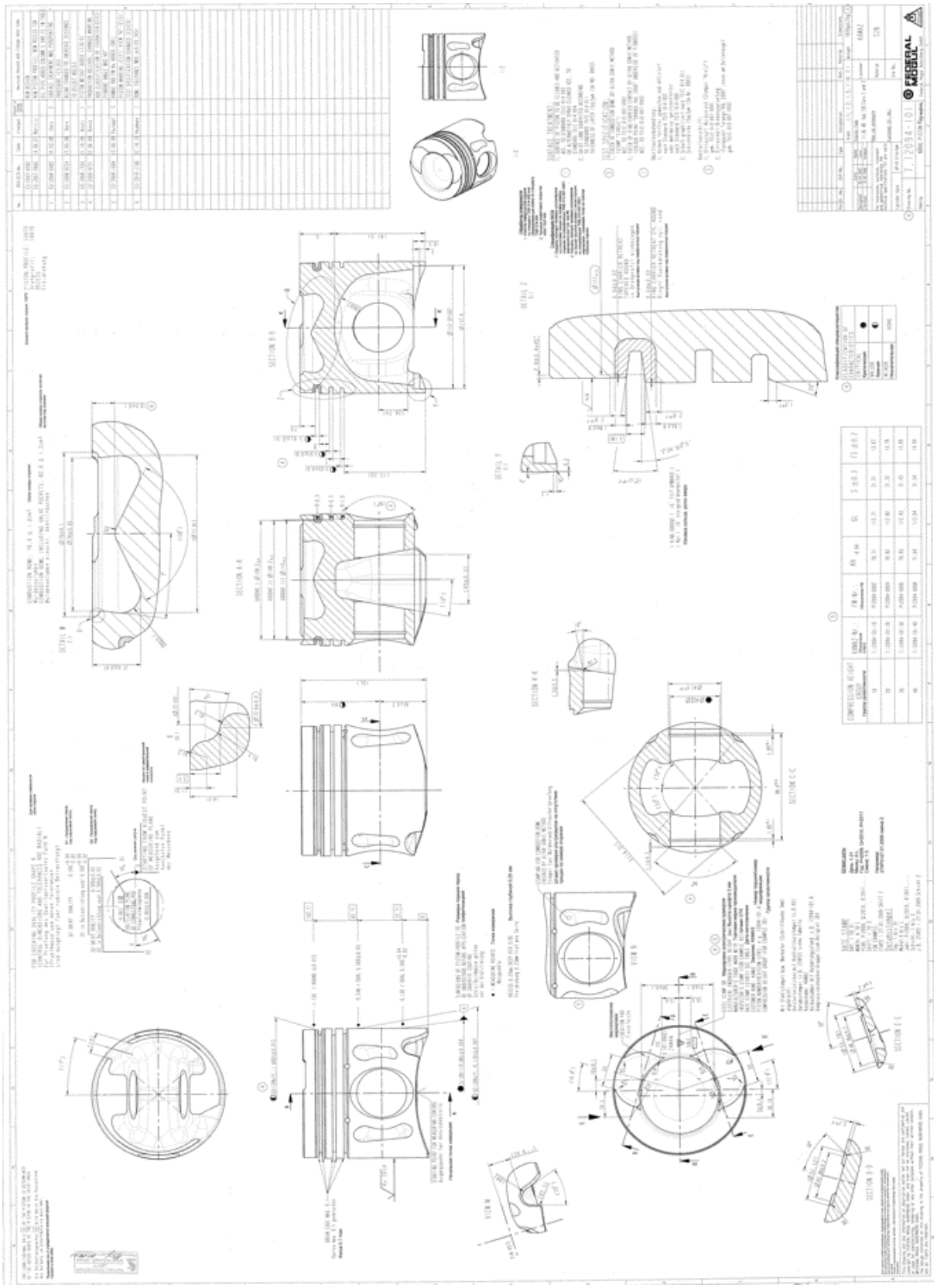
ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Гильза цилиндра КАМАЗ -740



ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Чертеж поршня



ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Расчет МЦХ плоских фигур

Дата 23.11.2023

Документ: КАМАЗ 030

Расчет МЦХ плоских фигур

Количество тел N = 1

Количество отверстий N1 = 0

Площадь S = 12.928278 мм^2

Центр масс Xc = 2.130301 мм

Yc = 1.627676 мм

В заданной системе координат:

Осевые моменты инерции Jx = 43.311136 мм^4

Jy = 81.079860 мм^4

Центробежный момент инерции Jxy = 43.558807 мм^4

В центральной системе координат:

Осевые моменты инерции Jx = 9.059854 мм^4

Jy = 22.408975 мм^4

Центробежный момент инерции Jxy = -1.269231 мм^4

В главной центральной системе координат:

Осевые моменты инерции Jx = 8.940247 мм4

Jy = 22.528581 мм4

Угол наклона главных осей A = 354° 37' (354.616607°)

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Расчет МЦХ плоских фигур

Дата 23.11.2023

Документ: КАМАЗ 032

Расчет МЦХ плоских фигур

Количество тел: N = 1

Количество отверстий: N1 = 0

Площадь: S = 14.119125 мм^2

Центр масс: Xc = 2.388959 мм

Yc = 1.537757 мм

В заданной системе координат:

Осевые моменты инерции: Jx = 43.621549 мм^4

Jy = 107.193949 мм^4

Центробежный момент инерции: Jxy = 53.243628 мм^4

В центральной системе координат:

Осевые моменты инерции: Jx = 10.234101 мм^4

Jy = 26.614324 мм^4

Центробежный момент инерции: Jxy = 1.375063 мм^4

В главной центральной системе координат:

Осевые моменты инерции: Jx = 10.119471 мм^4

Jy = 26.728954 мм^4

Угол наклона главных осей A = 4° 45' 55.221219" (4.765339°)

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Расчет МЦХ плоских фигур

Дата 23.11.2023

Документ: КАМАЗ 035

Расчет МЦХ плоских фигур

Количество тел N = 1

Количество отверстий N1 = 0

Площадь S = 6.543533 мм^2

Центр масс Xc = 1.010127 мм

Yc = -1.500000 мм

В заданной системе координат:

Осевые моменты инерции Jx = 20.757692 мм^4

Jy = 10.256209 мм^4

Центробежный момент инерции Jxy = -9.914698 мм^4

В центральной системе координат:

Осевые моменты инерции Jx = 6.034743 мм^4

Jy = 3.579474 мм^4

Центробежный момент инерции Jxy = 0.000000 мм^4

В главной центральной системе координат:

Осевые моменты инерции Jx = 3.579474 мм4

Jy = 6.034743 мм4

Угол наклона главных осей A = 90° (90.000000°)

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Результаты замеров отклонений внутреннего диаметра гильз цилиндров от номинального значения Ø120$^{+0,03}$мм, мкм

№ гильзы	Сечение	1 пояс					2 пояс					3 пояс					Средние значения				
		До хонинга	После хонинга 1 блок		После хонинга блока		До хонинга	После хонинга 1 блок		После хонинга блока		До хонинга	После хонинга 1 блок		После хонинга блока		До хонинга	После хонинга 1 блок		После хонинга блока	
			Размер	Деформация	Размер	Деформация		Размер	Деформация	Размер	Деформация		Размер	Деформация	Размер	Деформация		Размер	Деформация	Размер	Деформация
1	А-А	26	24	-2	34	8	26	26	0	36	10	24	22	-2	28	4	25,33	24,00	-1	32,67	7
	Б-Б	24	22	-2	30	6	22	22	0	22	0	22	28	6	22	0	22,67	24,00	1	24,67	2
	В-В	20	24	4	10	-10	24	30	6	16	-8	26	34	8	26	0	23,33	29,33	6	17,33	-6
	Г-Г	26	32	6	16	-10	26	24	-2	22	-4	26	24	-2	30	4	26,00	26,67	1	22,67	-3
2	А-А	8	8	0	10	2	6	6	0	14	8	4	10	6	18	14	6,00	8,00	2	14,00	8
	Б-Б	16	20	4	4	-12	14	18	4	12	-2	14	24	10	14	0	14,67	20,67	6	10,00	-5
	В-В	14	12	-2	4	-10	14	12	-2	4	-10	18	20	2	6	-12	15,33	14,67	-1	4,67	-11
	Г-Г	8	8	0	2	-6	8	4	-4	4	-4	6	2	-4	0	-6	7,33	4,67	-3	2,00	-5
3	А-А	24	26	2	28	4	30	34	4	46	16	26	38	12	52	26	26,67	32,67	6	42,00	15
	Б-Б	20	24	4	6	-14	20	26	6	22	2	18	30	12	28	10	19,33	26,67	7	18,67	-1
	В-В	20	24	4	10	-10	22	26	4	8	-14	22	26	4	2	-20	21,33	25,33	4	6,67	-15
	Г-Г	20	24	4	22	2	24	28	4	26	2	28	34	6	22	-6	24,00	28,67	5	23,33	-1
4	А-А	22	32	10	34	12	22	28	6	40	18	22	12	-10	32	10	22,00	24,00	2	35,33	13
	Б-Б	32	30	-2	28	-4	32	36	4	34	2	28	40	12	34	6	30,67	35,33	5	32,00	1
	В-В	18	20	2	6	-12	30	30	0	14	-16	32	38	6	18	-14	26,67	29,33	3	12,67	-14
	Г-Г	28	32	4	18	-10	34	32	-2	20	-14	36	40	4	32	-4	32,67	34,67	2	23,33	-9
5	А-А	26	20	-6	30	4	22	22	0	48	26	26	26	0	70	44	24,67	22,67	-2	49,33	25
	Б-Б	24	14	-10	18	-6	22	16	-6	26	4	22	28	6	36	14	22,67	19,33	-3	26,67	4
	В-В	20	24	4	16	-4	18	16	-2	-4	-22	16	14	-2	-24	-40	18,00	18,00	0	-4,00	-22
	Г-Г	22	30	8	22	0	22	26	4	8	-14	18	8	-10	-8	-26	20,67	21,33	1	7,33	-13
6	А-А	8	10	2	18	10	6	6	0	18	12	6	6	0	12	6	6,67	7,33	1	16,00	9
	Б-Б	-2	0	2	-10	-8	2	2	0	-4	-6	2	4	2	10	8	0,67	2,00	1	-1,33	-2
	В-В	4	6	2	-20	-24	6	4	-2	20	14	4	8	4	-20	-24	4,67	6,00	1	-6,67	-11
	Г-Г	16	14	-2	-28	-44	10	10	0	12	2	8	6	-2	8	0	11,33	10,00	-1	-2,67	-14
7	А-А	20	20	0	32	12	28	26	-2	42	14	36	46	10	56	20	28,00	30,67	3	43,33	15
	Б-Б	26	30	4	38	12	28	32	4	34	6	36	48	12	3	-33	30,00	36,67	7	25,00	-5
	В-В	38	44	6	24	-14	36	42	6	20	-16	28	36	8	5	-23	34,00	40,67	7	16,33	-18
	Г-Г	36	30	-6	22	-14	36	36	0	24	-12	26	26	0	20	-6	32,67	30,67	-2	22,00	-11
8	А-А	18	22	4	-2	-20	12	14	2	24	12	10	20	10	34	24	13,33	18,67	5	18,67	5
	Б-Б	18	20	2	18	0	14	18	4	18	4	12	14	2	20	8	14,67	17,33	3	18,67	4
	В-В	12	16	4	10	-2	6	14	8	-2	-8	12	14	2	-2	-14	10,00	14,67	5	2,00	-8
	Г-Г	20	22	2	16	-4	8	14	6	4	-4	10	18	8	8	-2	12,67	18,00	5	9,33	-3

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Протокол расчета формы верхнего компрессионного кольца в свободном состоянии

Исходные данные для расчета кольца:

Номинальный радиус нейтральной линии кольца Rn= 0,058 м;

Момент инерции сечения кольца J= 0,000000000022 м^4;

Интенсивность ЭРД, Рср= 513 Н/м;

Модуль упругости материала кольца E= 165 ГПа

Степень коррекции ЭРД z= 1,2

Таблица Л.1 – Результаты расчета координат X,Y кольца в свободном состоянии

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
0	515,8058	3,4037	0,0613	1,570796	90,00	0,0000	0,0000	0,0613	58,0000
1	515,7998	3,4034	0,0613	1,587300	91,00	0,0000	0,0010	0,0613	58,0000
2	515,7827	3,4027	0,0613	1,603805	92,00	0,0000	0,0020	0,0613	58,0000
3	515,7561	3,4015	0,0613	1,620309	93,00	0,0001	0,0030	0,0613	58,0000
4	515,7229	3,3997	0,0613	1,636814	94,00	0,0001	0,0040	0,0613	58,0000
5	515,6869	3,3975	0,0613	1,653320	94,99	0,0002	0,0051	0,0613	58,0100
6	515,6525	3,3947	0,0613	1,669826	95,99	0,0003	0,0061	0,0613	58,0100

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
7	515,6246	3,3914	0,0613	1,686333	96,99	0,0004	0,0071	0,0613	58,0200
8	515,6083	3,3877	0,0613	1,702841	97,99	0,0005	0,0081	0,0613	58,0200
9	515,6085	3,3834	0,0613	1,719351	98,99	0,0007	0,0091	0,0613	58,0300
10	515,6296	3,3786	0,0613	1,735861	99,99	0,0008	0,0101	0,0613	58,0400
11	515,6755	3,3733	0,0613	1,752373	100,99	0,0010	0,0111	0,0613	58,0500
12	515,7489	3,3676	0,0613	1,768886	101,99	0,0012	0,0121	0,0613	58,0600
13	515,8515	3,3613	0,0613	1,785402	102,98	0,0014	0,0131	0,0613	58,0700
14	515,9838	3,3545	0,0613	1,801919	103,98	0,0016	0,0140	0,0613	58,0800
15	516,1446	3,3473	0,0613	1,818437	104,98	0,0019	0,0150	0,0613	58,0900
16	516,3318	3,3395	0,0613	1,834958	105,98	0,0021	0,0160	0,0613	58,1100
17	516,5417	3,3313	0,0613	1,851482	106,98	0,0024	0,0170	0,0613	58,1200
18	516,7695	3,3225	0,0613	1,868007	107,98	0,0027	0,0180	0,0613	58,1400
19	517,0095	3,3133	0,0612	1,884536	108,98	0,0030	0,0189	0,0612	58,1600
20	517,2554	3,3036	0,0612	1,901066	109,98	0,0033	0,0199	0,0612	58,1700
21	517,5003	3,2935	0,0612	1,917600	110,97	0,0037	0,0208	0,0612	58,1900
22	517,7376	3,2828	0,0612	1,934136	111,97	0,0040	0,0218	0,0612	58,2100
23	517,9607	3,2717	0,0612	1,950676	112,97	0,0044	0,0227	0,0612	58,2300
24	518,1636	3,2602	0,0612	1,967218	113,97	0,0048	0,0237	0,0612	58,2500

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
25	518,3415	3,2481	0,0612	1,983764	114,97	0,0052	0,0246	0,0612	58,2700
26	518,4905	3,2356	0,0612	2,000314	115,97	0,0056	0,0255	0,0612	58,3000
27	518,6083	3,2227	0,0611	2,016867	116,97	0,0060	0,0264	0,0611	58,3200
28	518,6941	3,2093	0,0611	2,033423	117,97	0,0065	0,0273	0,0611	58,3400
29	518,7488	3,1954	0,0611	2,049984	118,97	0,0069	0,0282	0,0611	58,3700
30	518,7749	3,1812	0,0611	2,066548	119,96	0,0074	0,0291	0,0611	58,3900
31	518,7763	3,1664	0,0611	2,083117	120,96	0,0079	0,0300	0,0611	58,4200
32	518,7584	3,1513	0,0611	2,099689	121,96	0,0084	0,0309	0,0611	58,4500
33	518,7278	3,1357	0,0611	2,116266	122,96	0,0089	0,0318	0,0611	58,4800
34	518,6918	3,1197	0,0610	2,132847	123,96	0,0094	0,0326	0,0610	58,5000
35	518,6581	3,1033	0,0610	2,149433	124,96	0,0100	0,0335	0,0610	58,5300
36	518,6346	3,0864	0,0610	2,166024	125,96	0,0105	0,0343	0,0610	58,5600
37	518,6289	3,0692	0,0610	2,182619	126,96	0,0111	0,0352	0,0610	58,5900
38	518,6475	3,0515	0,0610	2,199219	127,96	0,0117	0,0360	0,0610	58,6300
39	518,6962	3,0335	0,0610	2,215824	128,96	0,0123	0,0368	0,0610	58,6600
40	518,7792	3,015	0,0609	2,232434	129,96	0,0129	0,0376	0,0609	58,6900
41	518,8988	2,9962	0,0609	2,249050	130,96	0,0136	0,0384	0,0609	58,7200
42	519,0557	2,977	0,0609	2,265670	131,95	0,0142	0,0392	0,0609	58,7600

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
43	519,2482	2,9574	0,0609	2,282296	132,95	0,0149	0,0399	0,0609	58,7900
44	519,4727	2,9374	0,0609	2,298928	133,95	0,0155	0,0407	0,0609	58,8300
45	519,7237	2,9171	0,0608	2,315565	134,95	0,0162	0,0415	0,0608	58,8600
46	519,9939	2,8965	0,0608	2,332208	135,95	0,0169	0,0422	0,0608	58,9000
47	520,2742	2,8754	0,0608	2,348857	136,95	0,0176	0,0429	0,0608	58,9400
48	520,5545	2,8541	0,0608	2,365512	137,95	0,0183	0,0436	0,0608	58,9800
49	520,824	2,8324	0,0607	2,382172	138,95	0,0191	0,0443	0,0607	59,0100
50	521,0713	2,8103	0,0607	2,398839	139,95	0,0198	0,0450	0,0607	59,0500
51	521,2856	2,788	0,0607	2,415512	140,95	0,0205	0,0457	0,0607	59,0900
52	521,4562	2,7653	0,0607	2,432192	141,95	0,0213	0,0464	0,0607	59,1300
53	521,574	2,7423	0,0607	2,448877	142,95	0,0221	0,0470	0,0607	59,1700
54	521,6312	2,7191	0,0606	2,465569	143,95	0,0229	0,0477	0,0606	59,2100
55	521,622	2,6955	0,0606	2,482268	144,95	0,0237	0,0483	0,0606	59,2500
56	521,5427	2,6716	0,0606	2,498973	145,95	0,0245	0,0489	0,0606	59,2900
57	521,3921	2,6475	0,0606	2,515685	146,94	0,0253	0,0495	0,0606	59,3300
58	521,1716	2,6231	0,0605	2,532404	147,94	0,0261	0,0501	0,0605	59,3700
59	520,8849	2,5984	0,0605	2,549129	148,94	0,0269	0,0507	0,0605	59,4200
60	520,5381	2,5735	0,0605	2,565862	149,94	0,0278	0,0512	0,0605	59,4600

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
61	520,1393	2,5483	0,0605	2,582601	150,94	0,0286	0,0518	0,0605	59,5000
62	519,6983	2,5229	0,0604	2,599348	151,94	0,0295	0,0523	0,0604	59,5400
63	519,2265	2,4972	0,0604	2,616102	152,94	0,0304	0,0528	0,0604	59,5900
64	518,7356	2,4713	0,0604	2,632863	153,94	0,0313	0,0533	0,0604	59,6300
65	518,238	2,4452	0,0604	2,649631	154,94	0,0321	0,0538	0,0604	59,6700
66	517,7454	2,4189	0,0603	2,666406	155,94	0,0330	0,0543	0,0603	59,7200
67	517,2689	2,3924	0,0603	2,683189	156,94	0,0339	0,0547	0,0603	59,7600
68	516,8178	2,3656	0,0603	2,699979	157,94	0,0349	0,0551	0,0603	59,8100
69	516,3999	2,3387	0,0603	2,716777	158,94	0,0358	0,0556	0,0602	59,8500
70	516,0205	2,3116	0,0602	2,733582	159,94	0,0367	0,0560	0,0602	59,8900
71	515,6824	2,2843	0,0602	2,750395	160,94	0,0376	0,0564	0,0602	59,9400
72	515,3854	2,2569	0,0602	2,767215	161,94	0,0386	0,0568	0,0602	59,9800
73	515,1269	2,2293	0,0601	2,784044	162,94	0,0395	0,0571	0,0601	60,0300
74	514,9011	2,2015	0,0601	2,800879	163,94	0,0405	0,0575	0,0601	60,0700
75	514,7002	2,1736	0,0601	2,817723	164,94	0,0414	0,0578	0,0601	60,1100
76	514,5139	2,1456	0,0601	2,834574	165,94	0,0424	0,0581	0,0601	60,1600
77	514,3302	2,1174	0,0600	2,851434	166,94	0,0434	0,0584	0,0600	60,2000
78	514,136	2,0892	0,0600	2,868301	167,94	0,0443	0,0587	0,0600	60,2500
79	513,9177	2,0608	0,0600	2,885176	168,94	0,0453	0,0589	0,0600	60,2900

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
80	513,6617	2,0323	0,0599	2,902059	169,94	0,0463	0,0592	0,0599	60,3400
81	513,3551	2,0037	0,0599	2,918950	170,94	0,0473	0,0594	0,0599	60,3800
82	512,9865	1,975	0,0599	2,935849	171,94	0,0483	0,0596	0,0599	60,4200
83	512,5463	1,9463	0,0599	2,952756	172,94	0,0493	0,0598	0,0599	60,4700
84	512,0276	1,9175	0,0598	2,969671	173,94	0,0503	0,0600	0,0598	60,5100
85	511,4263	1,8886	0,0598	2,986594	174,94	0,0513	0,0602	0,0598	60,5500
86	510,7414	1,8597	0,0598	3,003525	175,94	0,0523	0,0603	0,0598	60,6000
87	509,9753	1,8307	0,0597	3,020464	176,94	0,0533	0,0605	0,0597	60,6400
88	509,1337	1,8017	0,0597	3,037411	177,94	0,0543	0,0606	0,0597	60,6800
89	508,2254	1,7727	0,0597	3,054366	178,94	0,0553	0,0607	0,0597	60,7200
90	507,2618	1,7437	0,0597	3,071330	179,94	0,0563	0,0607	0,0597	60,7600
91	506,2569	1,7146	0,0596	3,088301	180,94	0,0573	0,0608	0,0596	60,8100
92	505,2264	1,6855	0,0596	3,105281	181,94	0,0583	0,0608	0,0596	60,8500
93	504,1868	1,6565	0,0596	3,122269	182,94	0,0593	0,0609	0,0596	60,8900
94	503,1552	1,6274	0,0595	3,139264	183,94	0,0603	0,0609	0,0595	60,9300
95	502,1481	1,5984	0,0595	3,156268	184,94	0,0613	0,0609	0,0595	60,9700
96	501,1805	1,5694	0,0595	3,173280	185,94	0,0624	0,0609	0,0595	61,0100
97	500,2658	1,5405	0,0595	3,190300	186,94	0,0634	0,0608	0,0595	61,0500
98	499,4143	1,5115	0,0594	3,207328	187,94	0,0644	0,0608	0,0594	61,0900

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
99	498,6332	1,4827	0,0594	3,224365	188,94	0,0654	0,0607	0,0594	61,1200
100	497,9261	1,4539	0,0594	3,241409	189,94	0,0664	0,0606	0,0594	61,1600
101	497,2925	1,4251	0,0594	3,258461	190,94	0,0674	0,0605	0,0593	61,2000
102	496,7279	1,3965	0,0593	3,275521	191,94	0,0684	0,0603	0,0593	61,2400
103	496,224	1,3679	0,0593	3,292590	192,94	0,0694	0,0602	0,0593	61,2700
104	495,7687	1,3394	0,0593	3,309666	193,94	0,0704	0,0600	0,0593	61,3100
105	495,347	1,311	0,0592	3,326750	194,94	0,0714	0,0599	0,0592	61,3400
106	494,9412	1,2827	0,0592	3,343842	195,94	0,0724	0,0597	0,0592	61,3800
107	494,5322	1,2546	0,0592	3,360942	196,94	0,0734	0,0595	0,0592	61,4100
108	494,1001	1,2265	0,0592	3,378050	197,94	0,0744	0,0592	0,0592	61,4400
109	493,6251	1,1986	0,0591	3,395165	198,94	0,0754	0,0590	0,0591	61,4800
110	493,0889	1,1708	0,0591	3,412289	199,95	0,0763	0,0587	0,0591	61,5100
111	492,4754	1,1432	0,0591	3,429420	200,95	0,0773	0,0584	0,0591	61,5400
112	491,7717	1,1158	0,0591	3,446558	201,95	0,0783	0,0581	0,0591	61,5700
113	490,9692	1,0885	0,0590	3,463705	202,95	0,0792	0,0578	0,0590	61,6000
114	490,0638	1,0613	0,0590	3,480859	203,95	0,0802	0,0575	0,0590	61,6300
115	489,0571	1,0344	0,0590	3,498020	204,95	0,0811	0,0571	0,0590	61,6600
116	487,9558	1,0076	0,0589	3,515189	205,95	0,0821	0,0568	0,0589	61,6800

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
117	486,7728	0,9811	0,0589	3,532365	206,95	0,0830	0,0564	0,0589	61,7100
118	485,5262	0,9547	0,0589	3,549549	207,95	0,0840	0,0560	0,0589	61,7400
119	484,239	0,9285	0,0589	3,566740	208,95	0,0849	0,0556	0,0589	61,7600
120	482,9389	0,9026	0,0588	3,583938	209,95	0,0858	0,0552	0,0588	61,7800
121	481,6568	0,8769	0,0588	3,601144	210,95	0,0867	0,0547	0,0588	61,8100
122	480,426	0,8514	0,0588	3,618357	211,95	0,0876	0,0543	0,0588	61,8300
123	479,281	0,8261	0,0588	3,635576	212,95	0,0885	0,0538	0,0588	61,8500
124	478,2561	0,8011	0,0588	3,652803	213,95	0,0894	0,0533	0,0588	61,8700
125	477,3838	0,7763	0,0587	3,670037	214,95	0,0903	0,0528	0,0587	61,8900
126	476,6936	0,7518	0,0587	3,687277	215,95	0,0911	0,0523	0,0587	61,9100
127	476,211	0,7275	0,0587	3,704525	216,95	0,0920	0,0518	0,0587	61,9300
128	475,9555	0,7035	0,0587	3,721779	217,95	0,0929	0,0512	0,0587	61,9500
129	475,9406	0,6798	0,0586	3,739040	218,95	0,0937	0,0506	0,0586	61,9600
130	476,1722	0,6563	0,0586	3,756307	219,95	0,0945	0,0501	0,0586	61,9800
131	476,6487	0,6331	0,0586	3,773581	220,95	0,0953	0,0495	0,0586	61,9900
132	477,3605	0,6103	0,0586	3,790861	221,95	0,0962	0,0489	0,0586	62,0100
133	478,2902	0,5877	0,0586	3,808148	222,95	0,0970	0,0483	0,0585	62,0200
134	479,4134	0,5655	0,0585	3,825440	223,95	0,0978	0,0476	0,0585	62,0300

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
135	480,6991	0,5435	0,0585	3,842739	224,95	0,0985	0,0470	0,0585	62,0400
136	482,111	0,5219	0,0585	3,860044	225,96	0,0993	0,0463	0,0585	62,0500
137	483,6092	0,5007	0,0585	3,877355	226,96	0,1001	0,0456	0,0585	62,0600
138	485,1513	0,4797	0,0584	3,894672	227,96	0,1008	0,0450	0,0584	62,0700
139	486,6947	0,4592	0,0584	3,911995	228,96	0,1015	0,0443	0,0584	62,0700
140	488,198	0,4389	0,0584	3,929323	229,96	0,1022	0,0435	0,0584	62,0800
141	489,6234	0,4191	0,0584	3,946657	230,96	0,1030	0,0428	0,0584	62,0800
142	490,9384	0,3996	0,0584	3,963997	231,96	0,1036	0,0421	0,0584	62,0900
143	492,1174	0,3805	0,0584	3,981342	232,96	0,1043	0,0413	0,0584	62,0900
144	493,1433	0,3618	0,0583	3,998692	233,96	0,1050	0,0406	0,0583	62,0900
145	494,0089	0,3435	0,0583	4,016047	234,96	0,1057	0,0398	0,0583	62,0900
146	494,7176	0,3256	0,0583	4,033407	235,96	0,1063	0,0390	0,0583	62,0900
147	495,284	0,3081	0,0583	4,050772	236,96	0,1069	0,0382	0,0583	62,0900
148	495,7342	0,291	0,0583	4,068142	237,96	0,1075	0,0374	0,0583	62,0800
149	496,1049	0,2743	0,0583	4,085517	238,96	0,1081	0,0366	0,0583	62,0800
150	496,4431	0,2581	0,0582	4,102896	239,96	0,1087	0,0358	0,0582	62,0700
151	496,8045	0,2423	0,0582	4,120280	240,96	0,1093	0,0349	0,0582	62,0700
152	497,2522	0,2269	0,0582	4,137668	241,96	0,1099	0,0341	0,0582	62,0600

Продолжение таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
153	497,854	0,2119	0,0582	4,155060	242,96	0,1104	0,0332	0,0582	62,0500
154	498,6807	0,1975	0,0582	4,172457	243,96	0,1109	0,0324	0,0582	62,0400
155	499,8033	0,1834	0,0582	4,189857	244,96	0,1114	0,0315	0,0582	62,0300
156	501,2899	0,1698	0,0582	4,207262	245,96	0,1119	0,0306	0,0582	62,0200
157	503,2035	0,1567	0,0581	4,224670	246,96	0,1124	0,0297	0,0581	62,0100
158	505,599	0,144	0,0581	4,242081	247,96	0,1129	0,0288	0,0581	61,9900
159	508,5205	0,1319	0,0581	4,259496	248,97	0,1133	0,0279	0,0581	61,9800
160	511,9992	0,1202	0,0581	4,276914	249,97	0,1138	0,0270	0,0581	61,9600
161	516,0514	0,1089	0,0581	4,294336	250,97	0,1142	0,0261	0,0581	61,9400
162	520,6769	0,0982	0,0581	4,311760	251,97	0,1146	0,0252	0,0581	61,9300
163	525,8579	0,088	0,0581	4,329188	252,97	0,1150	0,0242	0,0581	61,9100
164	531,5585	0,0783	0,0581	4,346618	253,97	0,1153	0,0233	0,0581	61,8900
165	537,7249	0,0691	0,0581	4,364051	254,97	0,1157	0,0223	0,0581	61,8600
166	544,2861	0,0605	0,0581	4,381486	255,97	0,1160	0,0214	0,0581	61,8400
167	551,1549	0,0524	0,0580	4,398924	256,97	0,1163	0,0204	0,0580	61,8200
168	558,23	0,0448	0,0580	4,416364	257,97	0,1167	0,0195	0,0580	61,7900
169	565,398	0,0378	0,0580	4,433806	258,97	0,1169	0,0185	0,0580	61,7700
170	572,5367	0,0314	0,0580	4,451250	259,97	0,1172	0,0175	0,0580	61,7400
171	579,5177	0,0255	0,0580	4,468695	260,97	0,1175	0,0165	0,0580	61,7100

Окончание таблицы Л.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	Угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
172	586,2102	0,0202	0,0580	4,486142	261,97	0,1177	0,0155	0,0580	61,6800
173	592,4843	0,0156	0,0580	4,503590	262,97	0,1179	0,0146	0,0580	61,6500
174	598,2149	0,0115	0,0580	4,521040	263,97	0,1181	0,0136	0,0580	61,6200
175	603,285	0,008	0,0580	4,538491	264,97	0,1183	0,0126	0,0580	61,5900
176	607,5891	0,0052	0,0580	4,555942	265,97	0,1185	0,0116	0,0580	61,5600
177	611,0364	0,0029	0,0580	4,573394	266,97	0,1186	0,0106	0,0580	61,5200
178	613,5533	0,0013	0,0580	4,590847	267,97	0,1187	0,0096	0,0580	61,4900
179	615,0856	0,0003	0,0580	4,608300	268,97	0,1189	0,0086	0,0580	61,4500
180	615,6002	0	0,0580	4,625753	269,97	0,1189	0,0076	0,0580	61,4100

Величина замка кольца в свободном состоянии по нейтральной линии: 15,100 мм

Величина овальности кольца в гибкой ленте: 0,002540 мм

Точное значение упругости: 27,956892 Н

Диаметр обточки в плоскости оси спинка-замок: 122,07 мм

Диаметр обточки в плоскости, перпендикулярной оси спинка-замок: 124,57 мм

Таблица Л.2 – Результаты расчета координат X,Y кольца с закрытой зоной замка

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1	0,000000	0,000101	21	0,000039	0,002125	41	0,000144	0,004147	61	0,000316	0,006164	81	0,000554	0,008175
2	0,000000	0,000202	22	0,000042	0,002227	42	0,000151	0,004248	62	0,000326	0,006265	82	0,000568	0,008275
3	0,000001	0,000304	23	0,000046	0,002328	43	0,000158	0,004349	63	0,000336	0,006366	83	0,000581	0,008375
4	0,000002	0,000405	24	0,000050	0,002429	44	0,000165	0,004450	64	0,000347	0,006466	84	0,000595	0,008476
5	0,000002	0,000506	25	0,000054	0,002530	45	0,000173	0,004551	65	0,000358	0,006567	85	0,000610	0,008576
6	0,000003	0,000607	26	0,000059	0,002631	46	0,000180	0,004652	66	0,000369	0,006668	86	0,000624	0,008676
7	0,000005	0,000709	27	0,000063	0,002732	47	0,000188	0,004753	67	0,000380	0,006768	87	0,000638	0,008776
8	0,000006	0,000810	28	0,000068	0,002833	48	0,000196	0,004854	68	0,000391	0,006869	88	0,000653	0,008876
9	0,000007	0,000911	29	0,000073	0,002934	49	0,000204	0,004955	69	0,000403	0,006969	89	0,000668	0,008976
10	0,000009	0,001012	30	0,000078	0,003036	50	0,000213	0,005056	70	0,000415	0,007070	90	0,000683	0,009077
11	0,000011	0,001113	31	0,000083	0,003137	51	0,000221	0,005156	71	0,000426	0,007170	91	0,000698	0,009177
12	0,000013	0,001215	32	0,000088	0,003238	52	0,000230	0,005257	72	0,000438	0,007271	92	0,000713	0,009277
13	0,000015	0,001316	33	0,000094	0,003339	53	0,000239	0,005358	73	0,000451	0,007371	93	0,000729	0,009377
14	0,000017	0,001417	34	0,000099	0,003440	54	0,000248	0,005459	74	0,000463	0,007472	94	0,000744	0,009477
15	0,000020	0,001518	35	0,000105	0,003541	55	0,000257	0,005560	75	0,000475	0,007572	95	0,000760	0,009577
16	0,000023	0,001619	36	0,000111	0,003642	56	0,000266	0,005661	76	0,000488	0,007673	96	0,000776	0,009677
17	0,000025	0,001721	37	0,000117	0,003743	57	0,000276	0,005761	77	0,000501	0,007773	97	0,000792	0,009777
18	0,000028	0,001822	38	0,000124	0,003844	58	0,000286	0,005862	78	0,000514	0,007874	98	0,000809	0,009877
19	0,000032	0,001923	39	0,000130	0,003945	59	0,000295	0,005963	79	0,000527	0,007974	99	0,000825	0,009976
20	0,000035	0,002024	40	0,000131	0,004047	60	0,000305	0,006064	80	0,000540	0,008074	100	0,000842	0,010076

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
101	0,000859	0,010176	121	0,001229	0,012166	141	0,001665	0,014143	161	0,002166	0,016105	181	0,002732	0,018049
102	0,000876	0,010276	122	0,001249	0,012266	142	0,001689	0,014242	162	0,002193	0,016203	182	0,002762	0,018145
103	0,000893	0,010376	123	0,001270	0,012365	143	0,001712	0,014340	163	0,002220	0,016300	183	0,002792	0,018242
104	0,000910	0,010475	124	0,001290	0,012464	144	0,001736	0,014439	164	0,002247	0,016398	184	0,002822	0,018339
105	0,000927	0,010575	125	0,001311	0,012563	145	0,001760	0,014537	165	0,002274	0,016495	185	0,002853	0,018435
106	0,000945	0,010675	126	0,001332	0,012662	146	0,001784	0,014635	166	0,002302	0,016593	186	0,002883	0,018532
107	0,000963	0,010775	127	0,001353	0,012761	147	0,001809	0,014734	167	0,002329	0,016690	187	0,002914	0,018628
108	0,000981	0,010874	128	0,001374	0,012860	148	0,001833	0,014832	168	0,002357	0,016787	188	0,002945	0,018725
109	0,000999	0,010974	129	0,001396	0,012959	149	0,001858	0,014930	169	0,002385	0,016885	189	0,002976	0,018821
110	0,001017	0,011073	130	0,001417	0,013058	150	0,001883	0,015028	170	0,002413	0,016982	190	0,003007	0,018917
111	0,001036	0,011173	131	0,001439	0,013157	151	0,001908	0,015126	171	0,002441	0,017079	191	0,003039	0,019013
112	0,001054	0,011272	132	0,001461	0,013256	152	0,001933	0,015224	172	0,002469	0,017176	192	0,003070	0,019110
113	0,001073	0,011372	133	0,001483	0,013354	153	0,001958	0,015322	173	0,002498	0,017273	193	0,003102	0,019206
114	0,001092	0,011471	134	0,001505	0,013453	154	0,001983	0,015420	174	0,002527	0,017371	194	0,003134	0,019302
115	0,001111	0,011571	135	0,001527	0,013552	155	0,002009	0,015518	175	0,002555	0,017468	195	0,003166	0,019398
116	0,001130	0,011670	136	0,001550	0,013651	156	0,002035	0,015616	176	0,002584	0,017565	196	0,003198	0,019494
117	0,001150	0,011769	137	0,001573	0,013749	157	0,002061	0,015714	177	0,002614	0,017662	197	0,003230	0,019590
118	0,001169	0,011869	138	0,001596	0,013848	158	0,002087	0,015812	178	0,002643	0,017758	198	0,003263	0,019686
119	0,001189	0,011968	139	0,001619	0,013946	159	0,002113	0,015910	179	0,002672	0,017855	199	0,003296	0,019781
120	0,001209	0,012067	140	0,001642	0,014045	160	0,002140	0,016007	180	0,002702	0,017952	200	0,003328	0,019877

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
201	0,003361	0,019973	221	0,004054	0,021875	241	0,004810	0,023753	261	0,005627	0,025606	281	0,006505	0,027430
202	0,003395	0,020069	222	0,004091	0,021970	242	0,004849	0,023847	262	0,005669	0,025698	282	0,006550	0,027520
203	0,003428	0,020164	223	0,004127	0,022064	243	0,004889	0,023940	263	0,005712	0,025789	283	0,006596	0,027611
204	0,003461	0,020260	224	0,004164	0,022158	244	0,004928	0,024033	264	0,005755	0,025881	284	0,006642	0,027701
205	0,003495	0,020355	225	0,004200	0,022253	245	0,004968	0,024126	265	0,005797	0,025973	285	0,006687	0,027791
206	0,003529	0,020451	226	0,004237	0,022347	246	0,005008	0,024219	266	0,005840	0,026064	286	0,006734	0,027881
207	0,003563	0,020546	227	0,004274	0,022441	247	0,005048	0,024312	267	0,005884	0,026156	287	0,006780	0,027971
208	0,003597	0,020641	228	0,004312	0,022535	248	0,005089	0,024405	268	0,005927	0,026247	288	0,006826	0,028061
209	0,003631	0,020737	229	0,004349	0,022629	249	0,005129	0,024498	269	0,005971	0,026339	289	0,006873	0,028151
210	0,003665	0,020832	230	0,004386	0,022723	250	0,005170	0,024590	270	0,006014	0,026430	290	0,006919	0,028241
211	0,003700	0,020927	231	0,004424	0,022817	251	0,005210	0,024683	271	0,006058	0,026521	291	0,006966	0,028331
212	0,003735	0,021022	232	0,004462	0,022911	252	0,005251	0,024776	272	0,006102	0,026613	292	0,007013	0,028421
213	0,003770	0,021117	233	0,004500	0,023005	253	0,005292	0,024868	273	0,006146	0,026704	293	0,007060	0,028510
214	0,003805	0,021212	234	0,004538	0,023099	254	0,005334	0,024960	274	0,006190	0,026795	294	0,007107	0,028600
215	0,003840	0,021307	235	0,004576	0,023193	255	0,005375	0,025053	275	0,006235	0,026886	295	0,007155	0,028689
216	0,003875	0,021402	236	0,004615	0,023286	256	0,005417	0,025145	276	0,006279	0,026977	296	0,007202	0,028778
217	0,003911	0,021497	237	0,004654	0,023380	257	0,005458	0,025237	277	0,006324	0,027067	297	0,007250	0,028868
218	0,003946	0,021591	238	0,004692	0,023473	258	0,005500	0,025330	278	0,006369	0,027158	298	0,007298	0,028957
219	0,003982	0,021686	239	0,004731	0,023567	259	0,005542	0,025422	279	0,006414	0,027249	299	0,007346	0,029046
220	0,004018	0,021781	240	0,004770	0,023660	260	0,005584	0,025514	280	0,006459	0,027339	300	0,007394	0,029135

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
301	0,007442	0,029224	321	0,008439	0,030986	341	0,009494	0,032714	361	0,010605	0,034406	381	0,011772	0,036061
302	0,007491	0,029313	322	0,008491	0,031073	342	0,009548	0,032800	362	0,010662	0,034490	382	0,011832	0,036142
303	0,007540	0,029402	323	0,008542	0,031161	343	0,009603	0,032885	363	0,010720	0,034574	383	0,011892	0,036224
304	0,007588	0,029490	324	0,008594	0,031248	344	0,009657	0,032970	364	0,010777	0,034657	384	0,011952	0,036306
305	0,007637	0,029579	325	0,008646	0,031335	345	0,009712	0,033056	365	0,010834	0,034740	385	0,012012	0,036387
306	0,007686	0,029668	326	0,008698	0,031421	346	0,009767	0,033141	366	0,010892	0,034824	386	0,012072	0,036468
307	0,007735	0,029756	327	0,008750	0,031508	347	0,009821	0,033226	367	0,010950	0,034907	387	0,012133	0,036549
308	0,007785	0,029845	328	0,008802	0,031595	348	0,009877	0,033311	368	0,011007	0,034990	388	0,012194	0,036631
309	0,007834	0,029933	329	0,008854	0,031682	349	0,009932	0,033396	369	0,011065	0,035073	389	0,012254	0,036711
310	0,007884	0,030021	330	0,008907	0,031768	350	0,009987	0,033480	370	0,011124	0,035156	390	0,012315	0,036792
311	0,007934	0,030109	331	0,008959	0,031855	351	0,010043	0,033565	371	0,011182	0,035238	391	0,012376	0,036873
312	0,007984	0,030197	332	0,009012	0,031941	352	0,010098	0,033649	372	0,011240	0,035321	392	0,012437	0,036954
313	0,008034	0,030285	333	0,009065	0,032027	353	0,010154	0,033734	373	0,011299	0,035404	393	0,012499	0,037034
314	0,008084	0,030373	334	0,009118	0,032113	354	0,010210	0,033818	374	0,011358	0,035486	394	0,012560	0,037115
315	0,008134	0,030461	335	0,009172	0,032200	355	0,010266	0,033903	375	0,011416	0,035569	395	0,012621	0,037195
316	0,008185	0,030549	336	0,009225	0,032286	356	0,010322	0,033987	376	0,011475	0,035651	396	0,012683	0,037276
317	0,008235	0,030636	337	0,009278	0,032371	357	0,010379	0,034071	377	0,011534	0,035733	397	0,012745	0,037356
318	0,008286	0,030724	338	0,009332	0,032457	358	0,010435	0,034155	378	0,011594	0,035815	398	0,012807	0,037436
319	0,008337	0,030811	339	0,009386	0,032543	359	0,010492	0,034239	379	0,011653	0,035897	399	0,012869	0,037516
320	0,008388	0,030899	340	0,009440	0,032629	360	0,010548	0,034323	380	0,011713	0,035979	400	0,012931	0,037596

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
401	0,012993	0,037675	421	0,014268	0,039249	441	0,015593	0,040779	461	0,016969	0,042264	481	0,018394	0,043702
402	0,013056	0,037755	422	0,014333	0,039326	442	0,015661	0,040854	462	0,017039	0,042337	482	0,018466	0,043773
403	0,013118	0,037835	423	0,014398	0,039404	443	0,015729	0,040929	463	0,017110	0,042410	483	0,018539	0,043843
404	0,013181	0,037914	424	0,014463	0,039481	444	0,015797	0,041004	464	0,017180	0,042483	484	0,018612	0,043914
405	0,013244	0,037993	425	0,014529	0,039558	445	0,015865	0,041079	465	0,017250	0,042555	485	0,018684	0,043984
406	0,013307	0,038073	426	0,014594	0,039635	446	0,015933	0,041154	466	0,017321	0,042628	486	0,018757	0,044054
407	0,013370	0,038152	427	0,014660	0,039712	447	0,016001	0,041229	467	0,017392	0,042700	487	0,018830	0,044124
408	0,013433	0,038231	428	0,014726	0,039789	448	0,016069	0,041304	468	0,017462	0,042773	488	0,018904	0,044194
409	0,013497	0,038310	429	0,014792	0,039866	449	0,016138	0,041378	469	0,017533	0,042845	489	0,018977	0,044264
410	0,013560	0,038389	430	0,014858	0,039943	450	0,016206	0,041453	470	0,017604	0,042917	490	0,019050	0,044334
411	0,013624	0,038467	431	0,014924	0,040019	451	0,016275	0,041527	471	0,017676	0,042989	491	0,019124	0,044403
412	0,013688	0,038546	432	0,014990	0,040096	452	0,016344	0,041601	472	0,017747	0,043061	492	0,019198	0,044473
413	0,013752	0,038624	433	0,015057	0,040172	453	0,016413	0,041675	473	0,017818	0,043133	493	0,019271	0,044542
414	0,013816	0,038703	434	0,015124	0,040248	454	0,016482	0,041749	474	0,017890	0,043204	494	0,019345	0,044611
415	0,013880	0,038781	435	0,015190	0,040324	455	0,016551	0,041823	475	0,017961	0,043276	495	0,019419	0,044680
416	0,013944	0,038859	436	0,015257	0,040400	456	0,016621	0,041897	476	0,018033	0,043347	496	0,019493	0,044749
417	0,014009	0,038937	437	0,015324	0,040476	457	0,016690	0,041970	477	0,018105	0,043418	497	0,019568	0,044818
418	0,014073	0,039015	438	0,015391	0,040552	458	0,016760	0,042044	478	0,018177	0,043489	498	0,019642	0,044887
419	0,014138	0,039093	439	0,015458	0,040628	459	0,016829	0,042117	479	0,018249	0,043560	499	0,019716	0,044956
420	0,014203	0,039171	440	0,015526	0,040703	460	0,016899	0,042191	480	0,018321	0,043631	500	0,019791	0,045024

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
501	0,019866	0,045092	521	0,021383	0,046433	541	0,022944	0,047722	561	0,024547	0,048958	581	0,026191	0,050140
502	0,019940	0,045161	522	0,021460	0,046498	542	0,023023	0,047785	562	0,024628	0,049018	582	0,026274	0,050197
503	0,020015	0,045229	523	0,021537	0,046564	543	0,023102	0,047848	563	0,024710	0,049079	583	0,026357	0,050255
504	0,020090	0,045297	524	0,021614	0,046629	544	0,023182	0,047911	564	0,024791	0,049139	584	0,026441	0,050312
505	0,020165	0,045364	525	0,021692	0,046695	545	0,023261	0,047973	565	0,024873	0,049199	585	0,026524	0,050370
506	0,020241	0,045432	526	0,021769	0,046760	546	0,023341	0,048036	566	0,024954	0,049258	586	0,026608	0,050427
507	0,020316	0,045500	527	0,021847	0,046825	547	0,023421	0,048098	567	0,025036	0,049318	587	0,026692	0,050484
508	0,020391	0,045567	528	0,021924	0,046890	548	0,023500	0,048160	568	0,025118	0,049378	588	0,026775	0,050540
509	0,020467	0,045635	529	0,022002	0,046955	549	0,023580	0,048223	569	0,025200	0,049437	589	0,026859	0,050597
510	0,020543	0,045702	530	0,022080	0,047019	550	0,023660	0,048285	570	0,025282	0,049497	590	0,026943	0,050654
511	0,020619	0,045769	531	0,022158	0,047084	551	0,023740	0,048347	571	0,025364	0,049556	591	0,027027	0,050710
512	0,020694	0,045836	532	0,022236	0,047148	552	0,023821	0,048408	572	0,025446	0,049615	592	0,027111	0,050766
513	0,020771	0,045903	533	0,022314	0,047212	553	0,023901	0,048470	573	0,025529	0,049674	593	0,027196	0,050822
514	0,020847	0,045969	534	0,022393	0,047277	554	0,023981	0,048531	574	0,025611	0,049732	594	0,027280	0,050878
515	0,020923	0,046036	535	0,022471	0,047341	555	0,024062	0,048593	575	0,025694	0,049791	595	0,027364	0,050934
516	0,020999	0,046102	536	0,022550	0,047404	556	0,024142	0,048654	576	0,025776	0,049849	596	0,027449	0,050990
517	0,021076	0,046169	537	0,022628	0,047468	557	0,024223	0,048715	577	0,025859	0,049908	597	0,027534	0,051045
518	0,021152	0,046235	538	0,022707	0,047532	558	0,024304	0,048776	578	0,025942	0,049966	598	0,027618	0,051101
519	0,021229	0,046301	539	0,022786	0,047595	559	0,024385	0,048837	579	0,026025	0,050024	599	0,027703	0,051156
520	0,021306	0,046367	540	0,022865	0,047659	560	0,024466	0,048897	580	0,026108	0,050082	600	0,027788	0,051211

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
601	0,027873	0,051266	621	0,029592	0,052335	641	0,031346	0,053347	661	0,033133	0,054298	681	0,034951	0,055190
602	0,027958	0,051321	622	0,029679	0,052387	642	0,031435	0,053396	662	0,033223	0,054344	682	0,035042	0,055233
603	0,028043	0,051376	623	0,029766	0,052439	643	0,031523	0,053444	663	0,033313	0,054390	683	0,035134	0,055275
604	0,028129	0,051430	624	0,029853	0,052491	644	0,031612	0,053493	664	0,033404	0,054436	684	0,035226	0,055318
605	0,028214	0,051485	625	0,029940	0,052542	645	0,031701	0,053542	665	0,033494	0,054481	685	0,035318	0,055361
606	0,028300	0,051539	626	0,030027	0,052594	646	0,031790	0,053590	666	0,033584	0,054527	686	0,035410	0,055403
607	0,028385	0,051593	627	0,030115	0,052645	647	0,031879	0,053638	667	0,033675	0,054572	687	0,035502	0,055445
608	0,028471	0,051647	628	0,030202	0,052696	648	0,031968	0,053686	668	0,033766	0,054617	688	0,035594	0,055487
609	0,028556	0,051701	629	0,030290	0,052747	649	0,032057	0,053734	669	0,033856	0,054662	689	0,035686	0,055529
610	0,028642	0,051754	630	0,030377	0,052798	650	0,032146	0,053782	670	0,033947	0,054707	690	0,035778	0,055571
611	0,028728	0,051808	631	0,030465	0,052848	651	0,032235	0,053830	671	0,034038	0,054752	691	0,035870	0,055612
612	0,028814	0,051861	632	0,030553	0,052899	652	0,032325	0,053877	672	0,034129	0,054796	692	0,035963	0,055654
613	0,028900	0,051915	633	0,030640	0,052949	653	0,032414	0,053925	673	0,034220	0,054840	693	0,036055	0,055695
614	0,028986	0,051968	634	0,030728	0,052999	654	0,032504	0,053972	674	0,034311	0,054885	694	0,036148	0,055736
615	0,029073	0,052021	635	0,030816	0,053049	655	0,032593	0,054019	675	0,034402	0,054929	695	0,036240	0,055777
616	0,029159	0,052073	636	0,030904	0,053099	656	0,032683	0,054066	676	0,034493	0,054973	696	0,036333	0,055818
617	0,029245	0,052126	637	0,030993	0,053149	657	0,032773	0,054113	677	0,034585	0,055016	697	0,036426	0,055858
618	0,029332	0,052179	638	0,031081	0,053199	658	0,032863	0,054159	678	0,034676	0,055060	698	0,036518	0,055899
619	0,029419	0,052231	639	0,031169	0,053248	659	0,032953	0,054206	679	0,034767	0,055103	699	0,036611	0,055939
620	0,029505	0,052283	640	0,031258	0,053297	660	0,033043	0,054252	680	0,034856	0,055152	700	0,036704	0,055979

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
701	0,036797	0,056019	721	0,038671	0,056787	741	0,040569	0,057490	761	0,042490	0,058130	781	0,044431	0,058704
702	0,036890	0,056059	722	0,038765	0,056823	742	0,040664	0,057524	762	0,042586	0,058160	782	0,044529	0,058731
703	0,036983	0,056099	723	0,038859	0,056860	743	0,040760	0,057557	763	0,042683	0,058190	783	0,044626	0,058758
704	0,037077	0,056138	724	0,038954	0,056896	744	0,040856	0,057590	764	0,042780	0,058220	784	0,044724	0,058784
705	0,037170	0,056178	725	0,039048	0,056932	745	0,040951	0,057623	765	0,042876	0,058250	785	0,044822	0,058811
706	0,037263	0,056217	726	0,039143	0,056968	746	0,041047	0,057656	766	0,042973	0,058279	786	0,044919	0,058837
707	0,037357	0,056256	727	0,039238	0,057004	747	0,041143	0,057689	767	0,043070	0,058309	787	0,045017	0,058863
708	0,037450	0,056295	728	0,039332	0,057040	748	0,041239	0,057721	768	0,043167	0,058338	788	0,045115	0,058889
709	0,037543	0,056334	729	0,039427	0,057076	749	0,041335	0,057754	769	0,043264	0,058367	789	0,045213	0,058915
710	0,037637	0,056372	730	0,039522	0,057111	750	0,041431	0,057786	770	0,043361	0,058396	790	0,045311	0,058941
711	0,037731	0,056411	731	0,039617	0,057146	751	0,041527	0,057818	771	0,043458	0,058425	791	0,045409	0,058967
712	0,037824	0,056449	732	0,039712	0,057182	752	0,041623	0,057850	772	0,043555	0,058454	792	0,045507	0,058992
713	0,037918	0,056487	733	0,039807	0,057216	753	0,041719	0,057882	773	0,043652	0,058482	793	0,045605	0,059017
714	0,038012	0,056525	734	0,039902	0,057251	754	0,041815	0,057913	774	0,043749	0,058510	794	0,045703	0,059042
715	0,038106	0,056563	735	0,039997	0,057286	755	0,041911	0,057945	775	0,043847	0,058539	795	0,045801	0,059067
716	0,038200	0,056601	736	0,040092	0,057320	756	0,042008	0,057976	776	0,043944	0,058567	796	0,045899	0,059092
717	0,038294	0,056638	737	0,040187	0,057355	757	0,042104	0,058007	777	0,044041	0,058594	797	0,045997	0,059116
718	0,038388	0,056675	738	0,040283	0,057389	758	0,042200	0,058038	778	0,044139	0,058622	798	0,046096	0,059140
719	0,038482	0,056713	739	0,040378	0,057423	759	0,042297	0,058069	779	0,044236	0,058650	799	0,046194	0,059165
720	0,038576	0,056750	740	0,040473	0,057457	760	0,042393	0,058099	780	0,044334	0,058677	800	0,046292	0,059189

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
801	0,046391	0,059212	821	0,048366	0,059654	841	0,050356	0,060029	861	0,052357	0,060337	881	0,054367	0,060576
802	0,046489	0,059236	822	0,048466	0,059675	842	0,050456	0,060046	862	0,052457	0,060351	882	0,054468	0,060587
803	0,046588	0,059260	823	0,048565	0,059695	843	0,050555	0,060063	863	0,052557	0,060364	883	0,054569	0,060597
804	0,046686	0,059283	824	0,048664	0,059715	844	0,050655	0,060080	864	0,052658	0,060377	884	0,054669	0,060606
805	0,046785	0,059306	825	0,048763	0,059735	845	0,050755	0,060096	865	0,052758	0,060390	885	0,054770	0,060616
806	0,046883	0,059329	826	0,048862	0,059755	846	0,050855	0,060113	866	0,052859	0,060403	886	0,054871	0,060626
807	0,046982	0,059352	827	0,048962	0,059774	847	0,050955	0,060129	867	0,052959	0,060416	887	0,054972	0,060635
808	0,047080	0,059375	828	0,049061	0,059793	848	0,051055	0,060145	868	0,053059	0,060429	888	0,055072	0,060644
809	0,047179	0,059397	829	0,049161	0,059813	849	0,051155	0,060161	869	0,053160	0,060441	889	0,055173	0,060653
810	0,047278	0,059420	830	0,049260	0,059832	850	0,051255	0,060176	870	0,053260	0,060453	890	0,055274	0,060662
811	0,047377	0,059442	831	0,049359	0,059850	851	0,051355	0,060192	871	0,053361	0,060465	891	0,055375	0,060671
812	0,047475	0,059464	832	0,049459	0,059869	852	0,051455	0,060207	872	0,053461	0,060477	892	0,055476	0,060679
813	0,047574	0,059486	833	0,049558	0,059888	853	0,051555	0,060222	873	0,053562	0,060489	893	0,055577	0,060687
814	0,047673	0,059507	834	0,049658	0,059906	854	0,051655	0,060237	874	0,053663	0,060500	894	0,055678	0,060696
815	0,047772	0,059529	835	0,049758	0,059924	855	0,051755	0,060252	875	0,053763	0,060512	895	0,055779	0,060703
816	0,047871	0,059550	836	0,049857	0,059942	856	0,051856	0,060266	876	0,053864	0,060523	896	0,055879	0,060711
817	0,047970	0,059571	837	0,049957	0,059960	857	0,051956	0,060281	877	0,053964	0,060534	897	0,055980	0,060719
818	0,048069	0,059592	838	0,050057	0,059978	858	0,052056	0,060295	878	0,054065	0,060545	898	0,056081	0,060726
819	0,048168	0,059613	839	0,050156	0,059995	859	0,052156	0,060309	879	0,054166	0,060556	899	0,056182	0,060734
820	0,048267	0,059634	840	0,050256	0,060012	860	0,052257	0,060323	880	0,054266	0,060566	900	0,056283	0,060741

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
901	0,056384	0,060748	921	0,058406	0,060850	941	0,060430	0,060884	961	0,062455	0,060849	981	0,064476	0,060746
902	0,056485	0,060754	922	0,058507	0,060854	942	0,060532	0,060884	962	0,062556	0,060846	982	0,064577	0,060739
903	0,056586	0,060761	923	0,058609	0,060857	943	0,060633	0,060884	963	0,062657	0,060842	983	0,064678	0,060732
904	0,056687	0,060767	924	0,058710	0,060860	944	0,060734	0,060883	964	0,062758	0,060838	984	0,064779	0,060724
905	0,056788	0,060774	925	0,058811	0,060863	945	0,060835	0,060883	965	0,062859	0,060834	985	0,064880	0,060717
906	0,056889	0,060780	926	0,058912	0,060865	946	0,060937	0,060882	966	0,062960	0,060830	986	0,064981	0,060709
907	0,056990	0,060786	927	0,059013	0,060868	947	0,061038	0,060881	967	0,063061	0,060826	987	0,065082	0,060701
908	0,057092	0,060791	928	0,059114	0,060870	948	0,061139	0,060880	968	0,063163	0,060821	988	0,065183	0,060693
909	0,057193	0,060797	929	0,059216	0,060872	949	0,061240	0,060879	969	0,063264	0,060816	989	0,065284	0,060685
910	0,057294	0,060802	930	0,059317	0,060874	950	0,061341	0,060877	970	0,063365	0,060811	990	0,065385	0,060677
911	0,057395	0,060808	931	0,059418	0,060876	951	0,061443	0,060875	971	0,063466	0,060806	991	0,065486	0,060668
912	0,057496	0,060813	932	0,059519	0,060878	952	0,061544	0,060874	972	0,063567	0,060801	992	0,065587	0,060659
913	0,057597	0,060818	933	0,059621	0,060879	953	0,061645	0,060872	973	0,063668	0,060795	993	0,065687	0,060650
914	0,057698	0,060822	934	0,059722	0,060880	954	0,061746	0,060869	974	0,063769	0,060790	994	0,065788	0,060641
915	0,057799	0,060827	935	0,059823	0,060881	955	0,061847	0,060867	975	0,063870	0,060784	995	0,065889	0,060632
916	0,057900	0,060831	936	0,059924	0,060882	956	0,061949	0,060865	976	0,063971	0,060778	996	0,065990	0,060623
917	0,058002	0,060835	937	0,060025	0,060883	957	0,062050	0,060862	977	0,064072	0,060772	997	0,066091	0,060613
918	0,058103	0,060839	938	0,060127	0,060884	958	0,062151	0,060859	978	0,064173	0,060766	998	0,066191	0,060603
919	0,058204	0,060843	939	0,060228	0,060884	959	0,062252	0,060856	979	0,064274	0,060759	999	0,066292	0,060594
920	0,058305	0,060847	940	0,060329	0,060884	960	0,062353	0,060853	980	0,064375	0,060753	1000	0,066393	0,060583

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1001	0,066494	0,060573	1021	0,068504	0,060332	1041	0,070504	0,060022	1061	0,072493	0,059644	1081	0,074468	0,059199
1002	0,066594	0,060563	1022	0,068604	0,060318	1042	0,070604	0,060005	1062	0,072592	0,059624	1082	0,074566	0,059175
1003	0,066695	0,060552	1023	0,068704	0,060304	1043	0,070704	0,059988	1063	0,072691	0,059603	1083	0,074665	0,059151
1004	0,066796	0,060541	1024	0,068804	0,060290	1044	0,070803	0,059970	1064	0,072790	0,059582	1084	0,074763	0,059126
1005	0,066896	0,060530	1025	0,068905	0,060276	1045	0,070903	0,059952	1065	0,072889	0,059561	1085	0,074861	0,059102
1006	0,066997	0,060519	1026	0,069005	0,060261	1046	0,071003	0,059934	1066	0,072988	0,059539	1086	0,074959	0,059077
1007	0,067097	0,060508	1027	0,069105	0,060246	1047	0,071102	0,059916	1067	0,073087	0,059518	1087	0,075057	0,059052
1008	0,067198	0,060497	1028	0,069205	0,060231	1048	0,071202	0,059898	1068	0,073186	0,059496	1088	0,075155	0,059027
1009	0,067299	0,060485	1029	0,069305	0,060216	1049	0,071301	0,059879	1069	0,073285	0,059474	1089	0,075253	0,059002
1010	0,067399	0,060473	1030	0,069405	0,060201	1050	0,071401	0,059861	1070	0,073384	0,059452	1090	0,075351	0,058976
1011	0,067500	0,060461	1031	0,069505	0,060186	1051	0,071500	0,059842	1071	0,073482	0,059430	1091	0,075449	0,058951
1012	0,067600	0,060449	1032	0,069605	0,060170	1052	0,071600	0,059823	1072	0,073581	0,059408	1092	0,075547	0,058925
1013	0,067701	0,060437	1033	0,069705	0,060154	1053	0,071699	0,059804	1073	0,073680	0,059385	1093	0,075645	0,058899
1014	0,067801	0,060424	1034	0,069805	0,060138	1054	0,071799	0,059784	1074	0,073779	0,059363	1094	0,075743	0,058873
1015	0,067901	0,060412	1035	0,069905	0,060122	1055	0,071898	0,059765	1075	0,073877	0,059340	1095	0,075841	0,058847
1016	0,068002	0,060399	1036	0,070005	0,060106	1056	0,071997	0,059745	1076	0,073976	0,059317	1096	0,075938	0,058821
1017	0,068102	0,060386	1037	0,070105	0,060090	1057	0,072096	0,059725	1077	0,074074	0,059293	1097	0,076036	0,058794
1018	0,068203	0,060373	1038	0,070205	0,060073	1058	0,072196	0,059705	1078	0,074173	0,059270	1098	0,076134	0,058767
1019	0,068303	0,060359	1039	0,070305	0,060056	1059	0,072295	0,059685	1079	0,074271	0,059247	1099	0,076231	0,058740
1020	0,068403	0,060346	1040	0,070404	0,060039	1060	0,072394	0,059665	1080	0,074370	0,059223	1100	0,076329	0,058713

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1101	0,076426	0,058686	1121	0,078366	0,058106	1141	0,080285	0,057460	1161	0,082180	0,056749	1181	0,084050	0,055973
1102	0,076524	0,058659	1122	0,078463	0,058076	1142	0,080380	0,057426	1162	0,082274	0,056712	1182	0,084143	0,055933
1103	0,076621	0,058631	1123	0,078559	0,058045	1143	0,080475	0,057392	1163	0,082368	0,056675	1183	0,084236	0,055892
1104	0,076719	0,058603	1124	0,078655	0,058014	1144	0,080571	0,057358	1164	0,082462	0,056637	1184	0,084328	0,055851
1105	0,076816	0,058575	1125	0,078752	0,057982	1145	0,080666	0,057323	1165	0,082556	0,056599	1185	0,084421	0,055810
1106	0,076913	0,058547	1126	0,078848	0,057951	1146	0,080761	0,057289	1166	0,082650	0,056561	1186	0,084513	0,055769
1107	0,077010	0,058519	1127	0,078944	0,057919	1147	0,080856	0,057254	1167	0,082744	0,056523	1187	0,084606	0,055728
1108	0,077108	0,058491	1128	0,079040	0,057888	1148	0,080951	0,057219	1168	0,082838	0,056485	1188	0,084698	0,055687
1109	0,077205	0,058462	1129	0,079136	0,057856	1149	0,081046	0,057184	1169	0,082931	0,056447	1189	0,084790	0,055645
1110	0,077302	0,058433	1130	0,079232	0,057824	1150	0,081141	0,057148	1170	0,083025	0,056408	1190	0,084883	0,055603
1111	0,077399	0,058404	1131	0,079328	0,057792	1151	0,081236	0,057113	1171	0,083119	0,056369	1191	0,084975	0,055561
1112	0,077496	0,058375	1132	0,079424	0,057759	1152	0,081330	0,057077	1172	0,083212	0,056330	1192	0,085067	0,055519
1113	0,077593	0,058346	1133	0,079520	0,057727	1153	0,081425	0,057042	1173	0,083305	0,056291	1193	0,085159	0,055477
1114	0,077690	0,058317	1134	0,079616	0,057694	1154	0,081520	0,057006	1174	0,083399	0,056252	1194	0,085251	0,055435
1115	0,077786	0,058287	1135	0,079712	0,057661	1155	0,081614	0,056969	1175	0,083492	0,056213	1195	0,085343	0,055392
1116	0,077883	0,058257	1136	0,079807	0,057628	1156	0,081709	0,056933	1176	0,083585	0,056173	1196	0,085434	0,055349
1117	0,077980	0,058228	1137	0,079903	0,057595	1157	0,081803	0,056897	1177	0,083678	0,056134	1197	0,085526	0,055307
1118	0,078076	0,058198	1138	0,079998	0,057562	1158	0,081898	0,056860	1178	0,083771	0,056094	1198	0,085618	0,055263
1119	0,078173	0,058167	1139	0,080094	0,057528	1159	0,081992	0,056823	1179	0,083864	0,056054	1199	0,085709	0,055220
1120	0,078270	0,058137	1140	0,080189	0,057494	1160	0,082086	0,056786	1180	0,083957	0,056014	1200	0,085801	0,055177

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1201	0,085892	0,055133	1221	0,087704	0,054231	1241	0,089484	0,053266	1261	0,091230	0,052241	1281	0,092939	0,051156
1202	0,085984	0,055090	1222	0,087794	0,054184	1242	0,089572	0,053217	1262	0,091316	0,052188	1282	0,093024	0,051101
1203	0,086075	0,055046	1223	0,087884	0,054137	1243	0,089660	0,053167	1263	0,091403	0,052135	1283	0,093108	0,051045
1204	0,086166	0,055002	1224	0,087973	0,054090	1244	0,089748	0,053116	1264	0,091489	0,052082	1284	0,093192	0,050989
1205	0,086257	0,054958	1225	0,088063	0,054043	1245	0,089836	0,053066	1265	0,091575	0,052029	1285	0,093277	0,050932
1206	0,086348	0,054914	1226	0,088152	0,053995	1246	0,089924	0,053016	1266	0,091661	0,051975	1286	0,093361	0,050876
1207	0,086439	0,054869	1227	0,088242	0,053948	1247	0,090012	0,052965	1267	0,091747	0,051922	1287	0,093445	0,050819
1208	0,086530	0,054825	1228	0,088331	0,053900	1248	0,090099	0,052914	1268	0,091832	0,051868	1288	0,093529	0,050763
1209	0,086621	0,054780	1229	0,088420	0,053852	1249	0,090187	0,052863	1269	0,091918	0,051814	1289	0,093612	0,050706
1210	0,086712	0,054735	1230	0,088509	0,053804	1250	0,090274	0,052812	1270	0,092004	0,051760	1290	0,093696	0,050649
1211	0,086802	0,054690	1231	0,088598	0,053756	1251	0,090362	0,052761	1271	0,092089	0,051706	1291	0,093780	0,050592
1212	0,086893	0,054645	1232	0,088687	0,053708	1252	0,090449	0,052710	1272	0,092175	0,051652	1292	0,093863	0,050535
1213	0,086983	0,054599	1233	0,088776	0,053660	1253	0,090536	0,052658	1273	0,092260	0,051597	1293	0,093947	0,050477
1214	0,087074	0,054554	1234	0,088865	0,053611	1254	0,090623	0,052607	1274	0,092345	0,051543	1294	0,094030	0,050420
1215	0,087164	0,054508	1235	0,088954	0,053562	1255	0,090710	0,052555	1275	0,092430	0,051488	1295	0,094113	0,050362
1216	0,087254	0,054462	1236	0,089042	0,053513	1256	0,090797	0,052503	1276	0,092515	0,051433	1296	0,094196	0,050304
1217	0,087344	0,054416	1237	0,089131	0,053464	1257	0,090884	0,052451	1277	0,092600	0,051378	1297	0,094279	0,050246
1218	0,087435	0,054370	1238	0,089219	0,053415	1258	0,090970	0,052399	1278	0,092685	0,051323	1298	0,094362	0,050188
1219	0,087525	0,054324	1239	0,089308	0,053366	1259	0,091057	0,052346	1279	0,092770	0,051267	1299	0,094445	0,050130
1220	0,087614	0,054277	1240	0,089396	0,053316	1260	0,091144	0,052294	1280	0,092855	0,051212	1300	0,094528	0,050072

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1301	0,094610	0,050013	1321	0,096240	0,048813	1341	0,097828	0,047557	1361	0,099372	0,046247	1381	0,100869	0,044884
1302	0,094693	0,049954	1322	0,096321	0,048751	1342	0,097907	0,047493	1362	0,099448	0,046180	1382	0,100943	0,044815
1303	0,094775	0,049896	1323	0,096401	0,048690	1343	0,097985	0,047429	1363	0,099524	0,046113	1383	0,101016	0,044745
1304	0,094857	0,049837	1324	0,096481	0,048628	1344	0,098063	0,047364	1364	0,099599	0,046046	1384	0,101090	0,044676
1305	0,094939	0,049778	1325	0,096562	0,048566	1345	0,098141	0,047299	1365	0,099675	0,045979	1385	0,101163	0,044606
1306	0,095022	0,049718	1326	0,096642	0,048504	1346	0,098218	0,047235	1366	0,099751	0,045911	1386	0,101236	0,044536
1307	0,095104	0,049659	1327	0,096721	0,048442	1347	0,098296	0,047170	1367	0,099826	0,045844	1387	0,101309	0,044466
1308	0,095185	0,049599	1328	0,096801	0,048380	1348	0,098374	0,047105	1368	0,099901	0,045776	1388	0,101382	0,044395
1309	0,095267	0,049540	1329	0,096881	0,048317	1349	0,098451	0,047040	1369	0,099976	0,045708	1389	0,101455	0,044325
1310	0,095349	0,049480	1330	0,096960	0,048255	1350	0,098529	0,046974	1370	0,100051	0,045640	1390	0,101527	0,044255
1311	0,095430	0,049420	1331	0,097040	0,048192	1351	0,098606	0,046909	1371	0,100126	0,045572	1391	0,101600	0,044184
1312	0,095512	0,049360	1332	0,097119	0,048129	1352	0,098683	0,046843	1372	0,100201	0,045504	1392	0,101672	0,044113
1313	0,095593	0,049300	1333	0,097198	0,048066	1353	0,098760	0,046778	1373	0,100276	0,045436	1393	0,101745	0,044042
1314	0,095675	0,049239	1334	0,097278	0,048003	1354	0,098837	0,046712	1374	0,100350	0,045367	1394	0,101817	0,043971
1315	0,095756	0,049179	1335	0,097357	0,047940	1355	0,098914	0,046646	1375	0,100425	0,045299	1395	0,101889	0,043900
1316	0,095837	0,049118	1336	0,097435	0,047876	1356	0,098990	0,046580	1376	0,100499	0,045230	1396	0,101961	0,043829
1317	0,095918	0,049057	1337	0,097514	0,047813	1357	0,099067	0,046513	1377	0,100573	0,045161	1397	0,102032	0,043758
1318	0,095999	0,048997	1338	0,097593	0,047749	1358	0,099143	0,046447	1378	0,100648	0,045092	1398	0,102104	0,043686
1319	0,096079	0,048935	1339	0,097672	0,047685	1359	0,099220	0,046381	1379	0,100722	0,045023	1399	0,102176	0,043614
1320	0,096160	0,048874	1340	0,097750	0,047621	1360	0,099296	0,046314	1380	0,100795	0,044954	1400	0,102247	0,043543

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1401	0,102318	0,043471	1421	0,103718	0,042008	1441	0,105065	0,040497	1461	0,106360	0,038941	1481	0,107599	0,037340
1402	0,102389	0,043399	1422	0,103786	0,041933	1442	0,105131	0,040420	1462	0,106423	0,038862	1482	0,107660	0,037259
1403	0,102461	0,043327	1423	0,103855	0,041859	1443	0,105197	0,040343	1463	0,106486	0,038782	1483	0,107720	0,037178
1404	0,102531	0,043254	1424	0,103923	0,041784	1444	0,105263	0,040266	1464	0,106549	0,038703	1484	0,107781	0,037096
1405	0,102602	0,043182	1425	0,103991	0,041709	1445	0,105329	0,040189	1465	0,106612	0,038624	1485	0,107841	0,037015
1406	0,102673	0,043110	1426	0,104059	0,041634	1446	0,105394	0,040112	1466	0,106675	0,038544	1486	0,107901	0,036933
1407	0,102743	0,043037	1427	0,104127	0,041559	1447	0,105459	0,040035	1467	0,106738	0,038465	1487	0,107960	0,036852
1408	0,102814	0,042964	1428	0,104195	0,041484	1448	0,105525	0,039957	1468	0,106800	0,038385	1488	0,108020	0,036770
1409	0,102884	0,042891	1429	0,104263	0,041409	1449	0,105590	0,039880	1469	0,106862	0,038305	1489	0,108080	0,036688
1410	0,102954	0,042818	1430	0,104331	0,041334	1450	0,105655	0,039802	1470	0,106925	0,038226	1490	0,108139	0,036606
1411	0,103024	0,042745	1431	0,104398	0,041258	1451	0,105719	0,039724	1471	0,106987	0,038146	1491	0,108198	0,036524
1412	0,103094	0,042672	1432	0,104465	0,041183	1452	0,105784	0,039647	1472	0,107048	0,038066	1492	0,108257	0,036442
1413	0,103164	0,042599	1433	0,104533	0,041107	1453	0,105848	0,039569	1473	0,107110	0,037985	1493	0,108316	0,036359
1414	0,103234	0,042525	1434	0,104600	0,041031	1454	0,105913	0,039490	1474	0,107172	0,037905	1494	0,108375	0,036277
1415	0,103303	0,042452	1435	0,104667	0,040955	1455	0,105977	0,039412	1475	0,107233	0,037825	1495	0,108434	0,036194
1416	0,103373	0,042378	1436	0,104733	0,040879	1456	0,106041	0,039334	1476	0,107295	0,037744	1496	0,108492	0,036112
1417	0,103442	0,042304	1437	0,104800	0,040803	1457	0,106105	0,039255	1477	0,107356	0,037664	1497	0,108551	0,036029
1418	0,103511	0,042230	1438	0,104867	0,040727	1458	0,106169	0,039177	1478	0,107417	0,037583	1498	0,108609	0,035946
1419	0,103580	0,042156	1439	0,104933	0,040650	1459	0,106233	0,039098	1479	0,107478	0,037502	1499	0,108667	0,035863
1420	0,103649	0,042082	1440	0,104999	0,040574	1460	0,106296	0,039019	1480	0,107539	0,037421	1500	0,108725	0,035780

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1501	0,108783	0,035697	1521	0,109908	0,034015	1541	0,110975	0,032294	1561	0,111980	0,030537	1581	0,112924	0,028746
1502	0,108840	0,035614	1522	0,109963	0,033929	1542	0,111026	0,032207	1562	0,112029	0,030448	1582	0,112970	0,028655
1503	0,108898	0,035531	1523	0,110018	0,033844	1543	0,111078	0,032120	1563	0,112078	0,030359	1583	0,113015	0,028565
1504	0,108955	0,035447	1524	0,110072	0,033759	1544	0,111129	0,032032	1564	0,112126	0,030270	1584	0,113061	0,028474
1505	0,109013	0,035364	1525	0,110126	0,033673	1545	0,111181	0,031945	1565	0,112174	0,030181	1585	0,113106	0,028384
1506	0,109070	0,035280	1526	0,110180	0,033588	1546	0,111232	0,031858	1566	0,112222	0,030092	1586	0,113151	0,028293
1507	0,109127	0,035197	1527	0,110234	0,033502	1547	0,111283	0,031770	1567	0,112270	0,030003	1587	0,113195	0,028202
1508	0,109183	0,035113	1528	0,110288	0,033416	1548	0,111334	0,031683	1568	0,112318	0,029914	1588	0,113240	0,028111
1509	0,109240	0,035029	1529	0,110342	0,033331	1549	0,111384	0,031595	1569	0,112365	0,029824	1589	0,113284	0,028020
1510	0,109296	0,034945	1530	0,110396	0,033245	1550	0,111435	0,031507	1570	0,112413	0,029735	1590	0,113329	0,027929
1511	0,109353	0,034861	1531	0,110449	0,033159	1551	0,111485	0,031420	1571	0,112460	0,029645	1591	0,113373	0,027838
1512	0,109409	0,034777	1532	0,110502	0,033073	1552	0,111535	0,031332	1572	0,112507	0,029556	1592	0,113417	0,027747
1513	0,109465	0,034692	1533	0,110555	0,032986	1553	0,111585	0,031244	1573	0,112554	0,029466	1593	0,113461	0,027656
1514	0,109521	0,034608	1534	0,110608	0,032900	1554	0,111635	0,031156	1574	0,112601	0,029376	1594	0,113504	0,027565
1515	0,109577	0,034523	1535	0,110661	0,032814	1555	0,111685	0,031067	1575	0,112648	0,029286	1595	0,113548	0,027473
1516	0,109632	0,034439	1536	0,110714	0,032727	1556	0,111735	0,030979	1576	0,112694	0,029197	1596	0,113591	0,027382
1517	0,109688	0,034354	1537	0,110766	0,032641	1557	0,111784	0,030891	1577	0,112741	0,029107	1597	0,113634	0,027290
1518	0,109743	0,034269	1538	0,110818	0,032554	1558	0,111833	0,030802	1578	0,112787	0,029016	1598	0,113677	0,027198
1519	0,109798	0,034185	1539	0,110871	0,032467	1559	0,111883	0,030714	1579	0,112833	0,028926	1599	0,113720	0,027107
1520	0,109853	0,034100	1540	0,110923	0,032381	1560	0,111932	0,030625	1580	0,112879	0,028836	1600	0,113763	0,027015

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1601	0,113805	0,026923	1621	0,114623	0,025071	1641	0,115375	0,023191	1661	0,116061	0,021286	1681	0,116680	0,019359
1602	0,113848	0,026831	1622	0,114662	0,024977	1642	0,115410	0,023097	1662	0,116093	0,021191	1682	0,116709	0,019262
1603	0,113890	0,026739	1623	0,114701	0,024884	1643	0,115446	0,023002	1663	0,116126	0,021095	1683	0,116738	0,019165
1604	0,113932	0,026647	1624	0,114740	0,024791	1644	0,115482	0,022907	1664	0,116158	0,020999	1684	0,116767	0,019068
1605	0,113974	0,026555	1625	0,114778	0,024697	1645	0,115517	0,022812	1665	0,116190	0,020903	1685	0,116796	0,018971
1606	0,114016	0,026463	1626	0,114817	0,024603	1646	0,115552	0,022717	1666	0,116222	0,020807	1686	0,116824	0,018874
1607	0,114057	0,026370	1627	0,114855	0,024510	1647	0,115587	0,022622	1667	0,116253	0,020711	1687	0,116852	0,018777
1608	0,114099	0,026278	1628	0,114893	0,024416	1648	0,115622	0,022527	1668	0,116285	0,020614	1688	0,116881	0,018679
1609	0,114140	0,026186	1629	0,114931	0,024322	1649	0,115657	0,022432	1669	0,116316	0,020518	1689	0,116909	0,018582
1610	0,114181	0,026093	1630	0,114969	0,024228	1650	0,115691	0,022337	1670	0,116348	0,020422	1690	0,116936	0,018485
1611	0,114222	0,026001	1631	0,115007	0,024134	1651	0,115726	0,022242	1671	0,116379	0,020325	1691	0,116964	0,018388
1612	0,114263	0,025908	1632	0,115044	0,024040	1652	0,115760	0,022147	1672	0,116409	0,020229	1692	0,116992	0,018290
1613	0,114303	0,025815	1633	0,115082	0,023946	1653	0,115794	0,022051	1673	0,116440	0,020133	1693	0,117019	0,018193
1614	0,114344	0,025722	1634	0,115119	0,023852	1654	0,115828	0,021956	1674	0,116471	0,020036	1694	0,117046	0,018095
1615	0,114384	0,025629	1635	0,115156	0,023758	1655	0,115862	0,021860	1675	0,116501	0,019940	1695	0,117073	0,017998
1616	0,114424	0,025537	1636	0,115193	0,023664	1656	0,115895	0,021765	1676	0,116531	0,019843	1696	0,117100	0,017900
1617	0,114464	0,025444	1637	0,115229	0,023569	1657	0,115929	0,021669	1677	0,116561	0,019746	1697	0,117127	0,017802
1618	0,114504	0,025350	1638	0,115266	0,023475	1658	0,115962	0,021574	1678	0,116591	0,019650	1698	0,117153	0,017705
1619	0,114544	0,025257	1639	0,115302	0,023380	1659	0,115995	0,021478	1679	0,116621	0,019553	1699	0,117179	0,017607
1620	0,114583	0,025164	1640	0,115339	0,023286	1660	0,116028	0,021382	1680	0,116650	0,019456	1700	0,117205	0,017509

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1701	0,117231	0,017411	1721	0,117715	0,015445	1741	0,118129	0,013464	1761	0,118474	0,011469	1781	0,118750	0,009463
1702	0,117257	0,017313	1722	0,117737	0,015346	1742	0,118148	0,013364	1762	0,118490	0,011369	1782	0,118761	0,009363
1703	0,117283	0,017215	1723	0,117759	0,015248	1743	0,118167	0,013265	1763	0,118505	0,011269	1783	0,118773	0,009262
1704	0,117308	0,017117	1724	0,117781	0,015149	1744	0,118185	0,013165	1764	0,118520	0,011169	1784	0,118785	0,009161
1705	0,117334	0,017019	1725	0,117803	0,015050	1745	0,118204	0,013066	1765	0,118535	0,011068	1785	0,118796	0,009061
1706	0,117359	0,016921	1726	0,117825	0,014951	1746	0,118222	0,012966	1766	0,118550	0,010968	1786	0,118807	0,008960
1707	0,117384	0,016823	1727	0,117846	0,014852	1747	0,118240	0,012866	1767	0,118564	0,010868	1787	0,118818	0,008860
1708	0,117408	0,016725	1728	0,117868	0,014753	1748	0,118258	0,012767	1768	0,118579	0,010768	1788	0,118829	0,008759
1709	0,117433	0,016627	1729	0,117889	0,014654	1749	0,118276	0,012667	1769	0,118593	0,010668	1789	0,118840	0,008658
1710	0,117457	0,016529	1730	0,117910	0,014555	1750	0,118293	0,012567	1770	0,118607	0,010567	1790	0,118851	0,008558
1711	0,117482	0,016430	1731	0,117931	0,014456	1751	0,118310	0,012468	1771	0,118621	0,010467	1791	0,118861	0,008457
1712	0,117506	0,016332	1732	0,117951	0,014357	1752	0,118328	0,012368	1772	0,118634	0,010367	1792	0,118871	0,008356
1713	0,117530	0,016234	1733	0,117972	0,014258	1753	0,118345	0,012268	1773	0,118648	0,010267	1793	0,118881	0,008255
1714	0,117553	0,016135	1734	0,117992	0,014159	1754	0,118361	0,012168	1774	0,118661	0,010166	1794	0,118891	0,008155
1715	0,117577	0,016037	1735	0,118012	0,014060	1755	0,118378	0,012068	1775	0,118674	0,010066	1795	0,118900	0,008054
1716	0,117600	0,015938	1736	0,118032	0,013960	1756	0,118395	0,011969	1776	0,118687	0,009965	1796	0,118910	0,007953
1717	0,117624	0,015840	1737	0,118052	0,013861	1757	0,118411	0,011869	1777	0,118700	0,009865	1797	0,118919	0,007852
1718	0,117647	0,015741	1738	0,118071	0,013762	1758	0,118427	0,011769	1778	0,118713	0,009765	1798	0,118928	0,007752
1719	0,117670	0,015643	1739	0,118091	0,013662	1759	0,118443	0,011669	1779	0,118725	0,009664	1799	0,118937	0,007651
1720	0,117692	0,015544	1740	0,118110	0,013563	1760	0,118459	0,011569	1780	0,118737	0,009564	1800	0,118946	0,007550

Продолжение таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1801	0,118949	0,007512	1821	0,119011	0,006757	1841	0,119067	0,006002	1861	0,119116	0,005247	1881	0,119158	0,004492
1802	0,118953	0,007474	1822	0,119014	0,006719	1842	0,119069	0,005964	1862	0,119118	0,005209	1882	0,119160	0,004454
1803	0,118956	0,007437	1823	0,119017	0,006682	1843	0,119072	0,005927	1863	0,119120	0,005172	1883	0,119162	0,004417
1804	0,118959	0,007399	1824	0,119020	0,006644	1844	0,119074	0,005889	1864	0,119122	0,005134	1884	0,119164	0,004379
1805	0,118962	0,007361	1825	0,119023	0,006606	1845	0,119077	0,005851	1865	0,119125	0,005096	1885	0,119166	0,004341
1806	0,118965	0,007323	1826	0,119026	0,006568	1846	0,119080	0,005813	1866	0,119127	0,005058	1886	0,119167	0,004303
1807	0,118969	0,007286	1827	0,119029	0,006531	1847	0,119082	0,005776	1867	0,119129	0,005021	1887	0,119169	0,004266
1808	0,118972	0,007248	1828	0,119031	0,006493	1848	0,119085	0,005738	1868	0,119131	0,004983	1888	0,119171	0,004228
1809	0,118975	0,007210	1829	0,119034	0,006455	1849	0,119087	0,005700	1869	0,119133	0,004945	1889	0,119173	0,004190
1810	0,118978	0,007172	1830	0,119037	0,006417	1850	0,119090	0,005662	1870	0,119135	0,004907	1890	0,119175	0,004152
1811	0,118981	0,007135	1831	0,119040	0,006380	1851	0,119092	0,005625	1871	0,119138	0,004870	1891	0,119177	0,004115
1812	0,118984	0,007097	1832	0,119043	0,006342	1852	0,119094	0,005587	1872	0,119140	0,004832	1892	0,119178	0,004077
1813	0,118987	0,007059	1833	0,119045	0,006304	1853	0,119097	0,005549	1873	0,119142	0,004794	1893	0,119180	0,004039
1814	0,118990	0,007021	1834	0,119048	0,006266	1854	0,119099	0,005511	1874	0,119144	0,004756	1894	0,119182	0,004001
1815	0,118993	0,006984	1835	0,119051	0,006229	1855	0,119102	0,005474	1875	0,119146	0,004719	1895	0,119184	0,003964
1816	0,118996	0,006946	1836	0,119053	0,006191	1856	0,119104	0,005436	1876	0,119148	0,004681	1896	0,119185	0,003926
1817	0,118999	0,006908	1837	0,119056	0,006153	1857	0,119106	0,005398	1877	0,119150	0,004643	1897	0,119187	0,003888
1818	0,119002	0,006870	1838	0,119059	0,006115	1858	0,119109	0,005360	1878	0,119152	0,004605	1898	0,119189	0,003850
1819	0,119005	0,006833	1839	0,119061	0,006078	1859	0,119111	0,005323	1879	0,119154	0,004568	1899	0,119190	0,003813
1820	0,119008	0,006795	1840	0,119064	0,006040	1860	0,119113	0,005285	1880	0,119156	0,004530	1900	0,119192	0,003775

Окончание таблицы Л.2

№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата		№ точки	Координата	
	X	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*		*X*	*Y*
1901	0,119194	0,003737	1921	0,119223	0,002982	1941	0,119245	0,002227	1961	0,119261	0,001472	1981	0,119271	0,000717
1902	0,119195	0,003699	1922	0,119224	0,002944	1942	0,119246	0,002189	1962	0,119262	0,001434	1982	0,119271	0,000679
1903	0,119197	0,003662	1923	0,119225	0,002907	1943	0,119247	0,002152	1963	0,119263	0,001397	1983	0,119272	0,000642
1904	0,119198	0,003624	1924	0,119227	0,002869	1944	0,119248	0,002114	1964	0,119263	0,001359	1984	0,119272	0,000604
1905	0,119200	0,003586	1925	0,119228	0,002831	1945	0,119249	0,002076	1965	0,119264	0,001321	1985	0,119272	0,000566
1906	0,119202	0,003548	1926	0,119229	0,002793	1946	0,119250	0,002038	1966	0,119264	0,001283	1986	0,119272	0,000528
1907	0,119203	0,003511	1927	0,119230	0,002756	1947	0,119251	0,002001	1967	0,119265	0,001246	1987	0,119273	0,000491
1908	0,119205	0,003473	1928	0,119231	0,002718	1948	0,119252	0,001963	1968	0,119266	0,001208	1988	0,119273	0,000453
1909	0,119206	0,003435	1929	0,119233	0,002680	1949	0,119253	0,001925	1969	0,119266	0,001170	1989	0,119273	0,000415
1910	0,119208	0,003397	1930	0,119234	0,002642	1950	0,119253	0,001887	1970	0,119267	0,001132	1990	0,119273	0,000377
1911	0,119209	0,003360	1931	0,119235	0,002605	1951	0,119254	0,001850	1971	0,119267	0,001095	1991	0,119273	0,000340
1912	0,119210	0,003322	1932	0,119236	0,002567	1952	0,119255	0,001812	1972	0,119268	0,001057	1992	0,119273	0,000302
1913	0,119212	0,003284	1933	0,119237	0,002529	1953	0,119256	0,001774	1973	0,119268	0,001019	1993	0,119274	0,000264
1914	0,119213	0,003246	1934	0,119238	0,002491	1954	0,119257	0,001736	1974	0,119268	0,000981	1994	0,119274	0,000226
1915	0,119215	0,003209	1935	0,119239	0,002454	1955	0,119257	0,001699	1975	0,119269	0,000944	1995	0,119274	0,000189
1916	0,119216	0,003171	1936	0,119240	0,002416	1956	0,119258	0,001661	1976	0,119269	0,000906	1996	0,119274	0,000151
1917	0,119217	0,003133	1937	0,119241	0,002378	1957	0,119259	0,001623	1977	0,119270	0,000868	1997	0,119274	0,000113
1918	0,119219	0,003095	1938	0,119242	0,002340	1958	0,119260	0,001585	1978	0,119270	0,000830	1998	0,119274	0,000075
1919	0,119220	0,003058	1939	0,119243	0,002303	1959	0,119260	0,001548	1979	0,119270	0,000793	1999	0,119274	0,000038
1920	0,119221	0,003020	1940	0,119244	0,002265	1960	0,119261	0,001510	1980	0,119271	0,000755	2000	0,119274	0,000000

Таблица Л.3 - Равнорадиусное кольцо

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1	59,637	0,0000	0,00	41	59,638	0,0679	3,89	81	59,646	0,1358	7,78
2	59,637	0,0017	0,10	42	59,638	0,0696	3,99	82	59,646	0,1375	7,88
3	59,637	0,0034	0,19	43	59,638	0,0713	4,08	83	59,646	0,1392	7,97
4	59,637	0,0051	0,29	44	59,638	0,0730	4,18	84	59,646	0,1409	8,07
5	59,637	0,0068	0,39	45	59,638	0,0747	4,28	85	59,647	0,1426	8,17
6	59,637	0,0085	0,49	46	59,638	0,0764	4,38	86	59,647	0,1443	8,27
7	59,637	0,0102	0,58	47	59,638	0,0781	4,47	87	59,647	0,1460	8,36
8	59,637	0,0119	0,68	48	59,638	0,0798	4,57	88	59,648	0,1477	8,46
9	59,637	0,0136	0,78	49	59,639	0,0815	4,67	89	59,648	0,1494	8,56
10	59,637	0,0153	0,88	50	59,639	0,0832	4,77	90	59,648	0,1511	8,66
11	59,636	0,0170	0,97	51	59,639	0,0849	4,86	91	59,649	0,1528	8,75
12	59,636	0,0187	1,07	52	59,639	0,0866	4,96	92	59,649	0,1545	8,85
13	59,636	0,0204	1,17	53	59,639	0,0883	5,06	93	59,649	0,1562	8,95
14	59,636	0,0221	1,26	54	59,639	0,0900	5,15	94	59,65	0,1579	9,04
15	59,636	0,0238	1,36	55	59,639	0,0917	5,25	95	59,65	0,1595	9,14
16	59,636	0,0255	1,46	56	59,64	0,0934	5,35	96	59,651	0,1612	9,24
17	59,636	0,0272	1,56	57	59,64	0,0951	5,45	97	59,651	0,1629	9,34
18	59,636	0,0289	1,65	58	59,64	0,0968	5,54	98	59,651	0,1646	9,43
19	59,636	0,0306	1,75	59	59,64	0,0985	5,64	99	59,652	0,1663	9,53
20	59,636	0,0323	1,85	60	59,64	0,1001	5,74	100	59,652	0,1680	9,63
21	59,636	0,0339	1,95	61	59,641	0,1018	5,84	101	59,652	0,1697	9,72
22	59,636	0,0356	2,04	62	59,641	0,1035	5,93	102	59,653	0,1714	9,82
23	59,636	0,0373	2,14	63	59,641	0,1052	6,03	103	59,653	0,1731	9,92
24	59,636	0,0390	2,24	64	59,641	0,1069	6,13	104	59,654	0,1748	10,02
25	59,636	0,0407	2,33	65	59,641	0,1086	6,22	105	59,654	0,1765	10,11
26	59,636	0,0424	2,43	66	59,642	0,1103	6,32	106	59,654	0,1782	10,21
27	59,637	0,0441	2,53	67	59,642	0,1120	6,42	107	59,655	0,1799	10,31
28	59,637	0,0458	2,63	68	59,642	0,1137	6,52	108	59,655	0,1816	10,41
29	59,637	0,0475	2,72	69	59,642	0,1154	6,61	109	59,656	0,1833	10,50
30	59,637	0,0492	2,82	70	59,643	0,1171	6,71	110	59,656	0,1850	10,60
31	59,637	0,0509	2,92	71	59,643	0,1188	6,81	111	59,657	0,1867	10,70
32	59,637	0,0526	3,01	72	59,643	0,1205	6,90	112	59,657	0,1884	10,79
33	59,637	0,0543	3,11	73	59,643	0,1222	7,00	113	59,657	0,1901	10,89

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
34	59,637	0,0560	3,21	74	59,644	0,1239	7,10	114	59,658	0,1918	10,99
35	59,637	0,0577	3,31	75	59,644	0,1256	7,20	115	59,658	0,1935	11,09
36	59,637	0,0594	3,40	76	59,644	0,1273	7,29	116	59,659	0,1952	11,18
37	59,637	0,0611	3,50	77	59,644	0,1290	7,39	117	59,659	0,1969	11,28
38	59,637	0,0628	3,60	78	59,645	0,1307	7,49	118	59,66	0,1986	11,38
39	59,637	0,0645	3,70	79	59,645	0,1324	7,59	119	59,66	0,2003	11,47
40	59,637	0,0662	3,79	80	59,645	0,1341	7,68	120	59,661	0,2020	11,57
121	59,661	0,2037	11,67	161	59,684	0,2715	15,56	201	59,714	0,3393	19,44
122	59,662	0,2054	11,77	162	59,685	0,2732	15,65	202	59,715	0,3410	19,54
123	59,662	0,2071	11,86	163	59,685	0,2749	15,75	203	59,716	0,3427	19,64
124	59,663	0,2088	11,96	164	59,686	0,2766	15,85	204	59,716	0,3444	19,73
125	59,663	0,2105	12,06	165	59,687	0,2783	15,95	205	59,717	0,3461	19,83
126	59,664	0,2122	12,16	166	59,687	0,2800	16,04	206	59,718	0,3478	19,93
127	59,664	0,2138	12,25	167	59,688	0,2817	16,14	207	59,719	0,3495	20,03
128	59,665	0,2155	12,35	168	59,689	0,2834	16,24	208	59,72	0,3512	20,12
129	59,665	0,2172	12,45	169	59,689	0,2851	16,33	209	59,721	0,3529	20,22
130	59,666	0,2189	12,54	170	59,69	0,2868	16,43	210	59,722	0,3546	20,32
131	59,666	0,2206	12,64	171	59,691	0,2885	16,53	211	59,723	0,3563	20,41
132	59,667	0,2223	12,74	172	59,692	0,2902	16,63	212	59,723	0,3580	20,51
133	59,667	0,2240	12,84	173	59,692	0,2919	16,72	213	59,724	0,3597	20,61
134	59,668	0,2257	12,93	174	59,693	0,2936	16,82	214	59,725	0,3614	20,71
135	59,668	0,2274	13,03	175	59,694	0,2953	16,92	215	59,726	0,3631	20,80
136	59,669	0,2291	13,13	176	59,694	0,2970	17,01	216	59,727	0,3648	20,90
137	59,669	0,2308	13,22	177	59,695	0,2987	17,11	217	59,728	0,3665	21,00
138	59,67	0,2325	13,32	178	59,696	0,3004	17,21	218	59,729	0,3682	21,09
139	59,671	0,2342	13,42	179	59,697	0,3020	17,31	219	59,73	0,3699	21,19
140	59,671	0,2359	13,52	180	59,697	0,3037	17,40	220	59,731	0,3716	21,29
141	59,672	0,2376	13,61	181	59,698	0,3054	17,50	221	59,732	0,3732	21,39
142	59,672	0,2393	13,71	182	59,699	0,3071	17,60	222	59,732	0,3749	21,48
143	59,673	0,2410	13,81	183	59,7	0,3088	17,69	223	59,733	0,3766	21,58
144	59,673	0,2427	13,91	184	59,7	0,3105	17,79	224	59,734	0,3783	21,68
145	59,674	0,2444	14,00	185	59,701	0,3122	17,89	225	59,735	0,3800	21,77
146	59,675	0,2461	14,10	186	59,702	0,3139	17,99	226	59,736	0,3817	21,87
147	59,675	0,2478	14,20	187	59,703	0,3156	18,08	227	59,737	0,3834	21,97
148	59,676	0,2495	14,29	188	59,703	0,3173	18,18	228	59,738	0,3851	22,07

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
149	59,676	0,2512	14,39	189	59,704	0,3190	18,28	229	59,739	0,3868	22,16
150	59,677	0,2529	14,49	190	59,705	0,3207	18,37	230	59,74	0,3885	22,26
151	59,678	0,2546	14,59	191	59,706	0,3224	18,47	231	59,741	0,3902	22,36
152	59,678	0,2563	14,68	192	59,707	0,3241	18,57	232	59,742	0,3919	22,45
153	59,679	0,2580	14,78	193	59,707	0,3258	18,67	233	59,743	0,3936	22,55
154	59,679	0,2597	14,88	194	59,708	0,3275	18,76	234	59,744	0,3953	22,65
155	59,68	0,2613	14,97	195	59,709	0,3292	18,86	235	59,745	0,3970	22,74
156	59,681	0,2630	15,07	196	59,71	0,3309	18,96	236	59,746	0,3987	22,84
157	59,681	0,2647	15,17	197	59,711	0,3326	19,05	237	59,747	0,4004	22,94
158	59,682	0,2664	15,27	198	59,711	0,3343	19,15	238	59,748	0,4021	23,04
159	59,683	0,2681	15,36	199	59,712	0,3360	19,25	239	59,749	0,4037	23,13
160	59,683	0,2698	15,46	200	59,713	0,3377	19,35	240	59,75	0,4054	23,23
241	59,751	0,4071	23,33	281	59,794	0,4749	27,21	321	59,843	0,5426	31,09
242	59,752	0,4088	23,42	282	59,795	0,4766	27,31	322	59,844	0,5443	31,18
243	59,753	0,4105	23,52	283	59,796	0,4783	27,40	323	59,846	0,5459	31,28
244	59,754	0,4122	23,62	284	59,797	0,4800	27,50	324	59,847	0,5476	31,38
245	59,755	0,4139	23,72	285	59,799	0,4816	27,60	325	59,848	0,5493	31,47
246	59,756	0,4156	23,81	286	59,8	0,4833	27,69	326	59,85	0,5510	31,57
247	59,757	0,4173	23,91	287	59,801	0,4850	27,79	327	59,851	0,5527	31,67
248	59,758	0,4190	24,01	288	59,802	0,4867	27,89	328	59,852	0,5544	31,76
249	59,759	0,4207	24,10	289	59,803	0,4884	27,98	329	59,854	0,5561	31,86
250	59,76	0,4224	24,20	290	59,804	0,4901	28,08	330	59,855	0,5578	31,96
251	59,761	0,4241	24,30	291	59,806	0,4918	28,18	331	59,856	0,5595	32,06
252	59,762	0,4258	24,39	292	59,807	0,4935	28,28	332	59,858	0,5612	32,15
253	59,763	0,4275	24,49	293	59,808	0,4952	28,37	333	59,859	0,5629	32,25
254	59,764	0,4292	24,59	294	59,809	0,4969	28,47	334	59,86	0,5645	32,35
255	59,765	0,4309	24,69	295	59,81	0,4986	28,57	335	59,862	0,5662	32,44
256	59,766	0,4325	24,78	296	59,812	0,5003	28,66	336	59,863	0,5679	32,54
257	59,767	0,4342	24,88	297	59,813	0,5020	28,76	337	59,864	0,5696	32,64
258	59,768	0,4359	24,98	298	59,814	0,5036	28,86	338	59,866	0,5713	32,73
259	59,769	0,4376	25,07	299	59,815	0,5053	28,95	339	59,867	0,5730	32,83
260	59,77	0,4393	25,17	300	59,817	0,5070	29,05	340	59,868	0,5747	32,93
261	59,772	0,4410	25,27	301	59,818	0,5087	29,15	341	59,87	0,5764	33,02
262	59,773	0,4427	25,37	302	59,819	0,5104	29,24	342	59,871	0,5781	33,12
263	59,774	0,4444	25,46	303	59,82	0,5121	29,34	343	59,872	0,5798	33,22

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
264	59,775	0,4461	25,56	304	59,821	0,5138	29,44	344	59,874	0,5815	33,31
265	59,776	0,4478	25,66	305	59,823	0,5155	29,54	345	59,875	0,5831	33,41
266	59,777	0,4495	25,75	306	59,824	0,5172	29,63	346	59,877	0,5848	33,51
267	59,778	0,4512	25,85	307	59,825	0,5189	29,73	347	59,878	0,5865	33,61
268	59,779	0,4529	25,95	308	59,826	0,5206	29,83	348	59,879	0,5882	33,70
269	59,78	0,4546	26,04	309	59,828	0,5223	29,92	349	59,881	0,5899	33,80
270	59,781	0,4563	26,14	310	59,829	0,5240	30,02	350	59,882	0,5916	33,90
271	59,783	0,4579	26,24	311	59,83	0,5256	30,12	351	59,884	0,5933	33,99
272	59,784	0,4596	26,34	312	59,831	0,5273	30,21	352	59,885	0,5950	34,09
273	59,785	0,4613	26,43	313	59,833	0,5290	30,31	353	59,886	0,5967	34,19
274	59,786	0,4630	26,53	314	59,834	0,5307	30,41	354	59,888	0,5984	34,28
275	59,787	0,4647	26,63	315	59,835	0,5324	30,50	355	59,889	0,6000	34,38
276	59,788	0,4664	26,72	316	59,837	0,5341	30,60	356	59,891	0,6017	34,48
277	59,789	0,4681	26,82	317	59,838	0,5358	30,70	357	59,892	0,6034	34,57
278	59,79	0,4698	26,92	318	59,839	0,5375	30,80	358	59,893	0,6051	34,67
279	59,792	0,4715	27,01	319	59,84	0,5392	30,89	359	59,895	0,6068	34,77
280	59,793	0,4732	27,11	320	59,842	0,5409	30,99	360	59,896	0,6085	34,86
361	59,898	0,6102	34,96	401	59,957	0,6777	38,83	441	60,021	0,7452	42,70
362	59,899	0,6119	35,06	402	59,959	0,6794	38,93	442	60,023	0,7469	42,80
363	59,901	0,6136	35,15	403	59,96	0,6811	39,03	443	60,025	0,7486	42,89
364	59,902	0,6153	35,25	404	59,962	0,6828	39,12	444	60,026	0,7503	42,99
365	59,903	0,6169	35,35	405	59,963	0,6845	39,22	445	60,028	0,7520	43,09
366	59,905	0,6186	35,45	406	59,965	0,6862	39,32	446	60,029	0,7537	43,18
367	59,906	0,6203	35,54	407	59,967	0,6879	39,41	447	60,031	0,7554	43,28
368	59,908	0,6220	35,64	408	59,968	0,6896	39,51	448	60,033	0,7570	43,38
369	59,909	0,6237	35,74	409	59,97	0,6913	39,61	449	60,034	0,7587	43,47
370	59,911	0,6254	35,83	410	59,971	0,6929	39,70	450	60,036	0,7604	43,57
371	59,912	0,6271	35,93	411	59,973	0,6946	39,80	451	60,038	0,7621	43,67
372	59,914	0,6288	36,03	412	59,974	0,6963	39,90	452	60,039	0,7638	43,76
373	59,915	0,6305	36,12	413	59,976	0,6980	39,99	453	60,041	0,7655	43,86
374	59,917	0,6322	36,22	414	59,978	0,6997	40,09	454	60,043	0,7672	43,95
375	59,918	0,6338	36,32	415	59,979	0,7014	40,19	455	60,045	0,7688	44,05
376	59,919	0,6355	36,41	416	59,981	0,7031	40,28	456	60,046	0,7705	44,15
377	59,921	0,6372	36,51	417	59,982	0,7048	40,38	457	60,048	0,7722	44,24
378	59,922	0,6389	36,61	418	59,984	0,7064	40,48	458	60,05	0,7739	44,34

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм Радиан	Координата		№ точки Радиан	Радиус-вектор, мм °	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
379	59,924	0,6406	36,70	419	59,986	0,7081	40,57	459	60,051	0,7756	44,44
380	59,925	0,6423	36,80	420	59,987	0,7098	40,67	460	60,053	0,7773	44,53
381	59,927	0,6440	36,90	421	59,989	0,7115	40,77	461	60,055	0,7790	44,63
382	59,928	0,6457	36,99	422	59,99	0,7132	40,86	462	60,056	0,7806	44,73
383	59,93	0,6474	37,09	423	59,992	0,7149	40,96	463	60,058	0,7823	44,82
384	59,931	0,6490	37,19	424	59,994	0,7166	41,06	464	60,06	0,7840	44,92
385	59,933	0,6507	37,28	425	59,995	0,7183	41,15	465	60,061	0,7857	45,02
386	59,934	0,6524	37,38	426	59,997	0,7199	41,25	466	60,063	0,7874	45,11
387	59,936	0,6541	37,48	427	59,998	0,7216	41,35	467	60,065	0,7891	45,21
388	59,937	0,6558	37,57	428	60	0,7233	41,44	468	60,067	0,7908	45,31
389	59,939	0,6575	37,67	429	60,002	0,7250	41,54	469	60,068	0,7924	45,40
390	59,94	0,6592	37,77	430	60,003	0,7267	41,64	470	60,07	0,7941	45,50
391	59,942	0,6609	37,86	431	60,005	0,7284	41,73	471	60,072	0,7958	45,60
392	59,943	0,6626	37,96	432	60,006	0,7301	41,83	472	60,073	0,7975	45,69
393	59,945	0,6642	38,06	433	60,008	0,7317	41,93	473	60,075	0,7992	45,79
394	59,947	0,6659	38,16	434	60,01	0,7334	42,02	474	60,077	0,8009	45,89
395	59,948	0,6676	38,25	435	60,011	0,7351	42,12	475	60,079	0,8025	45,98
396	59,95	0,6693	38,35	436	60,013	0,7368	42,22	476	60,08	0,8042	46,08
397	59,951	0,6710	38,45	437	60,015	0,7385	42,31	477	60,082	0,8059	46,18
398	59,953	0,6727	38,54	438	60,016	0,7402	42,41	478	60,084	0,8076	46,27
399	59,954	0,6744	38,64	439	60,018	0,7419	42,51	479	60,085	0,8093	46,37
400	59,956	0,6761	38,74	440	60,02	0,7436	42,60	480	60,087	0,8110	46,47
481	60,089	0,8127	46,56	521	60,16	0,8800	50,42	561	60,232	0,9472	54,27
482	60,091	0,8143	46,66	522	60,161	0,8817	50,52	562	60,234	0,9489	54,37
483	60,092	0,8160	46,75	523	60,163	0,8834	50,61	563	60,236	0,9506	54,47
484	60,094	0,8177	46,85	524	60,165	0,8850	50,71	564	60,238	0,9523	54,56
485	60,096	0,8194	46,95	525	60,167	0,8867	50,81	565	60,24	0,9540	54,66
486	60,098	0,8211	47,04	526	60,169	0,8884	50,90	566	60,242	0,9556	54,75
487	60,099	0,8228	47,14	527	60,17	0,8901	51,00	567	60,244	0,9573	54,85
488	60,101	0,8244	47,24	528	60,172	0,8918	51,09	568	60,245	0,9590	54,95
489	60,103	0,8261	47,33	529	60,174	0,8934	51,19	569	60,247	0,9607	55,04
490	60,105	0,8278	47,43	530	60,176	0,8951	51,29	570	60,249	0,9624	55,14
491	60,106	0,8295	47,53	531	60,178	0,8968	51,38	571	60,251	0,9640	55,24
492	60,108	0,8312	47,62	532	60,179	0,8985	51,48	572	60,253	0,9657	55,33

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм Радиан Радиан	Координата		№ точки Радиан Радиан	Радиус-вектор, мм ° °	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
493	60,11	0,8329	47,72	533	60,181	0,9002	51,58	573	60,255	0,9674	55,43
494	60,112	0,8345	47,82	534	60,183	0,9019	51,67	574	60,257	0,9691	55,52
495	60,113	0,8362	47,91	535	60,185	0,9035	51,77	575	60,258	0,9708	55,62
496	60,115	0,8379	48,01	536	60,187	0,9052	51,87	576	60,26	0,9724	55,72
497	60,117	0,8396	48,11	537	60,188	0,9069	51,96	577	60,262	0,9741	55,81
498	60,119	0,8413	48,20	538	60,19	0,9086	52,06	578	60,264	0,9758	55,91
499	60,12	0,8430	48,30	539	60,192	0,9103	52,15	579	60,266	0,9775	56,01
500	60,122	0,8446	48,39	540	60,194	0,9119	52,25	580	60,268	0,9792	56,10
501	60,124	0,8463	48,49	541	60,196	0,9136	52,35	581	60,27	0,9808	56,20
502	60,126	0,8480	48,59	542	60,198	0,9153	52,44	582	60,271	0,9825	56,29
503	60,127	0,8497	48,68	543	60,199	0,9170	52,54	583	60,273	0,9842	56,39
504	60,129	0,8514	48,78	544	60,201	0,9187	52,64	584	60,275	0,9859	56,49
505	60,131	0,8531	48,88	545	60,203	0,9204	52,73	585	60,277	0,9876	56,58
506	60,133	0,8547	48,97	546	60,205	0,9220	52,83	586	60,279	0,9892	56,68
507	60,134	0,8564	49,07	547	60,207	0,9237	52,93	587	60,281	0,9909	56,78
508	60,136	0,8581	49,17	548	60,209	0,9254	53,02	588	60,283	0,9926	56,87
509	60,138	0,8598	49,26	549	60,21	0,9271	53,12	589	60,284	0,9943	56,97
510	60,14	0,8615	49,36	550	60,212	0,9288	53,21	590	60,286	0,9960	57,06
511	60,142	0,8632	49,46	551	60,214	0,9304	53,31	591	60,288	0,9976	57,16
512	60,143	0,8648	49,55	552	60,216	0,9321	53,41	592	60,29	0,9993	57,26
513	60,145	0,8665	49,65	553	60,218	0,9338	53,50	593	60,292	1,0010	57,35
514	60,147	0,8682	49,74	554	60,22	0,9355	53,60	594	60,294	1,0027	57,45
515	60,149	0,8699	49,84	555	60,221	0,9372	53,70	595	60,296	1,0043	57,54
516	60,151	0,8716	49,94	556	60,223	0,9388	53,79	596	60,298	1,0060	57,64
517	60,152	0,8733	50,03	557	60,225	0,9405	53,89	597	60,299	1,0077	57,74
518	60,154	0,8749	50,13	558	60,227	0,9422	53,98	598	60,301	1,0094	57,83
519	60,156	0,8766	50,23	559	60,229	0,9439	54,08	599	60,303	1,0111	57,93
520	60,158	0,8783	50,32	560	60,231	0,9456	54,18	600	60,305	1,0127	58,03
601	60,307	1,0144	58,12	641	60,382	1,0815	61,97	681	60,457	1,1485	65,81
602	60,309	1,0161	58,22	642	60,384	1,0832	62,06	682	60,459	1,1502	65,90
603	60,311	1,0178	58,31	643	60,386	1,0849	62,16	683	60,461	1,1519	66,00
604	60,313	1,0195	58,41	644	60,388	1,0865	62,25	684	60,463	1,1535	66,09
605	60,314	1,0211	58,51	645	60,39	1,0882	62,35	685	60,465	1,1552	66,19

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм Радиан Радиан	Координата		№ точки Радиан Радиан	Радиус-вектор, мм ° °	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
606	60,316	1,0228	58,60	646	60,392	1,0899	62,45	686	60,467	1,1569	66,28
607	60,318	1,0245	58,70	647	60,393	1,0916	62,54	687	60,469	1,1586	66,38
608	60,32	1,0262	58,79	648	60,395	1,0932	62,64	688	60,47	1,1602	66,48
609	60,322	1,0278	58,89	649	60,397	1,0949	62,73	689	60,472	1,1619	66,57
610	60,324	1,0295	58,99	650	60,399	1,0966	62,83	690	60,474	1,1636	66,67
611	60,326	1,0312	59,08	651	60,401	1,0983	62,93	691	60,476	1,1653	66,76
612	60,328	1,0329	59,18	652	60,403	1,0999	63,02	692	60,478	1,1669	66,86
613	60,329	1,0346	59,28	653	60,405	1,1016	63,12	693	60,48	1,1686	66,96
614	60,331	1,0362	59,37	654	60,407	1,1033	63,21	694	60,482	1,1703	67,05
615	60,333	1,0379	59,47	655	60,408	1,1050	63,31	695	60,483	1,1719	67,15
616	60,335	1,0396	59,56	656	60,41	1,1066	63,41	696	60,485	1,1736	67,24
617	60,337	1,0413	59,66	657	60,412	1,1083	63,50	697	60,487	1,1753	67,34
618	60,339	1,0429	59,76	658	60,414	1,1100	63,60	698	60,489	1,1770	67,44
619	60,341	1,0446	59,85	659	60,416	1,1117	63,69	699	60,491	1,1786	67,53
620	60,343	1,0463	59,95	660	60,418	1,1133	63,79	700	60,493	1,1803	67,63
621	60,344	1,0480	60,04	661	60,42	1,1150	63,89	701	60,495	1,1820	67,72
622	60,346	1,0497	60,14	662	60,422	1,1167	63,98	702	60,496	1,1837	67,82
623	60,348	1,0513	60,24	663	60,424	1,1184	64,08	703	60,498	1,1853	67,91
624	60,35	1,0530	60,33	664	60,425	1,1200	64,17	704	60,5	1,1870	68,01
625	60,352	1,0547	60,43	665	60,427	1,1217	64,27	705	60,502	1,1887	68,11
626	60,354	1,0564	60,52	666	60,429	1,1234	64,37	706	60,504	1,1904	68,20
627	60,356	1,0580	60,62	667	60,431	1,1251	64,46	707	60,506	1,1920	68,30
628	60,358	1,0597	60,72	668	60,433	1,1267	64,56	708	60,508	1,1937	68,39
629	60,36	1,0614	60,81	669	60,435	1,1284	64,65	709	60,509	1,1954	68,49
630	60,361	1,0631	60,91	670	60,437	1,1301	64,75	710	60,511	1,1970	68,59
631	60,363	1,0647	61,01	671	60,439	1,1318	64,85	711	60,513	1,1987	68,68
632	60,365	1,0664	61,10	672	60,44	1,1334	64,94	712	60,515	1,2004	68,78
633	60,367	1,0681	61,20	673	60,442	1,1351	65,04	713	60,517	1,2021	68,87
634	60,369	1,0698	61,29	674	60,444	1,1368	65,13	714	60,519	1,2037	68,97
635	60,371	1,0715	61,39	675	60,446	1,1385	65,23	715	60,521	1,2054	69,06
636	60,373	1,0731	61,49	676	60,448	1,1401	65,33	716	60,522	1,2071	69,16
637	60,375	1,0748	61,58	677	60,45	1,1418	65,42	717	60,524	1,2087	69,26
638	60,376	1,0765	61,68	678	60,452	1,1435	65,52	718	60,526	1,2104	69,35

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм Радиан Радиан	Координата		№ точки Радиан Радиан	Радиус-вектор, мм ° °	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
639	60,378	1,0782	61,77	679	60,454	1,1452	65,61	719	60,528	1,2121	69,45
640	60,38	1,0798	61,87	680	60,455	1,1468	65,71	720	60,53	1,2138	69,54
721	60,532	1,2154	69,64	761	60,604	1,2823	73,47	801	60,674	1,3490	77,29
722	60,533	1,2171	69,74	762	60,606	1,2840	73,56	802	60,676	1,3507	77,39
723	60,535	1,2188	69,83	763	60,608	1,2856	73,66	803	60,678	1,3524	77,49
724	60,537	1,2205	69,93	764	60,61	1,2873	73,76	804	60,679	1,3540	77,58
725	60,539	1,2221	70,02	765	60,611	1,2890	73,85	805	60,681	1,3557	77,68
726	60,541	1,2238	70,12	766	60,613	1,2906	73,95	806	60,683	1,3574	77,77
727	60,543	1,2255	70,21	767	60,615	1,2923	74,04	807	60,685	1,3591	77,87
728	60,544	1,2271	70,31	768	60,617	1,2940	74,14	808	60,686	1,3607	77,96
729	60,546	1,2288	70,41	769	60,618	1,2956	74,23	809	60,688	1,3624	78,06
730	60,548	1,2305	70,50	770	60,62	1,2973	74,33	810	60,69	1,3641	78,15
731	60,55	1,2322	70,60	771	60,622	1,2990	74,43	811	60,691	1,3657	78,25
732	60,552	1,2338	70,69	772	60,624	1,3006	74,52	812	60,693	1,3674	78,35
733	60,554	1,2355	70,79	773	60,626	1,3023	74,62	813	60,695	1,3691	78,44
734	60,555	1,2372	70,88	774	60,627	1,3040	74,71	814	60,696	1,3707	78,54
735	60,557	1,2388	70,98	775	60,629	1,3057	74,81	815	60,698	1,3724	78,63
736	60,559	1,2405	71,08	776	60,631	1,3073	74,90	816	60,7	1,3741	78,73
737	60,561	1,2422	71,17	777	60,633	1,3090	75,00	817	60,701	1,3757	78,82
738	60,563	1,2439	71,27	778	60,634	1,3107	75,10	818	60,703	1,3774	78,92
739	60,565	1,2455	71,36	779	60,636	1,3123	75,19	819	60,705	1,3791	79,01
740	60,566	1,2472	71,46	780	60,638	1,3140	75,29	820	60,707	1,3807	79,11
741	60,568	1,2489	71,55	781	60,64	1,3157	75,38	821	60,708	1,3824	79,21
742	60,57	1,2505	71,65	782	60,641	1,3173	75,48	822	60,71	1,3841	79,30
743	60,572	1,2522	71,75	783	60,643	1,3190	75,57	823	60,712	1,3857	79,40
744	60,574	1,2539	71,84	784	60,645	1,3207	75,67	824	60,713	1,3874	79,49
745	60,575	1,2556	71,94	785	60,647	1,3223	75,76	825	60,715	1,3891	79,59
746	60,577	1,2572	72,03	786	60,648	1,3240	75,86	826	60,717	1,3907	79,68
747	60,579	1,2589	72,13	787	60,65	1,3257	75,96	827	60,718	1,3924	79,78
748	60,581	1,2606	72,23	788	60,652	1,3274	76,05	828	60,72	1,3941	79,87
749	60,583	1,2622	72,32	789	60,654	1,3290	76,15	829	60,721	1,3957	79,97
750	60,584	1,2639	72,42	790	60,655	1,3307	76,24	830	60,723	1,3974	80,07
751	60,586	1,2656	72,51	791	60,657	1,3324	76,34	831	60,725	1,3991	80,16

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм Радиан Радиан	Координата		№ точки Радиан Радиан	Радиус-вектор, мм ° °	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
752	60,588	1,2672	72,61	792	60,659	1,3340	76,43	832	60,726	1,4007	80,26
753	60,59	1,2689	72,70	793	60,661	1,3357	76,53	833	60,728	1,4024	80,35
754	60,592	1,2706	72,80	794	60,662	1,3374	76,63	834	60,73	1,4041	80,45
755	60,593	1,2723	72,90	795	60,664	1,3390	76,72	835	60,731	1,4057	80,54
756	60,595	1,2739	72,99	796	60,666	1,3407	76,82	836	60,733	1,4074	80,64
757	60,597	1,2756	73,09	797	60,667	1,3424	76,91	837	60,735	1,4091	80,73
758	60,599	1,2773	73,18	798	60,669	1,3440	77,01	838	60,736	1,4107	80,83
759	60,601	1,2789	73,28	799	60,671	1,3457	77,10	839	60,738	1,4124	80,92
760	60,602	1,2806	73,37	800	60,673	1,3474	77,20	840	60,739	1,4141	81,02
841	60,741	1,4157	81,12	881	60,804	1,4824	84,93	921	60,861	1,5489	88,75
842	60,743	1,4174	81,21	882	60,805	1,4840	85,03	922	60,863	1,5506	88,84
843	60,744	1,4191	81,31	883	60,807	1,4857	85,12	923	60,864	1,5522	88,94
844	60,746	1,4207	81,40	884	60,808	1,4873	85,22	924	60,866	1,5539	89,03
845	60,748	1,4224	81,50	885	60,81	1,4890	85,31	925	60,867	1,5556	89,13
846	60,749	1,4241	81,59	886	60,811	1,4907	85,41	926	60,868	1,5572	89,22
847	60,751	1,4257	81,69	887	60,813	1,4923	85,50	927	60,87	1,5589	89,32
848	60,752	1,4274	81,78	888	60,814	1,4940	85,60	928	60,871	1,5606	89,41
849	60,754	1,4291	81,88	889	60,816	1,4957	85,70	929	60,872	1,5622	89,51
850	60,756	1,4307	81,97	890	60,817	1,4973	85,79	930	60,874	1,5639	89,60
851	60,757	1,4324	82,07	891	60,819	1,4990	85,89	931	60,875	1,5655	89,70
852	60,759	1,4341	82,17	892	60,82	1,5007	85,98	932	60,876	1,5672	89,79
853	60,76	1,4357	82,26	893	60,822	1,5023	86,08	933	60,878	1,5689	89,89
854	60,762	1,4374	82,36	894	60,823	1,5040	86,17	934	60,879	1,5705	89,98
855	60,764	1,4391	82,45	895	60,825	1,5057	86,27	935	60,88	1,5722	90,08
856	60,765	1,4407	82,55	896	60,826	1,5073	86,36	936	60,882	1,5739	90,18
857	60,767	1,4424	82,64	897	60,827	1,5090	86,46	937	60,883	1,5755	90,27
858	60,768	1,4441	82,74	898	60,829	1,5106	86,55	938	60,884	1,5772	90,37
859	60,77	1,4457	82,83	899	60,83	1,5123	86,65	939	60,886	1,5788	90,46
860	60,771	1,4474	82,93	900	60,832	1,5140	86,74	940	60,887	1,5805	90,56
861	60,773	1,4491	83,02	901	60,833	1,5156	86,84	941	60,888	1,5822	90,65
862	60,775	1,4507	83,12	902	60,835	1,5173	86,94	942	60,889	1,5838	90,75
863	60,776	1,4524	83,22	903	60,836	1,5190	87,03	943	60,891	1,5855	90,84
864	60,778	1,4540	83,31	904	60,838	1,5206	87,13	944	60,892	1,5872	90,94

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм Радиан Радиан	Координата		№ точки Радиан Радиан	Радиус-вектор, мм ° °	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
865	60,779	1,4557	83,41	905	60,839	1,5223	87,22	945	60,893	1,5888	91,03
866	60,781	1,4574	83,50	906	60,84	1,5240	87,32	946	60,895	1,5905	91,13
867	60,782	1,4590	83,60	907	60,842	1,5256	87,41	947	60,896	1,5921	91,22
868	60,784	1,4607	83,69	908	60,843	1,5273	87,51	948	60,897	1,5938	91,32
869	60,785	1,4624	83,79	909	60,845	1,5289	87,60	949	60,898	1,5955	91,41
870	60,787	1,4640	83,88	910	60,846	1,5306	87,70	950	60,9	1,5971	91,51
871	60,789	1,4657	83,98	911	60,848	1,5323	87,79	951	60,901	1,5988	91,60
872	60,79	1,4674	84,07	912	60,849	1,5339	87,89	952	60,902	1,6004	91,70
873	60,792	1,4690	84,17	913	60,85	1,5356	87,98	953	60,904	1,6021	91,79
874	60,793	1,4707	84,26	914	60,852	1,5373	88,08	954	60,905	1,6038	91,89
875	60,795	1,4724	84,36	915	60,853	1,5389	88,17	955	60,906	1,6054	91,98
876	60,796	1,4740	84,46	916	60,855	1,5406	88,27	956	60,907	1,6071	92,08
877	60,798	1,4757	84,55	917	60,856	1,5423	88,36	957	60,909	1,6088	92,18
878	60,799	1,4774	84,65	918	60,857	1,5439	88,46	958	60,91	1,6104	92,27
879	60,801	1,4790	84,74	919	60,859	1,5456	88,56	959	60,911	1,6121	92,37
880	60,802	1,4807	84,84	920	60,86	1,5472	88,65	960	60,912	1,6137	92,46
961	60,913	1,6154	92,56	1001	60,959	1,6819	96,36	1041	60,997	1,7483	100,17
962	60,915	1,6171	92,65	1002	60,96	1,6835	96,46	1042	60,998	1,7499	100,26
963	60,916	1,6187	92,75	1003	60,961	1,6852	96,55	1043	60,999	1,7516	100,36
964	60,917	1,6204	92,84	1004	60,962	1,6868	96,65	1044	61	1,7532	100,45
965	60,918	1,6221	92,94	1005	60,963	1,6885	96,74	1045	61,001	1,7549	100,55
966	60,919	1,6237	93,03	1006	60,964	1,6902	96,84	1046	61,002	1,7565	100,64
967	60,921	1,6254	93,13	1007	60,965	1,6918	96,93	1047	61,002	1,7582	100,74
968	60,922	1,6270	93,22	1008	60,966	1,6935	97,03	1048	61,003	1,7599	100,83
969	60,923	1,6287	93,32	1009	60,967	1,6951	97,12	1049	61,004	1,7615	100,93
970	60,924	1,6304	93,41	1010	60,968	1,6968	97,22	1050	61,005	1,7632	101,02
971	60,925	1,6320	93,51	1011	60,969	1,6985	97,31	1051	61,006	1,7648	101,12
972	60,927	1,6337	93,60	1012	60,97	1,7001	97,41	1052	61,006	1,7665	101,21
973	60,928	1,6353	93,70	1013	60,971	1,7018	97,50	1053	61,007	1,7682	101,31
974	60,929	1,6370	93,79	1014	60,972	1,7034	97,60	1054	61,008	1,7698	101,40
975	60,93	1,6387	93,89	1015	60,973	1,7051	97,69	1055	61,009	1,7715	101,50

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм Радиан Радиан	Координата		№ точки Радиан Радиан	Радиус-вектор, мм ° °	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
976	60,931	1,6403	93,98	1016	60,974	1,7068	97,79	1056	61,01	1,7731	101,59
977	60,932	1,6420	94,08	1017	60,975	1,7084	97,88	1057	61,01	1,7748	101,69
978	60,934	1,6437	94,17	1018	60,976	1,7101	97,98	1058	61,011	1,7765	101,78
979	60,935	1,6453	94,27	1019	60,977	1,7117	98,08	1059	61,012	1,7781	101,88
980	60,936	1,6470	94,36	1020	60,978	1,7134	98,17	1060	61,013	1,7798	101,97
981	60,937	1,6486	94,46	1021	60,979	1,7151	98,27	1061	61,014	1,7814	102,07
982	60,938	1,6503	94,55	1022	60,98	1,7167	98,36	1062	61,014	1,7831	102,16
983	60,939	1,6520	94,65	1023	60,981	1,7184	98,46	1063	61,015	1,7848	102,26
984	60,94	1,6536	94,75	1024	60,982	1,7200	98,55	1064	61,016	1,7864	102,35
985	60,942	1,6553	94,84	1025	60,983	1,7217	98,65	1065	61,017	1,7881	102,45
986	60,943	1,6569	94,94	1026	60,984	1,7234	98,74	1066	61,017	1,7897	102,54
987	60,944	1,6586	95,03	1027	60,985	1,7250	98,84	1067	61,018	1,7914	102,64
988	60,945	1,6603	95,13	1028	60,986	1,7267	98,93	1068	61,019	1,7930	102,73
989	60,946	1,6619	95,22	1029	60,987	1,7283	99,03	1069	61,019	1,7947	102,83
990	60,947	1,6636	95,32	1030	60,987	1,7300	99,12	1070	61,02	1,7964	102,92
991	60,948	1,6652	95,41	1031	60,988	1,7317	99,22	1071	61,021	1,7980	103,02
992	60,949	1,6669	95,51	1032	60,989	1,7333	99,31	1072	61,022	1,7997	103,11
993	60,95	1,6686	95,60	1033	60,99	1,7350	99,41	1073	61,022	1,8013	103,21
994	60,951	1,6702	95,70	1034	60,991	1,7366	99,50	1074	61,023	1,8030	103,30
995	60,953	1,6719	95,79	1035	60,992	1,7383	99,60	1075	61,024	1,8047	103,40
996	60,954	1,6735	95,89	1036	60,993	1,7400	99,69	1076	61,024	1,8063	103,49
997	60,955	1,6752	95,98	1037	60,994	1,7416	99,79	1077	61,025	1,8080	103,59
998	60,956	1,6769	96,08	1038	60,995	1,7433	99,88	1078	61,026	1,8096	103,68
999	60,957	1,6785	96,17	1039	60,996	1,7449	99,98	1079	61,026	1,8113	103,78
1000	60,958	1,6802	96,27	1040	60,996	1,7466	100,07	1080	61,027	1,8130	103,87

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1081	61,028	1,8146	103,97	1121	61,05	1,8809	107,77	1161	61,063	1,9473	111,57
1082	61,028	1,8163	104,06	1122	61,05	1,8826	107,87	1162	61,063	1,9489	111,67
1083	61,029	1,8179	104,16	1123	61,051	1,8843	107,96	1163	61,063	1,9506	111,76
1084	61,03	1,8196	104,25	1124	61,051	1,8859	108,06	1164	61,063	1,9522	111,86
1085	61,03	1,8212	104,35	1125	61,051	1,8876	108,15	1165	61,063	1,9539	111,95
1086	61,031	1,8229	104,44	1126	61,052	1,8892	108,25	1166	61,064	1,9556	112,05
1087	61,032	1,8246	104,54	1127	61,052	1,8909	108,34	1167	61,064	1,9572	112,14
1088	61,032	1,8262	104,63	1128	61,053	1,8926	108,44	1168	61,064	1,9589	112,24
1089	61,033	1,8279	104,73	1129	61,053	1,8942	108,53	1169	61,064	1,9605	112,33
1090	61,033	1,8295	104,82	1130	61,053	1,8959	108,63	1170	61,064	1,9622	112,43
1091	61,034	1,8312	104,92	1131	61,054	1,8975	108,72	1171	61,064	1,9638	112,52
1092	61,035	1,8329	105,02	1132	61,054	1,8992	108,82	1172	61,065	1,9655	112,61
1093	61,035	1,8345	105,11	1133	61,055	1,9008	108,91	1173	61,065	1,9672	112,71
1094	61,036	1,8362	105,21	1134	61,055	1,9025	109,01	1174	61,065	1,9688	112,80
1095	61,036	1,8378	105,30	1135	61,055	1,9042	109,10	1175	61,065	1,9705	112,90
1096	61,037	1,8395	105,40	1136	61,056	1,9058	109,20	1176	61,065	1,9721	112,99
1097	61,038	1,8412	105,49	1137	61,056	1,9075	109,29	1177	61,065	1,9738	113,09
1098	61,038	1,8428	105,59	1138	61,056	1,9091	109,39	1178	61,065	1,9754	113,18
1099	61,039	1,8445	105,68	1139	61,057	1,9108	109,48	1179	61,065	1,9771	113,28
1100	61,039	1,8461	105,78	1140	61,057	1,9125	109,58	1180	61,065	1,9788	113,37
1101	61,04	1,8478	105,87	1141	61,057	1,9141	109,67	1181	61,066	1,9804	113,47
1102	61,04	1,8494	105,97	1142	61,058	1,9158	109,77	1182	61,066	1,9821	113,56
1103	61,041	1,8511	106,06	1143	61,058	1,9174	109,86	1183	61,066	1,9837	113,66
1104	61,041	1,8528	106,16	1144	61,058	1,9191	109,96	1184	61,066	1,9854	113,75
1105	61,042	1,8544	106,25	1145	61,059	1,9207	110,05	1185	61,066	1,9871	113,85
1106	61,043	1,8561	106,35	1146	61,059	1,9224	110,15	1186	61,066	1,9887	113,94
1107	61,043	1,8577	106,44	1147	61,059	1,9241	110,24	1187	61,066	1,9904	114,04
1108	61,044	1,8594	106,54	1148	61,059	1,9257	110,34	1188	61,066	1,9920	114,13
1109	61,044	1,8611	106,63	1149	61,06	1,9274	110,43	1189	61,066	1,9937	114,23
1110	61,045	1,8627	106,73	1150	61,06	1,9290	110,53	1190	61,066	1,9953	114,32
1111	61,045	1,8644	106,82	1151	61,06	1,9307	110,62	1191	61,066	1,9970	114,42
1112	61,046	1,8660	106,92	1152	61,061	1,9323	110,72	1192	61,066	1,9987	114,51
1113	61,046	1,8677	107,01	1153	61,061	1,9340	110,81	1193	61,066	2,0003	114,61

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1114	61,047	1,8693	107,11	1154	61,061	1,9357	110,91	1194	61,066	2,0020	114,70
1115	61,047	1,8710	107,20	1155	61,061	1,9373	111,00	1195	61,066	2,0036	114,80
1116	61,047	1,8727	107,30	1156	61,062	1,9390	111,10	1196	61,066	2,0053	114,89
1117	61,048	1,8743	107,39	1157	61,062	1,9406	111,19	1197	61,066	2,0069	114,99
1118	61,048	1,8760	107,49	1158	61,062	1,9423	111,29	1198	61,066	2,0086	115,08
1119	61,049	1,8776	107,58	1159	61,062	1,9440	111,38	1199	61,066	2,0103	115,18
1120	61,049	1,8793	107,68	1160	61,062	1,9456	111,48	1200	61,066	2,0119	115,27

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1201	61,066	2,0136	115,37	1241	61,059	2,0799	119,17	1281	61,042	2,1462	122,97
1202	61,066	2,0152	115,46	1242	61,059	2,0815	119,26	1282	61,041	2,1479	123,06
1203	61,066	2,0169	115,56	1243	61,058	2,0832	119,36	1283	61,04	2,1495	123,16
1204	61,066	2,0185	115,65	1244	61,058	2,0849	119,45	1284	61,04	2,1512	123,25
1205	61,066	2,0202	115,75	1245	61,058	2,0865	119,55	1285	61,039	2,1528	123,35
1206	61,066	2,0219	115,84	1246	61,057	2,0882	119,64	1286	61,039	2,1545	123,44
1207	61,066	2,0235	115,94	1247	61,057	2,0898	119,74	1287	61,038	2,1562	123,54
1208	61,065	2,0252	116,03	1248	61,057	2,0915	119,83	1288	61,037	2,1578	123,63
1209	61,065	2,0268	116,13	1249	61,056	2,0932	119,93	1289	61,037	2,1595	123,73
1210	61,065	2,0285	116,22	1250	61,056	2,0948	120,02	1290	61,036	2,1611	123,82
1211	61,065	2,0302	116,32	1251	61,056	2,0965	120,12	1291	61,036	2,1628	123,92
1212	61,065	2,0318	116,41	1252	61,055	2,0981	120,21	1292	61,035	2,1645	124,01
1213	61,065	2,0335	116,51	1253	61,055	2,0998	120,31	1293	61,034	2,1661	124,11
1214	61,065	2,0351	116,60	1254	61,055	2,1014	120,40	1294	61,034	2,1678	124,20
1215	61,065	2,0368	116,70	1255	61,054	2,1031	120,50	1295	61,033	2,1694	124,30
1216	61,065	2,0384	116,79	1256	61,054	2,1048	120,59	1296	61,032	2,1711	124,39
1217	61,064	2,0401	116,89	1257	61,053	2,1064	120,69	1297	61,032	2,1727	124,49
1218	61,064	2,0418	116,98	1258	61,053	2,1081	120,78	1298	61,031	2,1744	124,58
1219	61,064	2,0434	117,08	1259	61,053	2,1097	120,88	1299	61,03	2,1761	124,68
1220	61,064	2,0451	117,17	1260	61,052	2,1114	120,97	1300	61,03	2,1777	124,77
1221	61,064	2,0467	117,27	1261	61,052	2,1130	121,07	1301	61,029	2,1794	124,87
1222	61,064	2,0484	117,36	1262	61,051	2,1147	121,16	1302	61,028	2,1810	124,96
1223	61,063	2,0500	117,46	1263	61,051	2,1164	121,26	1303	61,027	2,1827	125,06
1224	61,063	2,0517	117,55	1264	61,05	2,1180	121,35	1304	61,027	2,1844	125,15
1225	61,063	2,0534	117,65	1265	61,05	2,1197	121,45	1305	61,026	2,1860	125,25
1226	61,063	2,0550	117,74	1266	61,049	2,1213	121,54	1306	61,025	2,1877	125,34
1227	61,063	2,0567	117,84	1267	61,049	2,1230	121,64	1307	61,024	2,1893	125,44
1228	61,062	2,0583	117,93	1268	61,048	2,1247	121,73	1308	61,024	2,1910	125,53
1229	61,062	2,0600	118,03	1269	61,048	2,1263	121,83	1309	61,023	2,1927	125,63
1230	61,062	2,0617	118,12	1270	61,047	2,1280	121,92	1310	61,022	2,1943	125,72
1231	61,062	2,0633	118,22	1271	61,047	2,1296	122,02	1311	61,021	2,1960	125,82
1232	61,061	2,0650	118,31	1272	61,046	2,1313	122,11	1312	61,021	2,1976	125,91
1233	61,061	2,0666	118,41	1273	61,046	2,1329	122,21	1313	61,02	2,1993	126,01

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1234	61,061	2,0683	118,50	1274	61,045	2,1346	122,30	1314	61,019	2,2009	126,10
1235	61,061	2,0699	118,60	1275	61,045	2,1363	122,40	1315	61,018	2,2026	126,20
1236	61,06	2,0716	118,69	1276	61,044	2,1379	122,49	1316	61,017	2,2043	126,29
1237	61,06	2,0733	118,79	1277	61,044	2,1396	122,59	1317	61,017	2,2059	126,39
1238	61,06	2,0749	118,88	1278	61,043	2,1412	122,68	1318	61,016	2,2076	126,49
1239	61,06	2,0766	118,98	1279	61,043	2,1429	122,78	1319	61,015	2,2092	126,58
1240	61,059	2,0782	119,07	1280	61,042	2,1446	122,87	1320	61,014	2,2109	126,68
1321	61,013	2,2126	126,77	1361	60,974	2,2789	130,57	1401	60,923	2,3454	134,38
1322	61,012	2,2142	126,87	1362	60,973	2,2806	130,67	1402	60,921	2,3470	134,47
1323	61,012	2,2159	126,96	1363	60,971	2,2823	130,76	1403	60,92	2,3487	134,57
1324	61,011	2,2175	127,06	1364	60,97	2,2839	130,86	1404	60,918	2,3504	134,67
1325	61,01	2,2192	127,15	1365	60,969	2,2856	130,95	1405	60,917	2,3520	134,76
1326	61,009	2,2209	127,25	1366	60,968	2,2872	131,05	1406	60,916	2,3537	134,86
1327	61,008	2,2225	127,34	1367	60,967	2,2889	131,14	1407	60,914	2,3553	134,95
1328	61,007	2,2242	127,44	1368	60,966	2,2906	131,24	1408	60,913	2,3570	135,05
1329	61,006	2,2258	127,53	1369	60,964	2,2922	131,33	1409	60,911	2,3587	135,14
1330	61,005	2,2275	127,63	1370	60,963	2,2939	131,43	1410	60,91	2,3603	135,24
1331	61,004	2,2291	127,72	1371	60,962	2,2955	131,52	1411	60,908	2,3620	135,33
1332	61,004	2,2308	127,82	1372	60,961	2,2972	131,62	1412	60,907	2,3636	135,43
1333	61,003	2,2325	127,91	1373	60,96	2,2989	131,72	1413	60,905	2,3653	135,52
1334	61,002	2,2341	128,01	1374	60,958	2,3005	131,81	1414	60,904	2,3670	135,62
1335	61,001	2,2358	128,10	1375	60,957	2,3022	131,91	1415	60,902	2,3686	135,71
1336	61	2,2374	128,20	1376	60,956	2,3038	132,00	1416	60,901	2,3703	135,81
1337	60,999	2,2391	128,29	1377	60,955	2,3055	132,10	1417	60,899	2,3720	135,90
1338	60,998	2,2408	128,39	1378	60,953	2,3072	132,19	1418	60,898	2,3736	136,00
1339	60,997	2,2424	128,48	1379	60,952	2,3088	132,29	1419	60,896	2,3753	136,09
1340	60,996	2,2441	128,58	1380	60,951	2,3105	132,38	1420	60,894	2,3769	136,19
1341	60,995	2,2457	128,67	1381	60,95	2,3121	132,48	1421	60,893	2,3786	136,28
1342	60,994	2,2474	128,77	1382	60,948	2,3138	132,57	1422	60,891	2,3803	136,38
1343	60,993	2,2491	128,86	1383	60,947	2,3155	132,67	1423	60,89	2,3819	136,47
1344	60,992	2,2507	128,96	1384	60,946	2,3171	132,76	1424	60,888	2,3836	136,57
1345	60,991	2,2524	129,05	1385	60,945	2,3188	132,86	1425	60,887	2,3853	136,67
1346	60,99	2,2540	129,15	1386	60,943	2,3205	132,95	1426	60,885	2,3869	136,76

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1347	60,989	2,2557	129,24	1387	60,942	2,3221	133,05	1427	60,883	2,3886	136,86
1348	60,988	2,2574	129,34	1388	60,941	2,3238	133,14	1428	60,882	2,3902	136,95
1349	60,987	2,2590	129,43	1389	60,939	2,3254	133,24	1429	60,88	2,3919	137,05
1350	60,986	2,2607	129,53	1390	60,938	2,3271	133,33	1430	60,879	2,3936	137,14
1351	60,985	2,2623	129,62	1391	60,937	2,3288	133,43	1431	60,877	2,3952	137,24
1352	60,984	2,2640	129,72	1392	60,935	2,3304	133,52	1432	60,875	2,3969	137,33
1353	60,983	2,2657	129,81	1393	60,934	2,3321	133,62	1433	60,874	2,3986	137,43
1354	60,981	2,2673	129,91	1394	60,932	2,3337	133,71	1434	60,872	2,4002	137,52
1355	60,98	2,2690	130,00	1395	60,931	2,3354	133,81	1435	60,87	2,4019	137,62
1356	60,979	2,2706	130,10	1396	60,93	2,3371	133,90	1436	60,869	2,4035	137,71
1357	60,978	2,2723	130,19	1397	60,928	2,3387	134,00	1437	60,867	2,4052	137,81
1358	60,977	2,2740	130,29	1398	60,927	2,3404	134,09	1438	60,865	2,4069	137,90
1359	60,976	2,2756	130,38	1399	60,926	2,3420	134,19	1439	60,864	2,4085	138,00
1360	60,975	2,2773	130,48	1400	60,924	2,3437	134,28	1440	60,862	2,4102	138,09
1441	60,86	2,4119	138,19	1481	60,786	2,4784	142,00	1521	60,7	2,5451	145,82
1442	60,858	2,4135	138,28	1482	60,784	2,4801	142,10	1522	60,698	2,5467	145,92
1443	60,857	2,4152	138,38	1483	60,782	2,4817	142,19	1523	60,695	2,5484	146,01
1444	60,855	2,4168	138,48	1484	60,78	2,4834	142,29	1524	60,693	2,5501	146,11
1445	60,853	2,4185	138,57	1485	60,778	2,4851	142,38	1525	60,691	2,5517	146,20
1446	60,851	2,4202	138,67	1486	60,776	2,4867	142,48	1526	60,688	2,5534	146,30
1447	60,85	2,4218	138,76	1487	60,774	2,4884	142,58	1527	60,686	2,5551	146,39
1448	60,848	2,4235	138,86	1488	60,772	2,4901	142,67	1528	60,684	2,5567	146,49
1449	60,846	2,4252	138,95	1489	60,77	2,4917	142,77	1529	60,681	2,5584	146,59
1450	60,844	2,4268	139,05	1490	60,768	2,4934	142,86	1530	60,679	2,5601	146,68
1451	60,843	2,4285	139,14	1491	60,765	2,4951	142,96	1531	60,677	2,5617	146,78
1452	60,841	2,4302	139,24	1492	60,763	2,4967	143,05	1532	60,674	2,5634	146,87
1453	60,839	2,4318	139,33	1493	60,761	2,4984	143,15	1533	60,672	2,5651	146,97
1454	60,837	2,4335	139,43	1494	60,759	2,5001	143,24	1534	60,669	2,5667	147,06
1455	60,835	2,4351	139,52	1495	60,757	2,5017	143,34	1535	60,667	2,5684	147,16
1456	60,834	2,4368	139,62	1496	60,755	2,5034	143,43	1536	60,665	2,5701	147,25
1457	60,832	2,4385	139,71	1497	60,753	2,5051	143,53	1537	60,662	2,5717	147,35
1458	60,83	2,4401	139,81	1498	60,751	2,5067	143,63	1538	60,66	2,5734	147,45
1459	60,828	2,4418	139,90	1499	60,749	2,5084	143,72	1539	60,657	2,5751	147,54

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1460	60,826	2,4435	140,00	1500	60,746	2,5101	143,82	1540	60,655	2,5768	147,64
1461	60,824	2,4451	140,10	1501	60,744	2,5117	143,91	1541	60,652	2,5784	147,73
1462	60,823	2,4468	140,19	1502	60,742	2,5134	144,01	1542	60,65	2,5801	147,83
1463	60,821	2,4485	140,29	1503	60,74	2,5151	144,10	1543	60,648	2,5818	147,92
1464	60,819	2,4501	140,38	1504	60,738	2,5167	144,20	1544	60,645	2,5834	148,02
1465	60,817	2,4518	140,48	1505	60,736	2,5184	144,29	1545	60,643	2,5851	148,12
1466	60,815	2,4535	140,57	1506	60,733	2,5201	144,39	1546	60,64	2,5868	148,21
1467	60,813	2,4551	140,67	1507	60,731	2,5217	144,48	1547	60,638	2,5884	148,31
1468	60,811	2,4568	140,76	1508	60,729	2,5234	144,58	1548	60,635	2,5901	148,40
1469	60,809	2,4584	140,86	1509	60,727	2,5251	144,68	1549	60,633	2,5918	148,50
1470	60,807	2,4601	140,95	1510	60,725	2,5267	144,77	1550	60,63	2,5934	148,59
1471	60,806	2,4618	141,05	1511	60,722	2,5284	144,87	1551	60,628	2,5951	148,69
1472	60,804	2,4634	141,14	1512	60,72	2,5301	144,96	1552	60,625	2,5968	148,78
1473	60,802	2,4651	141,24	1513	60,718	2,5317	145,06	1553	60,623	2,5984	148,88
1474	60,8	2,4668	141,34	1514	60,716	2,5334	145,15	1554	60,62	2,6001	148,98
1475	60,798	2,4684	141,43	1515	60,713	2,5351	145,25	1555	60,618	2,6018	149,07
1476	60,796	2,4701	141,53	1516	60,711	2,5367	145,34	1556	60,615	2,6035	149,17
1477	60,794	2,4718	141,62	1517	60,709	2,5384	145,44	1557	60,613	2,6051	149,26
1478	60,792	2,4734	141,72	1518	60,707	2,5401	145,53	1558	60,61	2,6068	149,36
1479	60,79	2,4751	141,81	1519	60,704	2,5417	145,63	1559	60,607	2,6085	149,45
1480	60,788	2,4768	141,91	1520	60,702	2,5434	145,73	1560	60,605	2,6101	149,55

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1561	60,602	2,6118	149,65	1601	60,493	2,6787	153,48	1641	60,373	2,7456	157,31
1562	60,6	2,6135	149,74	1602	60,49	2,6803	153,57	1642	60,37	2,7473	157,41
1563	60,597	2,6151	149,84	1603	60,487	2,6820	153,67	1643	60,367	2,7490	157,50
1564	60,594	2,6168	149,93	1604	60,485	2,6837	153,76	1644	60,363	2,7507	157,60
1565	60,592	2,6185	150,03	1605	60,482	2,6853	153,86	1645	60,36	2,7523	157,70
1566	60,589	2,6202	150,12	1606	60,479	2,6870	153,95	1646	60,357	2,7540	157,79
1567	60,587	2,6218	150,22	1607	60,476	2,6887	154,05	1647	60,354	2,7557	157,89
1568	60,584	2,6235	150,32	1608	60,473	2,6904	154,15	1648	60,351	2,7574	157,99
1569	60,581	2,6252	150,41	1609	60,47	2,6920	154,24	1649	60,348	2,7590	158,08
1570	60,579	2,6268	150,51	1610	60,467	2,6937	154,34	1650	60,344	2,7607	158,18
1571	60,576	2,6285	150,60	1611	60,464	2,6954	154,43	1651	60,341	2,7624	158,27
1572	60,573	2,6302	150,70	1612	60,461	2,6971	154,53	1652	60,338	2,7641	158,37
1573	60,571	2,6318	150,79	1613	60,458	2,6987	154,63	1653	60,335	2,7657	158,47
1574	60,568	2,6335	150,89	1614	60,455	2,7004	154,72	1654	60,331	2,7674	158,56
1575	60,565	2,6352	150,99	1615	60,452	2,7021	154,82	1655	60,328	2,7691	158,66
1576	60,563	2,6369	151,08	1616	60,449	2,7038	154,91	1656	60,325	2,7708	158,75
1577	60,56	2,6385	151,18	1617	60,446	2,7054	155,01	1657	60,322	2,7725	158,85
1578	60,557	2,6402	151,27	1618	60,443	2,7071	155,11	1658	60,318	2,7741	158,95
1579	60,555	2,6419	151,37	1619	60,44	2,7088	155,20	1659	60,315	2,7758	159,04
1580	60,552	2,6435	151,46	1620	60,437	2,7105	155,30	1660	60,312	2,7775	159,14
1581	60,549	2,6452	151,56	1621	60,434	2,7121	155,39	1661	60,309	2,7792	159,23
1582	60,546	2,6469	151,66	1622	60,431	2,7138	155,49	1662	60,305	2,7808	159,33
1583	60,544	2,6486	151,75	1623	60,428	2,7155	155,59	1663	60,302	2,7825	159,43
1584	60,541	2,6502	151,85	1624	60,425	2,7171	155,68	1664	60,299	2,7842	159,52
1585	60,538	2,6519	151,94	1625	60,422	2,7188	155,78	1665	60,295	2,7859	159,62
1586	60,535	2,6536	152,04	1626	60,419	2,7205	155,87	1666	60,292	2,7876	159,71
1587	60,533	2,6552	152,13	1627	60,416	2,7222	155,97	1667	60,289	2,7892	159,81
1588	60,53	2,6569	152,23	1628	60,413	2,7238	156,06	1668	60,286	2,7909	159,91
1589	60,527	2,6586	152,33	1629	60,41	2,7255	156,16	1669	60,282	2,7926	160,00
1590	60,524	2,6603	152,42	1630	60,407	2,7272	156,26	1670	60,279	2,7943	160,10
1591	60,522	2,6619	152,52	1631	60,404	2,7289	156,35	1671	60,276	2,7959	160,20
1592	60,519	2,6636	152,61	1632	60,401	2,7305	156,45	1672	60,272	2,7976	160,29
1593	60,516	2,6653	152,71	1633	60,398	2,7322	156,54	1673	60,269	2,7993	160,39

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1594	60,513	2,6669	152,80	1634	60,395	2,7339	156,64	1674	60,265	2,8010	160,48
1595	60,51	2,6686	152,90	1635	60,392	2,7356	156,74	1675	60,262	2,8027	160,58
1596	60,507	2,6703	153,00	1636	60,389	2,7372	156,83	1676	60,259	2,8043	160,68
1597	60,505	2,6720	153,09	1637	60,385	2,7389	156,93	1677	60,255	2,8060	160,77
1598	60,502	2,6736	153,19	1638	60,382	2,7406	157,02	1678	60,252	2,8077	160,87
1599	60,499	2,6753	153,28	1639	60,379	2,7423	157,12	1679	60,249	2,8094	160,97
1600	60,496	2,6770	153,38	1640	60,376	2,7440	157,22	1680	60,245	2,8111	161,06
1681	60,242	2,8127	161,16	1721	60,1	2,8800	165,01	1761	59,949	2,9474	168,87
1682	60,238	2,8144	161,25	1722	60,096	2,8817	165,11	1762	59,945	2,9491	168,97
1683	60,235	2,8161	161,35	1723	60,093	2,8834	165,20	1763	59,941	2,9508	169,07
1684	60,231	2,8178	161,45	1724	60,089	2,8850	165,30	1764	59,937	2,9525	169,16
1685	60,228	2,8195	161,54	1725	60,085	2,8867	165,40	1765	59,933	2,9541	169,26
1686	60,225	2,8211	161,64	1726	60,082	2,8884	165,49	1766	59,929	2,9558	169,36
1687	60,221	2,8228	161,74	1727	60,078	2,8901	165,59	1767	59,925	2,9575	169,45
1688	60,218	2,8245	161,83	1728	60,074	2,8918	165,69	1768	59,921	2,9592	169,55
1689	60,214	2,8262	161,93	1729	60,071	2,8935	165,78	1769	59,917	2,9609	169,65
1690	60,211	2,8279	162,02	1730	60,067	2,8951	165,88	1770	59,913	2,9626	169,74
1691	60,207	2,8295	162,12	1731	60,063	2,8968	165,98	1771	59,909	2,9643	169,84
1692	60,204	2,8312	162,22	1732	60,059	2,8985	166,07	1772	59,905	2,9660	169,94
1693	60,2	2,8329	162,31	1733	60,056	2,9002	166,17	1773	59,901	2,9677	170,03
1694	60,197	2,8346	162,41	1734	60,052	2,9019	166,27	1774	59,897	2,9693	170,13
1695	60,193	2,8363	162,51	1735	60,048	2,9036	166,36	1775	59,893	2,9710	170,23
1696	60,19	2,8379	162,60	1736	60,044	2,9052	166,46	1776	59,889	2,9727	170,32
1697	60,186	2,8396	162,70	1737	60,041	2,9069	166,55	1777	59,885	2,9744	170,42
1698	60,183	2,8413	162,79	1738	60,037	2,9086	166,65	1778	59,881	2,9761	170,52
1699	60,179	2,8430	162,89	1739	60,033	2,9103	166,75	1779	59,877	2,9778	170,61
1700	60,176	2,8447	162,99	1740	60,029	2,9120	166,84	1780	59,873	2,9795	170,71
1701	60,172	2,8463	163,08	1741	60,026	2,9137	166,94	1781	59,869	2,9812	170,81
1702	60,169	2,8480	163,18	1742	60,022	2,9154	167,04	1782	59,865	2,9829	170,90
1703	60,165	2,8497	163,28	1743	60,018	2,9170	167,13	1783	59,861	2,9845	171,00
1704	60,162	2,8514	163,37	1744	60,014	2,9187	167,23	1784	59,857	2,9862	171,10
1705	60,158	2,8531	163,47	1745	60,01	2,9204	167,33	1785	59,853	2,9879	171,20
1706	60,154	2,8547	163,57	1746	60,007	2,9221	167,42	1786	59,849	2,9896	171,29

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1707	60,151	2,8564	163,66	1747	60,003	2,9238	167,52	1787	59,845	2,9913	171,39
1708	60,147	2,8581	163,76	1748	59,999	2,9255	167,62	1788	59,841	2,9930	171,49
1709	60,144	2,8598	163,85	1749	59,995	2,9272	167,71	1789	59,837	2,9947	171,58
1710	60,14	2,8615	163,95	1750	59,991	2,9288	167,81	1790	59,833	2,9964	171,68
1711	60,137	2,8632	164,05	1751	59,987	2,9305	167,91	1791	59,829	2,9981	171,78
1712	60,133	2,8648	164,14	1752	59,984	2,9322	168,00	1792	59,825	2,9998	171,87
1713	60,129	2,8665	164,24	1753	59,98	2,9339	168,10	1793	59,821	3,0014	171,97
1714	60,126	2,8682	164,34	1754	59,976	2,9356	168,20	1794	59,816	3,0031	172,07
1715	60,122	2,8699	164,43	1755	59,972	2,9373	168,29	1795	59,812	3,0048	172,16
1716	60,118	2,8716	164,53	1756	59,968	2,9390	168,39	1796	59,808	3,0065	172,26
1717	60,115	2,8733	164,63	1757	59,964	2,9406	168,49	1797	59,804	3,0082	172,36
1718	60,111	2,8749	164,72	1758	59,96	2,9423	168,58	1798	59,8	3,0099	172,45
1719	60,107	2,8766	164,82	1759	59,956	2,9440	168,68	1799	59,796	3,0116	172,55
1720	60,104	2,8783	164,91	1760	59,952	2,9457	168,78	1800	59,792	3,0133	172,65
1801	59,788	3,0150	172,75	1841	59,733	3,0403	174,20	1881	59,691	3,0656	175,65
1802	59,786	3,0156	172,78	1842	59,732	3,0409	174,23	1882	59,69	3,0663	175,68
1803	59,785	3,0162	172,82	1843	59,731	3,0416	174,27	1883	59,689	3,0669	175,72
1804	59,783	3,0169	172,85	1844	59,73	3,0422	174,31	1884	59,688	3,0675	175,76
1805	59,782	3,0175	172,89	1845	59,728	3,0428	174,34	1885	59,688	3,0682	175,79
1806	59,78	3,0181	172,93	1846	59,727	3,0435	174,38	1886	59,687	3,0688	175,83
1807	59,779	3,0188	172,96	1847	59,726	3,0441	174,41	1887	59,686	3,0694	175,87
1808	59,777	3,0194	173,00	1848	59,725	3,0447	174,45	1888	59,685	3,0701	175,90
1809	59,776	3,0200	173,04	1849	59,724	3,0454	174,49	1889	59,684	3,0707	175,94
1810	59,774	3,0207	173,07	1850	59,723	3,0460	174,52	1890	59,683	3,0713	175,97
1811	59,773	3,0213	173,11	1851	59,722	3,0466	174,56	1891	59,682	3,0720	176,01
1812	59,771	3,0219	173,14	1852	59,72	3,0473	174,60	1892	59,682	3,0726	176,05
1813	59,77	3,0226	173,18	1853	59,719	3,0479	174,63	1893	59,681	3,0732	176,08
1814	59,769	3,0232	173,22	1854	59,718	3,0485	174,67	1894	59,68	3,0739	176,12
1815	59,767	3,0238	173,25	1855	59,717	3,0492	174,70	1895	59,679	3,0745	176,16
1816	59,766	3,0245	173,29	1856	59,716	3,0498	174,74	1896	59,678	3,0751	176,19
1817	59,764	3,0251	173,33	1857	59,715	3,0504	174,78	1897	59,678	3,0758	176,23
1818	59,763	3,0257	173,36	1858	59,714	3,0511	174,81	1898	59,677	3,0764	176,26
1819	59,762	3,0264	173,40	1859	59,713	3,0517	174,85	1899	59,676	3,0770	176,30

Продолжение таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1820	59,76	3,0270	173,43	1860	59,712	3,0523	174,89	1900	59,675	3,0777	176,34
1821	59,759	3,0276	173,47	1861	59,711	3,0530	174,92	1901	59,675	3,0783	176,37
1822	59,758	3,0283	173,51	1862	59,71	3,0536	174,96	1902	59,674	3,0789	176,41
1823	59,756	3,0289	173,54	1863	59,709	3,0542	174,99	1903	59,673	3,0796	176,45
1824	59,755	3,0295	173,58	1864	59,708	3,0549	175,03	1904	59,672	3,0802	176,48
1825	59,754	3,0302	173,62	1865	59,706	3,0555	175,07	1905	59,672	3,0808	176,52
1826	59,752	3,0308	173,65	1866	59,705	3,0561	175,10	1906	59,671	3,0815	176,55
1827	59,751	3,0314	173,69	1867	59,704	3,0568	175,14	1907	59,67	3,0821	176,59
1828	59,75	3,0321	173,73	1868	59,703	3,0574	175,18	1908	59,669	3,0827	176,63
1829	59,748	3,0327	173,76	1869	59,702	3,0580	175,21	1909	59,669	3,0834	176,66
1830	59,747	3,0333	173,80	1870	59,701	3,0587	175,25	1910	59,668	3,0840	176,70
1831	59,746	3,0340	173,83	1871	59,7	3,0593	175,28	1911	59,667	3,0846	176,74
1832	59,744	3,0346	173,87	1872	59,699	3,0599	175,32	1912	59,667	3,0853	176,77
1833	59,743	3,0352	173,91	1873	59,699	3,0606	175,36	1913	59,666	3,0859	176,81
1834	59,742	3,0359	173,94	1874	59,698	3,0612	175,39	1914	59,665	3,0865	176,84
1835	59,741	3,0365	173,98	1875	59,697	3,0618	175,43	1915	59,665	3,0872	176,88
1836	59,739	3,0371	174,02	1876	59,696	3,0625	175,47	1916	59,664	3,0878	176,92
1837	59,738	3,0378	174,05	1877	59,695	3,0631	175,50	1917	59,663	3,0884	176,95
1838	59,737	3,0384	174,09	1878	59,694	3,0637	175,54	1918	59,663	3,0891	176,99
1839	59,736	3,0390	174,12	1879	59,693	3,0644	175,58	1919	59,662	3,0897	177,03
1840	59,734	3,0397	174,16	1880	59,692	3,0650	175,61	1920	59,662	3,0903	177,06

Окончание таблицы Л.3

№ точки	Радиус-вектор, мм	Угол		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата		№ точки	Радиус-вектор, мм	Координата	
		Радиан	°			Радиан	°			Радиан	°
1921	59,661	3,0910	177,10	1948	59,648	3,1080	178,08	1975	59,64	3,1251	179,06
1922	59,66	3,0916	177,13	1949	59,647	3,1087	178,11	1976	59,639	3,1258	179,09
1923	59,66	3,0922	177,17	1950	59,647	3,1093	178,15	1977	59,639	3,1264	179,13
1924	59,659	3,0929	177,21	1951	59,646	3,1099	178,19	1978	59,639	3,1270	179,17
1925	59,659	3,0935	177,24	1952	59,646	3,1106	178,22	1979	59,639	3,1277	179,20
1926	59,658	3,0941	177,28	1953	59,646	3,1112	178,26	1980	59,639	3,1283	179,24
1927	59,658	3,0948	177,32	1954	59,645	3,1118	178,30	1981	59,638	3,1289	179,27
1928	59,657	3,0954	177,35	1955	59,645	3,1125	178,33	1982	59,638	3,1296	179,31
1929	59,656	3,0960	177,39	1956	59,645	3,1131	178,37	1983	59,638	3,1302	179,35
1930	59,656	3,0967	177,42	1957	59,644	3,1137	178,40	1984	59,638	3,1308	179,38
1931	59,655	3,0973	177,46	1958	59,644	3,1144	178,44	1985	59,638	3,1315	179,42
1932	59,655	3,0979	177,50	1959	59,644	3,1150	178,48	1986	59,638	3,1321	179,46
1933	59,654	3,0985	177,53	1960	59,643	3,1156	178,51	1987	59,638	3,1327	179,49
1934	59,654	3,0992	177,57	1961	59,643	3,1163	178,55	1988	59,638	3,1334	179,53
1935	59,653	3,0998	177,61	1962	59,643	3,1169	178,59	1989	59,638	3,1340	179,56
1936	59,653	3,1004	177,64	1963	59,642	3,1175	178,62	1990	59,637	3,1346	179,60
1937	59,652	3,1011	177,68	1964	59,642	3,1182	178,66	1991	59,637	3,1353	179,64
1938	59,652	3,1017	177,72	1965	59,642	3,1188	178,69	1992	59,637	3,1359	179,67
1939	59,651	3,1023	177,75	1966	59,642	3,1194	178,73	1993	59,637	3,1365	179,71
1940	59,651	3,1030	177,79	1967	59,641	3,1201	178,77	1994	59,637	3,1372	179,75
1941	59,65	3,1036	177,82	1968	59,641	3,1207	178,80	1995	59,637	3,1378	179,78
1942	59,65	3,1042	177,86	1969	59,641	3,1213	178,84	1996	59,637	3,1384	179,82
1943	59,65	3,1049	177,90	1970	59,641	3,1220	178,88	1997	59,637	3,1391	179,85
1944	59,649	3,1055	177,93	1971	59,64	3,1226	178,91	1998	59,637	3,1397	179,89
1945	59,649	3,1061	177,97	1972	59,64	3,1232	178,95	1999	59,637	3,1403	179,93
1946	59,648	3,1068	178,01	1973	59,64	3,1239	178,98	2000	59,637	3,1410	179,96
1947	59,648	3,1074	178,04	1974	59,64	3,1245	179,02	2001	59,637	3,1416	180,00

Таблица Л.4 – Расчеты равнорадиусного кольца в полярных координатах

№ п. п.	Угол, °	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол ,°	Радиус - вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол, °	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
0	0	59,637	50	5	59,639	100	10	59,654	150	15	59,68	200	20	59,719
1	0,1	59,637	51	5,1	59,639	101	10,1	59,654	151	15,1	59,681	201	20,1	59,72
2	0,2	59,637	52	5,2	59,639	102	10,2	59,654	152	15,2	59,682	202	20,2	59,721
3	0,3	59,637	53	5,3	59,64	103	10,3	59,655	153	15,3	59,682	203	20,3	59,721
4	0,4	59,637	54	5,4	59,64	104	10,4	59,655	154	15,4	59,683	204	20,4	59,722
5	0,5	59,637	55	5,5	59,64	105	10,5	59,656	155	15,5	59,684	205	20,5	59,723
6	0,6	59,637	56	5,6	59,64	106	10,6	59,656	156	15,6	59,684	206	20,6	59,724
7	0,7	59,637	57	5,7	59,64	107	10,7	59,657	157	15,7	59,685	207	20,7	59,725
8	0,8	59,637	58	5,8	59,641	108	10,8	59,657	158	15,8	59,686	208	20,8	59,726
9	0,9	59,636	59	5,9	59,641	109	10,9	59,657	159	15,9	59,686	209	20,9	59,727
10	1	59,636	60	6	59,641	110	11	59,658	160	16	59,687	210	21	59,728
11	1,1	59,636	61	6,1	59,641	111	11,1	59,658	161	16,1	59,688	211	21,1	59,729
12	1,2	59,636	62	6,2	59,641	112	11,2	59,659	162	16,2	59,688	212	21,2	59,73
13	1,3	59,636	63	6,3	59,642	113	11,3	59,659	163	16,3	59,689	213	21,3	59,731
14	1,4	59,636	64	6,4	59,642	114	11,4	59,66	164	16,4	59,69	214	21,4	59,732
15	1,5	59,636	65	6,5	59,642	115	11,5	59,66	165	16,5	59,691	215	21,5	59,733
16	1,6	59,636	66	6,6	59,642	116	11,6	59,661	166	16,6	59,691	216	21,6	59,734
17	1,7	59,636	67	6,7	59,643	117	11,7	59,661	167	16,7	59,692	217	21,7	59,735

Продолжение таблицы Л.4

№ п. п.	Угол, °	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол ,°	Радиус - вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол, °	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
18	1,8	59,636	68	6,8	59,643	118	11,8	59,662	168	16,8	59,693	218	21,8	59,735
19	1,9	59,636	69	6,9	59,643	119	11,9	59,662	169	16,9	59,694	219	21,9	59,736
20	2	59,636	70	7	59,643	120	12	59,663	170	17	59,694	220	22	59,737
21	2,1	59,636	71	7,1	59,644	121	12,1	59,663	171	17,1	59,695	221	22,1	59,738
22	2,2	59,636	72	7,2	59,644	122	12,2	59,664	172	17,2	59,696	222	22,2	59,739
23	2,3	59,636	73	7,3	59,644	123	12,3	59,664	173	17,3	59,697	223	22,3	59,74
24	2,4	59,636	74	7,4	59,644	124	12,4	59,665	174	17,4	59,697	224	22,4	59,741
25	2,5	59,636	75	7,5	59,645	125	12,5	59,665	175	17,5	59,698	225	22,5	59,742
26	2,6	59,637	76	7,6	59,645	126	12,6	59,666	176	17,6	59,699	226	22,6	59,743
27	2,7	59,637	77	7,7	59,645	127	12,7	59,666	177	17,7	59,7	227	22,7	59,744
28	2,8	59,637	78	7,8	59,646	128	12,8	59,667	178	17,8	59,7	228	22,8	59,745
29	2,9	59,637	79	7,9	59,646	129	12,9	59,668	179	17,9	59,701	229	22,9	59,746
30	3	59,637	80	8	59,646	130	13	59,668	180	18	59,702	230	23	59,747
31	3,1	59,637	81	8,1	59,647	131	13,1	59,669	181	18,1	59,703	231	23,1	59,748
32	3,2	59,637	82	8,2	59,647	132	13,2	59,669	182	18,2	59,704	232	23,2	59,749
33	3,3	59,637	83	8,3	59,647	133	13,3	59,67	183	18,3	59,704	233	23,3	59,75
34	3,4	59,637	84	8,4	59,648	134	13,4	59,67	184	18,4	59,705	234	23,4	59,751
35	3,5	59,637	85	8,5	59,648	135	13,5	59,671	185	18,5	59,706	235	23,5	59,753

Продолжение таблицы Л.4

№ п. п.	Угол, °	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол ,°	Радиус - вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол, °	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
36	3,6	59,637	86	8,6	59,648	136	13,6	59,672	186	18,6	59,707	236	23,6	59,754
37	3,7	59,637	87	8,7	59,649	137	13,7	59,672	187	18,7	59,708	237	23,7	59,755
38	3,8	59,637	88	8,8	59,649	138	13,8	59,673	188	18,8	59,709	238	23,8	59,756
39	3,9	59,638	89	8,9	59,649	139	13,9	59,673	189	18,9	59,709	239	23,9	59,757
40	4	59,638	90	9	59,65	140	14	59,674	190	19	59,71	240	24	59,758
41	4,1	59,638	91	9,1	59,65	141	14,1	59,675	191	19,1	59,711	241	24,1	59,759
42	4,2	59,638	92	9,2	59,65	142	14,2	59,675	192	19,2	59,712	242	24,2	59,76
43	4,3	59,638	93	9,3	59,651	143	14,3	59,676	193	19,3	59,713	243	24,3	59,761
44	4,4	59,638	94	9,4	59,651	144	14,4	59,676	194	19,4	59,714	244	24,4	59,762
45	4,5	59,638	95	9,5	59,652	145	14,5	59,677	195	19,5	59,714	245	24,5	59,763
46	4,6	59,638	96	9,6	59,652	146	14,6	59,678	196	19,6	59,715	246	24,6	59,764
47	4,7	59,639	97	9,7	59,652	147	14,7	59,678	197	19,7	59,716	247	24,7	59,765
48	4,8	59,639	98	9,8	59,653	148	14,8	59,679	198	19,8	59,717	248	24,8	59,766
49	4,9	59,639	99	9,9	59,653	149	14,9	59,68	199	19,9	59,718	249	24,9	59,767

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
250	25	59,769	300	30	59,829	350	35	59,898	400	40	59,976	450	45	60,061
251	25,1	59,77	301	30,1	59,83	351	35,1	59,9	401	40,1	59,978	451	45,1	60,063
252	25,2	59,771	302	30,2	59,831	352	35,2	59,901	402	40,2	59,979	452	45,2	60,065
253	25,3	59,772	303	30,3	59,833	353	35,3	59,903	403	40,3	59,981	453	45,3	60,066
254	25,4	59,773	304	30,4	59,834	354	35,4	59,904	404	40,4	59,983	454	45,4	60,068
255	25,5	59,774	305	30,5	59,835	355	35,5	59,906	405	40,5	59,984	455	45,5	60,07
256	25,6	59,775	306	30,6	59,837	356	35,6	59,907	406	40,6	59,986	456	45,6	60,072
257	25,7	59,776	307	30,7	59,838	357	35,7	59,909	407	40,7	59,988	457	45,7	60,073
258	25,8	59,778	308	30,8	59,839	358	35,8	59,91	408	40,8	59,989	458	45,8	60,075
259	25,9	59,779	309	30,9	59,841	359	35,9	59,912	409	40,9	59,991	459	45,9	60,077
260	26	59,78	310	31	59,842	360	36	59,913	410	41	59,993	460	46	60,079
261	26,1	59,781	311	31,1	59,843	361	36,1	59,915	411	41,1	59,994	461	46,1	60,081
262	26,2	59,782	312	31,2	59,845	362	36,2	59,916	412	41,2	59,996	462	46,2	60,082
263	26,3	59,783	313	31,3	59,846	363	36,3	59,918	413	41,3	59,998	463	46,3	60,084
264	26,4	59,784	314	31,4	59,847	364	36,4	59,919	414	41,4	59,999	464	46,4	60,086
265	26,5	59,786	315	31,5	59,849	365	36,5	59,921	415	41,5	60,001	465	46,5	60,088
266	26,6	59,787	316	31,6	59,85	366	36,6	59,922	416	41,6	60,003	466	46,6	60,09
267	26,7	59,788	317	31,7	59,851	367	36,7	59,924	417	41,7	60,004	467	46,7	60,091

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
268	26,8	59,789	318	31,8	59,853	368	36,8	59,925	418	41,8	60,006	468	46,8	60,093
269	26,9	59,79	319	31,9	59,854	369	36,9	59,927	419	41,9	60,008	469	46,9	60,095
270	27	59,791	320	32	59,855	370	37	59,928	420	42	60,009	470	47	60,097
271	27,1	59,793	321	32,1	59,857	371	37,1	59,93	421	42,1	60,011	471	47,1	60,099
272	27,2	59,794	322	32,2	59,858	372	37,2	59,932	422	42,2	60,013	472	47,2	60,1
273	27,3	59,795	323	32,3	59,86	373	37,3	59,933	423	42,3	60,014	473	47,3	60,102
274	27,4	59,796	324	32,4	59,861	374	37,4	59,935	424	42,4	60,016	474	47,4	60,104
275	27,5	59,797	325	32,5	59,862	375	37,5	59,936	425	42,5	60,018	475	47,5	60,106
276	27,6	59,799	326	32,6	59,864	376	37,6	59,938	426	42,6	60,02	476	47,6	60,108
277	27,7	59,8	327	32,7	59,865	377	37,7	59,939	427	42,7	60,021	477	47,7	60,109
278	27,8	59,801	328	32,8	59,867	378	37,8	59,941	428	42,8	60,023	478	47,8	60,111
279	27,9	59,802	329	32,9	59,868	379	37,9	59,943	429	42,9	60,025	479	47,9	60,113
280	28	59,803	330	33	59,869	380	38	59,944	430	43	60,026	480	48	60,115
281	28,1	59,805	331	33,1	59,871	381	38,1	59,946	431	43,1	60,028	481	48,1	60,117
282	28,2	59,806	332	33,2	59,872	382	38,2	59,947	432	43,2	60,03	482	48,2	60,119
283	28,3	59,807	333	33,3	59,874	383	38,3	59,949	433	43,3	60,032	483	48,3	60,12
284	28,4	59,808	334	33,4	59,875	384	38,4	59,95	434	43,4	60,033	484	48,4	60,122
285	28,5	59,81	335	33,5	59,876	385	38,5	59,952	435	43,5	60,035	485	48,5	60,124

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
286	28,6	59,811	336	33,6	59,878	386	38,6	59,954	436	43,6	60,037	486	48,6	60,126
287	28,7	59,812	337	33,7	59,879	387	38,7	59,955	437	43,7	60,038	487	48,7	60,128
288	28,8	59,813	338	33,8	59,881	388	38,8	59,957	438	43,8	60,04	488	48,8	60,13
289	28,9	59,815	339	33,9	59,882	389	38,9	59,958	439	43,9	60,042	489	48,9	60,131
290	29	59,816	340	34	59,884	390	39	59,96	440	44	60,044	490	49	60,133
291	29,1	59,817	341	34,1	59,885	391	39,1	59,962	441	44,1	60,045	491	49,1	60,135
292	29,2	59,818	342	34,2	59,887	392	39,2	59,963	442	44,2	60,047	492	49,2	60,137
293	29,3	59,82	343	34,3	59,888	393	39,3	59,965	443	44,3	60,049	493	49,3	60,139
294	29,4	59,821	344	34,4	59,889	394	39,4	59,966	444	44,4	60,051	494	49,4	60,141
295	29,5	59,822	345	34,5	59,891	395	39,5	59,968	445	44,5	60,052	495	49,5	60,142
296	29,6	59,824	346	34,6	59,892	396	39,6	59,97	446	44,6	60,054	496	49,6	60,144
297	29,7	59,825	347	34,7	59,894	397	39,7	59,971	447	44,7	60,056	497	49,7	60,146
298	29,8	59,826	348	34,8	59,895	398	39,8	59,973	448	44,8	60,058	498	49,8	60,148
299	29,9	59,827	349	34,9	59,897	399	39,9	59,975	449	44,9	60,059	499	49,9	60,15

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
500	50	60,152	550	55	60,246	600	60	60,344	650	65	60,442	700	70	60,539
501	50,1	60,154	551	55,1	60,248	601	60,1	60,346	651	65,1	60,444	701	70,1	60,54
502	50,2	60,155	552	55,2	60,25	602	60,2	60,348	652	65,2	60,445	702	70,2	60,542
503	50,3	60,157	553	55,3	60,252	603	60,3	60,349	653	65,3	60,447	703	70,3	60,544
504	50,4	60,159	554	55,4	60,254	604	60,4	60,351	654	65,4	60,449	704	70,4	60,546
505	50,5	60,161	555	55,5	60,256	605	60,5	60,353	655	65,5	60,451	705	70,5	60,548
506	50,6	60,163	556	55,6	60,258	606	60,6	60,355	656	65,6	60,453	706	70,6	60,55
507	50,7	60,165	557	55,7	60,26	607	60,7	60,357	657	65,7	60,455	707	70,7	60,552
508	50,8	60,167	558	55,8	60,262	608	60,8	60,359	658	65,8	60,457	708	70,8	60,554
509	50,9	60,168	559	55,9	60,264	609	60,9	60,361	659	65,9	60,459	709	70,9	60,556
510	51	60,17	560	56	60,266	610	61	60,363	660	66	60,461	710	71	60,558
511	51,1	60,172	561	56,1	60,268	611	61,1	60,365	661	66,1	60,463	711	71,1	60,56
512	51,2	60,174	562	56,2	60,27	612	61,2	60,367	662	66,2	60,465	712	71,2	60,561
513	51,3	60,176	563	56,3	60,272	613	61,3	60,369	663	66,3	60,467	713	71,3	60,563
514	51,4	60,178	564	56,4	60,273	614	61,4	60,371	664	66,4	60,469	714	71,4	60,565
515	51,5	60,18	565	56,5	60,275	615	61,5	60,373	665	66,5	60,471	715	71,5	60,567
516	51,6	60,182	566	56,6	60,277	616	61,6	60,375	666	66,6	60,473	716	71,6	60,569
517	51,7	60,184	567	56,7	60,279	617	61,7	60,377	667	66,7	60,475	717	71,7	60,571

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
518	51,8	60,185	568	56,8	60,281	618	61,8	60,379	668	66,8	60,477	718	71,8	60,573
519	51,9	60,187	569	56,9	60,283	619	61,9	60,381	669	66,9	60,479	719	71,9	60,575
520	52	60,189	570	57	60,285	620	62	60,383	670	67	60,481	720	72	60,577
521	52,1	60,191	571	57,1	60,287	621	62,1	60,385	671	67,1	60,483	721	72,1	60,578
522	52,2	60,193	572	57,2	60,289	622	62,2	60,387	672	67,2	60,484	722	72,2	60,58
523	52,3	60,195	573	57,3	60,291	623	62,3	60,389	673	67,3	60,486	723	72,3	60,582
524	52,4	60,197	574	57,4	60,293	624	62,4	60,391	674	67,4	60,488	724	72,4	60,584
525	52,5	60,199	575	57,5	60,295	625	62,5	60,393	675	67,5	60,49	725	72,5	60,586
526	52,6	60,201	576	57,6	60,297	626	62,6	60,395	676	67,6	60,492	726	72,6	60,588
527	52,7	60,202	577	57,7	60,299	627	62,7	60,397	677	67,7	60,494	727	72,7	60,59
528	52,8	60,204	578	57,8	60,301	628	62,8	60,398	678	67,8	60,496	728	72,8	60,592
529	52,9	60,206	579	57,9	60,303	629	62,9	60,4	679	67,9	60,498	729	72,9	60,594
530	53	60,208	580	58	60,305	630	63	60,402	680	68	60,5	730	73	60,595
531	53,1	60,21	581	58,1	60,306	631	63,1	60,404	681	68,1	60,502	731	73,1	60,597
532	53,2	60,212	582	58,2	60,308	632	63,2	60,406	682	68,2	60,504	732	73,2	60,599
533	53,3	60,214	583	58,3	60,31	633	63,3	60,408	683	68,3	60,506	733	73,3	60,601
534	53,4	60,216	584	58,4	60,312	634	63,4	60,41	684	68,4	60,508	734	73,4	60,603
535	53,5	60,218	585	58,5	60,314	635	63,5	60,412	685	68,5	60,51	735	73,5	60,605

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
536	53,6	60,22	586	58,6	60,316	636	63,6	60,414	686	68,6	60,512	736	73,6	60,607
537	53,7	60,221	587	58,7	60,318	637	63,7	60,416	687	68,7	60,514	737	73,7	60,609
538	53,8	60,223	588	58,8	60,32	638	63,8	60,418	688	68,8	60,515	738	73,8	60,61
539	53,9	60,225	589	58,9	60,322	639	63,9	60,42	689	68,9	60,517	739	73,9	60,612
540	54	60,227	590	59	60,324	640	64	60,422	690	69	60,519	740	74	60,614
541	54,1	60,229	591	59,1	60,326	641	64,1	60,424	691	69,1	60,521	741	74,1	60,616
542	54,2	60,231	592	59,2	60,328	642	64,2	60,426	692	69,2	60,523	742	74,2	60,618
543	54,3	60,233	593	59,3	60,33	643	64,3	60,428	693	69,3	60,525	743	74,3	60,62
544	54,4	60,235	594	59,4	60,332	644	64,4	60,43	694	69,4	60,527	744	74,4	60,622
545	54,5	60,237	595	59,5	60,334	645	64,5	60,432	695	69,5	60,529	745	74,5	60,623
546	54,6	60,239	596	59,6	60,336	646	64,6	60,434	696	69,6	60,531	746	74,6	60,625
547	54,7	60,241	597	59,7	60,338	647	64,7	60,436	697	69,7	60,533	747	74,7	60,627
548	54,8	60,243	598	59,8	60,34	648	64,8	60,438	698	69,8	60,535	748	74,8	60,629
549	54,9	60,244	599	59,9	60,342	649	64,9	60,44	699	69,9	60,537	749	74,9	60,631

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
750	75	60,633	800	80	60,722	850	85	60,805	900	90	60,879	950	95	60,943
751	75,1	60,634	801	80,1	60,724	851	85,1	60,806	901	90,1	60,881	951	95,1	60,945
752	75,2	60,636	802	80,2	60,725	852	85,2	60,808	902	90,2	60,882	952	95,2	60,946
753	75,3	60,638	803	80,3	60,727	853	85,3	60,81	903	90,3	60,883	953	95,3	60,947
754	75,4	60,64	804	80,4	60,729	854	85,4	60,811	904	90,4	60,885	954	95,4	60,948
755	75,5	60,642	805	80,5	60,731	855	85,5	60,813	905	90,5	60,886	955	95,5	60,949
756	75,6	60,644	806	80,6	60,732	856	85,6	60,814	906	90,6	60,887	956	95,6	60,95
757	75,7	60,645	807	80,7	60,734	857	85,7	60,816	907	90,7	60,889	957	95,7	60,952
758	75,8	60,647	808	80,8	60,736	858	85,8	60,817	908	90,8	60,89	958	95,8	60,953
759	75,9	60,649	809	80,9	60,737	859	85,9	60,819	909	90,9	60,892	959	95,9	60,954
760	76	60,651	810	81	60,739	860	86	60,82	910	91	60,893	960	96	60,955
761	76,1	60,653	811	81,1	60,741	861	86,1	60,822	911	91,1	60,894	961	96,1	60,956
762	76,2	60,655	812	81,2	60,743	862	86,2	60,823	912	91,2	60,896	962	96,2	60,957
763	76,3	60,656	813	81,3	60,744	863	86,3	60,825	913	91,3	60,897	963	96,3	60,958
764	76,4	60,658	814	81,4	60,746	864	86,4	60,827	914	91,4	60,898	964	96,4	60,959
765	76,5	60,66	815	81,5	60,748	865	86,5	60,828	915	91,5	60,9	965	96,5	60,96
766	76,6	60,662	816	81,6	60,749	866	86,6	60,83	916	91,6	60,901	966	96,6	60,962
767	76,7	60,664	817	81,7	60,751	867	86,7	60,831	917	91,7	60,902	967	96,7	60,963

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
768	76,8	60,665	818	81,8	60,753	868	86,8	60,833	918	91,8	60,904	968	96,8	60,964
769	76,9	60,667	819	81,9	60,754	869	86,9	60,834	919	91,9	60,905	969	96,9	60,965
770	77	60,669	820	82	60,756	870	87	60,836	920	92	60,906	970	97	60,966
771	77,1	60,671	821	82,1	60,758	871	87,1	60,837	921	92,1	60,908	971	97,1	60,967
772	77,2	60,673	822	82,2	60,759	872	87,2	60,839	922	92,2	60,909	972	97,2	60,968
773	77,3	60,674	823	82,3	60,761	873	87,3	60,84	923	92,3	60,91	973	97,3	60,969
774	77,4	60,676	824	82,4	60,763	874	87,4	60,842	924	92,4	60,911	974	97,4	60,97
775	77,5	60,678	825	82,5	60,764	875	87,5	60,843	925	92,5	60,913	975	97,5	60,971
776	77,6	60,68	826	82,6	60,766	876	87,6	60,845	926	92,6	60,914	976	97,6	60,972
777	77,7	60,682	827	82,7	60,768	877	87,7	60,846	927	92,7	60,915	977	97,7	60,973
778	77,8	60,683	828	82,8	60,769	878	87,8	60,848	928	92,8	60,917	978	97,8	60,974
779	77,9	60,685	829	82,9	60,771	879	87,9	60,849	929	92,9	60,918	979	97,9	60,975
780	78	60,687	830	83	60,773	880	88	60,851	930	93	60,919	980	98	60,976
781	78,1	60,689	831	83,1	60,774	881	88,1	60,852	931	93,1	60,92	981	98,1	60,977
782	78,2	60,69	832	83,2	60,776	882	88,2	60,854	932	93,2	60,922	982	98,2	60,978
783	78,3	60,692	833	83,3	60,778	883	88,3	60,855	933	93,3	60,923	983	98,3	60,979
784	78,4	60,694	834	83,4	60,779	884	88,4	60,856	934	93,4	60,924	984	98,4	60,98
785	78,5	60,696	835	83,5	60,781	885	88,5	60,858	935	93,5	60,925	985	98,5	60,981

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
786	78,6	60,698	836	83,6	60,782	886	88,6	60,859	936	93,6	60,927	986	98,6	60,982
787	78,7	60,699	837	83,7	60,784	887	88,7	60,861	937	93,7	60,928	987	98,7	60,983
788	78,8	60,701	838	83,8	60,786	888	88,8	60,862	938	93,8	60,929	988	98,8	60,984
789	78,9	60,703	839	83,9	60,787	889	88,9	60,864	939	93,9	60,93	989	98,9	60,985
790	79	60,705	840	84	60,789	890	89	60,865	940	94	60,931	990	99	60,986
791	79,1	60,706	841	84,1	60,79	891	89,1	60,867	941	94,1	60,933	991	99,1	60,987
792	79,2	60,708	842	84,2	60,792	892	89,2	60,868	942	94,2	60,934	992	99,2	60,988
793	79,3	60,71	843	84,3	60,794	893	89,3	60,869	943	94,3	60,935	993	99,3	60,989
794	79,4	60,712	844	84,4	60,795	894	89,4	60,871	944	94,4	60,936	994	99,4	60,99
795	79,5	60,713	845	84,5	60,797	895	89,5	60,872	945	94,5	60,938	995	99,5	60,991
796	79,6	60,715	846	84,6	60,798	896	89,6	60,874	946	94,6	60,939	996	99,6	60,992
797	79,7	60,717	847	84,7	60,8	897	89,7	60,875	947	94,7	60,94	997	99,7	60,993
798	79,8	60,719	848	84,8	60,802	898	89,8	60,876	948	94,8	60,941	998	99,8	60,994
799	79,9	60,72	849	84,9	60,803	899	89,9	60,878	949	94,9	60,942	999	99,9	60,995

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1000	100	60,996	1050	105	61,035	1100	110	61,058	1150	115	61,066	1200	120	61,056
1001	100,1	60,997	1051	105,1	61,035	1101	110,1	61,059	1151	115,1	61,066	1201	120,1	61,056
1002	100,2	60,998	1052	105,2	61,036	1102	110,2	61,059	1152	115,2	61,066	1202	120,2	61,055
1003	100,3	60,998	1053	105,3	61,036	1103	110,3	61,059	1153	115,3	61,066	1203	120,3	61,055
1004	100,4	60,999	1054	105,4	61,037	1104	110,4	61,06	1154	115,4	61,066	1204	120,4	61,055
1005	100,5	61	1055	105,5	61,038	1105	110,5	61,06	1155	115,5	61,066	1205	120,5	61,054
1006	100,6	61,001	1056	105,6	61,038	1106	110,6	61,06	1156	115,6	61,066	1206	120,6	61,054
1007	100,7	61,002	1057	105,7	61,039	1107	110,7	61,061	1157	115,7	61,066	1207	120,7	61,053
1008	100,8	61,003	1058	105,8	61,039	1108	110,8	61,061	1158	115,8	61,066	1208	120,8	61,053
1009	100,9	61,004	1059	105,9	61,04	1109	110,9	61,061	1159	115,9	61,066	1209	120,9	61,052
1010	101	61,005	1060	106	61,041	1110	111	61,061	1160	116	61,065	1210	121	61,052
1011	101,1	61,006	1061	106,1	61,041	1111	111,1	61,062	1161	116,1	61,065	1211	121,1	61,052
1012	101,2	61,006	1062	106,2	61,042	1112	111,2	61,062	1162	116,2	61,065	1212	121,2	61,051
1013	101,3	61,007	1063	106,3	61,042	1113	111,3	61,062	1163	116,3	61,065	1213	121,3	61,051
1014	101,4	61,008	1064	106,4	61,043	1114	111,4	61,062	1164	116,4	61,065	1214	121,4	61,05
1015	101,5	61,009	1065	106,5	61,043	1115	111,5	61,062	1165	116,5	61,065	1215	121,5	61,05
1016	101,6	61,01	1066	106,6	61,044	1116	111,6	61,063	1166	116,6	61,065	1216	121,6	61,049
1017	101,7	61,011	1067	106,7	61,044	1117	111,7	61,063	1167	116,7	61,065	1217	121,7	61,049

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1018	101,8	61,011	1068	106,8	61,045	1118	111,8	61,063	1168	116,8	61,065	1218	121,8	61,048
1019	101,9	61,012	1069	106,9	61,046	1119	111,9	61,063	1169	116,9	61,064	1219	121,9	61,048
1020	102	61,013	1070	107	61,046	1120	112	61,064	1170	117	61,064	1220	122	61,047
1021	102,1	61,014	1071	107,1	61,047	1121	112,1	61,064	1171	117,1	61,064	1221	122,1	61,047
1022	102,2	61,015	1072	107,2	61,047	1122	112,2	61,064	1172	117,2	61,064	1222	122,2	61,046
1023	102,3	61,015	1073	107,3	61,048	1123	112,3	61,064	1173	117,3	61,064	1223	122,3	61,045
1024	102,4	61,016	1074	107,4	61,048	1124	112,4	61,064	1174	117,4	61,064	1224	122,4	61,045
1025	102,5	61,017	1075	107,5	61,048	1125	112,5	61,064	1175	117,5	61,063	1225	122,5	61,044
1026	102,6	61,018	1076	107,6	61,049	1126	112,6	61,065	1176	117,6	61,063	1226	122,6	61,044
1027	102,7	61,019	1077	107,7	61,049	1127	112,7	61,065	1177	117,7	61,063	1227	122,7	61,043
1028	102,8	61,019	1078	107,8	61,05	1128	112,8	61,065	1178	117,8	61,063	1228	122,8	61,043
1029	102,9	61,02	1079	107,9	61,05	1129	112,9	61,065	1179	117,9	61,062	1229	122,9	61,042
1030	103	61,021	1080	108	61,051	1130	113	61,065	1180	118	61,062	1230	123	61,041
1031	103,1	61,022	1081	108,1	61,051	1131	113,1	61,065	1181	118,1	61,062	1231	123,1	61,041
1032	103,2	61,022	1082	108,2	61,052	1132	113,2	61,065	1182	118,2	61,062	1232	123,2	61,04
1033	103,3	61,023	1083	108,3	61,052	1133	113,3	61,065	1183	118,3	61,062	1233	123,3	61,04
1034	103,4	61,024	1084	108,4	61,053	1134	113,4	61,065	1184	118,4	61,061	1234	123,4	61,039
1035	103,5	61,024	1085	108,5	61,053	1135	113,5	61,066	1185	118,5	61,061	1235	123,5	61,038

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1036	103,6	61,025	1086	108,6	61,053	1136	113,6	61,066	1186	118,6	61,061	1236	123,6	61,038
1037	103,7	61,026	1087	108,7	61,054	1137	113,7	61,066	1187	118,7	61,06	1237	123,7	61,037
1038	103,8	61,027	1088	108,8	61,054	1138	113,8	61,066	1188	118,8	61,06	1238	123,8	61,036
1039	103,9	61,027	1089	108,9	61,055	1139	113,9	61,066	1189	118,9	61,06	1239	123,9	61,036
1040	104	61,028	1090	109	61,055	1140	114	61,066	1190	119	61,06	1240	124	61,035
1041	104,1	61,029	1091	109,1	61,055	1141	114,1	61,066	1191	119,1	61,059	1241	124,1	61,034
1042	104,2	61,029	1092	109,2	61,056	1142	114,2	61,066	1192	119,2	61,059	1242	124,2	61,034
1043	104,3	61,03	1093	109,3	61,056	1143	114,3	61,066	1193	119,3	61,059	1243	124,3	61,033
1044	104,4	61,031	1094	109,4	61,056	1144	114,4	61,066	1194	119,4	61,058	1244	124,4	61,032
1045	104,5	61,031	1095	109,5	61,057	1145	114,5	61,066	1195	119,5	61,058	1245	124,5	61,032
1046	104,6	61,032	1096	109,6	61,057	1146	114,6	61,066	1196	119,6	61,058	1246	124,6	61,031
1047	104,7	61,033	1097	109,7	61,057	1147	114,7	61,066	1197	119,7	61,057	1247	124,7	61,03
1048	104,8	61,033	1098	109,8	61,058	1148	114,8	61,066	1198	119,8	61,057	1248	124,8	61,029
1049	104,9	61,034	1099	109,9	61,058	1149	114,9	61,066	1199	119,9	61,057	1249	124,9	61,029

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1250	125	61,028	1300	130	60,98	1350	135	60,913	1400	140	60,826	1450	145	60,719
1251	125,1	61,027	1301	130,1	60,979	1351	135,1	60,912	1401	140,1	60,824	1451	145,1	60,717
1252	125,2	61,026	1302	130,2	60,978	1352	135,2	60,91	1402	140,2	60,822	1452	145,2	60,715
1253	125,3	61,026	1303	130,3	60,977	1353	135,3	60,909	1403	140,3	60,82	1453	145,3	60,712
1254	125,4	61,025	1304	130,4	60,976	1354	135,4	60,907	1404	140,4	60,818	1454	145,4	60,71
1255	125,5	61,024	1305	130,5	60,975	1355	135,5	60,906	1405	140,5	60,816	1455	145,5	60,708
1256	125,6	61,023	1306	130,6	60,973	1356	135,6	60,904	1406	140,6	60,815	1456	145,6	60,705
1257	125,7	61,022	1307	130,7	60,972	1357	135,7	60,902	1407	140,7	60,813	1457	145,7	60,703
1258	125,8	61,022	1308	130,8	60,971	1358	135,8	60,901	1408	140,8	60,811	1458	145,8	60,7
1259	125,9	61,021	1309	130,9	60,97	1359	135,9	60,899	1409	140,9	60,809	1459	145,9	60,698
1260	126	61,02	1310	131	60,969	1360	136	60,898	1410	141	60,806	1460	146	60,696
1261	126,1	61,019	1311	131,1	60,967	1361	136,1	60,896	1411	141,1	60,804	1461	146,1	60,693
1262	126,2	61,018	1312	131,2	60,966	1362	136,2	60,894	1412	141,2	60,802	1462	146,2	60,691
1263	126,3	61,017	1313	131,3	60,965	1363	136,3	60,893	1413	141,3	60,8	1463	146,3	60,688
1264	126,4	61,017	1314	131,4	60,964	1364	136,4	60,891	1414	141,4	60,798	1464	146,4	60,686
1265	126,5	61,016	1315	131,5	60,962	1365	136,5	60,889	1415	141,5	60,796	1465	146,5	60,683
1266	126,6	61,015	1316	131,6	60,961	1366	136,6	60,888	1416	141,6	60,794	1466	146,6	60,681
1267	126,7	61,014	1317	131,7	60,96	1367	136,7	60,886	1417	141,7	60,792	1467	146,7	60,678

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1268	126,8	61,013	1318	131,8	60,959	1368	136,8	60,884	1418	141,8	60,79	1468	146,8	60,676
1269	126,9	61,012	1319	131,9	60,957	1369	136,9	60,883	1419	141,9	60,788	1469	146,9	60,673
1270	127	61,011	1320	132	60,956	1370	137	60,881	1420	142	60,786	1470	147	60,671
1271	127,1	61,01	1321	132,1	60,955	1371	137,1	60,879	1421	142,1	60,784	1471	147,1	60,668
1272	127,2	61,009	1322	132,2	60,953	1372	137,2	60,878	1422	142,2	60,782	1472	147,2	60,666
1273	127,3	61,008	1323	132,3	60,952	1373	137,3	60,876	1423	142,3	60,78	1473	147,3	60,663
1274	127,4	61,008	1324	132,4	60,951	1374	137,4	60,874	1424	142,4	60,777	1474	147,4	60,661
1275	127,5	61,007	1325	132,5	60,949	1375	137,5	60,872	1425	142,5	60,775	1475	147,5	60,658
1276	127,6	61,006	1326	132,6	60,948	1376	137,6	60,871	1426	142,6	60,773	1476	147,6	60,656
1277	127,7	61,005	1327	132,7	60,947	1377	137,7	60,869	1427	142,7	60,771	1477	147,7	60,653
1278	127,8	61,004	1328	132,8	60,945	1378	137,8	60,867	1428	142,8	60,769	1478	147,8	60,651
1279	127,9	61,003	1329	132,9	60,944	1379	137,9	60,865	1429	142,9	60,767	1479	147,9	60,648
1280	128	61,002	1330	133	60,943	1380	138	60,864	1430	143	60,764	1480	148	60,646
1281	128,1	61,001	1331	133,1	60,941	1381	138,1	60,862	1431	143,1	60,762	1481	148,1	60,643
1282	128,2	61	1332	133,2	60,94	1382	138,2	60,86	1432	143,2	60,76	1482	148,2	60,64
1283	128,3	60,999	1333	133,3	60,938	1383	138,3	60,858	1433	143,3	60,758	1483	148,3	60,638
1284	128,4	60,998	1334	133,4	60,937	1384	138,4	60,856	1434	143,4	60,756	1484	148,4	60,635
1285	128,5	60,997	1335	133,5	60,936	1385	138,5	60,855	1435	143,5	60,753	1485	148,5	60,633

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1286	128,6	60,996	1336	133,6	60,934	1386	138,6	60,853	1436	143,6	60,751	1486	148,6	60,63
1287	128,7	60,995	1337	133,7	60,933	1387	138,7	60,851	1437	143,7	60,749	1487	148,7	60,627
1288	128,8	60,994	1338	133,8	60,931	1388	138,8	60,849	1438	143,8	60,747	1488	148,8	60,625
1289	128,9	60,993	1339	133,9	60,93	1389	138,9	60,847	1439	143,9	60,745	1489	148,9	60,622
1290	129	60,991	1340	134	60,928	1390	139	60,845	1440	144	60,742	1490	149	60,62
1291	129,1	60,99	1341	134,1	60,927	1391	139,1	60,843	1441	144,1	60,74	1491	149,1	60,617
1292	129,2	60,989	1342	134,2	60,925	1392	139,2	60,842	1442	144,2	60,738	1492	149,2	60,614
1293	129,3	60,988	1343	134,3	60,924	1393	139,3	60,84	1443	144,3	60,735	1493	149,3	60,612
1294	129,4	60,987	1344	134,4	60,922	1394	139,4	60,838	1444	144,4	60,733	1494	149,4	60,609
1295	129,5	60,986	1345	134,5	60,921	1395	139,5	60,836	1445	144,5	60,731	1495	149,5	60,606
1296	129,6	60,985	1346	134,6	60,919	1396	139,6	60,834	1446	144,6	60,729	1496	149,6	60,603
1297	129,7	60,984	1347	134,7	60,918	1397	139,7	60,832	1447	144,7	60,726	1497	149,7	60,601
1298	129,8	60,983	1348	134,8	60,916	1398	139,8	60,83	1448	144,8	60,724	1498	149,8	60,598
1299	129,9	60,982	1349	134,9	60,915	1399	139,9	60,828	1449	144,9	60,722	1499	149,9	60,595

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1500	150	60,593	1550	155	60,447	1600	160	60,282	1650	165	60,101	1700	170	59,903
1501	150,1	60,59	1551	155,1	60,444	1601	160,1	60,279	1651	165,1	60,097	1701	170,1	59,899
1502	150,2	60,587	1552	155,2	60,44	1602	160,2	60,275	1652	165,2	60,093	1702	170,2	59,894
1503	150,3	60,584	1553	155,3	60,437	1603	160,3	60,272	1653	165,3	60,089	1703	170,3	59,89
1504	150,4	60,582	1554	155,4	60,434	1604	160,4	60,268	1654	165,4	60,085	1704	170,4	59,886
1505	150,5	60,579	1555	155,5	60,431	1605	160,5	60,265	1655	165,5	60,081	1705	170,5	59,882
1506	150,6	60,576	1556	155,6	60,428	1606	160,6	60,261	1656	165,6	60,078	1706	170,6	59,878
1507	150,7	60,573	1557	155,7	60,425	1607	160,7	60,258	1657	165,7	60,074	1707	170,7	59,874
1508	150,8	60,571	1558	155,8	60,422	1608	160,8	60,254	1658	165,8	60,07	1708	170,8	59,87
1509	150,9	60,568	1559	155,9	60,418	1609	160,9	60,251	1659	165,9	60,066	1709	170,9	59,865
1510	151	60,565	1560	156	60,415	1610	161	60,247	1660	166	60,062	1710	171	59,861
1511	151,1	60,562	1561	156,1	60,412	1611	161,1	60,244	1661	166,1	60,058	1711	171,1	59,857
1512	151,2	60,559	1562	156,2	60,409	1612	161,2	60,24	1662	166,2	60,054	1712	171,2	59,853
1513	151,3	60,556	1563	156,3	60,406	1613	161,3	60,237	1663	166,3	60,051	1713	171,3	59,849
1514	151,4	60,554	1564	156,4	60,402	1614	161,4	60,233	1664	166,4	60,047	1714	171,4	59,845
1515	151,5	60,551	1565	156,5	60,399	1615	161,5	60,23	1665	166,5	60,043	1715	171,5	59,84
1516	151,6	60,548	1566	156,6	60,396	1616	161,6	60,226	1666	166,6	60,039	1716	171,6	59,836
1517	151,7	60,545	1567	156,7	60,393	1617	161,7	60,222	1667	166,7	60,035	1717	171,7	59,832

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1518	151,8	60,542	1568	156,8	60,39	1618	161,8	60,219	1668	166,8	60,031	1718	171,8	59,828
1519	151,9	60,539	1569	156,9	60,386	1619	161,9	60,215	1669	166,9	60,027	1719	171,9	59,824
1520	152	60,537	1570	157	60,383	1620	162	60,212	1670	167	60,023	1720	172	59,819
1521	152,1	60,534	1571	157,1	60,38	1621	162,1	60,208	1671	167,1	60,019	1721	172,1	59,815
1522	152,2	60,531	1572	157,2	60,377	1622	162,2	60,204	1672	167,2	60,015	1722	172,2	59,811
1523	152,3	60,528	1573	157,3	60,373	1623	162,3	60,201	1673	167,3	60,011	1723	172,3	59,807
1524	152,4	60,525	1574	157,4	60,37	1624	162,4	60,197	1674	167,4	60,007	1724	172,4	59,802
1525	152,5	60,522	1575	157,5	60,367	1625	162,5	60,194	1675	167,5	60,004	1725	172,5	59,798
1526	152,6	60,519	1576	157,6	60,363	1626	162,6	60,19	1676	167,6	60	1726	172,6	59,794
1527	152,7	60,516	1577	157,7	60,36	1627	162,7	60,186	1677	167,7	59,996	1727	172,7	59,79
1528	152,8	60,513	1578	157,8	60,357	1628	162,8	60,183	1678	167,8	59,992	1728	172,8	59,785
1529	152,9	60,51	1579	157,9	60,354	1629	162,9	60,179	1679	167,9	59,988	1729	172,9	59,781
1530	153	60,507	1580	158	60,35	1630	163	60,175	1680	168	59,984	1730	173	59,777
1531	153,1	60,504	1581	158,1	60,347	1631	163,1	60,172	1681	168,1	59,98	1731	173,1	59,773
1532	153,2	60,501	1582	158,2	60,344	1632	163,2	60,168	1682	168,2	59,976	1732	173,2	59,769
1533	153,3	60,498	1583	158,3	60,34	1633	163,3	60,164	1683	168,3	59,972	1733	173,3	59,765
1534	153,4	60,495	1584	158,4	60,337	1634	163,4	60,161	1684	168,4	59,968	1734	173,4	59,762
1535	153,5	60,492	1585	158,5	60,334	1635	163,5	60,157	1685	168,5	59,964	1735	173,5	59,758

Продолжение таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1536	153,6	60,489	1586	158,6	60,33	1636	163,6	60,153	1686	168,6	59,96	1736	173,6	59,754
1537	153,7	60,486	1587	158,7	60,327	1637	163,7	60,149	1687	168,7	59,956	1737	173,7	59,75
1538	153,8	60,483	1588	158,8	60,323	1638	163,8	60,146	1688	168,8	59,952	1738	173,8	59,747
1539	153,9	60,48	1589	158,9	60,32	1639	163,9	60,142	1689	168,9	59,948	1739	173,9	59,743
1540	154	60,477	1590	159	60,317	1640	164	60,138	1690	169	59,943	1740	174	59,74
1541	154,1	60,474	1591	159,1	60,313	1641	164,1	60,135	1691	169,1	59,939	1741	174,1	59,736
1542	154,2	60,471	1592	159,2	60,31	1642	164,2	60,131	1692	169,2	59,935	1742	174,2	59,733
1543	154,3	60,468	1593	159,3	60,306	1643	164,3	60,127	1693	169,3	59,931	1743	174,3	59,73
1544	154,4	60,465	1594	159,4	60,303	1644	164,4	60,123	1694	169,4	59,927	1744	174,4	59,727
1545	154,5	60,462	1595	159,5	60,3	1645	164,5	60,119	1695	169,5	59,923	1745	174,5	59,723
1546	154,6	60,459	1596	159,6	60,296	1646	164,6	60,116	1696	169,6	59,919	1746	174,6	59,72
1547	154,7	60,456	1597	159,7	60,293	1647	164,7	60,112	1697	169,7	59,915	1747	174,7	59,717
1548	154,8	60,453	1598	159,8	60,289	1648	164,8	60,108	1698	169,8	59,911	1748	174,8	59,714
1549	154,9	60,45	1599	159,9	60,286	1649	164,9	60,104	1699	169,9	59,907	1749	174,9	59,711

Окончание таблицы Л.4

№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор	№ п.п.	Угол,°	Радиус-вектор
1750	175	59,708	1760	176	59,683	1770	177	59,663	1780	178	59,648	1790	179	59,64
1751	175,1	59,706	1761	176,1	59,68	1771	177,1	59,661	1781	178,1	59,647	1791	179,1	59,639
1752	175,2	59,703	1762	176,2	59,678	1772	177,2	59,659	1782	178,2	59,646	1792	179,2	59,639
1753	175,3	59,7	1763	176,3	59,676	1773	177,3	59,658	1783	178,3	59,645	1793	179,3	59,638
1754	175,4	59,697	1764	176,4	59,674	1774	177,4	59,656	1784	178,4	59,644	1794	179,4	59,638
1755	175,5	59,695	1765	176,5	59,672	1775	177,5	59,655	1785	178,5	59,643	1795	179,5	59,638
1756	175,6	59,692	1766	176,6	59,67	1776	177,6	59,653	1786	178,6	59,643	1796	179,6	59,637
1757	175,7	59,69	1767	176,7	59,668	1777	177,7	59,652	1787	178,7	59,642	1797	179,7	59,637
1758	175,8	59,687	1768	176,8	59,666	1778	177,8	59,651	1788	178,8	59,641	1798	179,8	59,637
1759	175,9	59,685	1769	176,9	59,664	1779	177,9	59,65	1789	178,9	59,64	1799	179,9	59,637
												1800	180	59,637

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Протокол расчета формы второго компрессионного кольца в свободном состоянии

(В сокращенном виде)

Исходные данные для расчета кольца:

Номинальный радиус нейтральной линии кольца Rn = 0,058462 м;

Момент инерции сечения кольца J = 0,000000000026614 м^4

Интенсивность ЭРД, Pcp = 444,733 Н/м;

Модуль упругости материала кольца E = 165 ГПа

Степень коррекции ЭРД z = 1,4

Таблица М.1 – Расчеты формы второго компрессионного кольца в свободном состоянии

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
0	449,5978	2,9558	0,060857	1,570796327	90	0	0	0,060857	58,4600
1	449,5875	2,9556	0,060857	1,587562832	90,99935	0,000009	0,00102	0,060857	58,4600
2	449,5578	2,955	0,060856	1,604329435	91,9987	0,000036	0,00204	0,060856	58,4600
3	449,5117	2,954	0,060855	1,621096237	92,99804	0,000079	0,00306	0,060855	58,4600
4	449,4542	2,9525	0,060854	1,637863337	93,99739	0,00014	0,004078	0,060854	58,4600
5	449,3917	2,9506	0,060852	1,654630836	94,99674	0,000218	0,005096	0,060852	58,4700
6	449,3321	2,9482	0,06085	1,671398835	95,99608	0,000313	0,006112	0,06085	58,4700
7	449,2837	2,9454	0,060848	1,688167433	96,99543	0,000425	0,007126	0,060848	58,4700
8	449,2554	2,9422	0,060845	1,704936729	97,99478	0,000553	0,008138	0,060845	58,4800

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
9	449,2557	2,9386	0,060842	1,721706825	98,99413	0,000699	0,009148	0,060842	58,4800
10	449,2924	2,9346	0,060839	1,738477819	99,99348	0,000862	0,010155	0,060839	58,4900
11	449,3719	2,9301	0,060835	1,75524981	100,99283	0,001041	0,011159	0,060835	58,4900
12	449,4992	2,9252	0,060831	1,772022897	101,99218	0,001238	0,012161	0,060831	58,5000
13	449,6771	2,9198	0,060826	1,788797179	102,99154	0,001451	0,013159	0,060826	58,5100
14	449,9064	2,9141	0,060822	1,805572754	103,9909	0,001681	0,014153	0,060821	58,5200
15	450,1853	2,9079	0,060816	1,82234972	104,99026	0,001927	0,015143	0,060816	58,5300
16	450,5099	2,9013	0,060811	1,839128172	105,98962	0,00219	0,016129	0,06081	58,5400
17	450,8737	2,8943	0,060805	1,855908209	106,98898	0,00247	0,01711	0,060804	58,5500
18	451,2687	2,8869	0,060799	1,872689926	107,98835	0,002766	0,018086	0,060798	58,5600
19	451,6848	2,8791	0,060792	1,889473419	108,98771	0,003078	0,019058	0,060791	58,5700
20	452,1112	2,8708	0,060785	1,906258782	109,98709	0,003407	0,020024	0,060784	58,5800
21	452,5359	2,8622	0,060778	1,92304611	110,98646	0,003752	0,020984	0,060777	58,6000
22	452,9473	2,8532	0,06077	1,939835495	111,98584	0,004113	0,021938	0,06077	58,6100
23	453,3341	2,8437	0,060762	1,956627032	112,98522	0,004489	0,022887	0,060762	58,6200
24	453,686	2,8339	0,060754	1,973420811	113,9846	0,004882	0,023828	0,060753	58,6400
25	453,9943	2,8237	0,060746	1,990216924	114,98399	0,005291	0,024763	0,060745	58,6600
26	454,2527	2,8131	0,060737	2,007015461	115,98338	0,005715	0,025691	0,060736	58,6700
27	454,457	2,8021	0,060727	2,023816512	116,98278	0,006154	0,026612	0,060726	58,6900

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
28	454,6058	2,7907	0,060718	2,040620166	117,98217	0,006609	0,027526	0,060717	58,7100
29	454,7006	2,779	0,060708	2,05742651	118,98158	0,00708	0,028431	0,060707	58,7200
30	454,7457	2,7668	0,060698	2,074235632	119,98098	0,007565	0,029328	0,060697	58,7400
31	454,7482	2,7543	0,060687	2,091047617	120,98039	0,008066	0,030218	0,060686	58,7600
32	454,7172	2,7415	0,060677	2,107862552	121,9798	0,008581	0,031098	0,060675	58,7800
33	454,6642	2,7283	0,060665	2,124680521	122,97922	0,009111	0,03197	0,060664	58,8000
34	454,6017	2,7147	0,060654	2,141501606	123,97864	0,009656	0,032833	0,060653	58,8200
35	454,5433	2,7008	0,060642	2,158325891	124,97806	0,010215	0,033686	0,060641	58,8400
36	454,5026	2,6865	0,06063	2,175153458	125,97749	0,010788	0,03453	0,060629	58,8700
37	454,4926	2,6719	0,060618	2,191984387	126,97692	0,011376	0,035364	0,060617	58,8900
38	454,5249	2,6569	0,060606	2,208818757	127,97636	0,011977	0,036189	0,060604	58,9100
39	454,6094	2,6416	0,060593	2,225656648	128,9758	0,012593	0,037003	0,060592	58,9300
40	454,7533	2,626	0,06058	2,242498136	129,97524	0,013222	0,037806	0,060579	58,9600
41	454,9607	2,61	0,060567	2,259343299	130,97469	0,013864	0,038599	0,060565	58,9800
42	455,2327	2,5937	0,060553	2,276192211	131,97414	0,01452	0,039381	0,060552	59,0100
43	455,5664	2,5771	0,060539	2,293044946	132,9736	0,015188	0,040151	0,060538	59,0300
44	455,9557	2,5602	0,060525	2,309901577	133,97306	0,01587	0,040911	0,060524	59,0600
45	456,391	2,543	0,060511	2,326762176	134,97252	0,016564	0,041658	0,060509	59,0800
46	456,8593	2,5255	0,060496	2,343626813	135,97199	0,017271	0,042394	0,060495	59,1100
47	457,3453	2,5077	0,060481	2,360495556	136,97146	0,01799	0,043118	0,06048	59,1400

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
48	457,8314	2,4896	0,060466	2,377368473	137,97093	0,018721	0,04383	0,060465	59,1600
49	458,2986	2,4712	0,060451	2,394245631	138,97041	0,019464	0,044529	0,060449	59,1900
50	458,7275	2,4526	0,060435	2,411127093	139,96989	0,020219	0,045216	0,060434	59,2200
51	459,099	2,4337	0,06042	2,428012924	140,96937	0,020986	0,045889	0,060418	59,2500
52	459,3949	2,4145	0,060404	2,444903184	141,96886	0,021763	0,04655	0,060402	59,2800
53	459,5991	2,395	0,060387	2,461797935	142,96835	0,022552	0,047197	0,060386	59,3100
54	459,6983	2,3753	0,060371	2,478697236	143,96784	0,023351	0,047831	0,060369	59,3300
55	459,6822	2,3554	0,060355	2,495601143	144,96733	0,024161	0,048452	0,060353	59,3600
56	459,5447	2,3352	0,060338	2,512509713	145,96683	0,024982	0,049058	0,060336	59,3900
57	459,2837	2,3148	0,060321	2,529423001	146,96633	0,025812	0,049651	0,060319	59,4200
58	458,9014	2,2942	0,060304	2,54634106	147,96583	0,026653	0,05023	0,060302	59,4500
59	458,4043	2,2733	0,060287	2,563263942	148,96533	0,027503	0,050794	0,060285	59,4900
60	457,8029	2,2523	0,060269	2,580191698	149,96483	0,028362	0,051344	0,060267	59,5200
61	457,1114	2,231	0,060252	2,597124377	150,96434	0,029231	0,051879	0,06025	59,5500
62	456,3469	2,2095	0,060234	2,614062027	151,96384	0,030109	0,052399	0,060232	59,5800
63	455,5288	2,1878	0,060216	2,631004695	152,96335	0,030995	0,052904	0,060214	59,6100
64	454,6778	2,1659	0,060198	2,647952425	153,96286	0,03189	0,053395	0,060196	59,6400
65	453,8149	2,1439	0,06018	2,664905263	154,96236	0,032793	0,05387	0,060178	59,6700
66	452,9609	2,1216	0,060161	2,681863249	155,96187	0,033704	0,05433	0,060159	59,7000
67	452,1346	2,0992	0,060143	2,698826426	156,96138	0,034623	0,054774	0,060141	59,7400

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
68	451,3525	2,0766	0,060124	2,715794833	157,96089	0,035549	0,055202	0,060122	59,7700
69	450,628	2,0539	0,060105	2,732768509	158,9604	0,036482	0,055615	0,060104	59,8000
70	449,9702	2,031	0,060087	2,749747491	159,95991	0,037422	0,056012	0,060085	59,8300
71	449,3838	2,0079	0,060068	2,766731814	160,95941	0,038368	0,056393	0,060066	59,8700
72	448,869	1,9847	0,060049	2,783721513	161,95892	0,039321	0,056757	0,060047	59,9000
73	448,4207	1,9614	0,06003	2,80071662	162,95843	0,04028	0,057106	0,060028	59,9300
74	448,0293	1,9379	0,06001	2,817717165	163,95793	0,041245	0,057438	0,060008	59,9600
75	447,6809	1,9143	0,059991	2,834723179	164,95744	0,042215	0,057754	0,059989	60,0000
76	447,3578	1,8906	0,059971	2,85173469	165,95694	0,043191	0,058053	0,05997	60,0300
77	447,0393	1,8668	0,059952	2,868751723	166,95644	0,044171	0,058335	0,05995	60,0600
78	446,7027	1,8429	0,059932	2,885774304	167,95594	0,045156	0,058601	0,05993	60,0900
79	446,3242	1,8189	0,059913	2,902802455	168,95544	0,046146	0,05885	0,059911	60,1200
80	445,8803	1,7948	0,059893	2,919836199	169,95494	0,04714	0,059082	0,059891	60,1600
81	445,3487	1,7706	0,059873	2,936875554	170,95444	0,048137	0,059297	0,059871	60,1900
82	444,7095	1,7463	0,059854	2,95392054	171,95393	0,049138	0,059495	0,059852	60,2200
83	443,9464	1,722	0,059834	2,970971172	172,95342	0,050142	0,059676	0,059832	60,2500
84	443,047	1,6976	0,059814	2,988027467	173,95291	0,051149	0,05984	0,059812	60,2900
85	442,0045	1,6731	0,059794	3,005089437	174,9524	0,052159	0,059986	0,059792	60,3200
86	440,817	1,6486	0,059774	3,022157096	175,95188	0,053171	0,060116	0,059772	60,3500
87	439,4887	1,6241	0,059754	3,039230453	176,95137	0,054185	0,060228	0,059752	60,3800

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
88	438,0295	1,5995	0,059734	3,056309518	177,95085	0,055201	0,060323	0,059732	60,4100
89	436,4545	1,5749	0,059714	3,073394299	178,95032	0,056219	0,0604	0,059712	60,4400
90	434,7838	1,5503	0,059694	3,090484802	179,9498	0,057237	0,06046	0,059692	60,4700
91	433,0415	1,5256	0,059674	3,107581033	180,94927	0,058257	0,060502	0,059672	60,5000
92	431,2547	1,5009	0,059654	3,124682995	181,94874	0,059277	0,060528	0,059652	60,5300
93	429,4522	1,4762	0,059634	3,14179069	182,9482	0,060297	0,060535	0,059632	60,5600
94	427,6636	1,4516	0,059614	3,158904121	183,94767	0,061317	0,060525	0,059612	60,5900
95	425,9173	1,4269	0,059594	3,176023286	184,94713	0,062337	0,060498	0,059592	60,6200
96	424,2398	1,4022	0,059574	3,193148185	185,94658	0,063357	0,060453	0,059572	60,6500
97	422,6538	1,3776	0,059554	3,210278815	186,94604	0,064375	0,060391	0,059552	60,6800
98	421,1774	1,3529	0,059534	3,227415171	187,94549	0,065392	0,060312	0,059532	60,7100
99	419,8232	1,3283	0,059514	3,244557248	188,94494	0,066408	0,060215	0,059512	60,7400
100	418,5971	1,3037	0,059495	3,261705039	189,94439	0,067422	0,0601	0,059493	60,7600
101	417,4985	1,2792	0,059475	3,278858536	190,94384	0,068434	0,059968	0,059473	60,7900
102	416,5196	1,2547	0,059455	3,296017728	191,94328	0,069443	0,059819	0,059453	60,8200
103	415,6459	1,2303	0,059435	3,313182606	192,94273	0,07045	0,059653	0,059434	60,8500
104	414,8565	1,2059	0,059416	3,330353155	193,94217	0,071453	0,059469	0,059414	60,8700
105	414,1252	1,1816	0,059396	3,347529362	194,94161	0,072454	0,059268	0,059394	60,9000
106	413,4217	1,1573	0,059377	3,364711211	195,94105	0,073451	0,05905	0,059375	60,9200
107	412,7126	1,1331	0,059357	3,381898684	196,94049	0,074443	0,058815	0,059356	60,9500

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
108	411,9633	1,1091	0,059338	3,399091762	197,93992	0,075432	0,058563	0,059336	60,9700
109	411,1398	1,0851	0,059319	3,416290425	198,93936	0,076416	0,058293	0,059317	61,0000
110	410,2101	1,0612	0,0593	3,433494651	199,9388	0,077396	0,058007	0,059298	61,0200
111	409,1463	1,0374	0,059281	3,450704417	200,93824	0,07837	0,057705	0,059279	61,0400
112	407,9263	1,0137	0,059262	3,467919697	201,93768	0,079339	0,057385	0,05926	61,0600
113	406,5348	0,9901	0,059243	3,485140465	202,93712	0,080302	0,057049	0,059241	61,0900
114	404,9651	0,9667	0,059224	3,502366694	203,93656	0,08126	0,056696	0,059222	61,1100
115	403,2195	0,9434	0,059206	3,519598354	204,936	0,082211	0,056327	0,059204	61,1300
116	401,3101	0,9202	0,059187	3,536835416	205,93544	0,083156	0,055941	0,059185	61,1500
117	399,259	0,8971	0,059169	3,554077848	206,93489	0,084094	0,055539	0,059167	61,1700
118	397,0974	0,8742	0,05915	3,571325617	207,93434	0,085024	0,055122	0,059149	61,1900
119	394,8657	0,8515	0,059132	3,58857869	208,93379	0,085948	0,054688	0,05913	61,2100
120	392,6115	0,8289	0,059114	3,605837031	209,93324	0,086864	0,054238	0,059113	61,2200
121	390,3885	0,8064	0,059096	3,623100606	210,9327	0,087772	0,053772	0,059095	61,2400
122	388,2545	0,7841	0,059079	3,640369377	211,93216	0,088672	0,053291	0,059077	61,2600
123	386,2693	0,762	0,059061	3,657643306	212,93163	0,089563	0,052795	0,059059	61,2700
124	384,4922	0,74	0,059044	3,674922354	213,9311	0,090446	0,052283	0,059042	61,2900
125	382,9797	0,7183	0,059026	3,692206482	214,93058	0,091319	0,051756	0,059025	61,3000
126	381,7831	0,6967	0,059009	3,709495647	215,93007	0,092184	0,051214	0,059008	61,3200
127	380,9462	0,6752	0,058992	3,726789808	216,92956	0,093039	0,050657	0,058991	61,3300

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
128	380,5033	0,654	0,058975	3,74408892	217,92906	0,093884	0,050085	0,058974	61,3500
129	380,4775	0,633	0,058959	3,761392938	218,92857	0,094719	0,049499	0,058957	61,3600
130	380,8791	0,6122	0,058942	3,778701816	219,92809	0,095544	0,048898	0,058941	61,3700
131	381,7052	0,5916	0,058926	3,796015506	220,92761	0,096358	0,048283	0,058924	61,3800
132	382,9393	0,5712	0,05891	3,813333958	221,92715	0,097162	0,047655	0,058908	61,3900
133	384,5514	0,551	0,058894	3,830657121	222,9267	0,097954	0,047012	0,058892	61,4000
134	386,4988	0,531	0,058878	3,847984941	223,92626	0,098736	0,046356	0,058877	61,4100
135	388,728	0,5113	0,058863	3,865317363	224,92583	0,099505	0,045686	0,058861	61,4100
136	391,1761	0,4919	0,058847	3,882654331	225,92542	0,100264	0,045003	0,058846	61,4200
137	393,7738	0,4727	0,058832	3,899995785	226,92501	0,10101	0,044307	0,058831	61,4300
138	396,4476	0,4538	0,058817	3,917341664	227,92463	0,101744	0,043599	0,058816	61,4300
139	399,1235	0,4351	0,058803	3,934691906	228,92425	0,102465	0,042877	0,058801	61,4400
140	401,73	0,4168	0,058788	3,952046446	229,92389	0,103174	0,042143	0,058787	61,4400
141	404,2015	0,3987	0,058774	3,969405217	230,92354	0,10387	0,041397	0,058773	61,4500
142	406,4815	0,3809	0,05876	3,986768149	231,92321	0,104553	0,040639	0,058759	61,4500
143	408,5256	0,3634	0,058746	4,004135174	232,92289	0,105223	0,03987	0,058745	61,4500
144	410,3044	0,3463	0,058733	4,021506218	233,92259	0,105879	0,039088	0,058731	61,4500
145	411,8052	0,3294	0,05872	4,038881207	234,92231	0,106522	0,038296	0,058718	61,4500
146	413,034	0,3129	0,058707	4,056260066	235,92204	0,107151	0,037492	0,058705	61,4500
147	414,0161	0,2968	0,058694	4,073642717	236,92178	0,107766	0,036678	0,058693	61,4500

Продолжение таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
148	414,7966	0,2809	0,058681	4,091029083	237,92154	0,108366	0,035853	0,05868	61,4500
149	415,4394	0,2655	0,058669	4,108419083	238,92132	0,108952	0,035018	0,058668	61,4400
150	416,0257	0,2503	0,058657	4,125812635	239,92111	0,109523	0,034172	0,058656	61,4400
151	416,6524	0,2355	0,058646	4,143209659	240,92092	0,11008	0,033317	0,058645	61,4400
152	417,4286	0,2211	0,058635	4,160610069	241,92074	0,110622	0,032452	0,058634	61,4300
153	418,472	0,2071	0,058624	4,178013782	242,92058	0,111148	0,031578	0,058623	61,4300
154	419,9055	0,1934	0,058613	4,195420711	243,92044	0,111659	0,030695	0,058612	61,4200
155	421,8518	0,1801	0,058603	4,212830769	244,92031	0,112155	0,029804	0,058602	61,4100
156	424,4294	0,1672	0,058592	4,230243868	245,9202	0,112635	0,028903	0,058591	61,4000
157	427,7474	0,1547	0,058583	4,247659916	246,9201	0,1131	0,027995	0,058582	61,3900
158	431,9008	0,1426	0,058573	4,265078823	247,92002	0,113548	0,027078	0,058572	61,3800
159	436,9662	0,1308	0,058564	4,282500495	248,91996	0,113981	0,026154	0,058563	61,3700
160	442,9978	0,1195	0,058555	4,299924836	249,91991	0,114397	0,025223	0,058554	61,3600
161	450,0237	0,1087	0,058547	4,317351749	250,91988	0,114797	0,024284	0,058546	61,3500
162	458,0436	0,0982	0,058539	4,334781133	251,91986	0,115181	0,023339	0,058538	61,3300
163	467,0266	0,0882	0,058531	4,352212886	252,91985	0,115548	0,022387	0,05853	61,3200
164	476,9106	0,0787	0,058523	4,369646903	253,91986	0,115898	0,021428	0,058523	61,3000
165	487,6023	0,0696	0,058516	4,387083075	254,91988	0,116232	0,020464	0,058516	61,2900
166	498,9785	0,0611	0,05851	4,40452129	255,91991	0,116549	0,019494	0,058509	61,2700
167	510,888	0,053	0,058503	4,421961434	256,91996	0,116849	0,018519	0,058503	61,2500

Окончание таблицы М.1

Угол точки	Давление	Изгибающий момент	Радиус кривизны	Угол в рад.	угол в град.	Координаты		Радиус кривизны	Радиус-вектор, мм
						X(i)	Y(i)		
168	523,1551	0,0454	0,058497	4,439403388	257,92001	0,117132	0,017538	0,058497	61,2300
169	535,5834	0,0384	0,058492	4,456847031	258,92007	0,117397	0,016553	0,058491	61,2200
170	547,9609	0,0319	0,058487	4,474292237	259,92014	0,117646	0,015564	0,058486	61,2000
171	560,0649	0,026	0,058482	4,491738878	260,92021	0,117877	0,01457	0,058482	61,1800
172	571,6687	0,0207	0,058478	4,509186821	261,92028	0,118091	0,013572	0,058478	61,1500
173	582,5471	0,0159	0,058474	4,526635931	262,92036	0,118287	0,012571	0,058474	61,1300
174	592,4831	0,0118	0,058471	4,54408607	263,92043	0,118466	0,011566	0,058471	61,1100
175	601,2738	0,0082	0,058468	4,561537096	264,9205	0,118627	0,010559	0,058468	61,0800
176	608,7365	0,0053	0,058466	4,578988865	265,92056	0,118771	0,009549	0,058466	61,0600
177	614,7136	0,003	0,058464	4,596441232	266,92062	0,118897	0,008536	0,058464	61,0300
178	619,0775	0,0014	0,058463	4,613894049	267,92066	0,119005	0,007521	0,058463	61,0100
179	621,7343	0,0004	0,058462	4,631347166	268,92068	0,119095	0,006505	0,058462	60,9800
180	622,6266	0	0,058462	4,648800434	269,92069	0,119168	0,005487	0,058462	60,9500

Величина замка кольца в свободном состоянии по нейтральной линии = 10,975 мм

Величина овальности кольца в гибкой ленте = 0,045151 мм

Точное значение упругости = 24,392676 Н

Диаметр обточки в плоскости оси спинка-замок = 123,22 мм

Диаметр обточки в плоскости, перпендикулярной оси спинка-замок = 124,95 мм

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Акт внедрения

Общество с ограниченной ответственностью
«Производство поршневых колец»

«PRODUCTION PISTON RINGS» LLC

199406, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Шевченко, д. 39, лит. А, пом. 45, тел. (812) 356-80-71 ИНН 7801669452

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «ППК»
_____ К.А. Капустин
_____ 2026 г.

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы Никитина Павла Дмитриевича, выполненной на тему “Методика оптимизации контактно-силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра”

Комиссия в составе:
Председатель: Заместителя директора по производству Туроверова Сергея Антоновича
Члена комиссии: Главного технолога Максимова Павла Александровича
составила настоящий акт в том, что результаты диссертационного исследования Никитина Павла Дмитриевича, выполненного на тему: «МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ КОНТАКТНО-СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ И ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности специальность 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели (технические науки), внедрены и активно используются в ООО «ППК» при выполнении проектно-конструкторских работ.
А именно, в условиях предприятия используются:
1. Методика расчета формы поршневых колец в свободном состоянии.
2. Методика оценки контактно силового взаимодействия поршневых колец и гильзы цилиндра с учетом возможных деформаций последней и оцени ресурса.
Использование предложенных решений позволяет предприятию самостоятельно осваивать выпуск новой продукции и отказаться от покупки технологий у китайских партнеров.

Настоящий акт составлен для представления в диссертационный совет.

Председатель комиссии: _____ / Туроверов С.А. /

Член комиссии: _____ / Максимов П.А. /