

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра автоматизации и роботизации в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование кинематики и динамики автоматизированного триботехнического комплекса

УДК 621.2.082.18

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Барышев Иван Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдахина О.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль
подготовки «Конструирование технологического оборудования»
ИК ТПУ, кафедра АРМ, руководитель ООП Крауиньш П. Я.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие естественнонаучные и математические знания</i> для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современного машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных инженерных задач</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п.2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	<i>Разрабатывать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и модельные <i>исследования</i> в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-16.). Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12,13,14). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

P8	<i>Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности</i>	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	<i>Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.</i>	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	<i>Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов, компетентность в вопросах устойчивого развития.</i>	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности</i>	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт *Кибернетики*
Направление подготовки *151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»*
Кафедра *«Автоматизация и роботизация в машиностроении»*

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ С.Е. Буханченко

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ41	Барышев Иван Юрьевич

Тема работы:

Исследование кинематики и динамики автоматизированного триботехнического комплекса

Утверждена приказом директора

Срок сдачи студентом выполненной работы:

06.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Автоматизированный триботехнический комплекс. 2. Нагрузениетрибосопряжения: силовое и скоростное. 3. Типы силового нагружения трибосопряжений: поступательный гидравлический. 4. Режим работы системы нагружения трибосопряжения – статический или
--------------------------	---

	циклический переменный по произвольному закону во времени. 5. Типы скоростного нагружения трибосопряжений: вращательный или возвратно-вращательный (качательный) от привода постоянного тока. 6. Режим работы привода вращения контртела – статический, циклический переменный или знакопеременный по произвольному закону во времени. 7. Усилие нормального нагружения – $0 \dots 5000$ Н; 8. Частота вращения контртела – ± 2000 об/мин. 9. Крутящий момент – $0 \dots 3,5$ Нм.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Разработка технического задания на проведение исследования кинематики и динамики автоматизированного триботехнического комплекса. 2. Аналитический обзор нагружений трибосопряжений современных технических систем. 3. Построение математической модели системы нагружения трибосопряжения автоматизированного триботехнического комплекса. 4. Теоретическое исследование математической модели системы нагружения трибосопряжения автоматизированного триботехнического комплекса. 5. Разработка методики исследования режимов нагружения трибосопряжения на автоматизированном триботехническом комплексе. 6. Испытание трибосопряжения при различных режимах нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе. 7. Сравнительный анализ теоретических и практических результатов испытаний.
Перечень графического материала	1. Аналитический обзор нагружений трибосопряжений современных технических систем – <i>лист А1</i>. 2. Принципиальная схема автоматизированного триботехнического комплекса – <i>лист А1</i>. 3. Сборочный чертеж рабочей камеры с приводом вращения и нагружения трибосопряжения – <i>лист А1</i>. 4. Математическая модель системы нагружения трибосопряжения автоматизированного триботехнического комплекса – <i>лист А1</i>. 5. Частотные характеристики работы автоматизированного триботехнического комплекса – <i>3 листа А1</i>; 6. Методика исследования режимов нагружения

	на автоматизированном триботехническом комплексе – <i>лист А1</i> . 7. Графические зависимости триботехнических испытаний на автоматизированном триботехническом комплексе при различных режимах нагружения– <i>3листа А1</i> . 8. Сравнительный анализ теоретических и практических результатов испытаний <i>3листа А1</i> . 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение – <i>лист А1</i> . 10. Социальная ответственность – <i>лист А1</i> .
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	
Введение	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

01.09.2014

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Барышев Иван Юрьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ41	Барышеву Ивану Юрьевичу

Институт	Кибернетики	Кафедра	АРМ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско – технологическое обеспечение машиностроительных производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов принять как среднюю по г.Томску, заработную плату принять по окладу ТПУ
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные организации принять 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Потенциальные потребители результатов исследования, Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ, Определение возможных альтернатив проведения научных исследований
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Структура работ в рамках научного исследования, Определение трудоемкости выполнения работ, Разработка графика проведения научного исследования, Расчет материальных затрат НТИ, Основная заработная плата, Дополнительная заработная плата, Отчисления во внебюджетные фонды, Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджета НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдахина О.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Барышев Иван Юрьевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт	Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность)	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Уровень образования	Магистр
Кафедра	Автоматизации и роботизации в машиностроении
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ41	Барышеву Ивану Юрьевичу

Тема работы:

Исследование кинематики и динамики автоматизированного триботехнического комплекса	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность» и вопросы, подлежащие разработке:	1. <i>Ценность научного исследования (разработки) для производства и общества;</i> 2. <i>Социальная ответственность предприятия в рамках проведения научного исследования.</i>
---	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	К. Х. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Барышев Иван Юрьевич		

РЕФЕРАТ

Диссертация содержит 106 страниц, 44 рисунка, 37 таблиц, 37 источников.

Ключевые слова: кинематика, динамика, трибосопряжение, триботехника, трение, автоматическое управление.

Цель работы: увеличение достоверности воспроизведения законов нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе.

Объектом исследования является системы скоростного и силового нагружения автоматизированного триботехнического комплекса.

Предметом исследования является процесс воспроизведения кинематических и динамических законов скоростного и силового нагружения.

В результате проделанной работы была составлена и апробирована математическая модель автоматизированного триботехнического комплекса.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Аналитический обзор нагружений трибосопряжений современных технических систем	4
1.1. Классификация законов нагружения	5
1.1.1. Постоянные законы	6
1.1.2. Пульсационный закон	7
1.1.3. Знакопеременные законы	9
Выводы по главе	11
2. Построение математической модели системы нагружения трибосопряжения автоматизированного триботехнического комплекса.	14
2.1. Построение математической модели системы скоростного нагружения	15
2.2. Построение математической модели системы силового нагружения	17
2.3. Теоретическое исследование математической модели	20
2.3.1. Методика проведения исследования математической модели	21
2.3.2. Исследование математической модели	22
Выводы по главе	28
3. Испытание трибосопряжения при различных режимах нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе	29
3.1. Методика проведения испытания трибосопряжения на автоматизированном триботехническом комплексе	29
3.2. Испытание трибосопряжения при различных режимах нагружения	30
4. Сравнительный анализ теоретических и практических результатов испытаний	54
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
5.1. Общие сведения о научном исследовании	56
6.2. Потенциальные потребители результатов исследования	57
6.3. Анализ конкурентных технических решений	58
6.4. SWOT-анализ	58
6.5. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	61
6.6. Планирование научно-исследовательских работ	62
6.6.1. Структура работ в рамках научного исследования	62
6.6.2. Определение трудоемкости выполнения работ	62
6.6.3. Разработка графика проведения научного исследования	64
6.6.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	66

6.6.5. Расчет материальных затрат НТИ	67
6.6.6. Основная заработная плата исполнителей темы	68
6.6.7. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	70
6.6.8. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	71
6.6.9. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.	72
6.6.10. Накладные расходы	73
6.6.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	74
6.7. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	75
7. Социальная ответственность	79
7.1. Анализ установки с точки зрения безопасности жизнедеятельности	79
7.2. Организация рабочего места	79
7.3. Требования к производственным помещениям	80
7.4. Микроклимат	81
7.5. Освещение на рабочем месте	82
7.6. Требования к организации освещения производственных помещений и рабочих мест	83
7.7. Требования оборудования рабочих мест, предназначенных для работы с вычислительной техникой	84
7.8. Анализ пожаро-взрывоопасности	85
7.9. Средства пожаротушения	85
7.10. Организационные меры по обеспечению пожаробезопасности	86
7.11. Мероприятия противопожарной профилактики	86
7.12. Медико–профилактическое обслуживание работников и проведение медицинских осмотров	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	89
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	92
Приложение А	93

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы износа и трения исследуются уже на протяжении нескольких столетий. В последнее время внимание к ним заметно возросло в связи с автоматизацией производственных процессов, опасностью энергетического кризиса и истощением материальных ресурсов [2, 5, 7, 20, 34, 36]. Большой вклад в исследование данных проблем внесли отечественные ученые (Крагельский И.В., Хрущев М.М., Чичинадзе А.В., Кершенбаум В.С., Гаркунов Д.Н., Кузнецов В.Д., Ребиндер П.А., Решето Д.Н., Свириденко А.И., Буше Н.А., Виноградов Ю.М., Буяновский И.А., Браун Э.Д., Гинзбург А.Г.).

На данный момент нарастающий интерес к изучению трения и износа в узлах деталей машин определяется двумя тенденциями: во-первых, попыткой упрощения или даже отказа от нескольких традиционных механических систем с соответствующим уменьшением числа узлов трения в их конструкции и, во-вторых, непрерывным повышением требований к машинам и механизмам [26].

Первая тенденция отчетливо проявляется в отказе от механических систем, например при распределении энергии, вырабатываемой первичным двигателем, а также при регулировании режима работы машин и механизмов.

Вторая тенденция обусловлена главным образом расширением области применения машин, а также стремлением всячески повысить их эффективность и надежность. Интенсивный переход к более тяжелым и необычным условиям эксплуатации технических устройств в сочетании с ростом их стоимости и ответственности выполняемой задачи неизбежно приводит к ситуации, когда новая машина, работая в напряженных и малоизученных условиях, должны, тем не менее, обеспечить исключительно высокую надежность.

Это в полной мере относится к узлам трения, поскольку 85...90% всех деталей машин выходит из строя из-за износа [12, 21], а расходы на их восстановление огромны, причем они ежегодно возрастают и составляют 30...40% стоимости новой машины [22].

1. Аналитический обзор нагружений трибосопряжений современных технических систем

Одной из важных проблем достоверности испытаний является выбор режима и методики, обеспечивающих максимально приближение к реальным процессам трения. При этом необходимо, изменяя управляемые параметры, в данном случае нормальную нагрузку на пару трения и скорость вращения контртела, не исказить физическую картину реального процесса испытания.

Нагрузки на детали машин могут быть постоянными и переменными по времени. В деталях, у работающих машин, постоянные нагрузки встречаются редко, только в покое от собственного веса.

Нагрузки могут изменяться плавно или прикладываться мгновенно, так называемые динамические. Причины переменности нагрузок в машинах являются:

- неравномерность рабочего процесса;
- внутренняя динамика из-за неуравновешенности, а также погрешности изготовления детали и сборки узлов;
- неравномерность и переменность процесса рабочего органа машины (например, в строгальных, долбежных, протяжных станках, молотах и прессах, грузоподъемных машинах).
- переменность сил сопротивления и динамические воздействия при случайных перегрузках (универсальные металлорежущие токарные станки, резательные машины пищевых продуктов, специальные технологические машины, подверженные на выполнение различных операций с периодической настройкой). В общем случае переменными являются как амплитуды, так и средние значения нагрузок и напряжений.

Многие детали машин или их элементы, такие, как валы, подшипники, уплотнения зубья зубчатых колес и другие, работают в условиях, при которых возникающие в них напряжения периодические изменяют свое значение или значение и знак.

По характеру изменения во времени нагрузки в машинах делят на статические и динамические.

Характеристикой напряженности детали является закон нагружения – совокупность последовательных значений напряжений за один период при регулярном нагружении. На рисунке 1.1 представлены примеры различных форм циклов нагружений.

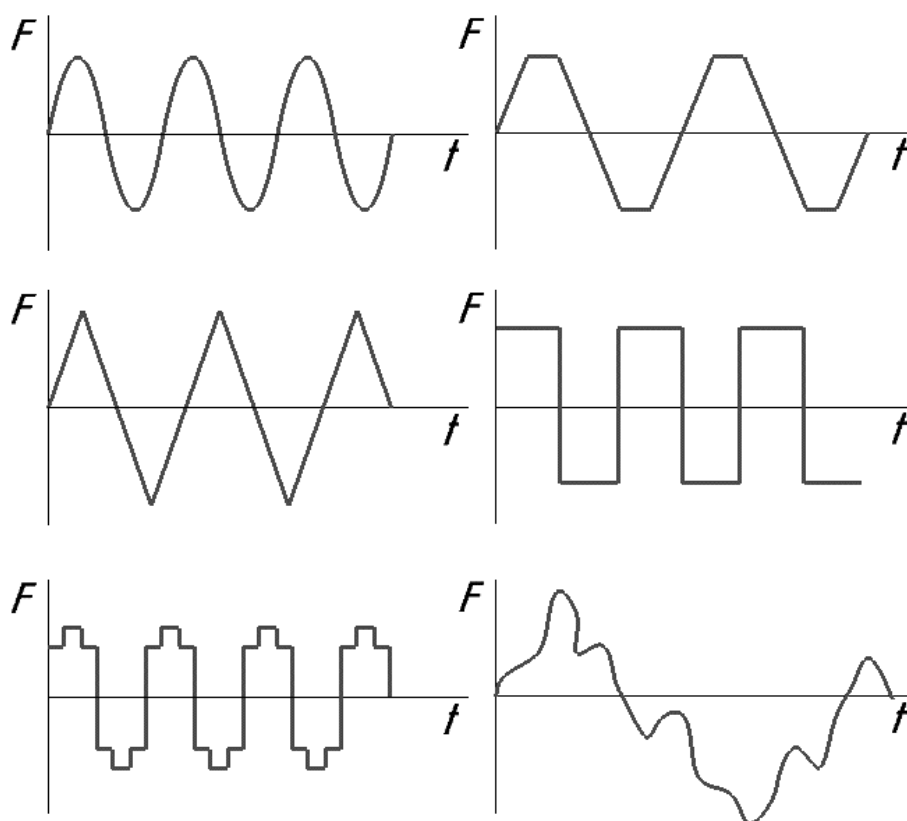


Рисунок 1.1. Различные формы законов нагружений.

1.1. Классификация законов нагружения



Рисунок 1.2. Классификация законов нагружения.

1.1.1. Постоянные законы

Статические законы, при которых нагрузка действует достаточно продолжительное время и скорость изменения (нарастания или убывания) значительно меньше скорости распространения деформации в конструкции.

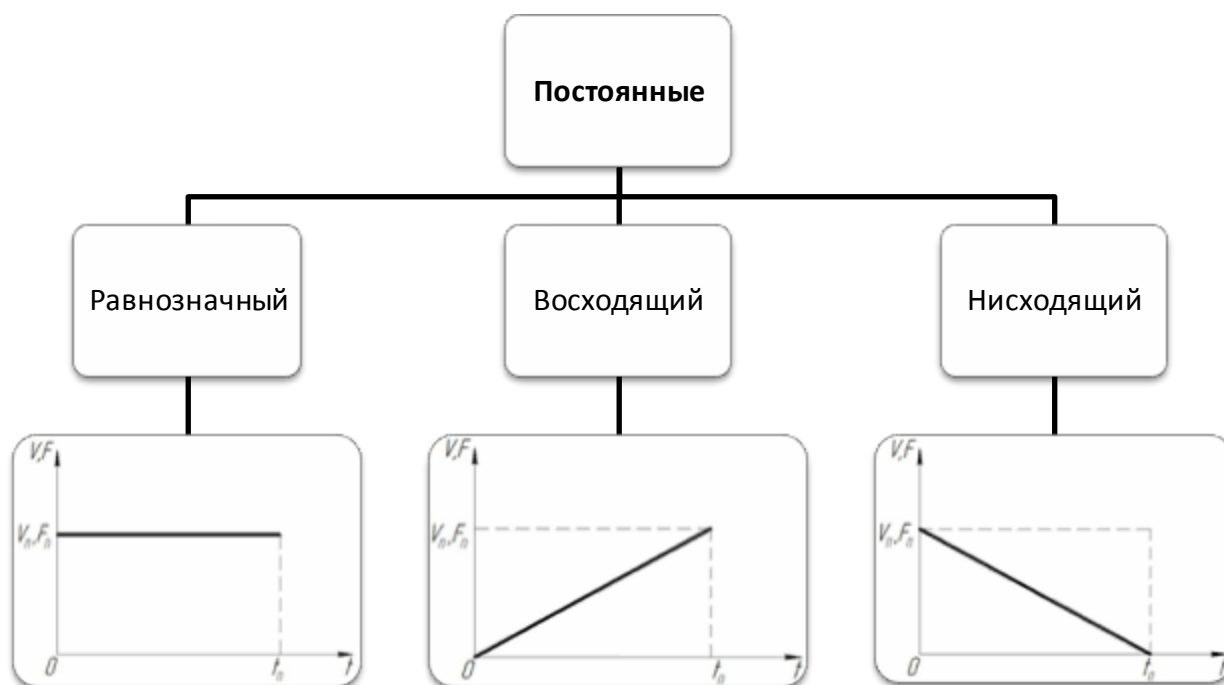


Рисунок 1.3. Структурная схема постоянных законов нагружения.

Особенностью равнозначного закона является постоянно действующая, не изменяющаяся по величине, нагрузка. Данный закон обычно проявляется в работе узлов трения гидравлических ножниц, захватных механизмов промышленных роботов, различных гидравлических, пневматических и механических подъемных механизмах.

При действии восходящего закона нагрузка возрастает от нуля до максимума с постоянной интенсивностью. Проявление данного закона, замечается в разгонных механизмах испытательного оборудования на принципе работы требушета. Тормозная система ABS работает по такому принципу. В случае температурного нагружения, такой закон проявляется в работе тормозных систем, например, дисковые тормоза автомобиля.

Нисходящий закон является обратным восходящему, нагружение стартует с максимальной величины и сводится к нулю с постоянной интенсивностью.

1.1.2. Пульсационный закон

Динамический закон (также имеет название отнулевой) при котором нагрузка изменяются от начального значения до любого положительного значения и обратно.

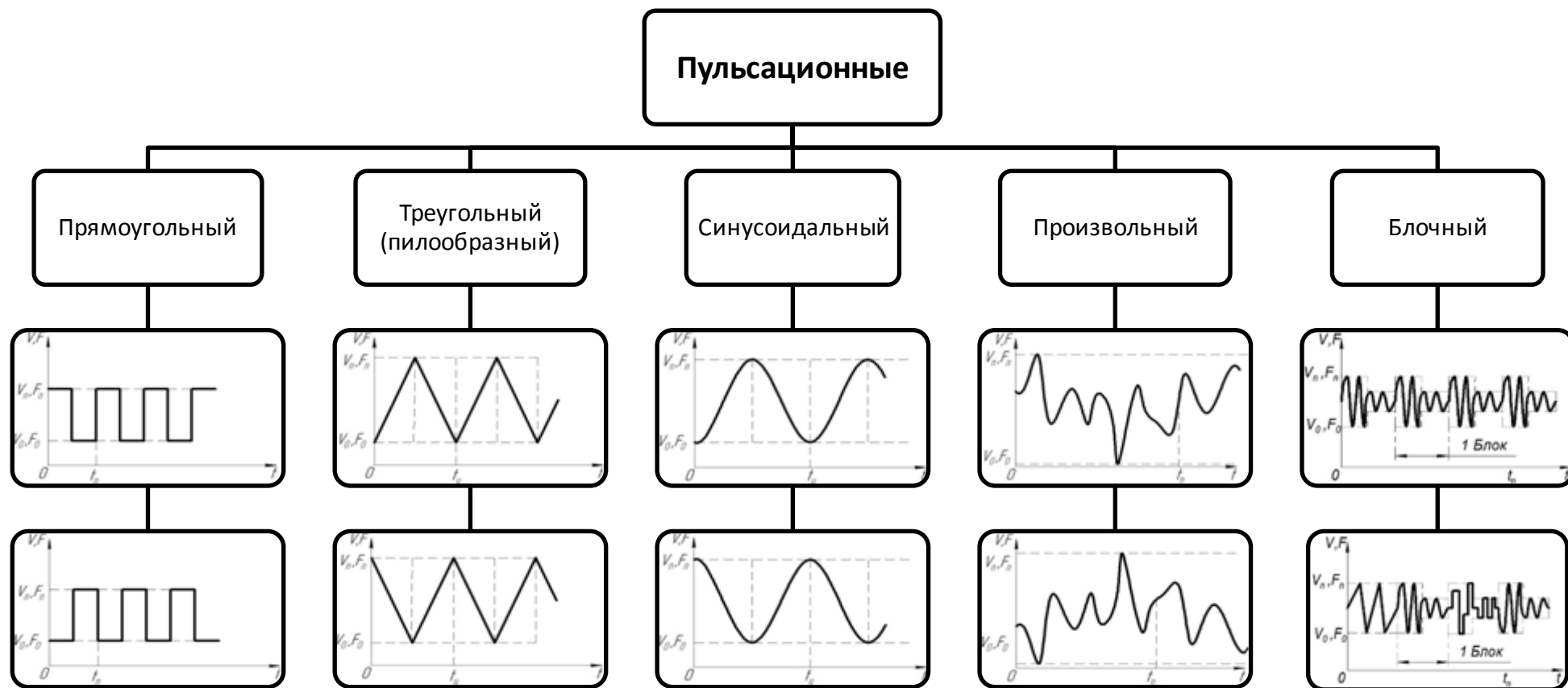


Рисунок 1.4. Структурная схема пульсационных законов нагружения

Особенностью прямоугольного закона регулирования нагрузки является ступенчатое изменение нагрузки, и фиксирование ее, на заданное время до следующего изменения. Действие этого закона циклично. Применение данного закона находят в механизмах электромеханических релейных захватах, зажимах.

При действии треугольного (пилообразного) закона нагрузка возрастает (убывает) с определенной интенсивностью до заданного значения, а потом убывает (возрастает) с неизменной интенсивностью до начального значения и так цикл за циклом. Находит применение в различных кулачковых механизмах.

Синусоидальный закон является самым ярким примером пульсационных законов и его действие можно описать следующим образом: нагрузка возрастает и убывает по синусоиде (косинусоиде). Такой закон проявляется в работе зубьев зубчатых колес, работающих в одну сторону, штоков, толкателей и шатунов тихоходных машин, малонагруженных при обратном ходе.

Произвольный закон внешне не напоминает ни одну из геометрических фигур, при его действии нагружение абсолютно произвольно, то возрастает, то убывает. Этот закон находит применение практически во всех сложных машинах и механизмах, например, в двигателях внутреннего сгорания, коробках скоростей, редукторах, гидравлических и пневматических насосах.

Блочный закон является последовательностью блоков нагружения, которые могут состоять, как из одного и того же закона, так и из нескольких разных, такой закон редко проявляется в работе реальных машин и механизмов и применяется в основном на испытательных машинах и стендах.

1.1.3. Знакопеременные законы

Динамические законы, при которых, нагрузка меняет свое значение, а также направление действия, то есть, на графиках может находиться как в положительной плоскости, так и в отрицательной, например, значение изгиба при вращающихся валах.

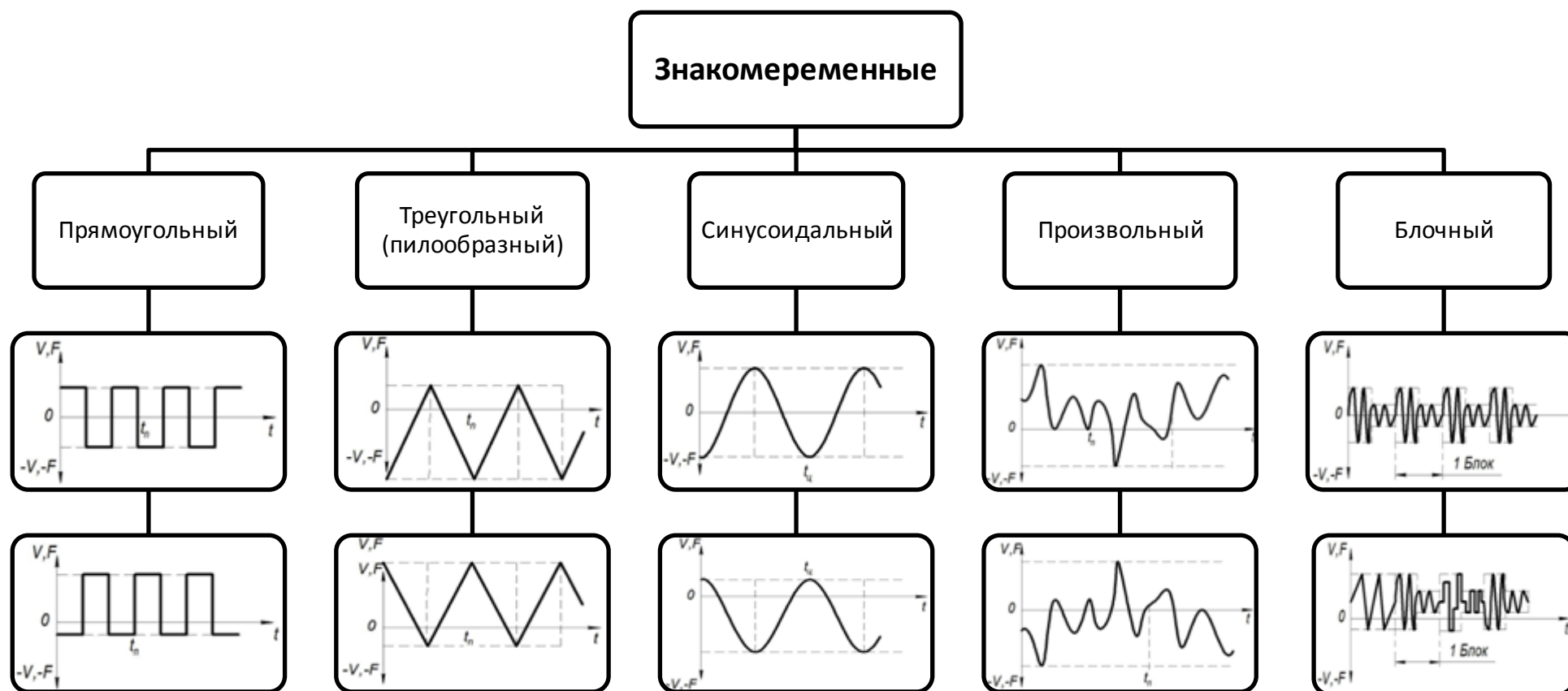


Рисунок 1.5. Структурная схема знакопеременных законов нагружения

Примеры проявления знакопеременных законов:

Прямоугольный закон: электромеханические релейные захваты, зажимы.

Треугольный (пилообразный): Различные кулачковые механизмы

Синусоидальный закон: Такой закон проявляется в работе зубьев зубчатых колес, работающих в одну сторону, штоков, толкателей и шатунов тихоходных машин, малонагруженных при обратном ходе.

Произвольный закон: Этот закон находит применение практически во всех сложных машинах и механизмах, например, в двигателях внутреннего сгорания, коробках скоростей, редукторах, гидравлических и пневматических насосах.

Блочный закон: применяются в основном на испытательных машинах и стендах.

Выводы по главе

Сделав анализ всех возможных законов нагружения можно сделать вывод, что конструкция и принцип работы автоматизированного триботехнического комплекса позволяет воспроизводить постоянные и пульсационные законы нагружения. Для испытаний в рамках выполнения выпускной квалификационной работы были приняты условия работы реальных механизмов, таких как кривошипно-шатунный механизм двигателя внутреннего сгорания автомобиля (рис. 1.6, рис. 1.7) и пары трения полимерного торцевого уплотнения и вала гидравлического насоса (рис. 1.9, рис. 1.10)

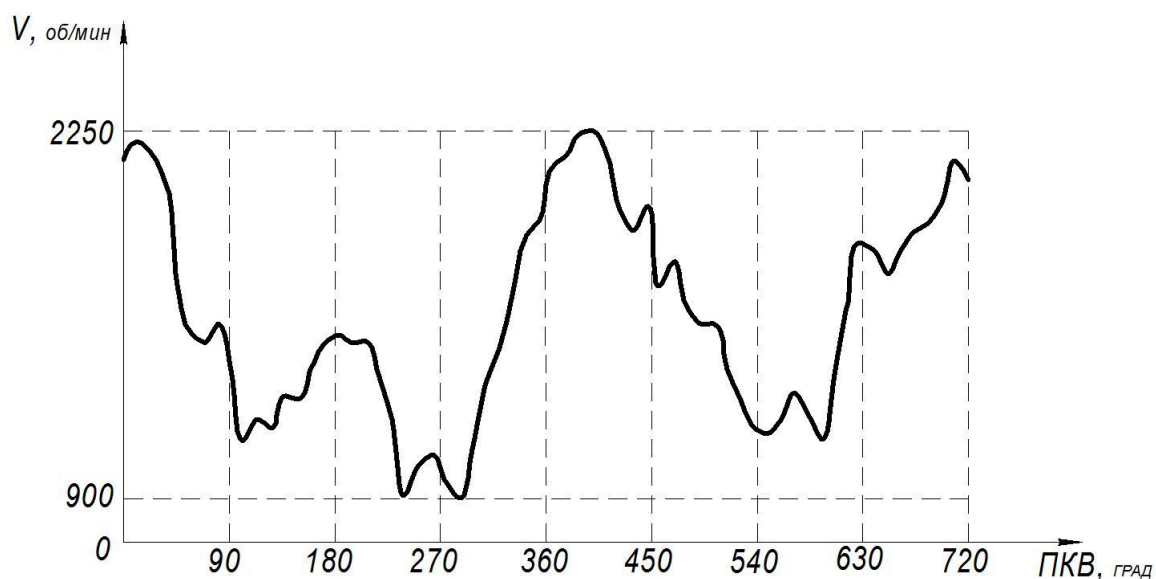


Рисунок 1.6. Закон скоростного нагружения.

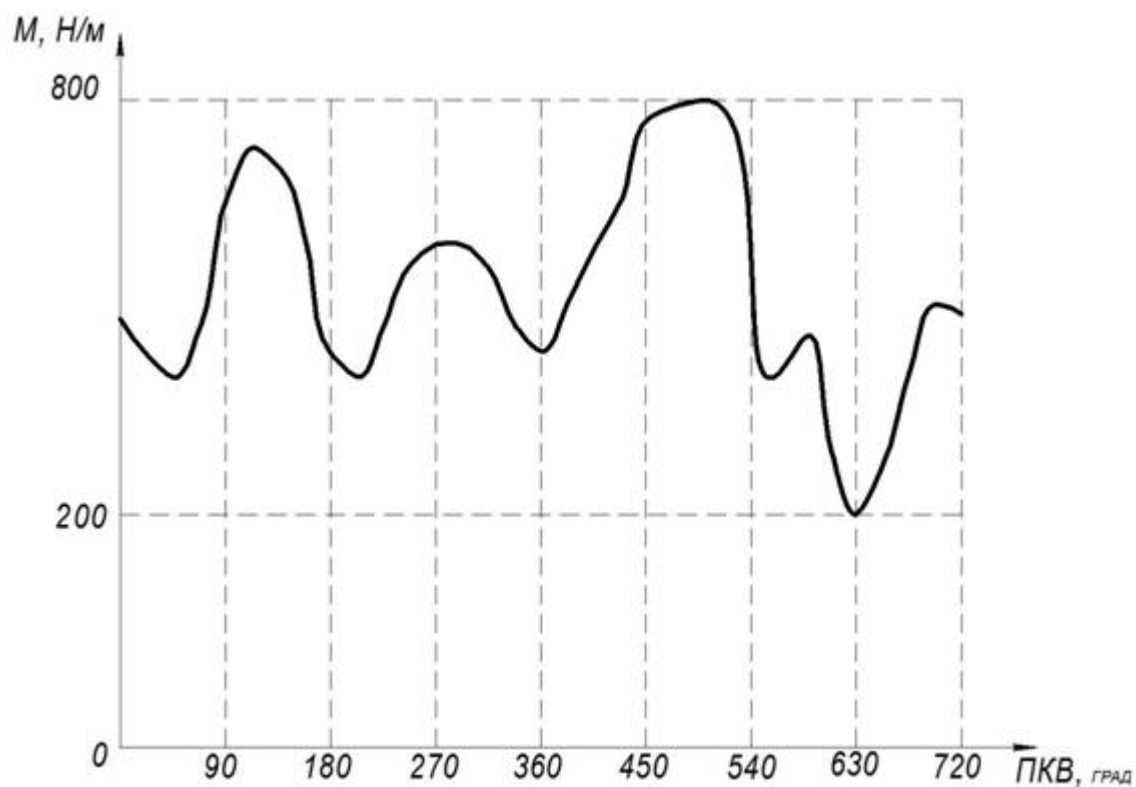


Рисунок 1.7. Закон силового нагружения.

Для воспроизведения данных законов на автоматизированном триботехническом комплексе данные законы необходимо привести к виду радиальных диаграмм где величина нагружения выражается в процентах от максимальной нагрузки.

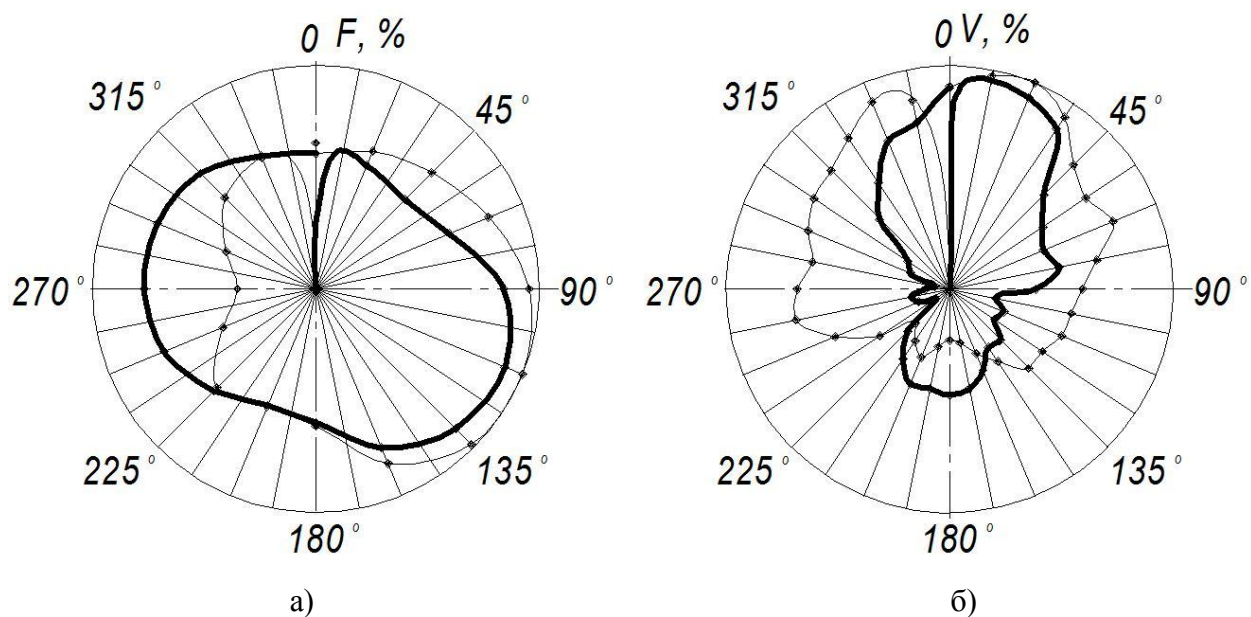


Рисунок 1.8. Радиальные диаграммы нагружения пары трения ДВС:
а – силового нагружения; б – скоростного нагружения.

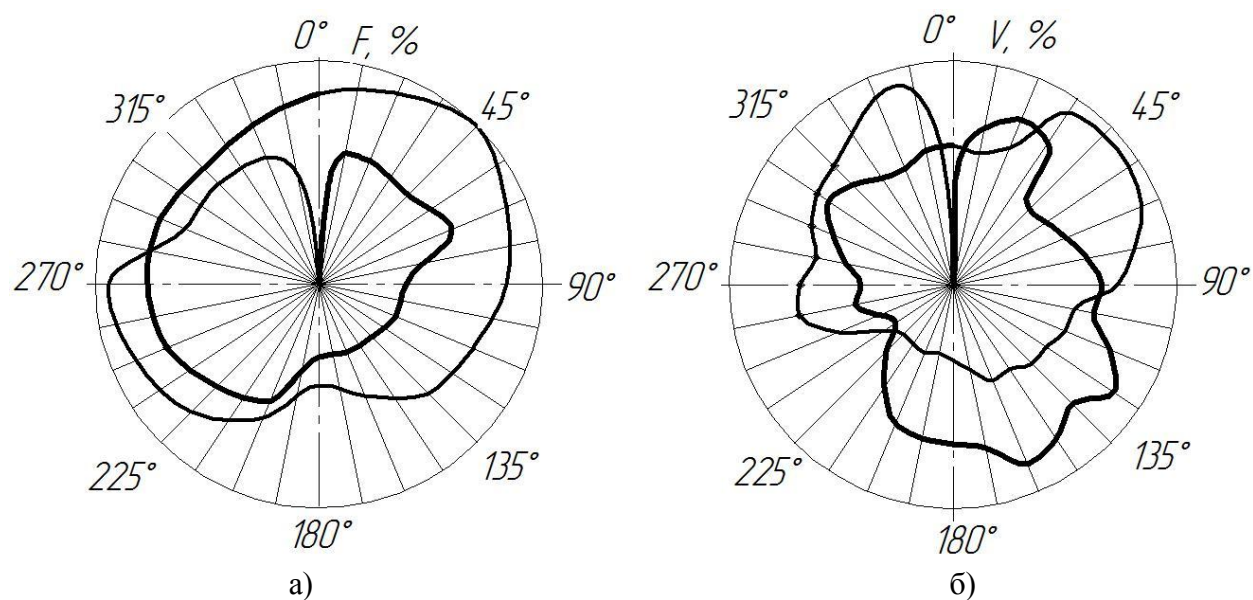


Рисунок 1.9 Радиальные диаграммы нагружения пары трения гидравлического насоса:
а – силового нагружения; б – скоростного нагружения.

2. Построение математической модели системы нагружения трибосопряжения автоматизированного триботехнического комплекса.

Сегодня в процессе эксплуатации узлы современных технических систем большинства машин и механизмов подвержены сложному динамическому нагружению (скоростному, силовому, температурному, вибрационному и т.п.), что приводит к их высокой нагруженности, существенному снижению долговечности и работоспособности.

Согласно статистике, 85–90% технических систем выходят из строя по причине износа, который обусловлен возникновением трения между относительно движущимися частями. Как правило, расходы на восстановление изношенных узлов составляют 30%-40% от стоимости новой технической системы.

Решение данной проблемы сводится к созданию современных средств испытания конструкционных материалов и смазочных сред, например, триботехнических, способных с максимальным подобием воспроизводить условия функционирования реальных технических систем.

К сожалению, современные триботехнические устройства испытания далеки от создания реальных условий функционирования технических систем, в силу наличия в их конструкции различных элементов, приводящих к искажению законов скоростного и силового нагружения. Следовательно, для повышения достоверности триботехнических испытаний конструкционных материалов и смазочных сред, проводимых на триботехнических устройствах испытания, необходимо обеспечить требуемый закон нагружения исполнительного органа при его определенном угловом положении в механизме при вращательном или возвратно-вращательном движениях при наличии внешнего силового динамического нагружения.

2.1. Построение математической модели системы скоростного нагружения

В качестве объекта математического моделирования был принят автоматический триботехнический комплекс, сконструированный и реализованный на кафедре автоматизации и роботизации в машиностроении Томского политехнического университета.

Для теоретического исследования режимов работы автоматизированного комплекса была построена блок-схема управления, изображенная на рис. 3.2. Согласно этой блок-схеме управление автоматизированного комплекса осуществляется системой управления по двум каналам: приводом главного движения исполнительного органа и системой силового нагружения.

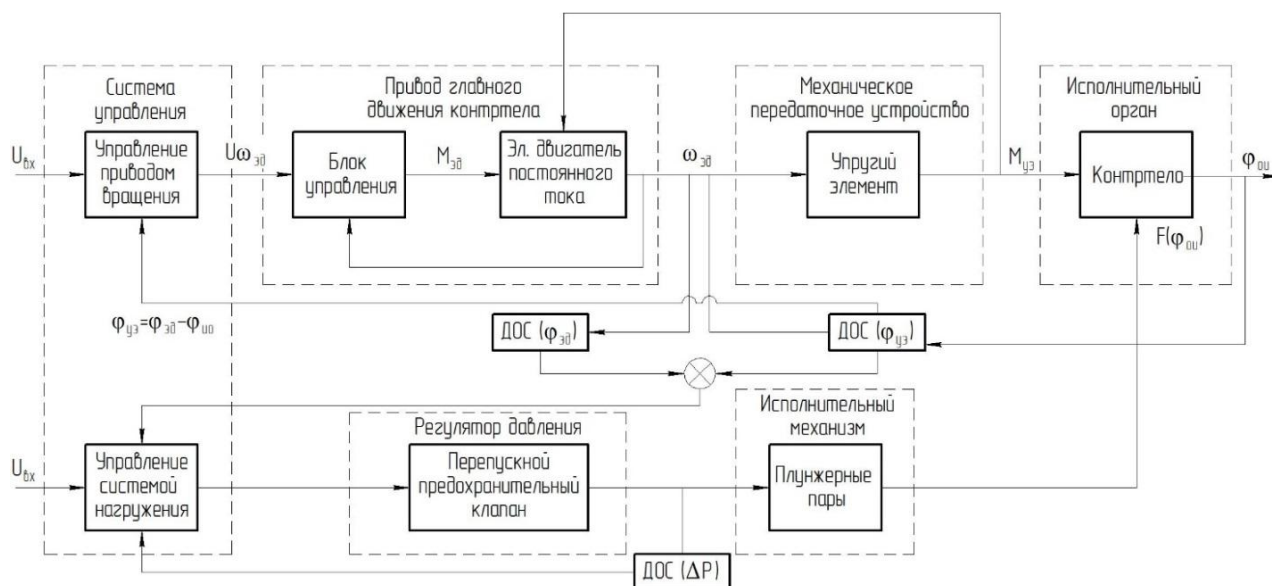


Рисунок 2.1. Блок – схема работы основных приводов и систем АК.

Привод главного движения исполнительного органа состоит из блока управления, отслеживающего угловую скорость вращения и электродвижущий момент на валу электродвигателя через обратную отрицательную связь, механического передаточного устройства – упругого элемента (торсиона) и исполнительного органа. Упругий элемент соединяет вал электродвигателя с валом исполнительного органа. В приводе предусмотрены обратные связи по отслеживанию угла поворота вала электродвигателя и углу закручивания

упругого элемента (разности углов поворота между валом электродвигателя и исполнительного органа).

Система управления в процессе работы обеспечивает заданный закон изменения скорости вращения исполнительного органа технической системы и определяет действительный угол его поворота путем суммирования значений угла поворота вала электродвигателя и угла закручивания упругого элемента, при этом в требуемый момент времени обеспечивает приложение нормальной нагрузки на исполнительный орган. Таким образом, обеспечивается формирование заданного закона нагружения исполнительного органа при определенном его угловом положении.

В соответствии с блок-схемой была разработана структурная схема узла скоростного динамического нагружения, представленная на рис. 3.2.1. По этой структурной схеме производилось построение математической модели работы узла скоростного динамического нагружения реальной технической системы.

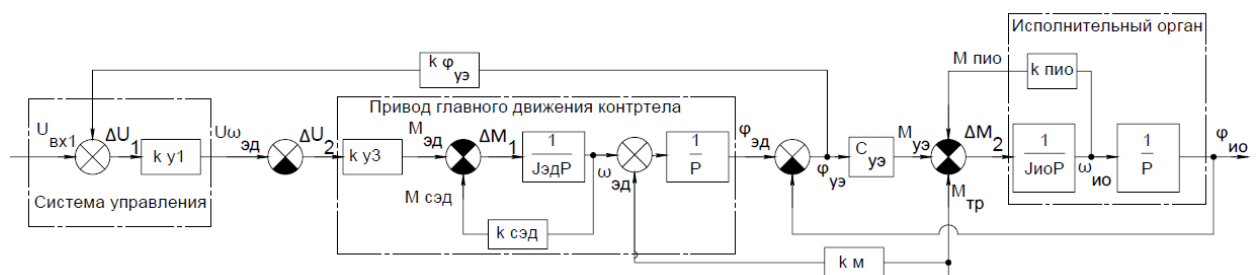


Рисунок 2.2. Структурная схема узла скоростного динамического нагружения.

В соответствии со структурной схемой (рис. 3.3) работа привода главного движения исполнительного органа будет описываться системой дифференциальных уравнений в виде:

$$\begin{cases} T_1^2 \frac{d^2 \varphi_{эд}}{dt^2} + 2 \xi_1 T_1 \frac{d \varphi_{эд}}{dt} + \varphi_{эд} = K_1 U_{вх1} + \varphi_{ио} \\ T_2^2 \frac{d^2 \varphi_{ио}}{dt^2} + 2 \xi_2 T_2 \frac{d \varphi_{ио}}{dt} + \varphi_{ио} = \varphi_{эд} + K_2 M_{тр} \end{cases}, \quad (1)$$

Из системы уравнений (1) можно получить две передаточные функции. Для получения первой примем $\varphi_{ио} \equiv 0$ в первом уравнении системы (1) и

произведем замену оператора дифференцирования d/dt на p , тогда передаточная функция примет вид

$$W_1(p) = \frac{\varphi_{эд}}{U_{вх1}} = \frac{K_1}{T_1^2 p^2 + 2 \xi_1 T_1 p + 1}, \quad (2)$$

и характеризует изменение $\varphi_{эд}$ от напряжения $U_{вх1}$ при отсутствии $\varphi_{ио}$.

Для получения второй – примем $\varphi_{эд} \equiv 0$ во втором уравнении системы (1) и произведем замену оператора дифференцирования d/dt на p , тогда передаточная функция примет вид

$$W_2(p) = \frac{\varphi_{ио}}{M_{mp}} = \frac{K_2}{T_2^2 p^2 + 2 \xi_2 T_2 p + 1}, \quad (3)$$

Как видно искажение угловой скорости вращения вала электродвигателя $\omega_{эд}$, соответственно его угла поворота $\varphi_{эд}$ системы “электродвигатель – упругий элемент” в значительной степени определяется жесткостью упругого элемента $c_{уэ}$, негативное влияние которого компенсируется, согласно структурной схеме (рис. 3.2.2.), благодаря обратной связи по углу закручивания упругого элемента $k_{фуэ}$. С другой стороны, искажение угловой скорости вращения исполнительного органа $\omega_{ио}$, соответственно его угла поворота $\varphi_{ио}$, и угла закручивания упругого элемента $\varphi_{уэ}$ системы “упругий элемент – исполнительный орган” в значительной степени определяется соотношением потерь на трение в исполнительном органе и жесткости упругого элемента $c_{уэ}$.

2.2. Построение математической модели системы силового нагружения

Система нагружения пар трения должна максимально точно воспроизводить условия нагружения наблюдаемые в реальных механизмах, однако, в испытательных стендах этому препятствует множество факторов таких как вязкие потери на трение в гидравлических магистралях, недостаточная жесткость элементов гидросистемы, гидравлические потери и т.д.

Регулировка давления осуществляется за счет перепускного клапана, в котором золотник на пружине, двигаясь за счет действия электромагнита, Принципальная схема клапана представлена на рисунке 2.3.

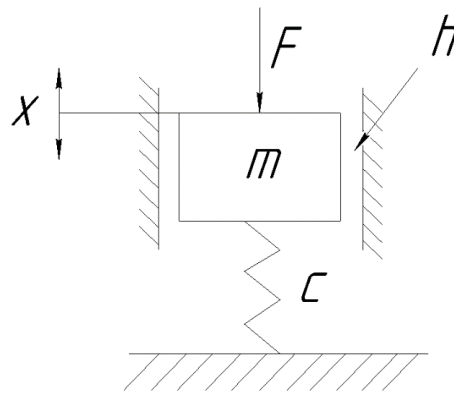


Рисунок 2.3. Принципиальная схема перепускного клапана.

Параметры колебательного процесса на данной схеме описываются следующим уравнением:

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + cx = F;$$

где:

m —масса золотника;

h – вязкое трение;

c – жесткость пружины;

x – перемещение;

F – сила действия электромагнита.

В соответствии с блок-схемой была разработана структурная схема узла скоростного динамического нагружения, представленная на рисунке 2.4. По этой структурной схеме производилось построение математической модели работы узла силового нагружения реальной технической системы.

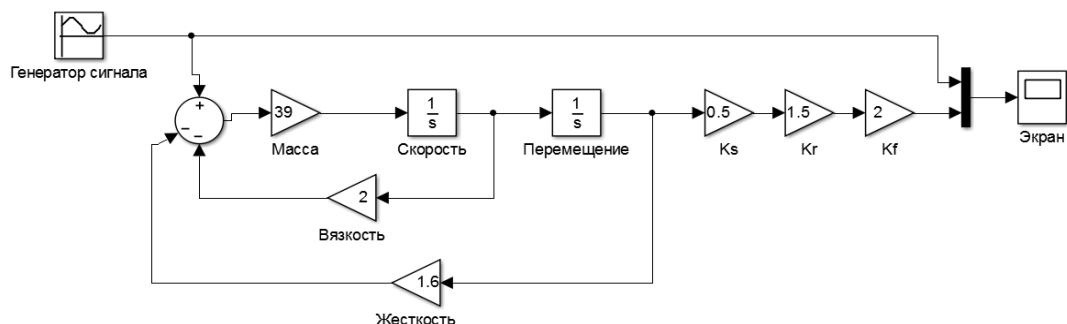


Рисунок 2.4. Математическая модель системы силового нагружения.

Построение математической модели производилось, используя пакет прикладных программ для решения технических задач и вычислений «MathLab». По построенной математической модели, с помощью среды разработки и платформы для выполнения программ «LabVIEW» создан собственный программный продукт, который обладает более простым и понятным интерфейсом и способом управления математической моделью.

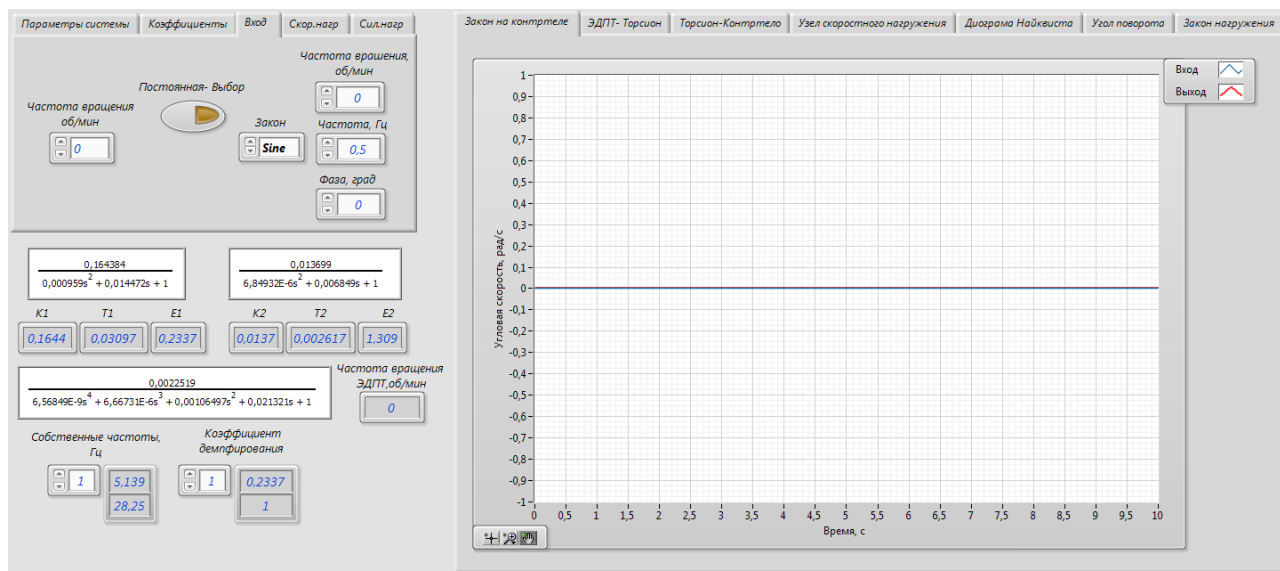


Рисунок 2.5. Внешний вид программного продукта математического моделирования.

2.3. Теоретическое исследование математической модели

Целью данного исследования является определение возможности увеличения точности приложения силовой нагрузки на исполнительный орган в требуемом его угловом положении при сохранении требуемой угловой скорости на различных режимах нагружения.

Для проведения исследования приняты следующие законы нагружения:

1) Пульсационный, синусоидальный закон скоростного нагружения с максимальной скоростью вращения контртела 600 об/мин, при постоянной силовой нагрузке $49,03 \text{ Н/см}^2$, что соответствует 2,4 Н/м крутящего момента на АТК.

2) Пульсационный, синусоидальный закон скоростного нагружения с максимальной скоростью вращения контртела 600 об/мин, при постоянной силовой нагрузке $98,07 \text{ Н/см}^2$, что соответствует 4,9 Н/м крутящего момента на АТК.

3) Постоянный, равнозначный закон скоростного нагружения со скоростью вращения контртела 400 об/мин, при постоянной силовой нагрузке $98,07 \text{ Н/см}^2$, что соответствует 4,9 Н/м крутящего момента на АТК.

4) Пульсационный, произвольный закон скоростного нагружения шатунных вкладышей двигателя внутреннего сгорания автомобиля, с максимальной скоростью вращения 800 об/мин при отсутствии силовой нагрузки.

5) Пульсационный, произвольный закон скоростного нагружения торцевого уплотнения гидравлического насоса, с максимальной скоростью вращения 800 об/мин при действии постоянной силовой нагрузки равной $98,07 \text{ Н/см}^2$, что соответствует 4,9 Н/м крутящего момента на АТК.

2.3.1. Методика проведения исследования математической модели

Исходя из принципа работы программы математического моделирования установлен следующий порядок проведения испытаний:

1. Задаем входное воздействие исходя из принятых законов нагружения, устанавливаем время работы соответствующее одному обороту;
2. Производим запуск имитации цикла нагружения;
3. Получаем график, на котором отображены входное и выходное (фактическое) воздействие на контртело.
4. Сравниваем входное и выходное (фактическое) воздействие на графике.
5. Меняя коэффициенты корректировки по фазе и усиления по амплитуде и повторно, запуская имитацию цикла, максимально приближаем действие выходного воздействия к виду заданного закона нагружения.
6. В результате, с учетом коэффициентов корректировки по фазе и амплитуде получаем наиболее точное воспроизведение заданного закона скоростного нагружения.
7. Меняя входной закон нагружения, повторяем испытания.

2.3.2. Исследование математической модели

Испытание математической модели проходит в несколько экспериментов, согласно принятым законам нагружения.

Эксперимент №1

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Интервал скоростей вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Пульсационный, синусоидальный	4 – 600	49,03

На рисунке 2.6. представлен график воспроизведения закона скоростного нагружения, где синим цветом обозначена кривая входного воздействия, а красным цветом кривая выходного (фактического) воздействия.

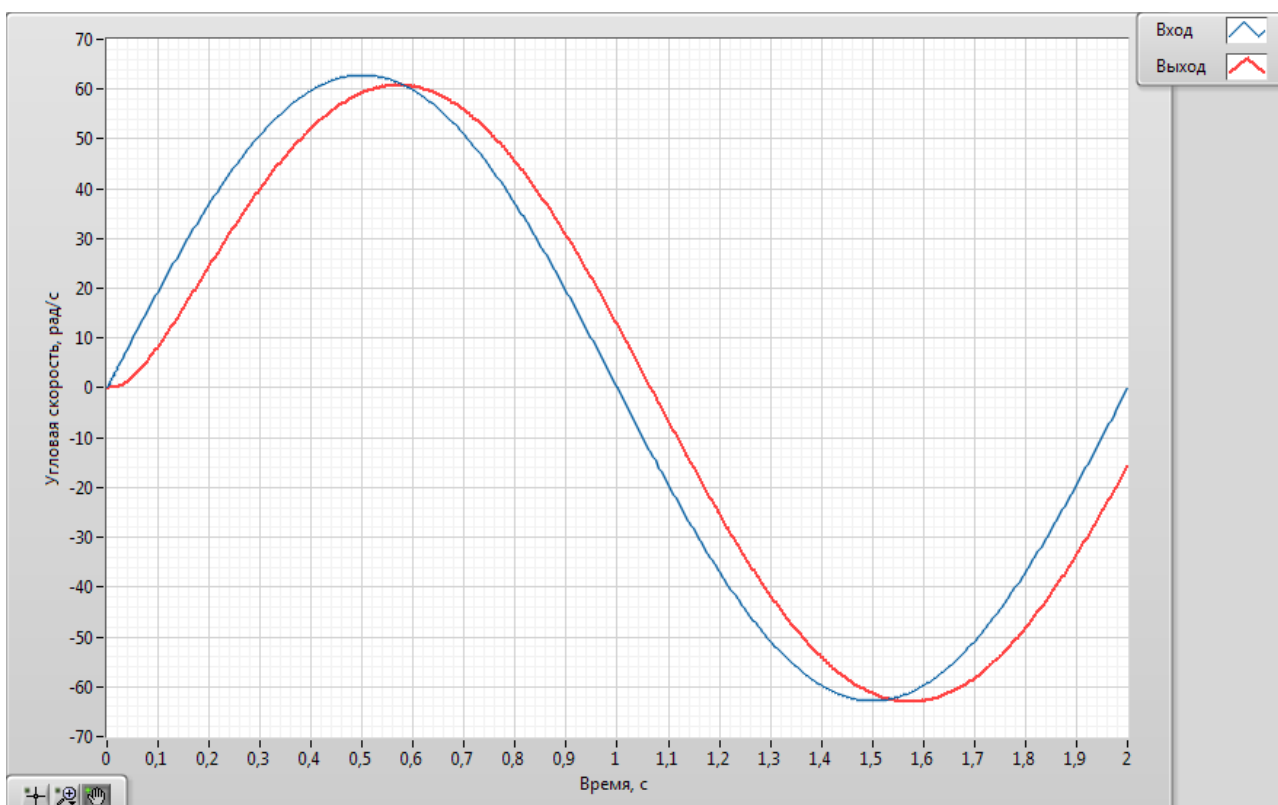


Рисунок 2.6. График воспроизведения закона нагружения.

На графике (рис. 2.6.) отчетливо видно запаздывание фактического воздействия по фазе и уменьшение по амплитуде. Исходя из этого, можно

сделать вывод, что привод не успевает реагировать на изменение управляющего воздействия. Для того что бы нивелировать реакцию привода, входящий сигнал необходимо подавать заранее, за определенное время.

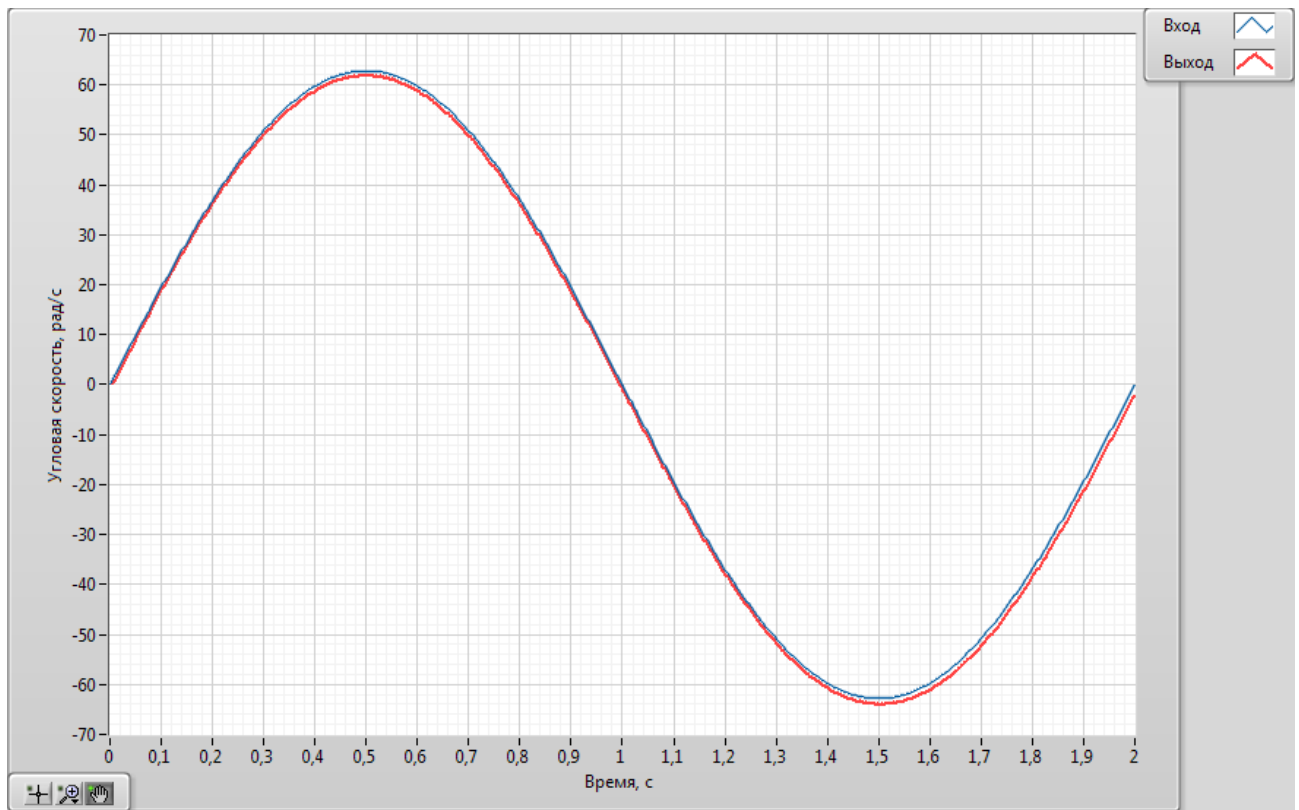


Рисунок 2.7. Скорректированный выходной сигнал.

Далее, управляя фактическим воздействием, приводим его к виду входного сигнала (рисунок 2.7.) Экспериментально установлены следующие величины корректировки:

- 1) Коэффициент корректировки по фазе – 13;
- 2) Коэффициент усиления по амплитуде – 0,2.

Эксперимент №2

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Интервал скоростей вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Пульсационный, синусоидальный	4 – 600	98,07

В данном эксперименте принято вдвое увеличить нормальную нагрузку, действующую на контртело, не меняя закона нагружения и диапазона скоростей вращения. На рисунке 2.8. представлен график воспроизведения закона скоростного нагружения.

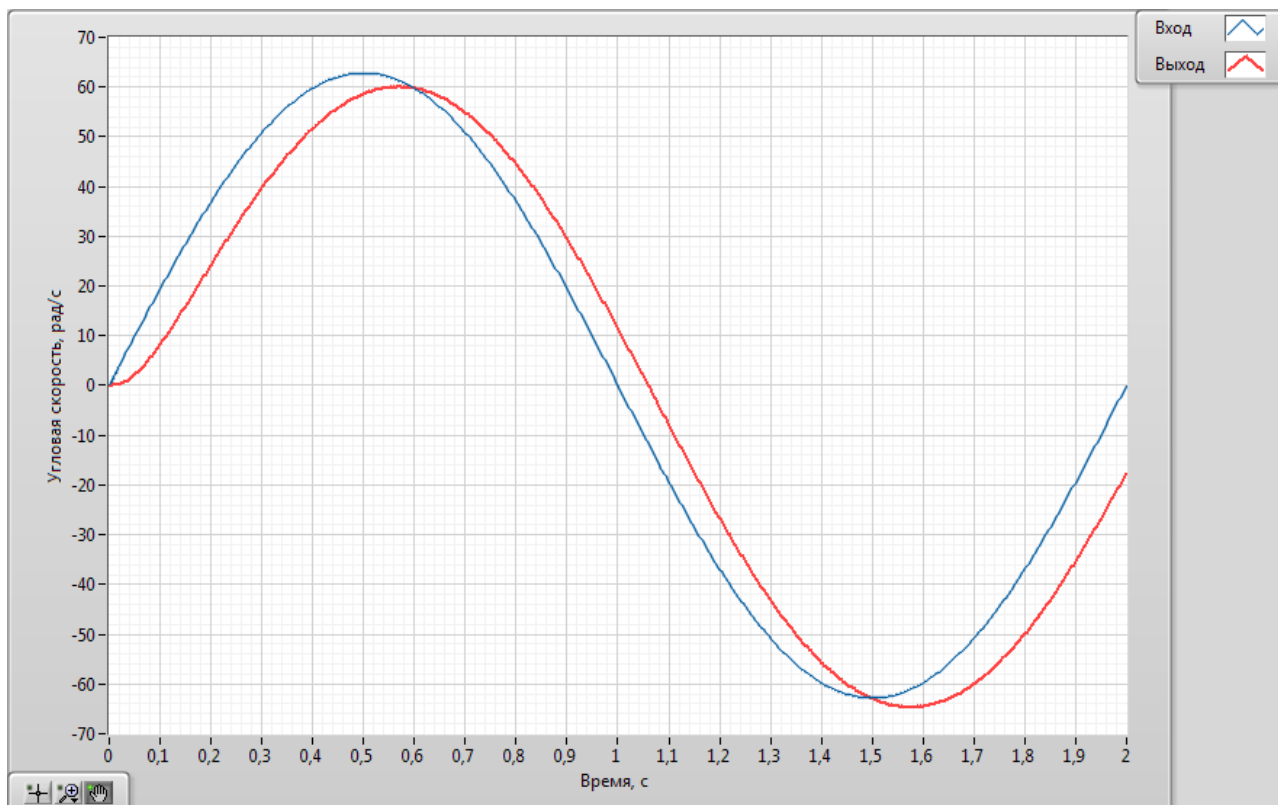


Рисунок 2.8. График воспроизведения закона нагружения.

На графике (рис. 2.8.) наблюдается влияние увеличения нормальной нагрузки на величину запаздывания фактического воздействия по фазе и величину уменьшения по амплитуде. Это влияние объясняется недостаточной жесткостью упругого элемента и потерями на вязкое трение.

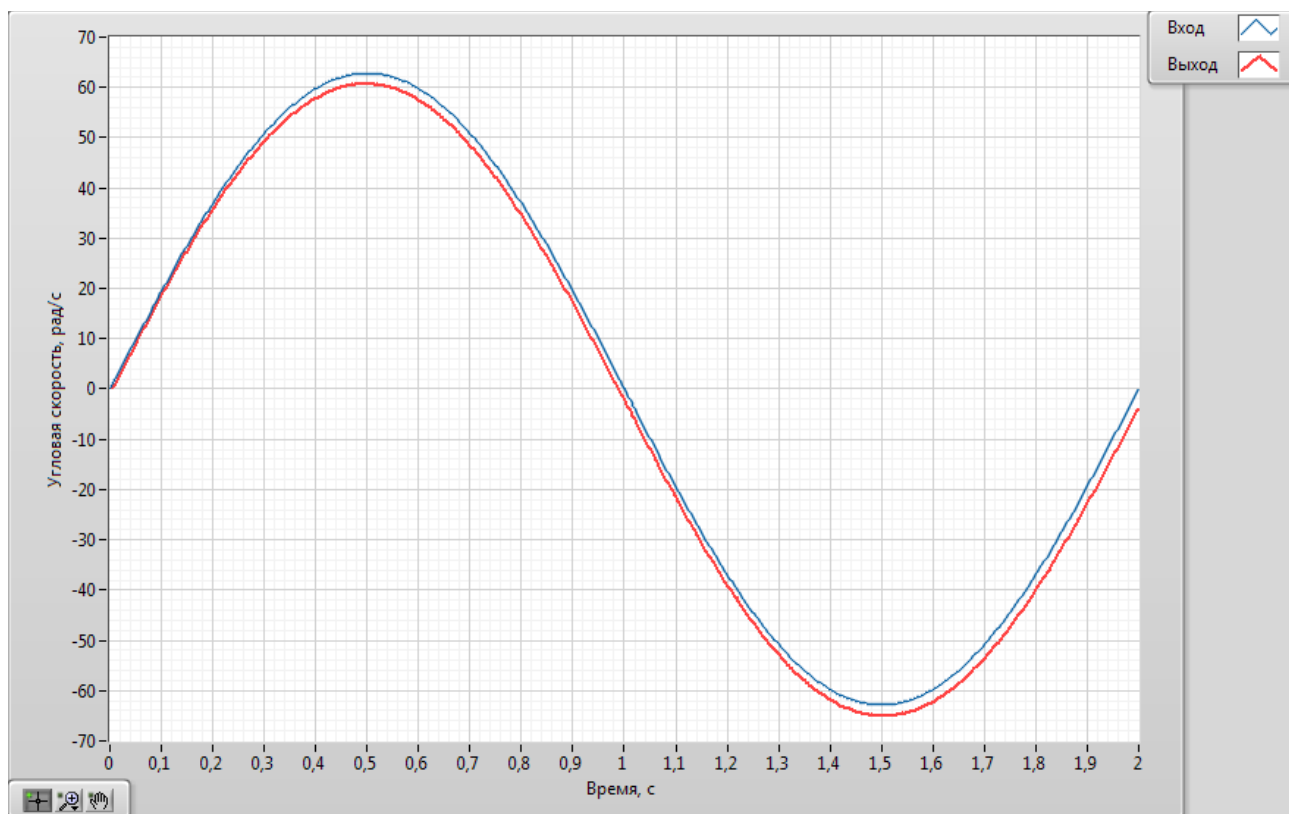


Рисунок 2.9. Скорректированный выходной сигнал.

Далее, управляя фактическим воздействием, максимально приближаем его к виду входного сигнала (рис.2.9.). Экспериментально установлены следующие величины корректировки:

- 1) Коэффициент корректировки по фазе – 16;
- 2) Коэффициент усиления по амплитуде – 0,3.

Эксперимент №3

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Скорость вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Постоянный, равнозначный	400	98,07

В данном эксперименте контртело вращается с постоянной скоростью, 400 об/мин, под действием нормальной нагрузки. Время задаем соответствующее 5 оборотам, для того чтобы не брать во внимание переходный процесс во время старта привода.

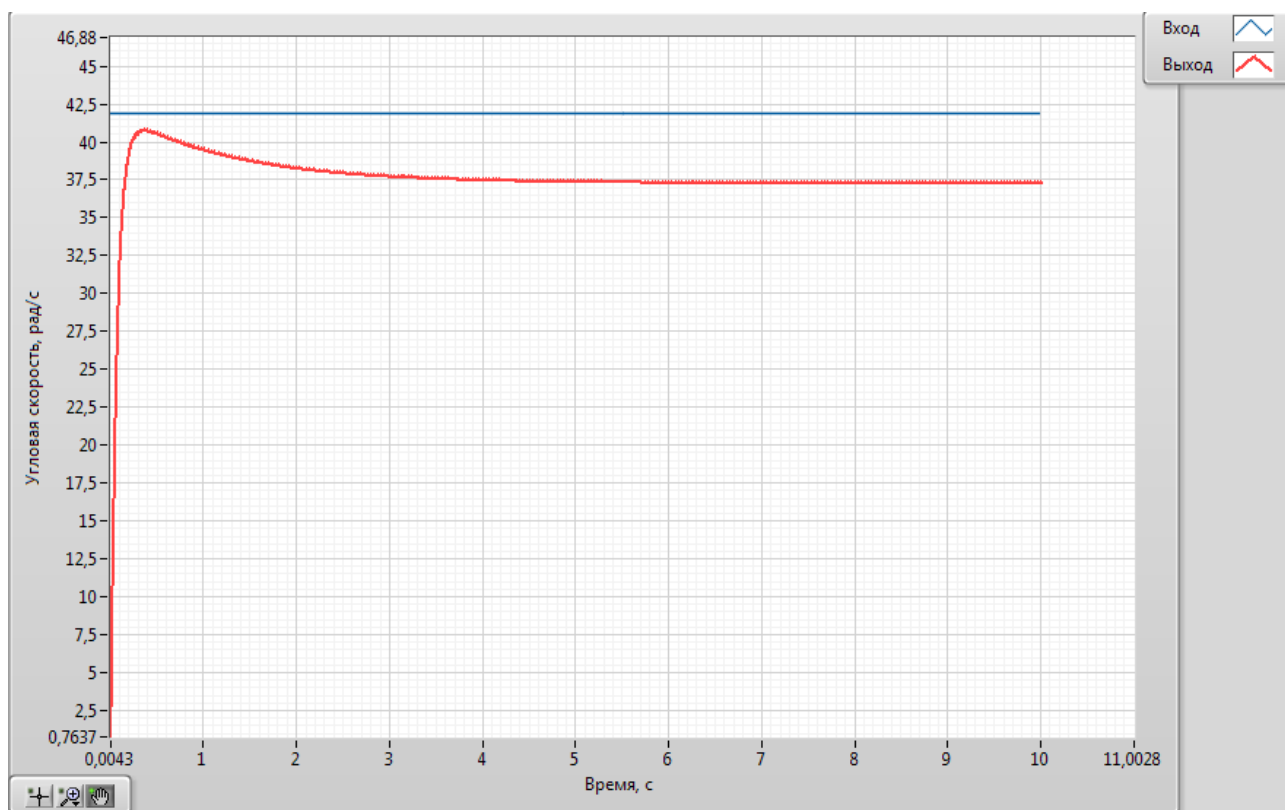


Рисунок 2.10. График воспроизведения закона нагружения.

На графике (рис 2.10.) представлен процесс воспроизведения постоянного закона нагружения. Установившийся режим наблюдается с 3 секунды работы программы. В установившемся режиме работы отчетливо наблюдается, что фактическая скорость вращения контртела примерно составляет 358 об/мин. Потери относительно входного воздействия объясняются недостаточной жесткостью упругого элемента и высоким коэффициентом трения.

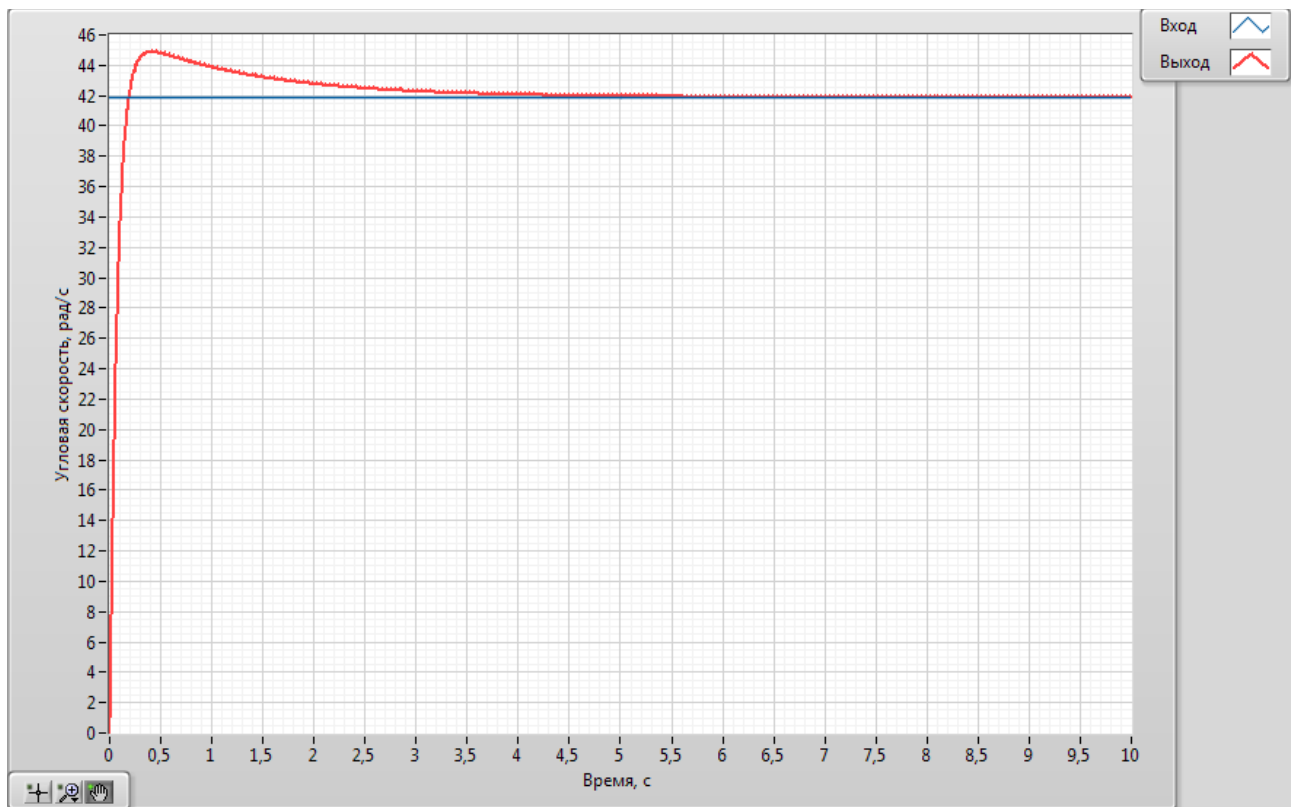


Рисунок 2.11. Скорректированный выходной сигнал.

Далее, меняя, коэффициент усиления, максимально приближаем значение действия фактической нагрузки к величине действия входного сигнала (рисунок 2.11.). Экспериментально установлен коэффициент усиления равный 1,1.

Выводы по главе

1. Разработан собственный программный продукт для исследования математической модели АТК.
2. Показано, что введение коэффициента корректировки по фазе и коэффициента усиления по амплитуде позволяет на всех режимах нагружения обеспечить постоянство и стабильность поддержания программно-заданного закона изменения угловой скорости вращения вала электродвигателя постоянного тока и, соответственно, позволяет обеспечить точность его угла поворота.
3. Установлено, что обеспечить постоянство и стабильность угловой скорости вращения исполнительного органа, а соответственно и его угла поворота, путем введения коэффициента корректировки по фазе и коэффициента усиления по амплитуде возможно только при отсутствии нагрузки.
4. Определено, что для обеспечения постоянства и стабильности угловой скорости вращения исполнительного органа и его угла поворота, необходимо увеличить жесткость упругого элемента. Это потребует, в свою очередь, установить на АТК более чувствительное метрологическое оборудование для измерения угла закручивания упругого элемента.

3. Испытание трибосопряжения при различных режимах нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе

Целью данного испытания является проверка достоверности воспроизведения законов скоростного, статического и динамического, нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе, а так же возможность корректировки фактического закона нагружения исполняемого на контртеле.

3.1. Методика проведения испытания трибосопряжения на автоматизированном триботехническом комплексе

Исходя из принципа работы программы математического моделирования установлен следующий порядок проведения испытаний:

1. Задаем входное управляющее воздействие, исходя из принятых законов нагружения. Задаем время повторения циклов испытания.
2. Производим запуск испытания.
3. Получаем радиальную диаграмму с данными, зафиксированными датчиком угла поворота, на диаграмме отображается фактический закон скоростной нагрузки, выполняемой на исполнительном элементе. Значения величины скорости вращения в определенном значении угла поворота исполнительного элемента записываются в файл и сохраняются на жесткий диск.
4. Сравниваем входное и фактическое воздействие по координатам, полученным с энкодера, высчитываем среднее значение несоответствия нагрузки, из него получаем коэффициент корректировки.
5. По принципу математического моделирования задаем входное воздействие с учетом коэффициента корректировки. После повторного запуска получаем скорректированную фактическую скоростную нагрузку более приближенную ко входному воздействию.

3.2. Испытание трибосопряжения при различных режимах нагружения

Испытание трибосопряжения на АТК проходит в несколько экспериментов, согласно принятым, по результатам аналитического обзора, законам нагружения.

Эксперимент №1

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Интервал скоростей вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Пульсационный, синусоидальный	4 – 600	49,03

1 этап: в системе управления АТК задаем закон скоростного нагружения, задаем величину постоянного силового нагружения как показано на рисунке 3.1.

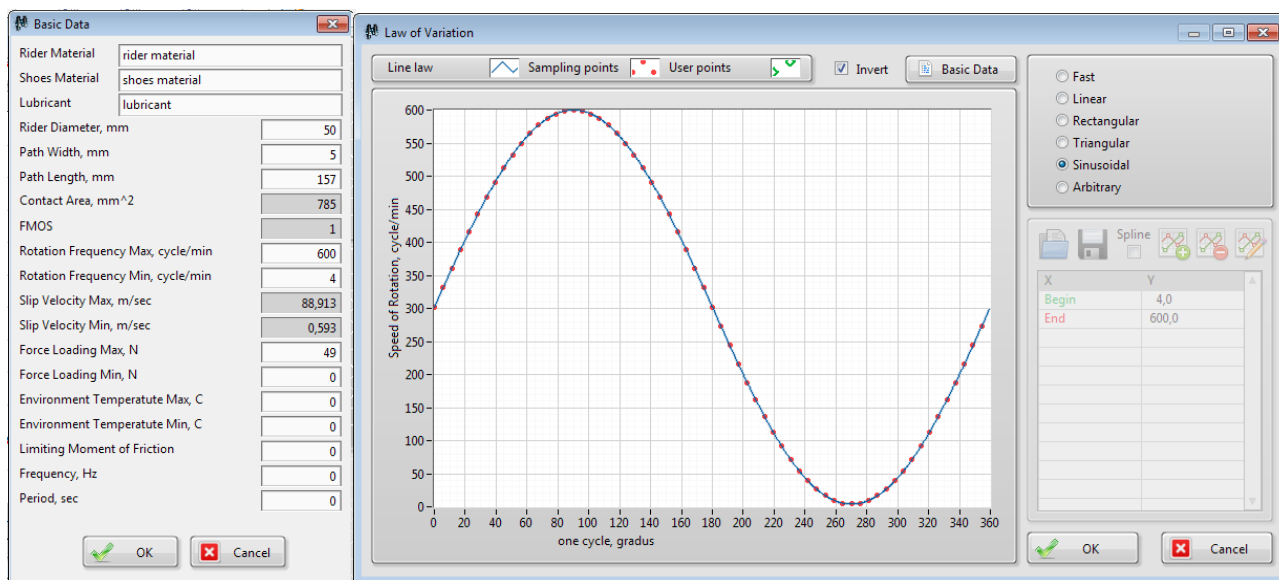


Рисунок 3.1. Входные данные для системы управления АТК

2 этап: производим запуск работы АТК предварительно, установив время работы АТК, и включив запись данных, получаемых с энкодера.

3 этап: анализируем полученную радиальную диаграмму сравнивая ее с диаграммой входного воздействия.

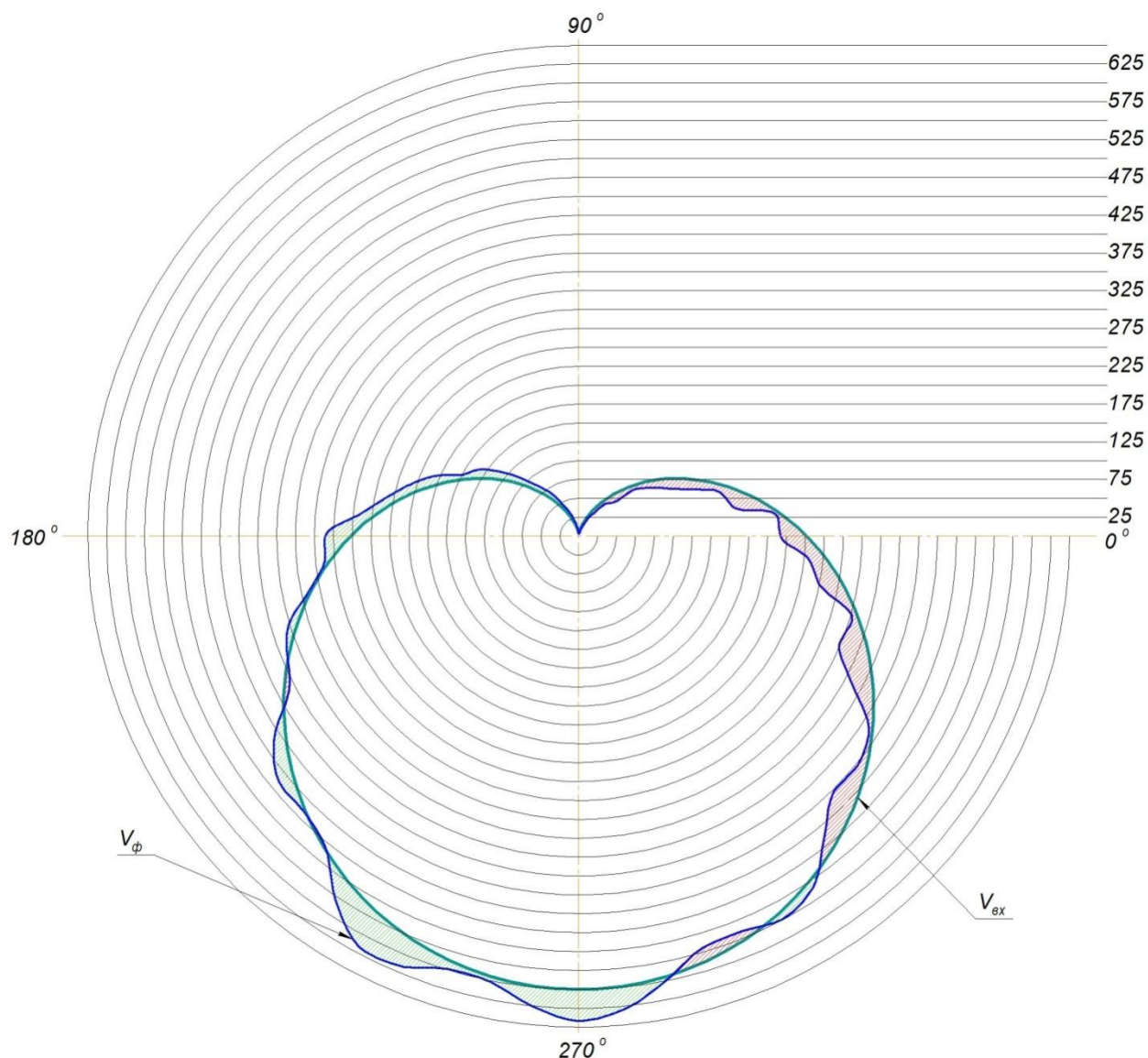


Рисунок 3.2. Радиальная диаграмма воспроизведения закона нагружения на АТК.

На радиальной диаграмме (рис 3.2) представлено сравнение входного и фактического воздействия. Зеленым цветом выделена кривая соответствующая скорости вращения заданного закона. Синим цветом выделена кривая, соответствующая фактической скорости вращения исполнительного элемента. Штриховкой красного цвета обозначены зоны, в которых, привод не успевает реагировать на управляющее воздействие, в результате чего, происходит уменьшение скорости вращения. Штриховкой зеленого цвета обозначены зоны, в которых, фактическая скорость опережает заданную.

Проанализировав полученные данные, сделан вывод, что необходимо скомпенсировать потери, которые влияют на воспроизведение закона нагружения, с помощью коэффициента корректировки по фазе и коэффициента усиления по амплитуде.

4 этап: рассчитываем значение коэффициента корректировки по фазе из экспериментальных данных по формуле:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{64} (V_{нi} - V_{фi})}{64}$$

где: k – коэффициент корректировки по фазе;

$V_{нi}$ – заданная скорость вращения в определенном угловом положении;

$V_{фi}$ – фактическая скорость вращения в определенном угловом положении;

Произведя расчеты, получено значение коэффициента корректировки по амплитуде равное 0,5.

Для компенсации потерь по амплитуде необходимо входное воздействие корректировать на величину уменьшения либо опережения по амплитуде в каждом угловом положении. В зонах, где происходит уменьшение по амплитуде входное воздействие необходимо увеличивать на величину уменьшения в каждом угловом положении исполнительного механизма, соответственно в зонах где происходит опережение по амплитуде входное воздействие необходимо уменьшать на величину опережения в каждом угловом положении контртела.

5 этап: исходя из данного анализа в систему управления АТК был внесен закон нагружения с учетом коэффициентов по фазе и амплитуде (рис. 3.3.).

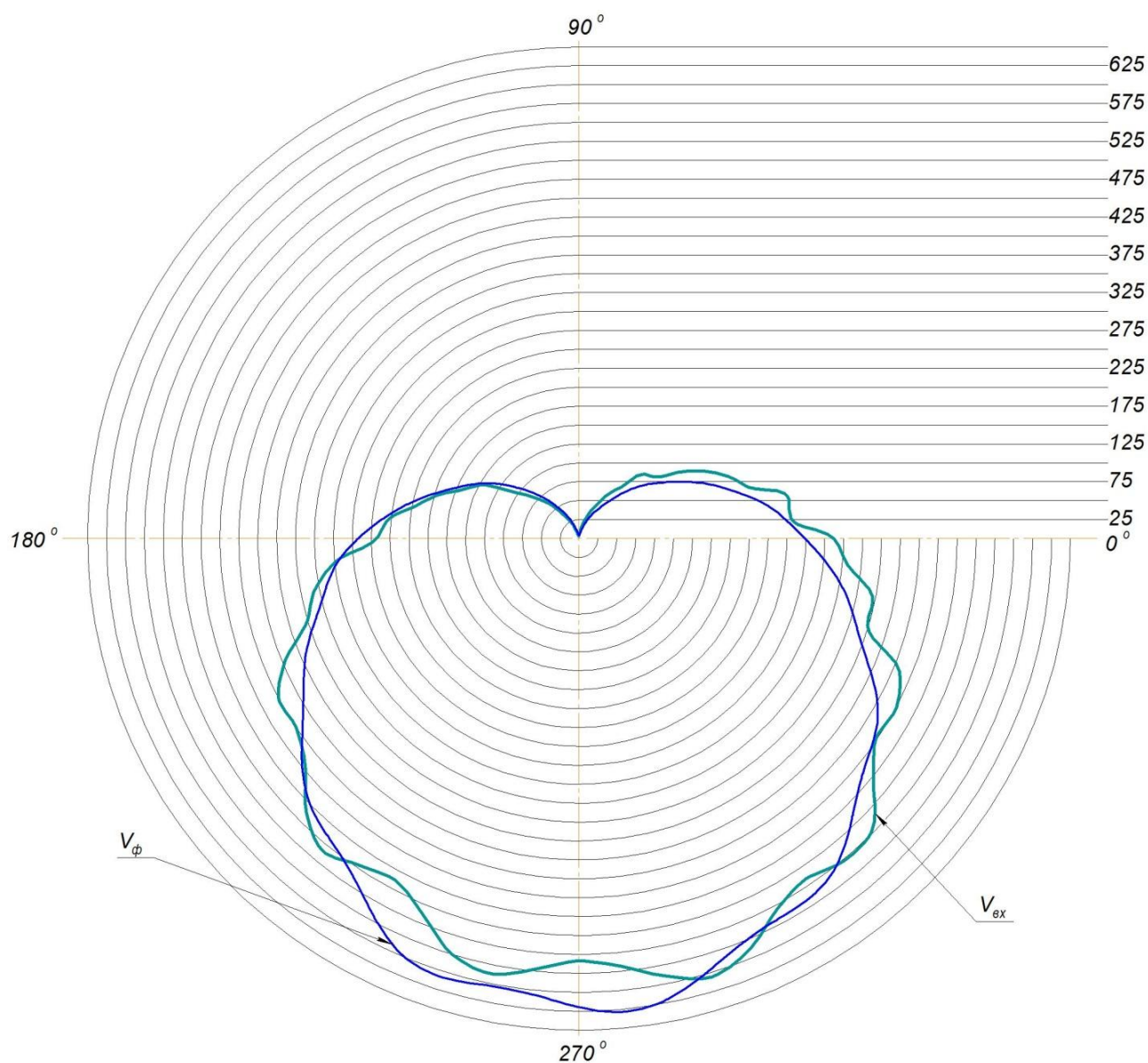


Рисунок 3.3. Воспроизведение закона нагружения с учетом корректировки.

На диаграмме отображен закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки, он выделен зеленым цветом. Фактическое воздействие, на диаграмме выделено синим цветом, имеет более плавную форму и наблюдается компенсация потери по фазе. Для того, что бы в полной мере оценить компенсацию потерь по фазе и амплитуде необходимо сравнить фактический закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки с входным законом нагружения без учета корректировки.

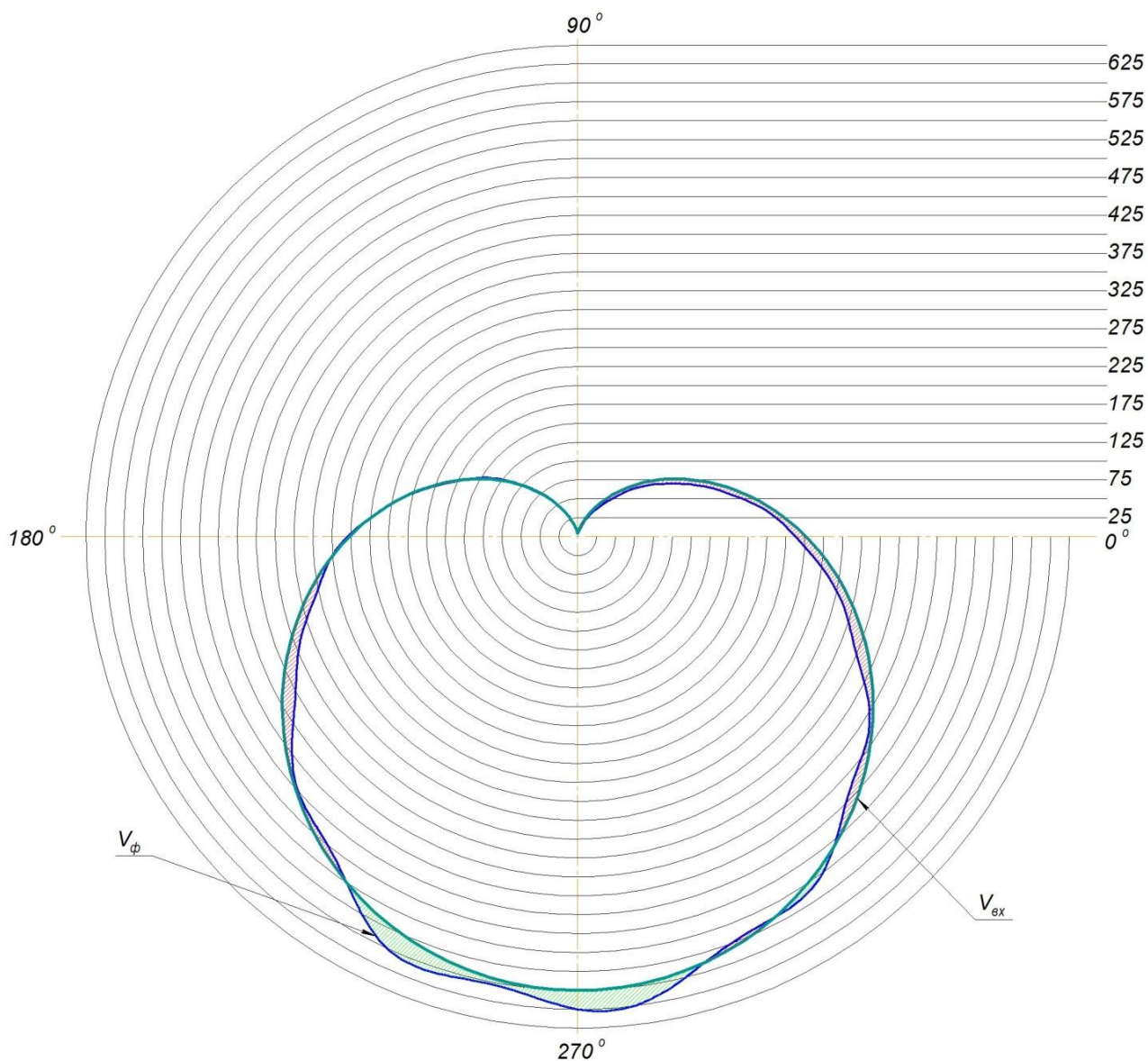


Рисунок 3.4. Сравнительная диаграмма законов нагружения

На сравнительной диаграмме (рис. 3.4.) наблюдается значительное увеличение достоверности воспроизведения синусоидального закона скоростного нагружения, при действии постоянной нормальной нагрузки 98,07 Н. Однако воспроизведение закона нагружения не является на 100% соответствующим входному воздействию, это объясняется потерями на вязкое трение, вязкость жидкости гидравлической системы нагружения, неровность поверхности дорожки трения на контртеле, непостоянством площади контакта между контртелом и колодками.

В таблице 5 представлены результаты эксперимента и показатели увеличения достоверности воспроизведения закона нагружения в следствии корректировки входного сигнала.

Таблица 5 – Результаты эксперимента.

Максимальное отклонение амплитуды, мм		Площадь несоответствия, мм ²	
До коррекции	После коррекции	До коррекции	После коррекции
10,42	7,52	2321,56	1366,75
Изменение: 27%		Изменение 42%	

Эксперимент №2

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Интервал скоростей вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Пульсационный, синусоидальный	4 – 600	98,07

1 этап: в системе управления АТК задаем закон скоростного нагружения, задаем величину постоянного силового нагружения.

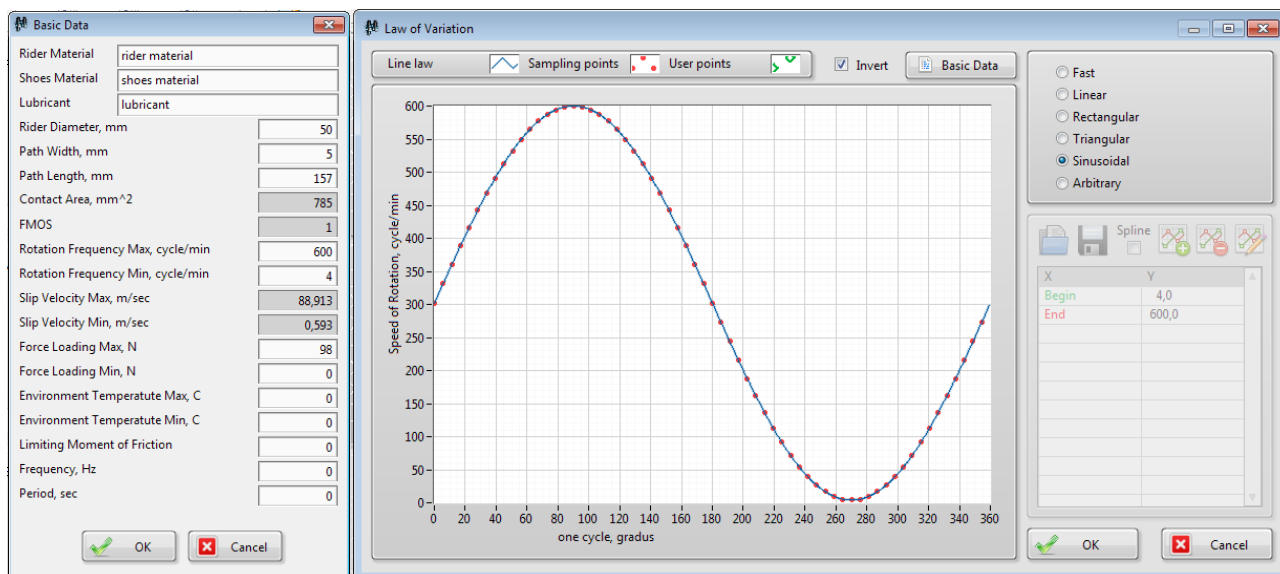


Рисунок 3.5. Входные данные для системы управления АТК

2 этап: производим запуск работы АТК предварительно, установив время работы АТК, и включив запись данных, получаемых с энкодера.

3 этап: анализируем полученную радиальную диаграмму, сравнивая ее с диаграммой входного воздействия.

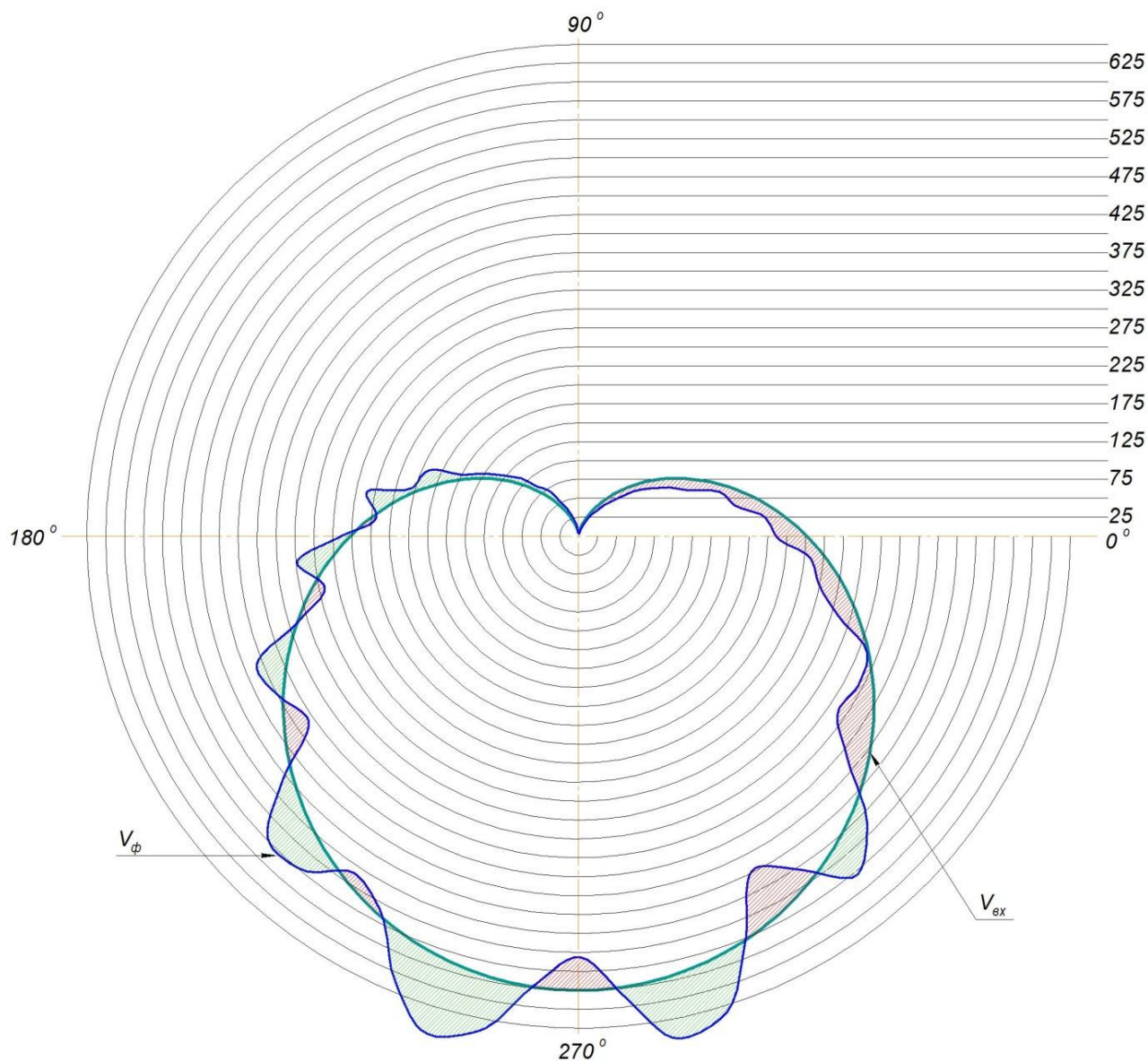


Рисунок 3.6. Радальная диаграмма воспроизведения закона нагружения на АТК

На диаграмме (рис. 3.6.) наблюдается значительное изменение фактического воздействия, по сравнению с первым экспериментом (рис 3.3.), в результате увеличения нормальной нагрузки действующей на контртело. Данные «рывки» можно объяснить следующим образом: под действием нормальной нагрузки привод не успевает набирать необходимую скорость вращения. При действии обратной связи система управления пытается набрать

необходимую скорость вращения резким скачком напряжения, но по факту происходит опережение по скорости вращения и система управления пытается замедлить вращение, после чего опять наблюдается отставание по скорости вращения и таким образом запускается циклические колебания скорости вращения исполнительного механизма АТК.

Проанализировав полученные данные, сделан вывод, что необходимо компенсировать потери, которые влияют на воспроизведение закона нагружения, а также на появление колебательного процесса стабилизации скорости вращения.

4 этап: рассчитываем значение коэффициента корректировки.

Произведя расчеты, получено значение коэффициента корректировки по амплитуде равное 2.7.

Производим коррекцию входного закона на величину отставания и опережения в каждом угловом положении

5 этап: исходя из данного анализа в систему управления АТК был внесен закон нагружения с учетом коэффициентов по фазе и амплитуде (рис. 3.7).

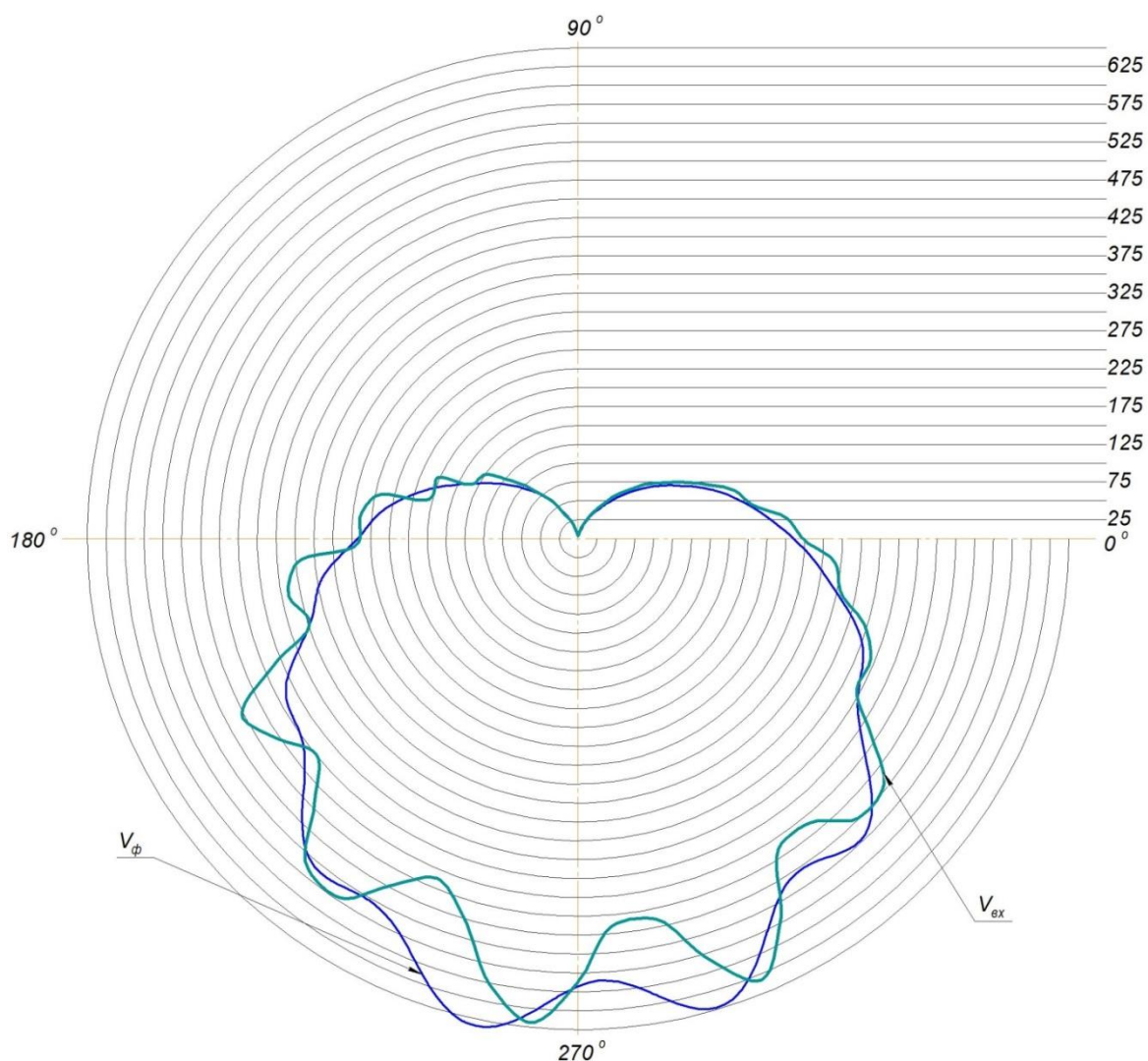


Рисунок 3.7 Воспроизведение закона нагружения с учетом корректировки.

На диаграмме отображен закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки, он выделен зеленым цветом. Фактическое воздействие, на диаграмме выделено синим цветом. Для того, что бы в полной мере оценить компенсацию потерь по фазе и амплитуде необходимо сравнить фактический закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки с входным законом нагружения без учета корректировки.

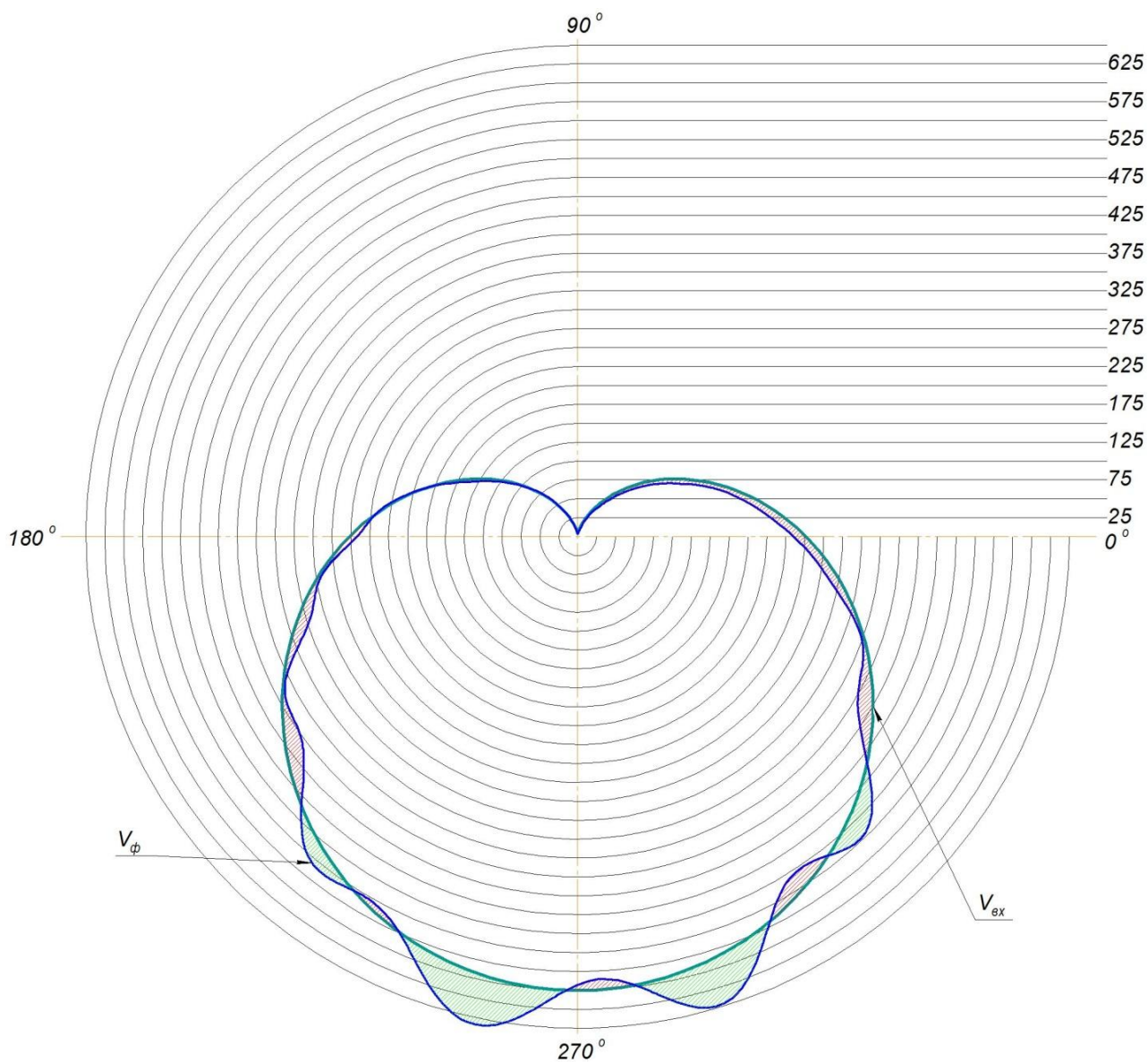


Рисунок 3.8. Сравнительная диаграмма законов нагружения

На сравнительной диаграмме (рис. 3.8.) наблюдается значительное увеличение достоверности воспроизведения синусоидального закона скоростного нагружения при действии постоянной нормальной нагрузки 98,07 Н. Однако воспроизведение закона нагружения не является на 100% соответствующим входному воздействию, это объясняется потерями на вязкое трение, вязкость жидкости гидравлической системы нагружения, неровность поверхности дорожки трения на контртеле, непостоянством площади контакта между контртелом и колодками.

В таблице 7 представлены результаты эксперимента и показатели увеличения достоверности воспроизведения закона нагружения, вследствие корректировки входного сигнала.

Таблица 7 – Результаты эксперимента.

Максимальное отклонение амплитуды, мм		Площадь несоответствия, мм ²	
До коррекции	После коррекции	До коррекции	После коррекции
24,87	16,38	4089,6	2126,89
Изменение: 34,1%		Изменение 48%	

Эксперимент №3

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Интервал скоростей вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Пульсационный, синусоидальный	4 – 600	98,07

1 этап: в системе управления АТК задаем закон скоростного нагружения, задаем величину постоянного силового нагружения.

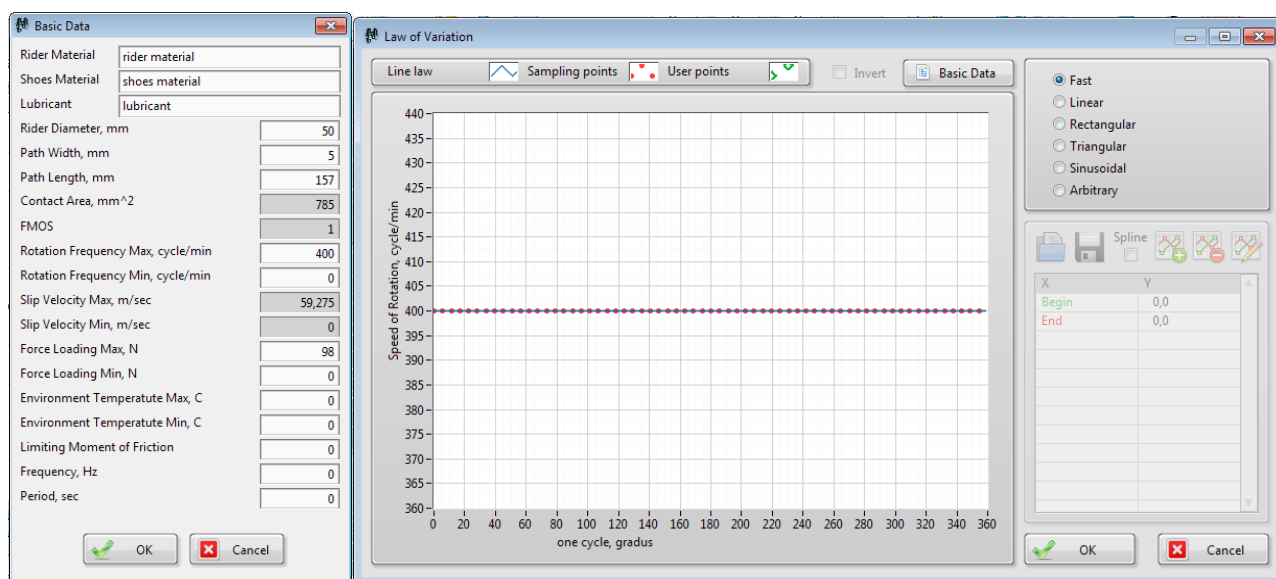


Рисунок 3.9. Входные данные для системы управления АТК

2 этап: производим запуск работы АТК предварительно, установив время работы АТК, и включив запись данных, получаемых с энкодера.

3 этап: анализируем полученную радиальную диаграмму, сравнивая ее с диаграммой входного воздействия.

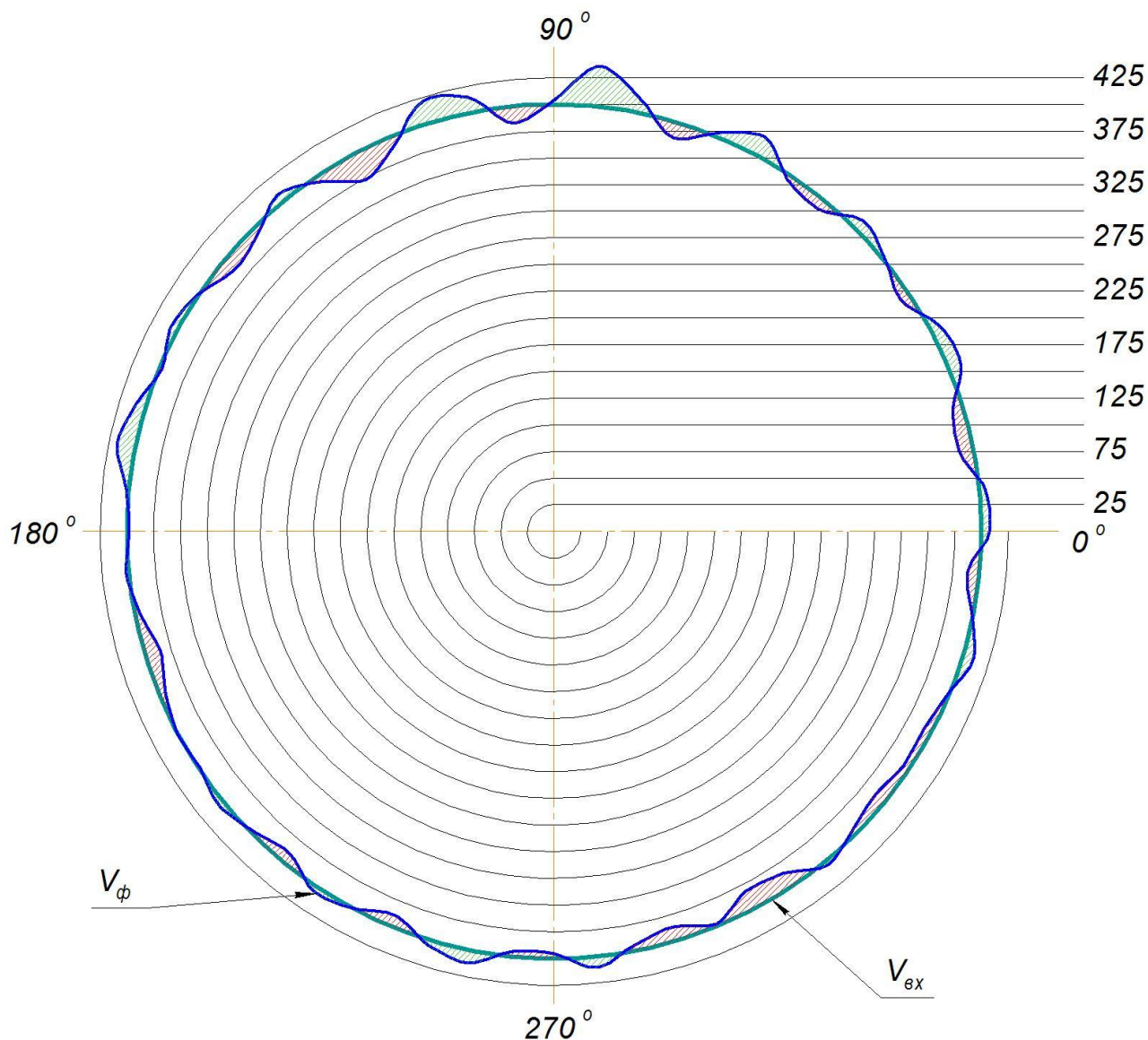


Рисунок 3.10. Радиальная диаграмма воспроизведения закона нагружения на АТК

На диаграмме (рис. 3.10.) наблюдается незначительное изменение фактического воздействия. Колебания скорости вращения можно объяснить следующим образом: под действием нормальной нагрузки привод не успевает набирать необходимую скорость вращения. При действии обратной связи система управления пытается набрать необходимую скорость вращения резким скачком напряжения, но по факту происходит опережение по скорости

вращения и система управления пытается замедлить вращение, после чего опять наблюдается отставание по скорости вращения и таким образом запускаются циклические колебания скорости вращения исполнительного механизма АТК.

Проанализировав полученные данные, сделан вывод, что необходимо скомпенсировать потери, которые влияют на воспроизведение закона нагружения, а так же на появление колебательного процесса стабилизации скорости вращения.

4 этап: рассчитываем значение коэффициента корректировки.

Произведя расчеты, получено значение коэффициента корректировки по амплитуде равное 0.9.

Производим коррекцию входного закона на величину отставания и опережения в каждом угловом положении

5 этап: исходя из данного анализа, в систему управления АТК был внесен закон нагружения с учетом коэффициентов по фазе и амплитуде (рис. 3.11).

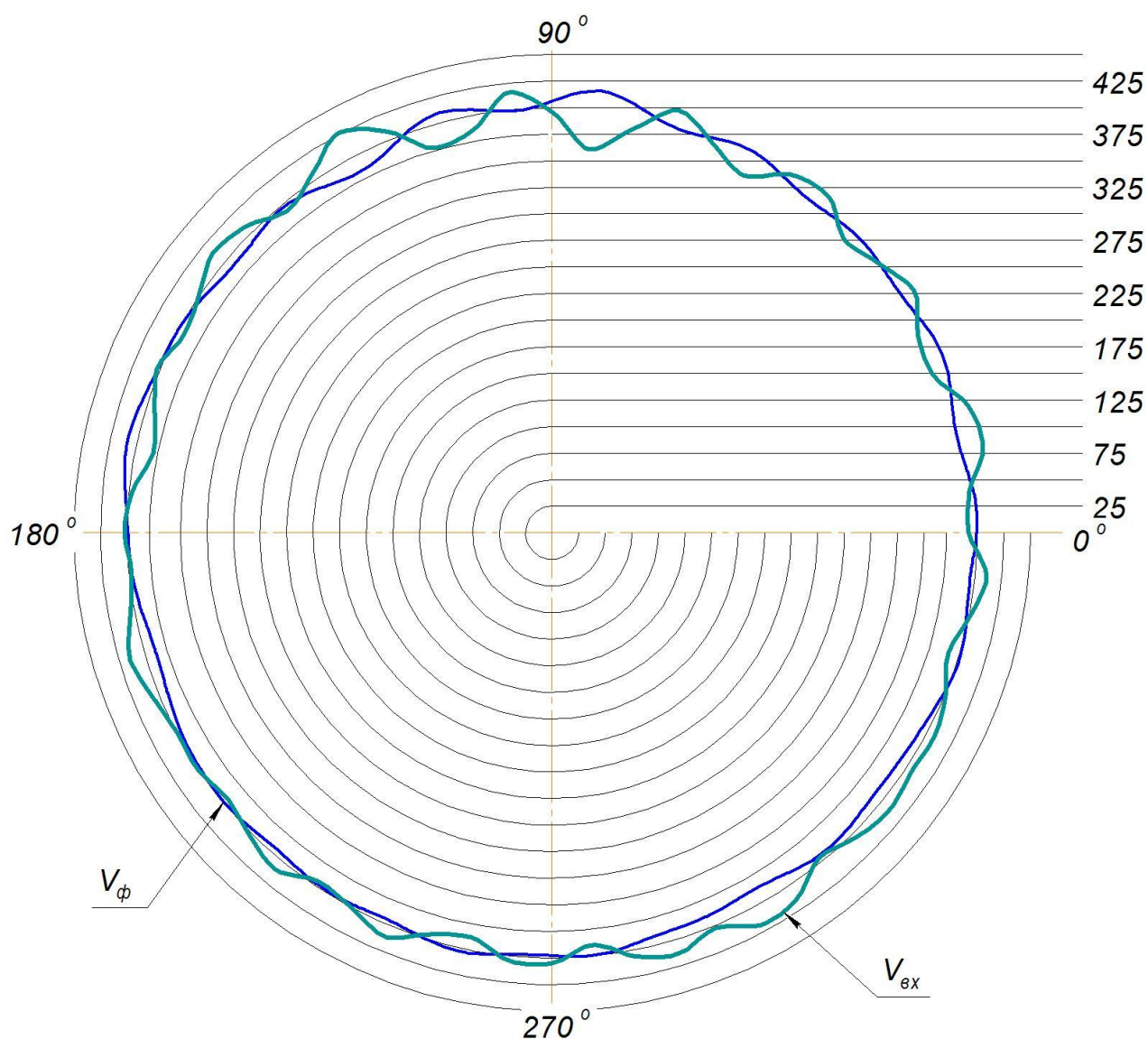


Рисунок 3.11 Воспроизведение закона нагружения с учетом корректировки.

На диаграмме отображен закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки, он выделен зеленым цветом. Фактическое воздействие, на диаграмме выделено синим цветом. Для того, что бы в полной мере оценить компенсацию потерь по фазе и амплитуде необходимо сравнить фактический закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки с входным законом нагружения без учета корректировки.

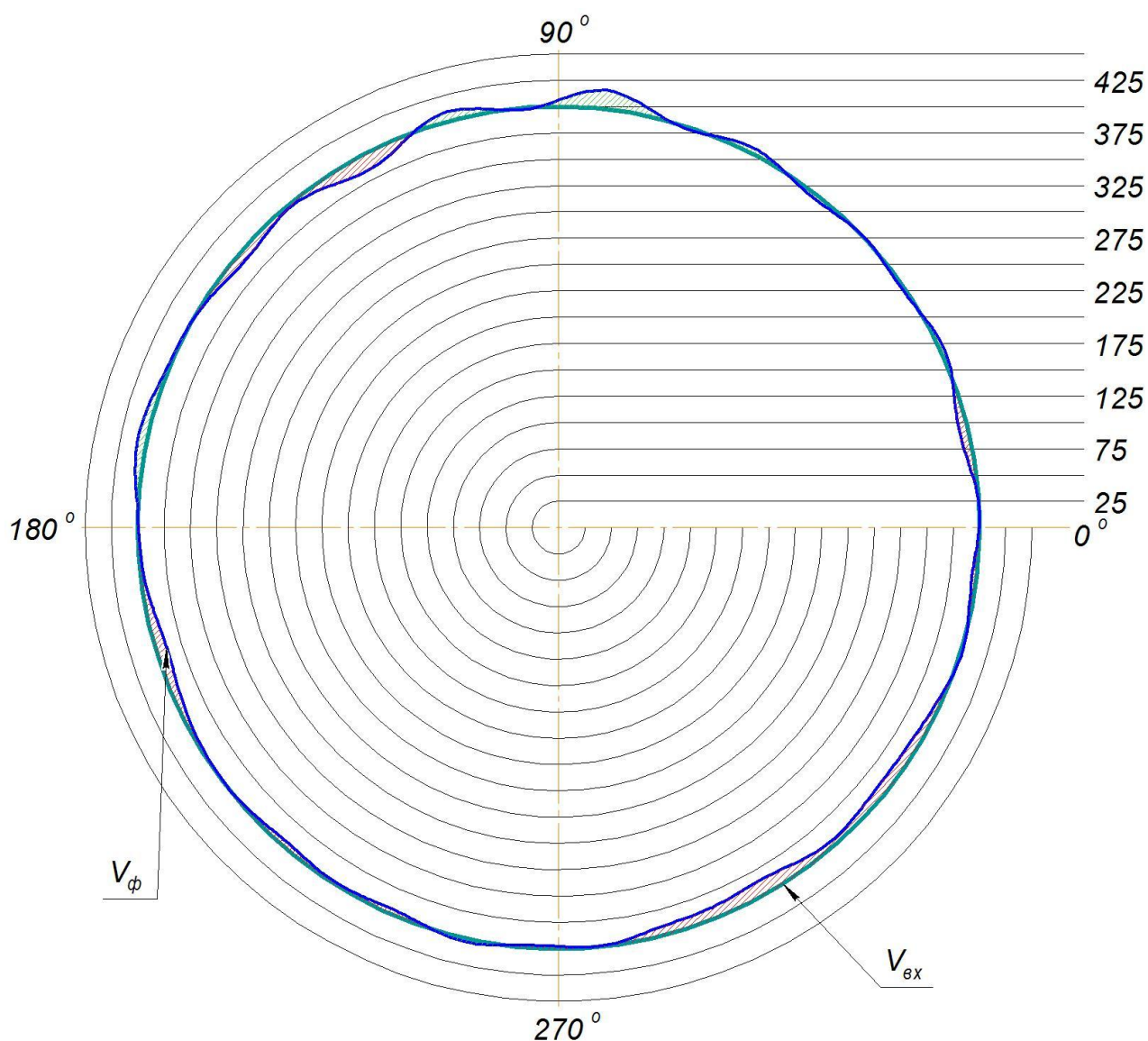


Рисунок 3.12. Сравнительная диаграмма законов нагружения

На сравнительной диаграмме (рис. 3.12.) наблюдается значительное увеличение достоверности воспроизведения постоянного, равнозначного закона скоростного нагружения при действии постоянной нормальной нагрузки 98,07 Н. Однако воспроизведение закона нагружения не является на 100% соответствующим входному воздействию, это объясняется потерями на вязкое трение, вязкость жидкости гидравлической системы нагружения, неровность поверхности дорожки трения на контртеле, непостоянством площади контакта между контртелом и колодками.

В таблице 9 представлены результаты эксперимента и показатели увеличения достоверности воспроизведения закона нагружения вследствие корректировки входного сигнала.

Таблица 9 – Результаты эксперимента.

Максимальное отклонение амплитуды, мм		Площадь несоответствия, мм ²	
До коррекции	После коррекции	До коррекции	После коррекции
9,41	4,4	1273,7	769,64
Изменение: 40%		Изменение 53%	

Эксперимент №4

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Интервал скоростей вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Пульсационный, произвольный	40 – 800	0

1 этап: в системе управления АТК задаем закон скоростного нагружения, задаем величину постоянного силового нагружения.

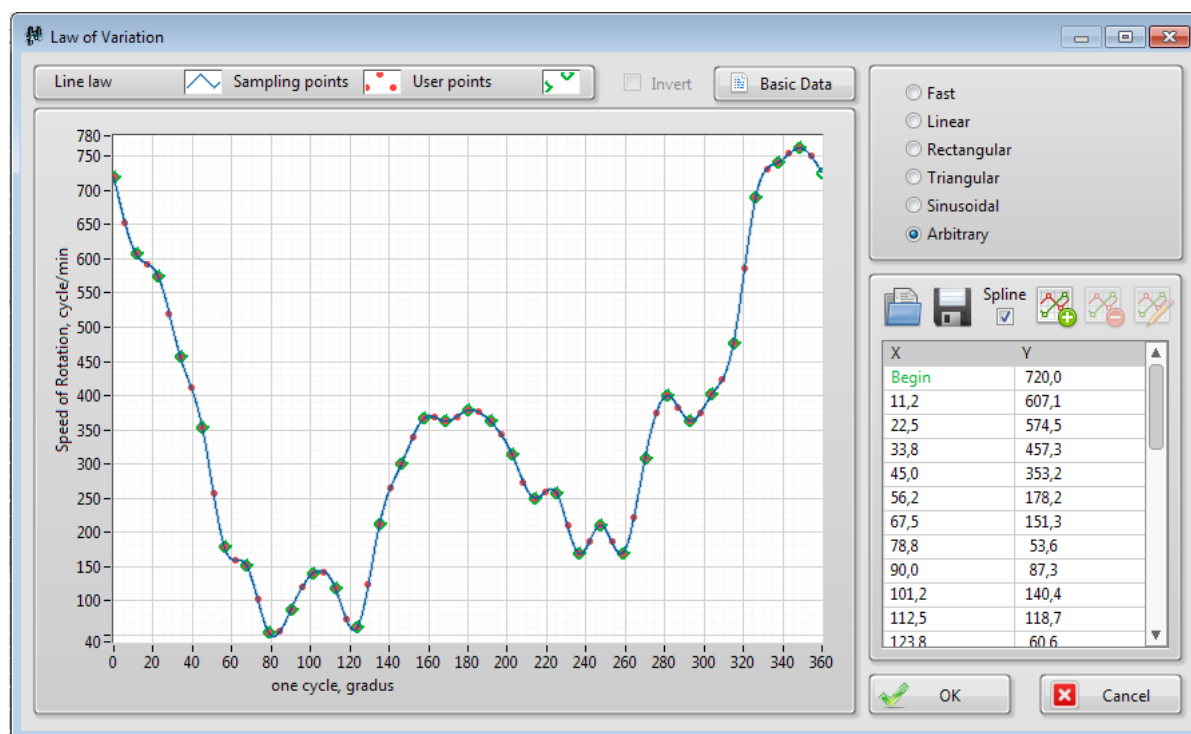


Рисунок 3.14. Входные данные для системы управления АТК

2 этап: производим запуск работы АТК предварительно, установив время работы АТК, и включив запись данных, получаемых с энкодера.

3 этап: анализируем полученную радиальную диаграмму, сравнивая ее с диаграммой входного воздействия.

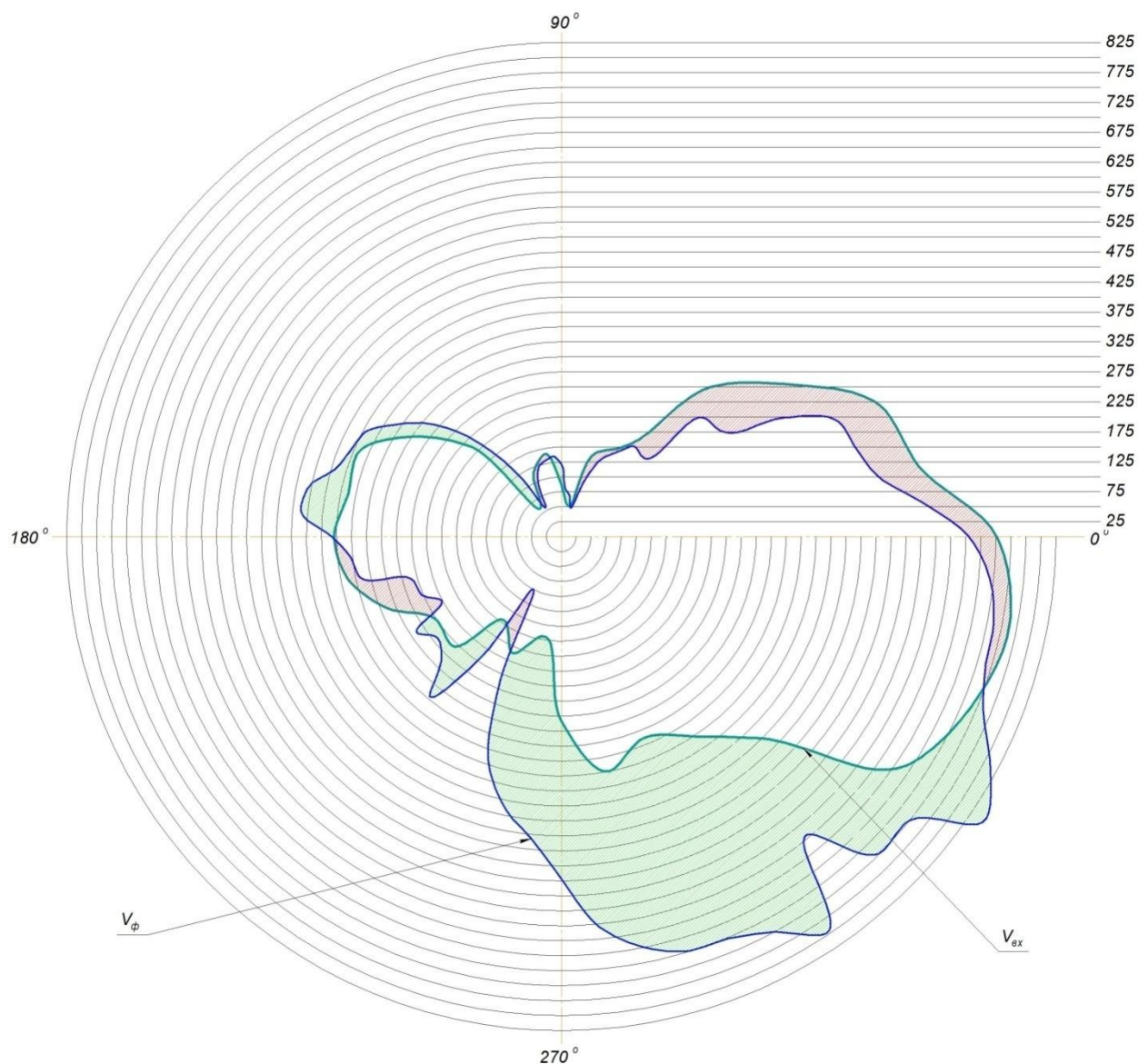


Рисунок 3.15. Радиальная диаграмма воспроизведения закона нагружения на АТК

На диаграмме (рис. 3.15.) наблюдается зона значительного увеличения опережения скорости вращения при должном ее уменьшении, это также объясняется запаздыванием скорости реакции привода.

Проанализировав полученные данные, сделан вывод, что необходимо компенсировать потери, которые влияют на воспроизведение закона нагружения.

4 этап: рассчитываем значение коэффициента корректировки.

Произведя расчеты, получено значение коэффициента корректировки по амплитуде равное 25

Производим коррекцию входного закона на величину отставания и опережения в каждом угловом положении

5 этап: исходя из данного анализа в систему управления АТК был внесен закон нагружения с учетом коэффициентов по фазе и амплитуде (рис. 3.16).

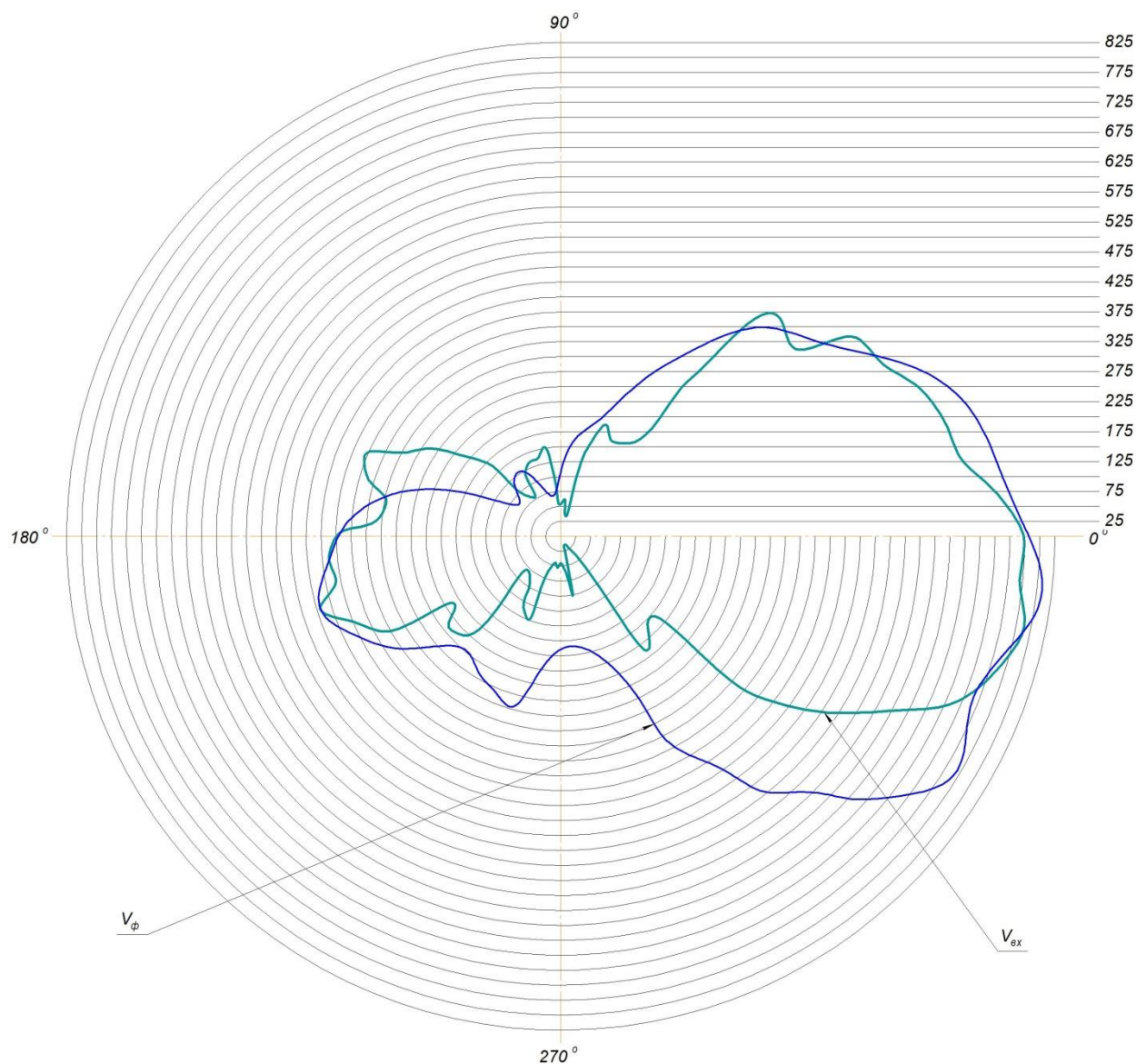


Рисунок 3.16 Воспроизведение закона нагружения с учетом корректировки.

На диаграмме отображен закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки, он выделен зеленым цветом. Фактическое воздействие, на диаграмме выделено синим цветом. Для того, что бы в полной мере оценить

компенсацию потерь по фазе и амплитуде необходимо сравнить фактический закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки с входным законом нагружения без учета корректировки.

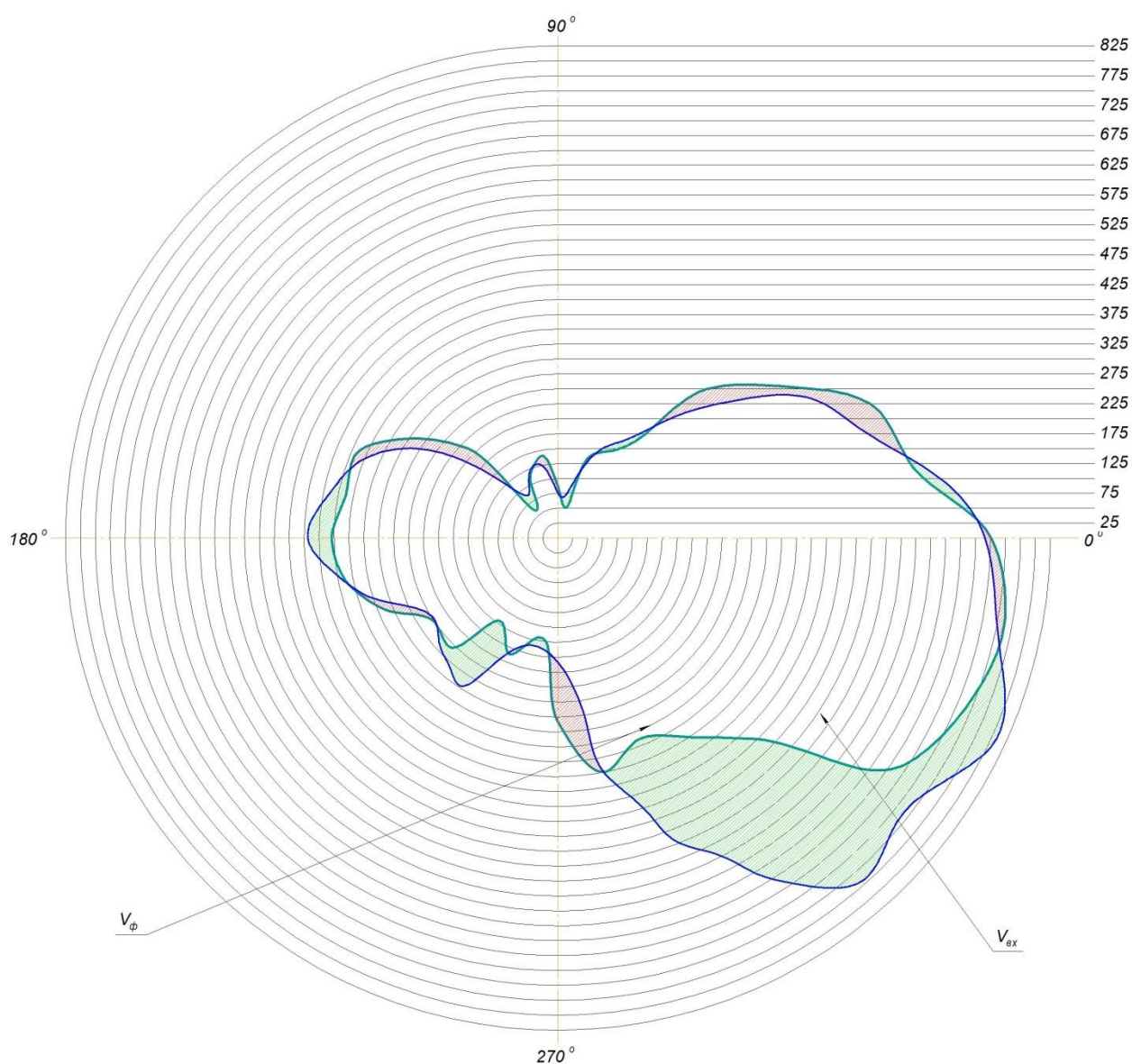


Рисунок 3.17. Сравнительная диаграмма законов нагружения

На сравнительной диаграмме (рис. 3.17.) наблюдается увеличение достоверности воспроизведения пульсационного, произвольного закона скоростного нагружения без действия нормальной нагрузки. С помощью корректировки входного воздействия удалось незначительно уменьшить зону значительного опережения скорости вращения, из этого можно сделать вывод что система управления приводом не полноценно отрабатывает в случаях интенсивного снижения скорости вращения исполнительного механизма.

В таблице 11 представлены результаты эксперимента и показатели увеличения достоверности воспроизведения закона нагружения в следствии корректировки входного сигнала.

Таблица 11 – Результаты эксперимента.

Максимальное отклонение амплитуды, мм		Площадь несоответствия, мм ²	
До коррекции	После коррекции	До коррекции	После коррекции
98,8	81,28	17787,19	9134,62
Изменение: 17%		Изменение 49%	

Эксперимент №5

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Параметры проведения эксперимента

Закон нагружения	Интервал скоростей вращения, об/мин	Силовая нагрузка, F, Н
Пульсационный, произвольный	40 – 800	98,07

1 этап: в системе управления АТК задаем закон скоростного нагружения, задаем величину постоянного силового нагружения.

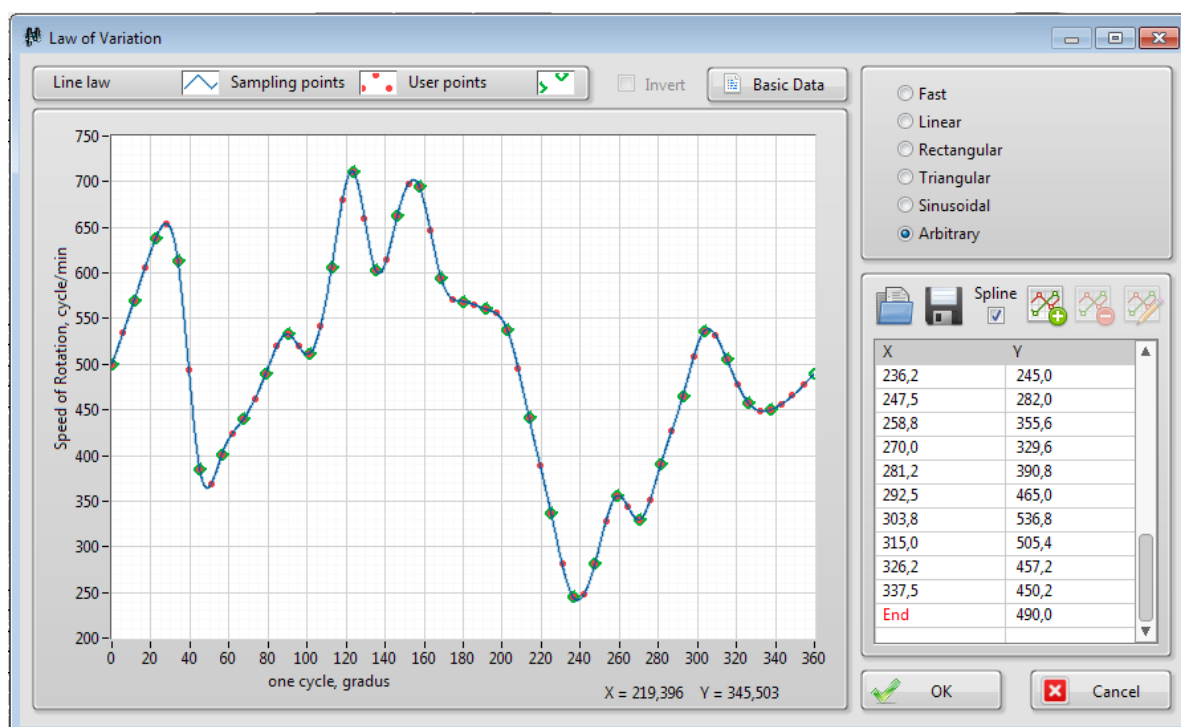


Рисунок 3.18. Входные данные для системы управления АТК

2 этап: производим запуск работы АТК предварительно, установив время работы АТК, и включив запись данных, получаемых с энкодера.

3 этап: анализируем полученную радиальную диаграмму, сравнивая ее с диаграммой входного воздействия.

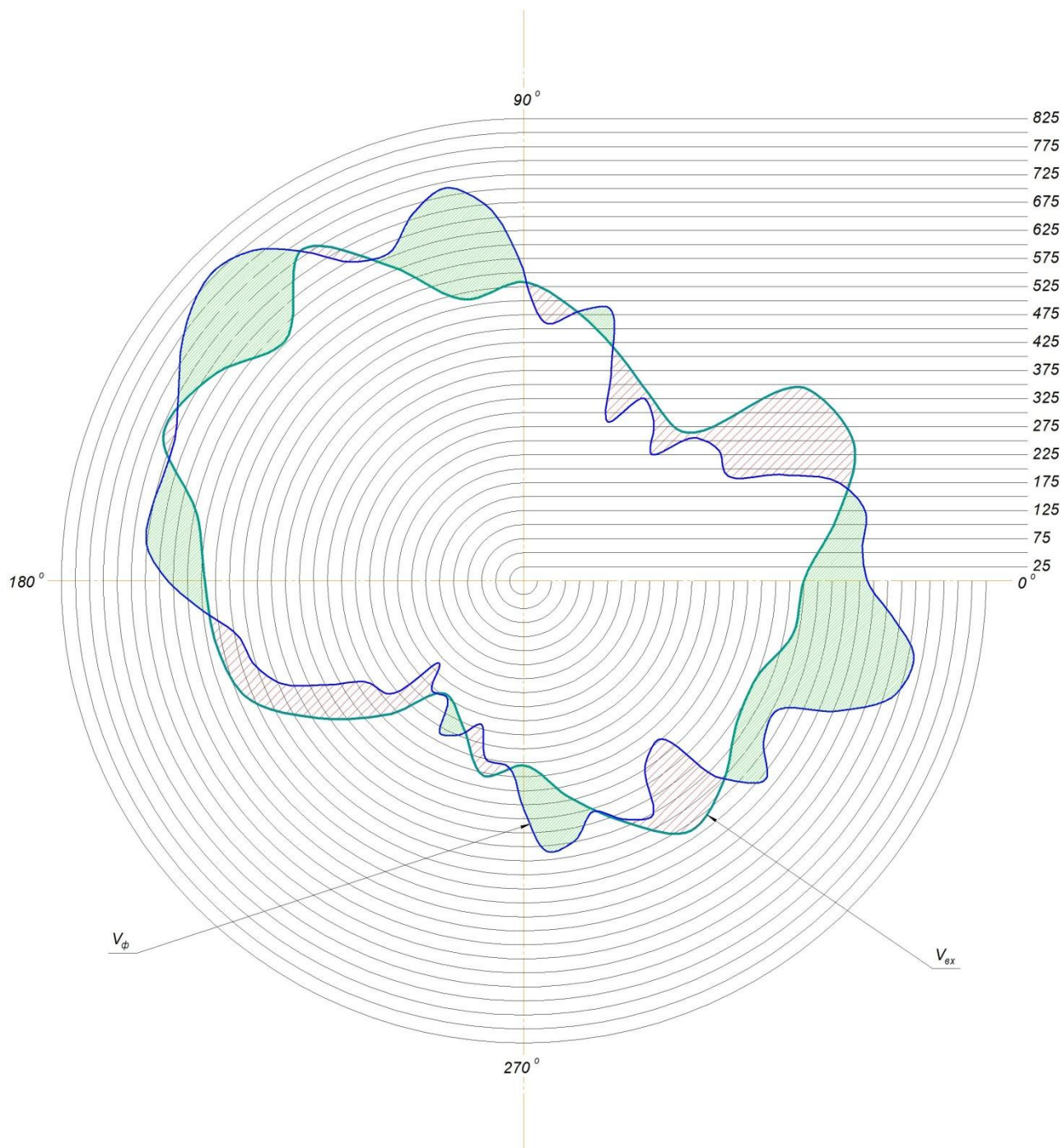


Рисунок 3.19. Радиальная диаграмма воспроизведения закона нагружения на АТК

На диаграмме (рис. 3.19.) наблюдается значительное изменение фактического воздействия. Колебания скорости вращения, значительное смещение по фазе

Проанализировав полученные данные, сделан вывод, что необходимо компенсировать потери, которые влияют на воспроизведение закона нагружения.

4 этап: рассчитываем значение коэффициента корректировки.

Произведя расчеты, получено значение коэффициента корректировки по амплитуде равное 25,38.

Производим коррекцию входного закона на величину отставания и опережения в каждом угловом положении

5 этап: исходя из данного анализа в систему управления АТК был внесен закон нагружения с учетом коэффициентов по фазе и амплитуде(рис. 3.20.).

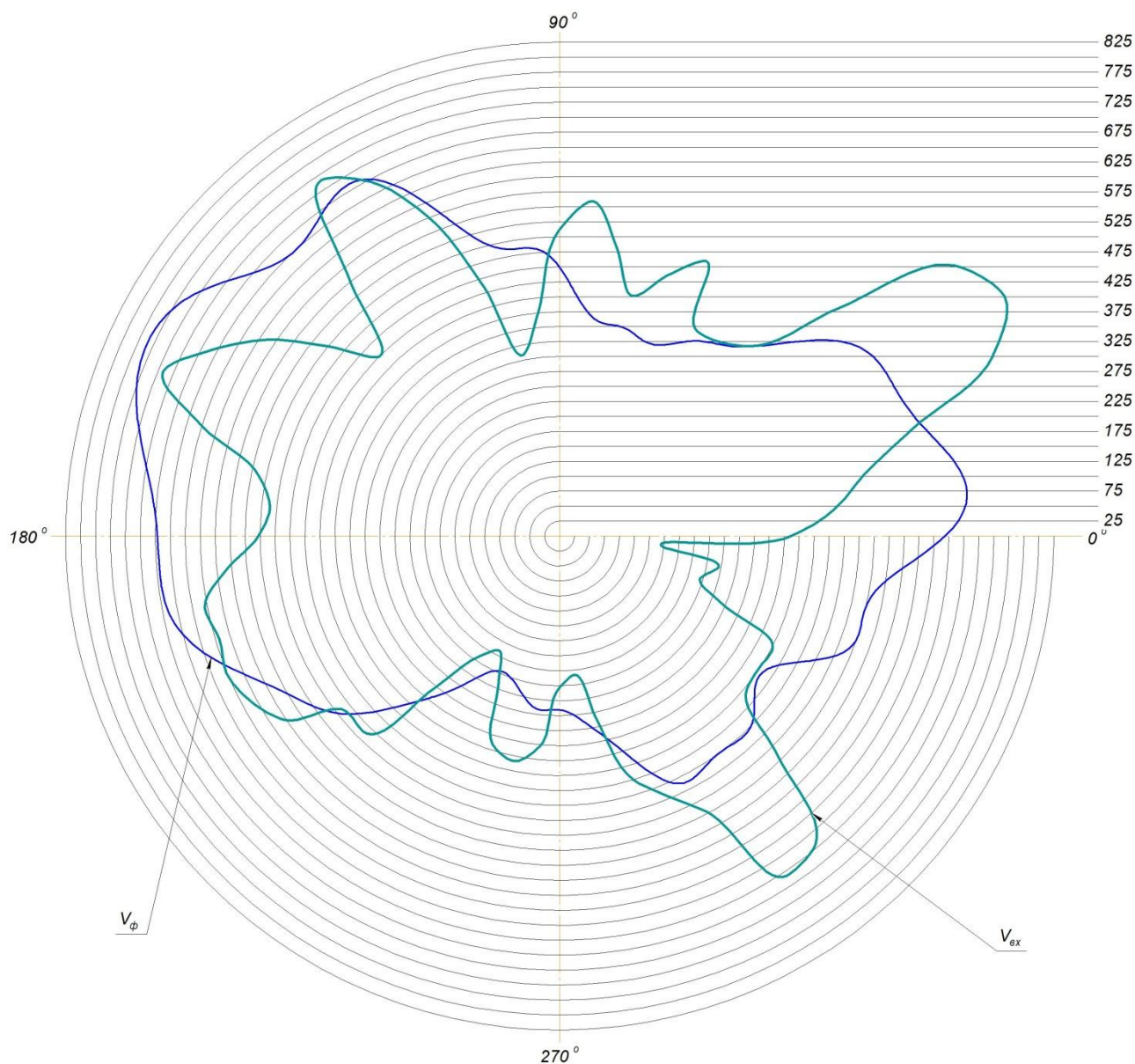


Рисунок 3.20 Воспроизведение закона нагружения с учетом корректировки.

На диаграмме отображен закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки, он выделен зеленым цветом. Фактическое воздействие, на диаграмме выделено синим цветом. Для того, что бы в полной мере оценить компенсацию потерь по фазе и амплитуде необходимо сравнить фактический закон нагружения с учетом коэффициентов корректировки с входным законом нагружения без учета корректировки.

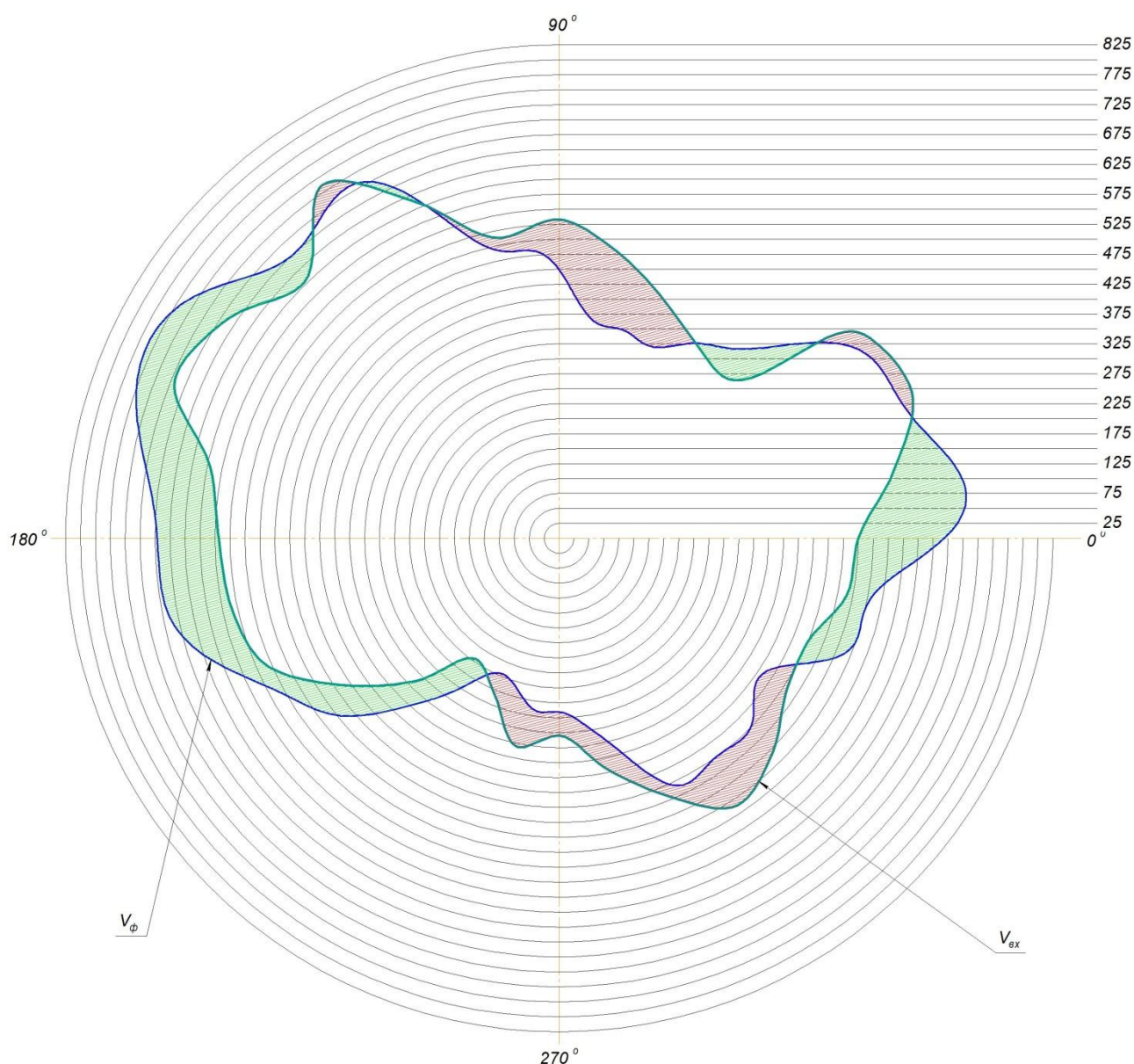


Рисунок 3.21. Сравнительная диаграмма законов нагружения

На сравнительной диаграмме (рис. 3.21.) наблюдается увеличение достоверности воспроизведения пульсационного, произвольного закона скоростного нагружения под действием нормальной нагрузки. С помощью

корректировки входного воздействия удалось значительно уменьшить колебания скорости вращения.

В таблице 13 представлены результаты эксперимента и показатели увеличения достоверности воспроизведения закона нагружения в следствии корректировки входного сигнала.

Таблица 13 – Результаты эксперимента.

Максимальное отклонение амплитуды, мм		Площадь несоответствия, мм ²	
До коррекции	После коррекции	До коррекции	После коррекции
56,7	39,16	16064,76	12182,25
Изменение: 30,9%		Изменение 24%	

4. Сравнительный анализ теоретических и практических результатов испытаний

Для сравнения результатов экспериментов, проведенных на математической модели и автоматизированном триботехническом комплексе, необходимо сравнить воспроизводимые законы нагружения после корректировки в математической модели и системе управления АТК.

На рисунке 4.1. изображены радиальные диаграммы воспроизведения законов нагружения на математической модели $V_{\text{теор}}$ и АТК $V_{\text{пр}}$. На рисунке 4.1.а изображен пульсационный синусоидальный закон нагружения при действии нормальной нагрузки 49,03 Н, на рисунке 4.1.б изображен пульсационный синусоидальный закон нагружения при действии нормальной нагрузки 98,03 Н, на рисунке 4.1.в изображен постоянный, равнозначный закон нагружения при действии нормальной нагрузки 98,03 Н.

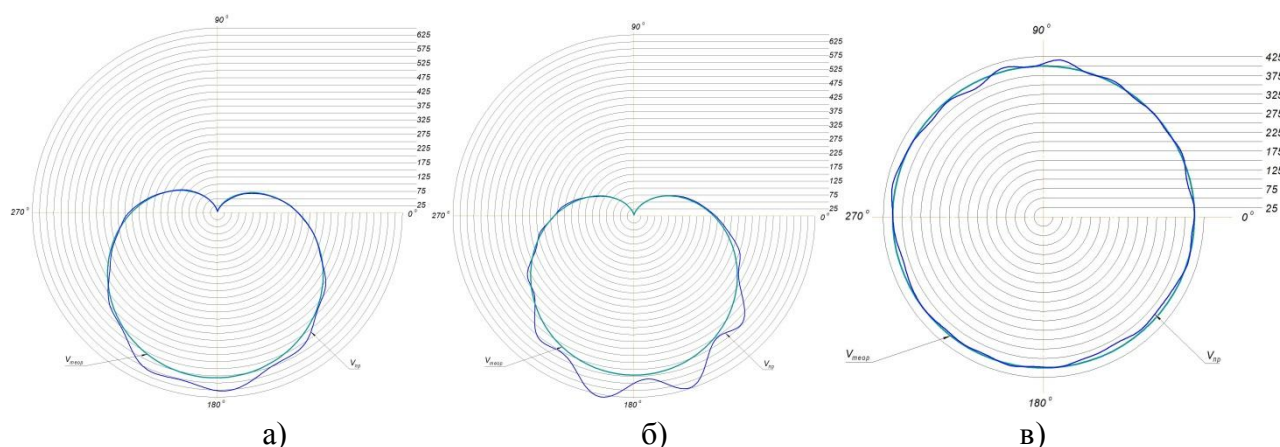


Рисунок 4.1. Радиальная диаграмма воспроизведения законов.

Радиальные диаграммы (рис. 4.1.) позволяют нам судить о степени соответствия результата корректировки в математической модели и системе управления АТК.

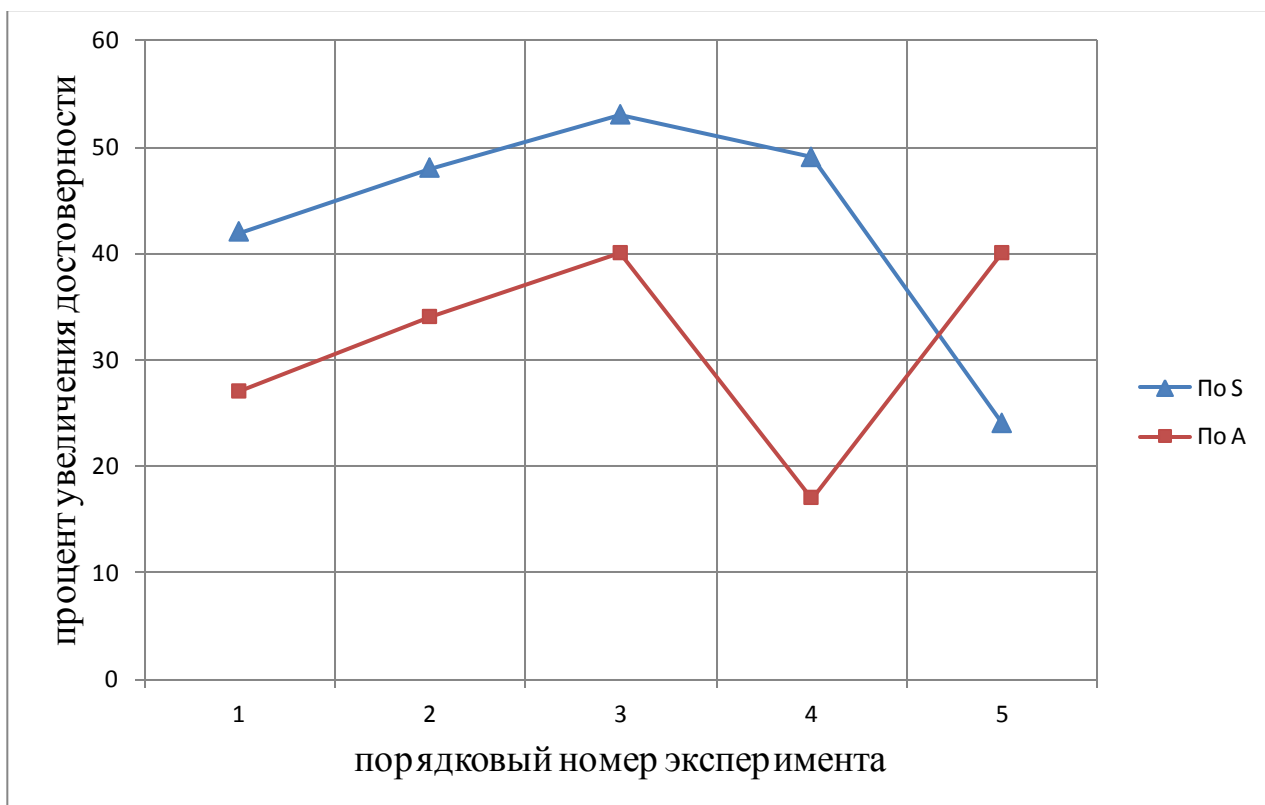


Рисунок 4.2. График процентного соотношения увеличения достоверности воспроизведения законов нагружения.

По результатам, теоретических и практических исследований математической модели и системы управления АТК, можно сделать вывод, что принцип математического моделирования систем нагружения автоматизированного триботехнического комплекса, а так же корректировка входящего воздействия, на данном этапе позволяет нам увеличить достоверность воспроизведения законов нагружения приблизительно на 43 % процентов по площади несоответствия и на 31% по максимальному отклонению амплитуды.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1. Общие сведения о научном исследовании

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

1. разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
2. организация работ по научно-исследовательскому проекту;

3. определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
4. планирование научно-исследовательских работ;
5. оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
6. определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

6.2. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок: конструкторские бюро, машиностроительные предприятия и заводы.

		Тип испытаний	
		Стандартный	Экспериментальный
Уровень производства предприятия	Массовое		
	Серийное		
	Единичное		

Рисунок 5.1. Карта сегментирования рынка по применению исследования автоматизированного триботехнического комплекса

По данной карте сегментирования видно, что исследование данной установки а так же процесса испытания на трение износ является актуальным и впишется в российский рынок.

6.3. Анализ конкурентных технических решений

Таблица 14 – Оценочная карта.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{2к}	Б _{1к}	К _{2к}	К _{1к}
1	2	3	5	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Износостойкость	5	5	4	25	20
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	8	8	8	64	64
3. Надежность	5	5	4	25	20
4. Регулировка	5	5	3	25	15
5. Безопасность	8	7	7	56	56
6. Переналадка	10	8	9	80	90
7. Простота эксплуатации	8	8	8	64	64
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	10	9	10	90	100
2. Уровень проникновения на рынок	7	4	5	28	35
3. Цена	8	6	6	48	48
4. Предполагаемый срок эксплуатации	8	6	5	48	40
5. Послепродажное обслуживание	4	4	4	16	16
6. Срок выхода на рынок	4	1	2	4	8
Итого	100	76	75	573	576

По оценочной карте видно, что автоматизированный триботехнический комплекс является конкурентоспособным, так как по многим показателям превосходит своего конкурента. Главным достоинством данного устройства является его переналадка и простота эксплуатации.

6.4. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 15 – SWOT-анализ.

Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Регулировка диапазона гашения, возможность настройки устройства на различные частоты вибрации. С2. Переналадка, возможность адаптации к различным станкам. С3. Быстродействие, уменьшение времени восстановления системы. С4. Простота эксплуатации. С5. Надежность, способность долгое время обходиться без ремонта, в связи с отсутствием подвижных элементов.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Более высокая себестоимость. Сл2. Трудоёмкость монтажа. Сл3. Продукт не продавался.
Возможности: В1. Быстрое продвижение на рынок. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Усовершенствование устройства	В1С1С2С3С4С5 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства. В2С1С2С5- дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства. В3С2 – усовершенствование устройства за счёт его переналадки и возможности адаптации к различным станкам.	В1Сл3 – может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем. В2Сл1Сл2Сл3 – появление дополнительного спроса может быть мало из-за несовершенства устройства.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Кризис У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции со стороны государства	У2С1С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.	У1Сл1 – из-за более высокой себестоимости могут возникнуть проблемы с продажей данного устройства.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта.

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	+	-	-	+
	B3	-	+	-	-	-

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта.

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	+
	B2	+	+	+
	B3	0	0	0

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта.

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	0	-
	У2	+	-	+	+	-
	У3	0	0	0	0	0

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта.

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	+
	У2	+	0	+
	У3	+	0	0

6.5. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования.

Таблица 20 – Морфологическая матрица.

	1	2	3
А. Устройство для задания вращения	Асинхронный двигатель	Двигатель постоянного тока	Двигатель переменного тока
Б. Устройство для задания нагрузки	Шаговый двигатель	Двигатель переменного тока	Двигатель постоянного тока
В. Датчик контроля момента вращения	Лазерный	Тензометрический	Контактный
Г. Датчик контроля момента трения	Индуктивный	Контактный	Тензометрический
Д. Регулятор давления в системе нагружения	Дросселирующий гидрораспределитель	Механический дроссель	Механическая задвижка
Е. Предохранительное устройство	Торсион	Муфта	Обратный клапан

Варианты решения задачи:

A1B1B1Г1Д1Е1 – исполнение 1.

A2B2B1Г2Д3Е1 – исполнение 2.

6.6. Планирование научно-исследовательских работ

6.6.1. Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 21 – Перечень работ.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб		Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение аналитического обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Выбор объекта испытаний на основе аналитического обзора	Студент
	5	Построение математической модели	Студент
	6	Проведение испытаний математической модели	Студент
	7	Проведение испытаний на автоматизированном триботехническом комплексе	Студент
	8	Сравнение теоретических и практических результатов испытаний	Студент
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	9	Выявление зависимости, коэффициента корректировки по результатам испытаний	Студент
	10	Заполнение технологической документации	Студент
Оформление отчета	12	Заполнение пояснительной записки	Студент

6.6.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 22 – Время выполнения работы.

Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	1
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	7
	3	Проведение аналитического обзора	14
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Выбор объекта испытаний на основе аналитического обзора	7
	5	Построение математической модели	21
	6	Проведение испытаний математической модели	7
	7	Проведение испытаний на автоматизированном триботехническом комплексе	7
	8	Сравнение теоретических и практических результатов испытаний	7
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	9	Выявление зависимости, коэффициента корректировки по результатам испытаний	7
	10	Заполнение технологической документации	28
Оформление отчета	12	Заполнение пояснительной записки	14
Итого:			120

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

6.6.3. Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 23).

Таблица 23 – Временные показатели

Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_p	Длительность работ в календарных днях T_k
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	Руководитель	1	1
Изучение материалов по теме	5	10	7	Студент	7	8
Проведение аналитического обзора	10	28	14	Студент	14	16
Выбор объекта испытаний на основе аналитического обзора	3	10	7	Студент	7	8
Построение математической модели	12	27	21	Студент	21	24
Проведение испытаний математической модели	3	8	7	Студент	7	8
Проведение испытаний на автоматизированном триботехническом комплексе	4	10	7	Студент	7	8
Сравнение теоретических и практических результатов испытаний	6	12	7	Студент	7	8
Выявление зависимости, коэффициента корректировки по результатам испытаний	5	8	7	Студент	7	8
Заполнение технологической документации	9	30	28	Студент	28	31
Заполнение пояснительной записки	2	4	14	Студент	14	16

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 106 - 14} = 1,49$$

Таблица 24 – Календарный график

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_k	Продолжительность выполнения работ						
				Март		Апрель			Май	
				1						1
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1							
2	Изучение материалов по теме	Студент	8							
3	Проведение аналитического обзора	Студент	16							
4	Выбор объекта испытаний на основе аналитического обзора	Студент	8							
5	Построение математической модели	Студент	24							
6	Проведение испытаний математической модели	Студент	8							
7	Проведение испытаний на автоматизированном триботехническом комплексе	Студент	8							
8	Сравнение теоретических и практических результатов испытаний	Студент	8							
9	Выявление зависимости, коэффициента коррекции по результатам испытаний	Студент	8							
10	Заполнение технологической документации	Студент	31							
11	Заполнение пояснительной записки	Студент	16							



- Руководитель



- Студент

6.6.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

6.6.5. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 25.

Таблица 25 – Материальный затраты

Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы	
		Исп. 1	Исп. 2		Исп. 1	Исп. 2
Двигатель	шт.	1	1	3740	3740	3740
Двигатель	шт.	1	1	4750	4750	4750
Блок управления	шт.	1	1	16400	16400	16400
Дросселирующий гидрораспределитель	шт.	1	1	1100	1100	1100
Обратный клапан	шт.	1	2	1200	1200	2400
Гидроаккумулятор	шт.	2	1	2100	4200	2100
Предохранительный клапан	шт.	1	1	1500	1500	1500
Соединительная магистраль	шт.	5	8	1000	5000	8000
Датчик измерения момента вращения	шт.	1	1	56000	56000	56000
Датчик давления	шт.	1	2	43000	43000	86000
Манометр	м	1	1	150	150	150
Итого					137040	182140

6.6.6. Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 26.

Таблица 26 – Расчет заработной платы.

Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1580,61	1580,61
2	Изучение материалов по теме	Студент	7	287,7	2013,9
3	Проведение аналитического обзора	Студент	14	287,7	4027,8
4	Выбор объекта испытаний на основе аналитического обзора	Студент	7	287,7	2013,9
5	Построение математической модели	Студент	21	287,7	6041,7
6	Проведение испытаний математической модели	Студент	7	287,7	2403,96
7	Проведение испытаний на	Студент	7	287,7	2013,9

	автоматизированном триботехническом комплексе				
8	Сравнение теоретических и практических результатов испытаний	Студент	7	287,7	2013,9
9	Выявление зависимости, коэффициента корректировки по результатам испытаний	Студент	7	287,7	2013,9
10	Заполнение технологической документации	Студент	28	287,7	8055,6
11	Заполнение пояснительной записки	Студент	14	287,7	4027,8

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (6)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 27).

Таблица 27 – Баланс рабочего времени.

Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	106 14	106 14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезням	48 -	48 -
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{30244,32 \cdot 10,4}{198} = 1588,59 \text{ руб.} - \text{заработная плата руководителя за 1 день};$$

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{5111,68 \cdot 11,2}{198} = 289,14 \text{ руб.} - \text{заработная плата студента за 1 день.}$$

$$Z_{\text{осн1}} = 1588,59 \cdot 3 = 4765,77 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{осн2}} = 289,14 \cdot 51 = 14746,14 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$Z_{\text{зн1}} = 4765,77 + 714,86 = 5480,37 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{зн2}} = 14746,14 + 2211,92 = 16958,06 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

6.6.7. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (9)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп1}} = 0,15 \cdot 4765,77 = 714,86 \text{руб.} - \text{руководитель.}$$

$$З_{\text{доп2}} = 0,15 \cdot 15035,28 = 2211,92 \text{руб.} - \text{студент.}$$

6.6.8. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (10)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%¹.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (табл.28).

Таблица 28 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, р.уб.
Руководитель проекта	4765,77	714,86
Студент-дипломник	14746,14	2211,92
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого	1485,25+4595,63=6080,88	

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (4765,77 + 714,86) = 1485,25 \text{руб.} - \text{руководитель}$$

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (14746,14 + 2211,92) = 4595,63 \text{руб.} - \text{студент}$$

¹Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

6.6.9. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

Данные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- проведение испытаний для определения качества сырья и материалов;
- контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;
- ремонт основных производственных средств;
- поверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее.
- транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в цехи (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления).

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

В таблице 29 представлены исполнители операций по изготовлению рамы мобильного устройства.

Таблица 29 – Сторонние исполнители.

Сторонние исполнители

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Инженер	12	1	2

Для сборки автоматизированного триботехнического комплекса необходимо собрать в необходимой последовательности 12 элементов. Заказ будет выполняться на кафедре АРМ ТПУ. Оклад инженера на кафедре АРМ 7936т.р.

На выполнение работ по отводится 2 дня.

Подсчитаем зарплату за 2 дня рабочего на кафедре АРМ. Результаты расчетов представлены в таблице 30. Заработная плата рассчитывается по методике из разд.3.4.3., отчисления во внебюджетные фонды по методике 3.4.5.

Таблица 30 – Оплата труда сторонних исполнителей.

Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Инженер	892,81
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%
Отчисления во внебюджетные фонды	267,84

$$Z_{\text{дн}} = \frac{7936 \cdot 11,2}{223} = 398,58 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 398,58 \cdot 2 = 797,16 \text{ руб.} - \text{основная зарплата инженера}$$

$$Z_{\text{зп}} = 797,16 + 797,16 \cdot 0,12 = 892,81 \text{ руб.} - \text{зарплата инженера}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 30\% \cdot 892,81 = 267,84 \text{ руб.} - \text{внебюджетные отчисления инженера}$$

6.6.10. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (11)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

6.6.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 31.

Таблица 31 – Расчет бюджета.

Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	580802	628789,4	Пункт 5.4.4
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	112389	112389	Пункт 5.4.5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13682,1	13682,1	Пункт 5.4.6
4. Отчисления во внебюджетные фонды	30192,6	30192,6	Пункт 5.4.7
5. Контрагентские расходы	2925	2925	Пункт 5.4.8
6. Накладные расходы	118398,5	118398,5	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	858389,2	906322,6	Сумма ст. 1- 6

6.7. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (12)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{858389,2}{906322,6} = 0,947 \text{ - интегральный финансовый показатель}$$

разработки первого исполнения.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{906322,6}{906322,6} = 1 \text{ - интегральный финансовый показатель разработки}$$

второго исполнения.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{885136,6}{906322,6} = 0,976 \text{ - интегральный финансовый показатель разработки}$$

третьего исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (13)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 32).

Таблица 32 – Расчет заработной платы.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,20	4	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	4
3. Стоимость	0,20	5	3	4
4. Энергосбережение	0,10	5	5	5
5. Надежность	0,20	5	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 4*0,2 + 5*0,15 + 5*0,2 + 5*0,1 + 5*0,2 + 5*0,15 = 4,8;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,2 + 4*0,15 + 3*0,2 + 5*0,1 + 4*0,2 + 4*0,15 = 4,1;$$

$$I_{p-исп3} = 5*0,2 + 4*0,15 + 4*0,2 + 5*0,1 + 4*0,2 + 4*0,15 = 4,3.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (14)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,8}{0,947} = 5,07; \quad I_{исп.2} = \frac{4,1}{1} = 4,1; \quad I_{исп.3} = \frac{4,3}{0,976} = 4,4$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.20) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_ф$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (15)$$

Таблица 33 – Расчет заработной платы.

Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,947	1	0,976
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,1	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	5,07	4,1	4,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=1,23 Исп1/Исп3=1,15	Исп2/Исп1=0,80 Исп2/Исп3=0,93	Исп3/Исп1=0,87 Исп3/Исп2=1,07

Из таблицы 33 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи по всем показателям является исполнение 1.

7. Социальная ответственность

7.1. Анализ установки с точки зрения безопасности жизнедеятельности

Машины и оборудование для проведения испытаний всегда обладают повышенной опасностью, так как они являются первым рубежом практической проверки поведения тех или иных узлов и механизмов. При работе с такими машинами необходимо четко руководствоваться техникой безопасности, правилами и нормативами поведения СанПиН.

В данной диссертационной работе исследуется кинематика и динамика автоматизированного триботехнического комплекса, который позволяет проводить испытания образцов деталей на трение и износ, а так же, смазочно – охлаждающих жидкостей на предмет показателей во время работы узлов и механизмов трибосопряжения.

Основными факторами, которые следует учитывать при оценке условий труда людей при эксплуатации устройства являются факторы, которые предназначены для использования испытательных машин. В соответствии с постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 23.05.2003 "О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2.1327-03 «Гигиена труда. Технологические процессы, материалы и оборудование, рабочий инструмент. Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту»

7.2. Организация рабочего места

Выпускная квалификационная работа проводится в национальном исследовательском Томском политехническом университете, на базе кафедры автоматизации и роботизации в машиностроении.

Для студентов предоставляются в свободном доступе аудитории, оборудованные компьютерной техникой, отвечающей современным требованиям, и необходимым программным обеспечением. Учебные

аудитории, а так же, лаборатории для необходимых практических работ. Измерительный и рабочий инструмент. Необходимые средства индивидуальной защиты. Состояние предоставляемых помещений полностью отвечает гигиеническим требованиям.

7.3. Требования к производственным помещениям

1. Размещение в подвальных помещениях любых типов зданий не допускается.

2. Не допускается размещение в жилых зданиях, за исключением аппаратов настольного типа, необходимых для ведения работ в организациях и учреждениях, разрешенных к размещению на первом и цокольных этажах жилых зданий в соответствии с действующими нормами;

3. Отсутствие или если это невозможно, то установление предельно допустимых концентраций вредных или неприятно пахнущих веществ в воздухе рабочих зон, а также минимальное выделение тепла и влаги в производственных помещениях;

4. Отсутствие или допустимые уровни шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных волн, радиочастот, статического электричества и ионизирующих излучений;

5. Площадь и кубатура помещений на одного работающего рассчитывается в соответствии с требованиями технологической и эксплуатационной документации (не менее 6 м², при кубатуре - не менее 15 м³). Определение минимальной площади производственных и складских помещений производится, исходя из устанавливаемого (запроектированного) оборудования, количества вспомогательных материалов, количества рабочих мест.

6. Расстановка оборудования производится с учетом обеспечения свободного доступа ко всем частям механизмов машин и аппаратов как для обслуживания, так и для ремонта. Расстояние от стены или колонны до краев машины или аппарата (с учетом конструкции вентсистем) составляет не менее

0,6 м, а со стороны зоны обслуживания - не менее 1,0 м. Между станками и машинами предусматриваются места для размещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Минимальные размеры проходов - не менее 0,6 м.

7. При использовании в технологии порошковых материалов предусматривается отдельное помещение для их хранения.

7.4. Микроклимат

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в лаборатории.

Для оценки метеоусловий в помещении производят измерения температуры, влажности, запылённости, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения. Результаты измерений сравнивают с нормативами ГОСТ 12.1.005-88. Они приведены в таблице 34

Таблица 34 – нормативы метеоусловий в помещении.

Наименование норм	Оптимальная		Допустимая	
	зимний период	летний период	зимний период	летний период
Температура воздуха С.	20-22	20-24	18-25	не > 22
Относит. Влажность %	50-60	50-60	не > 70	70
Скорость движения воздуха, м/с	0.2	0.3	0.3	0.5

Система отопления лаборатории должна обеспечить достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха в аудитории в холодный период года, а также безопасность в отношении пожара и взрыва. Так же необходимо обеспечить приток воздуха в аудиторию. Минимальный расход воздуха определяется из расчета 50-60 м³ /ч на одного человека по СНиП 41-01-2003. Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и

частоты воздуха в лаборатории возможно применить вентиляцию СНиП 41-01-2003.

Для поддержания данных санитарных норм достаточно иметь естественную неорганизованную вентиляцию помещения и местный кондиционер установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающий постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха. Необходима система центрального отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры в зимний период по СНиП-41-01-2003.

В зимний период в аудитории для поддержания необходимой температуры используется система водяного отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

При устройстве системы вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении лаборатории необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности.

Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды в лаборатории рекомендую применять искусственную вентиляцию в сочетании с "местной" искусственной, так и естественной.

7.5. Освещение на рабочем месте

Для обеспечения нормативной освещённости необходимо использовать совмещённое освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Причём естественное освещение является боковым (осуществляется через световые проёмы в наружных стенах), а искусственное - общим. В условиях недостаточной освещённости в утреннее и вечернее время используется искусственное освещение. Роль искусственного освещения выполняют люминесцентные лампы. Они обладают высокой световой отдачей и имеют более продолжительный срок службы в отличие от обычных ламп

накаливания. Согласно, действующим ГОСТР 50948 ; ГОСТР 50949 ; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; СНиП 23-05-95 для искусственного освещения регламентировано наименьшая допустимая освещенность рабочего места 300лк. - 500лк. , яркость светящихся поверхностей (окна светильники и др.), находящихся в поле зрения $< 200\text{кд/м}^2$, коэффициент пульсации $< 5\%$. Измерения освещенности рабочих мест производится с помощью люксметров.

7.6. Требования к организации освещения производственных помещений и рабочих мест

1. Показатели световой среды на участках копировально-множительных работ должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов (Приложение 1).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 К САНПИН 2.2.2.1327-03

Таблица 35 – Нормативы уровней искусственной освещенности.

N	Наименование отделений, участков, оборудования	Плоскость нормирования освещенности (измерения)	Разряд, подразряд зрительных работ	Наименьшая искусственная освещенность рабочих поверхностей		
				Комбинированное освещение		Общее освещение
				Всего	От общ.	
1.1.1	Редакционно-оформительское отделение Участок наборно-пишущих машин	Г-0,8 м от пола	4б	500 ЛК	300 ЛК	400 ЛК
1.2	Стол корректора	наклонная плоскость стола	3в	750 ЛК	200 ЛК	300 ЛК
2.	Зона обслуживания копировально-множительной техники различных видов	Г-0,8 м от пола	4			300 ЛК
3.	Брошюровочно-переплетное отделение	Г-0,8 м от пола	4г			200 ЛК
4.4.1	Складские помещения Склад материалов (кислот, щелочей и т.д.)	Г-0,8 м от пола	8б			75 ЛК

4. 2	Склад бумаги	Г-0,8 м от пола	8в			50 ЛК
---------	--------------	-----------------	----	--	--	-------

2. В качестве источников света в установках общего и местного освещения рекомендуется предусматривать газоразрядные лампы типа ЛБ или другие источники света с аналогичными характеристиками. (п. 8.3 в ред. Изменения N 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07.09.2010 N 120)

3. В светильниках общего и местного освещения предусматривается светорассеивающая арматура.

4. Искусственное освещение помещений обеспечивает требуемые уровни освещенности, правильную цветопередачу, не создавая слепящей яркости и повышенной пульсации освещенности, оборудуется легкоуправляемыми и безопасными устройствами эксплуатации. Показатель ослепленности допускается не более 40, коэффициент пульсации от установок общего освещения - не более 20%.

7.7. Требования оборудования рабочих мест, предназначенных для работы с вычислительной техникой

1. Обеспечить уровни освещенности и контрастности на экране и вокруг него, которые обеспечили бы зрительный комфорт и позволяли бы адаптацию к типу задачи оператору.

2. Соблюдать равномерную яркость в различных зонах зрительного пространства так, чтобы избежать зрительного дискомфорта.

Освещенность на рабочем месте должна быть порядка 500 люкс, так как согласно СНиП 23-09-95 при сборке и разборке установки скорость различения деталей при этой освещенности максимальна и не требует большого зрительного напряжения.

Для общего освещения не менее 300 люкс при использовании газоразрядных ламп.

7.8. Анализ пожаро-взрывоопасности

Помещения и здания по пожаро – взрывной и пожарной опасности классифицируются на категории А, Б, В, Г и Д. Помещение лаборатории относится к категории В - пожароопасное, т.е. помещения, в которых горючие и трудно горючие вещества и материалы способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Согласно ПУЭ классом зоны пожароопасности этих помещений является П -Па, т.е. это зона, расположенная в помещениях, в которых обращаются твёрдые горючие вещества.

Степень защиты электрооборудования:

- стационарное IP44;
- передвижное IP54;
- светильник IP20.

7.9. Средства пожаротушения

Средства пожаротушения подразделяются на:

- организационные (вынужденная эвакуация людей при пожаре);
- эксплуатационные (вода, водо-химические растворы, огнетушащие пены, инертные газы, ингибиторы и флегматизаторы и т.д.);
- режимные (системы автоматической сигнализации и автоматического пожаротушения, противодымовая защита).

Для обеспечения пожаробезопасности аудитории имеются два углекислотных огнетушителя типа ОУ-5 (согласно ГОСТ 12.1.004-88 ССБТ). Установлена система автоматической пожарной сигнализации (реагирует на появление дыма, кроме того она формирует сигнал на включение системы аварийной вентиляции дымоудаления, других устройств). В коридоре установлен пожарный кран.

7.10.Организационные меры по обеспечению пожаробезопасности

Во избежание пожаров необходимо периодически производить инструктаж с пользователями по пожаробезопасности, недопустимо приносить и хранить в комнатах взрывопожароопасные вещества и материалы. При обнаружении пожара, необходимо:

1. вызвать пожарную охрану по «01»;
2. обеспечить вынужденную эвакуацию всех людей;
3. до прибытия команды ПО принять все необходимые меры по тушению пожара.

7.11.Мероприятия противопожарной профилактики

1.Хранить информацию желательно в обособленных помещениях, оборудованных негорючими шкафами и стеллажами;

2.В помещениях, смежных с аудиторией для электроприборов, не желательно размещение помещений категории «А» и «В»;

3.Система вентиляции должны быть оборудована устройством, обеспечивающим автоматическое отключение при пожаре;

4.Подачу воздуха к электрооборудованию, для охлаждения, необходимо предусматривать;

5.Система электропитания оборудования должна иметь блокировку, обеспечивающую отключение в случае неисправности;

6.Работы по ремонту узлов оборудования должны производиться в отдельных помещениях;

7.Необходимо производить очистку от пыли всех аппаратов и узлов электрооборудования (желательно раз в месяц);

8.В помещении лаборатории должна предусматриваться автоматическая пожарная сигнализация, также необходимо устанавливать реле реагирующее на дым;

7.12.Медико–профилактическое обслуживание работников и проведение медицинских осмотров

1. Медикопрофилактическое обслуживание работников осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами.

2. К работе оператора не допускаются лица моложе 18 лет, беременные женщины и имеющие медицинские противопоказания. Приложение 2 к СанПиН 2.2.2.1327-03.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 к СанПиН 2.2.2.1327-03

Таблица 36 – Перечень вредных веществ.

Вещество	Технологический процесс	ПДК, мг/м3	Класс опасности
Аммиак	Диазопирование (светокпирование)	20,0	4
Азота оксид (в пересчете на NO2)	Диазопирование (светокпирование), контактное копирование, электрография (ксерокс, ЭРА), полноцветные лазерные аппараты	5,0	3
Ацетон	Электрография (ксерокс, ЭРА), ремонтные работы	200	4
Водород селенистый	Электрография (ксерокс, ЭРА) при ремонтных работах	0,2	2
Стирол	Электрография	5,0	3
Бензин	Участки подготовки бумаги и переплетно-брошуровочный участок (ремонтные работы)	100	4
Озон	Диазопирование (светокпирование), контактное копирование, электрография (все виды), полноцветные лазерные аппараты	0,1	1
Эпихлоргидрин	Электрография	1,0	2
Этиленоксид	Участки подготовки бумаги и переплетно-брошуровочный участок (ремонтные работы)	1,0	2
Пыль бумажная (с примесью диоксида кремния менее 2%)	Участок переплетно-брошуровочный	6	4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сформулированы основные принципы физического моделирования триботехнических испытаний с позиции приближения испытаний к реальным условиям эксплуатации узлов трения.

2. Определены основные требования, позволяющие обеспечить достоверность и воспроизводимость статических и динамических результатов триботехнических испытаний на автоматизированном триботехническом комплексе.

3. Определены и реализованы в конструкции созданного автоматизированного комплекса требуемые параметры его приводов и систем с учетом возможности реализации динамических режимов нагружения трибосопряжения.

4. Разработана и апробирована методика проведения совмещенных ускоренных триботехнических испытаний на автоматизированном комплексе в статических и динамических режимах.

5. Построены физическая и математическая модели автоматизированного комплекса с учетом возможности реализации динамических режимов нагружения узла трения.

6. Теоретически исследована математическая модель автоматизированного комплекса с точки зрения определения возможности увеличения точности воспроизведения требуемого закона нагружения исполнительного органа в его определенном угловом положении при сохранении требуемого закона изменения угловой скорости вращения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев Г. Ф. О трении и износе фрикционных пар при вибрационных нагрузках. – В кн.: Теоретические и прикладные задачи трения, износа и смазки машин. М.: Наука, 1982, с. 8-16.
2. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1978. – 728 с., ил.
3. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 696 с., ил.
4. Гаркунов Д. Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с., ил.
5. Гмошинский В. Г. Инженерное прогнозирование. – М.: Энергоиздат, 1982. – 208 с., ил.
6. Карасик И. И. Методы триботехнических испытаний в национальных стандартах стран мира. /Под ред. проф. В. С. Кершенбаума. – М.: “Наука и техника”, 1993. – 328 с., ил.
7. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техника, 1970. – 395 с.
8. Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.
9. Ларионов С. А. Исследование характеристик роторных насосов: Методическое указание. – Томск: ТГАСА, 1996. – 19 с., ил.
10. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с., ил.
11. Поляков Н. И. Микроскопы. – Л.: Машиностроение, 1989. – 511 с.
12. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: Учебник для вузов по специальностям “Гидроавтоматика и гидропривод” и “Гидравлические машины и средства автоматизации”. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с., ил.
13. Саркисян Р. Г. Измерение вращающих моментов электрических микромашин. – М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1970. – 92 с., ил.
14. Силин А. А. Трение и его роль в развитии техники. – М.: Наука, 1983. – 176 с., ил.

15. Фролов Л. Б. Измерение крутящего момента. – М.: Энергия, 1967. – 120 с., ил.
16. Хохлов В. А. Электрогидравлический следящий привод. – М.: Наука, 1966.
17. Хохлов В. М. Расчет площадей контакта, допускаемых напряжений, износа и износостойких деталей машин: Монография. – Брянск, БГТУ, 1999. – 104 с., ил.
18. Цейтлин Я. М. Упругие кинематические устройства. – Л.: Машиностроение, 1972. – 296 с., ил.
19. Гриб В. В., Лазарев Г. Е. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. М.: Наука, 1968.
20. Нагорный В. С., Денисов А. А. Устройства автоматики гидро- и пневмосистем: Учеб. пособие техн. Вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 367 с.: ил.
21. Браун Э. Д., Буяновский И. А., Смушкович Б. Л. Средства трибологических испытаний // Заводская лаборатория, 63 (1996), №10, с. 29-37.
22. Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Курс теоретической механики: Учебник. Т. II.: Динамика. – 3-е изд., исправленное. – М.: Наука. 1985. – 496 с., ил.
23. Вольф Э. Л., Куприянов Н. А., Кашеев В. Н. Введение в трибонику и трибологические отказы. Учебное пособие. Томск, изд. ТПУ, 1991 – 103 с.
24. Евдокимов Ю. А., Колесников В. И., Тетерин А. И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М.: Наука, 1980. 228 с.
25. Кончиц В. В., Мешков В. В., Мышкин Н. К. Триботехника электрических контактов. - Минск: Наука и техника, 1986. – 256 с., ил.
26. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
27. Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – 616 с., ил.

- 28.Чудинов Б. А., Полунин В. И., Криштал М. М., Павлихин С. Е. Опыт создания и работы трибологического центра на волжском автомобильном заводе. – Заводская лаборатория, 1997, Т. 63, № 4, с. 57-63.
- 29.Аш Ж.Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с франц. – М.: Мир. 1992. – 480 с., ил.
- 30.Браун Э. Д., Евдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В. Моделирование трения и изнашивания в машинах. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с., ил.
- 31.Датчики теплотехнических и механических величин: Справочник / А.Ю. Кузин, П.П. Мальцев, И.А. Шапоров. – М.: Энергоатомиздат, 1996 – 128 с.: ил.
- 32.Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1982 – Кн. 1982. – 528 с., ил.
- 33.ГОСТ 23.210-80. Фрикционная теплостойкость. – М.: Издательство стандартов, 1981.
- 34.ГОСТ 23.215-84. Прирабатываемость. – М.: Издательство стандартов, 1985.
- 35.ГОСТ 23.221-84. Метод экспериментальной оценки температурной стойкости смазочных материалов при трении. – М.: Издательство стандартов, 1985.
- 36.ГОСТ 183-74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1974.
- 37.ГОСТ 16593-79. Электроприводы. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1979.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Приложение А

Раздел Английская

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Барышев Иван Юрьевич		

Консультант кафедры АРМ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко А.В.	к. ф. н.		

1. Analytical review of modern technical systems loading

The choice of a mode and a methodology, providing maximum approach to real processes of friction, is one of the important problems of tests reliability. At the same time, changing controlled parameters, in this case a normal load per couple of friction and speed of rotation of a counter body, one must not distort a physical picture of a real test process.

Loads on machine parts can be constant or variable in time. In details of operating machines, continuous loads are found rarely, only in response to their own weight.

The loads can change smoothly or be placed instantly, the so-called dynamic ones. The reasons for the loads variability of machines are:

- the non-evenness of a work-flow of the engine;
- internal dynamics because of imbalance, as well as a manufacturing errors of parts and their assemblies;
- the non-evenness and variability of a process of an operating organ of a machine (for example in planning, grooving, broaching machines, hammers and presses, lifting machines).
- variability of resistance forces and dynamic effects during accidental overloads (universal metal-cutting lathes, cutting machines of food products, special technological machines, subject to the execution of different operations with periodic setting). In a general case, amplitudes, as well as mean values of loads and strains, are variables.

Many machine parts or their elements such as shafts, bearings, seals the teeth of gear wheels and others operate in conditions in which strains arising in them, change a periodic value or a value and a signifier. By the nature of change in time they divide the loads in machines into static and dynamic ones.

The law of loading is the characteristic of a part tension – the aggregate of consecutive values of strains of σ in one period during regular loading. Examples of varying forms of loading cycles are presented in Figure 1.

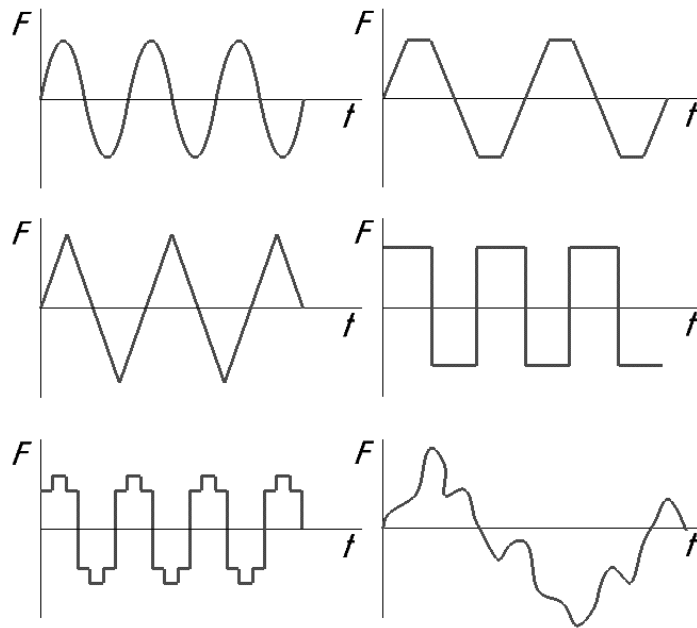


Figure 1. Varying forms of the loading laws

6.2. The classification of the laws of loading

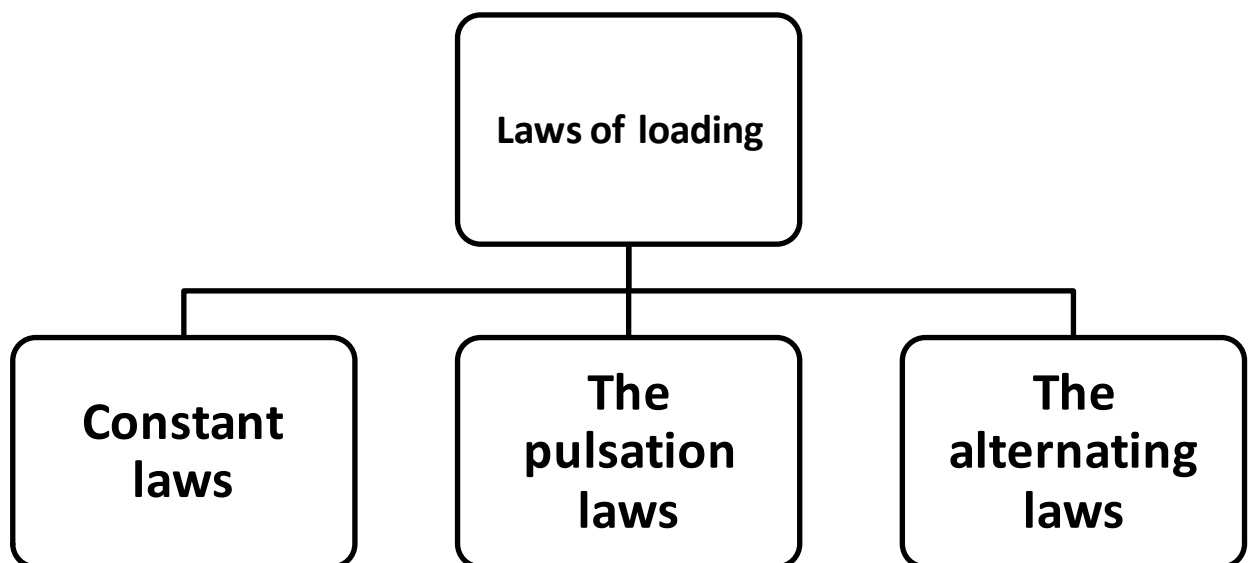


Figure 2. The classification of the laws of loading.

2.1.1 Constant laws

Static laws under which for a long enough time load operates and speed of change (increase or decrease) is significantly lower than speed of the deformation extension in a construction.

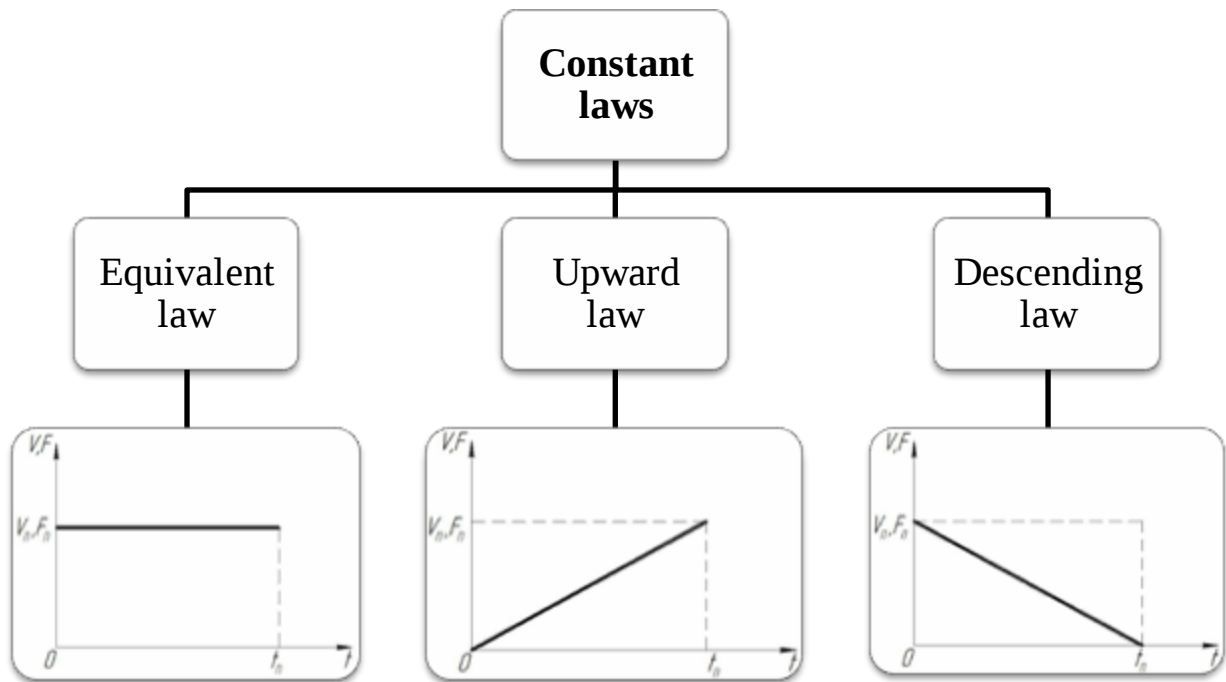


Figure 3. The structure chart of constant laws of loading.

A permanent, not changing in value load, is the feature of an equivalent law. This law is usually shown in operation of hydraulic shear friction assemblies, grip mechanisms of industrial robots, various hydraulic, pneumatic and mechanical lifting mechanisms.

Under the effect of the upward law, a load increases from zero to maximum with constant intensity. The manifestation of this law is noticed in acceleration mechanisms of test equipment on the principle of a trebuchet operation. The braking system of ABS works on such a principle. In a case of temperature loading, such a law is acting in operation of braking systems, for example, car disc brakes.

A descending law is reverse to the bottom-up one, loading starts from maximum extent and reduces to a zero with constant intensity.

2.1.2 The pulsation laws

The dynamic law (also called "from zero") during which a load changes from zero or from an initial value into any positive value, being inverse.

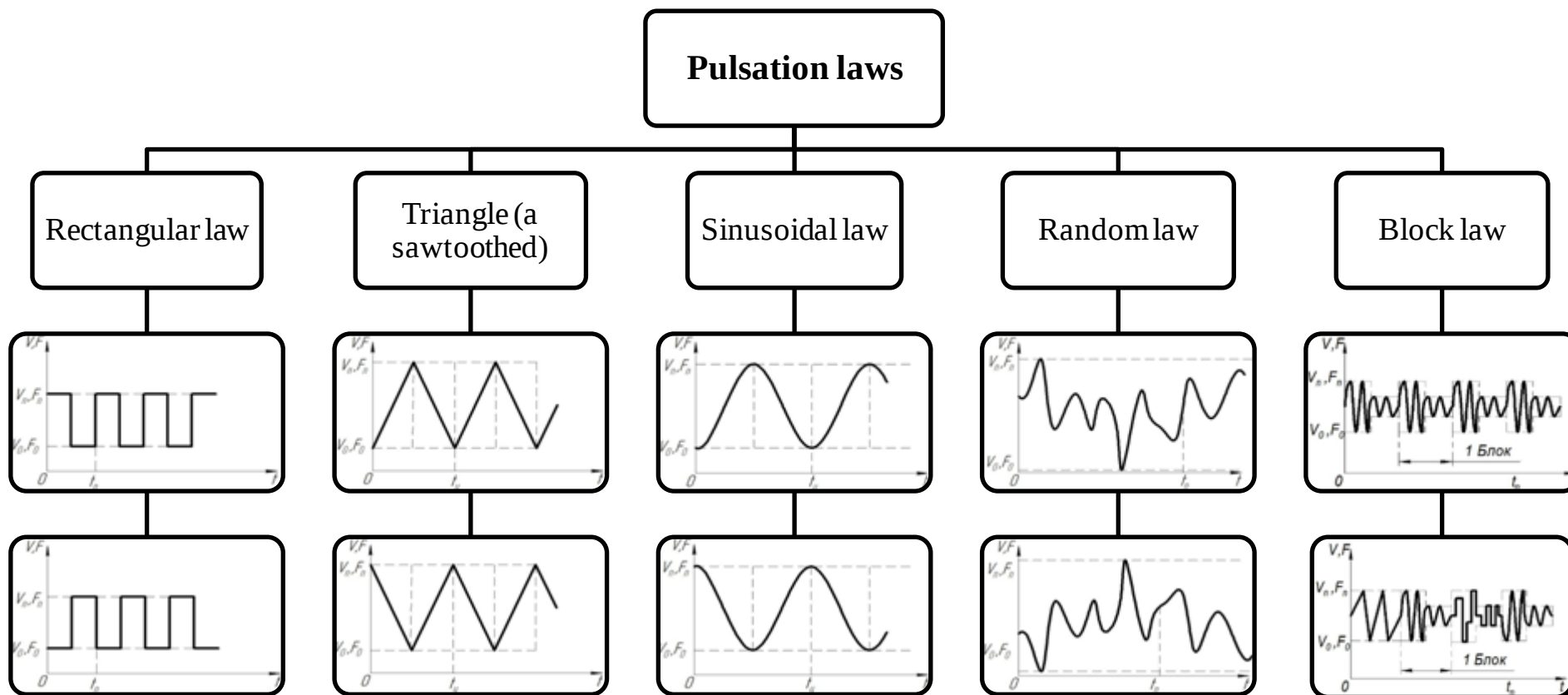


Figure 4. The structure chart of pulsation laws of loading

Step change of load is the feature of a rectangular law of load adjustment and its fixation for the preset time till the following change. Effect of this law is cyclic. This law finds its application in the electromechanical relay grip mechanisms, clips.

During the effect of a triangle (a sawtoothed) law, a load increases with determined intensity (decreases) to a given value and then cycle after cycle decreases with constant intensity (increases) and so the cycle-by-cycle. It finds application in various cam mechanisms.

The sinusoidal law is the most vivid example of pulsation laws and its act can be described as follows: load increases and decreases in a sinusoid (cosine curve). Such a law is shown in operation of gear wheels teeth, operating in one direction, rods, pushers, and connecting rods of sluggish machines, little loaded on the reverse motion.

Externally the arbitrary law does not remind any of the geometric figures, loading in the operation of it completely arbitrarily is increasing or is decreasing. This law finds application in almost all complex machines and mechanisms, for example, in internal combustion engines, speed boxes, reducers, hydraulic and pneumatic pumps.

The block law is a sequence of the loading units, which can consist of the same law, and from several different, such a law is seldom shown in operation of real machines and mechanisms and will mainly be applied on test machines and boards.

2.1.3 The alternating laws

Dynamic law, under the effect of which, a load changes its value, as well as the direction of operation, in other words, it can be in the graphs in a positive plane, as well as in a negative plane, for example, a value of bending in rotating shafts.

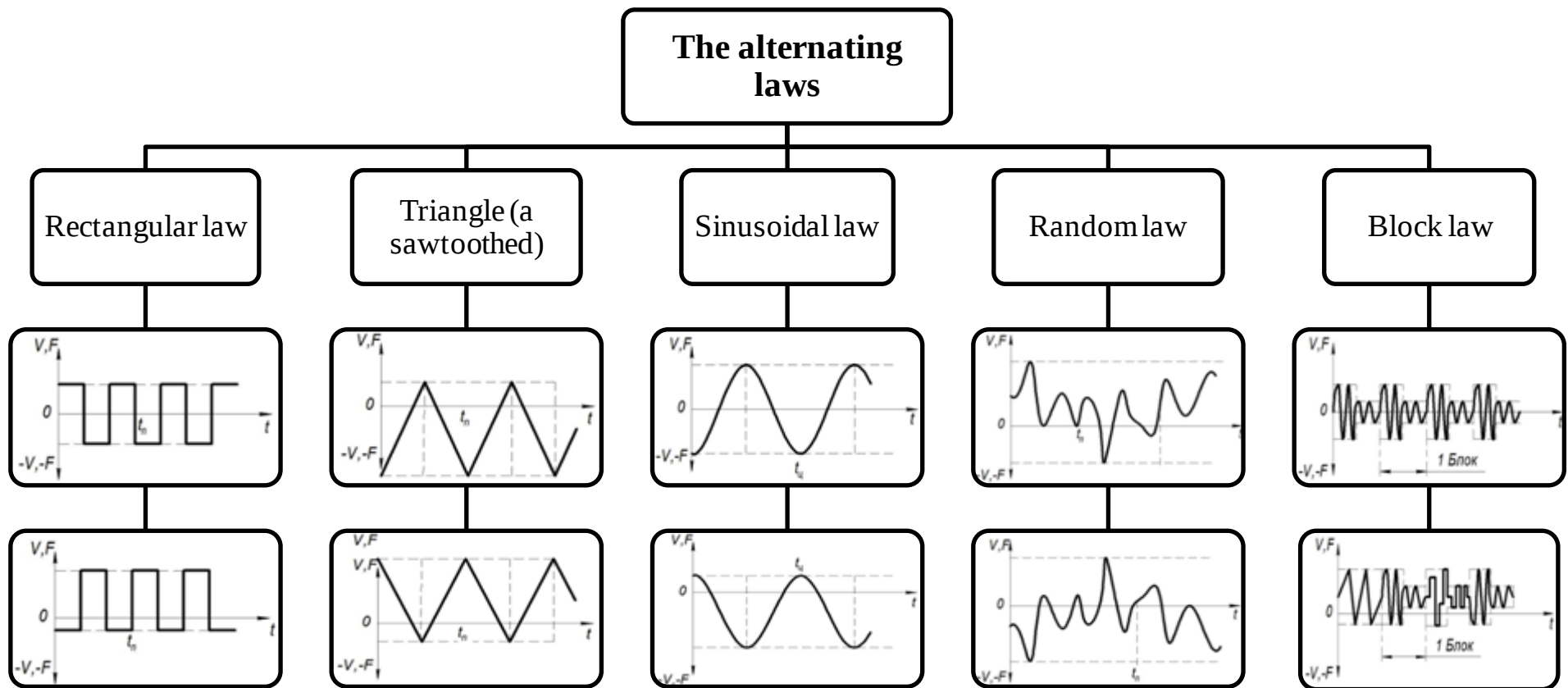


Figure 5. The structure chart of alternating laws of loading

Examples of a manifestation of alternating laws are electromechanical relay grips and clips for the rectangular law, various cam mechanisms for the triangular or sawtooth one.

The sinusoidal law is the law, shown in operation of gear wheels teeth, operating in one direction, rods, pushers, and connecting rods of sluggish machines, little loaded on the reverse motion.

The arbitrary law: This law finds application in almost all complex machines and mechanisms, for example, in internal combustion engines, speed boxes, reducers, hydraulic and pneumatic pumps.

The block law: mainly it is applied on test machines and boards.

1.2. Results of analysis

Having done analysis of all possible laws of loading, one can do deduction that construction and the principle of operation of an automated tribotechnical system allow us to reproduce constant and pulsation laws of loading. For tests in the framework of the final qualifying work, working conditions of real mechanisms were taken, such as a crank mechanism of an internal combustion engine of the vehicle (Fig.6, Fig.7) and a pair of friction polymer mechanical seal and the shaft of the hydraulic pump (Fig. 9, Fig. 10).

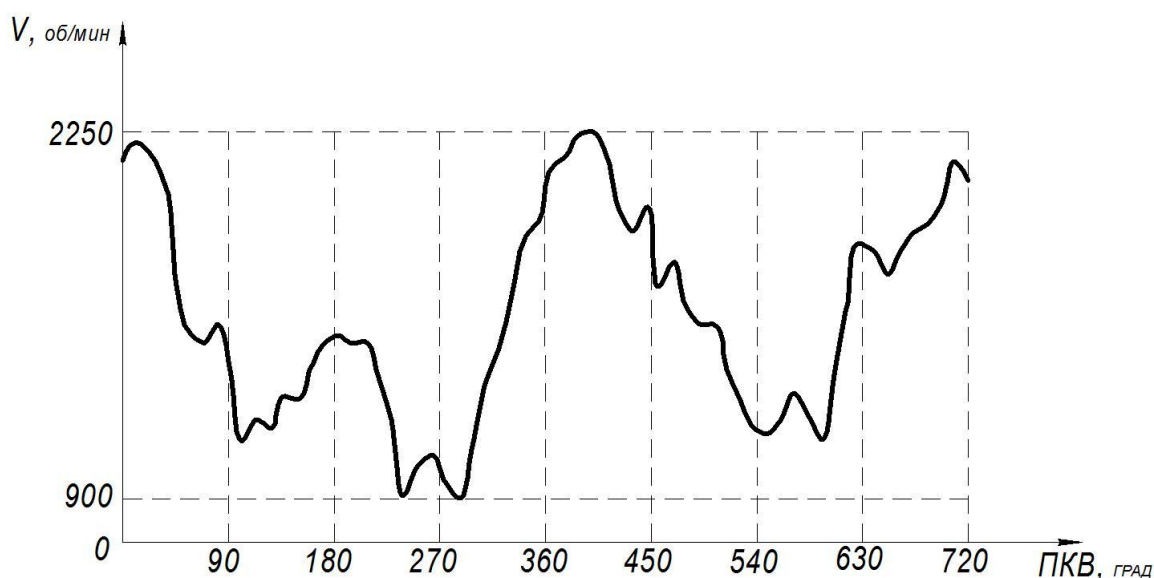


Figure 6. The law of fast loading

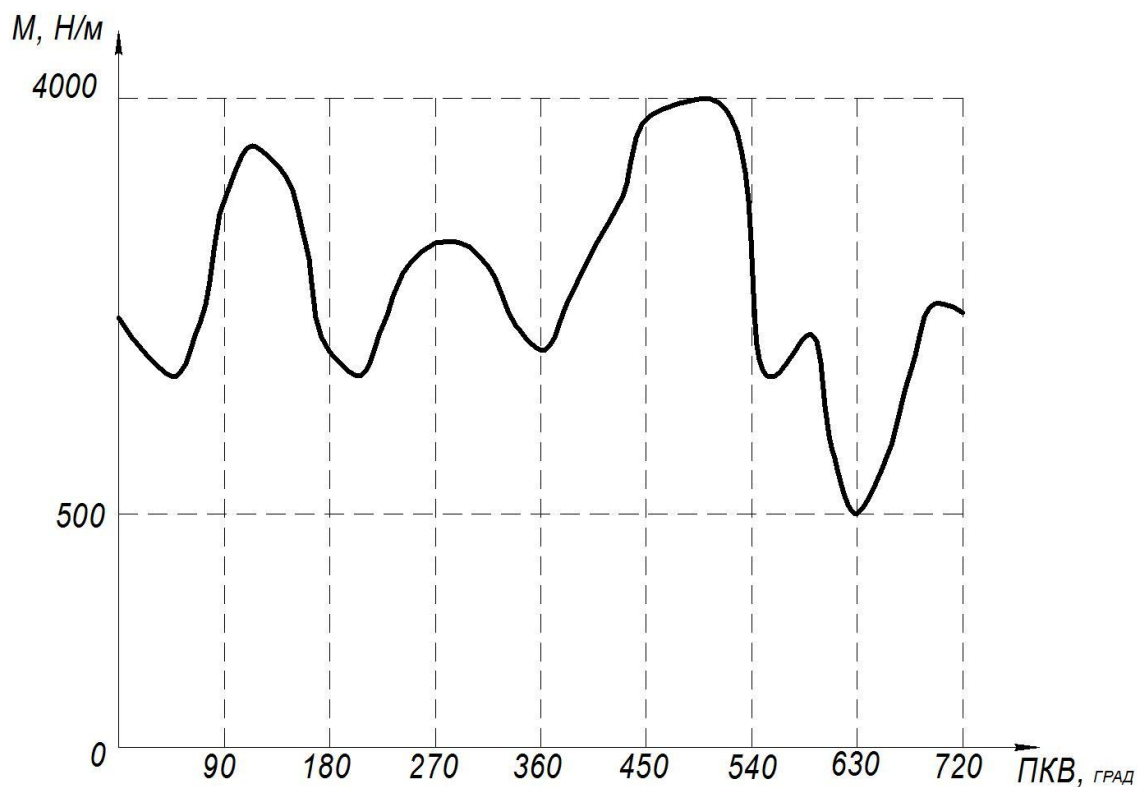


Figure 7. The law of power loading.

For reproduction of these laws on an automated tribotechnical complex, these laws must be put to a type of the circle charts, where a loading magnitude is expressed in per cent of maximum load.

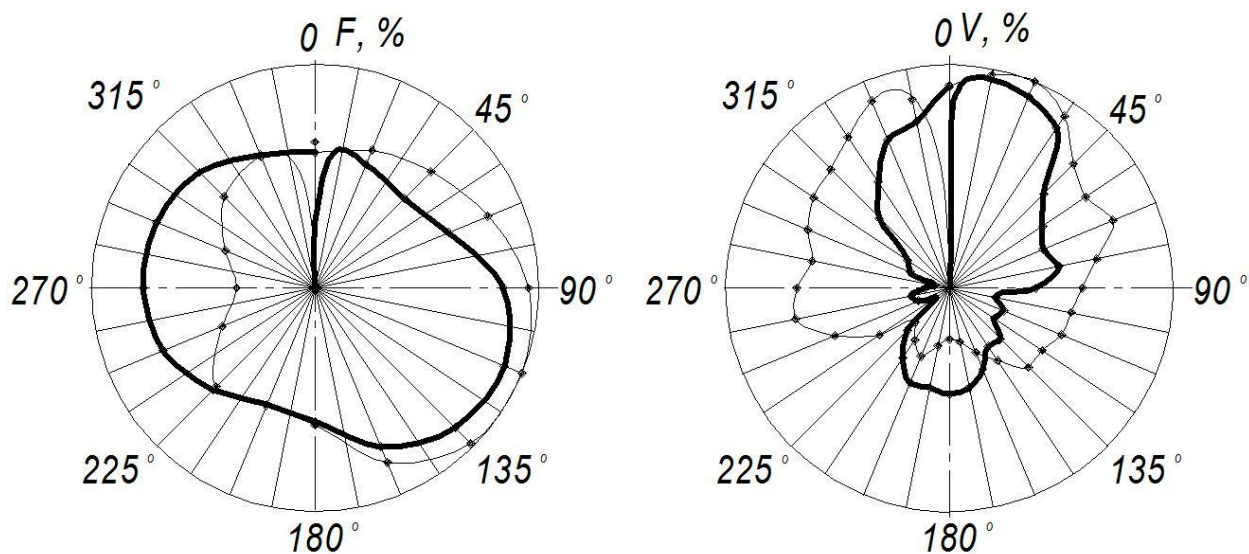


Figure 8. Circle charts of a friction couple loading of ICE

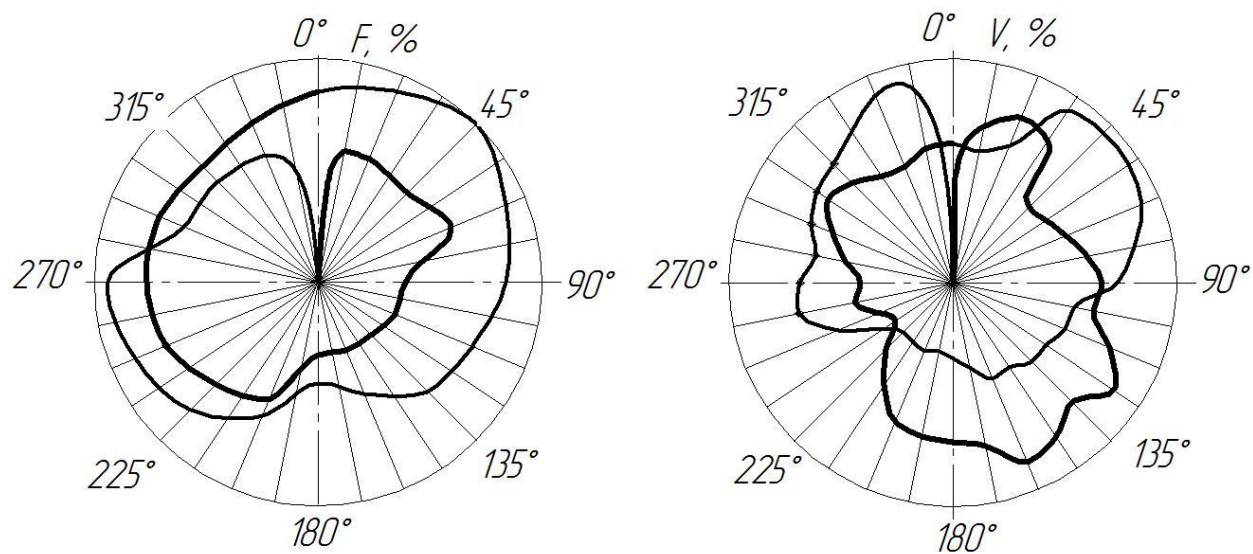


Figure 9. Circle charts of a friction couple loading of pump.