

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

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
Отделение школы (НОЦ) материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние динамических характеристик робота-манипулятора на технические требования к опоре

УДК 007.52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Овчаренко Валерия Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Крауиньш Петр Янович	д.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Козарь Дмитрий Михайлович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Крауиньш Петр Янович	д.т.н.		

Томск – 2020 г.

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль подготовки «Конструирование технологического оборудования» ИШНПТ ТПУ, отделение материаловедения, руководитель ООП Крауиныш П. Я.

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для создания нового технологического оборудования и машин.
P2	Применять глубокие знания в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать и проектировать новое оборудование и технологические машины и использовать новое оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, nano технологий

Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
Р7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
Р8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
Р9	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
Р10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
Р11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) 15.04.05 конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
Отделение школы (НОЦ) материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Крауиньш П.Я.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ81	Овчаренко Валерии Алексеевне

Тема работы:

Влияние динамических характеристик работа-манипулятора на технические требования к опоре	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-70/С от 28.02.20

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.20
--	---------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данная работа направлена на изучение характера воздействия двухзвенного промышленного робота-манипулятора на опорную поверхность с использованием математической модели. Объектом исследования является математическая модель робота-манипулятора и опорной поверхности.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор 2. Математическое моделирование 3. Исследование математической модели 4. Социальная ответственность 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Математическая модель, программа расчета, графики
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Козарь Дмитрий Михайлович
Расчеты и аналитика	Козарь Дмитрий Михайлович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Английский язык	Диденко Анастасия Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Социальная ответственность	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Крауиньш Петр Янович	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Овчаренко Валерия Алексеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ81	Овчаренко Валерия Алексеевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	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 материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ (НИ)	Потенциальные потребители НИ SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Составление перечня этапов и работ, распределение исполнителей, определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ.
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджета НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Оценка научно-технического уровня конструкторских разработок

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Бюджет НИ
4. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Овчаренко Валерия Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ81	Овчаренко Валерия Алексеевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Тема ВКР:

Влияние динамических характеристик робота-манипулятора на технические требования к опоре	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: математическая модель робота-манипулятора и опорной поверхности, представляющие собой программу, описанную с помощью компьютера. Написание программы не включает в себя непосредственного взаимодействия с роботом манипулятором. Рабочее место: офисное помещение, с рабочим местом и ПК. Область применения: конструкторские бюро для проектирования гибких производственных модулей.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.548-96 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 ГОСТ 12.1.003-2014 СН 2.2.4/2.1.8.566-96 СП 52.13330.2016 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: 1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышенный уровень шума 3. Превышенный уровень вибрации 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны 5. Психофизиологические факторы Опасные факторы: 1. Повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой, может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	Предусмотреть утилизацию люминесцентных ламп, макулатуры, оргтехники.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС на рабочем месте: Взрыв Обрушение здания Авария на энергетических сетях Наиболее вероятные ЧС: Возникновение пожара

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Овчаренко Валерия Алексеевна		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 124 страницы, 46 рисунков, 29 таблиц. Процент заимствования составляет 7,29 (Приложение К).

Ключевые слова: робот-манипулятор, математическая модель, опора, точность позиционирования, технические требования.

Объект исследования: математическая модель робота-манипулятора и опорной поверхности.

Целью магистерской диссертации является изучение характера воздействия двухзвенного промышленного робота-манипулятора на опорную поверхность с использованием математической модели.

В процессе исследования проводились: разработка математической модели двухзвенного робота манипулятора и опорной поверхности, а также на основе анализа полученных данных установлены основные параметры влияющие на точность позиционирования робота и ее зависимость от угловой скорости движения робота.

Научная новизна работы заключается в том, что модель описывает промышленного робота-манипулятора совместно с опорой. Вопрос изучается комплексно.

Степень внедрения: результаты исследования могут использоваться при проектировании ГПС и в случае размещения робота на нежесткой опоре для прогнозирования погрешности его позиционирования.

Экономическая эффективность/значимость работы определена путем анализа и оценки научно-технического уровня исследования.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В работе приняты следующие определения:

Промышленный робот - автоматическая машина, представляющая собой совокупность манипулятора и перепрограммируемого устройства управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека при перемещении предметов производства и (или) технологической оснастки.

Математическая модель – приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.

В работе приняты следующие сокращения:

PM – робот-манипулятор

В работе приняты следующие нормативные ссылки:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
4. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
6. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

7. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданиях.

8. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*

9. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.

10. ГОСТ 12.0.003 – 2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

11. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

12. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

13. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	15
1. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	18
1.1 Тенденции роботизации в России и в мире	18
1.2 Производители промышленных роботов.....	20
1.3 Установка роботов.....	23
1.4 KUKA KR10 R1100.....	25
1.5 Методы моделирования.....	29
1.6 Математическое моделирование	31
1.7 Область применения	32
1.8 Методы проведения исследования	33
Вывод по разделу	36
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	38
2.1 Математическая модель робота.....	38
2.1.1 Описание звена 1	41
2.1.2 Описание звена 2	42
2.1.3 Описание звена 3	43
2.2 Математическая модель опоры	49
Вывод по разделу	53
3. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	54
3.1 Входные данные	55
3.2 Этап 1	55
3.3 Этап 2	60
3.4 Этап 3	68
3.5 Этап 4	69
3.6 Этап 5	70
Вывод по разделу	72
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	73
Введение.....	73
4.1 Предпроектный анализ.....	73
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	74
4.1.2 SWOT-анализ.....	75
4.2 Планирование и организация научно-исследовательских работ	78

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	78
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	79
4.3 Бюджет научно-технического исследования	84
4.3.1 Материальные затраты	84
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	85
4.3.3 Основная заработная плата	87
4.3.4 Дополнительная заработная плата	89
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	89
4.3.6 Накладные расходы.....	90
4.3.7 Расчет бюджета НИ.....	90
4.4 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования	91
Вывод по разделу	93
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	94
Введение.....	94
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	95
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны офисного сотрудника) правовые нормы трудового законодательства	95
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя ..	95
5.2 Производственная безопасность, анализ вредных и опасных факторов.....	97
5.2.1. Вредные факторы	98
5.2.1.1 <i>Отклонение показателей микроклимата в помещении</i>	<i>98</i>
5.2.1.2 <i>Повышенный уровень шума на рабочем месте.....</i>	<i>101</i>
5.2.1.3 <i>Повышенный уровень вибрации</i>	<i>102</i>
5.2.1.4 <i>Недостаточная освещенность рабочей зоны</i>	<i>102</i>
<i>Расчет освещенности</i>	<i>103</i>
5.2.1.5 <i>Психофизиологические факторы</i>	<i>105</i>
5.2.2 Опасные факторы.....	106
5.2.2.1 <i>Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</i>	<i>106</i>
5.3 Экологическая безопасность	108
5.3.1 Люминесцентные лампы	109
5.3.2 Макулатура	110
5.3.3 Оргтехника.....	111
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	111

Выводы по разделу	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117
ПРИЛОЖЕНИЯ	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А	127
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	134
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	190
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	220
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	232
ПРИЛОЖЕНИЕ К.....	247

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

При оценке динамики современного рынка и конкурентоспособности среди промышленных компаний, важность использования промышленных роботов неоспорима. Внедрение роботов необходимо для предоставления все более индивидуализированных продуктов высокого качества в необходимом количестве. Компании, идущие в ногу с технологическим прогрессом, осознают, что роботизация производственных процессов неизбежна для удовлетворения выше описанных требований. Таким образом, использование промышленных роботов является актуальной и чрезвычайно важной темой, которую необходимо исследовать, для расширения знаний об этих машинах, будь то повышение их точности, разработка новых типов роботов, разработка роботов с более низкой стоимостью, усовершенствование имеющихся.

В технической документации к промышленным роботам манипуляторам, как правило, не указываются технические требования к опорной поверхности: жесткость, масса и т.п. Вместо этого производители рекомендуют устанавливать робота на твердую жесткую поверхность из бетона. Вместе с тем, практика показывает, что у потребителя возникает необходимость закрепления робота на подвижной поверхности, типа каретки, для расширения его функциональных возможностей. В отсутствии рекомендаций производителя к выбору технических характеристик опорной поверхности потребитель вынужден предъявлять завышенные требования к этим изделиям, что отрицательно сказывается на их стоимости. Данная работа

направленна на изучение характера и усилий воздействия двухзвенного промышленного робота-манипулятора на опорную поверхность.

Проблема: отсутствие каких-либо численных требований к опорной поверхности робота-манипулятора и численных данных в технической документации, поставляемой производителем.

Объект исследования: промышленный робот манипулятор, опорная поверхность.

Предмет исследования: математическая модель робота-манипулятора и опорной поверхности.

Цель: Изучение влияния динамического воздействия робота-манипулятора на опорную поверхность, путем математического моделирования с учетом жесткостных свойств этой поверхности.

Задачи исследования:

1. Разработать математическую модель РМ и опорной поверхности
2. Определить характеристики РМ
3. Выявить наиболее неблагоприятные сценарии работы РМ
4. Исследовать характер и усилия динамического воздействия РМ на опорную поверхность

Научная новизна работы заключается в том, что модель описывает промышленного робота-манипулятора совместно с опорой. Вопрос изучается комплексно.

Методы исследования: математическое моделирование.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что с помощью написанной программы, для пользователя возникает возможность решения обратной задачи. Когда жесткостные характеристики имеющейся опоры вводятся в программу и позволяют определить предельные скорости для движений звеньев робота с сохранением точности позиционирования методом подбора. Кроме того, программа является универсальной, и может быть использована для других двухзвенных роботов-манипуляторов.

1. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

В данном разделе рассмотрены общие тенденции роботизации, значимость этого процесса, даже необходимость для создания Индустрии 4.0. Как этот процесс происходит в России, почему страна имеет настолько низкий уровень роботизации, и какие отрасли наиболее роботизированы. Приведены крупные предприятия, внедряющие новые технологии. Обоснована актуальность исследования. Выбран робот, описываемый математической моделью в исследовании и метод его проведения.

Цель данного раздела: Обосновать актуальность работы и определить метод научного исследования.

Задачи литературного обзора:

1. Поиск источников информации и подготовка материалов по теме магистерской диссертации
2. Анализ и классификация полученной информации
3. Вывод по актуальности магистерской диссертации

1.1 Тенденции роботизации в России и в мире

В современных производствах все чаще задействуются роботы, эффективно заменяющие человека в трудных и опасных условиях, автоматизирующих производство. Роботизация производства является неотъемлемой частью Индустрии 4.0 [1].

Промышленные роботы применяются для решения самых разнообразных технологических и производственных задач во многих странах. Если обратиться к статистике за 2019 год, мировым лидером по

использованию промышленных роботов на производстве является Сингапур [2], рисунок 1.1.

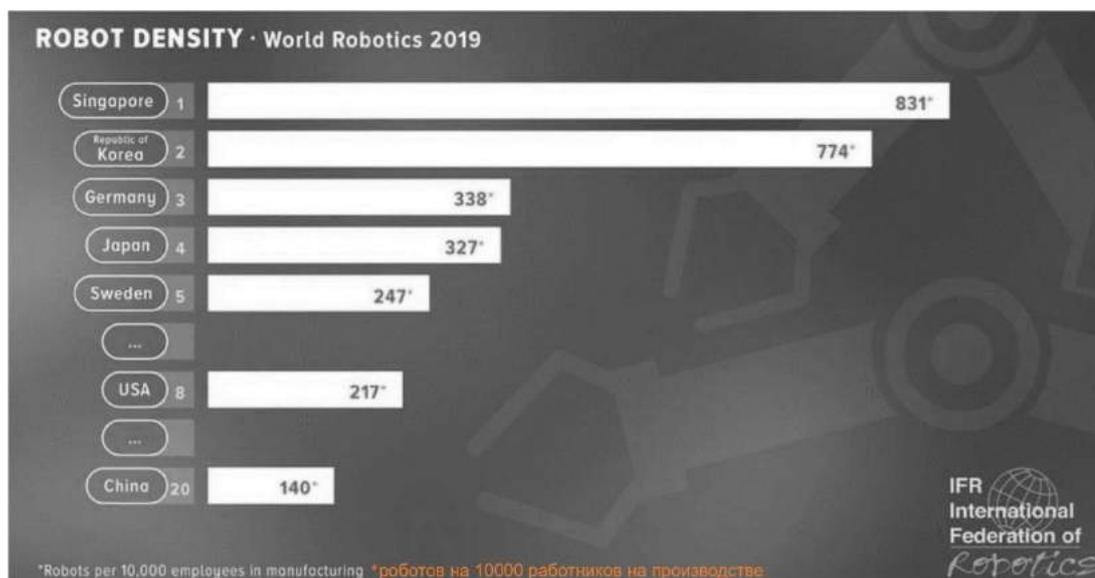


Рисунок 1.1 – Статистика применения роботов на производстве в мире

Но стоит отметить, что статистика не стабильна, и страны-лидеры часто меняют позиции.

Одной из причин, по которой Сингапур занимает первую позицию является аспект рабочей силы. В стране стоимость человеческого труда достаточно высока, и предприятиям выгодно вместо людей использовать роботов, которые плюс ко всему могут работать без выходных, четко отлажены, не нуждаются в отпуске и больничном [3]. В то же время в нашей стране низкий уровень применения промышленных роботов обусловлен тем же аспектом, только в обратном направлении. Стоимость труда в России настолько низкая, что предприятиям все еще выгодно использовать наемный труд, отказываясь от роботизации производства.

Другой причиной низкого уровня роботизации в России является структура экономики. Основной доход страны основан на экспорте

энергоресурсов, леса, угля, металлов, зерна. Именно в этих областях роботизация является наименее применимой, нежели производство и экспорт высокотехнологичного оборудования, электроники, техники, автомобилей.

Автомобилестроение является единственной отраслью имеющей относительно высокий уровень роботизации в России [4]. Примером предприятий, успешно роботизирующих свои производства, являются ПАО «КАМАЗ» [5], АвтоВАЗ [6], «Группы ГАЗ» [7].

1.2 Производители промышленных роботов

Ведущими производителями промышленных роботов являются компании FANUC (Япония), KUKA (Германия), ABB (Швеция, Швейцария) [8]. Согласно [9], 90% роботов, задействованных на производствах в России представлены компаниями FANUC и KUKA.

FANUC

На сегодняшний день компания FANUC поставляет самый широкий ассортимент промышленных роботов в мире – более 100 моделей, среди которых самый сильный робот в мире грузоподъемностью 2300кг [10]. Роботы FANUC отличаются высоким качеством, сверхточностью и высокой функциональностью, применимы практически ко всем отраслям производства.

KUKA

Компания KUKA имеет за спиной более чем вековую историю, совершая важные открытия и принося пользу всему человечеству на

протяжении долгих лет. Сегодня KUKA является ведущим поставщиком промышленных роботов на территории Европы [11].

Стоит отметить что роботы компании применяются не только в автомобилестроении, но и в машиностроении, пищевой промышленности, в медицине – радиохирургическая система «Cyberknife», роботы для перемещения людей «Robocoaster», нашедшие применение в парках аттракционов и многих других сферах.

ABB

ABB предлагает широкую линейку моделей промышленных роботов, помогающих предприятиям улучшить производительность, качество выпускаемой продукции и безопасность работников. В России больше всего задействованы в отрасли пищевой промышленности.

Все три компании-производителя являются очень популярными на мировом рынке промышленных роботов. Пользователи советуют выбирать FANUC для сварки, ABB удобней в программировании сложных задач. Как правило на одном производстве задействованы роботы сразу нескольких производителей, например, фабрика Tesla во Фримонте (рисунок 1.2) осуществляет большую часть работ с помощью роботов компании KUKA небольшая часть роботов была изготовлена компанией FANUC. Количество роботов на фабрике постоянно увеличивается, если в 2013 их было всего 200, то Tesla X собирали уже 542 робота, а весной 2017 фабрика купила еще 467 роботов KUKA, процесс автоматизации производства никогда не прекращается [12].



Рисунок 1.2 – фабрика Tesla во Фримонте

Что касается отечественных предприятий, первые роботы компании KUKA были установлены на предприятиях КАМАЗа более 25 лет назад. В настоящее время компания активно инвестирует в автоматизацию и роботизацию своих производств, осваивая роботы нового поколения. Концепция стратегического развития ПАО «КАМАЗ» до 2020 года предполагает освоение более 900 роботов и РК. На данный момент на производстве задействовано 297 роботов [13].

Автоматизированная линия по производству алюминиевых топливных баков реализована с помощью роботов компании KUKA [14], в нее входит четыре робота: два сварочных и два - транспортировочных. С 2017 года КАМАЗ начал сотрудничество с компанией FANUK. Роботы установлены на линии сварки, где осуществляется сборка крыш для кабин КАМАЗов четырех моделей [15].

1.3 Установка роботов

Как правило роботы-манипуляторы (грузоподъемностью от ... до ...) устанавливаются на полу, иногда потолке или стене, с креплением к жесткой бетонной поверхности. Необходимость жесткой опоры продиктована точностью позиционирования современных роботов. Но как показывает практика, порой у пользователей возникает необходимость крепления робота-манипулятора к подвижной опоре.

Например, роботизированный томограф для деталей термоядерного реактора, построенный учеными ТПУ [16], который является самым большим на территории РФ. Он способен контролировать качество объектов весом до 1,5 тонн. Томограф оснащен роботом компании KUKA.

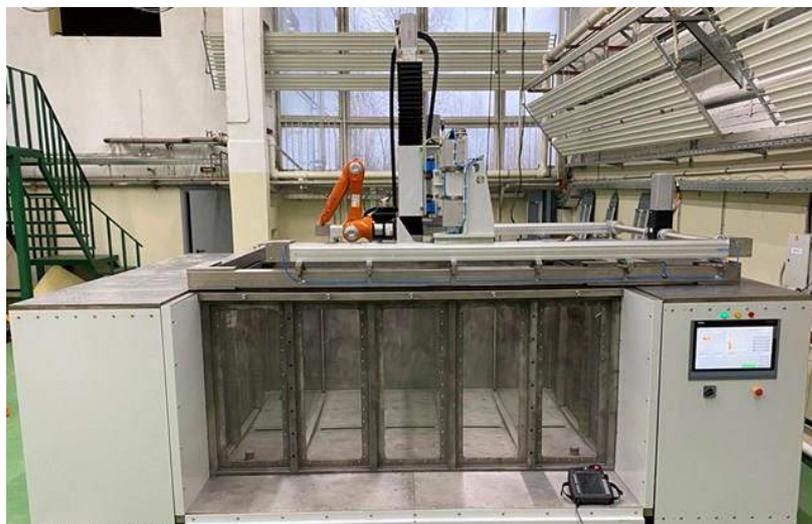


Рисунок 1.3 - роботизированный томограф для деталей термоядерного реактора

Еще одним примером могут послужить роботизированные установки плазменной / гидроабразивной резки [17], [18], комплексного неразрушающего контроля [19],



Рисунок 1.4 – роботизированная установка плазменной резки

Проанализируем техническую документацию [20], [21], [22] на предмет наличия требований к жесткостным характеристикам опоры. Результат анализа приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Наличие требований к опоре

Производитель	Модель	Наличие требований к опоре
FANUC	Fanuc M-10iA/10MS	-
KUKA	KR10R1100	-
ABB	ABB IRB 140	-

Таким образом, для разработки или приобретения подвижной опоры необходимо проведение исследования влияния динамических характеристик робота-манипулятора на опору. Исследование поможет определить минимально необходимые жесткостные характеристики опорной конструкции способной выдержать не только сам робот-манипулятор и нагрузки в рабочих

состояниях, но и сохраняющей точность позиционирования, основываясь на которых любое конструкторское бюро сможет сконструировать опору, либо заказать [23]. Кроме того, применение результатов исследования позволит пользователю сберечь финансовые и материальные ресурсы, т.к. не будет необходимости завышать жесткостные требования к опоре.

Для проведения исследования был выбран робот KUKA KR10, именно этот робот описывает математическая модель, приведенная в работе.

1.4 KUKA KR10 R1100

Манипулятор представляет собой 6-осевой шарнирно-рычажный универсальный манипулятор, изготовленные из литого легкого сплава.

Масса– 54 кг;

Максимальная досягаемость – 1101мм;

Максимальная грузоподъемность – 10 кг;

Точность позиционирования – 0,03 мм.

Предназначен для таких областей применения, как:

- Манипулирование, погрузка и разгрузка
- Обработка пластмасс
- Упаковка и выборочное комплектование
- Прессовое оборудование
- Металлолитейные производства
- Формовочное оборудование
- Операции обработки поверхностей
- Металлорежущие станки

- Сборка / скрепление / вставка / установка / разборка
- Паллетирование

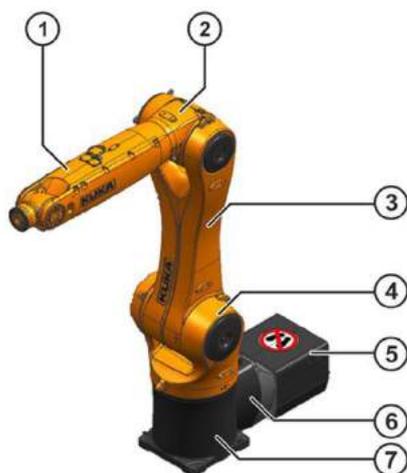


Рисунок.1.5 - главные компоненты робота

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 1 Линейное запястье | 5 Датчик давления под защитой |
| 2 Рука | 6 Электрические установки |
| 3 Рычаг | 7 Опорная рама |
| 4 Вращательная колонна | |

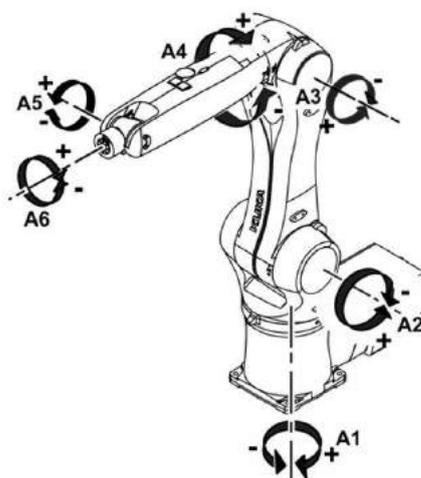


Рисунок.1.6 – Направление вращения осей робота

Таблица 1.2 – Данные осей

Диапазон движения	
A1	$\pm 170^\circ$
A2	$-190^\circ/45^\circ$
A3	$-120^\circ/156^\circ$
A4	$\pm 185^\circ$
A5	$\pm 120^\circ$
A6	$\pm 350^\circ$
Скорость с номинальной полезной нагрузкой	
A1	300°/s
A2	225°/s
A3	225°/s
A4	286°/s
A5	234°/s
A6	439°/s

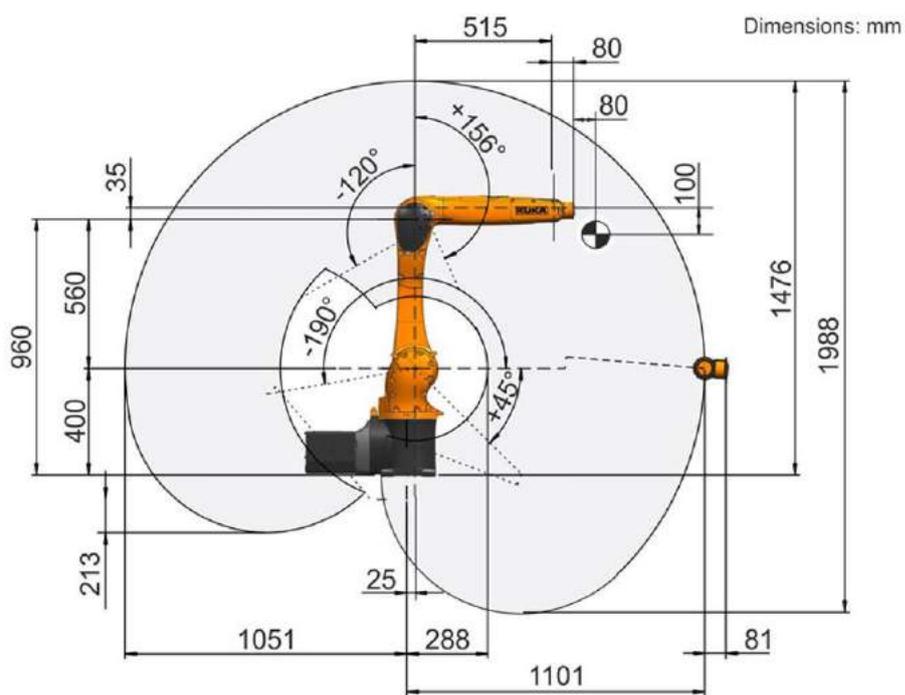


Рисунок.1.7 – рабочее пространство робота KR 10 R 1100, вид с боку

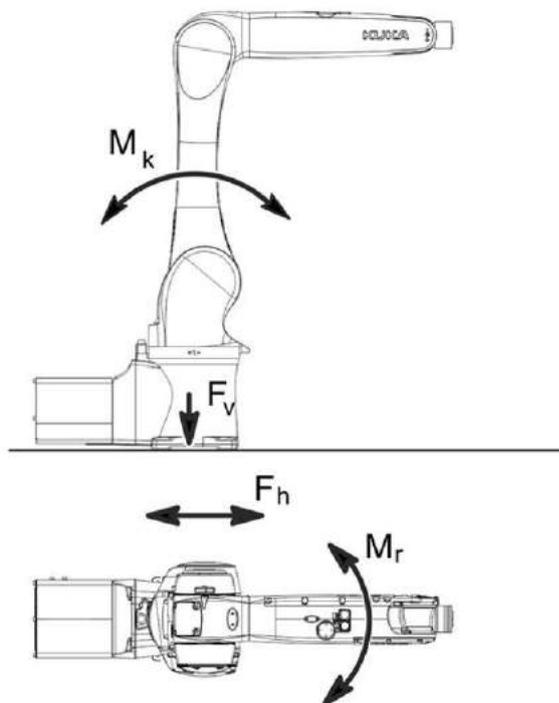


Рисунок.1.8 – Нагрузки, действующие на фундамент, напольный монтаж

Таблица 1.3 – Фундаментные нагрузки для установки на полу

Фундаментные нагрузки для установки на полу	
F(v normal)	967Н
F(v max)	1297Н
F(h normal)	1223Н
F(h max)	1362Н
M(k normal)	788Нм
M(k max)	1152Нм
M(r normal)	367Нм
M(r max)	880Нм

Вертикальная сила $F(v)$, горизонтальная сила $F(h)$, опрокидывающий момент $M(k)$, момент вокруг оси l $M(r)$

1.5 Методы моделирования

Модель – это некий новый объект, отражающий существенные особенности изучаемого объекта, явления или процесса. Каждый человек сталкивается с различными моделями еще в детстве, например, игрушечные машины, глобусы, модели кристаллических решеток и т.д. Моделирование – это процесс построения моделей для исследования и изучения объектов, процессов, явлений.

Один и тот же объект в разных ситуациях, в разных науках, в разных программах может быть описан различными моделями. Никакая модель не может заменить реальный объект, но при решении конкретной задачи, когда важны определенные свойства объекта, моделирование оказывается полезным, а иногда и единственным инструментом исследования. Например, если объект доступен, но эксперименты с ним дорогостоящи или могут привести к серьезным экологическим последствиям. Опыты, проводимые на моделях, позволяют не только уменьшить затраты, но и позволяют охватить в исследовании такой диапазон параметров, которые невозможно исследовать на натуральных объектах [24].

Использование моделирования в исследованиях постепенно привело к его условному делению на материальное и идеальное.

Идеальное моделирование носит теоретический характер.

Материальное моделирование - это моделирование, при котором исследование объекта происходит с использованием его материального аналога воспроизводящего основные физические, геометрические, динамические и функциональные характеристики данного объекта [25]. В свою очередь, материальное моделирование разделяется на натурное и аналоговое.

Натурное моделирование – это моделирование, при котором исследования проводятся на уменьшенном или увеличенном материальном аналоге объекта, допускающий перенесения результатов с модели на объект основываясь на теории подобия [26]. Примером натурального моделирования являются глобусы, макеты архитектурных сооружений, модели судов, автомобилей, авиатехники и космических аппаратов. Именно с натурального моделирования в XIX начинается развитие моделирования как научной дисциплины [27].

Аналоговое моделирование – это моделирование, основанное на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но одинаково описываемых формально [28]. Традиционной областью применения данного вида моделирования является исследование процессов теплопроводности, основанное на электротепловой и гидротепловой аналогиях, распространение электромагнитных и звуковых волн, диффузии газов и жидкости и т.д. [29].

К идеальному моделированию относится математическое моделирование.

1.6 Математическое моделирование

Боголюбов А.Н.: «Математическое моделирование – это идеальное научное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов» [30].

Стоит отметить, что математическое моделирование появилось за долго до возникновения компьютера, есть мнения что это было еще в древние времена, но первые модели, наиболее похожие на математические, используемые в науке по сей день предложил Исаак Ньютон. Моделируя любое тело в виде материальной точки, которая имеет массу, и зная силу, приложенную к нему, можно вычислить ускорение. Зная ускорения вычислить скорость, зная скорость – траекторию [31]. Также Ньютон придумал математический аппарат, дифференциальные уравнения и описание всех этих явлений гладкими функциями [32].

Возрождение математического моделирования пришлось на середину двадцатого века. Основными причинами которого стало появление первых компьютеров и выполнение нацпрограмм СССР и США. Ядерные взрывы, полеты спутников и ракет все это предварительно моделировалось, и лишь затем осуществлялось на практике.

В свою очередь, математическое моделирование подразделяется на два основных направления:

- Моделирование по прямой аналогии, заключается в изучении объекта с помощью моделей имеющих физическую природу отличную

от объекта. Так, функцией $y = y_0 \exp(-kx)$, можно описать радиоактивный распад, разряд конденсатора через сопротивление и т.д.

- Компьютерное моделирование, осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения. Результатом моделирования выступает математическая модель, описанная с помощью языка программирования и интерфейса этого ПО [33].

1.7 Область применения

Математическое моделирование широко используется в современном мире. Оно нашло применение в биологии [34], [35], [36], химии [37], [38], экологии [39], [40], [41], экономике [42], [43], медицине [44], [45], промышленности [46], планировании ликвидаций последствий аварий и катастроф [47] и т.д.

Зачастую, получение знаний о каком-либо процессе возможно только благодаря математическому моделированию, например, результаты проекта «Гея», связанного с математическим моделированием последствий ядерной войны [48], процесс ликвидации аварии на чернобыльской АЭС был реализован в кратчайшие сроки благодаря построению адекватных моделей [49].

На момент написания работы наиболее актуальными работами в области моделирования промышленных роботов-манипуляторов, можно назвать исследования Олега Николаевича Крахмалева, основными направлениями в его работах являются: построение и анализ динамических моделей

манипуляционных роботов; оптимизация движения манипуляционных роботов; динамическая точность манипуляционных роботов [50], [51], [52].

Работа [53] посвящена исследованию влияния динамических характеристик манипулятора на процесс фрезерования. Для проведения исследования использовался робот KUKA KR10 R900. Одним из результатов исследования является то, что динамические свойства манипуляторов изменяются при изменении взаимного положения звеньев.

В большинстве исследовательски работ, научных статей и монографий рассматриваются непосредственно сами роботы манипуляторы, решение прямой и обратной задачи динамики для моделирования некоторых процессов, но нет оценки влияния динамики манипулятора на его опору.

1.8 Методы проведения исследования

Решить задачи, поставленные в исследовании, можно с использованием различных ПО. Университет предоставляет возможность реализовать исследования с помощью таких программных пакетов, как Solidworks Simulation, Ansys, Matlab.

SOLIDWORKS Simulation — является добавлением к основному пакету программы, который заключается в трехмерном моделировании объектов. Представляет собой набор инструментов, простых в применении, для структурного анализа методом конечных элементов. Данный анализ осуществляет прогнозирование поведения изделия в реальной среде применяя виртуальное тестирование САД-моделей. В линейке предложены инструменты с функциями линейного, нелинейного статического и динамического анализа.

Для проведения исследования с применением данного ПО необходимо реализовать 3-D модели объектов (робот-манипулятор, опора), задать соответствующие параметры.

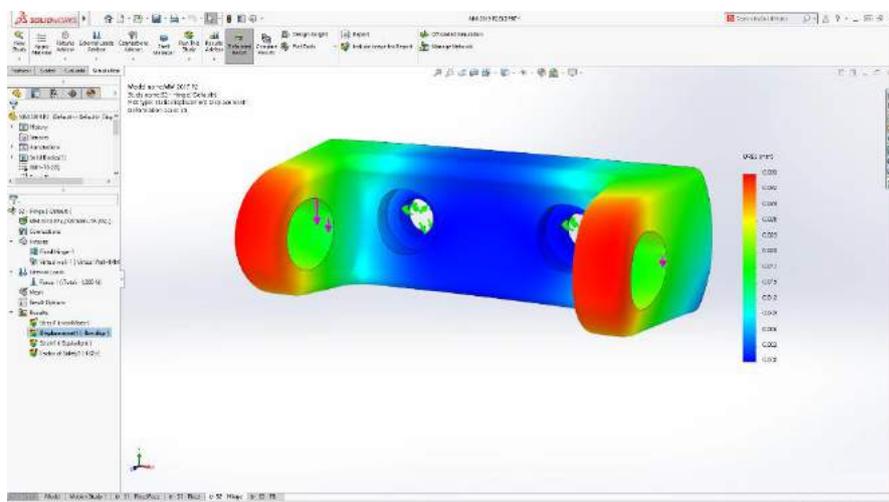


Рисунок 1.9 – исследование в среде SOLIDWORKS Simulation

ANSYS – специализированное программное обеспечение, предназначенное для осуществления конечно-элементного (МКЭ) анализа, применяемая для решения линейных и нелинейных, различных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Часто применяется для решения нестандартных задач, например, восстановление статуи Давида, напряжения возникающие в ногах статуи были смоделированы с помощью Ansys [54].

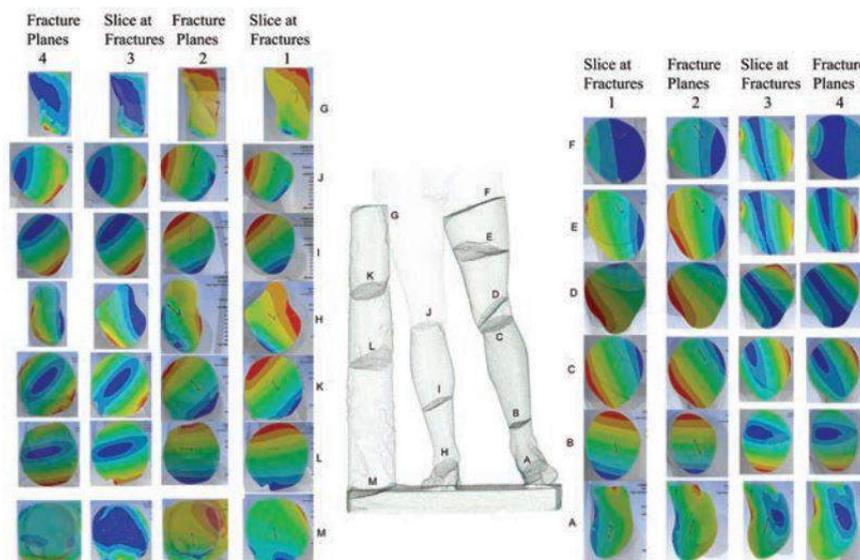


Рисунок 1.10 – исследование в среде ANSYS

Matlab – специализированная среда программирования, позволяющая реализовывать различные математические модели. Позволяет максимально приблизить процесс моделирования к эксперименту, осуществить необходимые исследования динамических систем с получением качественных и количественных результатов. Программа обладает огромными возможностями в области компьютерного математического моделирования и, в то же время, оснащена простым и понятным интерфейсом. Предлагающаяся библиотека Simulink позволяют создавать и исследовать модели систем способами ТAU. Программа моделирует статические и динамические процессы практически любой сложности

Важное отличие между моделированием в этих средах заключается в том, что исследователь не знает каким образом программы ANSYS и SOLIDWORKS Simulation, выполняются вычисления и насколько они верны. Когда вычисления осуществляются в Matlab, исследователь сам составляет

уравнения, утрируя реальность, точно зная, что рассчитывает. В этом заключается важнейшее преимущество проведения исследования в среде Matlab.

Вывод по разделу

В разделе рассмотрены проблемы актуальности проведения исследования, так в первой части обзора приведены общемировые тенденции роботизации, которые отражают постоянное развитие данной отрасли, а количество роботов, используемых в странах растет с каждым годом.

Приведены наиболее популярные производители промышленных роботов, на основании которых был выбран робот, которого описывает математическая модель в исследовании.

Произведен анализ технической документации роботов различных фирм, который показал, что во всех отсутствует информация, касающаяся требований к опоре. В то же время приведены примеры, когда для создания новых роботизированных установок рекомендации по жесткостным характеристикам опоры необходимы.

Так же в работе рассмотрены различные методы моделирования и обоснован метод проведения исследования.

Цель магистерской диссертации заключается в изучении влияния динамического воздействия робота-манипулятора на опорную поверхность, путем математического моделирования с учетом жесткостных свойств этой поверхности.

Задачи исследования:

1. Разработать математическую модель РМ и опорной поверхности
2. Определить характеристики РМ
3. Выявить наиболее неблагоприятные сценарии работы РМ
4. Исследовать характер и усилия динамического воздействия РМ на опорную поверхность.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Данный раздел посвящен описанию принципиальной схемы модели робота - манипулятора с опорой и математического описания к этой схеме.

2.1 Математическая модель робота

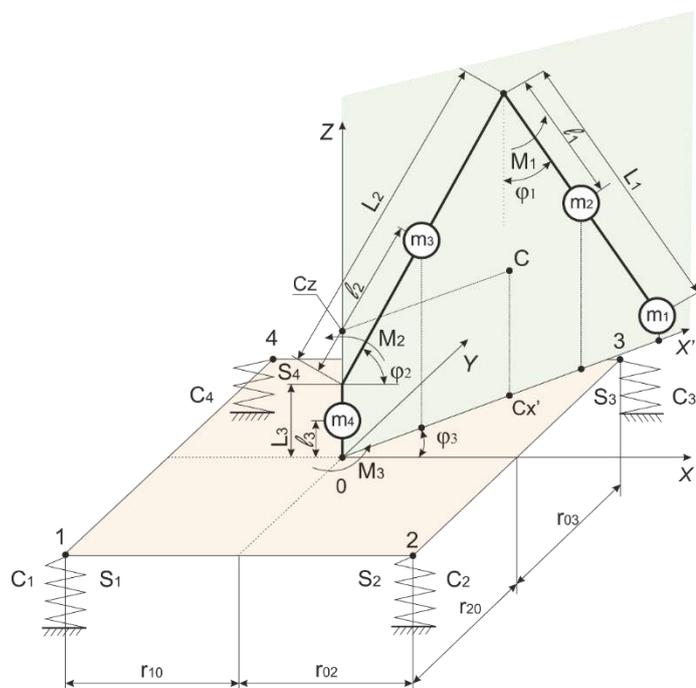


Рисунок 2.1 – схема модели двухзвенного робота-манипулятора с опорой для расчета инерционных сил действующих на опору

где:

C_1, C_2, C_3, C_4 – жесткости опорных точек;

S_1, S_2, S_3, S_4 – деформации опорных точек;

M_1, M_2, M_3 – крутящие моменты;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – углы поворота соответствующих частей манипулятора;

m_1 – масса полезного груза;

m_2 – масса первого звена манипулятора;

m_3 – масса второго звена манипулятора;

m_4 – масса третьего звена манипулятора;

L_1, L_2, L_3 – длины соответствующих звеньев;

l_1, l_2, l_3 – расстояния до масс m_2, m_3, m_4 соответственно.

C – центр масс;

C_x и C_z – проекции центра масс.

Основные формулы, используемые для описания модели:

$J = m \cdot l^2$ – момент инерции [кг/м²], где

m – масса звена, движущегося по дуге [кг];

l – радиус дуги [м].

$M = F \cdot l$ – крутящий момент [Н·м], где

F – сила [Н];

l – расстояние до точки приложения силы [м].

$F = m \cdot a$ – сила [Н], где

m – масса [кг];

a – ускорение [м/с²].

$M = J \cdot \varepsilon$ – момент [Н·м], где

J – момент инерции звена [?];

ε – угловое ускорение [рад/с²].

$\omega = \frac{V}{R}$ – угловая скорость [рад/с], где

V – скорость [м/с];

R – радиус дуги [м].

$P = F \cdot V = \frac{F \cdot S}{t}$ – мощность [Вт], где

F – сила [Н];

V – скорость [м/с];

S – путь [м];

t – время [с].

$P = J \cdot \varepsilon \cdot \omega = J \cdot \varepsilon^2 \cdot t$ – мощность при кручении [Вт], где

J – момент инерции [кг·м²];

ε – угловое ускорение [рад/с²];

ω – угловая скорость [рад/с].

$a = \varepsilon \cdot r$ или $\varepsilon = \frac{a}{r}$ – связь между линейным и угловым ускорениями.

$a_y = \omega^2 \cdot R$ – центростремительное ускорение [м/с²].

$F_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot R$ – центробежная сила [Н].

$r_c = \frac{\sum r_i \cdot m_i}{\sum m_i}$ – радиус-вектор центра масс;

$C_x = \frac{\sum r_x \cdot m_i}{\sum m_i}$ – проекция центра масс на ось X;

$C_z = \frac{\sum r_z \cdot m_i}{\sum m_i}$ – проекция центра масс на ось Z.

Принципиальная реализация работы модели робота-манипулятора и его воздействие на опору

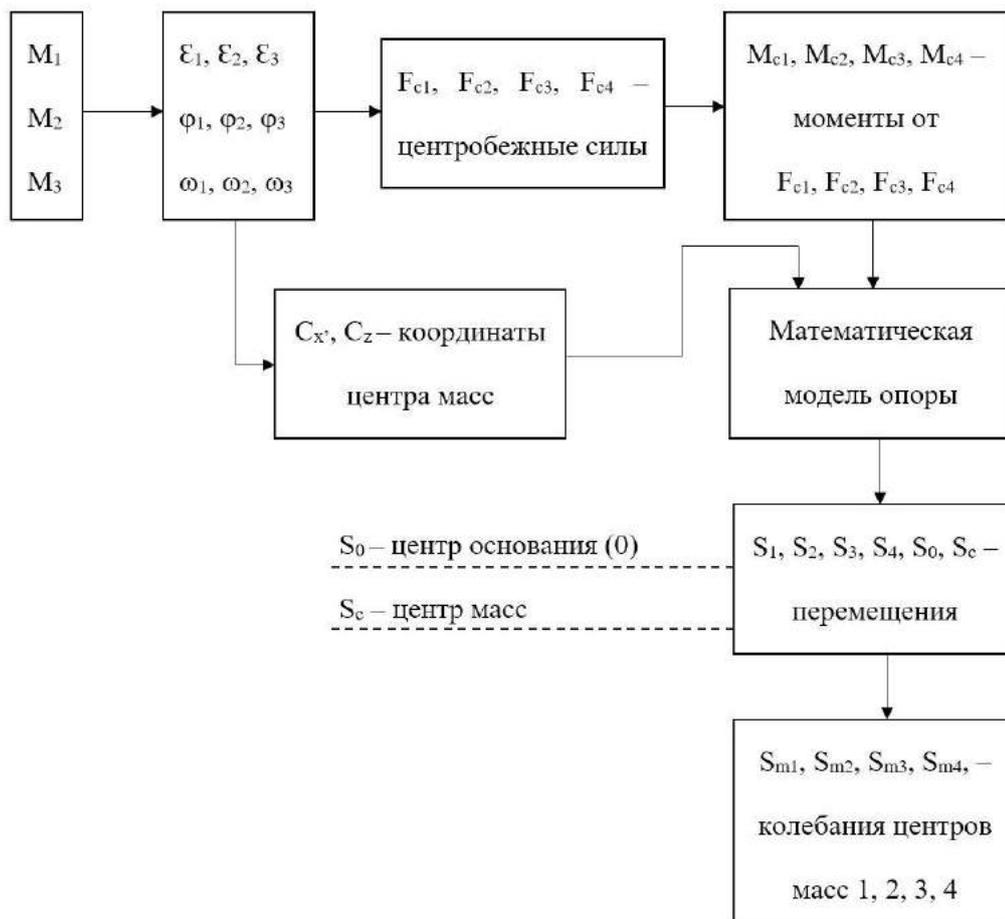


Рисунок 2.2 – принципиальная реализация работы модели робота-манипулятора и его воздействие на опору

Если колебания масс 1, 2, 3 или 4 больше паспортной точности робота (0,03), то жесткость опоры недостаточна. Идеальным вариантом считается такая жесткость, которая обеспечит колебания центров в десять раз меньше точности позиционирования робота.

2.1.1 Описание звена 1

Уравнение баланса моментов:

$$(m_2 \cdot l_2^2 + m_1 \cdot L^2) \cdot \varepsilon_1 = M_1$$

Выражаем угловое ускорение ε_1 , и составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1 \\ \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{M_1}{(m_2 \cdot l_2^2 + m_1 \cdot L^2)} \end{cases}$$

2.1.2 Описание звена 2

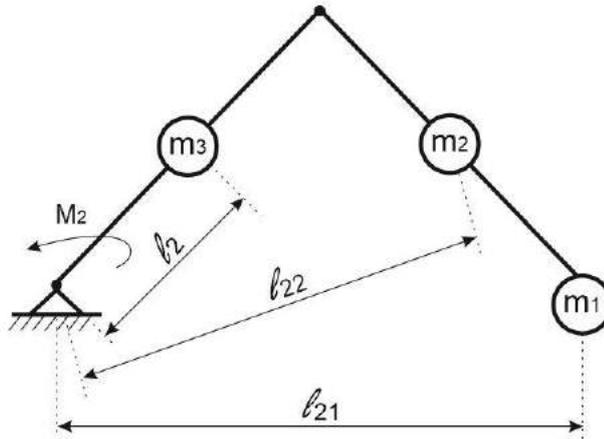


Рисунок 2.3 – схема для звена 2

Т.к. момент M_2 действует на массы m_1 и m_2 , необходимо учесть их моменты инерции. l_{21} и l_{22} – расстояния от опорной точки звена 2 до масс m_1 , m_2 , соответственно. Уравнение баланса моментов имеет вид:

$$(m_3 \cdot l_2^2 + m_2 \cdot l_{22}^2 + m_1 \cdot l_{21}^2) \cdot \varepsilon_2 = M_2$$

Выражаем угловое ускорение ε_2 , и составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2 \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{M_2}{(m_3 \cdot l_2^2 + m_2 \cdot l_{22}^2 + m_1 \cdot l_{21}^2)} \end{cases}$$

2.1.3 Описание звена 3

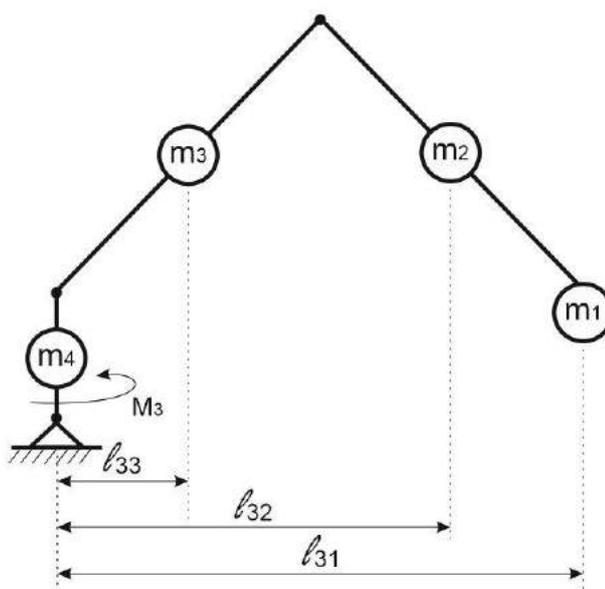


Рисунок 2.4 – схема для звена 3

Здесь l определяются иначе. Вращение робота от момента M_3 происходит в плоскости zx , l – проекции радиус-векторов до масс m_1 , m_2 , m_3 на эту плоскость. Т.к. масса m_4 лежит на оси вращения, ее момент инерции не учитывается.

Уравнение баланса моментов:

$$(m_3 \cdot l_{33}^2 + m_2 \cdot l_{32}^2 + m_1 \cdot l_{31}^2) \cdot \varepsilon_3 = M_3$$

Выражаем угловое ускорение ε_3 , и составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_3}{dt} = \omega_3 \\ \frac{d\omega_3}{dt} = \frac{M_3}{(m_3 \cdot l_{33}^2 + m_2 \cdot l_{32}^2 + m_1 \cdot l_{31}^2)} \end{cases}$$

Далее, определив ω_1 , ω_2 , ω_3 - можно определить центробежные силы F_c , действующие на соответствующие массы.

На массы m_1 и m_2 одновременно действуют: M_1 , M_2 , M_3 . Соответственно на каждую из этих масс будут действовать центробежные силы от ω_1 , ω_2 , ω_3 .

На массу m_3 оказывают влияние моменты M_2 , M_3 , возникнут две центробежные силы от ω_2 , ω_3 . На массу m_4 действует только M_3 , но т.к. центр вращения массы и центр относительно которого действует момент совпадают, центробежная сила не возникает.

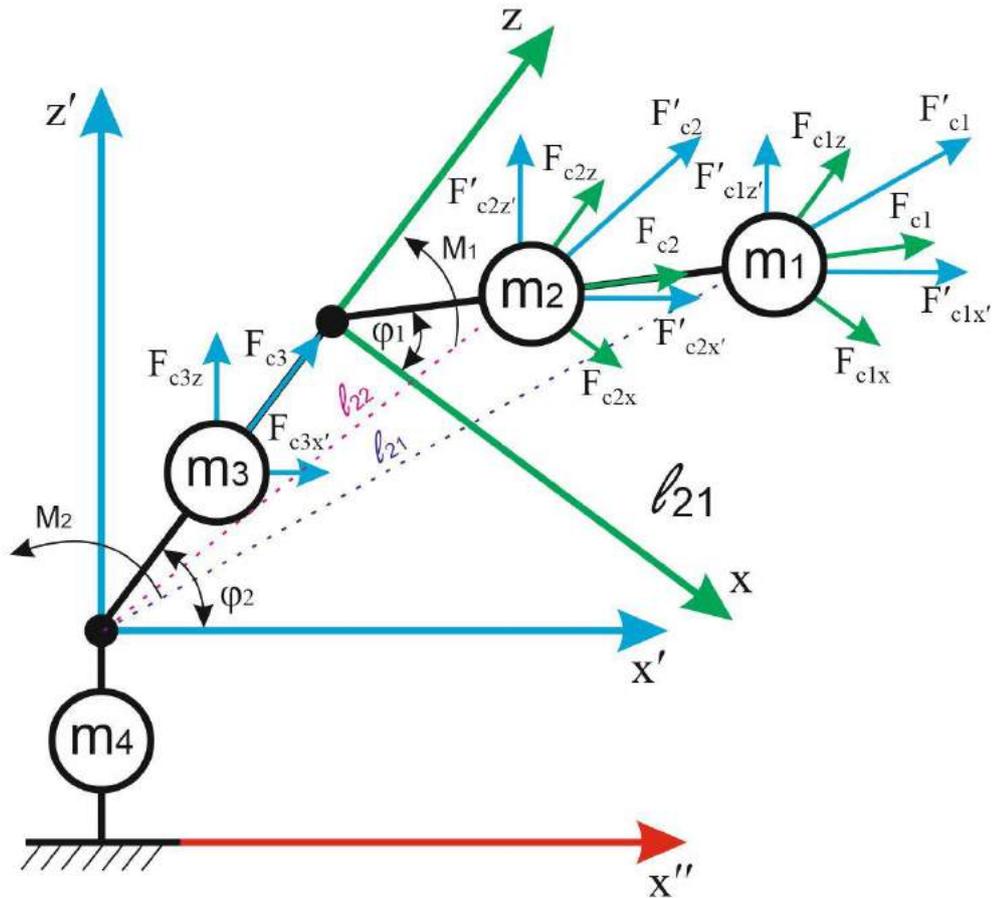


Рисунок 2.5 – схема действия центробежных сил

1.

Центробежные силы от ω_1 – F_{c1} , F_{c2} :

$$F_{c1} = m_1 \cdot L_1 \cdot \omega_1^2;$$

$$F_{c2} = m_2 \cdot l_1 \cdot \omega_1^2;$$

$$F_{c1x} = F_{c1} \cdot \cos\varphi_1;$$

$$F_{c1z} = F_{c1} \cdot \sin\varphi_1;$$

$$F_{c2x} = F_{c2} \cdot \cos\varphi_1;$$

$$F_{c2z} = F_{c2} \cdot \sin\varphi_1;$$

Проекции центробежных сил можно складывать между собой.

Центробежные силы от ω_2 обозначим F_{c1}' , F_{c2}' . Вектор этих сил направлен вдоль прямых l_{22} и l_{21} .

$$l_{22} = \sqrt{x_{22}^2 + z_{22}^2};$$

$$l_{21} = \sqrt{x_{21}^2 + z_{21}^2}, \text{ где}$$

$$x_{22} = L_2 \cdot \cos\varphi_2 + l_1 \cdot \cos\varphi_1;$$

$$x_{21} = L_2 \cdot \cos\varphi_2 + L_1 \cdot \cos\varphi_1;$$

$$z_{22} = L_2 \cdot \sin\varphi_2 + l_1 \cdot \sin\varphi_1;$$

$$z_{21} = L_2 \cdot \sin\varphi_2 + L_1 \cdot \sin\varphi_1.$$

2.

Тогда,

$$F_{c1}' = m_1 \cdot l_{21} \cdot \omega_2^2;$$

$$F_{c2}' = m_2 \cdot l_{22} \cdot \omega_2^2;$$

$$F_{c3} = m_3 \cdot l_2 \cdot \omega_2^2;$$

Для F_{c3} проекции F_{c3x}' и F_{c3z}' можно легко найти, зная угол φ_2 .

$$F_{c3x}' = F_{c3} \cdot \cos\varphi_2;$$

$$F_{c3z}' = F_{c3} \cdot \sin\varphi_2.$$

Для F_{c1}' и F_{c2}' необходимо вычислить углы φ_{22} и φ_{21} .

$$\varphi_{22} = \arctg\left(\frac{z_{22}}{x_{22}}\right);$$

$$\varphi_{21} = \operatorname{arctg}\left(\frac{z_{21}}{x_{21}}\right);$$

Тогда,

$$F'_{c1x'} = F_{c1}' \cdot \cos\varphi_{21};$$

$$F'_{c1z'} = F_{c1}' \cdot \sin\varphi_{21};$$

$$F'_{c2x'} = F_{c2}' \cdot \cos\varphi_{22};$$

$$F'_{c2z'} = F_{c2}' \cdot \sin\varphi_{22}.$$

Для того чтобы можно было сложить проекции центробежных сил в разных системах координат, необходимо перевести силы F_{c1x} и F_{c1z} , F_{c2x} и F_{c2z} в систему координат x' и z'

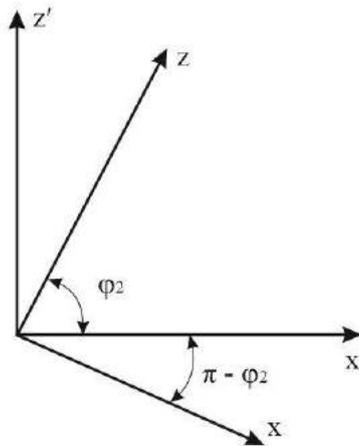


Рисунок 2.6 – смена системы координат

$$\begin{bmatrix} F_{c1x'} \\ F_{c1z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\pi - \varphi_2) & \sin(\pi - \varphi_2) \\ -\sin(\pi - \varphi_2) & \cos(\pi - \varphi_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{c1x} \\ F_{c1z} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_{c2x'} \\ F_{c2z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\pi - \varphi_2) & \sin(\pi - \varphi_2) \\ -\sin(\pi - \varphi_2) & \cos(\pi - \varphi_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{c2x} \\ F_{c2z} \end{bmatrix}$$

3.

Силы от ω_3 , действующие на массы m_1 , m_2 , m_3 , будут располагаться в системе координат x' и z' . Причем их проекции на ось z' будут равны нулю, а на ось x' совпадать с расчетным значением. Изменяются расстояния до масс.

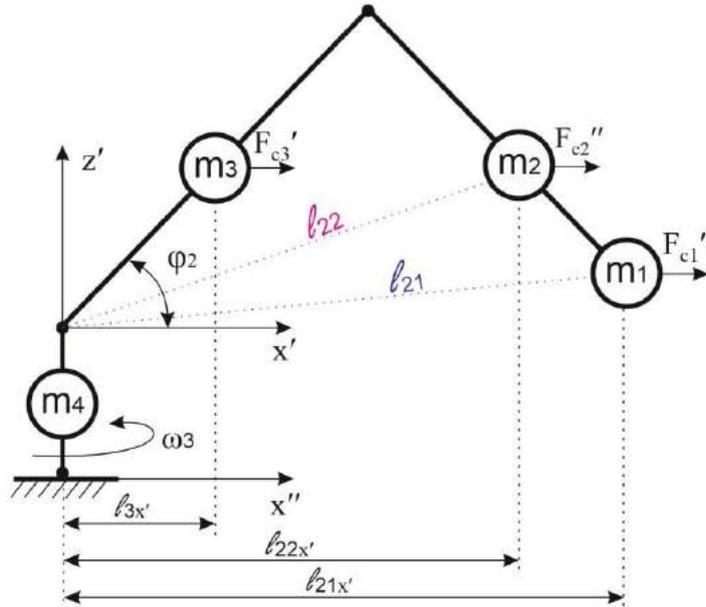


Рисунок 2.7 – схема воздействия центробежных сил от ω_3

$$F_{c3'} = m_3 \cdot l_{3x'} \cdot \omega_3^2, \text{ где}$$

$$l_{3x'} = l_3 \cdot \cos\varphi_2;$$

$$F_{c2''} = m_2 \cdot l_{22x'} \cdot \omega_3^2;$$

$$F_{c1''} = m_1 \cdot l_{21x'} \cdot \omega_3^2;$$

Так как вектора этих сил направлены вдоль x' мы можем свободно их складывать с другими проекциями на эту ось. Все центробежные силы (их проекции) будут создавать моменты, действующие на опору, а также вертикальную силу, направленную вдоль оси z' , найдем их.

От вертикальных составляющих центробежной силы возникает момент M_z .

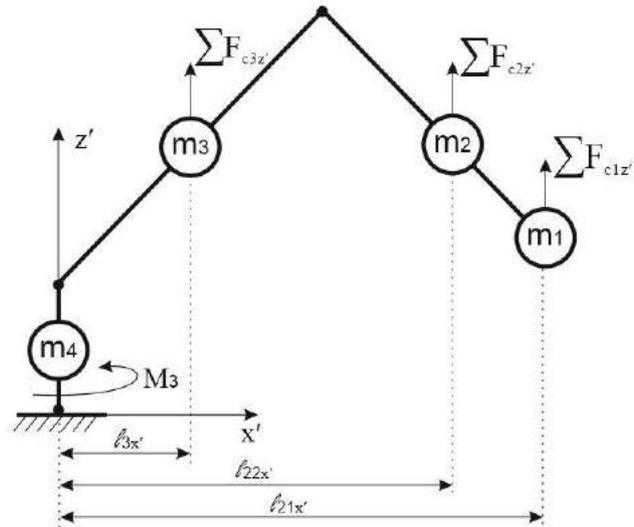


Рисунок 2.8 – схема для момента M_z

$$M_z = \sum F_{c3z'} \cdot l_{3x'} + \sum F_{c2z'} \cdot l_{22x'} + \sum F_{c1z'} \cdot l_{21x'}$$

$$= (F_{c3z'}) \cdot l_{3x'} + (F_{c2z'} + F'_{c2z'}) \cdot l_{22x'} + (F_{c1z'} + F'_{c1z'}) \cdot l_{21x'};$$

От горизонтальных составляющих возникнет момент M_x .

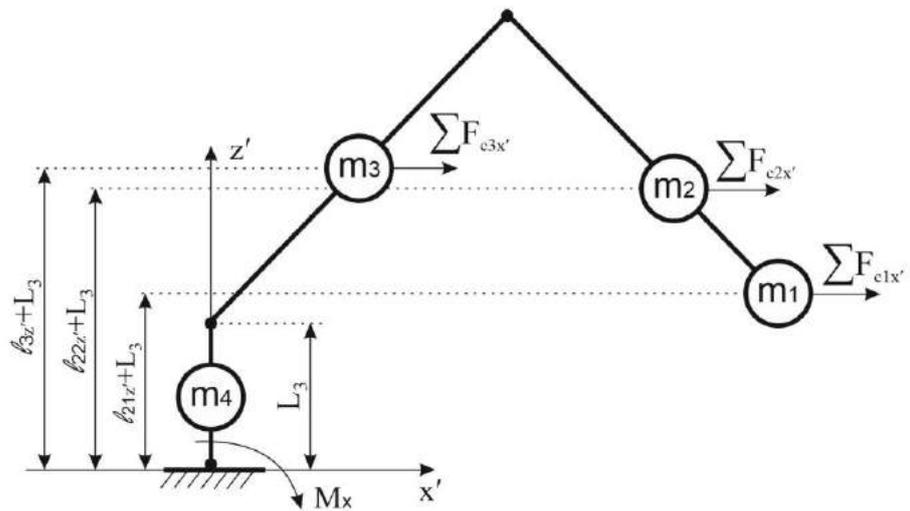


Рисунок 2.9 – схема для момента M_x

$$M_x = \sum F_{c3x'} \cdot (l_{3z'} + L_3) + \sum F_{c2x'} \cdot (l_{22z'} + L_3) + \sum F_{c1x'} \cdot (l_{21z'} + L_3)$$

$$= (F_{c3x'} + F_{c3'}) \cdot (l_{3z'} + L_3) + (F_{c2x'} + F'_{c2x'} + F_{c2''}) \cdot (l_{22z'} + L_3)$$

$$+ (F_{c1x} + F'_{c1x'} + F_{c1''}) \cdot (l_{21z'} + L_3);$$

Так же на опору будет действовать сила

Плоскость zх

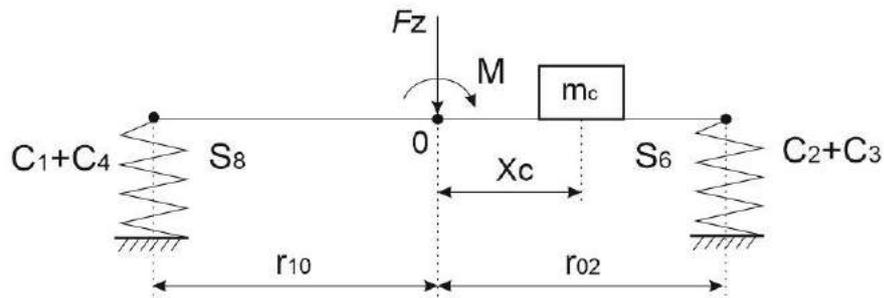


Рисунок 2.11 – схема соединения робота с портальной конструкцией

плоскость zх

Где $x_c = c_{x'} \cdot \cos\varphi_3$

Уравнение баланса сил:

$$(c_1 + c_4) \cdot S_8 + (c_2 + c_3) \cdot S_6 + m_c \cdot \ddot{S}_m = F_z, \text{ где}$$

$$m_c = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$$

Уравнение баланса моментов:

$$\begin{aligned} S_8 \cdot (c_1 + c_4) \cdot (r_{10} + r_{02}) \cdot r_{10} + \ddot{S}_m \cdot m_c \cdot r_{1m} \cdot r_{10} + M_1' \cdot r_{10} \\ = S_6 \cdot (c_2 + c_3) \cdot (r_{10} + r_{02}) \cdot r_{02} + \ddot{S}_m \cdot m_c \cdot r_{2m} \cdot r_{02} + M_2' \cdot r_{02}; \end{aligned}$$

где,

$$M_1' = M \cdot \sqrt{1 + \frac{r_{10}^2}{L_3^2} \cdot \frac{\cos\gamma_1}{\cos\varphi_3}}, \quad \gamma_1 = \arctg \frac{L_3}{r_{10}};$$

$$M_2' = M \cdot \sqrt{1 + \frac{r_{02}^2}{L_3^2} \cdot \frac{\cos\gamma_2}{\cos\varphi_3}}, \quad \gamma_2 = \arctg \frac{L_3}{r_{02}};$$

$$r_{1m} = r_{02} - x_c;$$

$$r_{2m} = r_{10} + x_c, \text{ где}$$

x_c – координата центра масс m_c в плоскости zх. Из уравнения выражаем

S_8 .

$$S_8 = S_6 \cdot \frac{(c_2 + c_3) \cdot r_{02}}{(c_1 + c_4) \cdot r_{10}} + S_m \cdot \frac{m_c \cdot (r_{02} \cdot r_{2m} - r_{10} \cdot r_{1m})}{(c_1 + c_4) \cdot (r_{10} + r_{02}) \cdot r_{10}} + \frac{M \cdot K_6}{(c_1 + c_4) \cdot r_{10}}; \quad (1)$$

где,

$$K_6 = \frac{M_2' \cdot r_{02} + M_1' \cdot r_{10}}{M \cdot (r_{10} + r_{02})}$$

Геометрическая связь между деформациями отображена на рисунке 2.12

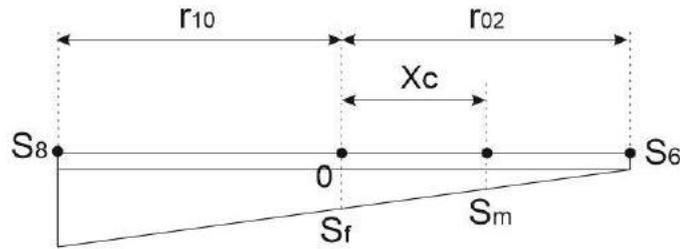


Рисунок 2.12 – геометрическая связь между деформациями

Представим ее в виде уравнения:

$$\frac{S_8 - S_6}{r_{10} + r_{02}} = \frac{S_f - S_6}{r_{02}} = \frac{S_m - S_6}{(r_{02} - x_c)}$$

Выразим из уравнения S_6 :

$$S_6 = S_8 \cdot \frac{r_{1m}}{(r_{1m} - L)} - S_m \cdot \frac{L}{(r_{1m} - L)}, \quad \text{где } L = r_{10} + r_{02}; \quad (2)$$

Теперь (в 2 подставим 1) выраженное S_8 подставим в полученное уравнение, получим:

$$S_6 = S_m \cdot \frac{m_c \cdot (r_{02} \cdot r_{2m} - r_{10} \cdot r_{1m}) \cdot r_{1m}}{r_{10} \cdot (c_1 + c_4) \cdot (r_{10} + r_{02}) \cdot (r_{1m} - L) \cdot K_1} - M \cdot \frac{r_{1m} \cdot K_6}{(c_1 + c_4) \cdot r_{10} \cdot (r_{1m} - L) \cdot K_1} - S_m \cdot \frac{L}{(r_{1m} - L) \cdot K_1}$$

Где

$$K_1 = \frac{(c_1 + c_4) \cdot r_{10} \cdot (r_{1m} - L) - (c_2 + c_3) \cdot r_{02} \cdot r_{1m}}{(c_1 + c_4) \cdot r_{10} \cdot (r_{1m} - L)}$$

Пусть

$$K_2 = \frac{m_c \cdot (r_{02} \cdot r_{2m} - r_{10} \cdot r_{1m}) \cdot r_{1m}}{r_{10} \cdot (c_1 + c_4) \cdot (r_{10} + r_{02}) \cdot (r_{1m} - L) \cdot K_1};$$

$$K_3 = \frac{r_{1m} \cdot K_6}{(c_1 + c_4) \cdot r_{10} \cdot (r_{1m} - L) \cdot K_1};$$

$$K_4 = \frac{L}{(r_{1m} - L) \cdot K_1}$$

С учетом принятых замен, уравнение примет вид:

$$S_6 = \ddot{S}_m \cdot K_2 - M \cdot K_3 - S_m \cdot K_4; \quad (3)$$

Подставим 3 в 1

$$S_8 = (\ddot{S}_m \cdot K_2 - M \cdot K_3 - S_m \cdot K_4) \cdot S_6 \cdot \frac{(c_2 + c_3) \cdot r_{02}}{(c_1 + c_4) \cdot r_{10}} + S_m \cdot \frac{m_c \cdot (r_{02} \cdot r_{2m} - r_{10} \cdot r_{1m})}{(c_1 + c_4) \cdot (r_{10} + r_{02}) \cdot r_{10}} + \frac{M \cdot K_6}{(c_1 + c_4) \cdot r_{10}}$$

Выражаем S_8 и S_6 через S_m , полученный результат подставляем в уравнение баланса сил:

$$\ddot{S}_m = \frac{F_z - S_m \cdot \left(\frac{K_4 \cdot (c_2 + c_3) \cdot L}{r_{10}} \right) - M \cdot K_6 \cdot \left(\frac{K_3 \cdot (c_2 + c_3) \cdot L + 1}{r_{10}} \right)}{\left(m + \frac{K_2 \cdot (c_2 + c_3) \cdot L}{r_{10}} + K_5 \cdot (c_1 + c_4) \right)}$$

Таким образом мы получили окончательное выражение для \ddot{S}_m в плоскости zx . Уравнения для нахождения \ddot{S}_m в плоскости zy аналогичны, за исключением некоторых коэффициентов. Определив S_8 , S_6 , S_5 , S_7 можем вычислить S_1 , S_2 , S_3 , S_4 :

$$S_1 = S_5 + S_8 - S_0;$$

$$S_2 = S_5 + S_6 - S_0;$$

$$S_3 = S_7 + S_6 - S_0;$$

$$S_4 = S_7 + S_8 - S_0;$$

Перемещение центра масс, истинное:

$$S_m = x_c + y_c - S_0, \text{ где}$$

$x_c - S_m$ (вычисляемая в плоскости zx);

$y_c - S_m$ (вычисляемая в плоскости zy).

Перемещение точки O , истинное:

$$S_0 = C_{0x} + S_{0y}, \text{ где}$$

S_{0x} – перемещение точки O в плоскости zx ;

S_{0y} – перемещение точки O в плоскости zy .

Вывод по разделу

Описана схема работа и опоры, к которым разработана математическая модель. Модель представляет собой две части: робот и опора. Движение робота генерирует инерционные силы, которые воздействуют на опору. Под воздействием этих сил опора и закрепленный на ней робот совершают вынужденные колебания. Что позволяет изучать влияние движений звеньев робота на точность его позиционирования с учетом механических свойств опоры.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Для решения задач, поставленных в работе исследование, производилось в несколько этапов

1 этап: Определение значений моментов;

2 этап: Определение влияния положения звеньев на опору;

3 этап: Определение плоскости, в которой движения робота оказывают наибольшее воздействие на опору;

4 этап: Определение влияния положения (звена 1) локтя (согнут или разогнут) в плоскости определенной на этапе 3;

5 этап: Определение влияния величины момента на точность позиционирования.

Решение математической модели осуществляется с помощью программного комплекса Matlab. Для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка используется встроенная функция `ode45`, реализующая решение с использованием метода Рунге-Кутты (4 порядка), с незначительной модификацией, позволяющей менять параметры, зависящие от времени, внутри функции в процессе решения.

Важно отметить что некоторые вещи в исследовании были опущены, например, трение в опорах, сила тяжести, демпфирование. Исследуется влияние инерционных нагрузок на опору. Сложные комплексные движения (когда одновременно движутся два звена) не рассматриваются.

3.1 Входные данные

Для проведения исследования необходимо собрать входные данные.

Большая часть приведенных данных взята из технической документации робота.

Таблица 4.1 – входные данные

Наименование	Значение	Способ получения
m_1	2 кг	назначено
m_2	20 кг	расчёт
m_3	20 кг	
m_4	10 кг	
L_1	0,54 м	
L_2	0,56 м	[21] (стр. 18)
L_3	0,4 м	
l_1	0,27 м	
l_2	0,28 м	
l_3	0,2 м	
r_{10_x}	0,1 м	
r_{02_x}	0,1 м	
r_{20_y}	0,1 м	
r_{03_y}	0,1 м	
c_1	10 000 000 (10Кн/мм)	Принято в соответствии с жесткостью металлорежущего станка
c_2	10 000 000 Н/м	
c_3	10 000 000 Н/м	
c_4	10 000 000 Н/м	

3.2 Этап 1

По причине отсутствия спецификации на привода двигателя, моменты M_1 , M_2 , M_3 находятся с помощью вычислений. Адекватность вычислений проверяется по данным графиков, получаемых в программе (Приложение Б).

Определение M_3

Предельное значение момента M_3 должно обеспечить примерное вращение робота вокруг своей оси с максимально вытянутой рукой за 2

секунды, т.е. поворот на 6,28 радиана. Чтобы рука соответствовала «вытянутой» необходимо задать угол $\phi_1 = 90^\circ$. Остальные моменты принимаем равными нулю.

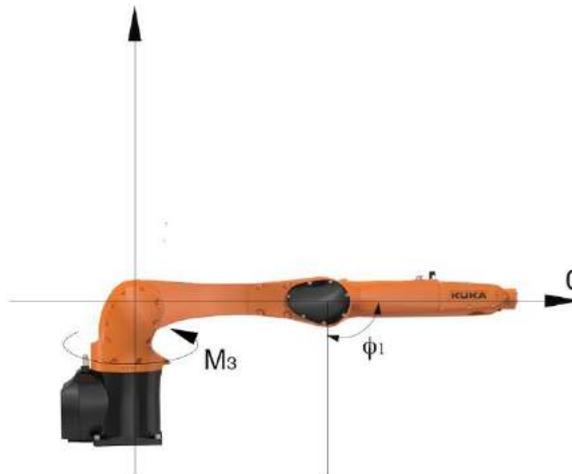


Рисунок 4.1 – положение звеньев робота

```

1-  clc;
2-  clear;
3-  close all;
4-
5-  % БЛОК ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
6-  time=2; dt=0.01;
7-
8-  % Данные робота
9-  Moment_1 = 0;
10- Moment_2 = 0;
11- Moment_3 = 112;
12-
13- phi_10_ = 90; % Начальное значение угла phi_1
14- phi_20_ = 0; % Начальное значение угла phi_2
15- phi_30_ = 0; % Начальное значение угла phi_3
16-
17- l1 = 0.27; l2 = 0.28; l3 = 0.2; L1 = 0.54; L2 = 0.56; L3 = 0.4;%в метрах%
18- m1 = 2; m2 = 20; m3 = 20; m4 = 10;%кг%
19-
20- % Данные опоры
21- r10_x = 0.1; r02_x = 0.1; r20_y = 0.1; r03_y = 0.1;
22- c1=10000000; c2=10000000; c3=10000000; c4=10000000;
23-
24- % КОНЕЦ БЛОКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
25-

```

Рисунок 4.2 – блок входных данных, нахождение M_3

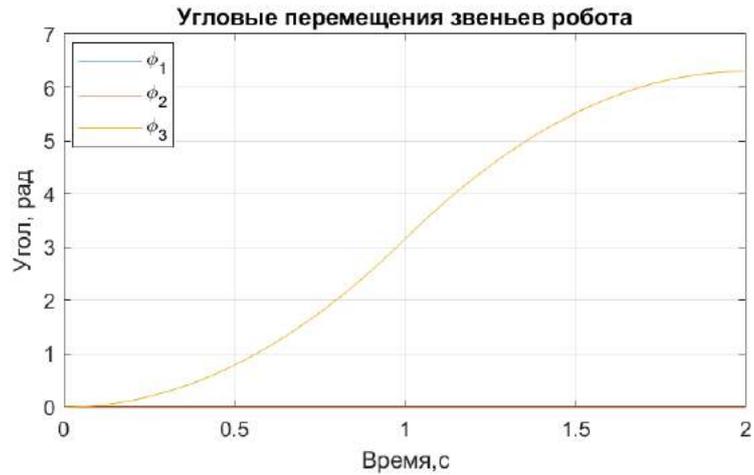


Рисунок 4.3 - график угловых перемещений звеньев робота

Определение M_1

Теоретически звено 1 робота может совершить вращение на полный оборот от 0° до 360° , но только теоретически. В реальности рука робота имеет толщину и значение угла согласно технической документации изменяется от -66° до 210° (3,66 радиан). При этом угол $\phi_2 = 90^\circ$, обеспечивая вертикальную позицию 2 звена по отношению к опоре. Остальные моменты принимаем равными нулю. Подбираем момент M_1 .

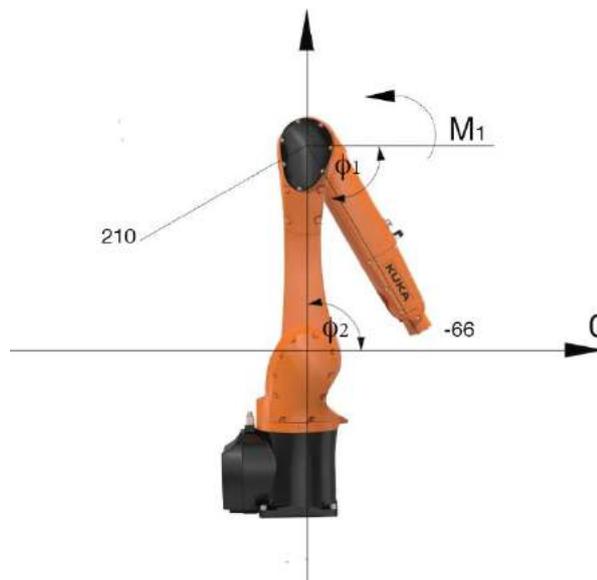


Рисунок 4.4 – начальное положение звеньев робота

```

1 -   clc;
2 -   clear;
3 -   close all;
4
5 -   % БЛОК ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
6 -   time=2; dt=0.01;
7
8 -   % Данные робота
9 -   Moment_1 = 7.5;
10 -  Moment_2 = 0;
11 -  Moment_3 = 0;
12
13 -  phi_10_ = -66; % Начальное значение угла phi_1
14 -  phi_20_ = 90; % Начальное значение угла phi_2
15 -  phi_30_ = 0; % Начальное значение угла phi_3
16
17 -  l1 = 0.27; l2 = 0.28; l3 = 0.2; L1 = 0.54; L2 = 0.56; L3 = 0.4;%в метрах%
18 -  m1 = 2; m2 = 20; m3 = 20; m4 = 10;%кг%
19
20 -  % Данные опоры
21 -  r10_x = 0.1; r02_x = 0.1; r20_y = 0.1; r03_y = 0.1;
22 -  c1=10000000; c2=10000000; c3=10000000; c4=10000000;
23
24 -  % КОНЕЦ БЛОКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ %

```

Рисунок 4.5 – блок входных данных, нахождение M_1

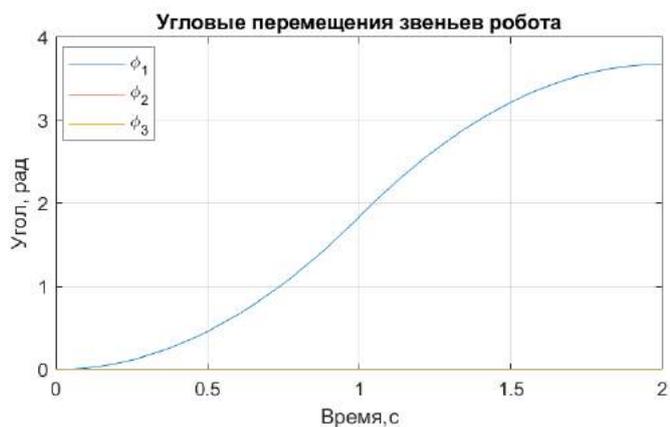


Рисунок 4.6 – график угловых перемещений звеньев робота

Определение M_2

С моментом M_2 поступаем также, но принимаем $\phi_1 = 90^\circ$. Согласно документации, звено 2 может совершать движение в диапазоне от -45° до 190° (3,3 радиан). Остальные моменты принимаем равными нулю. Подбираем момент M_2 .

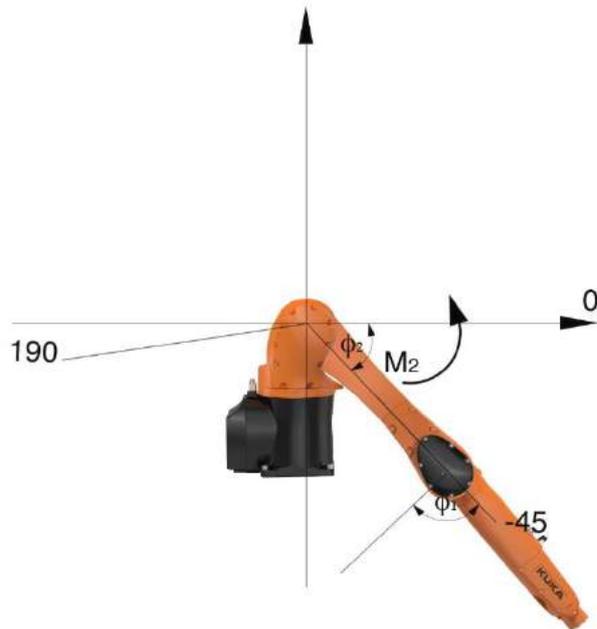


Рисунок 4.7 - начальное положение звеньев робота

```

1-  clc;
2-  clear;
3-  close all;
4-
5-  % БЛОК ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
6-  time=2; dt=0.01;
7-  |
8-  % Данные робота
9-  Moment_1 = 0;
10- Moment_2 = 60;
11- Moment_3 = 0;
12-
13- phi_10_ = 90; % Начальное значение угла phi_1
14- phi_20_ = -45; % Начальное значение угла phi_2
15- phi_30_ = 0; % Начальное значение угла phi_3
16-
17- l1 = 0.27; l2 = 0.28; l3 = 0.2; L1 = 0.54; L2 = 0.56; L3 = 0.4; %в метрах%
18- m1 = 2; m2 = 20; m3 = 20; m4 = 10; %кг%
19-
20- % Данные опоры
21- r10_x = 0.1; r02_x = 0.1; r20_y = 0.1; r03_y = 0.1;
22- c1=10000000; c2=10000000; c3=10000000; c4=10000000;
23-
24- % КОНЕЦ БЛОКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ %

```

Рисунок 4.8 – блок входных данных, нахождение M_2

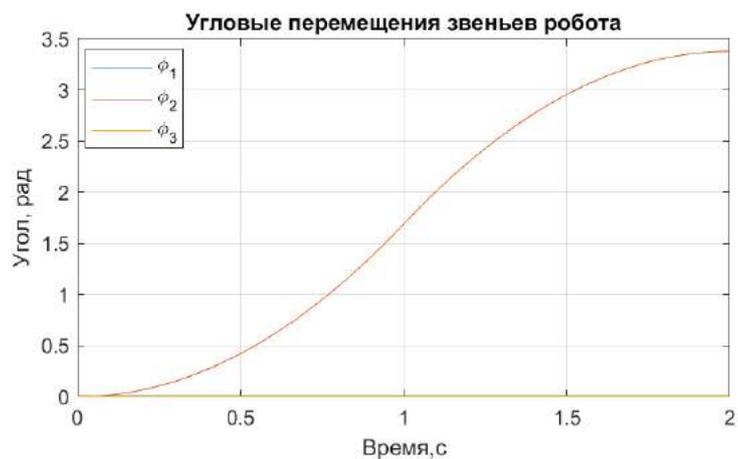


Рисунок 4.9 – график угловых перемещений звеньев робота

Результатом этапа 1 являются найденные значения моментов, которые приведены в таблице 4.2. Графики этапа 1 представлены в приложении В.

Таблиц 4.2 – значения моментов

M_1	7,5
M_2	60
M_3	112

3.3 Этап 2

Рассмотреть влияние положений звеньев на опору: поведение опоры при разных видах нагружения.

Влияние от M_1

Входные данные:

$$M_1 = 7,5 \text{ Нм};$$

$$\varphi_1 = - 66^\circ;$$

$$\varphi_2 = 90^\circ;$$

$$\varphi_3 = 0^\circ.$$

Для удобства восприятия в программе выводится три отдельных изображения с различными группами графиков. В первую группу входят графики, отражающие поведение робота рисунок 4.10. Во второй и третьей группе, рисунки 4.11 и 4.12 соответственно, приведены графики, описывающие поведение опоры.

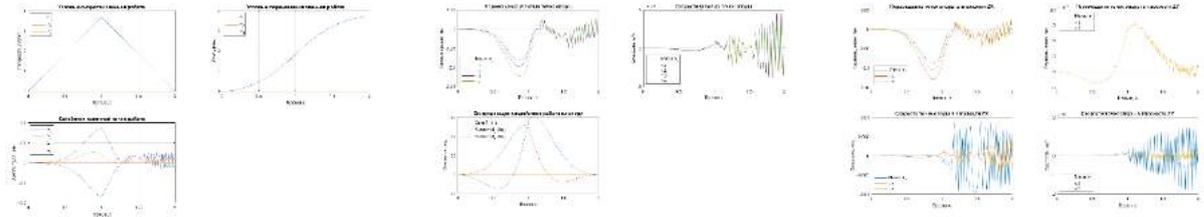


Рисунок 4.10 – первая группа графиков

Рисунок 4.11 – вторая группа графиков

Рисунок 4.12 – третья группа графиков

Рассмотрим более подробно графики каждой группы. Первая группа:

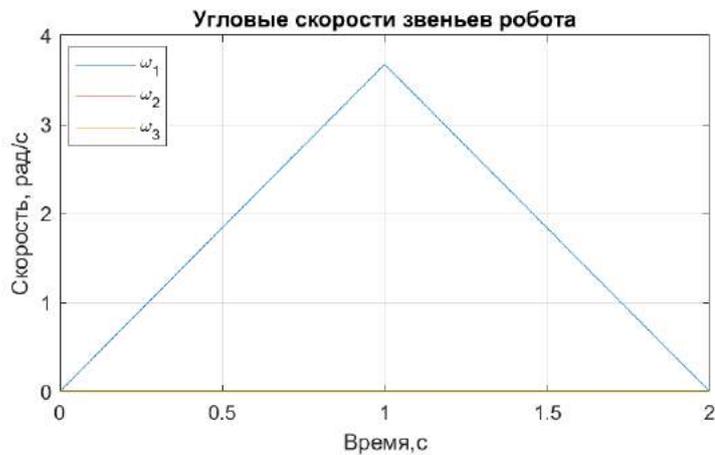


Рисунок 4.13 – график угловых скоростей звеньев робота

График на рисунке 4.13 отражает движение робота в течение двух секунд, за первую секунду робот разгоняется, достигая максимума, и тормозит в течение следующей секунды.

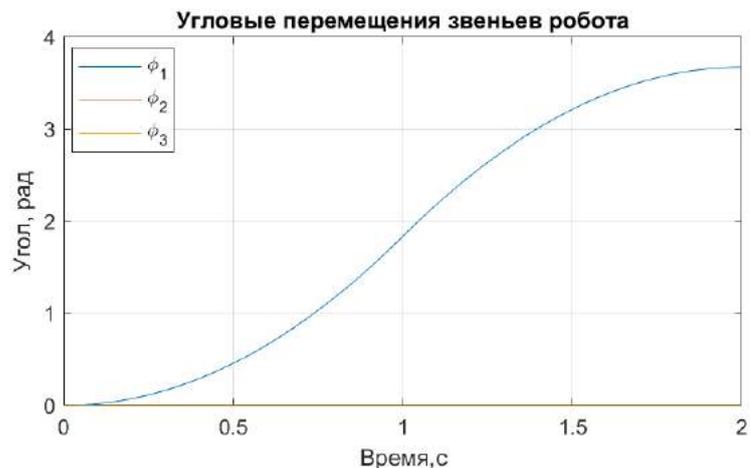


Рисунок 4.14 – график угловых перемещений звеньев робота

График угловых перемещений звеньев робота рисунок 4.14 показывает конечный угол положения звена. Так, на первом этапе, зная что значение угла меняется от величины А до величины В, начальное положение (А) вводилось в программу и отслеживалось какая величина момента необходима для достижения величины В, показанной на данном графике.

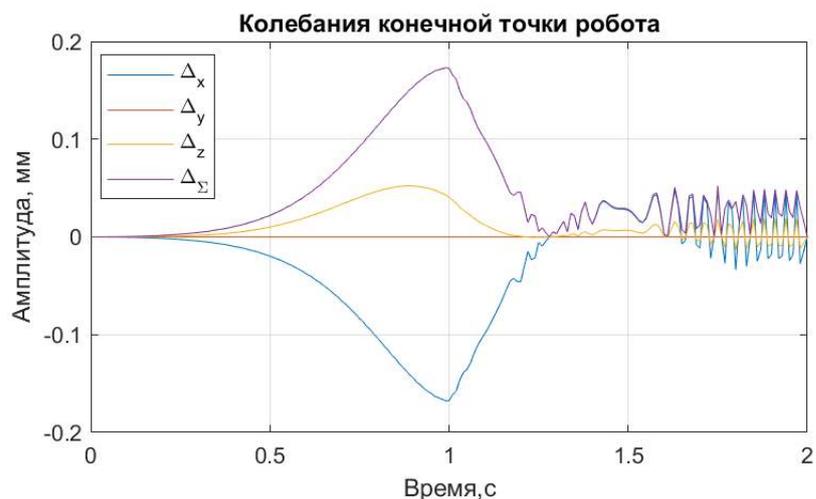


Рисунок 4.15 – график колебаний конечной точки робота

Данный график отражает колебания конечной точки робота. На графике представлены колебания происходящие в трех плоскостях и среднеквадратичное значение, которое находится по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2},$$

Объясняющей постоянное положение графика Δ_{Σ} выше нуля.

Графики второй группы:

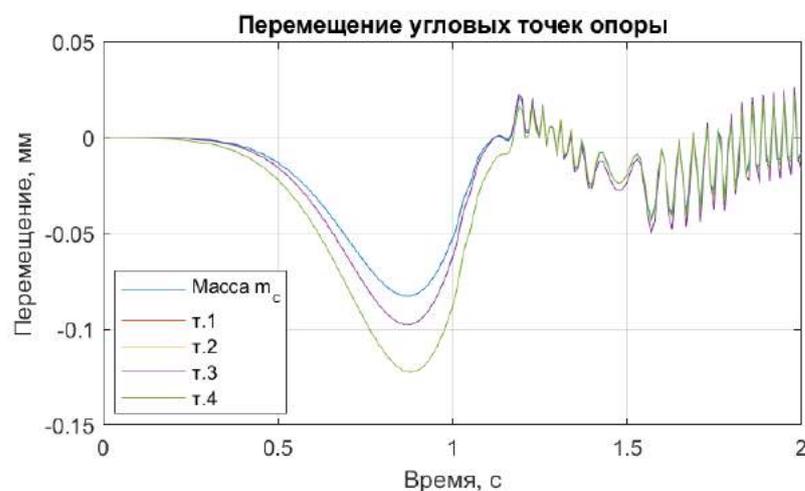


Рисунок 4.16 – график перемещения угловых точек опоры

В данном случае перемещение подразумевает под собой отклонение. Таким образом, график отражает текущее отклонение колеблющихся точек от нулевого положения. В легенде к графику представлено 5 позиций, а на графике отображено только три, что происходит по причине наложения линий друг на друга.

Согласно рисунку 4.16 все точки опоры, включая массу, движутся в сторону растяжения. Это связано с тем, что центр масс располагается за пределами опоры, тогда точки опоры движутся однонаправленно,

относительно этого центра, по дуге. Важно отметить, что это также влияет на графики с рисунка 4.20.

Изменим размеры опоры таким образом, чтобы центр масс был все время внутри, между точками опоры, рисунок 4.17, тогда колебания примут привычный вид, когда часть точек опоры движется вверх, а часть вниз.

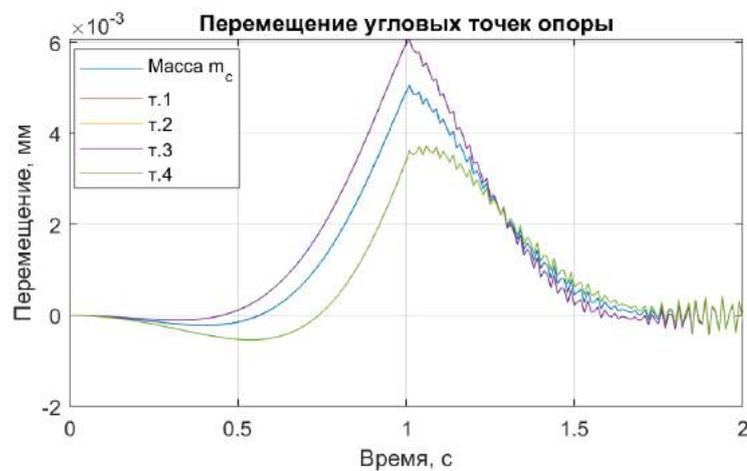


Рисунок 4.17 – график перемещения угловых точек увеличенной опоры

Анализируя график скорости угловых точек опоры, можно сделать вывод что наибольшие скорости развиваются в процессе торможения.

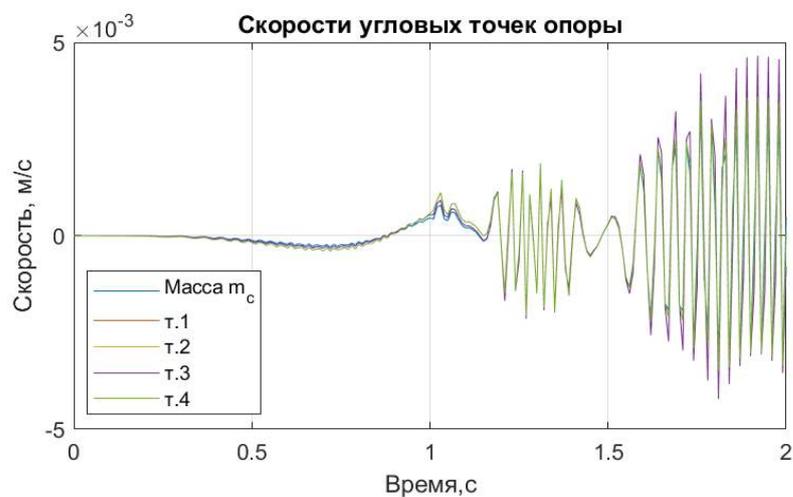


Рисунок 4.18 – график скорости угловых точек опоры

По графику представленном на рисунке 4.19 можно отметить, что форма колебания моментов близка к синусоиде, отражая плавное изменение силы. (значение Амплитуды представляет интерес)

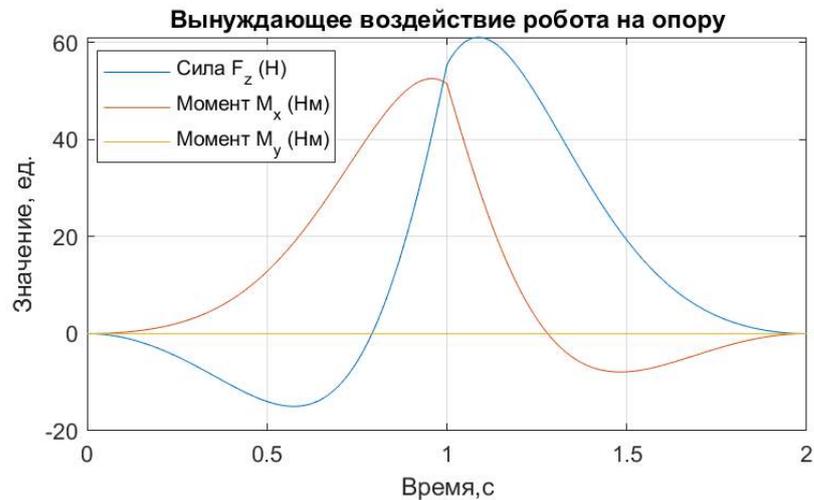


Рисунок 4.19 – график вынуждающих воздействий робота

Графики третьей группы:

В общем графики третьей группы аналогичны первым двум графикам второй группы. На график перемещения точек опоры в плоскости ZX также оказывает влияние то, что центр масс располагается за пределами опоры.

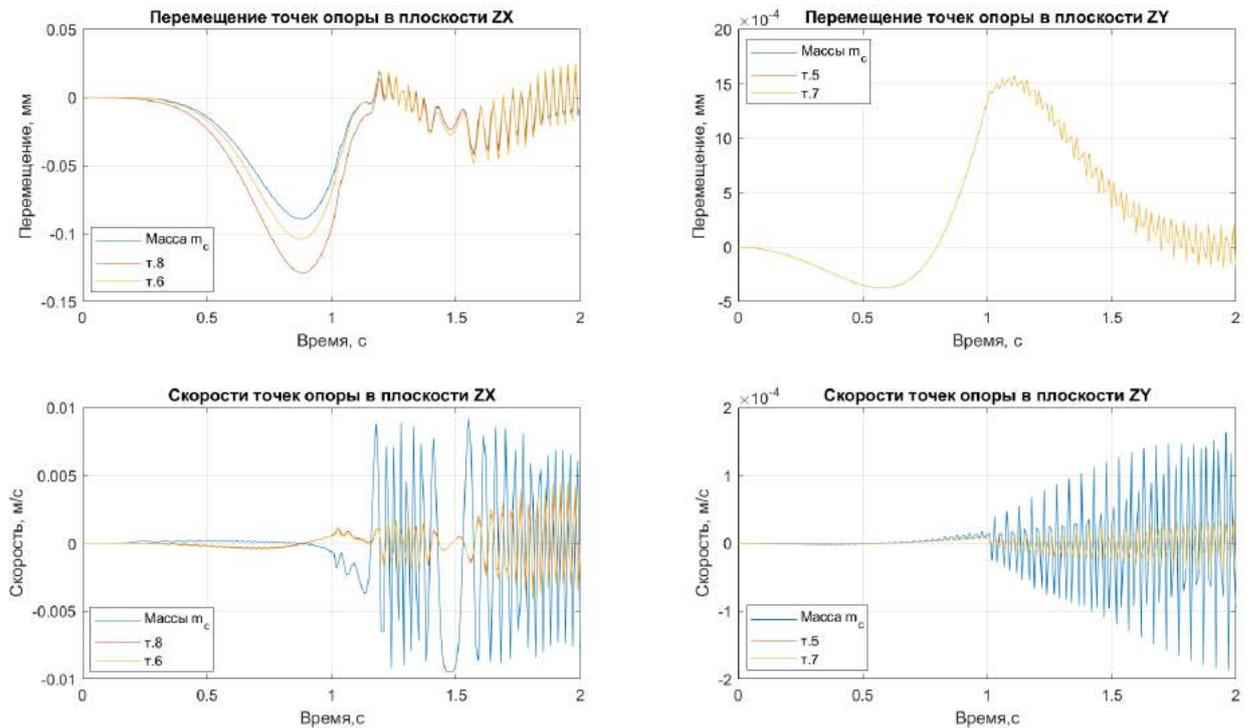


Рисунок 4.20 - графики третьей группы

Влияние от M_2

Входные данные:

$$M_2 = 60 \text{ Нм};$$

$$\varphi_2 = -45^\circ;$$

$$\varphi_3 = 0^\circ;$$

Меняем: φ_1 от -66° до 90° .

В эксперименте описаны следующие действия: в плоскости заданной углом $\varphi_3 = 0^\circ$ робот совершает махи рукой под действием M_2 . Положение руки в плоскости задается углами $\varphi_2 = -45^\circ$, который остается постоянным на протяжении эксперимента; значение угла φ_1 меняется от начального положения звена, равного -66° до 90° . Предел изменения угла в 90° , обусловлен тем что он выступает в качестве оси симметрии. Все графики представлены в приложении Г.

Влияние от M_3

$$M_3 = 112 \text{ Нм};$$

$$\varphi_1 = 90^\circ;$$

$$\varphi_3 = 0^\circ;$$

Меняем: φ_2 от -45° до 90° .

Эксперимент описывает следующие действия: рука робота совершает вращение под действием M_3 , начальная плоскость задана углом $\varphi_3 = 0^\circ$. Заданное значение угла $\varphi_1 = 90^\circ$, обеспечивает постоянную со направленность звеньев, как бы не изменялся φ_2 , рука остается выпрямленной. Изменение угла φ_2 от -45° до 90° изменяет положение руки в пространстве.

Данные, полученные с помощью графиков (приложение Д) приведены в таблице 4.3.

Таблице 4.3 – результаты второго этапа исследования

Значение изменяемого φ°		F_z , Н	M_x , Нм	M_y , Нм
M_1				
-		61	52,48	0
M_2				
φ_1	-66	-1961	249,6	0
	-45	-1583	157,6	0
	-30	-858,4	81,23	0
	-15	-430,5	40,81	0
	0	-276,9	19,98	0
	15	-205	9,7	0
	30	-171,5	9,45	0
	45	-148,9	10,56	0
	60	-130,9	11,72	0
	75	-115,5	12,92	0
	90	-101,5	14,15	0
M_3				
φ_2	-45	0	-863	-664,6

	-30	0	191,6	222,6
	-15	0	-12,08	-8,27
	0	0	-193,9	-113,1
	15	0	-403,8	-278,6
	30	0	-657,7	-765,5
	45	0	1960	1506
	60	0	6438	5683
	75	0	-50400	-47310
	90	0	$-3,61 \times 10^{51}$	$3,92 \times 10^{51}$

Анализируя полученные графики и данные можно сделать вывод, что модель, описывающая воздействие момента M_3 на опору, не является адекватной. Происходит это по той причине, что звенья робота представлены в программе в виде сосредоточенных масс, т.е не имеют толщину, длину, вдоль которой распределяется масса звена в реальности. Из-за такого представления масс, получается, что момент инерции близок к нулю, в следствии чего момент M_3 раскручивает робот до гигантских скоростей, при которых возникают большие силы (Приложение Д).

Таким образом, в дальнейших исследованиях рассматривается момент M_2 , т.к. создает наибольшую нагрузку на опору.

3.4 Этап 3

Определить плоскость, в которой движения робота оказывают наибольшее влияние на опору, как следствие ухудшая точность позиционирования.

Входные данные:

$$M_2 = 60 \text{ Нм};$$

$$M_1; M_3 = 0 \text{ Нм};$$

$$\varphi_2 = -45^\circ;$$

$$\varphi_1 = 90^\circ;$$

Меняем: φ_3 от 0° до 45° .

На данном этапе робот вытянутой рукой ($\varphi_2 = -45^\circ$; $\varphi_1 = 90^\circ$) совершает махи, вызванные M_2 в разных плоскостях, задаваемых углом φ_3 . Данные полученные из графиков (приложение Е) приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – зависимость точности позиционирования от φ_3

$\varphi_3, ^\circ$	0	15	30	45
$\Delta_{\Sigma}, \text{мм}$	0,039	0,038	0,035	0,031

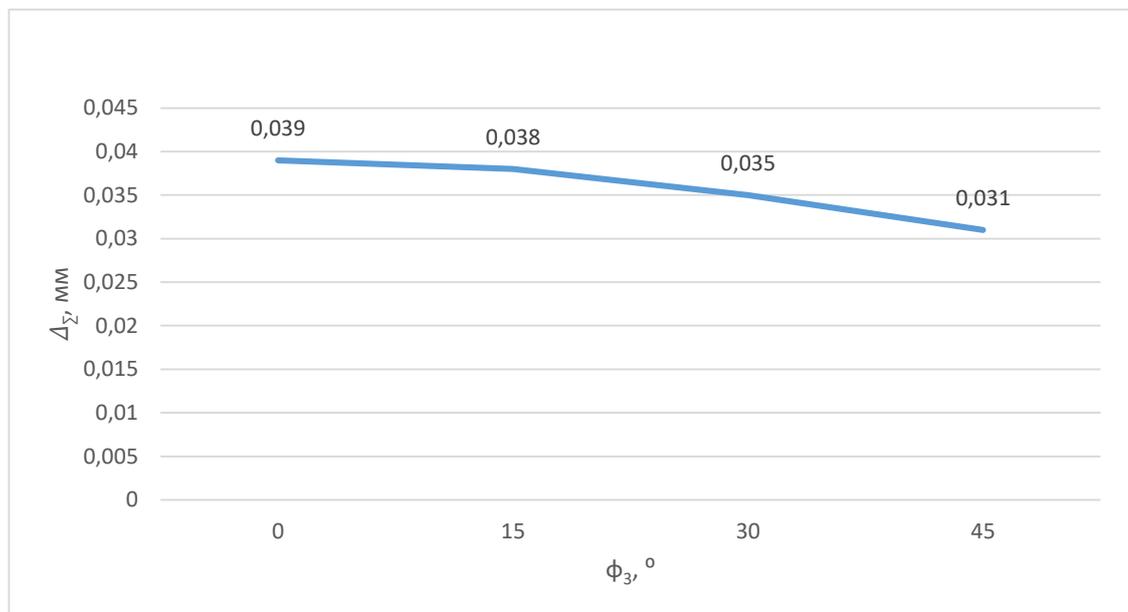


Рисунок 4.21 – график зависимости точности позиционирования от φ_3

Можно сделать вывод, что наиболее неблагоприятное воздействие на опору оказывают движения робота, происходящие в плоскости при $\varphi_3 = 0^\circ$.

3.5 Этап 4

Необходимо выявить наиболее неблагоприятный режим работы для последнего звена, в плоскости, найденной на этапе три.

Входные данные:

$$M_2 = 60 \text{ Нм};$$

$$M_1 = M_3 = 0 \text{ Нм};$$

$$\varphi_2 = -45^\circ;$$

$$\varphi_3 = 0^\circ;$$

Меняем: φ_1 от -66° до 90° .

Так как неблагоприятный угол поворота плоскости φ_3 оказался равен нулю, графики, получаемые на этапе 4 эквивалентны графикам этапа 2 для M_2 .

Результаты анализа графиков приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – зависимость точности позиционирования от

φ_1

$\varphi_1,$ $^\circ$	-66	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90
$\Delta_\Sigma,$ мм	0,29	0,22	0,16	0,09	0,053	0,03	0,021	0,023	0,028	0,033	0,039

Таким образом, $\varphi_1 = -66^\circ$ оказывает наиболее неблагоприятное влияние на точность позиционирования.

3.6 Этап 5

Задача данного этапа заключается в анализе влияния величины M_2 на точность позиционирования робота.

В предыдущих этапах были найдены наиболее неблагоприятные положения робота, которые используются как входные данные для этапа 5.

Входные данные:

$$M_1 = M_3 = 0 \text{ Нм};$$

$$\varphi_2 = -45^\circ;$$

$$\varphi_3 = 0^\circ;$$

$$\varphi_1 = -66^\circ;$$

Меняем: M_2 .

Графики исследования представлены в приложении Ж. Результаты исследования приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – влияние величины момента на точность позиционирования

M_2 , Нм	15	30	60	120	180
Δ_Σ , мм	0,0027	0,08	0,29	1,43	3,8
ω^2 , рад/с	3,8	7,74	15,47	30,94	46,41

На основе полученных данных построен график отражающий зависимость точности позиционирования от угловой скорости.

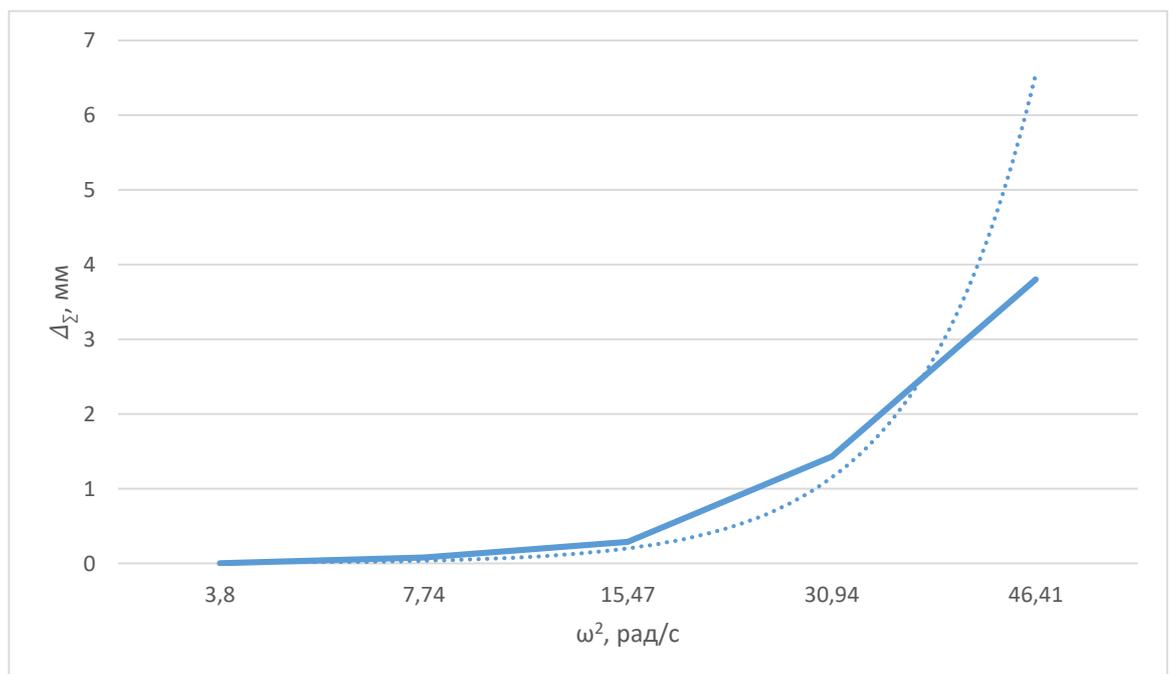


Рисунок 4.22 – график зависимости точности позиционирования от угловой скорости

Согласно полученных данных, точность позиционирования робота, заявленная производителем (0,03 мм), может быть достигнута при величине момента $M_2 < 30$.

Вывод по разделу

В ходе работы были выполнены все запланированные этапы.

На первом этапе определены значения моментов M_1 , M_2 , M_3 .

На втором этапе рассмотрено влияние положения звеньев на опору. В процессе исследований момента M_3 было обнаружено, что представление звеньев в виде сосредоточенных масс в данном случае приводит к получению некорректных результатов. Все дальнейшие исследования проводились для момента M_2 т.к. его нагрузки оказывали наибольшее влияние.

На третьем этапе была определена наиболее неблагоприятная плоскость работы робота, заданная углом $\varphi_3 = 0^\circ$. По этой причине графики и входные данные этапа 4 эквивалентны этапу два для M_2 .

По результатам пятого этапа построена зависимость точности позиционирования робота от угловой скорости.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Целью магистерской диссертации является исследование влияния динамических воздействий робота-манипулятора на опорную конструкцию, путем математического моделирования с учетом динамических свойств этой конструкции. Результаты исследования являются актуальными для конструкторских бюро при проектировании ГПС, проектировании и создании единичных индивидуальных установок.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Проведение предпроектного анализа
- Планирование научно-исследовательских работ
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования

4.1 Предпроектный анализ

Чем дальше развивается промышленность, тем больше задействуются на производствах роботы. Одним из лидеров по применению в машиностроительной отрасли являются роботы немецкой фирмы KUKA [11].

Как у любой техники, к роботу прилагается пакет документов, в который входят руководство пользователя и технический паспорт, с указанными характеристиками. Ограниченность информации данного руководства, и широкое применение роботов КУКА на производствах по всему миру стало основанием для данного исследования.

В руководстве пользователя, как способ установки, предлагается использовать стационарную бетонную поверхность, [21] что, в свою очередь, ограничивает возможности использования данного робота. Исследование направленно на изучение характера и усилий воздействия робота на опорную поверхность. Результаты исследования могут использоваться конструкторскими бюро при проектировании ГПС, проектировании и создании единичных индивидуальных установок.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является программа, позволяющая решить обратную задачу: когда для имеющейся опоры подбираются предельные скорости движения звеньев.

Целевым рынком данного исследования будут:

- ПАО «КАМАЗ»;
- АО «АвтоВАЗ»;
- ПК «Стальтом»;
- Специализированные ВУЗы.

Сегментировать рынок можно по востребованности данного исследования на производстве. Результаты сегментирования представлены на рисунке 4.1.

		Математическая модель робота-манипулятора и опорной поверхности			
		ПАО «КАМАЗ»	АО «АвтоВАЗ»	ПК «Стальтом»	ВУЗы
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 4.1 – сегментирование рынка

4.1.2 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 4.1 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Уникальность программы</p> <p>С2. Экономия материально-технических ресурсов за счет определения</p>	<p>Сл1. Ограниченность программы</p> <p>Сл2. Отсутствие возможности проверить полученные данные на практике</p>

	<p>программой необходимого минимума</p> <p>С3. Возможность применения как в массовом, так и в единичном производствах</p>	<p>Сл.3. Малое количество роботизированных производств в стране</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Расширение границ применения робота</p> <p>В2. Создание ГАЛ на базе исследования</p> <p>В3. Проведение дальнейших исследований в данной области</p>	<p>В1С1 – благодаря уникальности программы робот становится не стационарным, и может физически работать на больших территориях.</p> <p>В1С2С3 –Используя расчётные данные программы нет необходимости закладывать завышенные требования к опоре, что приводит к использованию строго необходимых ресурсов</p> <p>В2С2С3 – Расширение границ применения робота позволит применять его в массовом и единичном производствах</p> <p>В3С3 – использование программы в массовом производстве может стать основанием для проведения дальнейших исследований в этой области</p>	<p>В1Сл1 – для каждого отдельного робота необходима своя индивидуальная программа.</p> <p>В1Сл2Сл3 – Малое количество предприятий, способных применить к своему производству данную программу</p> <p>В2Сл2 – Отсутствие данных об апробации исследования может поставить под сомнение создания ГАЛ а базе исследования.</p> <p>В3Сл1Сл2 – проведение дальнейших исследований будет гораздо эффективней в случае возможности проверки на практике данных этого исследования</p>

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Низкая стоимость труда человека, обуславливающая невыгодность внедрения роботов.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт программы</p>	<p>У1С1С2С3 – востребованность за счет новизны идеи</p> <p>У2С3 - как правило, массовые производства часто автоматизированы, и используют машины вместо людей</p>	<p>У1Сл2 - в связи с тем, что данные не проверены на практике, может быть отсутствие спроса</p> <p>У2Сл3 – большинство предприятий в России вместо роботов используют человеческую силу</p> <p>У3Сл3 – Заграничные предприятия, например, производства в Сингапуре, США, наиболее роботизированы, ограничения на экспорт значительно снизят спрос на программу</p>
---	---	--

Таблица 4.2 – интерактивная матрица В-С

Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3
Возможности проекта	В1	+	+	+
	В2	-	+	+
	В3	-	-	+

Таблица 4.3 – интерактивная матрица В-Сл

Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности	В1	+	+	+
	В2	-	+	-
	В3	+	+	-

Таблица 4.4 – интерактивная матрица У-С

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3
	У1	+	+	+
	У2	-	-	+
	У3	0	0	0

Таблица 4.5 – интерактивная матрица У-Сл

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

На основе результатов анализа матрицы можно сделать вывод, что трудности и проблемы, с которыми может столкнуться данный проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

4.2 Планирование и организация научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

При организации процесса исследования необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Перечень работ и продолжительность их выполнения приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – этапы работ

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
---------------------	--------------------	------------------------------

Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 20%
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Планирование исследования	НР, И	НР – 100% И – 40%
Подготовка к исследованиям	НР, И	НР – 40% И – 100%
Разработка математических моделей	И	НР – 10% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Формулировка рекомендаций по конструированию опоры	НР, И	НР – 40% И – 100%
Вывод по проведенной работе	НР, И	НР – 60% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.2.2 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:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5},$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д},$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К},$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 49$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 17$).

$$T_K = \frac{366}{366 - 49 - 17} = 1,22$$

Таблица 4.7 – трудоемкость работ

Этап	исполните ли	Продолжительность работ дни			Труд-сть работ по исполнителям чел. – дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	И	НР	И
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	4	2,8	2,8	-	3,42	-
Составление и утверждение ТЗ	НР,И	1	3	1,8	1,8	0,36	2,2	0,44
Поиск и анализ литературы по тематике	НР,И	10	15	12	2,4	12	3,05	14,64
Обсуждение литературы	НР,И	2	5	3,2	0,96	3,2	1,17	3,9
Планирование исследований	НР,И	4	5	4,4	4,4	1,76	5,37	2,14
Подготовка к исследованиям	НР,И	2	3	2,4	0,96	2,4	1,17	2,93
Разработка математических моделей	НР,И	23	25	23,8	2,38	23,8	2,9	29

Анализ полученных данных	НР,И	6	8	6,8	5,44	6,8	6,64	8,3
Формулировка рекомендаций по конструированию опоры	НР,И	5	6	5,4	2,16	5,4	2,63	6,6
Вывод по проделанной работе	НР,И	5	7	5,8	3,48	5,8	4,25	7,1
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	15	20	17	-	17	-	20,74
Оформление графического материала	И	15	20	17	-	17	-	20,74
Подведение итогов	НР,И	7	10	8,2	4,92	8,2	6	10
Итого:					32	104	39	127

Таблица 4.8 – линейный график работ

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
1	3,42	-	■													
2	2,2	0,44	■													
3	3,05	14,64		■	■											
4	1,17	3,9				■										
5	5,37	2,14														
6	1,17	2,93														
7	2,9	29				■	■	■								
8	6,64	8,3							■	■						
9	2,63	6,6								■	■					
10	4,25	7,1									■	■				
11	-	20,74										■	■	■		
12	-	20,74											■	■	■	
13	6	10													■	■

4.3 Бюджет научно-технического исследования

В бюджет проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данного исследования. Формирование бюджета исследования производится по следующим статьям затрат:

- Материальные затраты;
- Затраты на специальное оборудование;
- Основная заработная плата;
- Дополнительная заработная плата;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Накладные расходы.

4.3.1 Материальные затраты

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе исследования. Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих официальных сайтах в интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками). Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20 %.

Таблица 4.9 – материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			8 290

Цены приняты на основании прайс-листа поставщика материалов:
<https://papyrus-tomsk.ru>, <https://mvideo.ru>.

Допустим, что ТЗР составляют 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$Z_{\text{мат}} = 8\,290 + 415 = 8\,705 \text{ руб.}$$

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Таблица 4.10 – затраты на оборудование

Тип оборудования	Стоимость, руб.	Количество	Срок эксплуатации, лет	Амортизационные отчисления, руб.
ПК	60 000	1	7	2 162
Лазерный принтер	6 790	1	5	188
Итого: 2 350 руб.				

$$A_{\text{год}} = \sum_{i=1}^T \Phi_i \cdot H_{ai} + \sum_j^m \Phi_j \cdot H_{aj};$$

где Φ_i – первоначальная (балансовая) стоимость единицы оборудования i -го типа, $i = 1 \dots T$; T – количество типов используемого оборудования; Φ_j – то же для j -го типа оборудования $j=1 \dots m$; m – количество типов используемой оборудования; $H_{обi}$ и $H_{оснj}$ – соответствующие нормы амортизации.

$$H_{ai} = H_{aj} = \frac{1}{T_{\text{пи}}};$$

где $T_{\text{пи}}$ – срок полезного использования

$$H_{ai} = \frac{1}{7} = 0,14;$$

$$H_{aj} = \frac{1}{5} = 0,2;$$

$$A_{\text{год } i} = 60\,000 \cdot 0,14 = 8\,400 \text{ руб./год};$$

$$A_{\text{год } j} = 6\,790 \cdot 0,2 = 1\,358 \text{ руб./год};$$

Определим амортизацию в день:

$$A_{\text{день } i} = \frac{A_{\text{год } i}}{366} = \frac{8\,400}{366} = 23 \text{ руб./день};$$

$$A_{\text{день } j} = \frac{A_{\text{год } j}}{366} = \frac{1\,358}{366} = 4 \text{ руб./день};$$

Амортизация оборудования, использованного в НИОКР:

$$A_i = 23 \cdot 94 = 2\,162 \text{ руб.}$$

$$A_j = 4 \cdot 47 = 188 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{спец.об}} = 2\,162 + 188 = 2\,350 \text{ руб.}$$

4.3.3 Основная заработная плата

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.12.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя, инженера рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.:[3]

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. Таблица 4.11.

Таблица 4.11 – расчет рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	66	66
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	235	235

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{z_{\text{м1}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{40794 \cdot 10,4}{235} = 1805 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{z_{\text{м2}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{20982 \cdot 10,4}{235} = 928 \text{ руб.}$$

Таблица 4.12 – Основная заработная плата

Исполнитель	Оклад, с учетом РК, $Z_{\text{м}}$ руб./мес.	Среднедневная з/плата, $Z_{\text{дн}}$ руб./раб.день	Затраты времени, $T_{\text{р}}$ раб.дни	Основная з/плата, $Z_{\text{осн}}$ руб.
НР	40 794	1 805	32	57 760
И	20 982	928	104	96 512
ИТОГО				154 272

4.3.4 Дополнительная заработная плата

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:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{д}};$$

$k_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату, $k_{\text{д}}=0,15$.

$$Z_{\text{доп НР}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{д}} = 57\,760 \cdot 0,15 = 8\,664 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп И}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{д}} = 96\,512 \cdot 0,15 = 14\,477 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп}} = 8\,664 + 14\,477 = 23\,141 \text{ руб.}$$

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту,

$$Z_{\text{соц}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,3$$

$$Z_{\text{соц НР}} = (57\,760 + 8\,664) \cdot 0,3 = 19\,927 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{соц И}} = (96\,512 + 14\,477) \cdot 0,3 = 33\,297 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{соц}} = 19\,927 + 33\,297 = 53\,224 \text{ руб.}$$

4.3.6 Накладные расходы

В статье «Накладные расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$Z_{\text{нак}} = (Z_{\text{мат}} + Z_{\text{спец.об}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{соц}}) \cdot 0,1$$

Для данной работы это:

$$Z_{\text{нак}} = (8\,705 + 2\,350 + 154\,272 + 23\,141 + 53\,224) \cdot 0,1 = 24\,169 \text{ руб.}$$

4.3.7 Расчет бюджета НИ

Проведя расчет по всем статьям затрат исследования, можно определить бюджет проекта.

Таблица 4.13 – Бюджет НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты	8 705	Пункт 3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	2 305	Пункт 3.2
3. Затраты по основной заработной плате	154 272	Пункт 3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате	23 141	Пункт 3.4

5. Отчисления внебюджетные фонды	во	53 224	Пункт 3.5
6. Накладные расходы		24 169	10 % от суммы ст. 1-5
Бюджет НИ		265 861 руб.	

4.4 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования

Необходимо рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 4.14 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,2
Возможность и масштабы реализации	0,4

Таблица 4.15 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	<u>Сравнительно высокий НТУ</u>

11-14	Высокий НТУ
-------	-------------

Таблица 4.16 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
<u>Универсальность модели</u>	10
Гибкость модели	8
Точность модели	6
Простота модели	2

Таблица 4.17 – Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
<u>В течение первых лет</u>	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
<u>Отрасль</u>	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0,4, P_1 = 8, k_2 = 0,2, P_2 = 10, k_3 = 0,4, P_3 = 10, k_4 = 0,4, P_4 = 4$$

$$НТУ = 0,4 \cdot 8 + 0,2 \cdot 10 + 0,4 \cdot 10 + 0,4 \cdot 4 = 10,8$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, а также приемлемый уровень рисков. Это подтверждает целесообразность проводимого научного исследования.

Вывод по разделу

В ходе работы был проведен анализ потенциальных потребителей НИ, в ходе которого за основную целевую аудиторию были приняты крупные компании отечественного автопрома, которые уже имеют роботизированные участки производства и используют промышленные роботы компании KUKA, тем не менее результаты исследования могут найти применения и на малых предприятиях.

Также проведён SWOT-анализ, который показал сильные и слабые стороны исследования.

Разработан план-график выполнения работ, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей.

Произведен расчет бюджетной стоимости научного исследования. В ходе которого было установлено: материальные затраты НИ, затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, затраты по основной заработной плате исполнителей темы, затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы. В итоге бюджет НИ составил 265861 руб.

По факту оценки эффективности НИ, можно сделать вывод что исследование имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, а также приемлемый уровень рисков, что подтверждает целесообразность проводимого научного исследования.

5.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В современном мире использование промышленных роботов постоянно растет. Благодаря этим умным машинам, общество получило возможность вывести человека с позиций вредных здоровью, кроме того один робот способен заменить усилия сразу нескольких специалистов. Цель данной магистерской диссертации – это изучение влияния динамических воздействий робота-манипулятора на опорную конструкцию, путем математического моделирования с учетом динамических свойств этой конструкции. Работа производится за компьютерной техникой в офисном помещении. Поэтому именно особенности работы в офисном помещении будут изучены на вопрос безопасности для человека и окружающей среды.

Целью раздела является выявление возможных вредных и опасных факторов при работе за компьютером, а также разработка мероприятий по предотвращению негативного воздействия на здоровье людей, создание безопасных условий труда для сотрудников, перечисление организационных и технических мер, предусмотренных для ЧС.

Вопросы производственной безопасности рассматриваются с позиции работника офиса. Производственная среда, организация рабочего места должны соответствовать общепринятым требованиям техники безопасности, эргономики, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны офисного сотрудника) правовые нормы трудового законодательства

Согласно статье 91 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) рабочее время рассматривается, как время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю [1].

Защита персональных данных работника регламентируется статьями 86-90 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

Сведения об оплате и нормировании труда приведены в разделе VI (ст.ст. 129 - 163) Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [2]. Каждый день в помещениях, в которых располагаются ПК,

должна проводиться влажная уборка, а также систематическое проветривание помещения.

Для интерьера помещений рекомендуется использовать материалы пастельных тонов. Окраска ПК и прилегающий к нему техники должны иметь темные цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним. Рекомендованная окраска для офисного помещения:

- потолок - белый;
- стены - сплошные, бежевого цвета;
- пол - бежевый.

Для отделки полов наиболее приемлемыми считаются гладкие, нескользящие материалы, которые имеют антисептические свойства.

При организации рабочих мест необходимо учитывать, что расстояние между боковыми поверхностями мониторов должно составлять не менее 1,2 метров, между экраном монитора и тыльной частью другого – не менее 2 метров. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 – 800 мм, при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

Эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя приведены в ГОСТ 12.2.032-78 [2]. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Работа предполагает использование компьютерной техники. Рабочие места с использованием ПЭВМ должны соответствовать требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [3].

5.2 Производственная безопасность, анализ вредных и опасных факторов

В данном пункте рассматриваются вредные и опасные факторы, которые могут возникать в ходе работ.

Физическим опасным фактором на рабочем месте пользователя ПК является опасность поражения электрическим током.

К физическим вредным факторам относятся: отклонение показателей микроклимата в помещении, повышенный уровень шума и вибраций на рабочем месте, недостаточная освещенность рабочей зоны.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы рабочей зоны

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Подготовка	Проведение	Анализ данных	
Вредные факторы				
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4-548-96
2.Превышенный уровень шума	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96

3.Превышенный уровень вибрации	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566–96
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016
5.Психофизические факторы	+	+	+	12.0.003-2015 ССБТ
Опасные факторы				
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ

5.2.1. Вредные факторы

5.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Во время работы в офисе на человека оказывает влияние климат внутренней среды этого помещения – микроклимат.

В помещениях, предназначенных для работы с компьютерной техникой, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются температура, подвижность и влажность воздуха. Для поддержания

нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются устройства систем приточно-вытяжной вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление. При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывается время года и количество избыточного тепла в помещении. На рабочих местах пользователей персональных компьютеров должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения [4].

Необходимые условия микроклимата различаются для теплого и холодного времени года. Они делятся на оптимальные, обеспечивающие полный тепловой комфорт, и допустимые, которые могут приводить к некоторому дискомфорту, но находятся в пределах адаптивных возможностей человека.

Работа проводится в офисном помещении, по энергозатратам ее следует отнести к категории Ia – работа легкая физическая, производимая сидя или связанная с ходьбой, но не требующая систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей. Оптимальные параметры микроклимата для категорий Ia на рабочем месте приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах помещений для категорий Ia.

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более, м/с
Холодный	22...24	60...40	0,1
Теплый	23...25	60...40	0,1

Отопление офиса водяное с применением радиаторов, что обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в холодное время года. Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в таблице 5.3 [4].

Таблица 5.3 –

Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры

Объем помещения, м ³	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ /на одного человека в час
до 20	Не менее 30
20–40	Не менее 20
Более 40	Естественная вентиляция

Согласно паспорта в помещении обеспечиваются следующие параметры: поддержание температуры на уровне 22 – 24°С; относительная влажность в

помещении 40-60 %; скорость движения воздуха 0,1 м/с; данные значения поддерживаются автоматической системой кондиционирования, что соответствует нормативу СанПиН 2.2.4.548-96[4].

5.2.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Длительное воздействие шума на организм человека приводит к неблагоприятным последствиям: снижается острота зрения и слуха, повышается кровяное давление, притупляется внимание.

Рекомендуется располагать офис удалено от сильных источников шума, таких как центральные улицы, автомобильные и железные дороги и т.д.

Шум на рабочем месте создается внутренними источниками, такими как устройства кондиционирования воздуха и другим техническим оборудованием. Уровень шума на рабочем месте пользователя персонального компьютера не должен превышать значений, установленных СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 для пользователя ПК не должен превышать 50 дБ [5].

Для снижения уровня шума следует применять рациональное расположение оборудования, а также средства для ослабления шума самих источников, в частности, необходимо предусмотреть применение в их конструкциях акустических экранов, звукоизолирующих кожухов. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлено оборудование, должны быть облицованы звукопоглощающими материалами. Для стен и потолка коэффициент звукопоглощения таких материалов определяется в области частот 63-8000 Гц.

В помещении уровень внутренних шумов не превышает предельно допустимого значения, установленного в ГОСТ 12.1.003-2014 [6].

5.2.1.3 Повышенный уровень вибрации

Цель нормирования вибрации на рабочих местах – это установление допустимых значений характеристик вибрации, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и многих лет не могут вызвать существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности.

Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [7]. Согласно документу вибрации, возникающие на рабочем месте можно отнести к общей вибрации третьей категории подпункт в) «на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда».

5.2.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Низкая освещённость рабочего места препятствует длительной работе, вызывая утомление и способствуя развитию близорукости у работающего персонала. Освещенность рабочего места нормируется согласно СП52.13330.2016. [8]

Расчет освещенности

Расчитать методом коэффициента использования светового потока систему общего искусственного люминесцентного освещения офисного помещения, где:

Длина $A = 15$ м; ширина $B = 10$ м; высота $H = 4$ м; высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м; требуемая освещенность $E = 300$ Лк; коэффициент отражения стен $R_c = 40\%$; коэффициент отражения потолка $R_{п} = 50\%$; коэффициент запаса $k = 1,5$; коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$.

Расчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильник типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Принимаем $h_c = 0,5$ м, тогда

$h_{п} = H - h_c = 4 - 0,5 = 3,5$ м – высота светильника над полом;

$h = h_{п} - h_{рп} = 3,5 - 0,8 = 2,7$ м – высота светильника над рабочей поверхностью;

$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,7 = 3,78$ м – расстояние между светильниками;

$L/3 = 3,78/3 = 1,26$ м

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 7 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (длинной 1,42 м), при этом расстояния между светильниками в ряду составляют 0,5 м. Учитывая, что в каждом светильнике по две лампы, общее число ламп в помещении:

$$n = 14 \cdot 2 = 28$$

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{150}{2,7 \cdot (15 + 10)} = 2,2$$

$\eta = 0,59$ коэффициент использования светового потока [9]

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 150 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{28 \cdot 0,59} = 4\,494 \text{ Лм}$$

Ближайшая стандартная лампа – ЛБ 65 Вт с потоком 4 600 Лм.

Проверка выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 2,3\% \leq +20\%$$

$P = 65 \cdot 28 = 1\,820$ Вт –электрическая мощность осветительной установки.

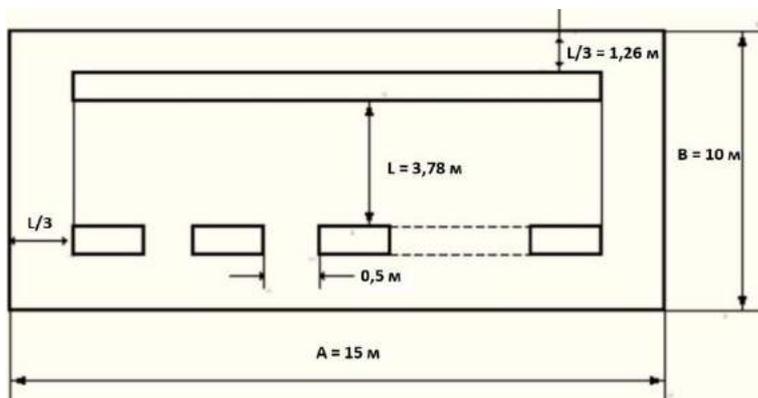


Рисунок 5.1 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

5.2.1.5 Психофизиологические факторы

Психофизиологические факторы по характеру воздействия подразделяют на физические и нервно-психические перегрузки. В свою очередь, физические перегрузки делят на статические и динамические, а нервно-психические на умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, перегрузки из-за монотонности труда, эмоциональные перегрузки [10]. Т.к. работа проводится в офисе, и не подразумевает физических нагрузок, возможно появление нервно-психических перегрузок.

Меры по снижению влияния описанных факторов, заключаются в применении оптимальных режимов труда и отдыха в течение рабочего дня. Рекомендуется 30 минутный перерыв после каждых двух часов непрерывной работы или 15 минутный перерыв на каждый час работы. Занятия спортом, правильное питание и режим сна, так же являются эффективным средством профилактики нервно-эмоционального и психофизического утомления, повышающие работоспособность.

5.2.2 Опасные факторы

5.2.2.1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока. В зависимости от индивидуальных показателей человека (масса, рост, строение тела, пол, род занятий), его физического состояния (болезнь, наличие состояния алкогольного опьянения), параметров протекающего тока (сила тока и его частота), состояния окружающей среды зависит поражающее воздействие на организм. Одним из наиболее опасных параметров являются переменный ток с частотой от 10 до 120 Гц. Наиболее безопасным напряжением для человека является до 12 В, условно безопасным до 36 В. Опасной величиной считается ток, более 1 мА, а смертельным более 100 мА [11].

Опасность поражения человека электрическим током существует во всех случаях, когда используются электрические установки и оборудование.

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо по возможности исключить причины поражения, к которым относятся:

- случайные прикосновения к задней панели системного блока, а также переключение разъемов периферийных устройств работающего компьютера;

- появление напряжения на механических частях электрооборудования (корпусах, кожухах и т.д.) в результате повреждения изоляции или других причин;
- возникновения «шагового» напряжения на поверхности земли или опорной поверхности;
- множества сетевых фильтров и удлинителей превышают уровень электромагнитных полей токов частоты 50 Гц.

Согласно требованиям «Правил устройства электроустановок», утвержденных Госэнергонадзором от 12.04.2003, кабинет, где производится проектирование, должен быть оборудован следующим образом:

- на распределительном щитке имеется рубильник для отключения общей сети электропитания;
- во всех приборах имеются предохранители для защиты от перегрузок в общей сети питания и защиты сети при неисправности прибора.

Эксплуатация приборов должна соответствовать «Правилам технической эксплуатации» электроустановок промышленных предприятий. Согласно этим правилам необходимо исключить возможность прикосновения человека к токоведущим частям приборов. Для этого проводятся следующие мероприятия:

- Наличие изоляции на всех токоведущих проводниках;

- Для подключения приборов должны использоваться только стандартные электрические разъемы;
- При проведении работ с включенными в сеть приборами строго соблюдается инструкция по технике безопасности;
- Запрещено использование в работе неисправных приборов.

Также, раз в год необходимо производить инструктаж по электробезопасности для всех работников офиса.

Офис удовлетворяет приведенным выше требованиям, что позволяет отнести его к помещениям без повышенной опасности поражения людей электрическим током. Это сухое помещение, пол покрыт изоляционным материалом. Влажность воздуха не превышает 75%, отсутствует токопроводящая пыль, температура не превышает 35°C.

Основными техническими средствами защиты человека от поражения электрическим током, используемыми отдельно или в сочетании друг с другом, являются: защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, электрозащитные средства, уравнивание потенциалов, двойная изоляция, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

5.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматриваются объекты, оказывающие влияние на экологическую безопасность.

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека. В офисном помещении, где проводятся работы над, источником загрязнения окружающей среды являются: люминесцентные лампы, с помощью которых реализовано освещение, макулатура, оргтехника.

5.3.1 Люминесцентные лампы

В трубках люминесцентных ламп содержится от 3 до 5 мг ртути. В соответствие с «Критериями отнесения опасных отходов к классам опасности» Люминесцентные лампы относятся к первому классу токсичных отходов и являются чрезвычайно опасными, они требуют специальной утилизации.

Отработанные ртутьсодержащие лампы подлежат сбору и хранению в герметичных емкостях либо контейнерах в закрытых помещениях. Раз в месяц осуществляется забор и утилизация ламп с помощью специализированных лицензированных организаций, по заявке от предприятия. Утилизация осуществляется посредством демеркуризации. Демеркуризация – это удаление и нейтрализация ртути, очистка помещения от ее следов и устранение ртутного загрязнения.

На территории города Томска такую процедуру осуществляет ряд предприятий: ООО НПП «Экотом», АО «Полигон», «PELIKANСервис».

5.3.2 Макулатура

Работа в офисе всегда связана с созданием, обработкой и хранением информации. Бумажные документы копятся годами. В зависимости от конфиденциальности, важности и состояния макулатуры, ее можно уничтожить или передать в переработку. На предприятиях уничтожению подлежат все бумажные документы с истекшим сроком хранения.

Фирмы-утилизаторы нижней планкой приема макулатуры с самовывозом от юридических лиц устанавливают вес в 300-500 кг. В компании среднего размера за неделю может набираться от 10 до 30 кг использованной бумаги, в итоге на образование тонны макулатуры уходит примерно полгода – год.

Для сдачи отработанных бумаг в переработку необходимо выполнить ряд условий:

- Вытянуть скоросшиватели, канцелярские скрепки, скобы;
- Удалить посторонние предметы и загрязненные листы;
- Просушить;
- Компактно и плотно связать.

На территории города Томска деятельность по сбору и переработке макулатуры осуществляют организации: «Чистый мир»; ООО «Пирс», принимает макулатуру весом от 1 кг; ООО «Ресурс».

5.3.3 Оргтехника

Утилизация офисной техники – трудоемкий процесс для любой организации. Однако, чтобы жить в комфортных условиях, в чистой среде, каждый из нас должен понимать важность этой процедуры и потому утилизировать оргтехнику правильно.

Для передачи оргтехники и компьютеров на утилизацию необходимо оформить акт на списание основных средств (форма №ОС-4). Согласно законодательства, списание оборудования (техники) производится в связи с его старением, которое определяется либо физическим, либо моральным износом. Основанием для признания основного средства устаревшим и подлежащим списанию является акт экспертизы технического состояния.

Процесс утилизации оргтехники заключается в разборке и сортировке ее составляющих на лом черных и цветных металлов, платы с драгметаллами, пластик и не перерабатываемые отходы. Полученное сырье передается на заводы по переработке, оставшиеся отходы обезвреживаются и уничтожаются на специализированных предприятиях.

На территории города Томска, деятельность по утилизации оргтехники осуществляют следующие компании: ООО «Ведущая утилизирующая компания», «PELIKANСервис», «Русутилит».

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе разработки может возникнуть чрезвычайная ситуация техногенного характера. ЧС техногенного характера — это ситуации, которые

возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, пожаров, взрывов на объектах. Аварии и катастрофы на объектах характеризуются внезапным обрушением зданий, сооружений, авариями на энергетических сетях, авариями в коммунальном жизнеобеспечении, авариями на очистных сооружениях, технологических линиях и т.д. [12].

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон разрушений. Очень важны действия аварийно-технических формирований, которые немедленно должны отключить еще не поврежденные энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

В офисном помещении, наиболее вероятной ЧС может быть возникновение пожара.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия. Также необходимо раз в полгода производить инструктаж по правилам пожарной безопасности. Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ возлагается на руководителя подразделения, на территории которого проводятся работы.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу.

Необходимые меры для обеспечения тушения пожаров:

1. Обеспечение подъездов к зданию
2. Обесточивание электрических кабелей
3. Наличие пожарных щитков, ящиков с песком в коридорах и гидрантов с пожарными рукавами
4. Наличие тепловой сигнализации

5. Наличие телефонной связи с пожарной охраной

6. Наличие огнетушителей

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 21-01-97* [13]): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Выводы по разделу

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены особенности работы в офисном помещении на вопрос безопасности для человека и окружающей среды.

В работе описаны вредные и опасные факторы при работе за компьютером, а также мероприятия по предотвращению негативного воздействия на здоровье работников офиса. К вредным факторам относятся отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень шума и вибрации, недостаточная освещенность рабочей зоны. Опасным фактором является возможность повышения напряжения в электрической цепи, замыкание которой, может произойти через тело человека.

Так же, в работе затронуты вопросы экологической безопасности с приведением рекомендаций по утилизации отходов, образующихся в процессе работ.

Можно сделать вывод, что рабочее место соответствует нормативно-технической документации.

В разделе описаны возможные ЧС на рабочем месте, более подробно рассмотрен вопрос возникновения и предотвращения пожара, т.к. является наиболее вероятным в офисном помещении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работы и проведенных исследований, можно сделать вывод, что требования технической документации по установке робота на жесткую бетонную поверхность обоснованы, т.к. возникающие моменты велики. Тем не менее, расширить границы применения робота мог бы график, отражающий зависимость точности позиционирования от жесткости опоры и скоростей движения звеньев робота, представленный производителем.

Любую математическую модель можно совершенствовать бесконечно, поэтому в работе рассмотрена модель лишь в первом приближении, содержащая ряд неточностей. Например, представление звеньев в виде сосредоточенных масс вместо распределенных, которые привели к некорректному поведению математической модели в случае, вращения звеньев вокруг оси, что наглядно отражено на этапе 2 при исследовании момента M_3 . Кроме того исследования показали необходимость введения ограничений в программе по предельной скорости вращения и конечному углу.

К положительным моментам можно отнести то, что во всех остальных случаях модель ведет себя корректно и позволяет выполнять как расчет сил

нагрузки опоры, так и колебания опоры совместно с роботом, под воздействием этих сил.

С помощью программы написанной в ходе выполнения ВКР, для пользователя возникает возможность решения обратной задачи. Когда имеется определенная опора, и ее жесткостные характеристики, вводятся в программу и методом подбора определяются предельные скорости для движений звеньев робота с сохранением точности позиционирования.

Стоит отметить, что программа является универсальной, и может быть использована для других двухзвенных роботов-манипуляторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Индустрия 4.0 в 40 цифрах и фактах //RBC.RU: ежедн. интернет-изд.
URL: <https://www.rbc.ru/trends/industry/5daef6429a7947c1bfe43006> (дата обращения 3.03.20)
2. Промышленные роботы//TADVISER.RU: ежедн. интернет-изд.12.02.2020 URL: <http://www.tadviser.ru/a/94154> (дата обращения 15.02.20)
3. Больше всего роботов в России покупает автопром // VEDOMOSTI.RU: ежедн. интернет-изд. 19.09.2019 URL:
<https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2019/09/19/811579-bolshe-vsego-robot> (дата обращения 15.02.20)
4. Пелевин Е.Е., Цудиков М.Б. Экономическая эффективность роботизации различных типов производства // *Juvenis scientia.* – 2017. - №6 – С. 13-17.
5. Роботизация «КАМАЗа»: задачи и перспективы // *Control engineering.* – 2019. - №6 – С. 22-26
6. Страковская М.В. Робототехника как способ модернизации автомобильной промышленности // МАТЕРИАЛЫ 77-Й
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ААИ «АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИЕ В РОССИИ:
ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ» - С. 158-161.
7. Смирнова М.Е., Белогруд И.Н. Роботизация производства – требование времени // *Международный научный журнал «инновационная наука»*
№03-1/2017 ISSN 2410-6070. – С. 218-219

8. 10 ведущих производителей промышленных роботов// ROBO-HUNTER.COM: ежедн. интернет-изд. 3.03.2017 [URL:https://robo-hunter.com/news/10-vedushih-proizvoditelei-promishlennih-robotov](https://robo-hunter.com/news/10-vedushih-proizvoditelei-promishlennih-robotov) (дата обращения 20.02.20)
9. Варшавский А. Е. Проблемы развития прогрессивных технологий: робототехника // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8. № 4с. С. 682-697. URL: <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2017.8.4.682-697>
10. Промышленные роботы FANUC [сайт] URL: <http://www.robomatic.ru/robots/promyshlennye-roboty-fanuc> (дата обращения 20.02.20)
11. KUKA ROBOTER // ROBO-HUNTER.COM: ежедн. интернет-изд. URL: <https://robo-hunter.com/company/5214> (дата обращения 20.02.20)
12. Robo Hunter (2018) Роботы на фабрике Tesla [ролик]// YouTube. 19 января (<https://www.youtube.com/watch?v=ETKvFbCWaz0>) Просмотрено: 20.02.2020.
13. Программа стратегического развития ПАО «КАМАЗ» на период до 2025. Электронный ресурс. URL : <https://kamaz.ru/about/development/strategy/> (дата обращения 17.02.20)
14. На «КАМАЗе» запустят производство алюминиевых топливных баков // VESTIKAMAZA.RU: ежедн. интернет-изд. 03.03.2018

URL:<https://vestikamaza.ru/posts/na-kamaze-zapustyat-proizvodstvo-alyuminievyh-toplivnyh-bakov/> (дата обращения 22.02.20)

15. Японские роботы FANUC займутся сборкой кабин //RBK.RU: ежедн. интернет-изд. 17.05.2017 URL:

<https://rt.rbc.ru/tatarstan/freenews/591c17059a794712f2b96f39> (дата обращения 22.02.20)

16. Ученые ТПУ построили томограф для деталей термоядерного реактора//RIATOMSK.RU: ежедн. интернет-изд. 5.12.2019 URL:

<https://www.riatomsk.ru/article/20191205/tpu-tomograf-dlya-detalej-termoyadernogo-reaktora/> (дата обращения 22.02.20)

17. Установки плазменной резки серии Combicut [сайт] URL:
<https://sonatec.ru/catalog/metallorazreshchee-oborudovanie/listoobrabotka/combicut/> (дата обращения 3.03.20)

18. Роботизированные DARDI [сайт] URL: https://www.kit-cut.ru/robotizirovannaja_ustanovka_gidroabrazivnoj_rezki/ (дата обращения 3.03.20)

19. Роботизированная установка комплексного неразрушающего контроля

Робоскоп ВТМ-3000/КП [сайт] URL: https://escs-company.ru/product/defektoskopy/promyshlennye_ustanovki/roboskop-vtm-3000-kp/ (дата обращения 3.03.20)

20. Fanuc M-10iA/10MS спецификация [сайт] URL:
<http://robotforum.ru/promyishlennyye-robotyi/fanuc/fanuc-m-10ia10ms.html>
(дата обращения 6.03.20)
21. KUKA KR 10 R1100 sixx (KR AGILUS) спецификация [сайт] URL:
<http://robotforum.ru/promyishlennyye-robotyi/kuka/kuka-kr-10-r1100-sixx-kr-agilus.html> (дата обращения 6.03.20)
22. ABB IRB 140 спецификация [сайт] URL:
<http://robotforum.ru/promyishlennyye-robotyi/abb/abb-irb-140.html> (дата обращения 6.03.20)
23. Опорные стойки, опоры, цапфы Festo [каталог] URL:
https://www.festo.com/cat/ru_ru/products_ZM_LB?Mode=portal&pnf=true
(дата обращения 9.03.20)
24. Корпачев В. П. Теоретические основы водного транспорта леса: монография / В. П. Корпачев. – Москва: Академия естествознания, 2009.
25. Леонтьев Е.И. Моделирование в петрофизике. М.: Недра, 1978. — 125 с.
26. Ким А.Ю., Харитонов С.П. Методика моделирования статической работы пневматических сооружений // материалы XV международной научно-практической конференции. Научно-информационный издательский центр "Институт стратегических исследований" – 2015. – С.: 18-25.

27. Тетельбаум И.М. Шнейдер Ю.Р. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справочное пособие – М. Энергоатомиздат, 1987. – 384 С.
28. Камышова Г.Н., Корсак В.В., Фалькович А.С., Холуденева О.Ю. Математическое моделирование в компонентах природы (интерактивный курс): Учебно-практическое пособие / Г.Н. Камышова, В.В. Корсак, А.С. Фалькович, О.Ю. Холуденева. С.: Изд-во _____, 2012. 161 стр.
29. Боголюбов, А.Н. Основы математического моделирования / А.Н. Боголюбов. – М. : МГУ, 2003. – 137 с.
30. Ньютон// Электронная библиотека ИФ РАН [сайт] URL: <https://iphlib.ru/library/collection/newphilenc/document/HASH0124a25c34338d26ddc5692> (дата обращения 17.03.20)
31. О'Рейли О. М. Курс динамики для инженеров: единый подход к механике Ньютона-Эйлера и механике Лагранжа. - М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. - 504 с.
32. Михайлов Д.Д. Основы математического моделирования // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. - С. 374 – 376.
33. Антоненко С.В., Белянская Е.С., Индюхин А.Ф., Лебеденко И.С. Математическое моделирование биологических объектов методом физико-технической функциональной аналогии // Вестник новых медицинских технологий – 2013 – №1.

34. Бурак Т. И., Татур М. М., Лукашевич М. М., Тращев Р. В. Методика моделирования сложных экобиологических систем // Системный анализ и прикладная информатика. – 2015. – №4 – С. 40-44.
35. Ревуцкая О.Л., Фирсман Е.Я. Динамика численности и изъятия диких копытных среднего Приамурья: анализ данных и оценка ресурсного потенциала // Региональные проблемы. – 2019. – №4 – С. 5-17.
36. Старостин И.Е., Давидов А.О., Левин А.В. Моделирование возможных динамик физико-химических процессов в литий-ионных аккумуляторах // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2018. – Т.2
37. Шваб А. В., Брендаков Р. В., Порохнин А. Ю. Моделирование процесса фторирования металлического вольфрама // Вестник Томского государственного университета. – 2018. – №53.
38. Матюшинец Т.В., Яцкевич Ю.В., Чичко А.Н. Математическое моделирование распределения пылевых выбросов в пространственной структуре цеха // Литье и металлургия. – 2018. – № 4. – С. 107-113.
39. Русанов И.А., Самохин М.А. Математическое моделирование процессов в водных экосистемах // Хроноэкономика. – 2018. – №2. – С. 151-152
40. Затонский А.В., Гераськина И.Н., Стерхова В.В. Исследование истощения водных ресурсов на основе математических многофакторных моделей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника,

информационные технологии, системы управления. – 2018. - №26 – С. 171-182.

41.Цветкова Д.А. Использование математического моделирования в экономике на примере математической модели экономики государства // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2009.

42.Семин Д.Ю. Математическая модель роста ввп под влиянием демографических изменений в россии и странах оэср // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2018. – С. 76-81.

43.Песков К. Математическое моделирование: новый тренд в фармацевтике // Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике. – 2013. – С. 52-53.

44.Басова Л. А., Карякина О. Е., Кочорова Л. В., Мартынова Н. А., Калинин А.Г. Математическая модель для прогнозирования продолжительности стационарного лечения при выполнении высокотехнологичных операций по устранению аритмий // Казанский медицинский журнал – 2014.

45.Жандармов В.О., Евдокимова Н.С. Применение математического моделирования при оценке оптимального набора производства при ограничении на время // Вестник РМАТ. – 2019. - №1 – С. 44-48

46.Беляев Н. Н., Долина Л. Ф., Гунько Е. Ю. Математическое моделирование процесса затекания токсичного газа в помещение через

систему вентиляции при чрезвычайной ситуации на территории химически опасного объекта // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2011.

47. Моисеев Н. Изучение биосферы с помощью машинных экспериментов.

Оценка последствий ядерной войны // Экология человечества глазами математика: (Человек, природа и будущее цивилизации). — М.:

Молодая гвардия, 1988. — С. 48—110. — 254 с.

48. Маслов В.П., Мясников В.П., Данилов В.Г. Математическое

моделирование аварийного блока Чернобыльской АЭС // Главная

редакция физико-математической литературы, издательство «Наука»,

1987 г.

49. Крахмалев, О.Н. Математическое моделирование динамики

манипуляционных систем промышленных роботов и

краноманипуляторов [Текст]+[Электронный ресурс]: монография /

О.Н. Крахмалев. – Брянск: БГТУ, 2012. – 210 с.

50. Krakhmalev O.N. Mathematical model manipulator robots // International

Journal of Advanced Studies (iJAS) 2015, Vol. 5, No 4, pp. 31-35

51. Крахмалев О.Н., Медведев Д.М., Петрешин Д.И. Оптимизация законов

движения при моделировании динамики манипуляционных роботов //

Вестник Брянского государственного технического университета. -

2014. - № 1.

52. Невмержицкий М.Н., Вара А.В., Ноткин Б.С., Змеу К.В. Прикладные вопросы экспериментального исследования структурной динамики промышленных роботов на примере KUKA KR 10 // FUNDAMENTAL RESEARCH – 2017. - № 4 – С. 276-284
53. Patrick Cunningham, Michael Bak, Carolyn Riccardelli. The fall and rise of Adam // ANSYS ADVANTAGE Volume IX - Issue 3 – 2015. - page 33.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Раздел на иностранном языке

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Овчаренко Валерия Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Крауиньш Петр Янович	д.т.н.		

Консультант-лингвист ИШБИП, отделение иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Диденко Анастасия Владимировна	к.ф.н.		

Introduction

The purpose of this master's thesis is to study the influence of the dynamic effects of the robotic arm on the supporting structure, through mathematical modeling, taking into account the dynamic properties of this structure. Work is performed on computer equipment in the office building. Therefore, it is precisely the features of work in the office space that will be studied on the issue of safety for humans and the environment.

The purpose of the section is to identify possible harmful and dangerous factors when working at a computer, as well as the development of measures to prevent negative effects on human health, the creation of safe working conditions for employees, the listing of organizational and technical measures provided for emergencies.

3.Environmental safety

Objects which affect the environmental safety are discussed in this subsection. Ecological safety is an acceptable level of negative influence of natural or man-made environmental hazards on the environment and humanity. In the office, where work is carried out, the sources of environmental pollution are: fluorescent lamps, waste paper, office equipment.

3.1 Fluorescent lamps

The tubes of fluorescent lamps contain about 3-5 mg of mercury. According to the “Classifying hazardous waste for hazard classes” ,

fluorescent lamps belong to the first class of toxic wastes (extremely hazardous) and require special disposal.

Waste lamps that contain mercury must be collected and stored in the pressurized vessel or container in enclosed spaces. Once a month licensed organizations collect and recycle waste lamps, by request from the enterprise.

Recycling process is based on demercurization. Demercurization is removal and inactivation of mercury, cleaning the premises of its traces and eliminating mercury pollution. There are several organizations, which recycle fluorescent lamps in Tomsk, such as: “Ekotom”, “Polygon”, “PELICANService”.

3.2 Waste paper

Work in the office is always associated with creation, processing and storage of information. Paper documents are piling up for years. Depending on the confidentiality, importance and condition of waste paper, it can be destroyed or recycled. At enterprises, all paper documents with an expired storage period should be destroyed.

Recycling companies set the weight of 300-500 kg as a lower bar for the collection of recycled paper from a company. About 10-30 kg of used paper can be typed in a week in a medium-sized company, as a result, it takes about six months or a year to produce a ton of waste paper.

To prepare waste paper for recycling, some condition must be met:

- Folders, paper clips, staples should be pulled out;
- Foreign objects and contaminated sheets should be removed;

- Sheets should be dried;
- Sheets should be compactly tied together.

There are several organizations, which collect and recycle waste paper in Tomsk, such as: “Chisty mir”, “Pirs”, “Resourse”; among which the “Pirs” accepts waste paper from 1 kg.

3.3 Office equipment

The utilization of office equipment is a laborious process for any organization. However, everyone must understand the importance of this procedure and dispose of office equipment correctly, to live in comfortable conditions and have a clean environment.

To transfer office equipment and computers for recycling, it is necessary to issue an act to write off fixed assets (form No. OC-4). Formally, equipment (equipment) is written off due to its aging, which is determined either by physical or moral depreciation. The basis for the recognition of fixed assets obsolete and subject to write-off is an act of examination of the technical condition.

The process of recycling office equipment involves disassembling and sorting out its components into scrap ferrous and non-ferrous metals, boards with precious metals, plastic and non-recyclable waste. The resulting raw materials are transferred to processing plants, the remaining waste is neutralized and disposed of at specialized organizations. There are several organizations, which recycle office equipment in Tomsk, such as: “Vedushayia utiliziruyshayia kompaniya”, “Rusutilit”, “PELICANService”.

4. Safety in emergency situations

During the work process man-caused emergencies may occur. These are situations that arise as a result of industrial accidents, disasters, fires, explosions at manufacture. Emergencies at manufacture are the sudden collapse of buildings, structures, accidents on power grids, in public utilities, at sewage treatment plants, production lines, etc. [12]

In an emergency, the timing of people evacuation from destruction zones is especially important. The actions of emergency technical units are very important, they should immediately turn off the yet undamaged energy and utility networks to localize the accident.

In the office, the most probable emergency can be a fire. Fire safety provides for the safety of people and the preservation of material assets of the company at all stages of its life cycle. The main fire safety systems are fire prevention and fire protection systems, including organizational and technical measures. It is also necessary to conduct a briefing on fire safety rules every six months. Typically, responsibility for ensuring fire safety measures during fire hazardous work lies with the head of the unit in whose territory the work is carried out.

To localize or eliminate the fire at the initial stage, primary fire extinguishing agents are used. These agents are usually used before the arrival of the fire - department. Carbon dioxide (OU-2) and powder fire extinguishers are meant to put out electrical installations under voltage up to 1000 V, for

example, a portable version OP-5. Besides, it can be used to extinguish documents.

In public buildings and structures on each floor two portable fire extinguishers should be placed at least. Fire extinguishers should be located in conspicuous places near the exits from the premises at a height of no more than 1.35 m. The building must comply with fire safety requirements, namely, the presence of fire and security alarms, an evacuation plan, powder fire extinguishers with a trusted brand, signs indicating the direction to emergency exit.

To ensure fire fighting it is necessary to have:

1. access to the building;
2. power outages;
3. fire shields, boxes of sand in the corridors and hydrants with fire hoses;
4. thermal alarm;
5. telephone communications with the fire department;
6. fire extinguishers.

The fire extinguishing agents are provided (according to fire safety requirements, SNiP 21-01-97 * [13]): hand-held carbon dioxide OU-5 fire extinguisher, fire hydrant with a sleeve and a box with sand (in the hall). What is more, each room is equipped with a fire alarm system.

Conclusions of the section:

In the section "Social Responsibility" the features of work in the office are considered. The work describes industrial health and safety hazards during working at a computer, as well as measures to prevent the negative impact on the health of office workers. Harmful factors include deviation of microclimate indicators, increased noise and vibration, insufficient lighting of the working area. A dangerous factor is a possibility of increasing the voltage in the electric circuit, the closure of which can occur through the human body.

Also, the work considers issues of environmental safety with recommendations about the recycling of waste generated during the work. We may conclude that the workplace meets the regulatory and technical documentation. The section describes possible emergencies at the workplace, the issue of the occurrence and prevention of fire is discussed in more detail, because it is most probably emergency in the office space.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Листинг программы, разработанной в программе Matlab для проведения исследования.

```
robot_opora.m x +
1-   clc;
2-   clear;
3-   close all;
4-
5-   % БЛОК ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
6-   time=2; dt=0.01;
7-
8-   % Данные робота
9-   Moment_1 = 7.5;
10-  Moment_2 = 0;
11-  Moment_3 = 0;
12-
13-  phi_10_ = -66; % Начальное значение угла phi_1
14-  phi_20_ = 90; % Начальное значение угла phi_2
15-  phi_30_ = 0; % Начальное значение угла phi_3
16-
17-  l1 = 0.27; l2 = 0.28; l3 = 0.2; L1 = 0.54; L2 = 0.56; L3 = 0.4; %в метрах%
18-  m1 = 2; m2 = 20; m3 = 20; m4 = 10; %кг%
19-
20-  % Данные опоры
21-  r10_x = 0.1; r02_x = 0.1; r20_y = 0.1; r03_y = 0.1;
22-  c1=10000000; c2=10000000; c3=10000000; c4=10000000;
23-
24-  % КОНЕЦ БЛОКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
25-
26-  % РОБОТ %
27-  m = m1 + m2 + m3 + m4;
28-  t = zeros(round(time/dt)+1,1);
29-
30-  M1 = zeros(round(time/dt)+1,1);
31-  M2 = zeros(round(time/dt)+1,1);
32-  M3 = zeros(round(time/dt)+1,1);
33-
34-  phi_10 = (phi_10_)* 2*pi/360; % Начальный угол phi_1
35-  phi_20 = (phi_20_)* 2*pi/360; % Начальный угол phi_2
36-  phi_30 = phi_30_ * 2*pi/360; % Начальный угол phi_3
37-
38-  for i=1:1:time/dt+1
39-      if (i<=(time/dt)/2)
40-          M1(i) = Moment_1;
41-          M2(i) = Moment_2;
42-          M3(i) = Moment_3;
43-      elseif (i>(time/dt)/2)
44-          M1(i) = -Moment_1;
45-          M2(i) = -Moment_2;
46-          M3(i) = -Moment_3;
47-      end
48-  end
```

```

49
50 %phi_1 = zeros(time/dt+1,1);
51 phi_2 = zeros(time/dt+1,1);
52 %phi_3 = zeros(time/dt+1,1);
53
54 h1 = zeros(round(time/dt)+1,2);
55
56 for k=1:1:round(time/dt)
57     f = @(t1, n) [n(2); M1(k) ./ (m2*l1^2 + m1*L1^2)];
58     if (k==1)
59         [t1, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [0,0]);
60         t(k+1) = dt*k;
61     elseif (k < round(time/dt))
62
63         [t1, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h1(k,1),h1(k,2)]);
64         t(k+1) = dt*k;
65     elseif (k == round(time/dt))
66         [t1, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h1(k,1),h1(k,2)]);
67         t(k+1) = round(time);
68     end
69     h1(k+1,1) = n(2,1);
70     h1(k+1,2) = n(2,2);
71 end
72 phi_1=h1(:,1); omega_1=h1(:,2);%задаем левый и правый столбцы%]
73 Fc_11 = m1 *L1 * omega_1 .^ 2;
74 Fc_21 = m2 * l1 * omega_1 .^ 2;
75 Fc_11_x = Fc_11 .* cos(phi_1 + phi_10); Fc_11_z = Fc_11 .* sin(phi_1 + phi_10);
76 Fc_21_x = Fc_21 .* cos(phi_1 + phi_10); Fc_21_z = Fc_21 .* sin(phi_1 + phi_10);
77
78 x3_2 = l2*cos(phi_2 + phi_20);
79 z3_2 = l2*sin(phi_2 + phi_20);
80
81 x2_2 = L2*cos(phi_2 + phi_20) + l1*cos(phi_1 + phi_10 + (phi_2 + phi_20) - pi/2);
82 z2_2 = L2*sin(phi_2 + phi_20) + l1*sin(phi_1 + phi_10 + (phi_2 + phi_20) - pi/2);
83
84 x1_2 = L2*cos(phi_2 + phi_20) + L1*cos(phi_1 + phi_10 + (phi_2 + phi_20) - pi/2);
85 z1_2 = L2*sin(phi_2 + phi_20) + L1*sin(phi_1 + phi_10 + (phi_2 + phi_20) - pi/2);
86
87 l22 = (x2_2.^2+z2_2.^2).^0.5;
88 l21 = (x1_2.^2+z1_2.^2).^0.5;
89
90 h2 = zeros(round(time/dt)+1,2);
91
92 for k=1:1:round(time/dt)
93     f = @(t2, n) [n(2); M2(k) ./ (m3*l2^2 + m2.*l22(k).^2 + m1.*l21(k).^2)];
94     if (k==1)
95         [t2, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [0,0]);
96     elseif (k < round(time/dt))
97         [t2, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h2(k,1),h2(k,2)]);
98     elseif (k == round(time/dt))
99         [t2, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h2(k,1),h2(k,2)]);
100    end
101    h2(k+1,1) = n(2,1);
102    h2(k+1,2) = n(2,2);
103 end

```

```

104
105 - phi_2=h2(:,1); omega_2=h2(:,2);%задаем левый и правый столбцы%]
106 - Fc_121 = m1 .* l21 .* omega_2 .^ 2;
107 - Fc_222 = m2 .* l22 .* omega_2 .^ 2;
108 - Fc_32 = m3 .* l2 .* omega_2 .^ 2;
109 - Fc_121_x = Fc_121 .* cos(atan(z1_2./x1_2)); Fc_121_z = Fc_121 .* sin(atan(z1_2./x1_2));
110 - Fc_222_x = Fc_222 .* cos(atan(z2_2./x2_2)); Fc_222_z = Fc_222 .* sin(atan(z2_2./x2_2));
111 - Fc_32_x = Fc_32 .* cos(phi_2 + phi_20); Fc_32_z = Fc_32 .* sin(phi_2 + phi_20);
112
113 %Поворот системы координат
114 %Инициализация пустого 3Д массива заданного размера
115 - CS_1_1 = zeros(2,1,time/dt+1);
116 - CS_2_1 = zeros(2,1,time/dt+1);
117 - CS_1_2 = zeros(2,1,time/dt+1);
118 - CS_2_2 = zeros(2,1,time/dt+1);
119 - T = zeros(2,2,time/dt+1);
120
121 %Наполнение массива расчетными данными
122 %Поворот системы координат работает корректно!
123 - for i=1:(time/dt+1)
124 -     CS_1_1(:, :, i)=[Fc_11_x(i); Fc_11_z(i)];
125 -     CS_2_1(:, :, i)=[Fc_21_x(i); Fc_21_z(i)];
126 -     T(:, :, i) = [cos(-phi_2(i) - phi_20 + pi/2) sin(-phi_2(i) - phi_20 + pi/2); -sin(-phi_2(i) - phi_20 + pi/2) cos(-phi_2(i) - phi_20 + pi/2)];
127 -     CS_1_2(:, :, i) = T(:, :, i) * CS_1_1(:, :, i);
128 -     CS_2_2(:, :, i) = T(:, :, i) * CS_2_1(:, :, i);
129 - end
130
131 %Вычисление значений проекций сил в новой системе координат
132 - Fc_11_2_x(:,1) = CS_1_2(1,1,:); Fc_11_2_z(:,1) = CS_1_2(2,1,:);
133 - Fc_21_2_x(:,1) = CS_2_2(1,1,:); Fc_21_2_z(:,1) = CS_2_2(2,1,:);
134
135 - h3 = zeros(round(time/dt)+1,2);
136
137 - for k=1:1:round(time/dt)
138 -     f = @(t3, n) [n(2); M3(k) ./ (m3.*x3_2(k).^2 + m2.*x2_2(k).^2 + m1.*x1_2(k).^2)];
139 -     if (k==1)
140 -         [t3, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [0,0]);
141 -     elseif (k < round(time/dt))
142 -         [t3, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h3(k,1), h3(k,2)]);
143 -     elseif (k == round(time/dt))
144 -         [t3, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h3(k,1), h3(k,2)]);
145 -     end

```

```

146-     h3(k+1,1) = n(2,1);
147-     h3(k+1,2) = n(2,2);
148- end
149
150- phi_3=h3(:,1); omega_3=h3(:,2);%задаем левый и правый столбцы]

151- Fc_121x = m1 .* x1_2 .* omega_3 .^ 2;
152- Fc_222x = m2 .* x2_2 .* omega_3 .^ 2;
153- Fc_32x = m3 .* x3_2 .* omega_3 .^ 2;
154
155- z1_3 = z1_2 + l3;
156- z2_3 = z2_2 + l3;
157- z3_3 = z3_2 + l3;
158- z4_3 = l3;
159
160- x1_3 = x1_2;
161- x2_3 = x2_2;
162- x3_3 = x2_2;
163- x4_3 = 0;
164
165- l31 = (x1_3.^2 + z1_3.^2).^0.5;
166- l32 = (x2_3.^2 + z2_3.^2).^0.5;
167- l33 = (x3_3.^2 + z3_3.^2).^0.5;
168
169 % Находим моменты от горизонтальных ив вертикальных составляющих сил действующих на массы
170 % m1, m2, m3
171- M_Fx = z1_3.*(Fc_11_2_x + Fc_121_x + Fc_121x) + z2_3.*(Fc_21_2_x + Fc_222_x + Fc_222x) + z3_3.*(Fc_32_x + Fc_32x);
172- M_Fz = x1_3.*(Fc_11_2_z + Fc_121_z) + x2_3.*(Fc_21_2_z + Fc_222_z) + x3_3.*Fc_32_z;
173
174- M = M_Fx - M_Fz; % По часовой момент положительный, против - отрицательный
175- M_x = M.*cos(phi_3 + phi_30); % Находим составляющую момента в плоскости X
176- M_y = M.*sin(phi_3 + phi_30); % Находим составляющую момента в плоскости Y
177- F_x = M_x/l3; % Сила создающая момент действующий на опору в плоскости X
178- F_y = M_y/l3; % Сила создающая момент действующий на опору в плоскости Y
179
180- Fz = Fc_11_2_z + Fc_121_z + Fc_21_2_z + Fc_222_z + Fc_32_z; % Положительная сила направлена вверх, отрицательная - вниз
181

```

```

182 % ОПОРА %
183
184 % Вычисляем координаты центра масс
185 mc_x = (m1*(x1_3)+m2*(x2_3)+m3*(x3_3)+m4*x4_3)/(m1+m2+m3+m4);
186 mc_z = (m1*(z1_3)+m2*(z2_3)+m3*(z3_3)+m4*z4_3)/(m1+m2+m3+m4);
187
188 mc_x_x = mc_x.*cos(phi_3 + phi_30);
189 mc_x_y = mc_x.*sin(phi_3 + phi_30);
190
191 L_x = r10_x + r02_x;
192 r1m_x = r02_x - mc_x_x;
193 r2m_x = r10_x + mc_x_x;
194
195 k1_x = 1-(c2+c3).*r02_x.*r1m_x./((c1+c4).*r10_x.*(r1m_x-L_x));
196 k2_x = (m.*(r2m_x.*r02_x-r1m_x.*r10_x).*r1m_x)./(r10_x.*(c1+c4).(r10_x+r02_x).(r1m_x-L_x).*k1_x);
197 k3_x = r1m_x./((c1+c4).*r10_x.*(r1m_x-L_x).*k1_x);
198 k4_x = L_x./((r1m_x-L_x).*k1_x);
199 k5_x = m.*(r2m_x.*r02_x-r1m_x.*r10_x)/((c1+c4).*L_x.*r10_x);
200
201 h4 = zeros(round(time/dt)+1,2);
202
203 for k=1:1:round(time/dt)
204     f = @(t4, n) [n(2); (Fz(k) + n(1).*(k4_x(k).*(c2+c3).*L_x./r10_x)-M_x(k).*(k3_x(k).*(c2+c3).(L_x+1)./r10_x))./(m+k2_x(k).*(c2+c3).*L_x./r10_x+k
205     if (k==1)
206         [t4, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [0,0]);
207     elseif (k < round(time/dt))
208         [t4, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h4(k,1),h4(k,2)]);
209     elseif (k == round(time/dt))
210         [t4, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h4(k,1),h4(k,2)]);
211
212     end
213     h4(k+1,1) = n(2,1);
214     h4(k+1,2) = n(2,2);
215 end
216 s0_x=h4(:,1); v0_x=h4(:,2); % задаем левый и правый столбцы%]
217
218 a0_x = zeros(time/dt+1, 1);
219 for i=1:1:round(time/dt)
220     a0_x(i+1) = (v0_x(i+1)-v0_x(i))./dt;
221 end

```

```

222
223- s1_x = a0_x.*(k2_x.*(c2+c3).*r02_x./((c1+c4).*r10_x)+k5_x) - M_x.*(k3_x.*(c2+c3).*r02_x+1)./((c2+c3).*r10_x)- s0_x.*k4_x.*(c2+c3).*r02_x./((c1+c4).*
224- s2_x = (s1_x.*r1m_x-s0_x.*L_x)./(r1m_x-L_x);
225- sf_x = (s1_x - s2_x)./2;%(r02_x.*(s1_x-s2_x)+s2_x.*L_x)./L_x;
226
227- v1_x = zeros(time/dt+1, 1);
228- v2_x = zeros(time/dt+1, 1);
229- vf_x = zeros(time/dt+1, 1);
230
231- for i=1:1:round(time/dt)
232-     v1_x(i+1) = (s1_x(i+1)-s1_x(i))./dt;
233-     v2_x(i+1) = (s2_x(i+1)-s2_x(i))./dt;
234-     vf_x(i+1) = (sf_x(i+1)-sf_x(i))./dt;
235- end
236
237- L_y = r20_y + r03_y;
238- r1m_y = r03_y - mc_x_y;
239- r2m_y = r20_y + mc_x_y;
240
241- k1_y = 1-(c3+c4).*r03_y.*r1m_y./((c1+c2).*r20_y.*(r1m_y-L_y));
242- k2_y = (m.*(r2m_y.*r03_y-r1m_y.*r20_y).*r1m_y)./(r20_y.*(c1+c2).*(r20_y+r03_y).*(r1m_y-L_y).*k1_y);
243- k3_y = r1m_y./((c1+c2).*r20_y.*(r1m_y-L_y).*k1_y);
244- k4_y = L_y./((r1m_y-L_y).*k1_y);
245- k5_y = m*(r2m_y.*r03_y-r1m_y.*r20_y)/((c1+c2)*L_y*r20_y);
246
247- h5 = zeros(round(time/dt)+1,2);
248
249- for k=1:1:round(time/dt)
250-     f = @(t5, n) [n(2); (Fz(k) + n(1).*(k4_y(k).*(c3+c4).*L_y./r20_y)-M_y(k).*(k3_y(k).*(c3+c4).*(L_y+1)./r20_y))./(m+k2_y(k).*(c3+c4).*(L_y./r20_y+k5
251-     if (k==1)
252-         [t5, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [0,0]);
253-     elseif (k < round(time/dt))
254-         [t5, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h5(k,1),h5(k,2)]);
255-     elseif (k == round(time/dt))
256-         [t5, n] = ode45(f, (0:dt:dt*2), [h5(k,1),h5(k,2)]);
257-     end
258-     h5(k+1,1) = n(2,1);
259-     h5(k+1,2) = n(2,2);
260- end
261
262- s0_y=h5(:,1); v0_y=h5(:,2);%задаем левый и правый столбцы%]

```

```

263
264- a0_y = zeros(time/dt+1, 1);
265- for i=1:1:round(time/dt)
266-     a0_y(i+1) = (v0_y(i+1)-v0_y(i))./dt;
267- end
268
269- s2_y = a0_y.*(k2_y.*(c3+c4).*r03_y./((c1+c2).*r20_y)+k5_y) - M_y.*(k3_y.*(c3+c4).*r03_y+1)./((c3+c4).*r20_y)-s0_y.*k4_y.*(c3+c4).*r03_y./((c1+c2).*
270- s3_y = (s2_y.*r1m_y-s0_y.*L_y)./(r1m_y-L_y);
271- sf_y = (s2_y - s3_y)./2;%(r03_y.*(s2_y-s3_y)+s3_y.*L_y)./L_y;
272
273- v2_y = zeros(time/dt+1, 1);
274- v3_y = zeros(time/dt+1, 1);
275- vf_y = zeros(time/dt+1, 1);
276- for i=1:1:round(time/dt)
277-     v2_y(i+1) = (s2_y(i+1)-s2_y(i))./dt;
278-     v3_y(i+1) = (s3_y(i+1)-s3_y(i))./dt;
279-     vf_y(i+1) = (sf_y(i+1)-sf_y(i))./dt;
280- end
281
282- tg_alpha_x = (s1_x-s2_x)/(r10_x+r02_x);
283- tg_alpha_y = (s2_y-s3_y)/(r20_y+r03_y);
284
285- sf = (sf_y + sf_x)/2;
286- s0 = s0_y + s0_x - sf; % перемещение массы
287- s1 = s2_y + s1_x - sf;
288- s2 = s2_y + s2_x - sf;
289- s3 = s3_y + s2_x - sf;
290- s4 = s3_y + s1_x - sf;
291
292- v0 = zeros(time/dt+1, 1);
293- v1 = zeros(time/dt+1, 1);
294- v2 = zeros(time/dt+1, 1);
295- v3 = zeros(time/dt+1, 1);
296- v4 = zeros(time/dt+1, 1);
297- vf = zeros(time/dt+1, 1);
298

```

```

299- for i=1:1:round(time/dt)
300-     v0(i+1) = (s0(i+1)-s0(i))./dt;
301-     v1(i+1) = (s1(i+1)-s1(i))./dt;
302-     v2(i+1) = (s2(i+1)-s2(i))./dt;
303-     v3(i+1) = (s3(i+1)-s3(i))./dt;
304-     v4(i+1) = (s4(i+1)-s4(i))./dt;
305-     vf(i+1) = (sf(i+1)-sf(i))./dt;
306- end
307
308 %Вычислим координаты т.1. (робота) относительно опоры в плоскости движений робота
309- p1_x = L2.*cos(phi_2 + phi_20) + L1.*cos(phi_1 + phi_10 + (phi_2 + phi_20) - pi/2);
310- p1_z = L3 + L2.*sin(phi_2 + phi_20) + L1.*sin(phi_1 + phi_10 + (phi_2 + phi_20) - pi/2);
311 %Вычислим расстояние до т.1. робота от опоры в плоскости движений робота
312- L_p1 = (p1_x.^2 + p1_z.^2).^0.5;
313
314 %Вычислим координаты т.1. (робота) относительно опоры в абсолютной системе
315 %координат
316- p1_X = p1_x .* cos(phi_3);
317- p1_Y = p1_x .* sin(phi_3);
318- p1_Z = p1_z;
319 %Вычислим проекции расстояний до т.1. робота от опоры в плоскостях ZX и ZY
320- L_p1_X = L_p1 .* cos(phi_3);
321- L_p1_Y = L_p1 .* sin(phi_3);
322
323 %Определим колебания т.1 при колебаниях опоры с помощью поворота системы
324 %координат
325
326 %Инициализация пустых 3Д массивов заданного размера
327- CS_3_1_ZX = zeros(2,1,time/dt+1);
328- CS_3_1_ZY = zeros(2,1,time/dt+1);
329- CS_3_2_ZX = zeros(2,1,time/dt+1);
330- CS_3_2_ZY = zeros(2,1,time/dt+1);
331- T1 = zeros(2,2,time/dt+1);
332- T2 = zeros(2,2,time/dt+1);
333

```

```

334 %Наполнение массива расчетными данными
335 %Поворот системы координат работает корректно!
336 - for i=1:1:(time/dt+1)
337 -     CS_3_1_ZX(:, :, i)=[p1_X(i); p1_Z(i)];
338 -     CS_3_1_ZY(:, :, i)=[p1_Y(i); p1_Z(i)];
339 -     T1(:, :, i) = [cos(tg_alpha_x(i)) sin(tg_alpha_x(i)); -sin(tg_alpha_x(i)) cos(tg_alpha_x(i))];
340 -     T2(:, :, i) = [cos(tg_alpha_y(i)) sin(tg_alpha_y(i)); -sin(tg_alpha_y(i)) cos(tg_alpha_y(i))];
341 -     CS_3_2_ZX(:, :, i)= T1(:, :, i) * CS_3_1_ZX(:, :, i);
342 -     CS_3_2_ZY(:, :, i)= T2(:, :, i) * CS_3_1_ZY(:, :, i);
343 - end
344
345 %Вычисление значений координат т.1. робота в новой системе координат
346 - p1_X_(:, 1) = CS_3_2_ZX(1, 1, :);
347 - p1_Y_(:, 1) = CS_3_2_ZY(1, 1, :);
348 - p1_Z_(:, 1) = CS_3_2_ZX(2, 1, :);
349
350 %Вычисляем колебания т.1. вдоль осей координат вычитая из новых координат
351 %старые
352
353 - delta_p1_X = zeros(time/dt+1, 1);
354 - delta_p1_Y = zeros(time/dt+1, 1);
355 - delta_p1_Z = zeros(time/dt+1, 1);
356
357 - for i=1:1:round(time/dt)
358 -     delta_p1_X(i) = (p1_X_(i, 1)-p1_X(i, 1));
359 -     delta_p1_Y(i) = (p1_Y_(i, 1)-p1_Y(i, 1));
360 -     delta_p1_Z(i) = (p1_Z_(i, 1)-p1_Z(i, 1)) + sf_x(i);
361 - end
362
363 %Суммарное отклонение т.1 от заданного значения
364
365 - delta_p1 = (delta_p1_X.^2+delta_p1_Y.^2+delta_p1_Z.^2).^0.5;
366

```

```

367- figure;
368- subplot(2,2,1);
369- plot(t,s0_x*1000,t,s1_x*1000,t,s2_x*1000);
370- grid on;%сетка%
371- title('Перемещение точек опоры в плоскости ZX');
372- legend('Масса m_c','т.8','т.6');
373- xlabel('Время, с');
374- ylabel('Перемещение, мм');
375
376- subplot(2,2,3);
377- plot(t,v0_x,t,v1_x,t,v2_x);
378- grid on;%сетка%
379- title('Скорости точек опоры в плоскости ZX');
380- legend('Массы m_c','т.8','т.6');
381- xlabel('Время,с');%ось x%
382- ylabel('Скорость, м/с');%ось y%
383
384- subplot(2,2,2);
385- plot(t,s0_y*1000,t,s2_y*1000,t,s3_y*1000);
386- grid on;%сетка%
387- title('Перемещение точек опоры в плоскости ZY');
388- legend('Массы m_c','т.5','т.7');
389- xlabel('Время, с');
390- ylabel('Перемещение, мм');
391
392- subplot(2,2,4);
393- plot(t,v0_y,t,v2_y,t,v3_y);
394- grid on;%сетка%
395- title('Скорости точек опоры в плоскости ZY');
396- legend('Масса m_c','т.5','т.7');
397- xlabel('Время,с');%ось x%
398- ylabel('Скорость, м/с');%ось y%
399
400- figure;
401- subplot(2,2,1);
402- plot(t,s0*1000,t,s1*1000,t,s2*1000,t,s3*1000,t,s4*1000);
403- grid on;%сетка%
404- title('Перемещение угловых точек опоры');
405- legend('Масса m_c','т.1','т.2','т.3','т.4');
406- xlabel('Время, с');%ось x%
407- ylabel('Перемещение, мм');%ось y%
408
409- subplot(2,2,2);
410- plot(t,v0,t,v1,t,v2,t,v3,t,v4);
411- grid on;%сетка%
412- title('Скорости угловых точек опоры');
413- legend('Масса m_c','т.1','т.2','т.3','т.4');
414- xlabel('Время,с');%ось x%
415- ylabel('Скорость, м/с');%ось y%
416

```

```

417- subplot(2,2,3);
418- plot(t,Fz,t,M_x,t,M_y);
419- grid on;%сетка%
420- title('Вынуждающее воздействие робота на опору');
421- legend('Сила F_z (Н)', 'Момент M_x (Нм)', 'Момент M_y (Нм)');
422- xlabel('Время, с');%ось x%
423- ylabel('Значение, ед.');
```

424

```

425- figure;
426- subplot(2,2,1);
427- plot(t,omega_1,t,omega_2,t,omega_3);
428- grid on;%сета%
429- title('Угловые скорости звеньев робота');
430- legend('\omega_1', '\omega_2', '\omega_3');
431- xlabel('Время, с');%ось x%
432- ylabel('Скорость, рад/с');
```

433

```

434- subplot(2,2,2);
435- plot(t,phi_1,t,phi_2,t,phi_3);
436- grid on;%сетка%
437- title('Угловые перемещения звеньев робота');
438- legend('\phi_1', '\phi_2', '\phi_3');
439- xlabel('Время, с');
```

440

```

441- ylabel('Угол, рад');
```

442- subplot(2,2,3);

```

443- plot(t,delta_p1_X*1000,t,delta_p1_Y*1000,t,delta_p1_Z*1000,t,delta_p1*1000);
444- grid on;%сетка%
445- title('Колебания конечной точки робота');
446- legend('\Delta_x', '\Delta_y', '\Delta_z', '\Delta_{\Sigma}');
```

447- xlabel('Время, с');

```

448- ylabel('Амплитуда, мм');
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

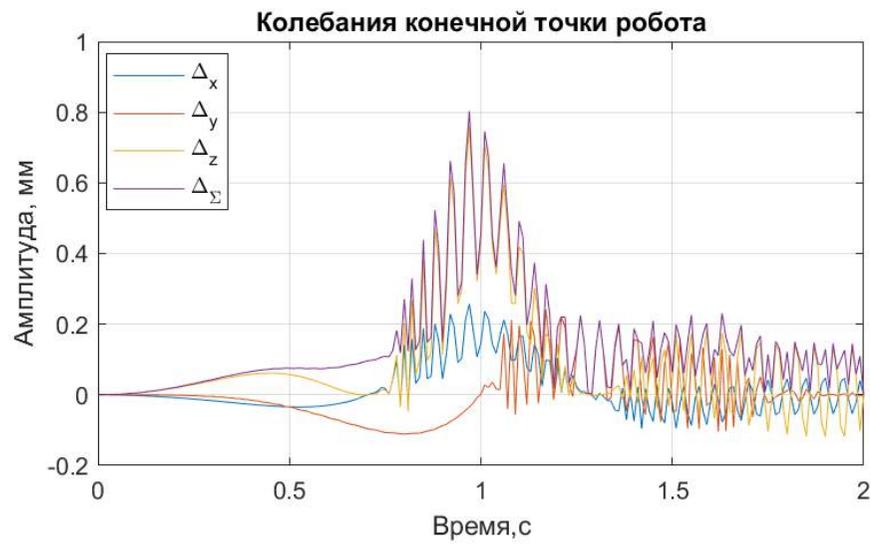
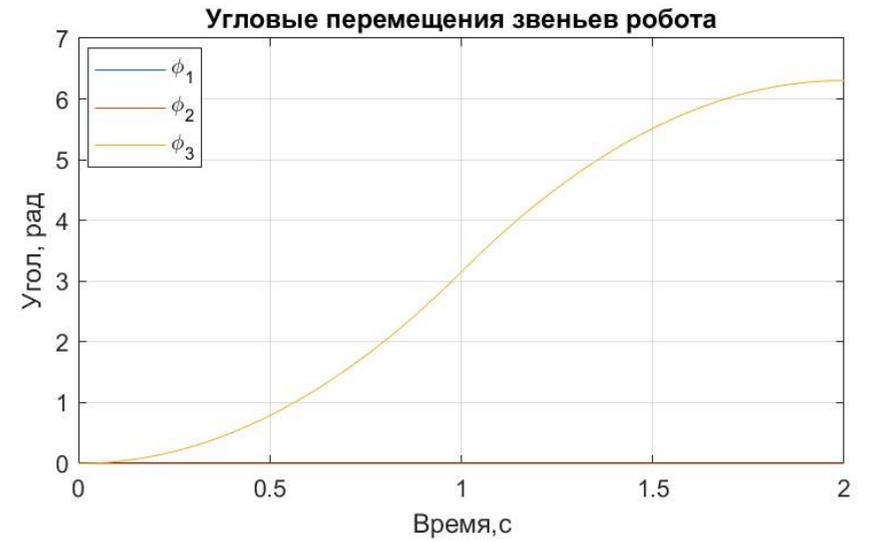
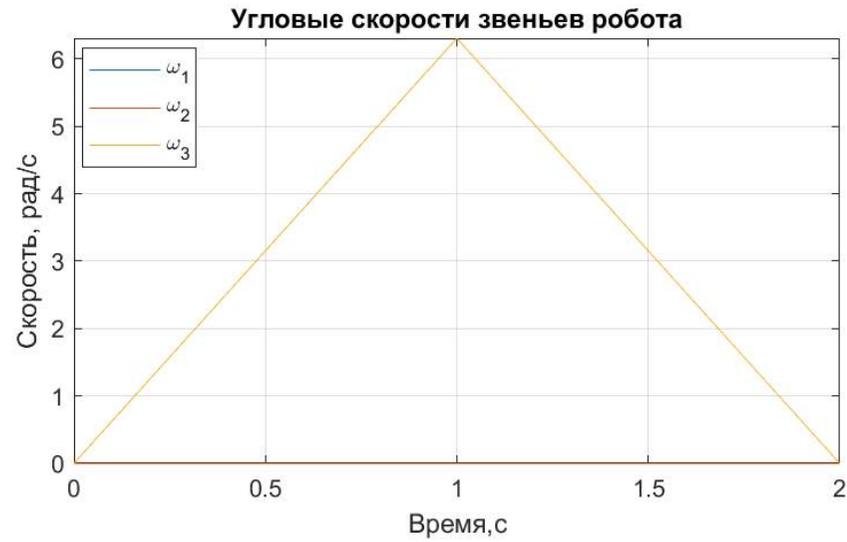
Графики этапа 1

Нахождение M_3 :

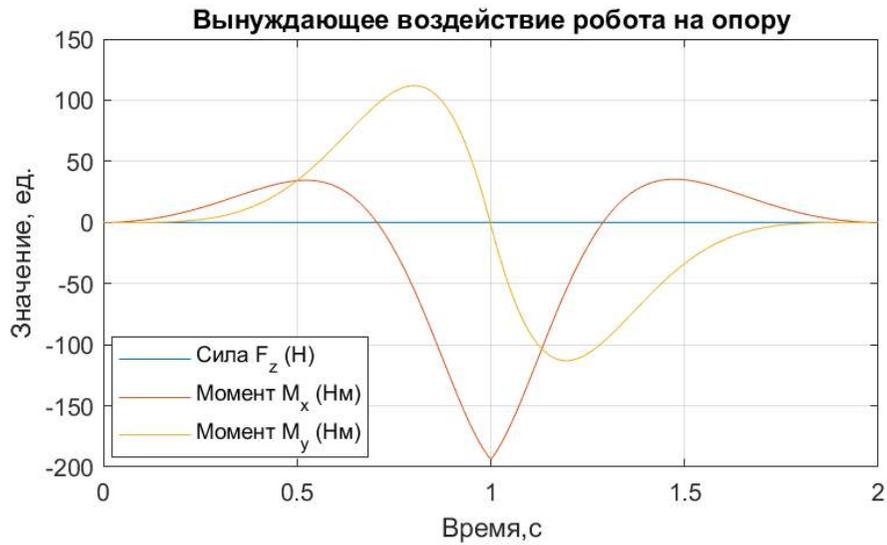
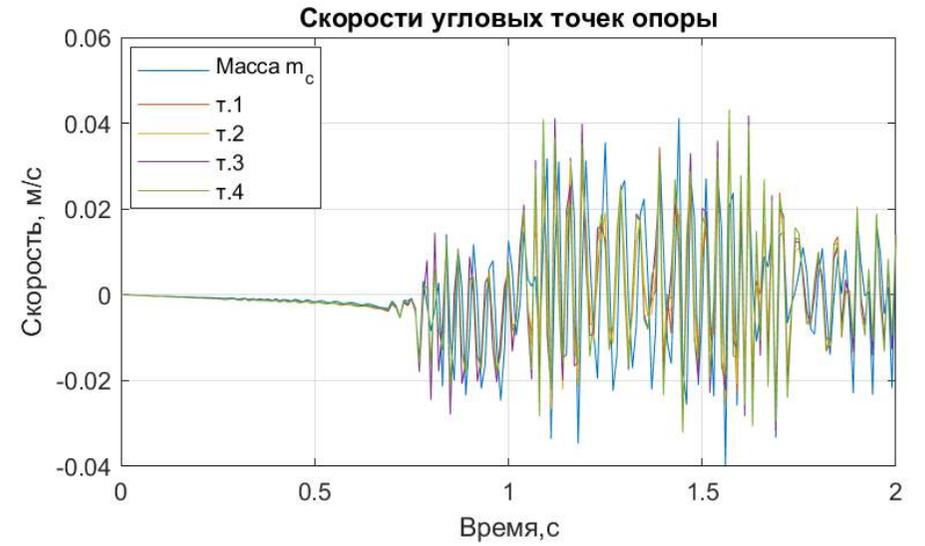
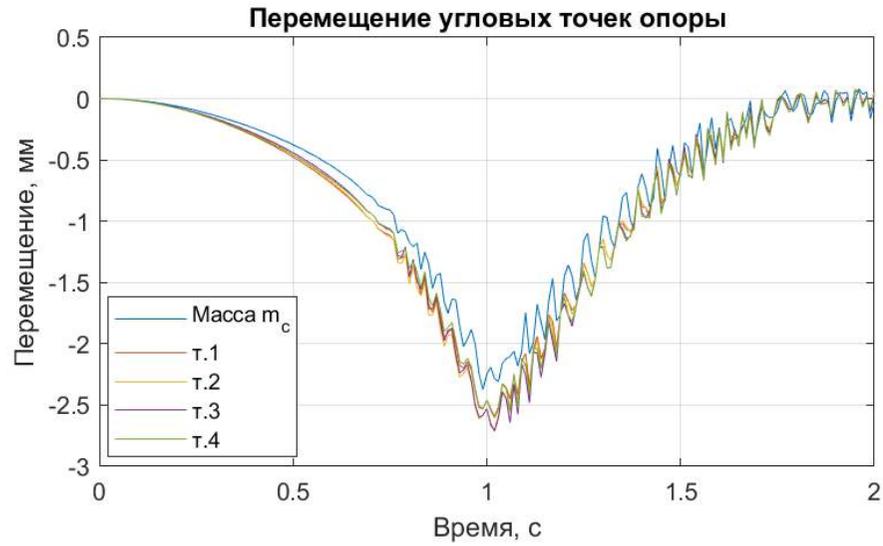
Входные данные программы.

```
1-   clc;
2-   clear;
3-   close all;
4-
5-   % БЛОК ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
6-   time=2; dt=0.01;
7-
8-   % Данные робота
9-   Moment_1 = 0;
10-  Moment_2 = 0;
11-  Moment_3 = 112;
12-
13-  phi_10_ = 90; % Начальное значение угла phi_1
14-  phi_20_ = 0; % Начальное значение угла phi_2
15-  phi_30_ = 0; % Начальное значение угла phi_3
16-
17-  l1 = 0.27; l2 = 0.28; l3 = 0.2; L1 = 0.54; L2 = 0.56; L3 = 0.4;%в метрах%
18-  m1 = 2; m2 = 20; m3 = 20; m4 = 10;%кг%
19-
20-  % Данные опоры
21-  r10_x = 0.1; r02_x = 0.1; r20_y = 0.1; r03_y = 0.1;
22-  c1=10000000; c2=10000000; c3=10000000; c4=10000000;
23-
24-  % КОНЕЦ БЛОКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
25-
```

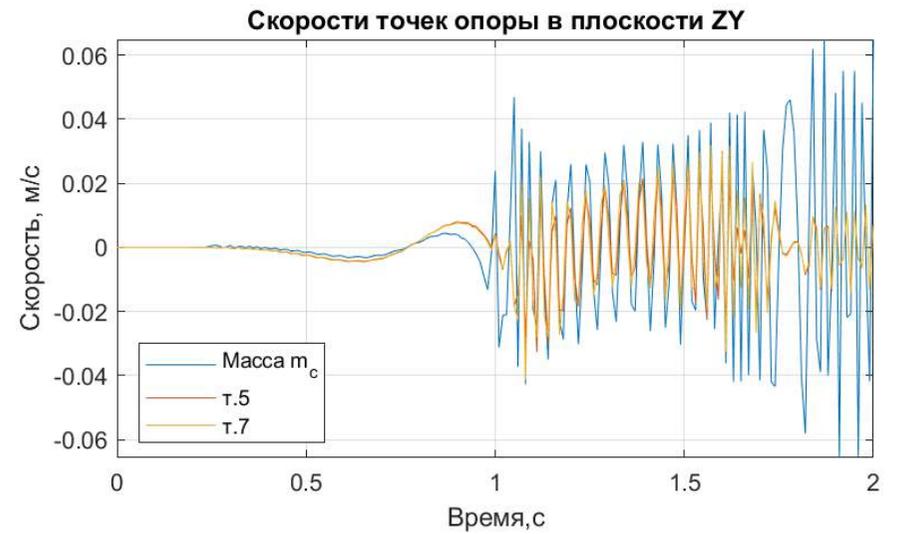
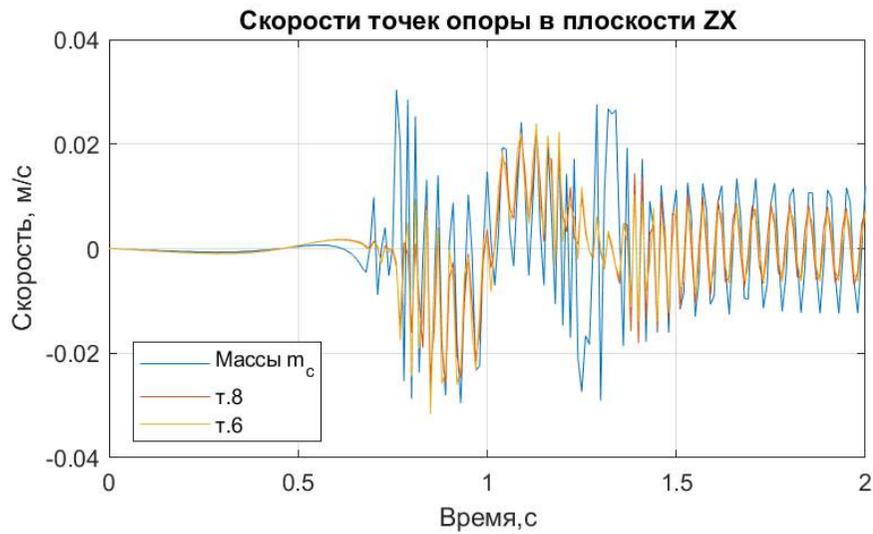
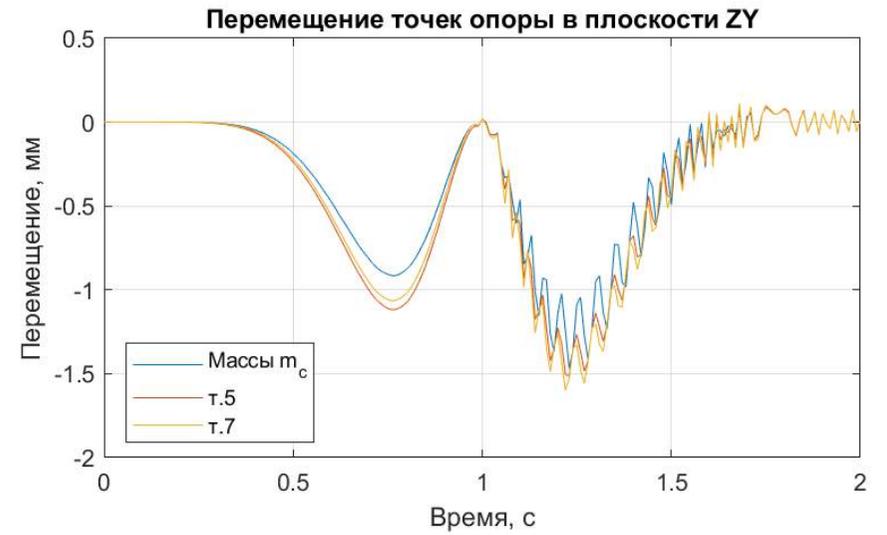
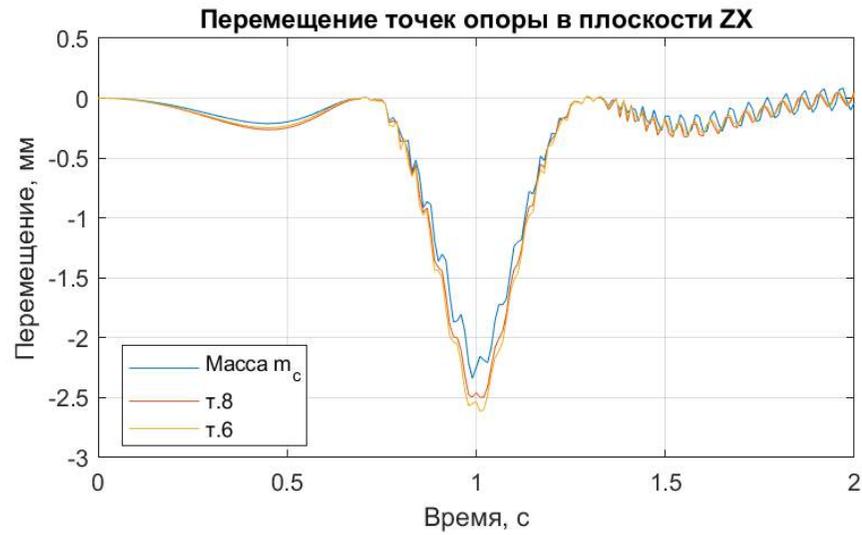
Графики первой группы



Графики второй группы.



Графики третьей группы.

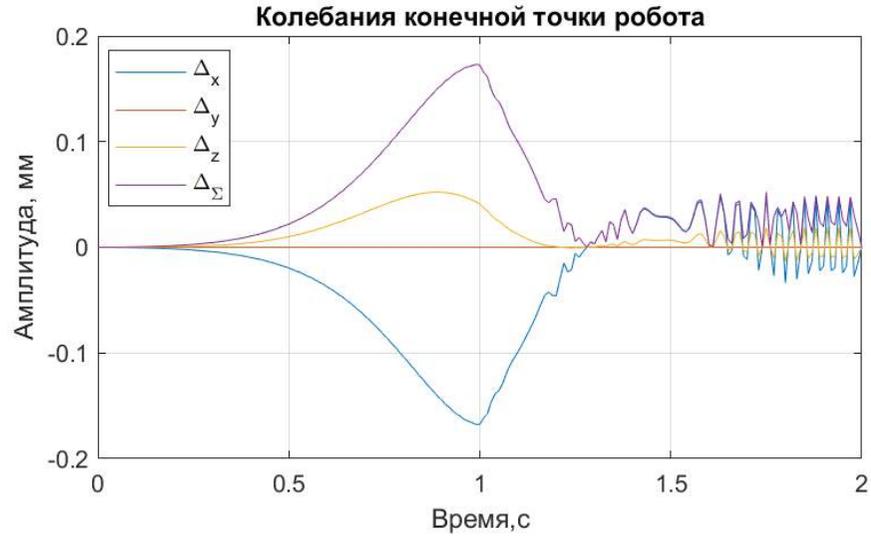
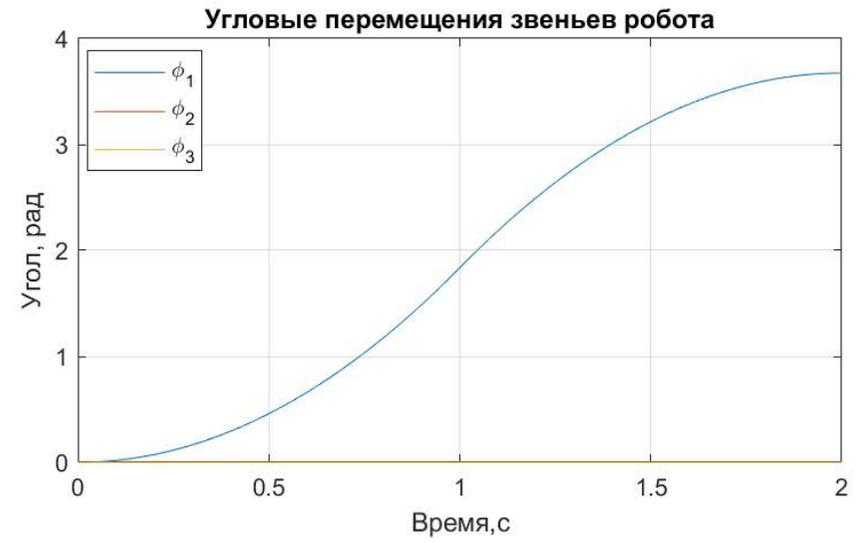
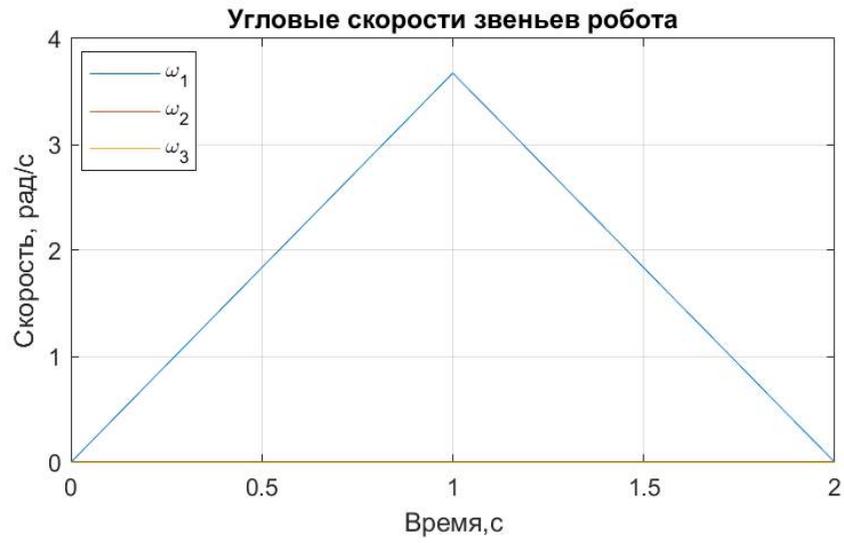


Нахождение M_1 :

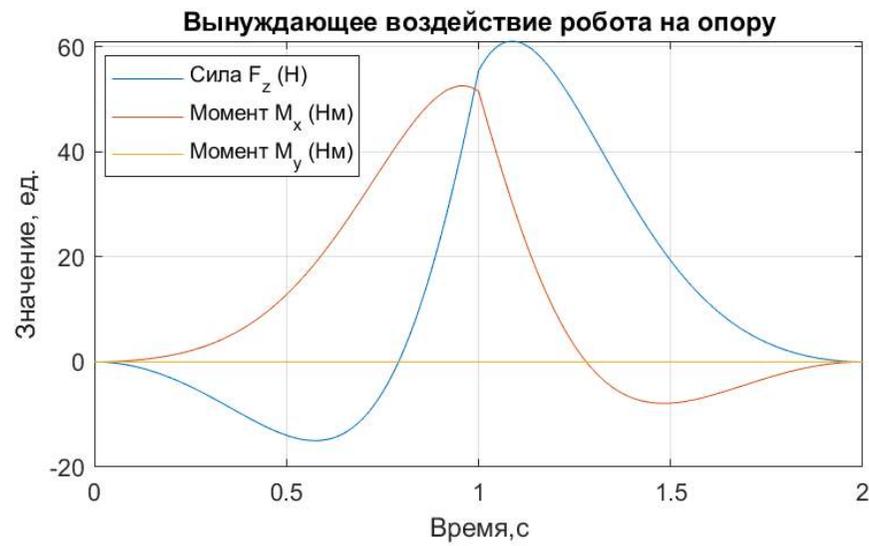
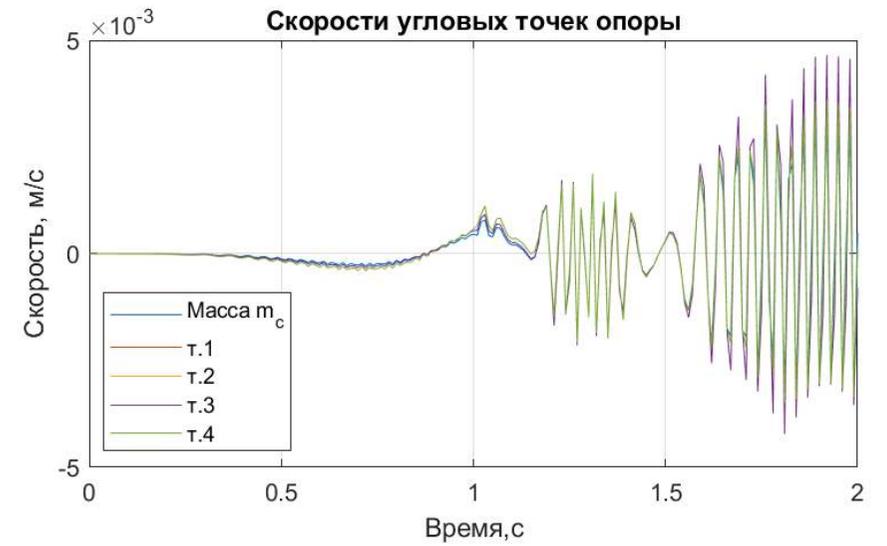
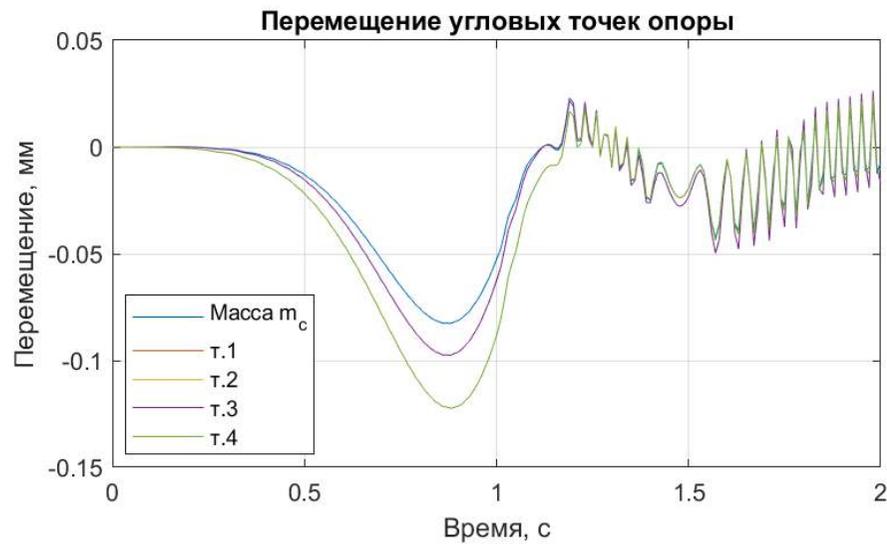
Входные данные программы.

```
1 -   clc;
2 -   clear;
3 -   close all;
4
5 -   % БЛОК ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
6 -   time=2; dt=0.01;
7
8 -   % Данные робота
9 -   Moment_1 = 7.5;
10 -  Moment_2 = 0;
11 -  Moment_3 = 0;
12
13 -  phi_10_ = -66; % Начальное значение угла phi_1
14 -  phi_20_ = 90; % Начальное значение угла phi_2
15 -  phi_30_ = 0; % Начальное значение угла phi_3
16
17 -  l1 = 0.27; l2 = 0.28; l3 = 0.2; L1 = 0.54; L2 = 0.56; L3 = 0.4; %в метрах%
18 -  m1 = 2; m2 = 20; m3 = 20; m4 = 10; %кг%
19
20 -  % Данные опоры
21 -  r10_x = 0.1; r02_x = 0.1; r20_y = 0.1; r03_y = 0.1;
22 -  c1=100000000; c2=100000000; c3=100000000; c4=100000000;
23
24 -  % КОНЕЦ БЛОКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
```

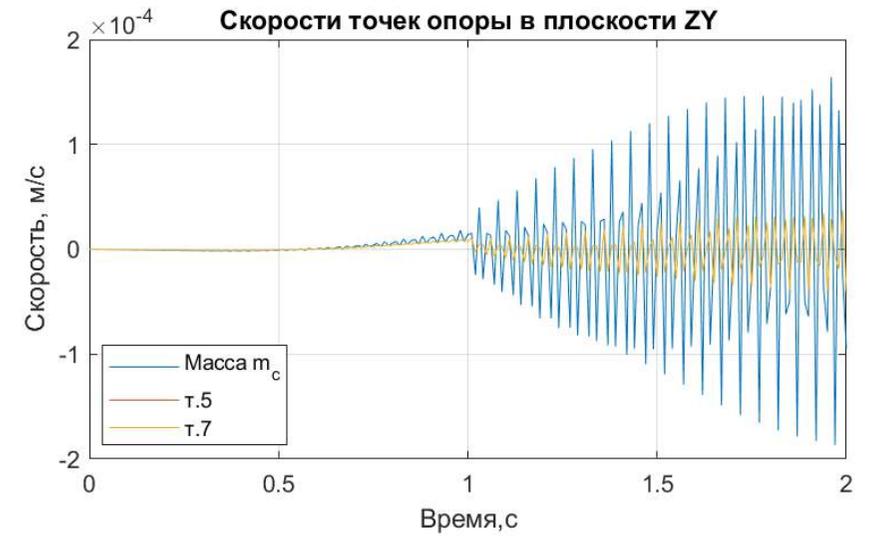
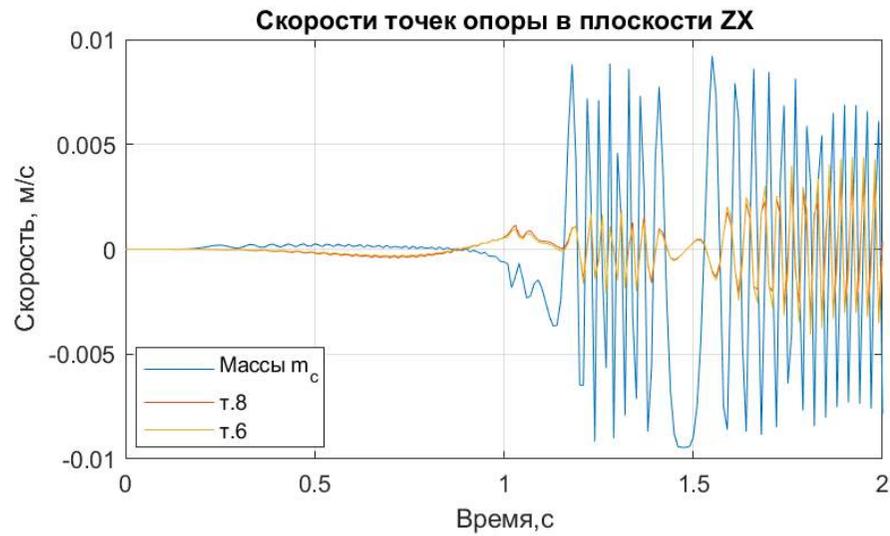
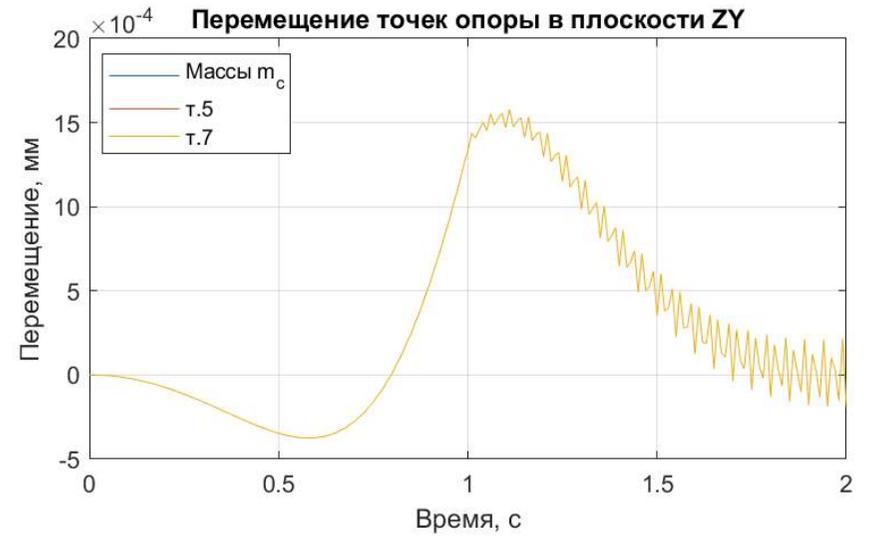
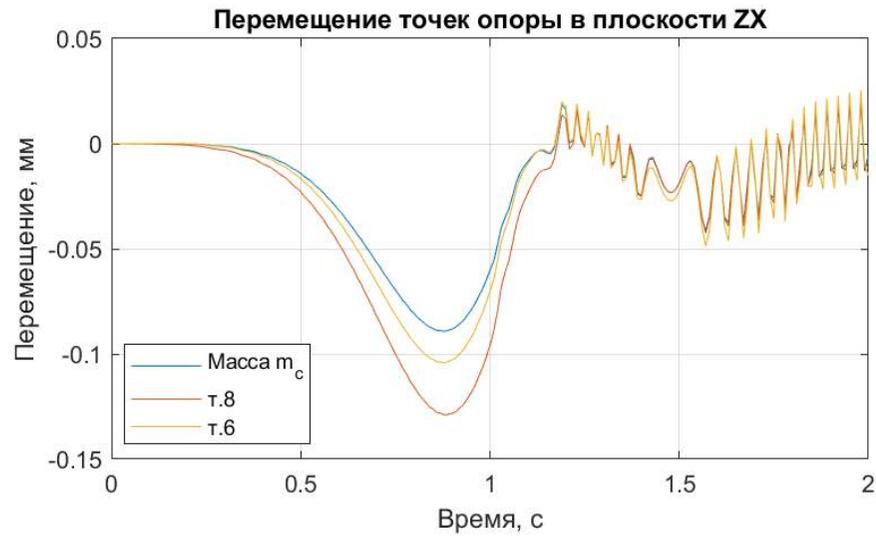
Графики первой группы.



Графики второй группы.



Графики третьей группы.

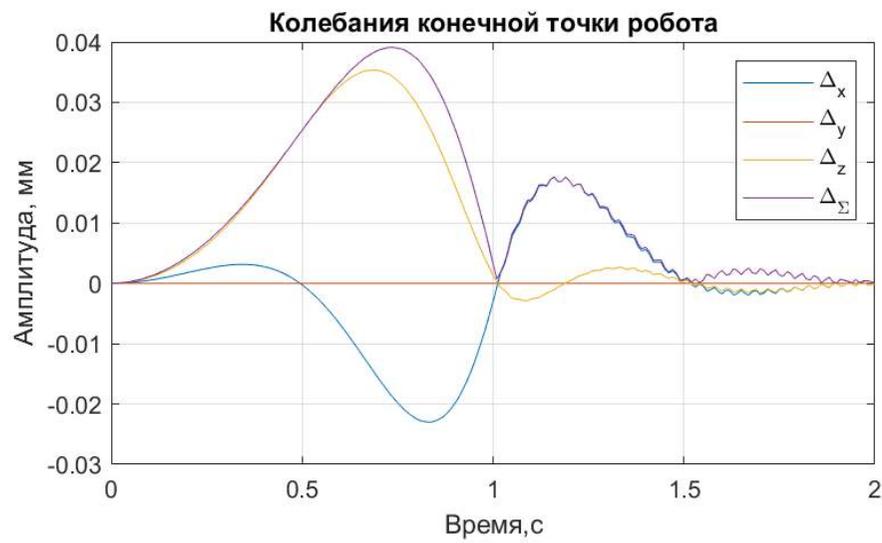
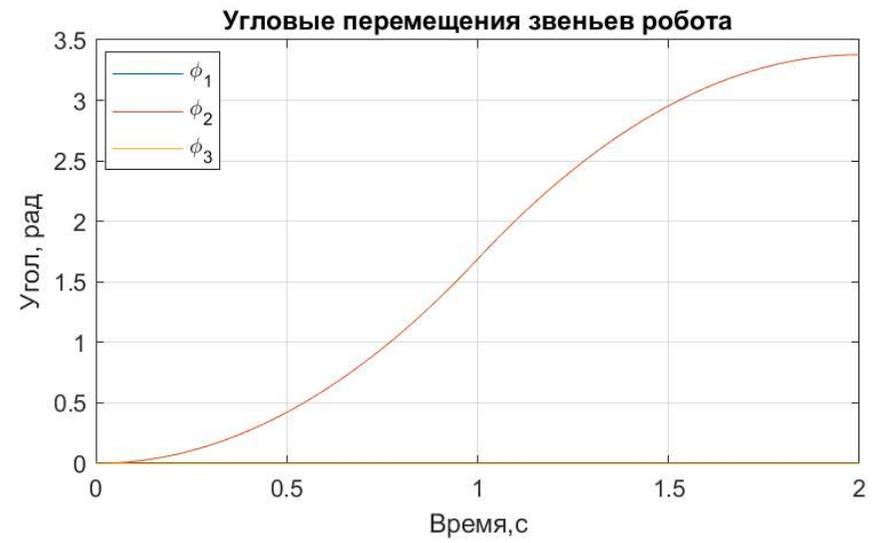
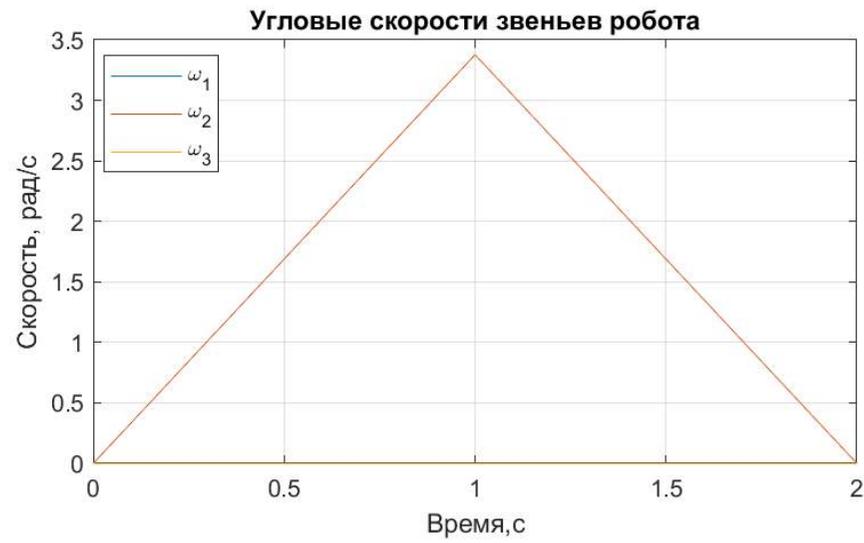


Нахождение M_2

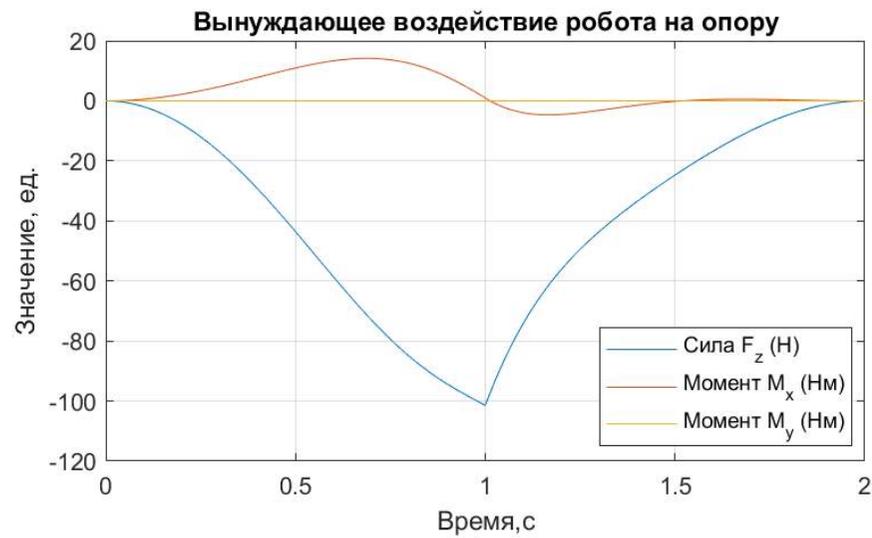
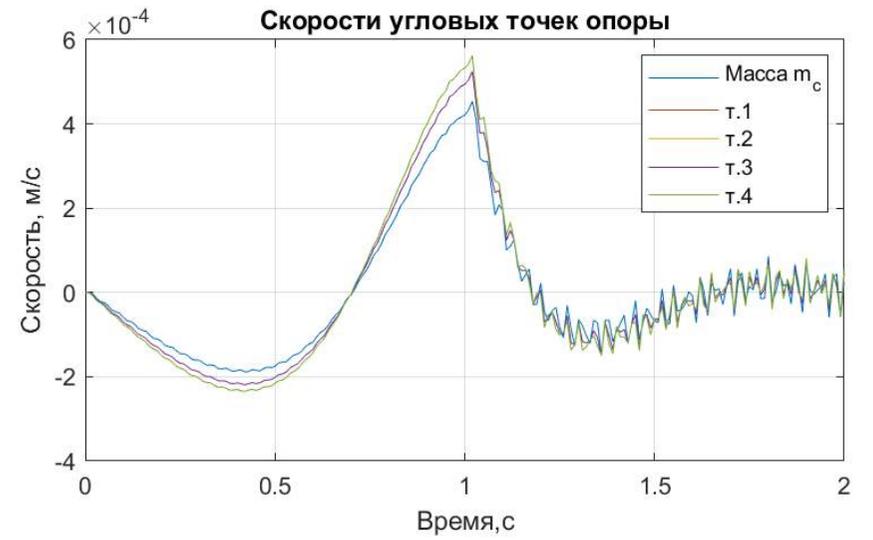
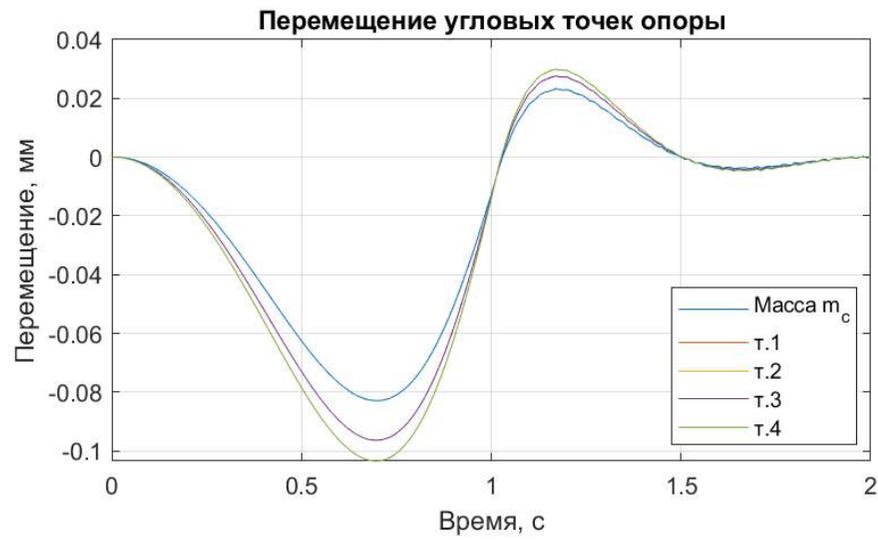
Входные данные программы.

```
1-  clc;
2-  clear;
3-  close all;
4
5-  % БЛОК ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
6-  time=2; dt=0.01;
7-  |
8-  % Данные робота
9-  Moment_1 = 0;
10- Moment_2 = 60;
11- Moment_3 = 0;
12
13- phi_10_ = 90; % Начальное значение угла phi_1
14- phi_20_ = -45; % Начальное значение угла phi_2
15- phi_30_ = 0; % Начальное значение угла phi_3
16
17- l1 = 0.27; l2 = 0.28; l3 = 0.2; L1 = 0.54; L2 = 0.56; L3 = 0.4;%в метрах%
18- m1 = 2; m2 = 20; m3 = 20; m4 = 10;%кг%
19
20- % Данные опоры
21- r10_x = 0.1; r02_x = 0.1; r20_y = 0.1; r03_y = 0.1;
22- c1=100000000; c2=100000000; c3=100000000; c4=100000000;
23
24- % КОНЕЦ БЛОКА ВХОДНЫХ ДАННЫХ %
```

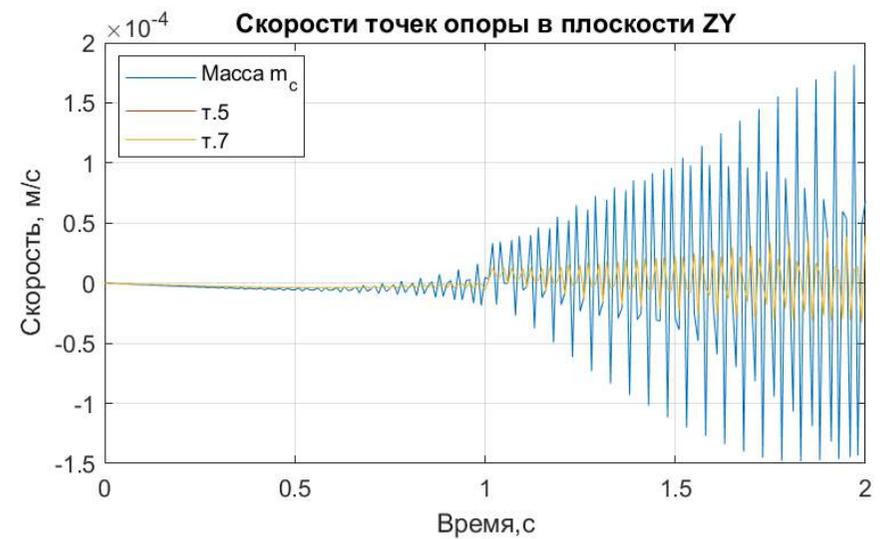
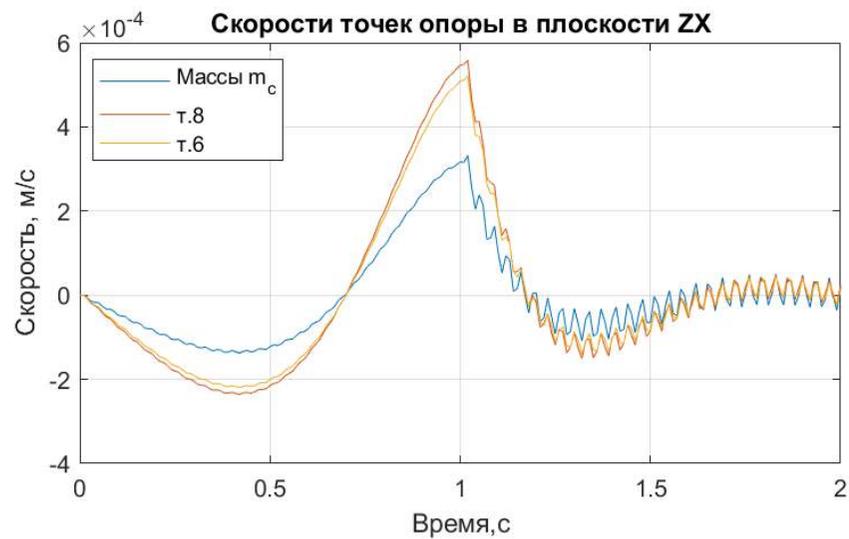
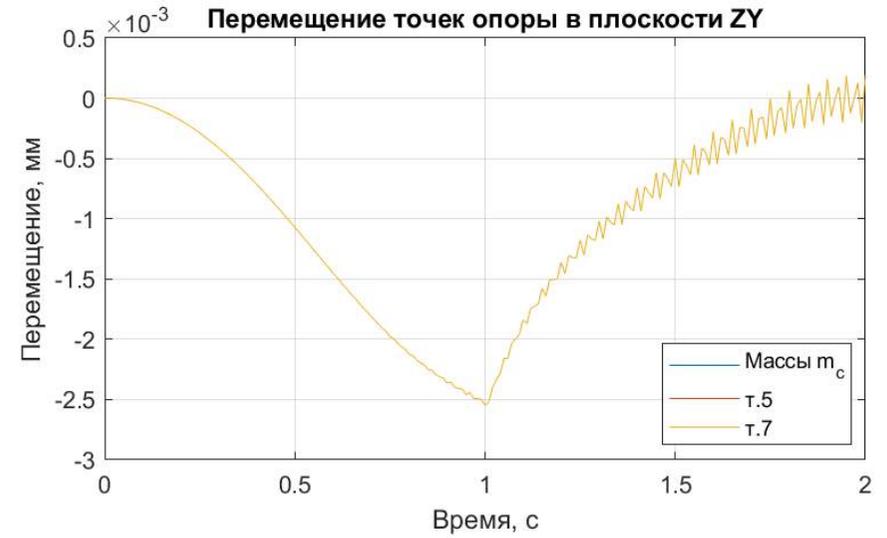
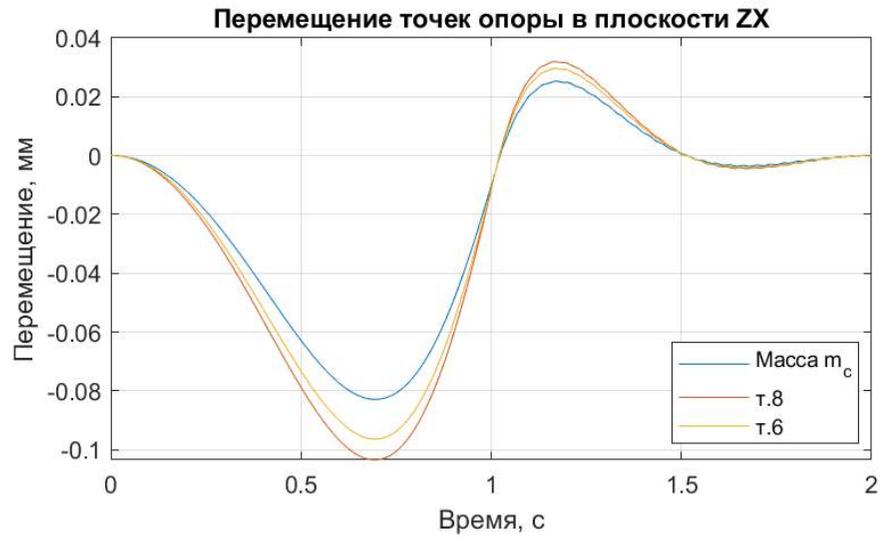
Графики первой группы.



Графики второй группы.



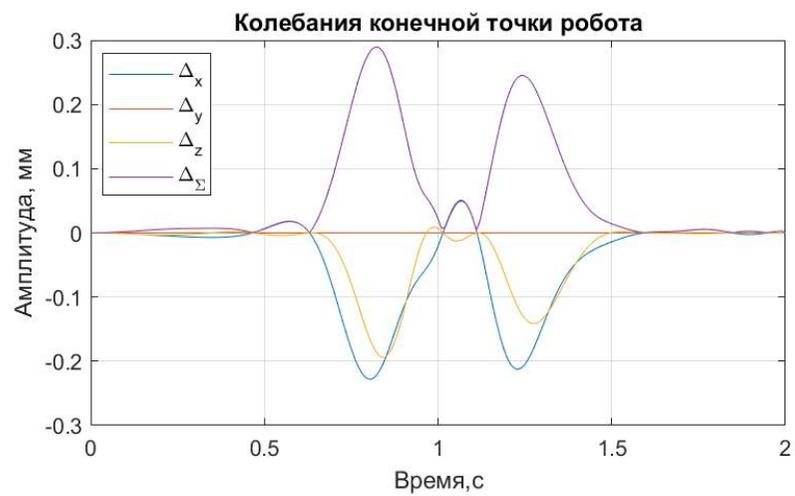
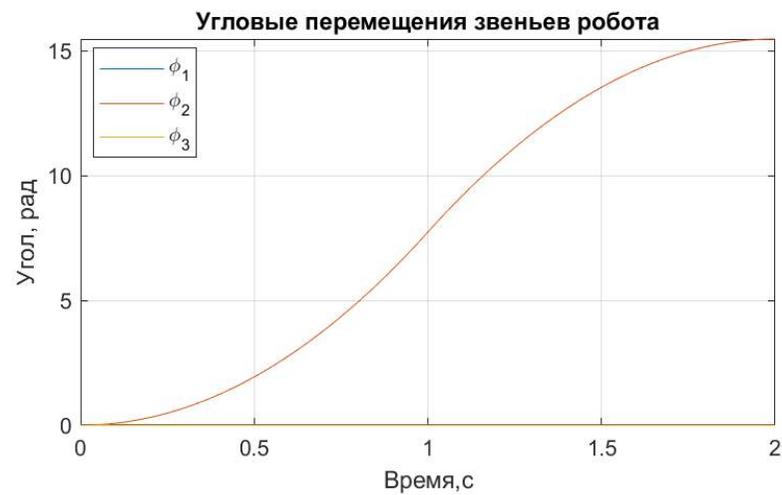
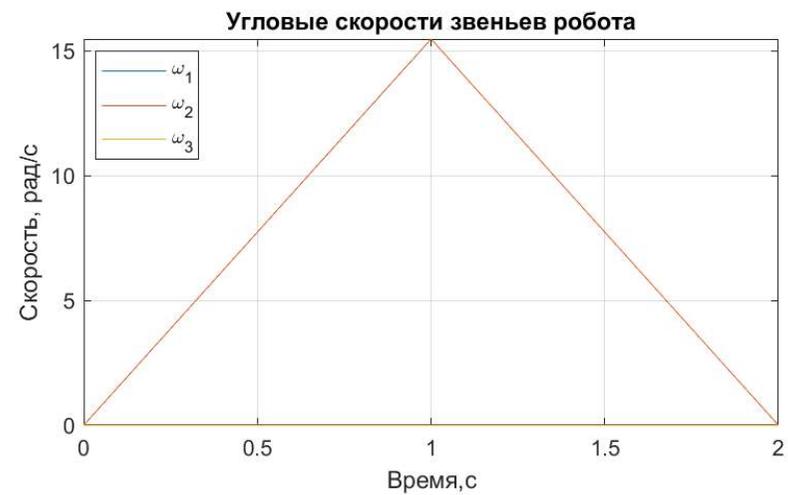
Графики третьей группы.



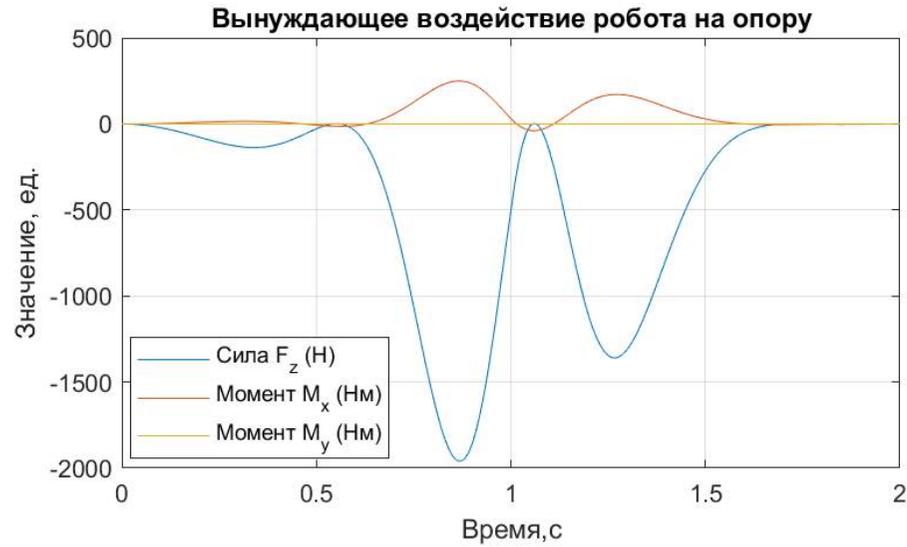
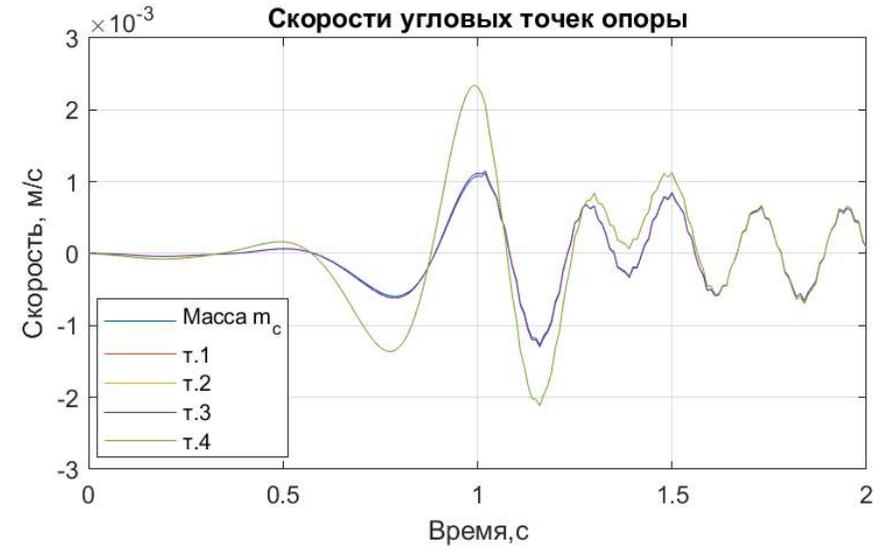
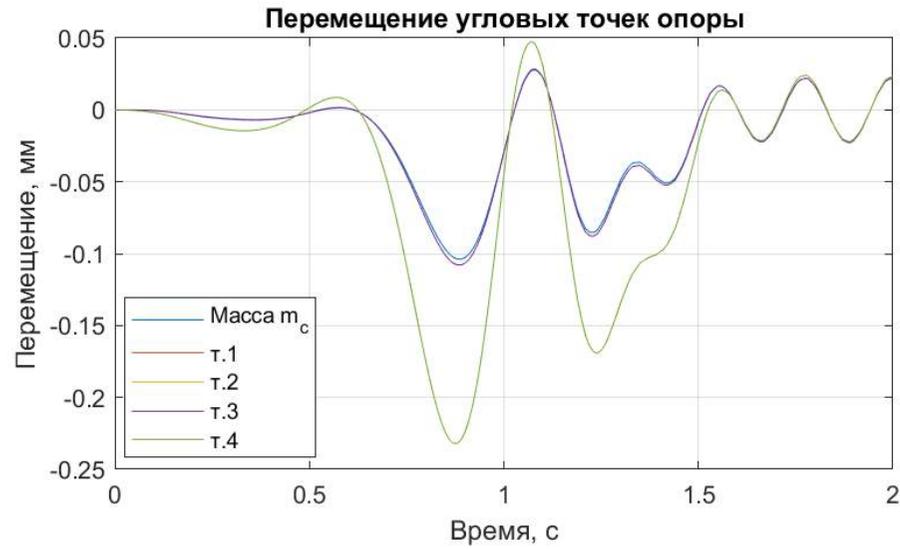
ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Графики второго этапа. Влияние на опору от момента M_2 . $\phi_1 = -66^\circ$

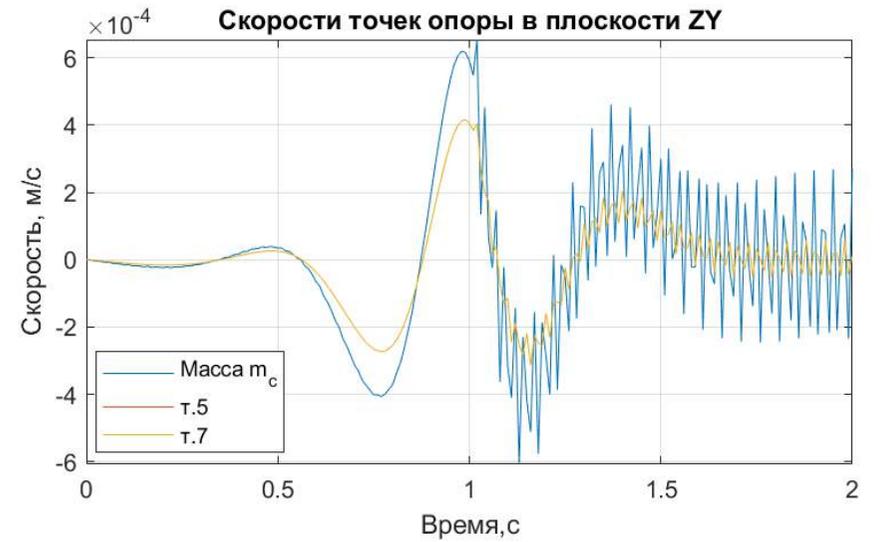
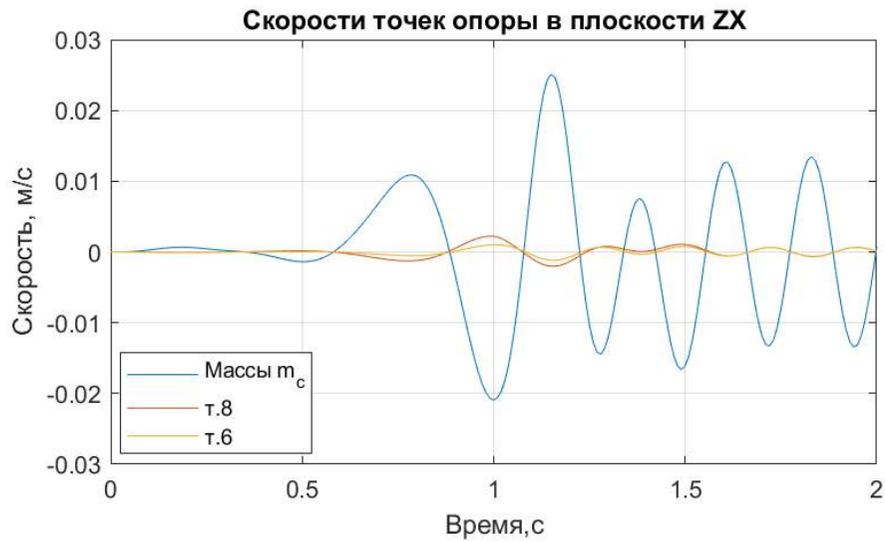
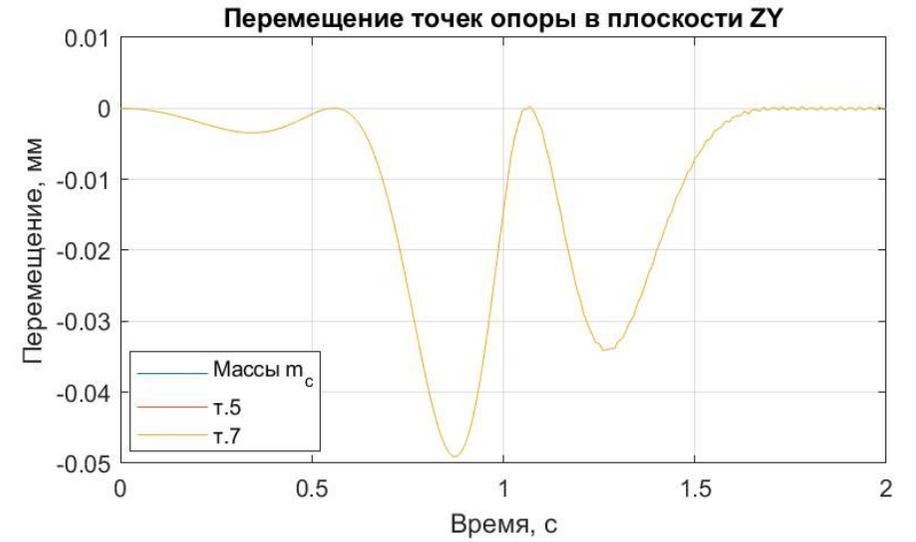
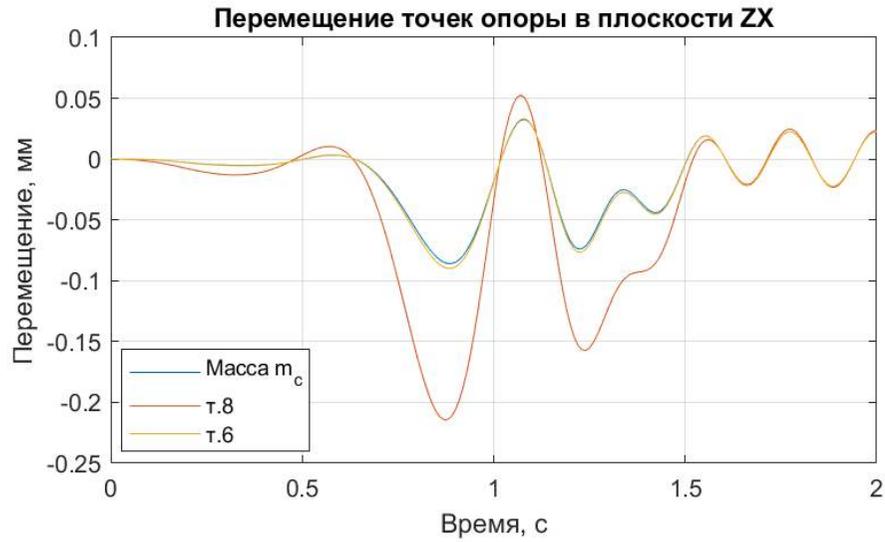
Графики первой группы



Графики второй группы

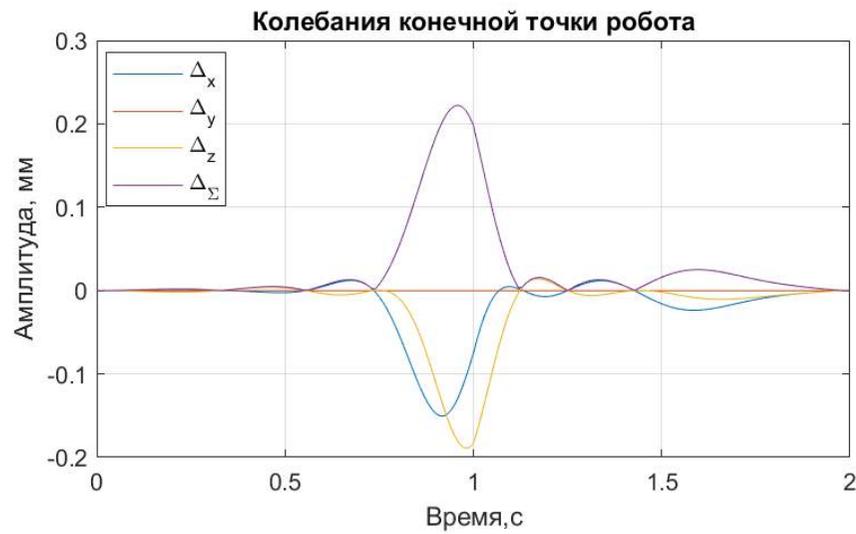
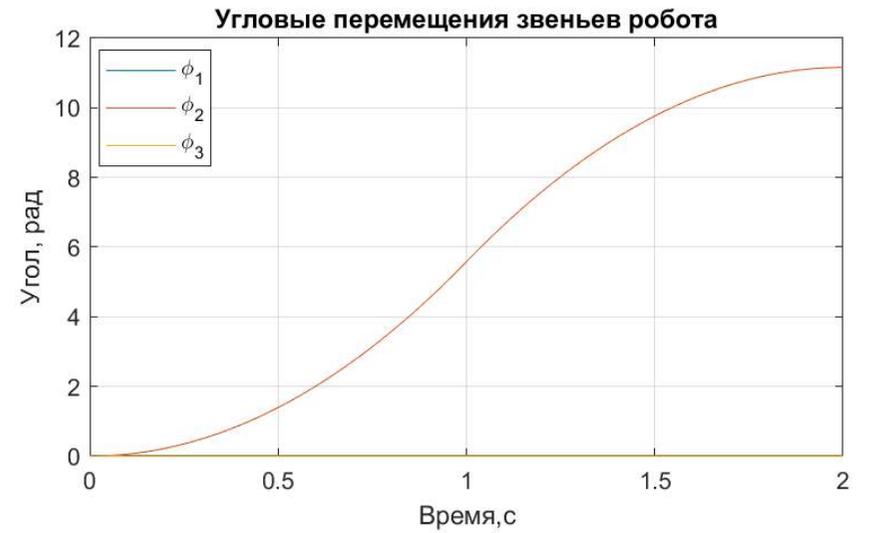
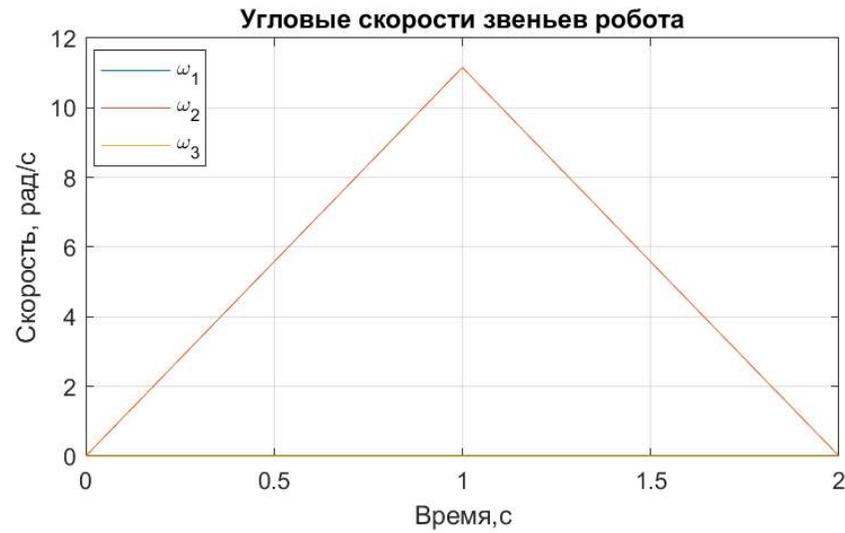


Графики третьей группы.

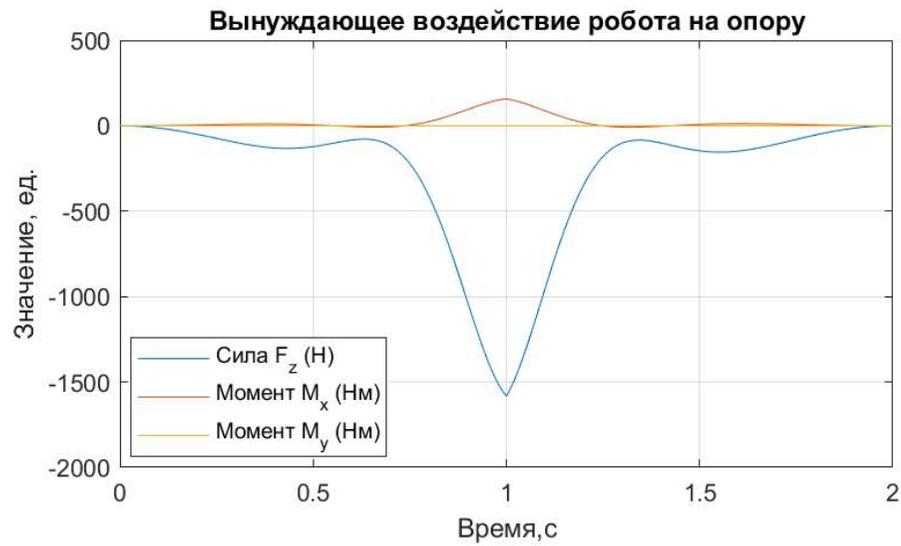
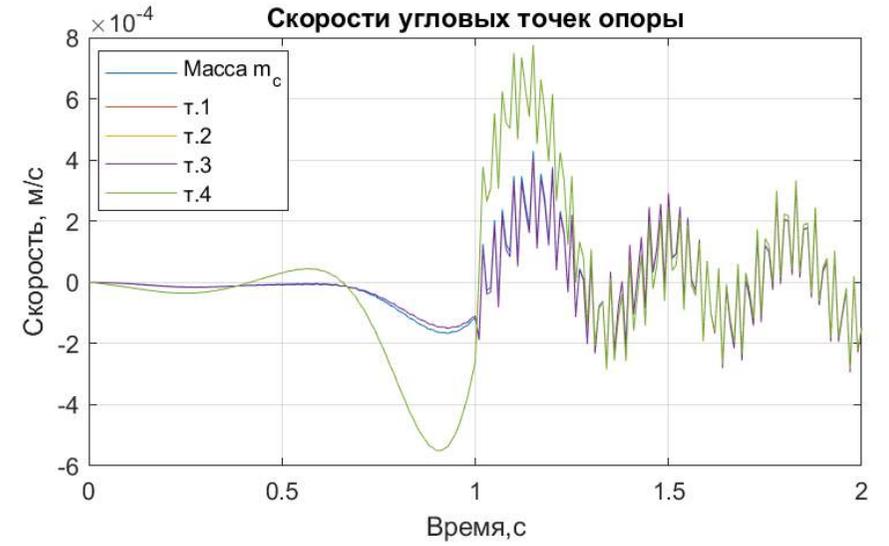
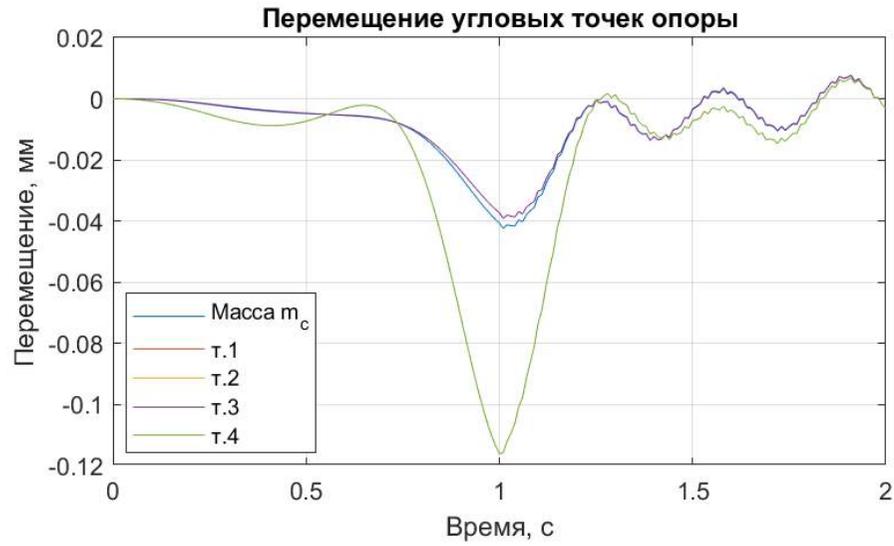


$$\varphi_1 = -45^\circ$$

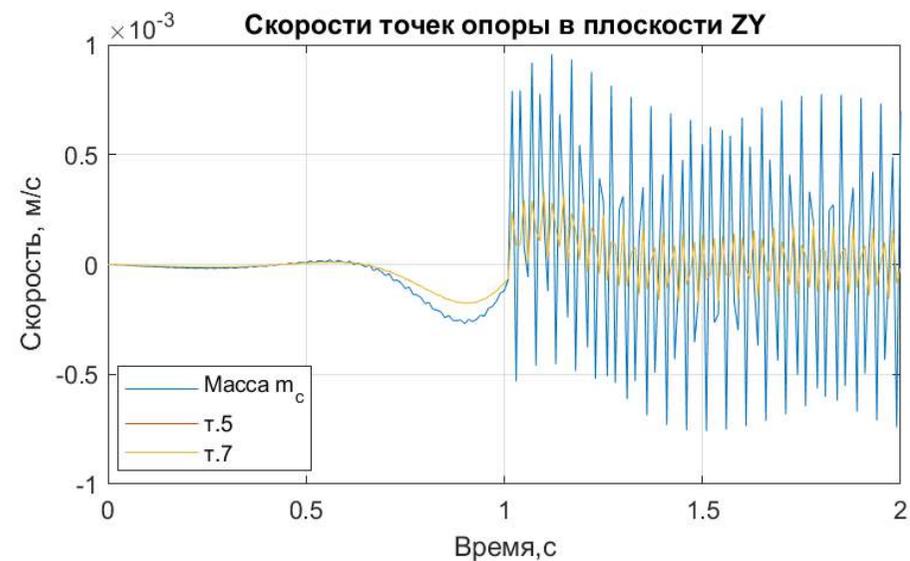
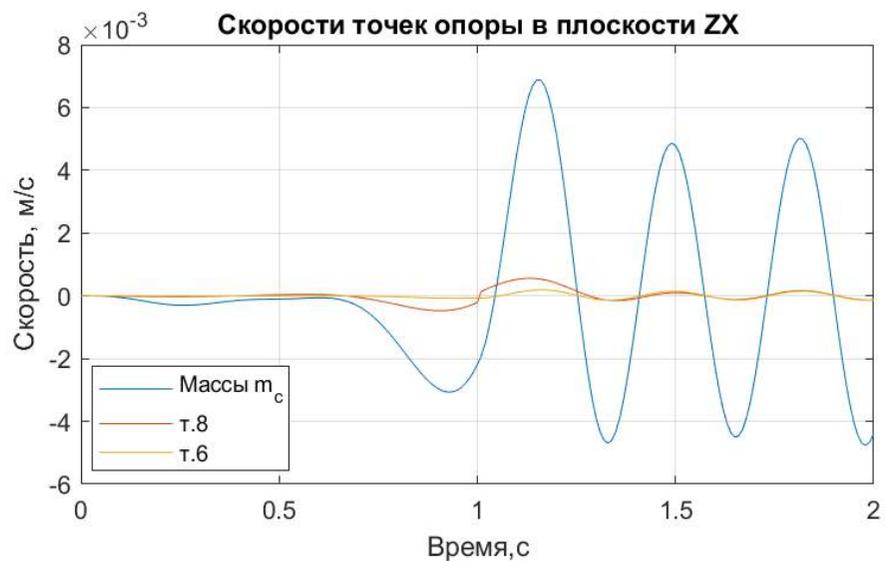
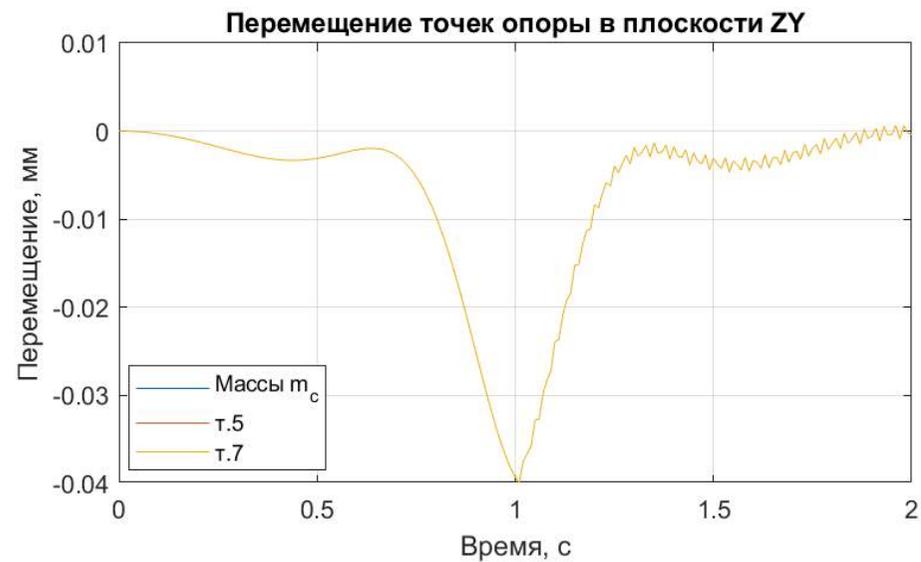
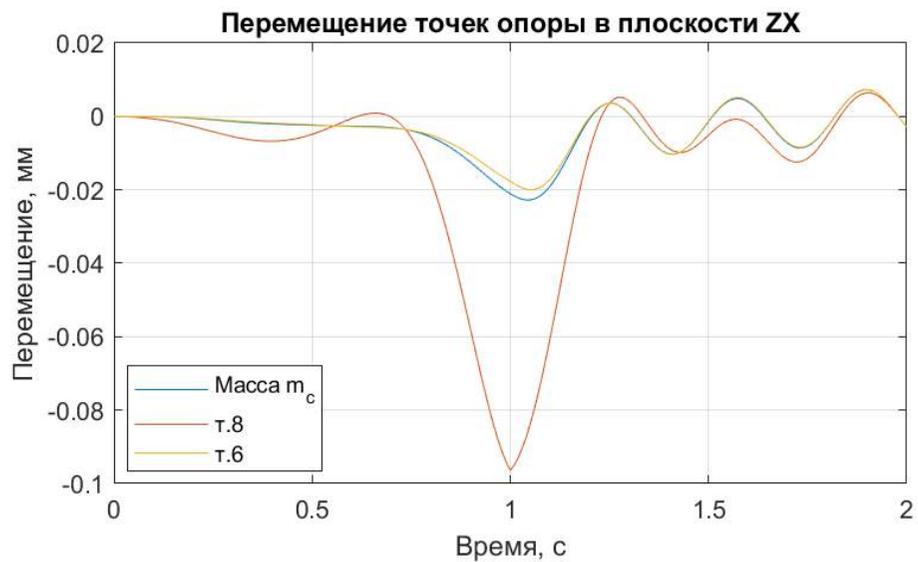
Графики первой группы.



Графики второй группы.

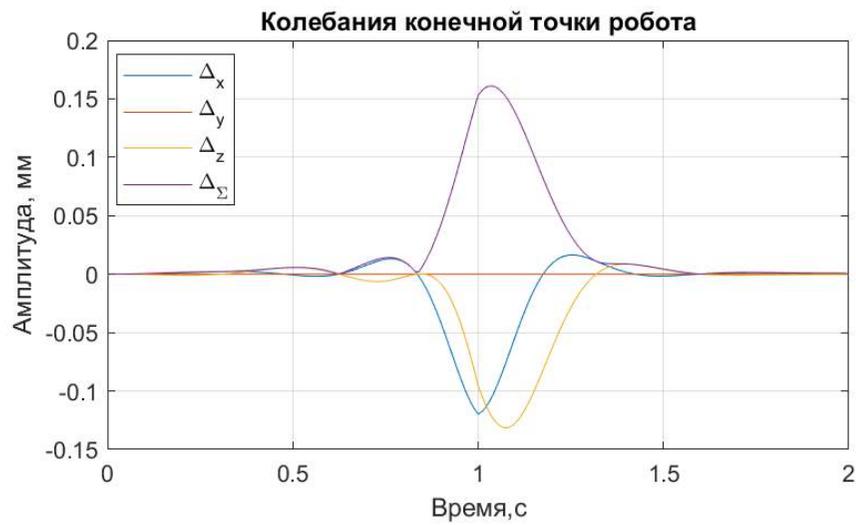
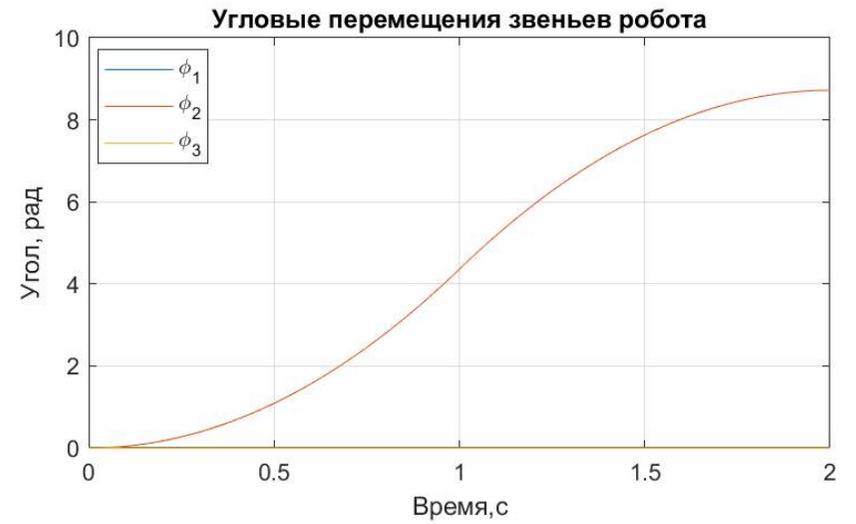
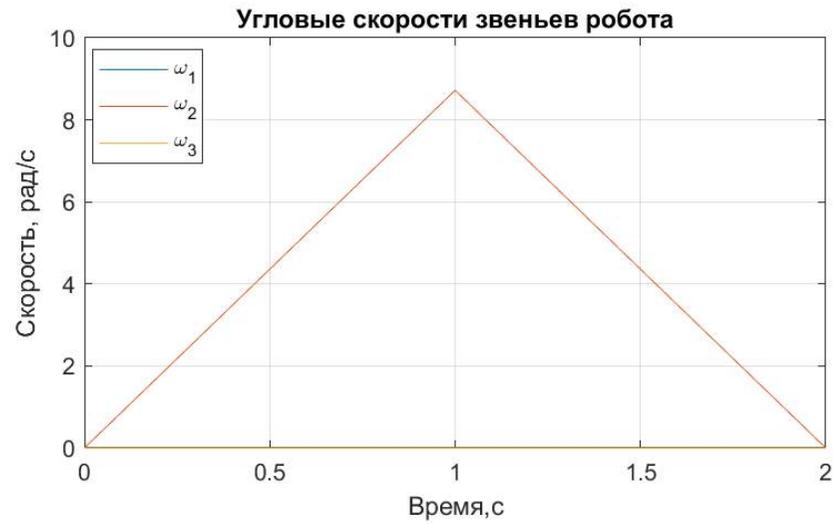


Графики третьей группы.

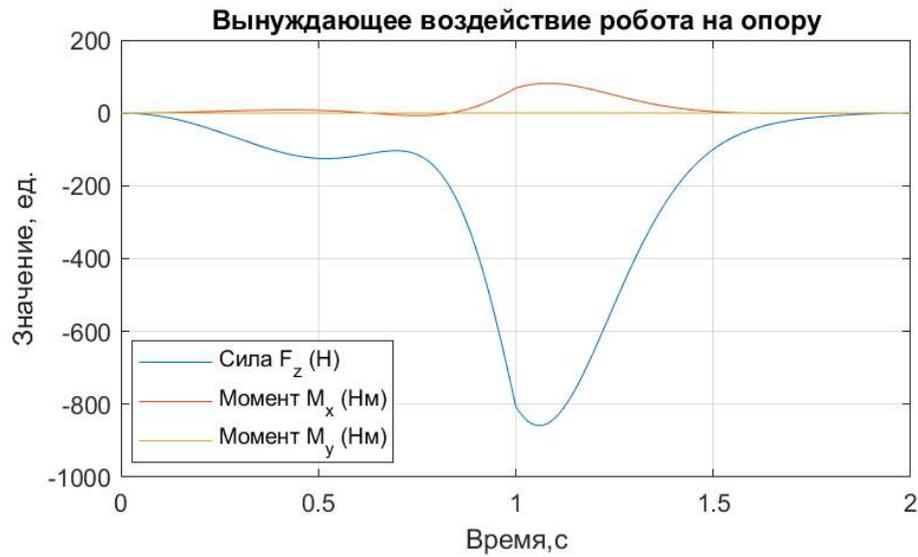
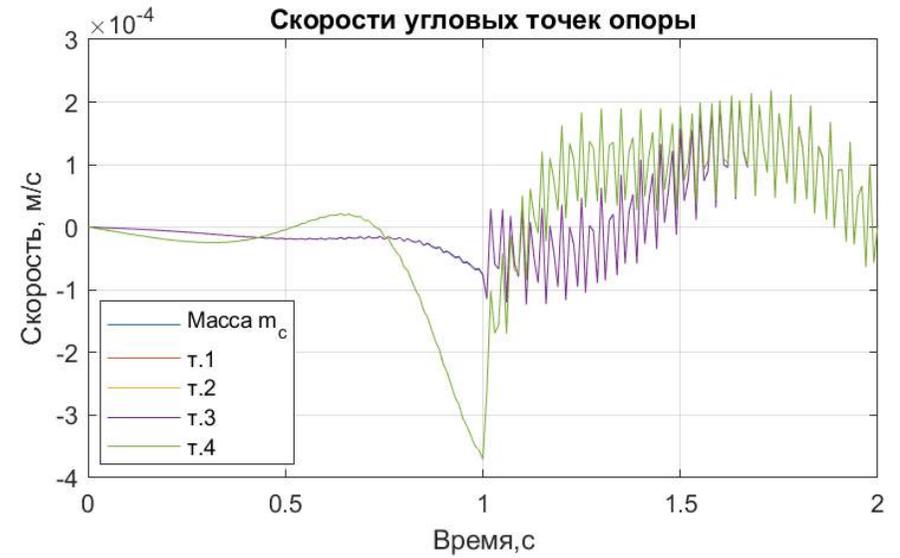
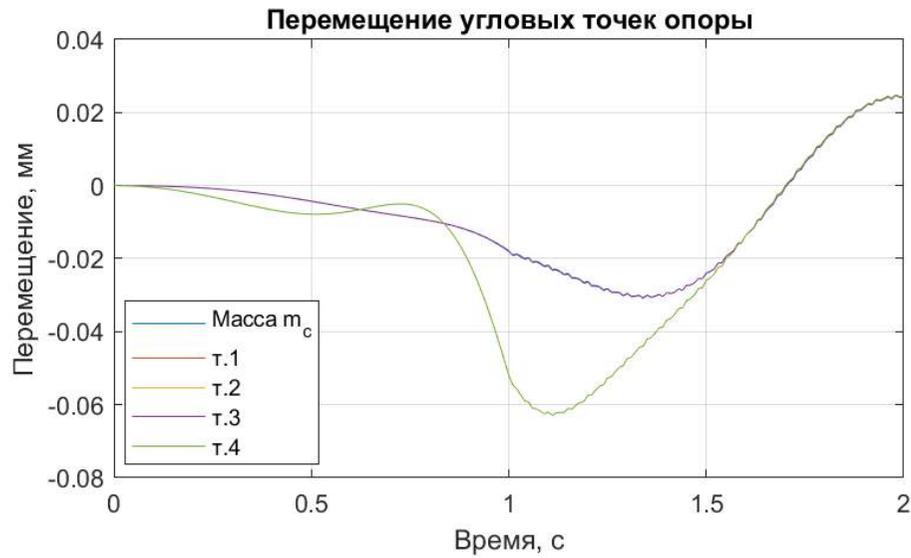


$$\varphi_1 = -30^\circ$$

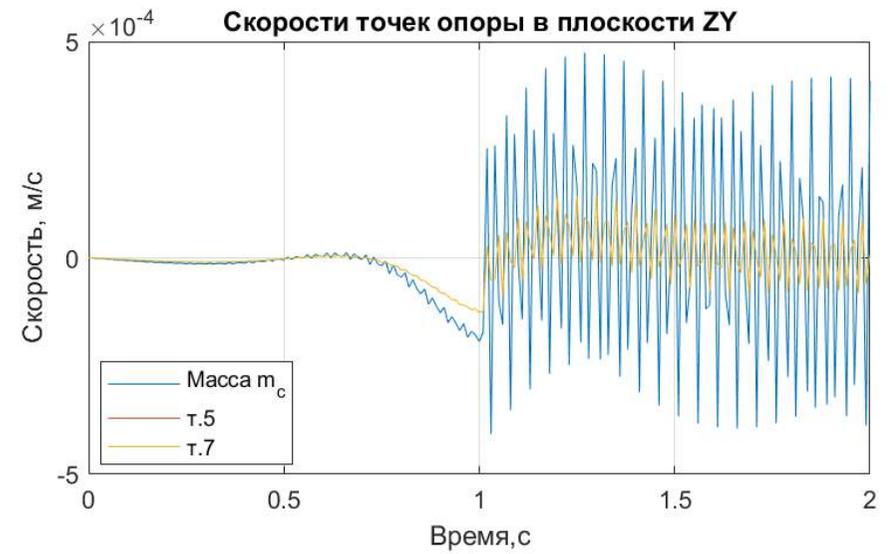
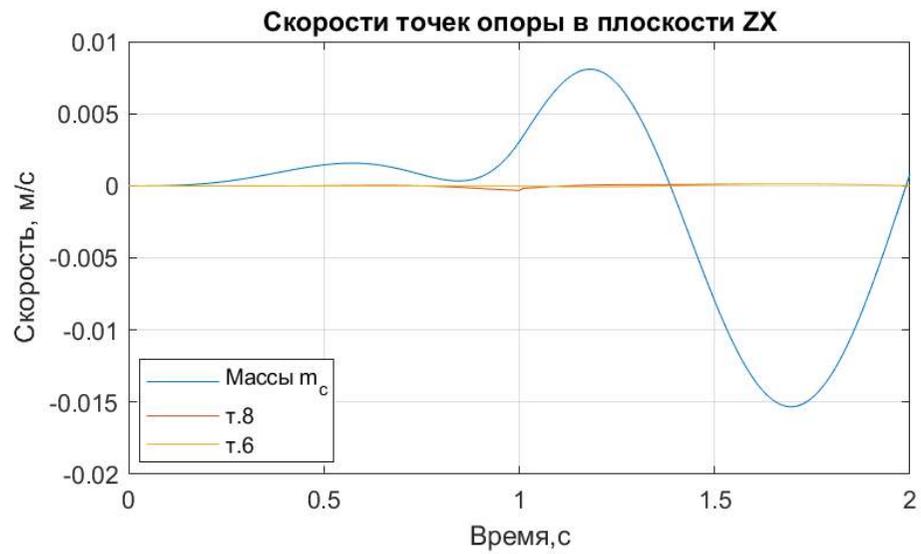
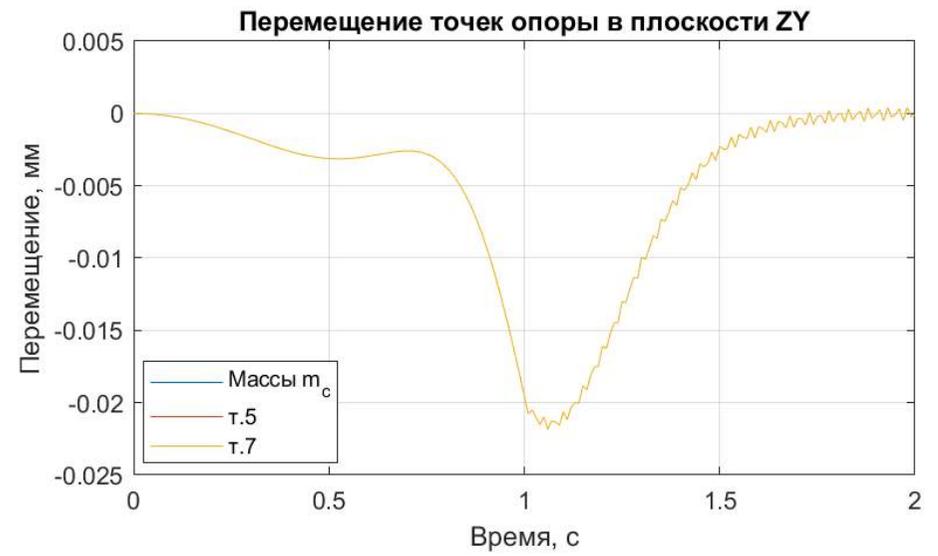
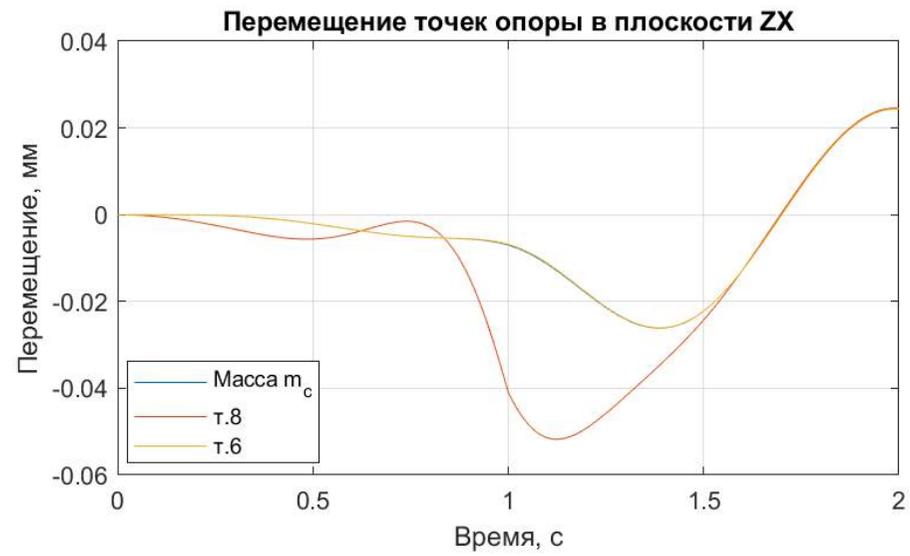
Графики первой группы.



Графики второй группы.

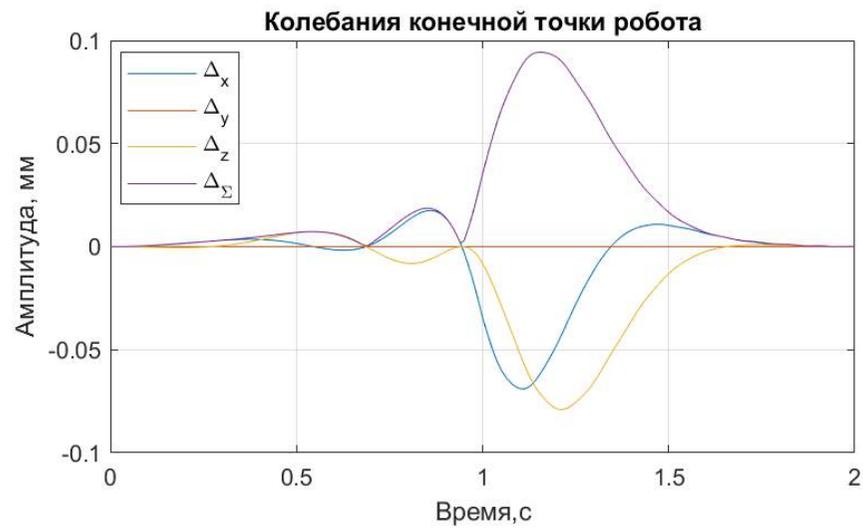
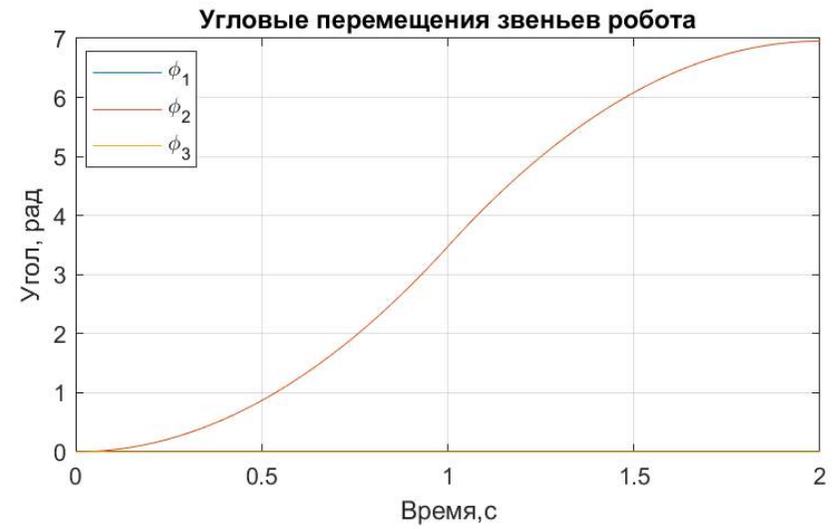
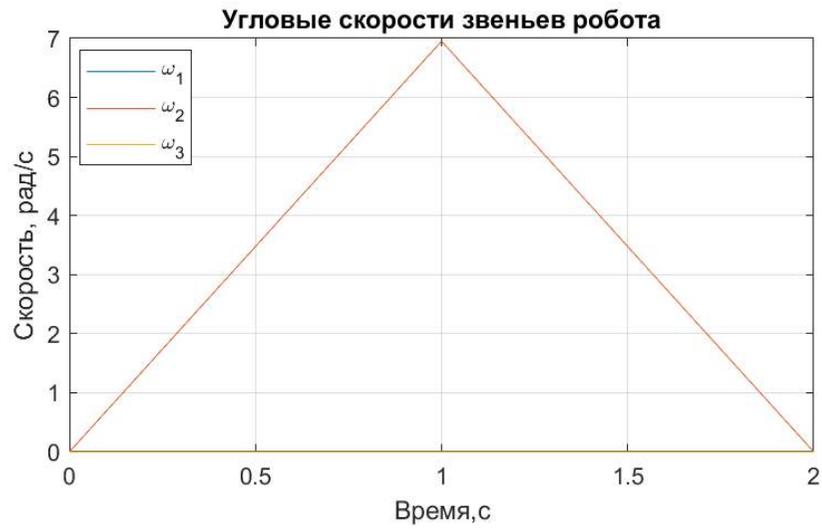


Графики третьей группы.

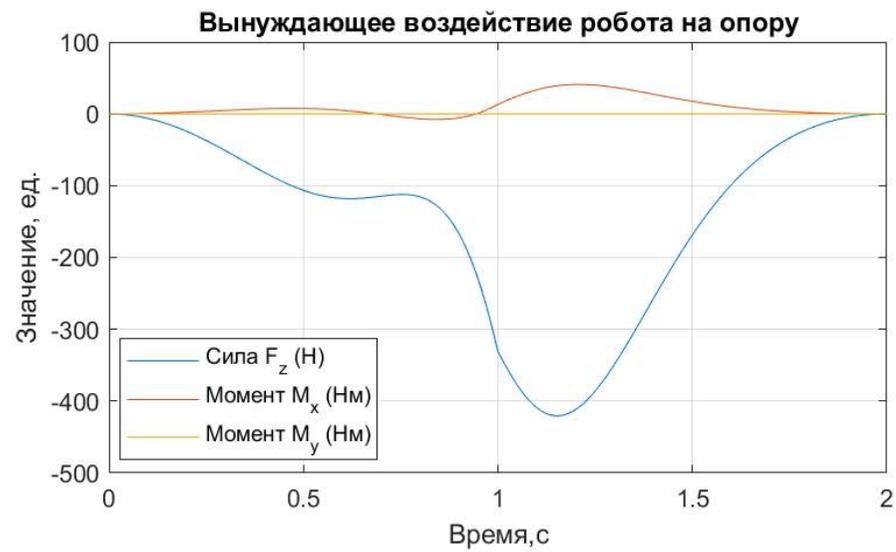
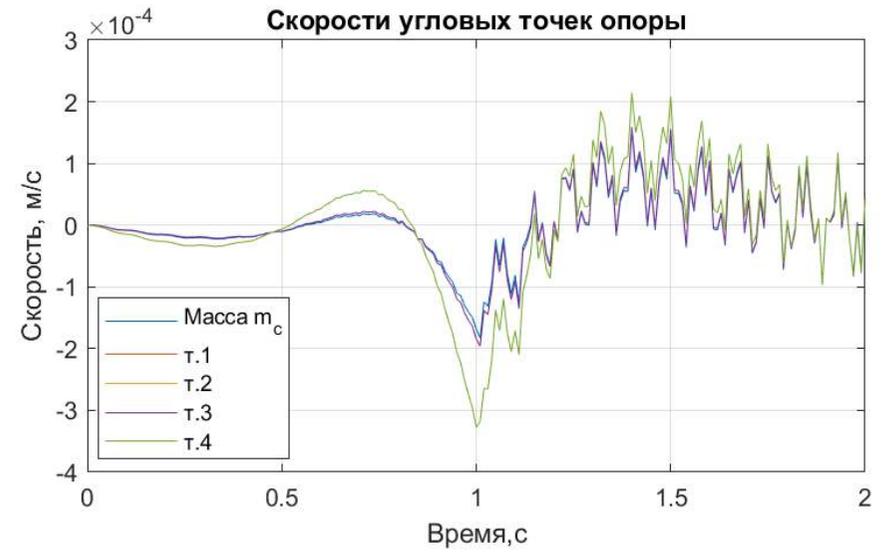
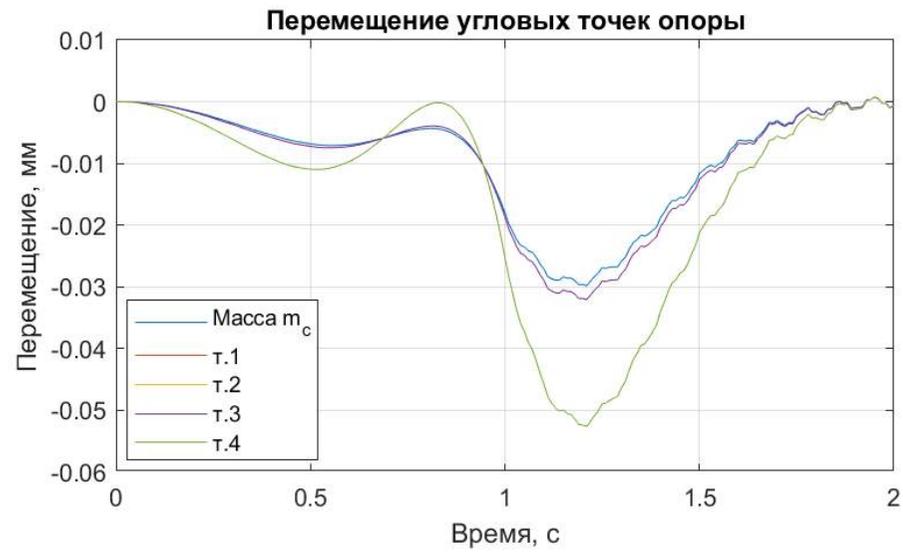


$$\phi_1 = -15^\circ$$

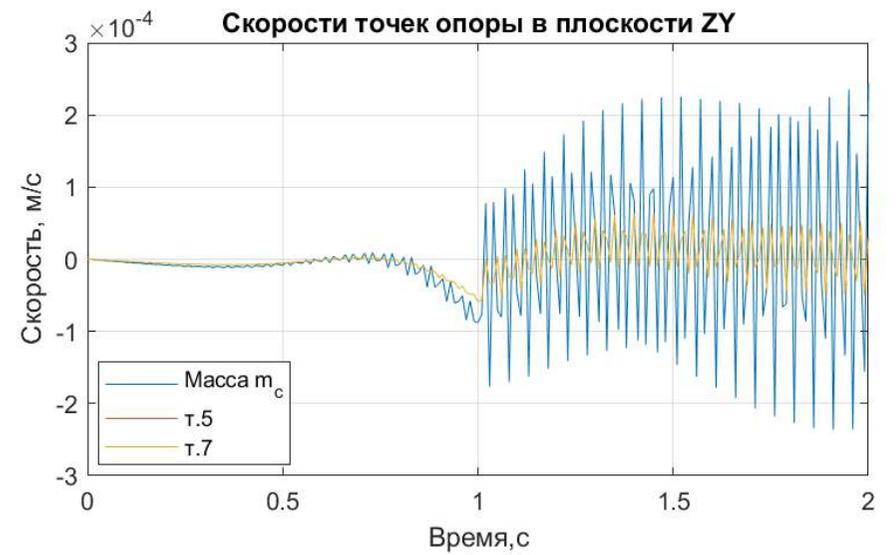
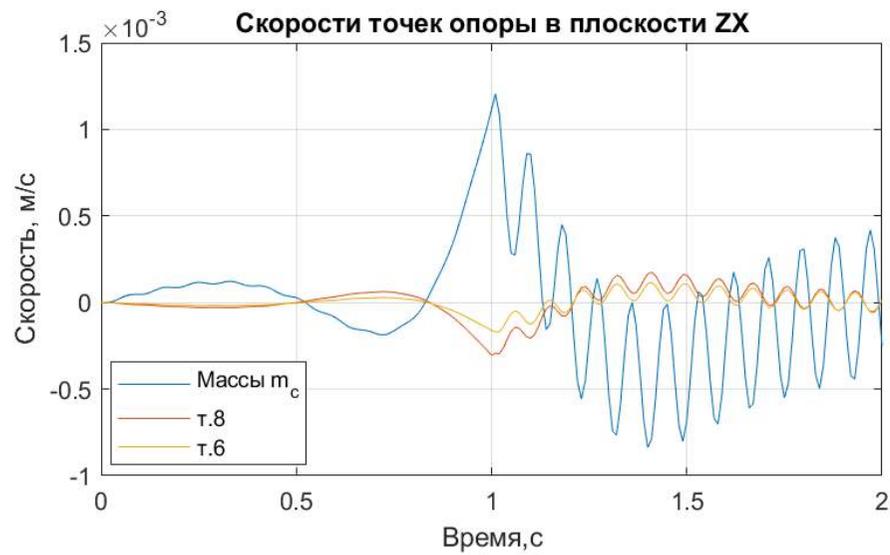
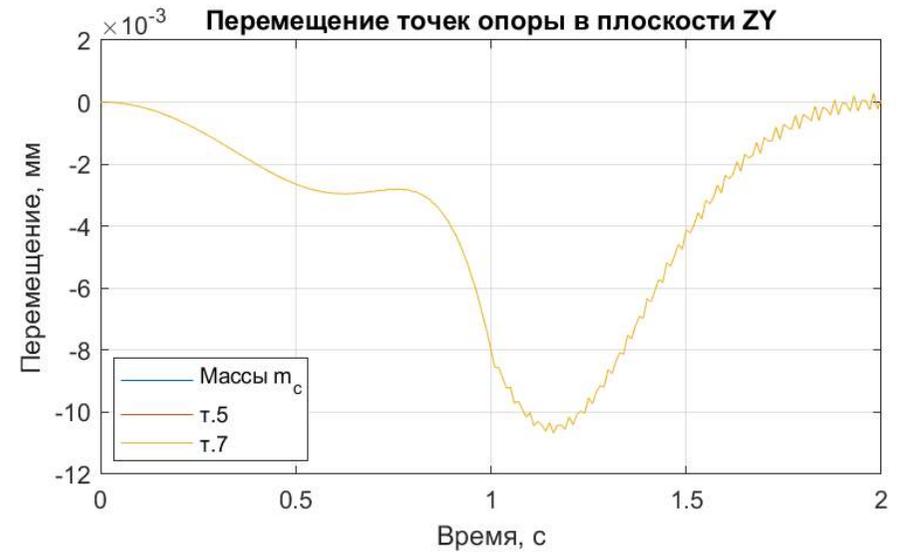
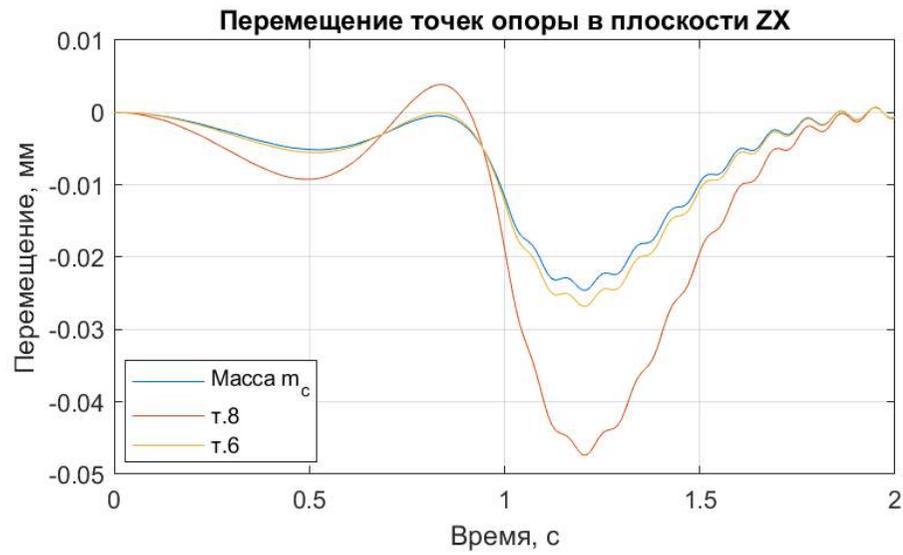
Графики первой группы.



Графики второй группы.

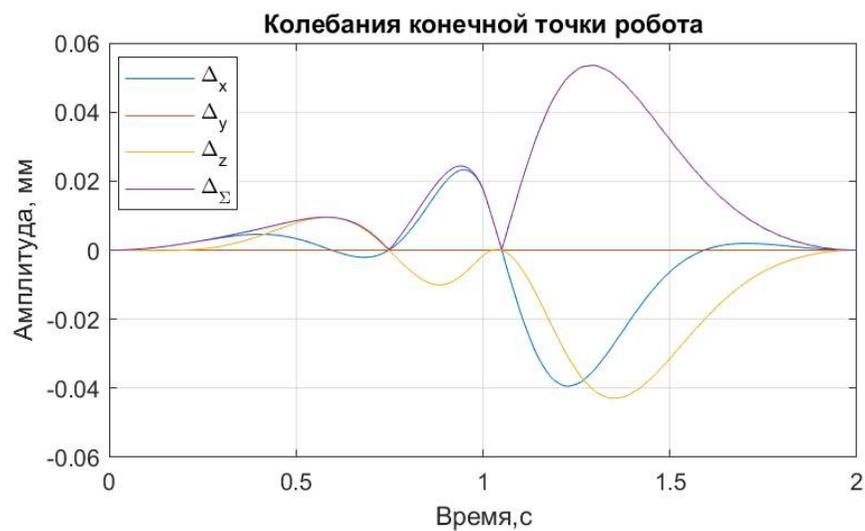
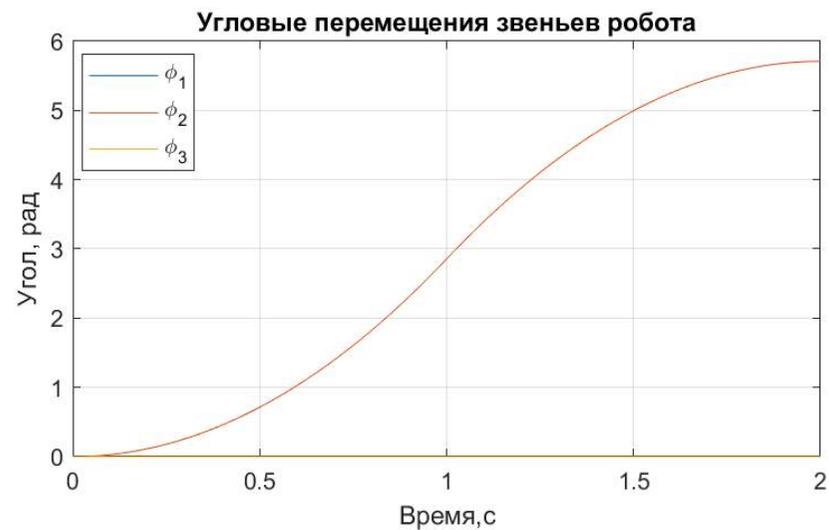
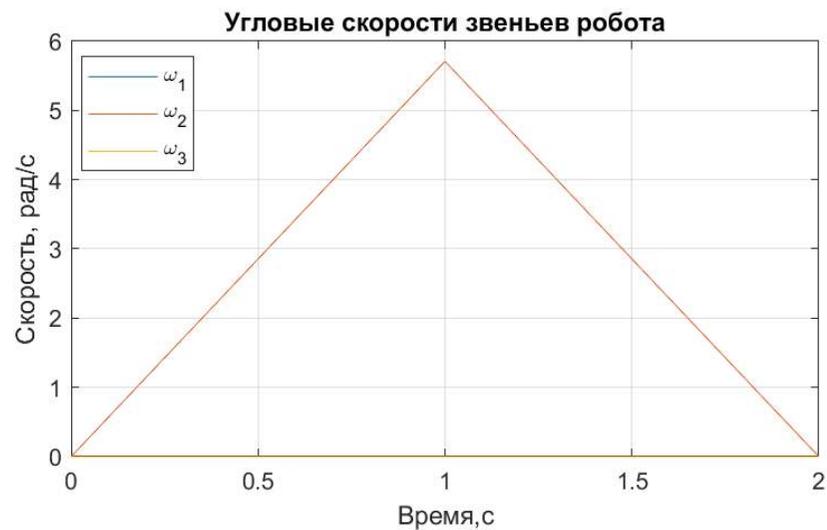


Графики третьей группы.

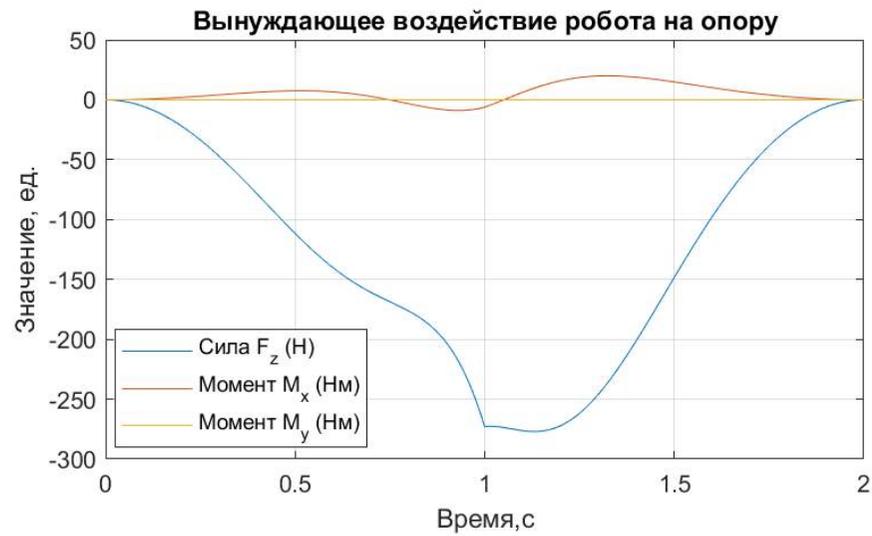
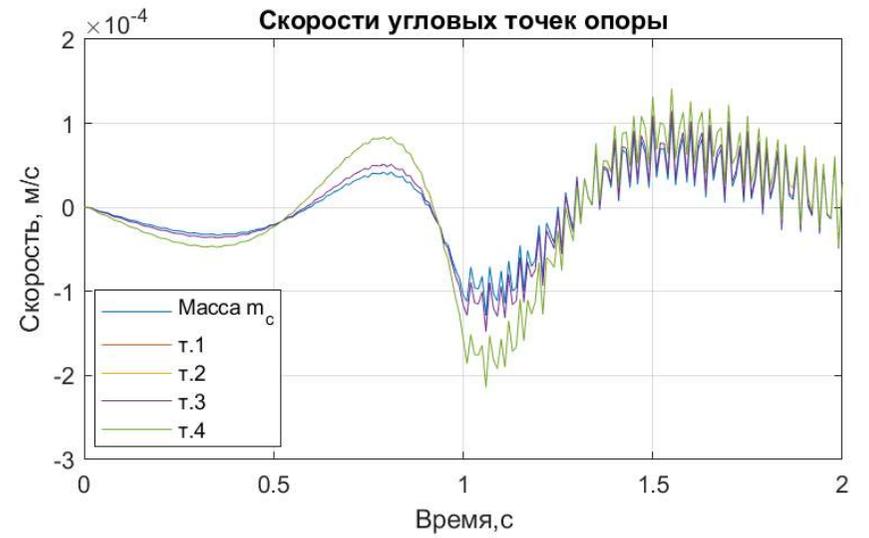
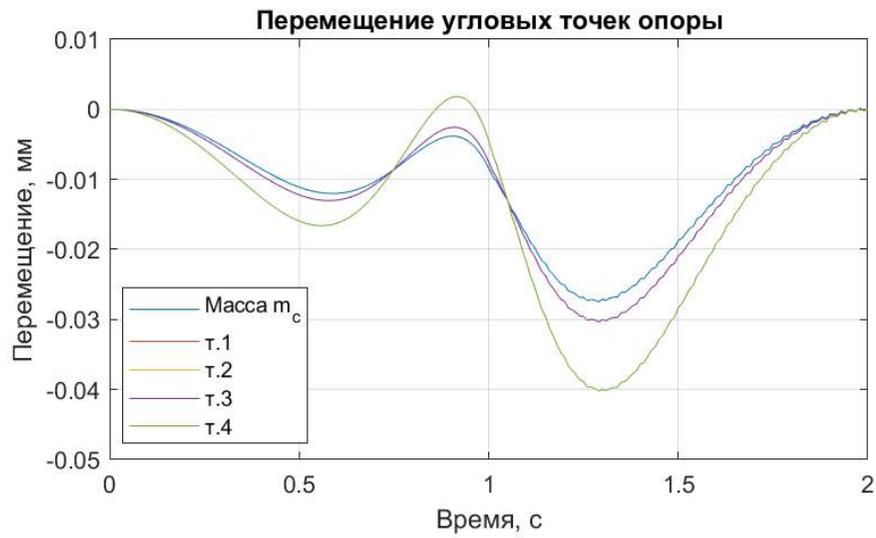


$$\varphi_1 = 0^\circ$$

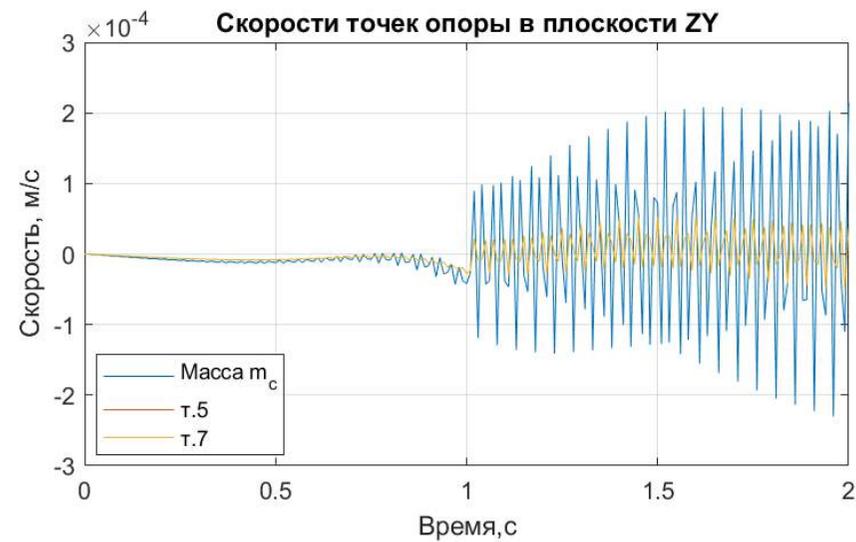
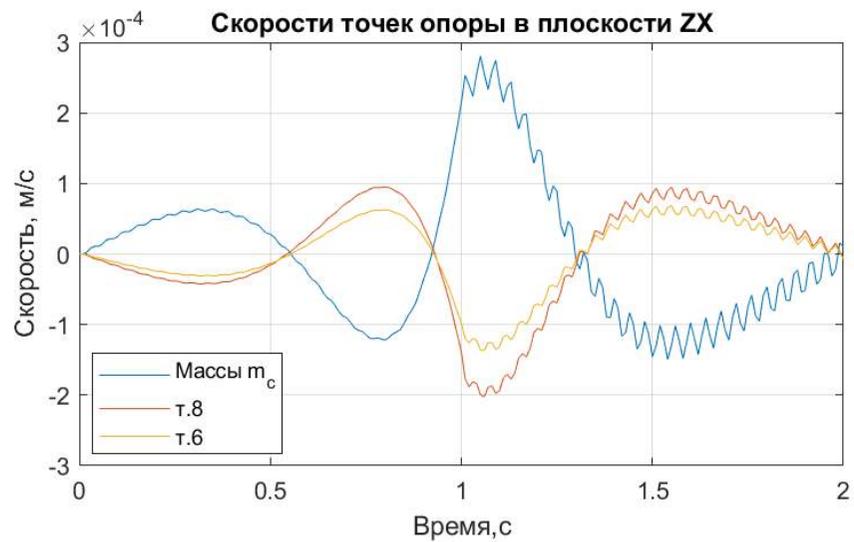
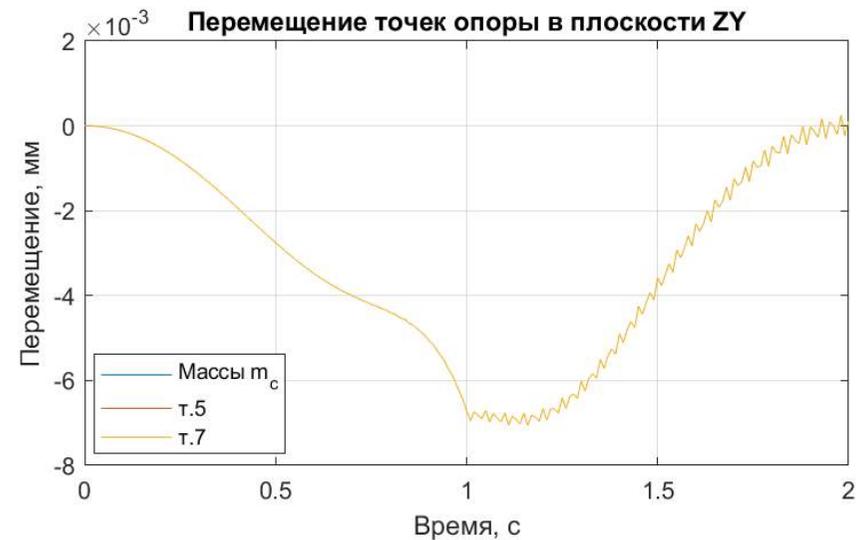
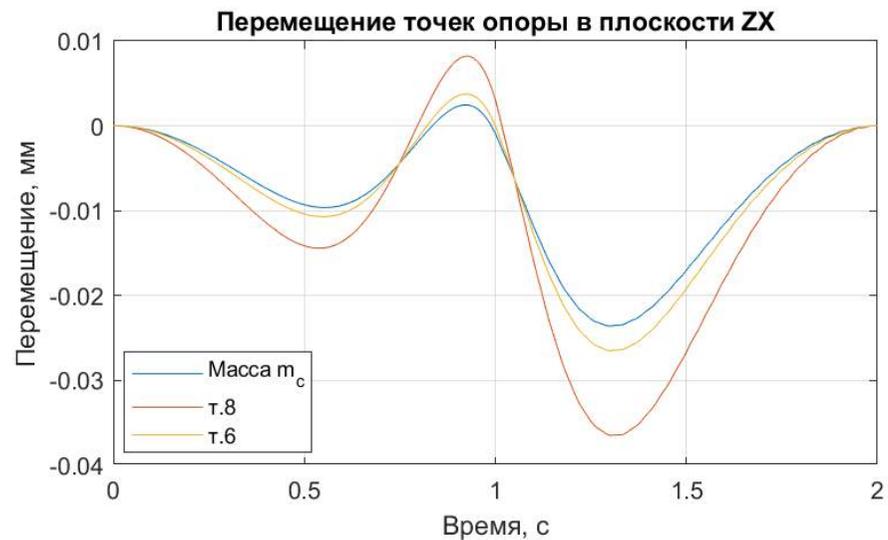
Графики первой группы.



Графики второй группы.

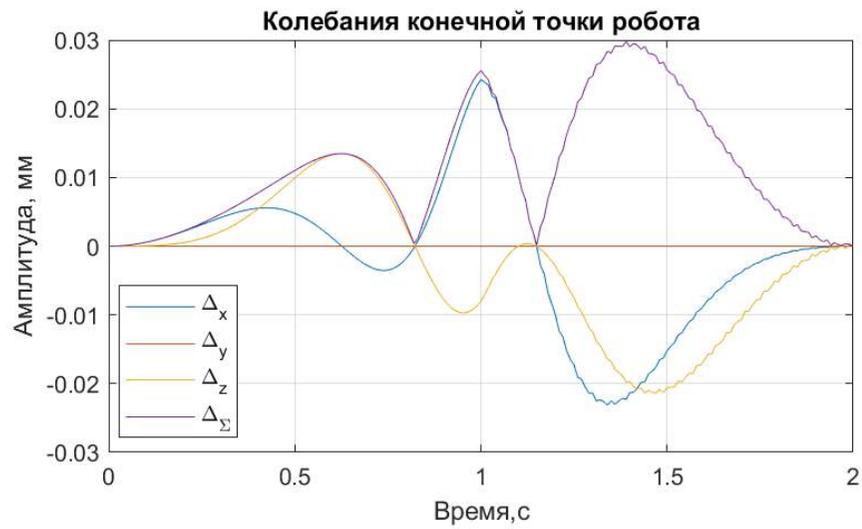
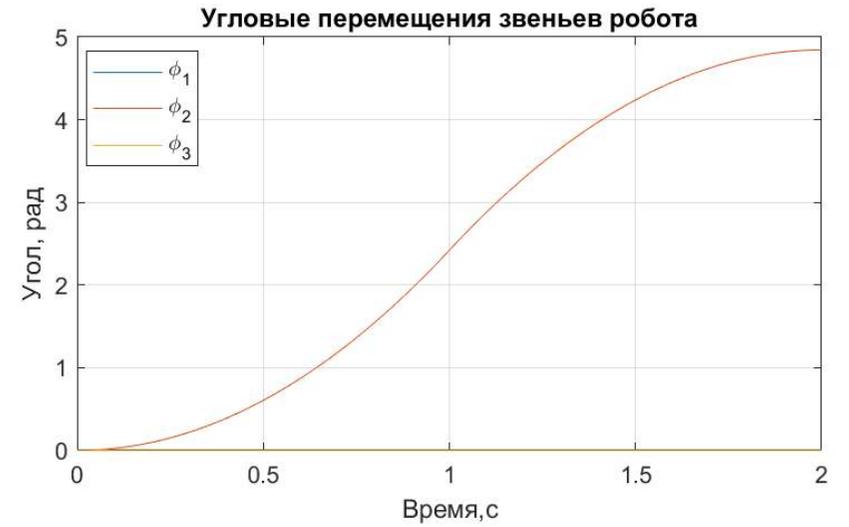
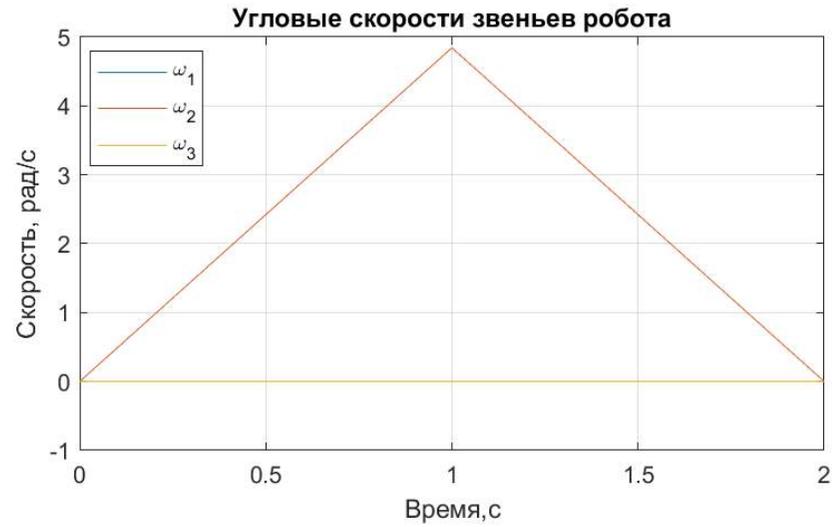


Графики третьей группы.

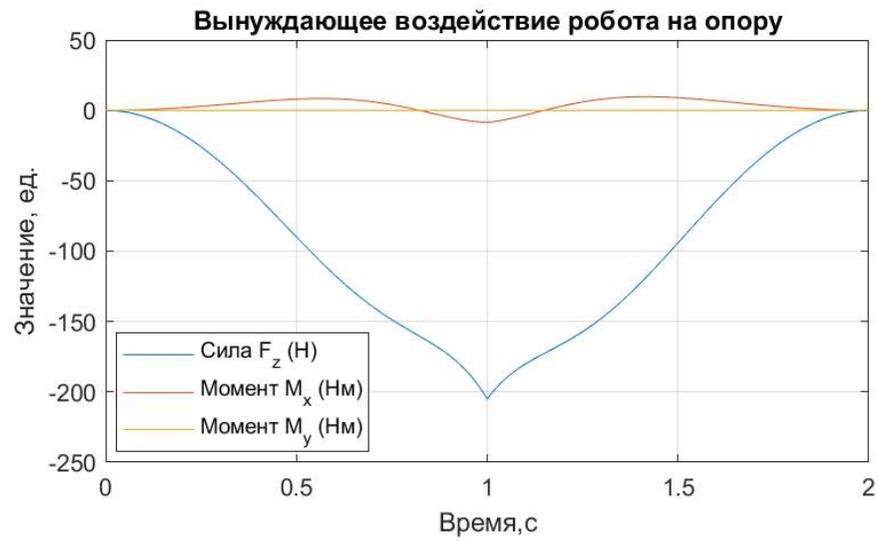
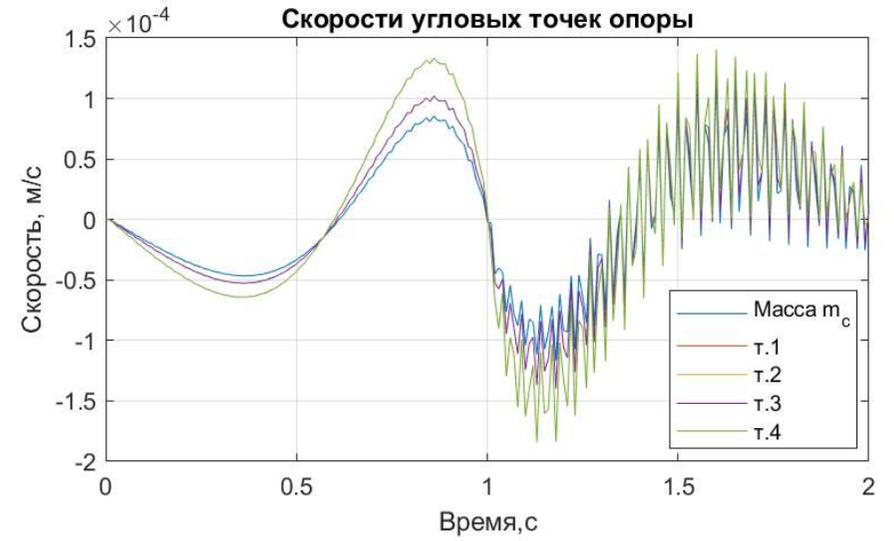
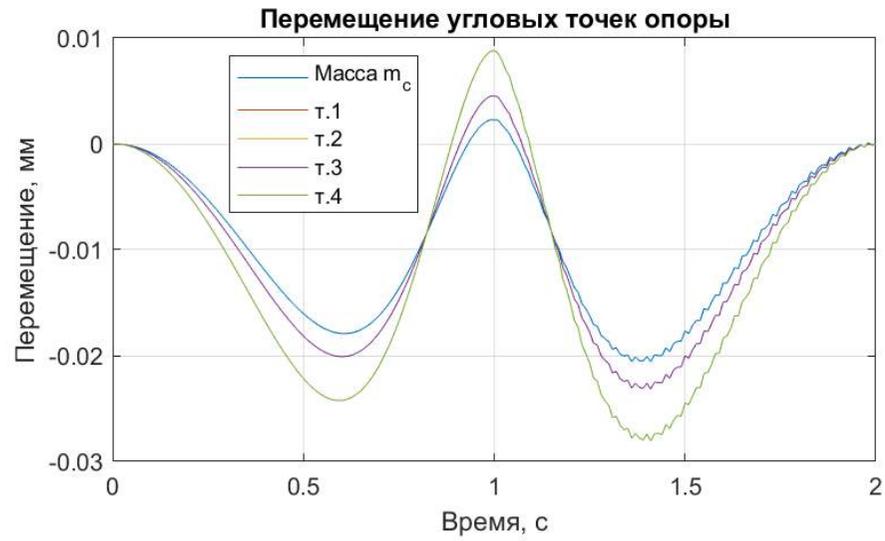


$$\varphi_1 = 15^\circ$$

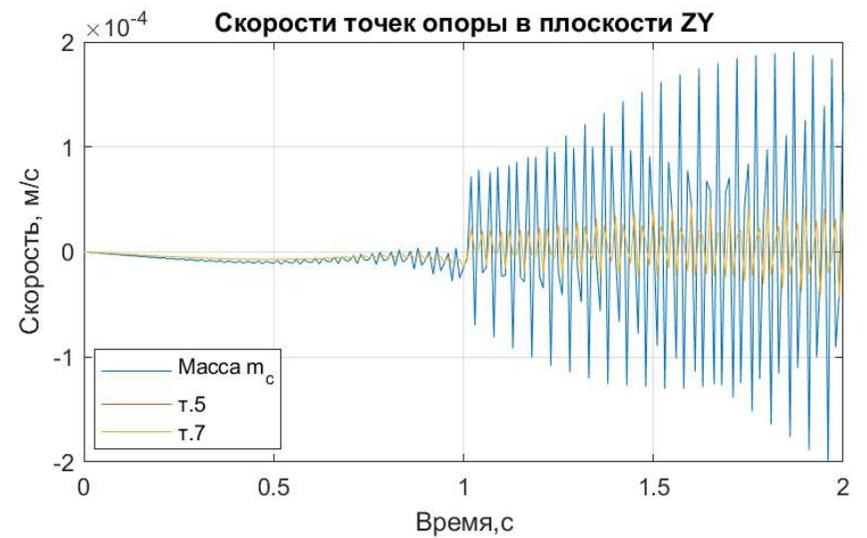
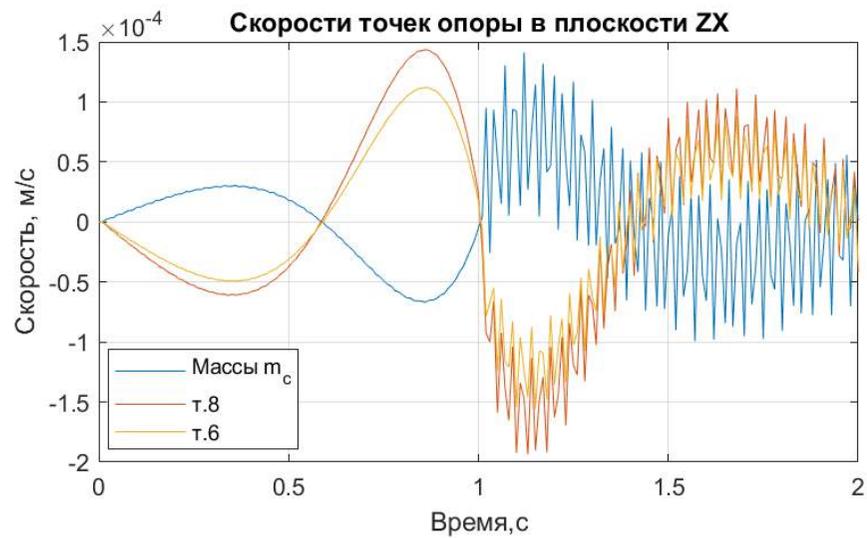
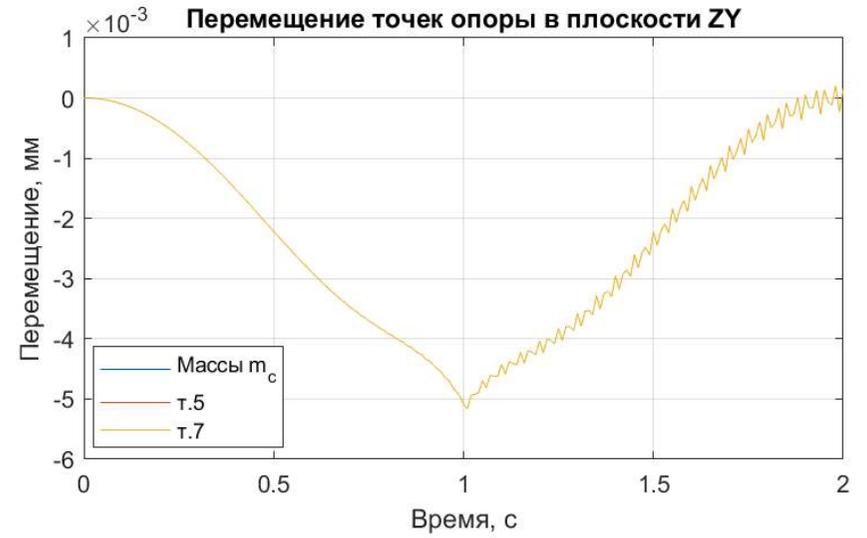
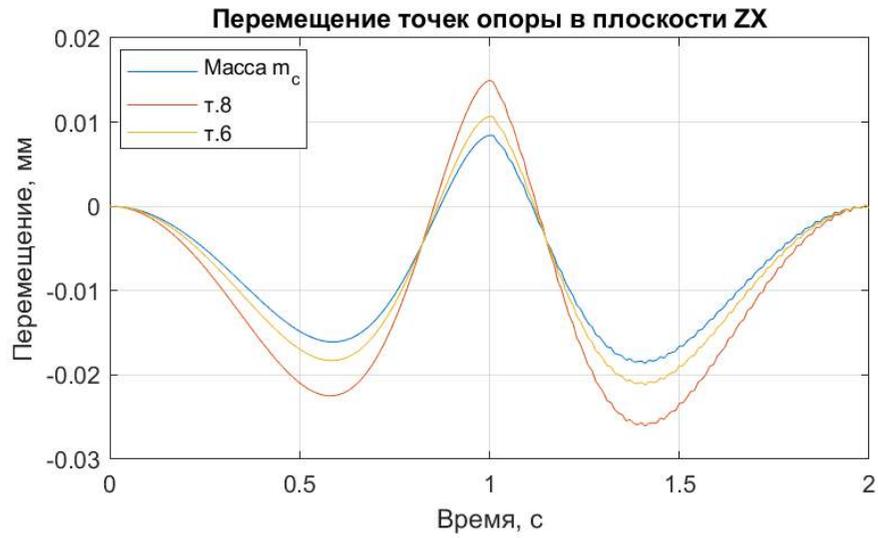
Графики первой группы.



Графики второй группы.

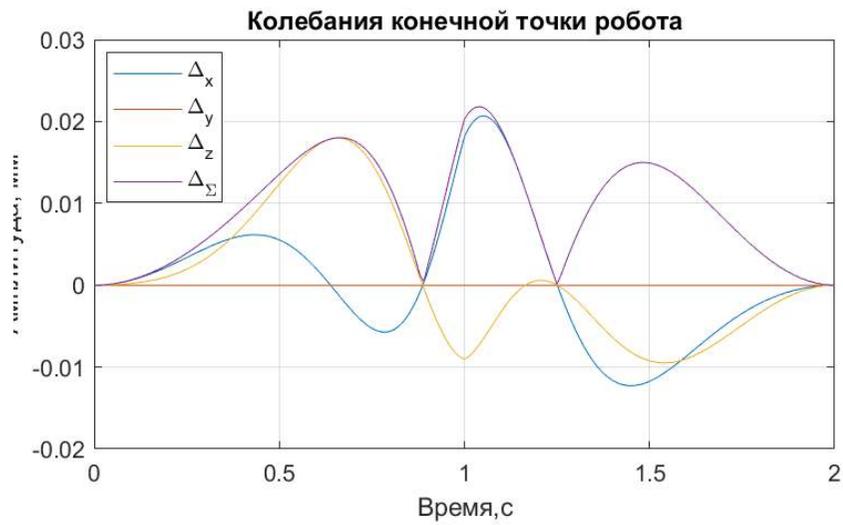
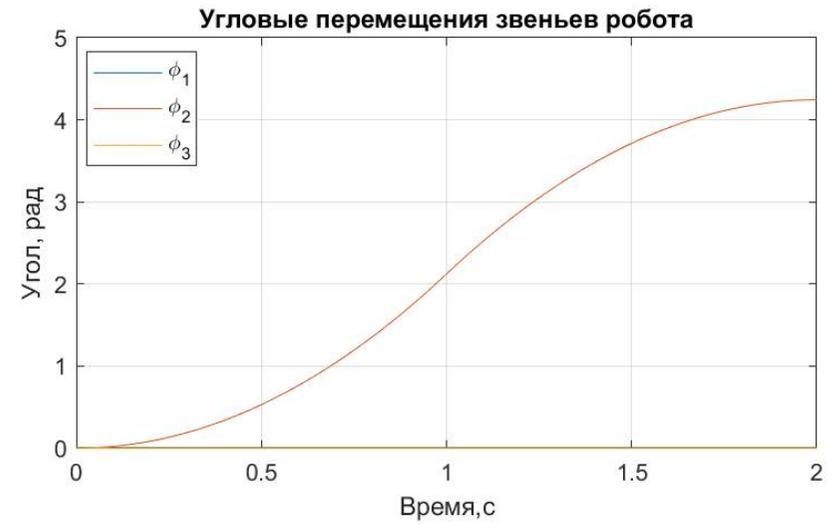
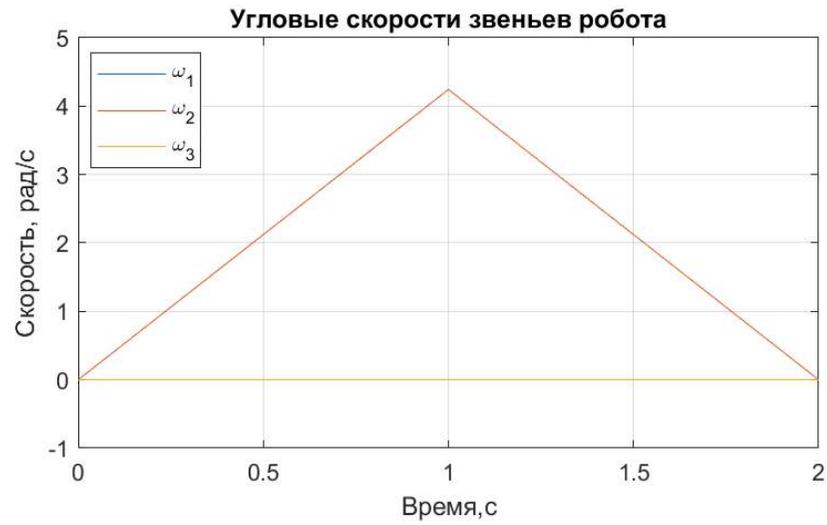


Графики третьей группы.

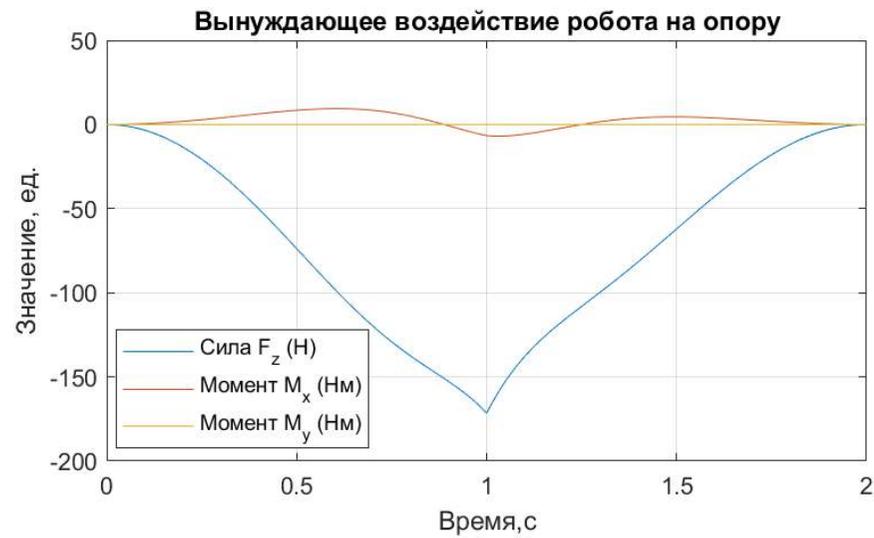
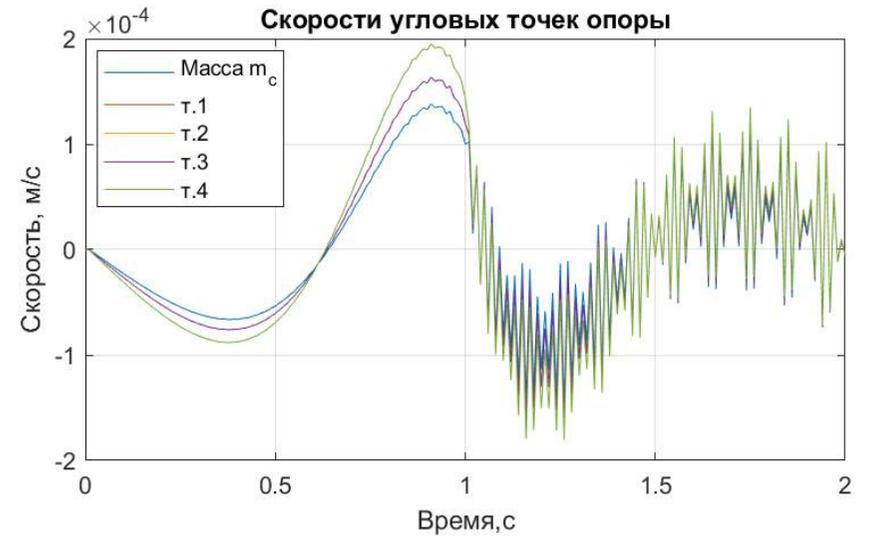
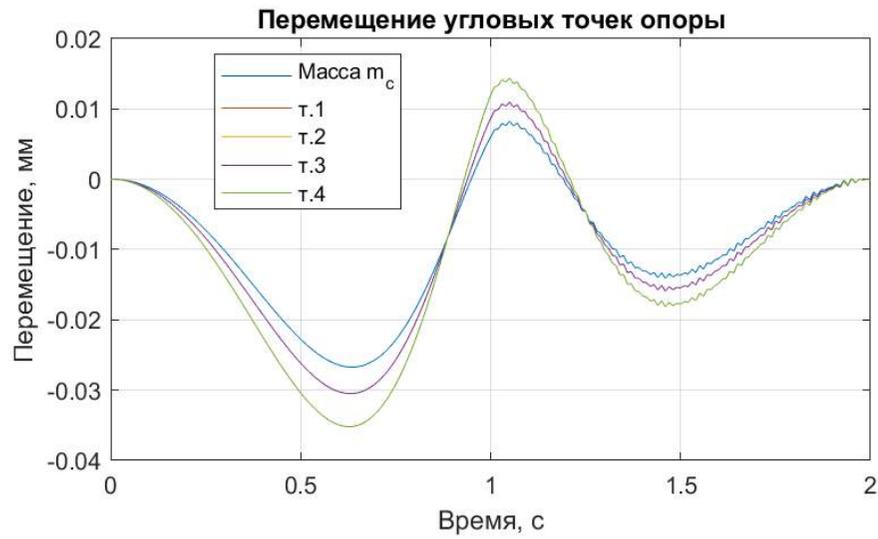


$$\phi_1 = 30^\circ$$

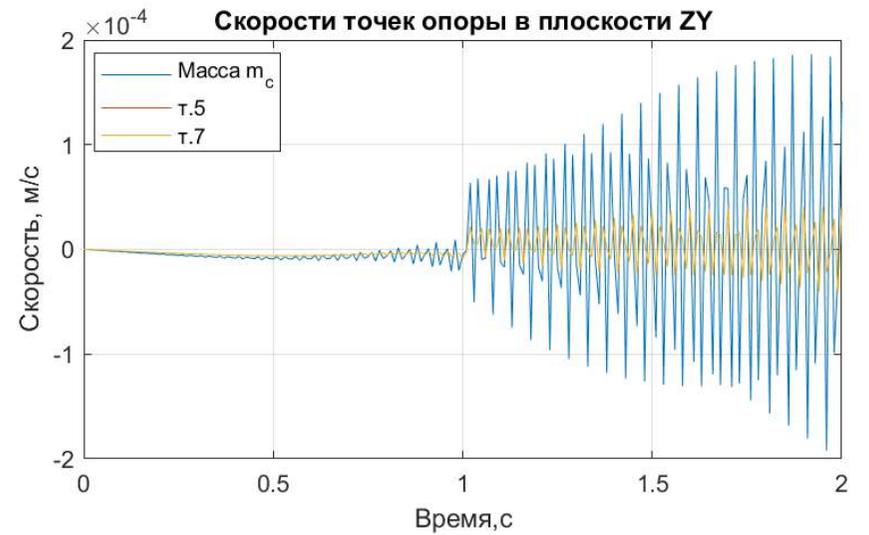
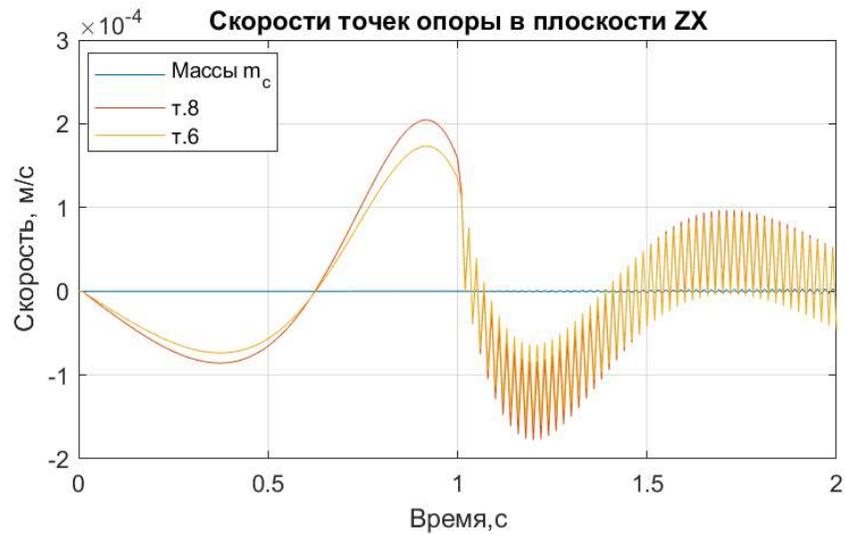
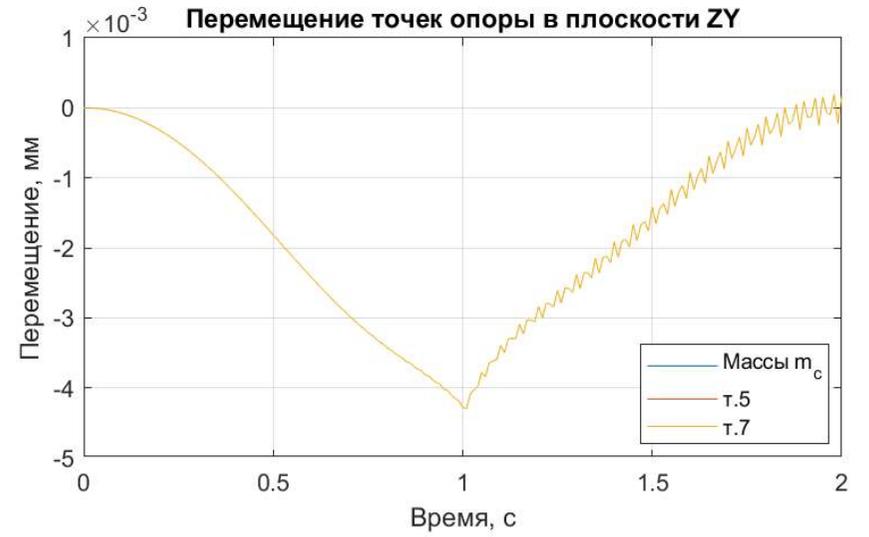
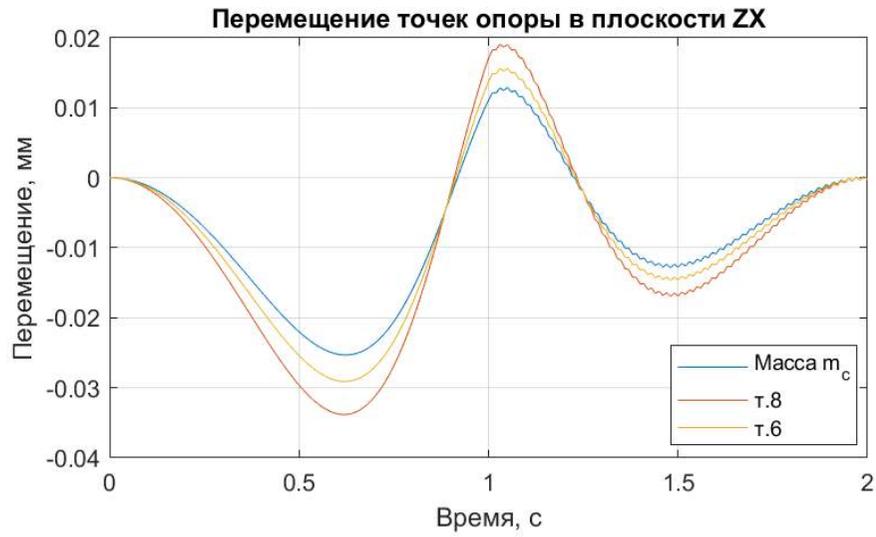
Графики первой группы.



Графики второй группы.

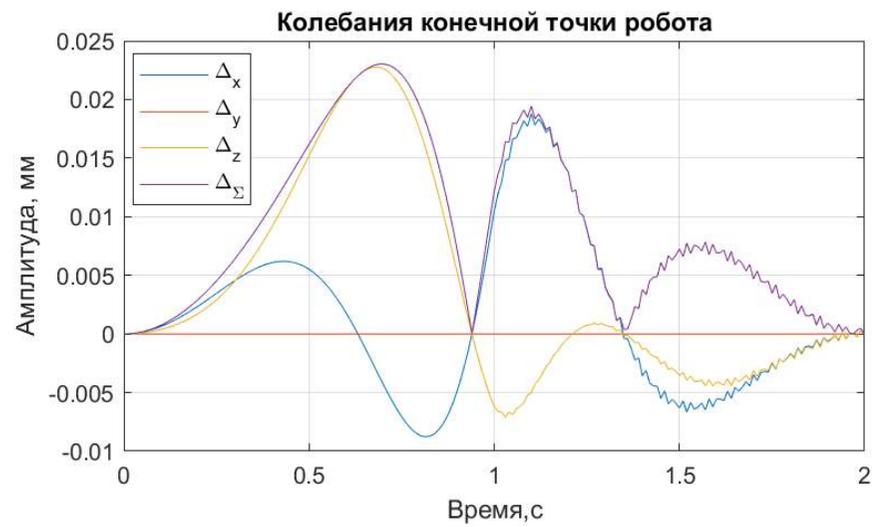
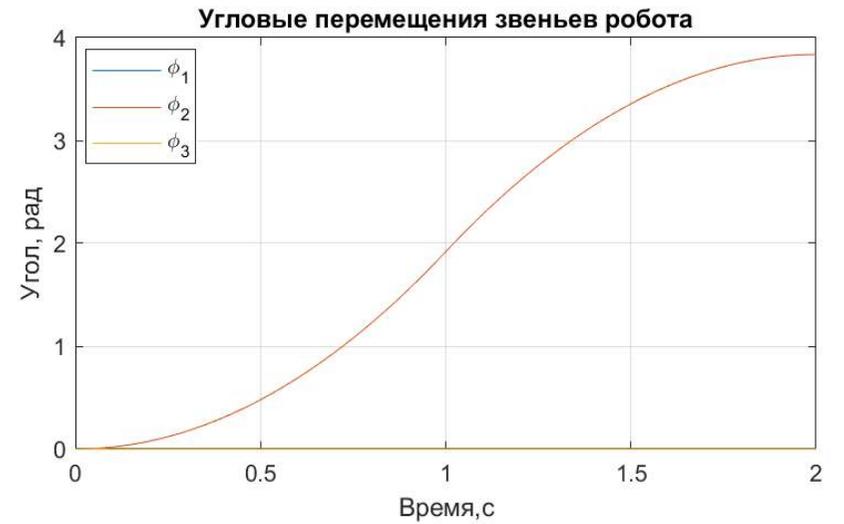
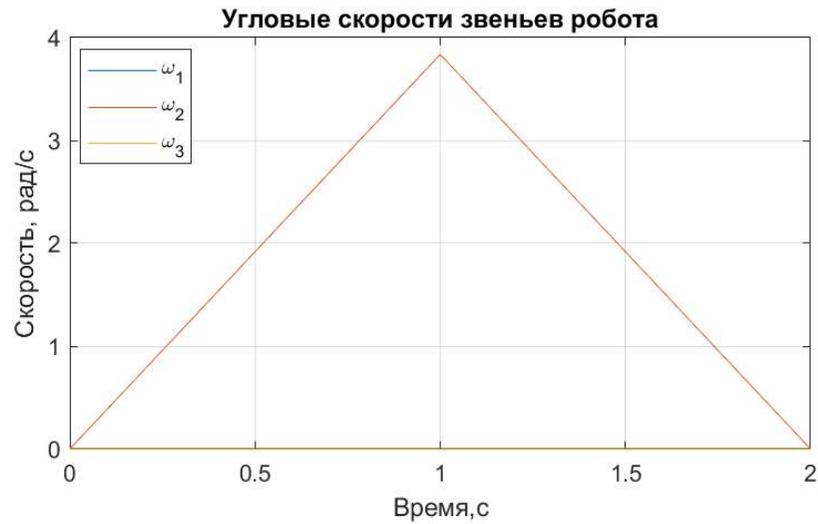


Графики третьей группы.

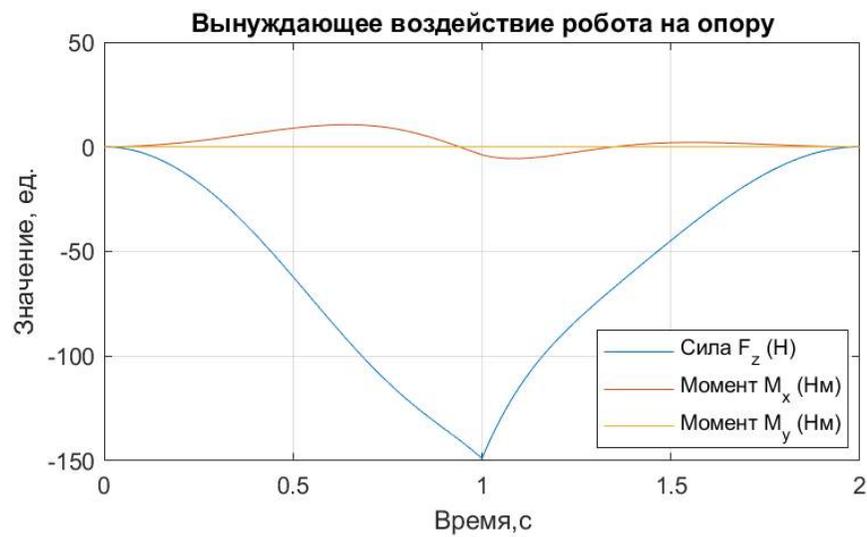
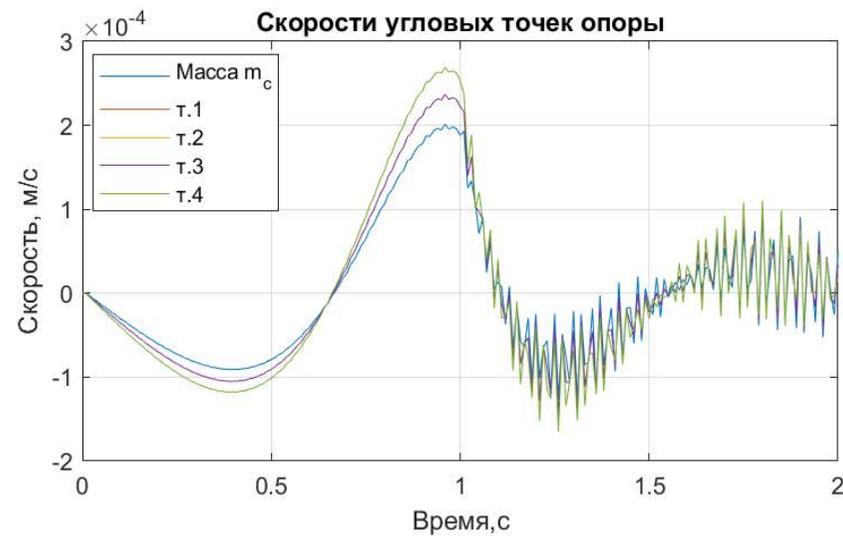
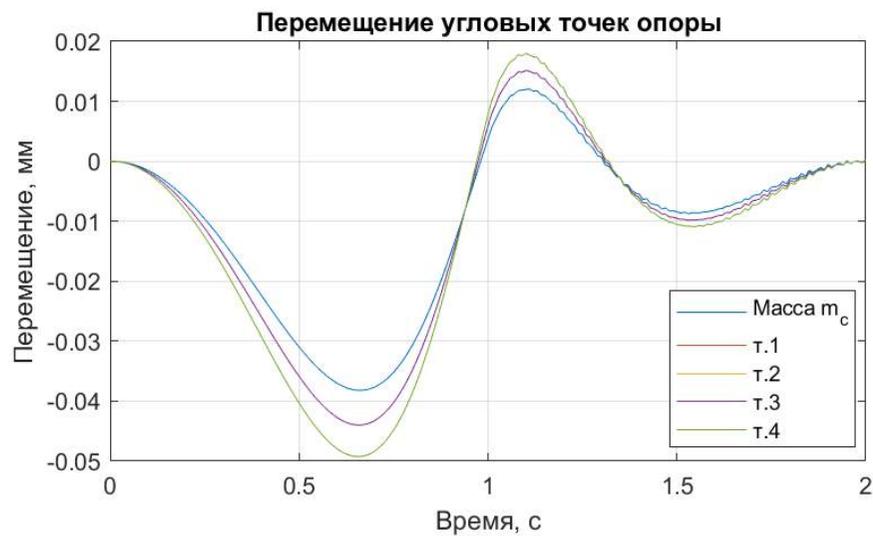


$$\varphi_1 = 45^\circ$$

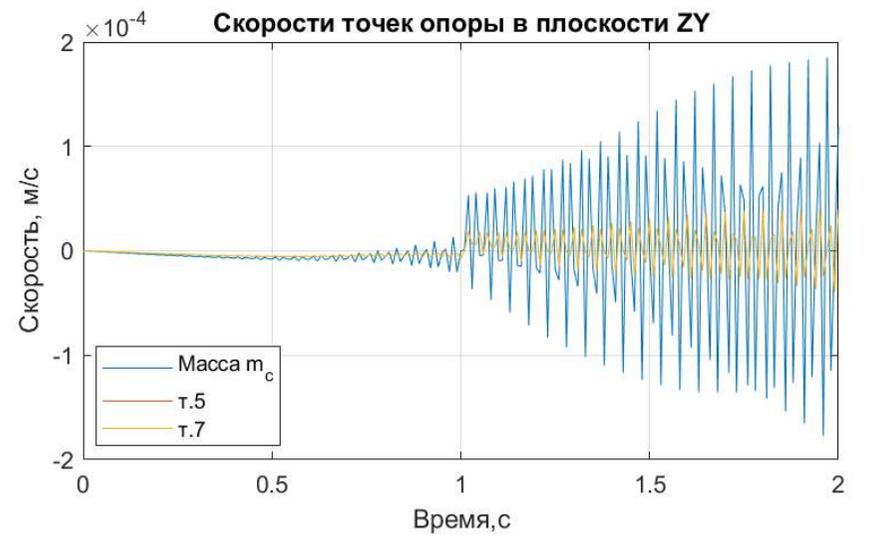
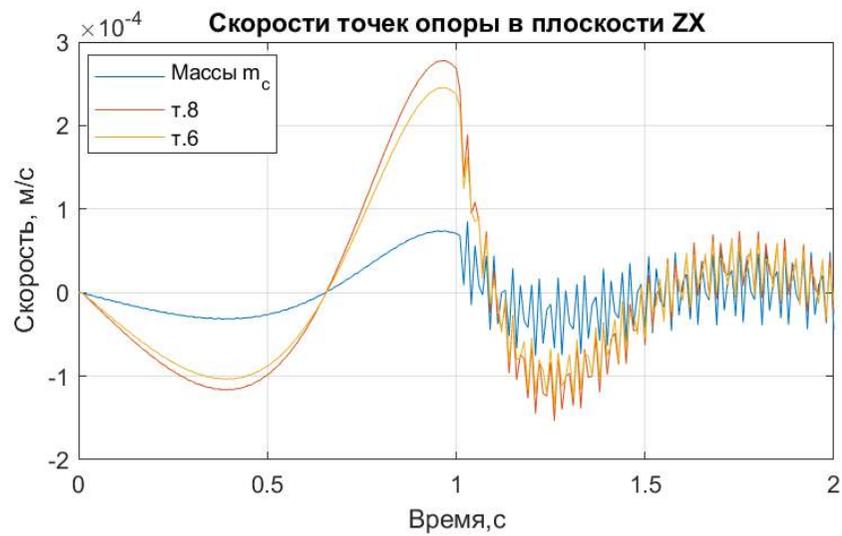
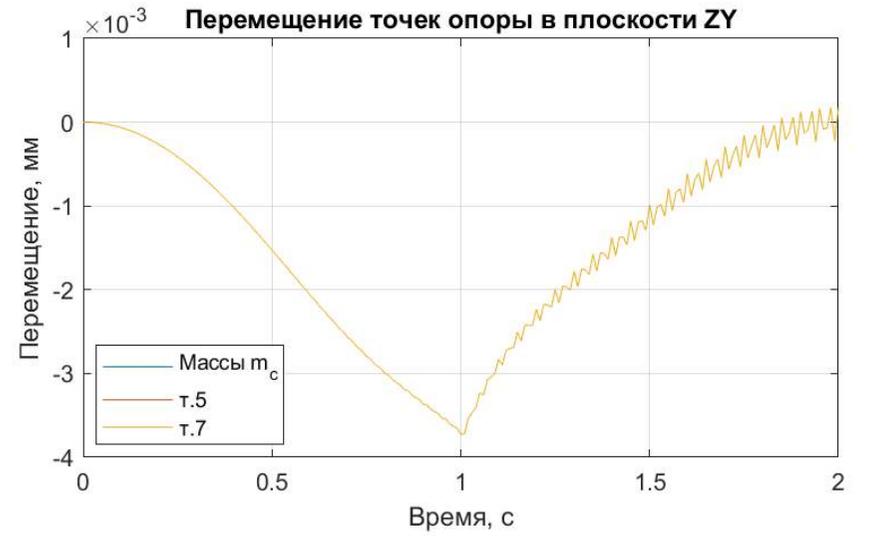
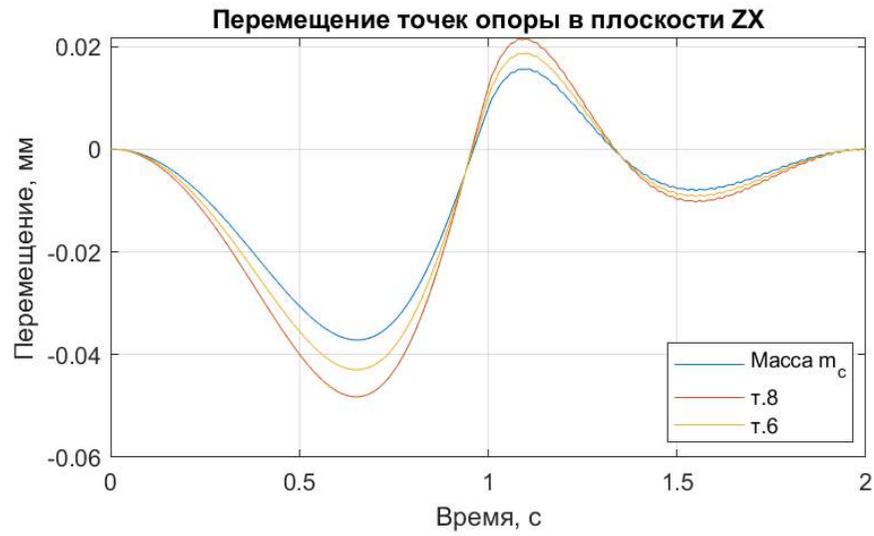
Графики первой группы.



Графики второй группы.

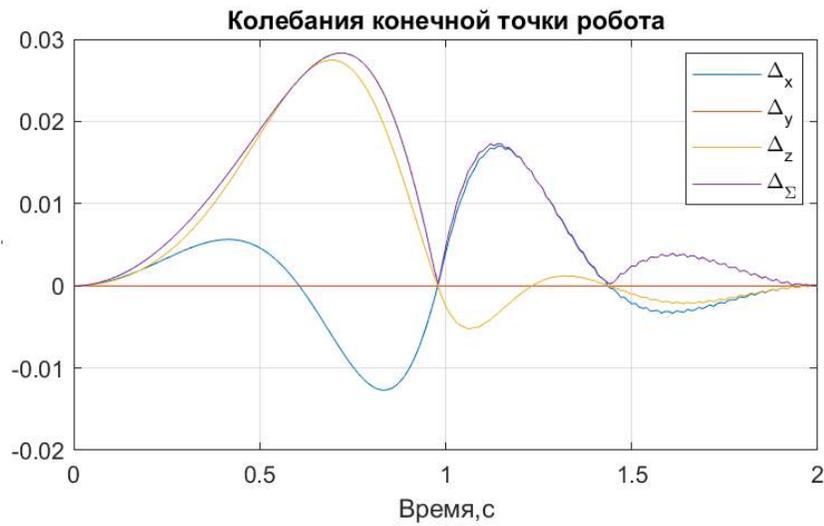
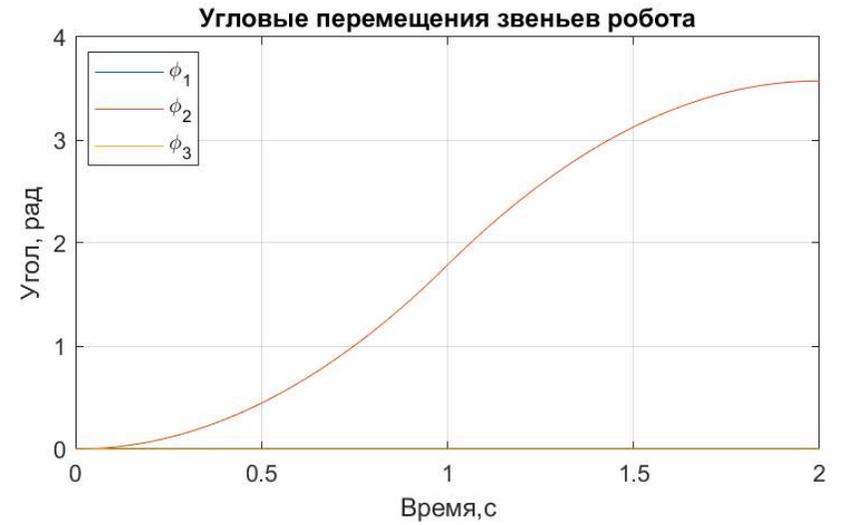
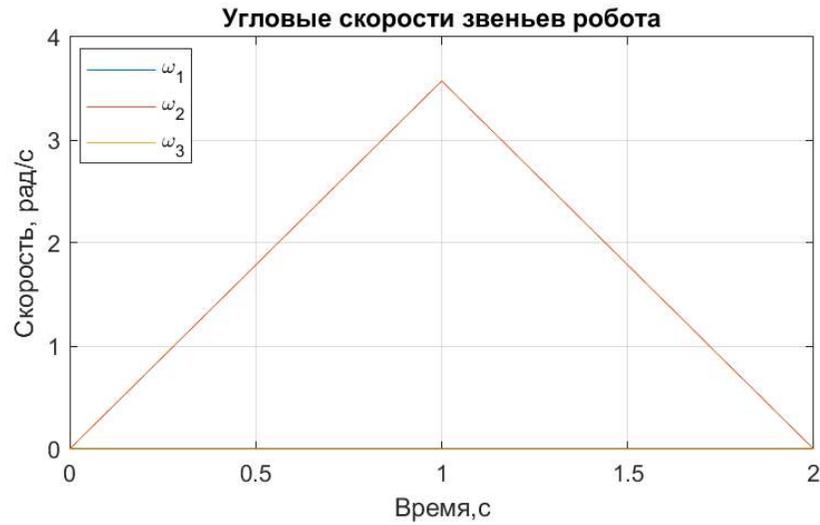


Графики третьей группы.

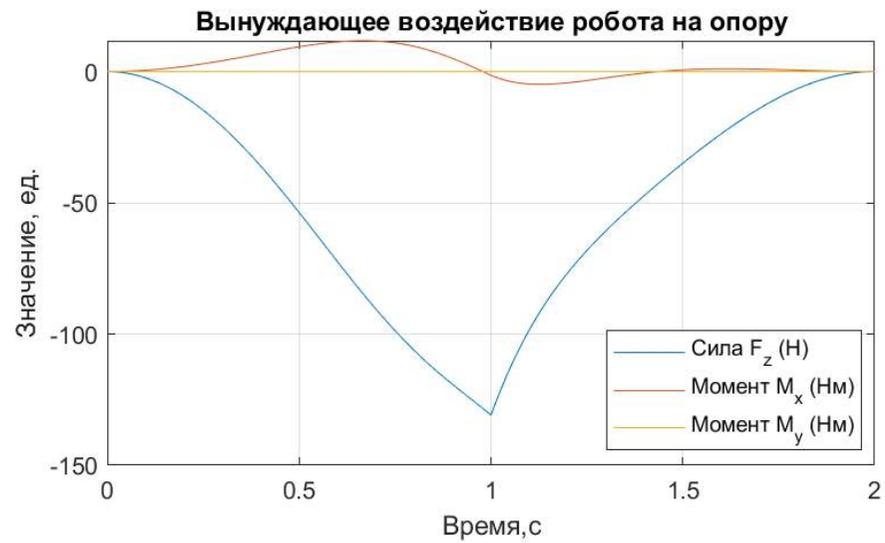
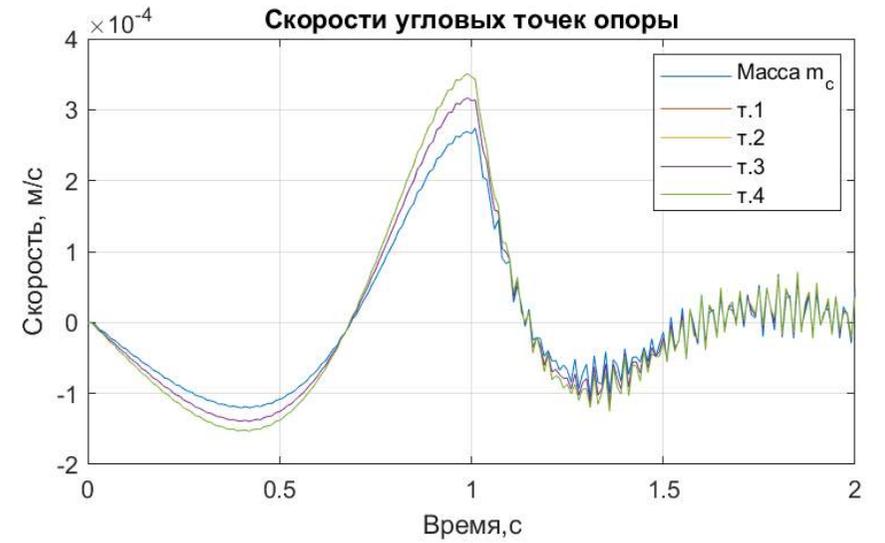
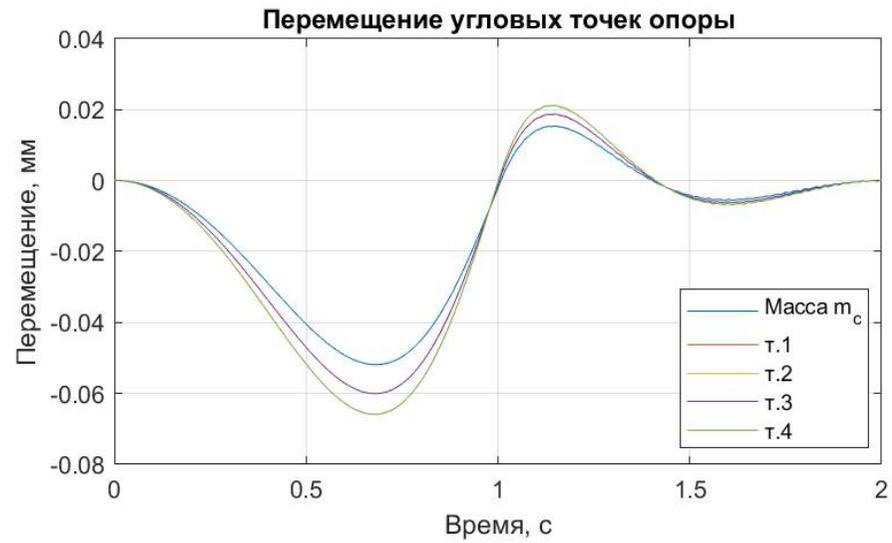


$$\phi_1 = 60^\circ$$

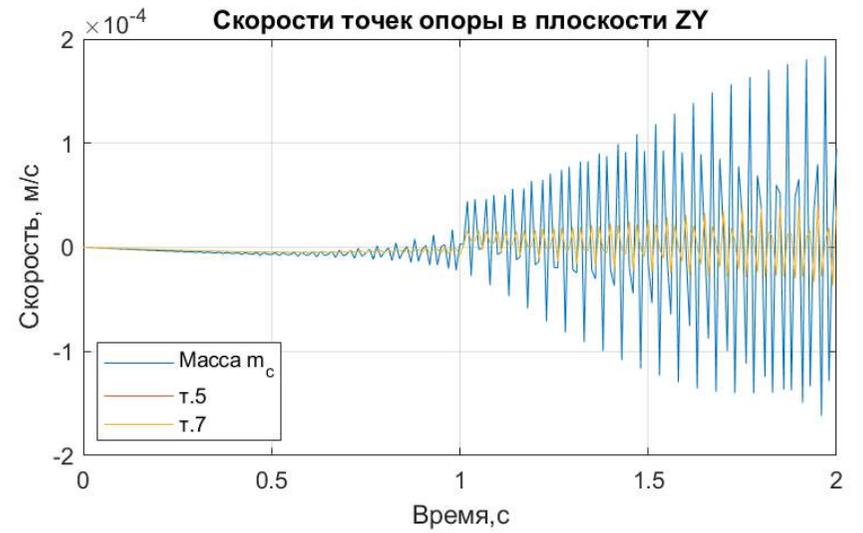
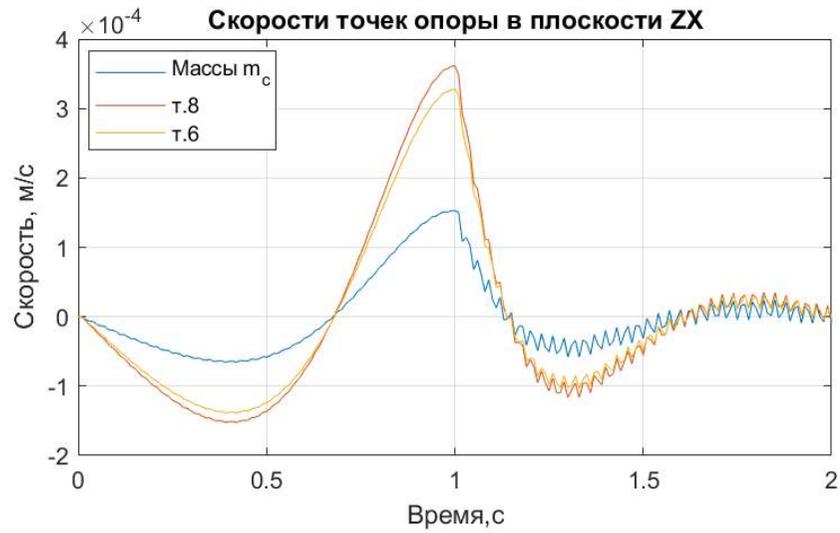
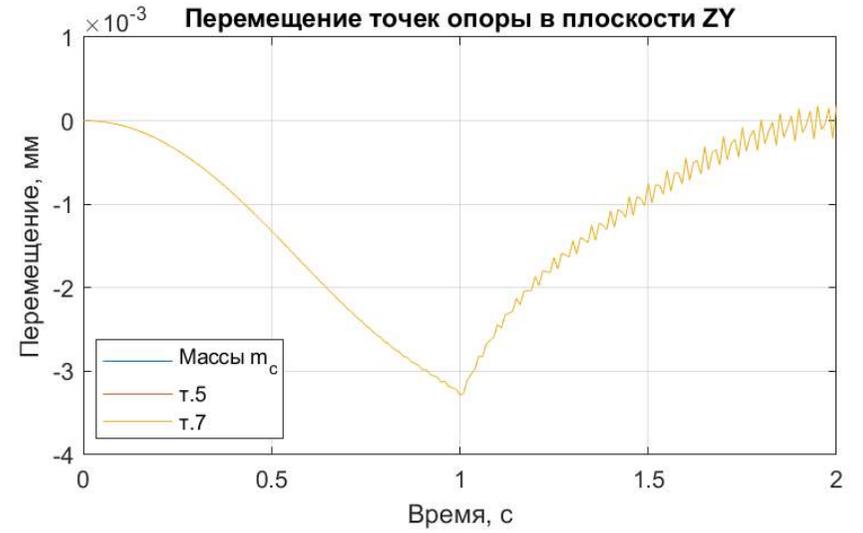
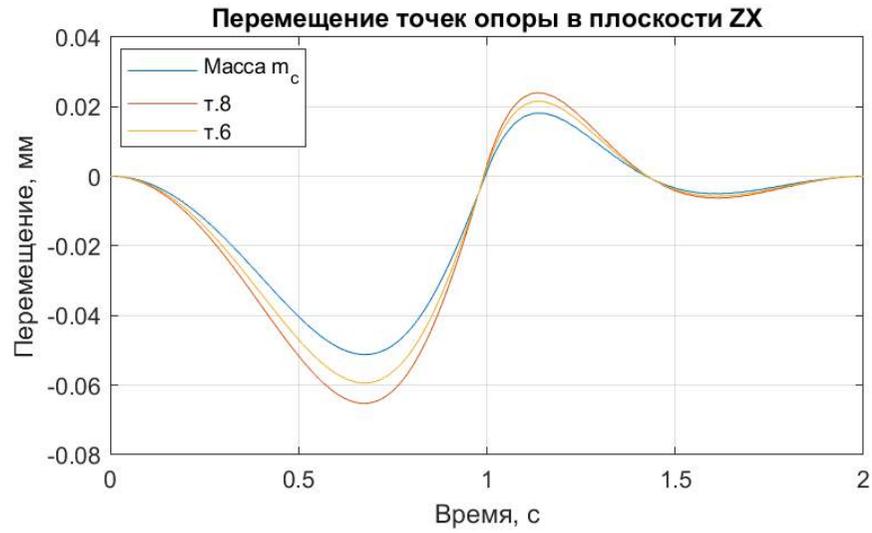
Графики первой группы.



Графики второй группы.

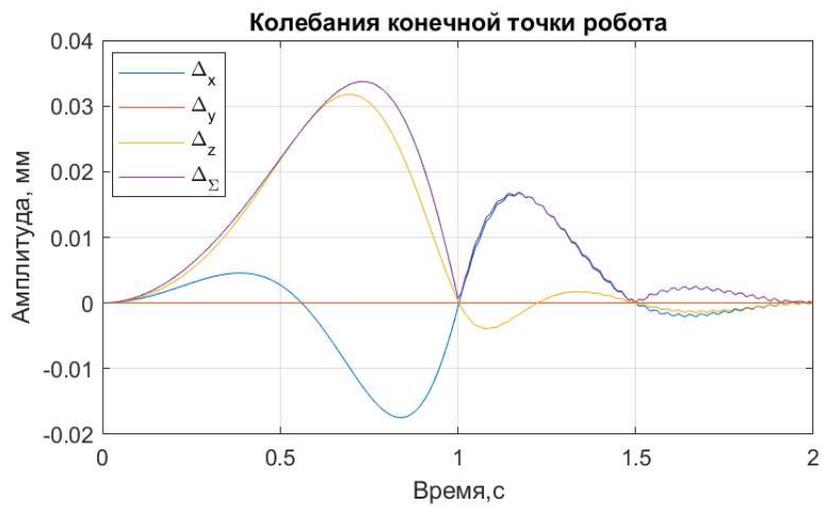
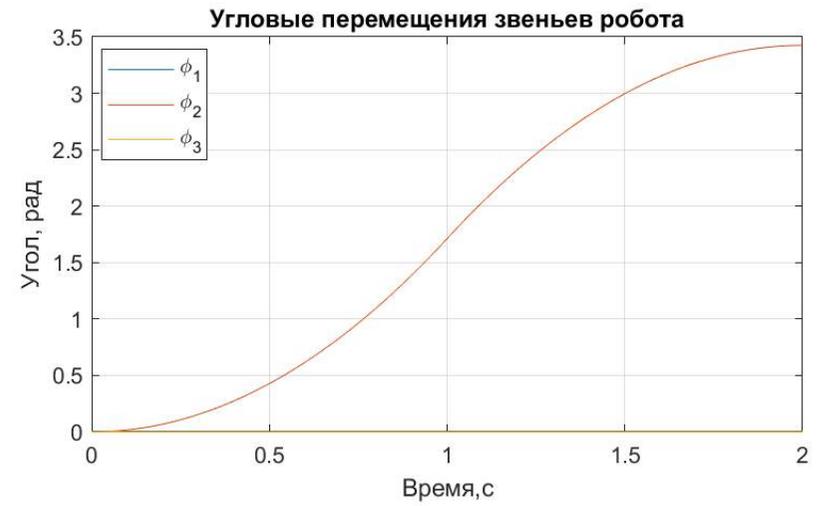
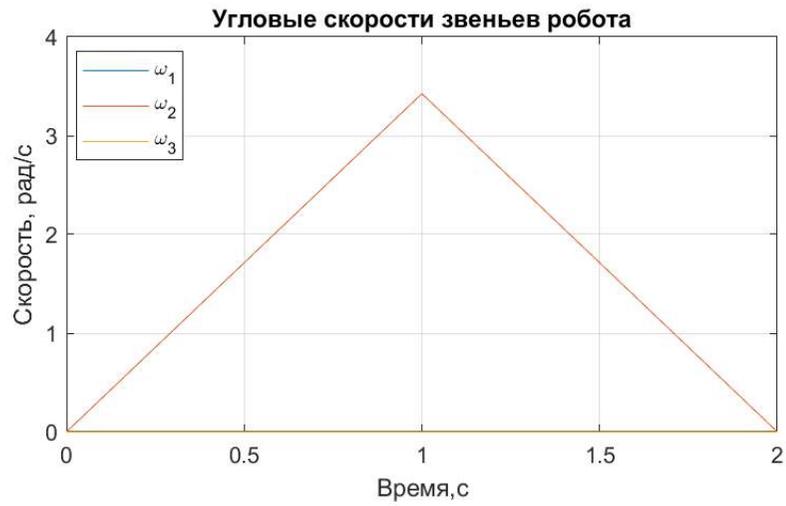


Графики третьей группы.

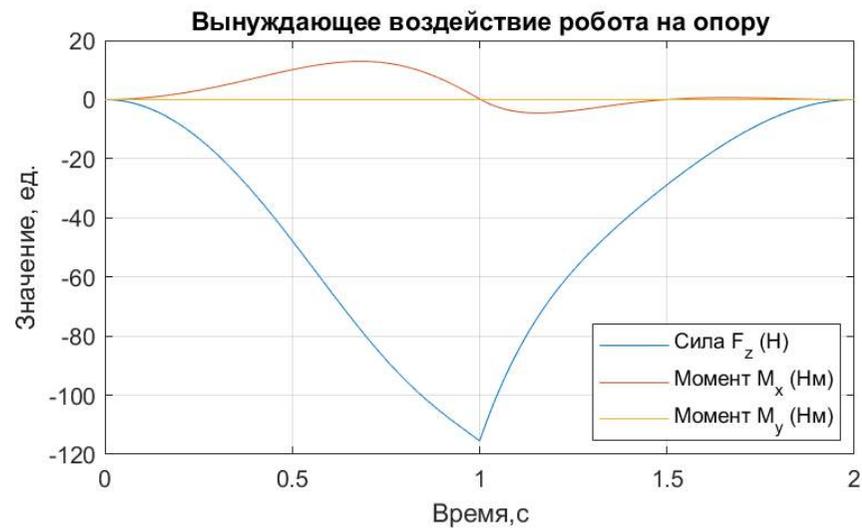
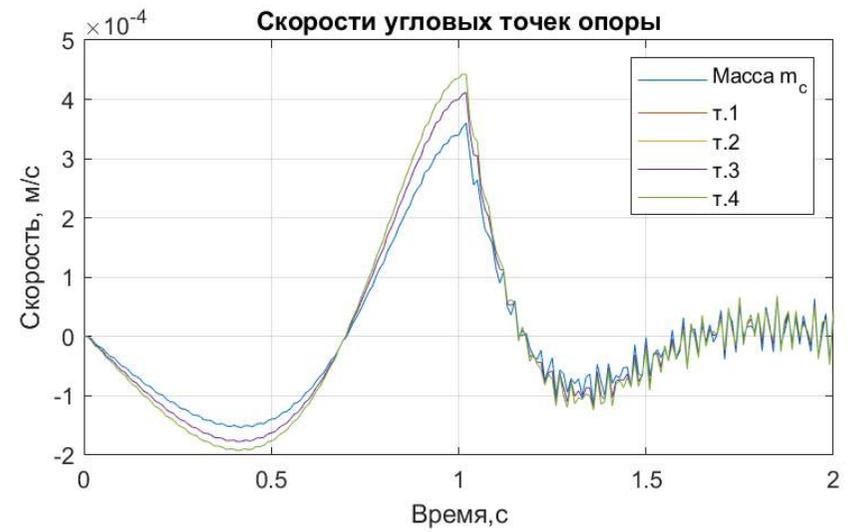
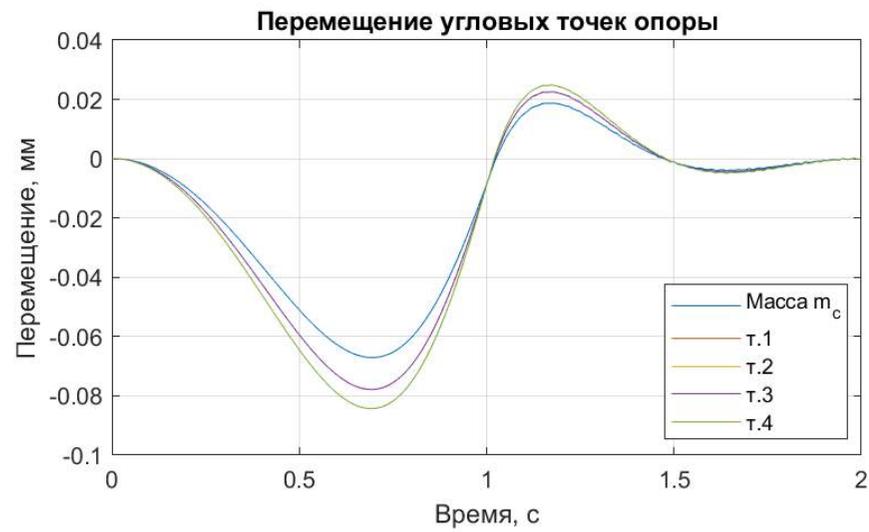


$$\phi_1 = 75^\circ$$

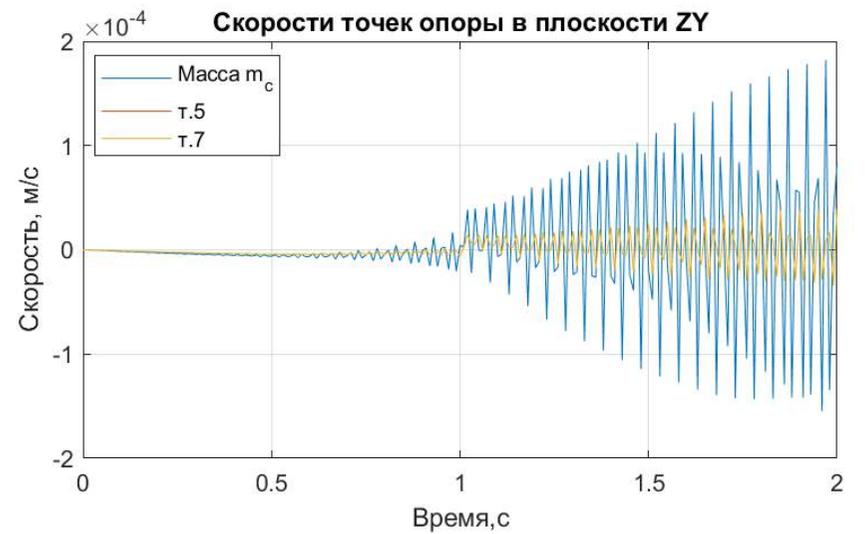
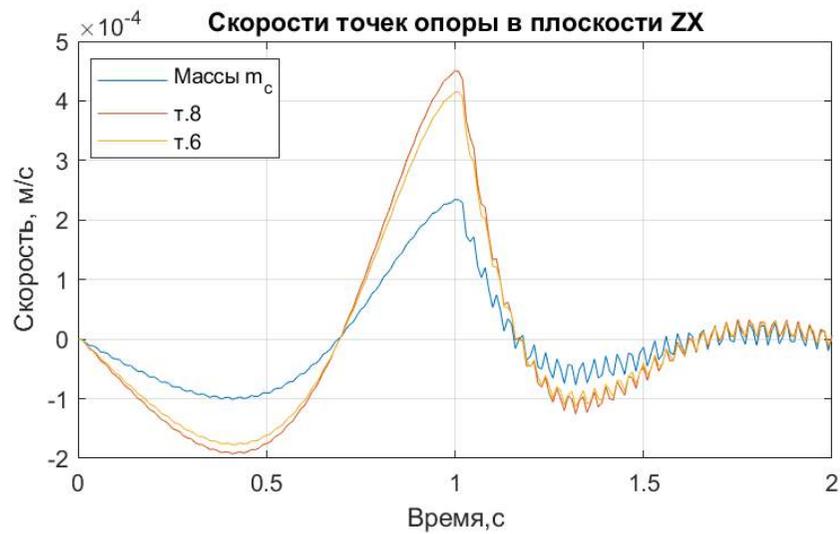
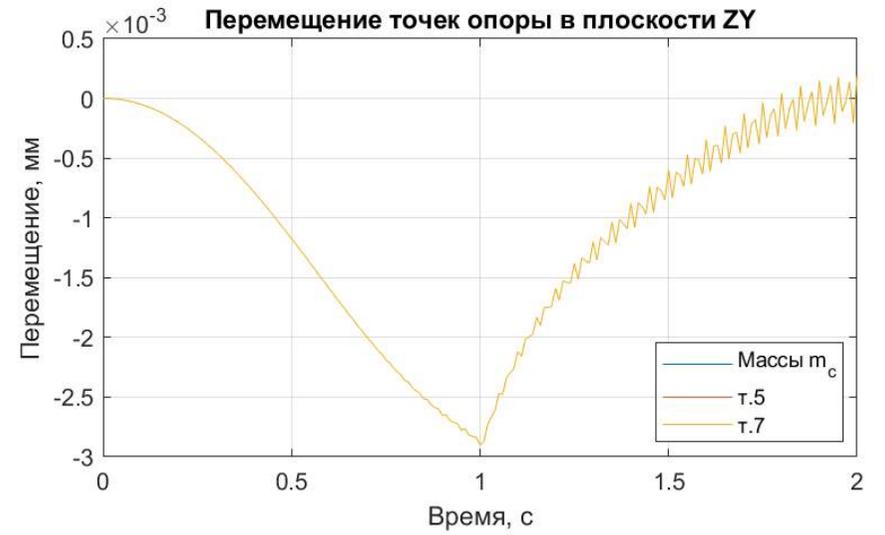
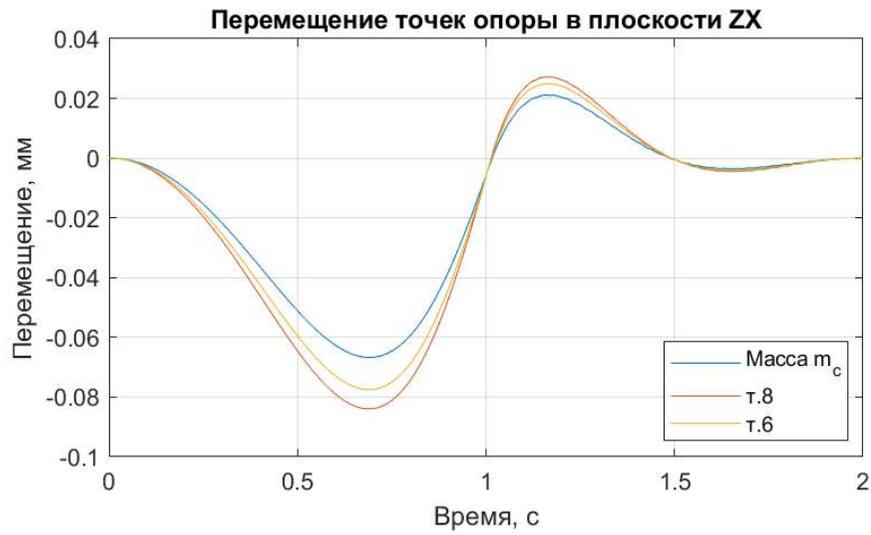
Графики первой группы.



Графики второй группы.

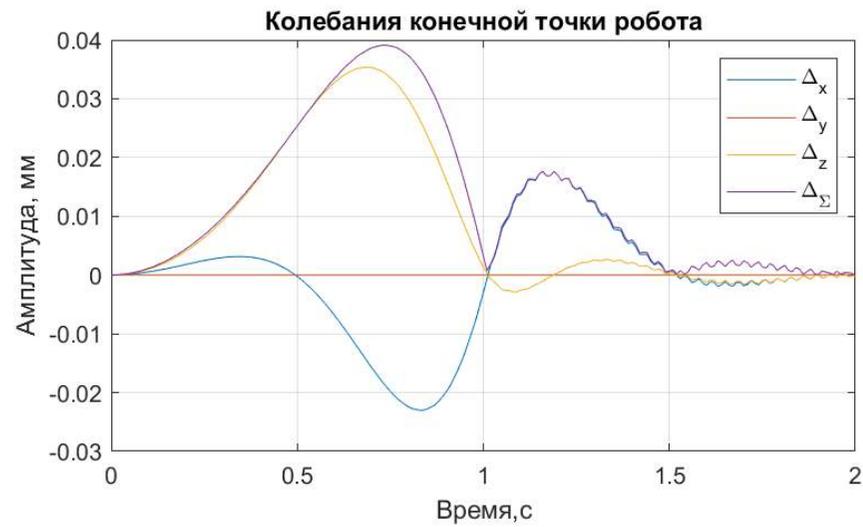
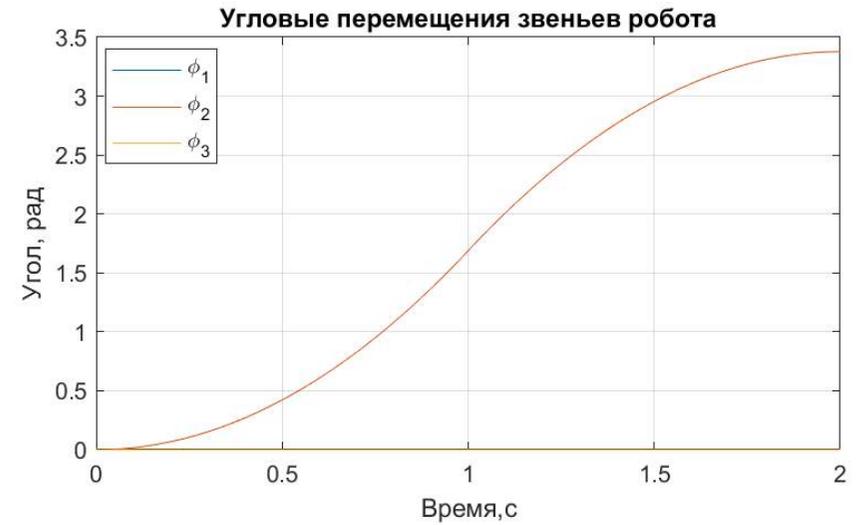
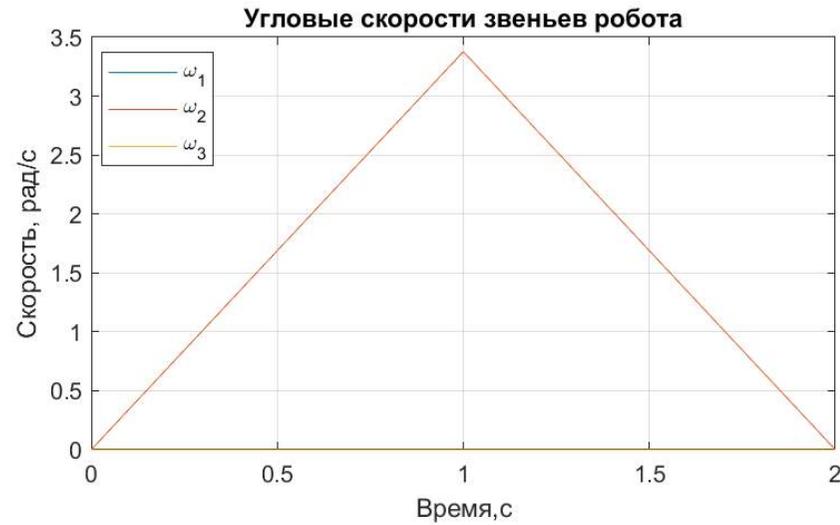


Графики третьей группы.

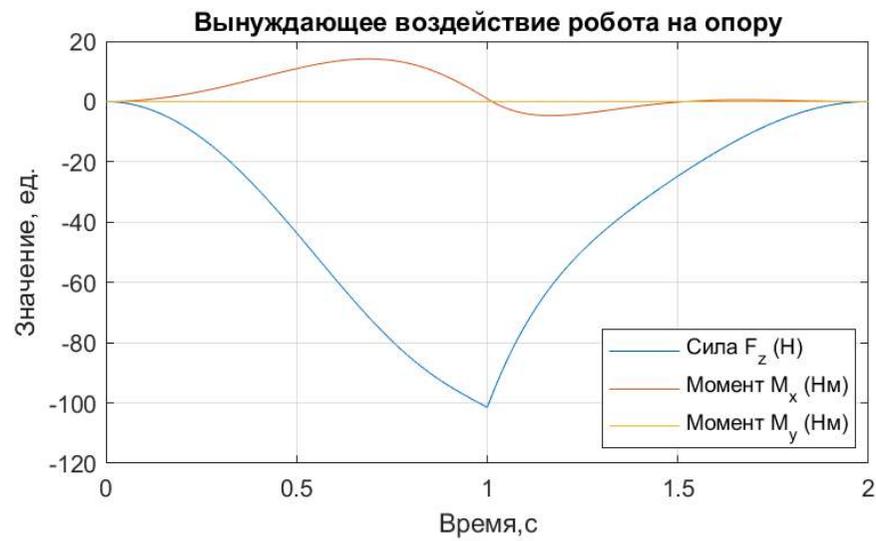
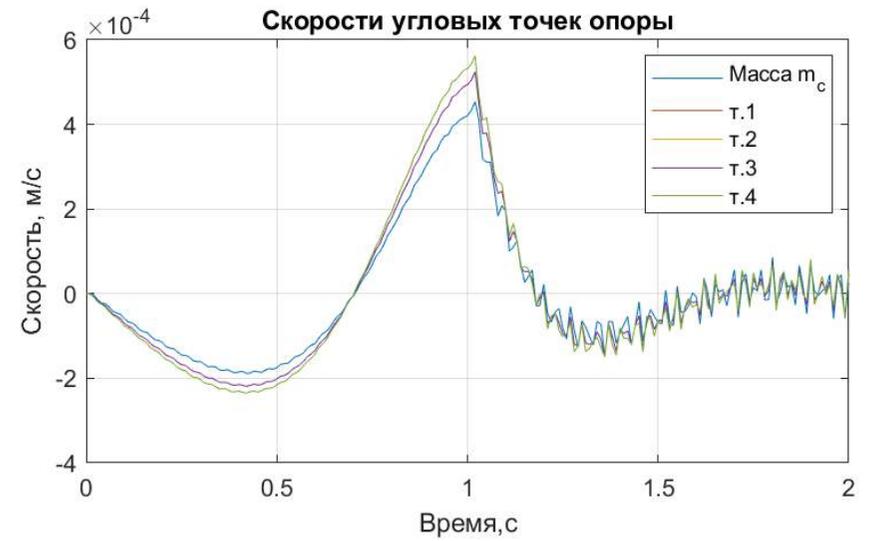
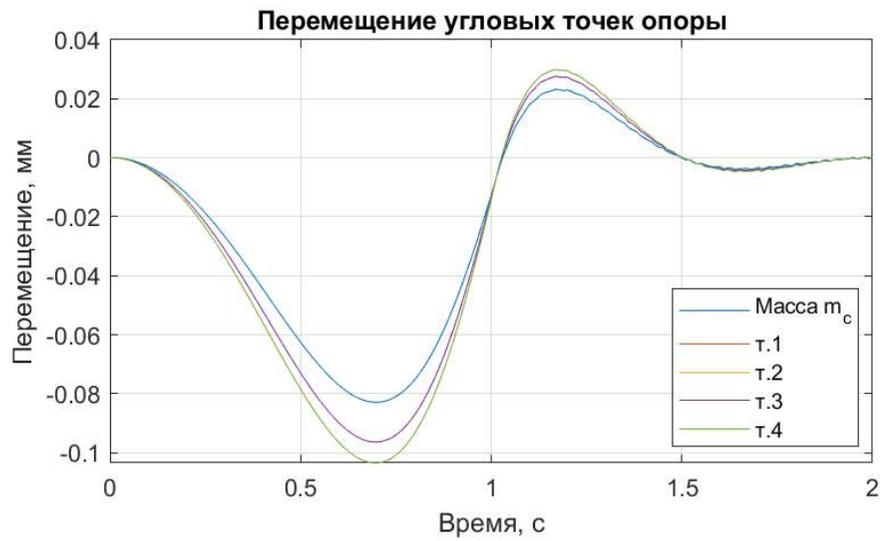


$$\phi_1 = 90^\circ$$

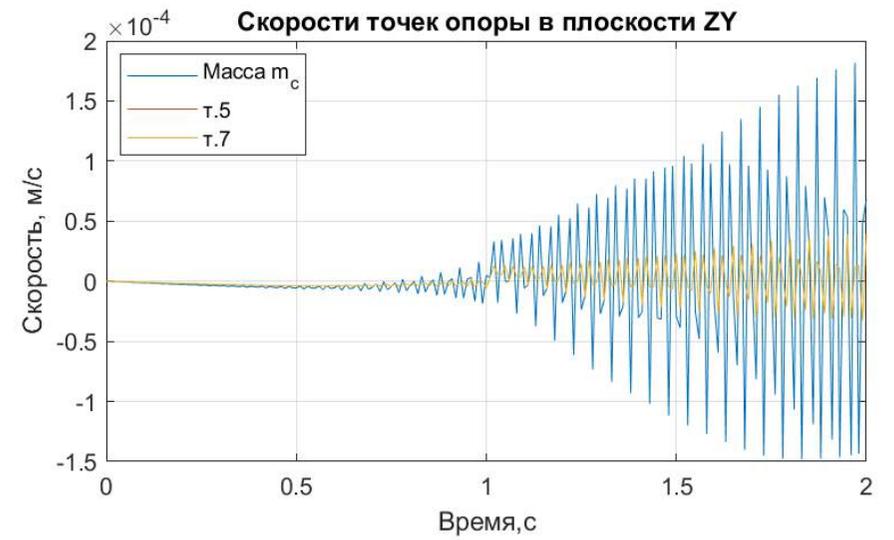
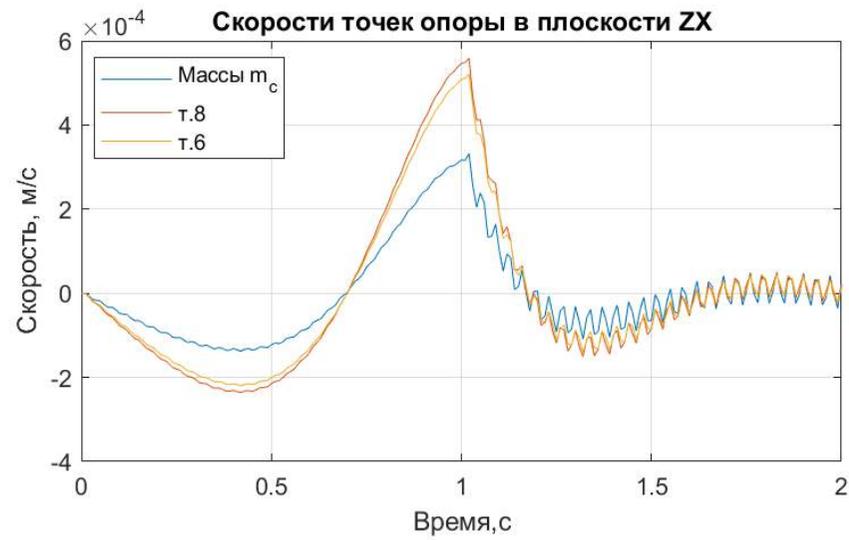
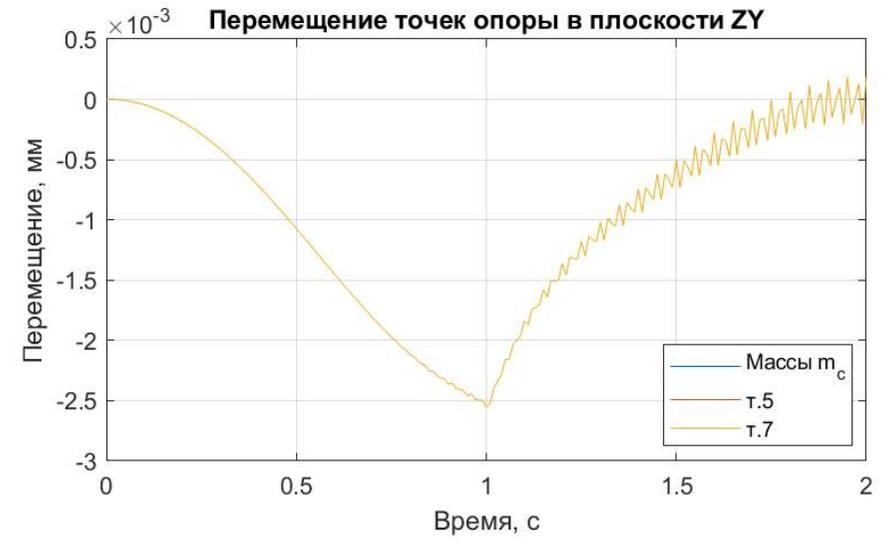
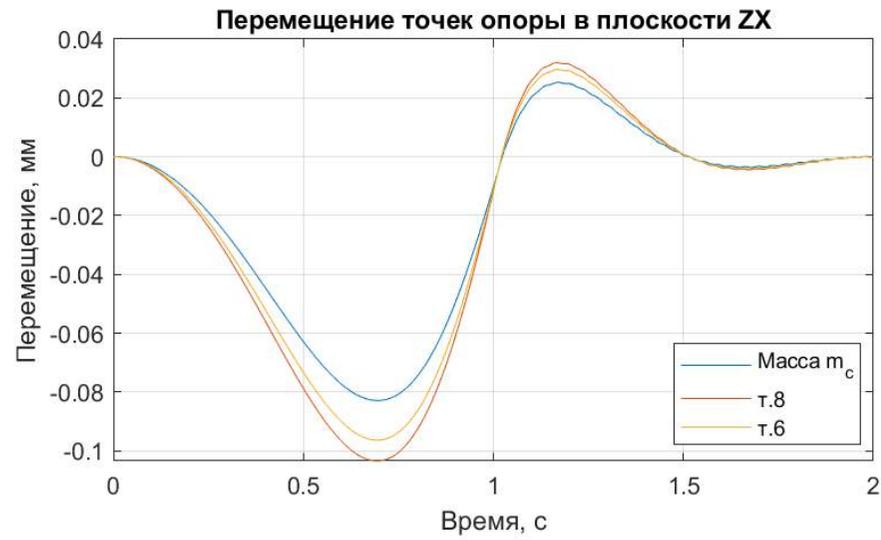
Графики первой группы.



Графики второй группы.



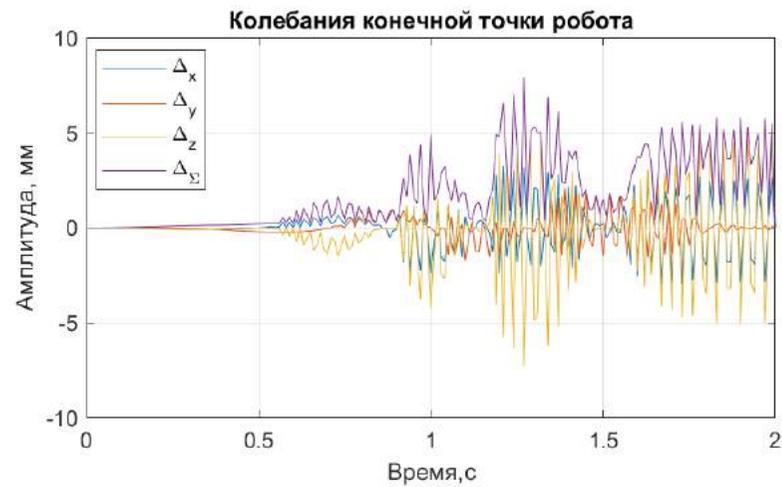
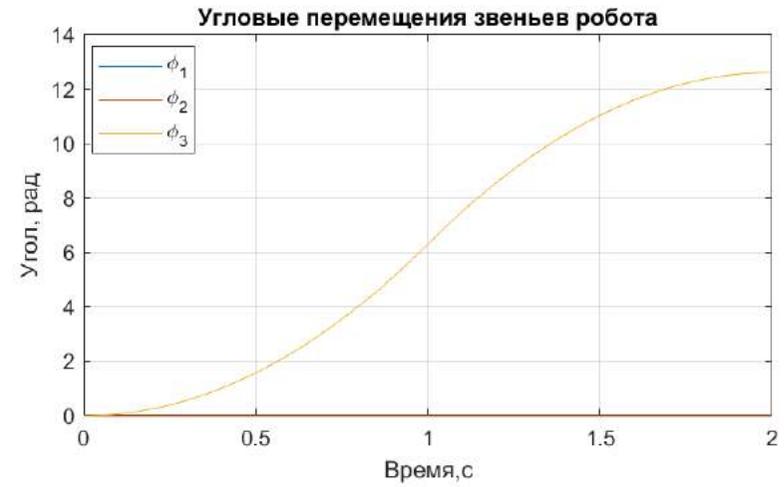
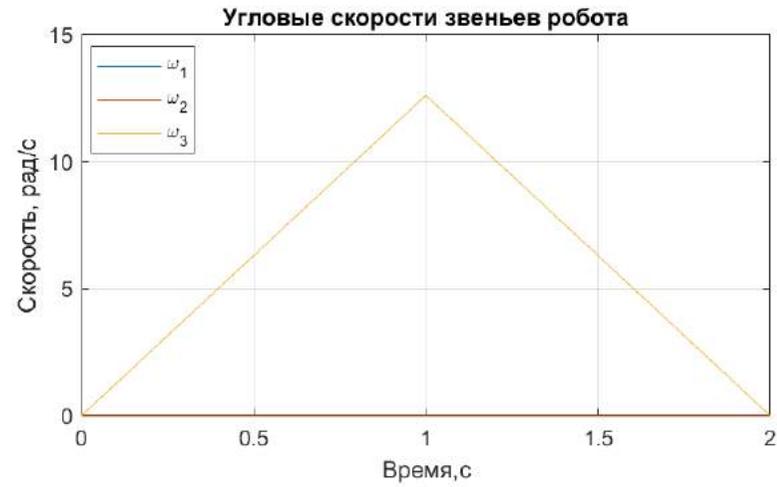
Графики третьей группы.



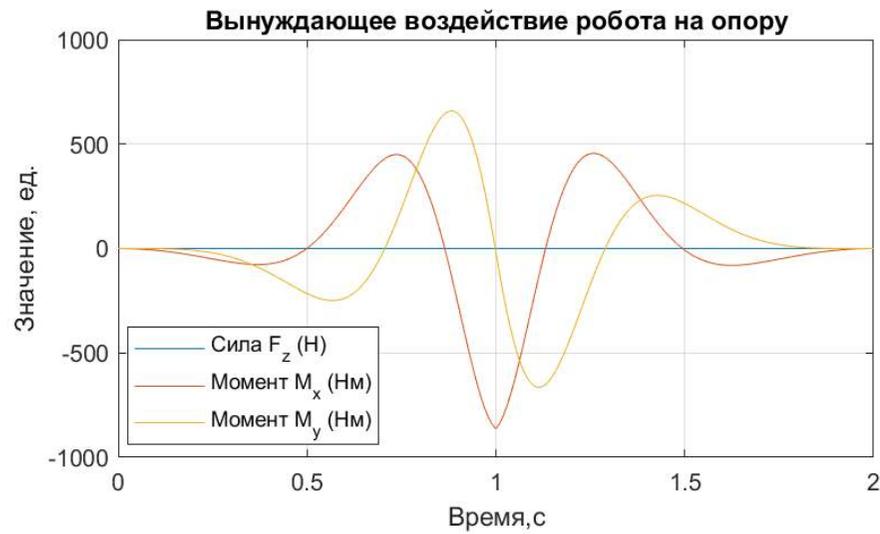
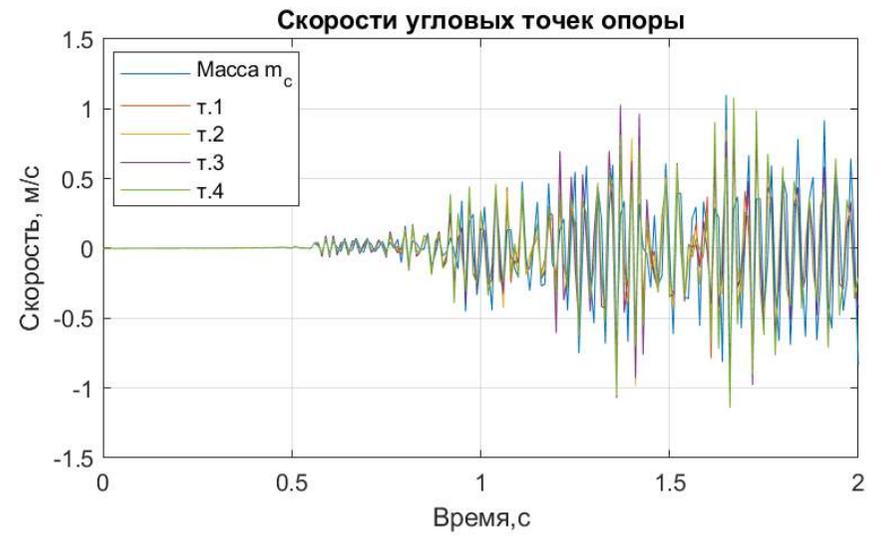
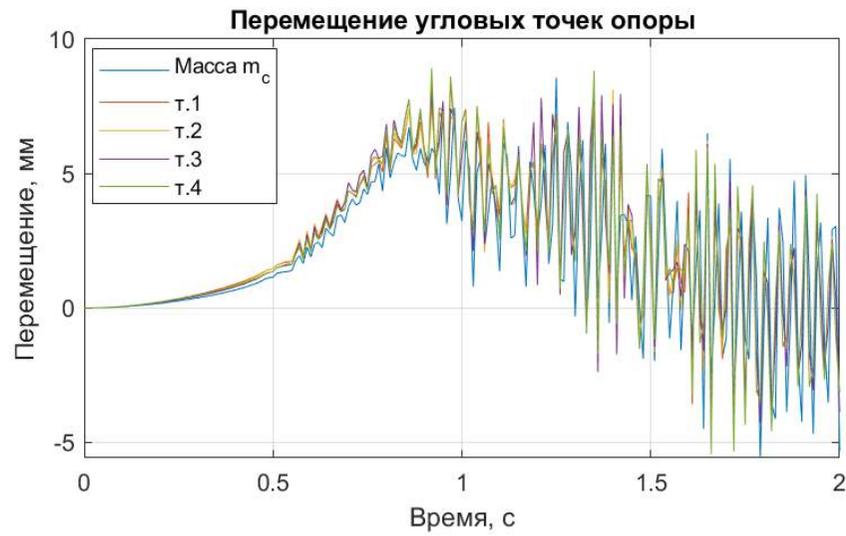
ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Графики второго этапа. Влияние на опору от момента M_3 . $\varphi_2 = -45^\circ$

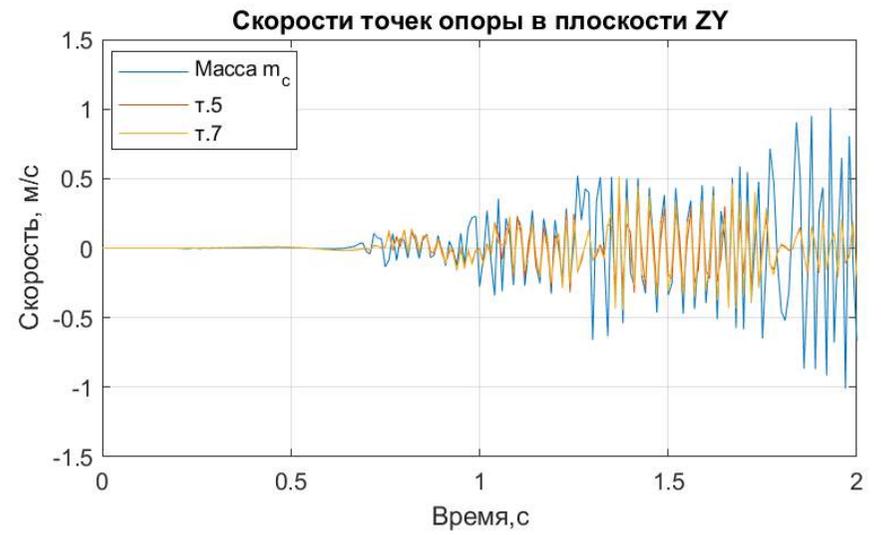
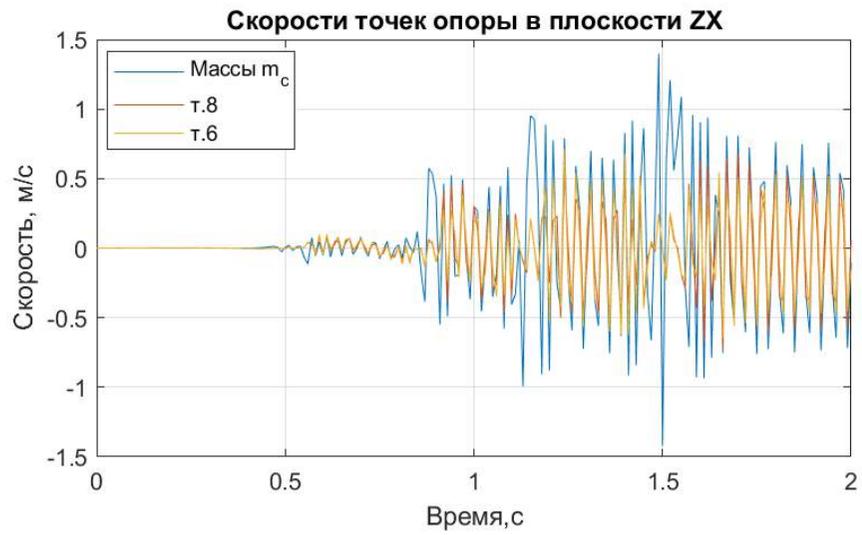
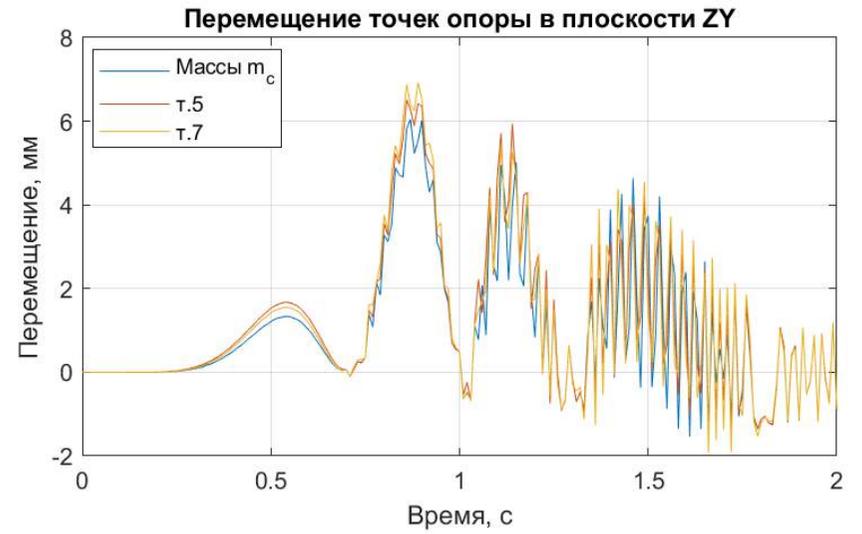
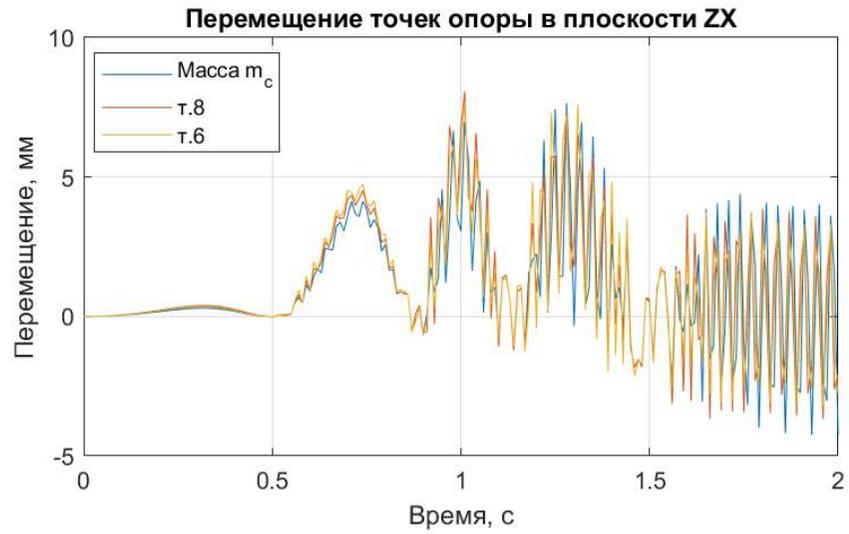
Графики первой группы.



Графики второй группы.

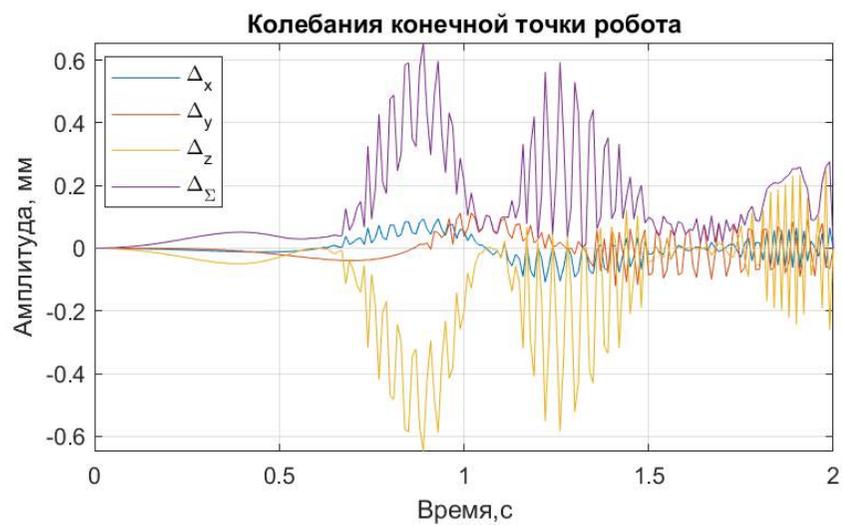
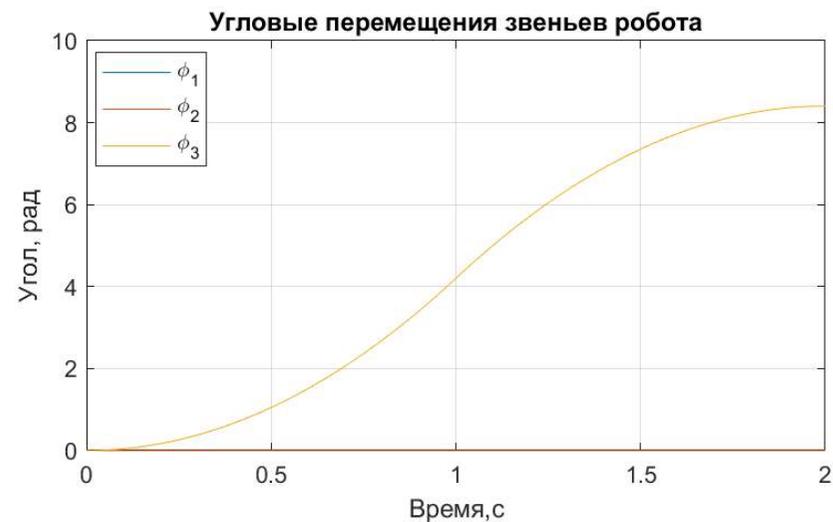
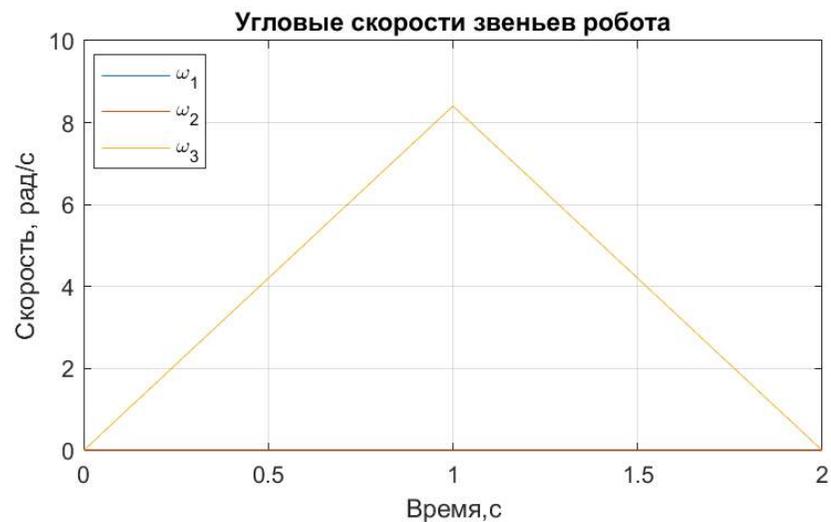


Графики третьей группы.

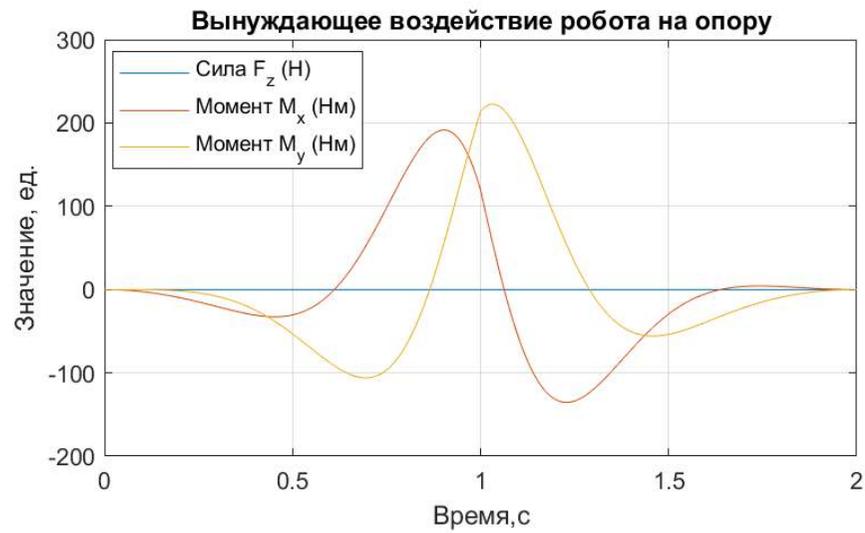
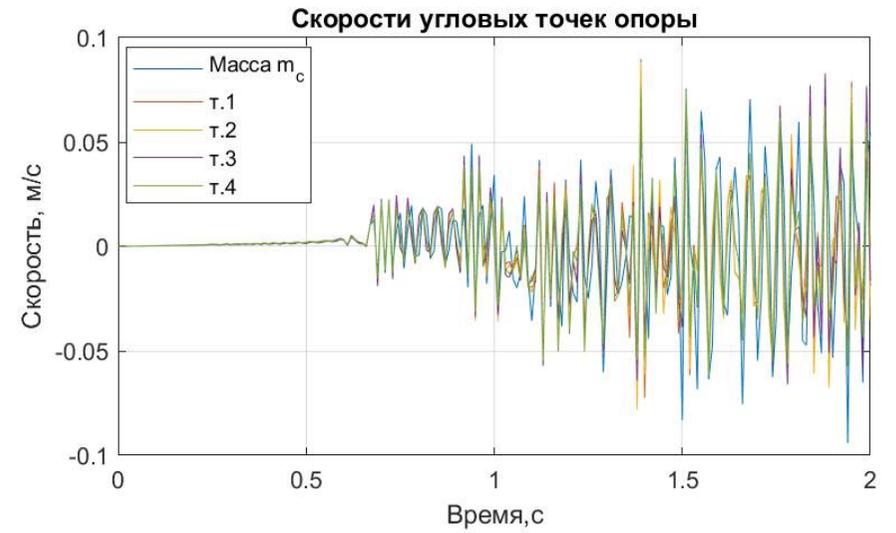
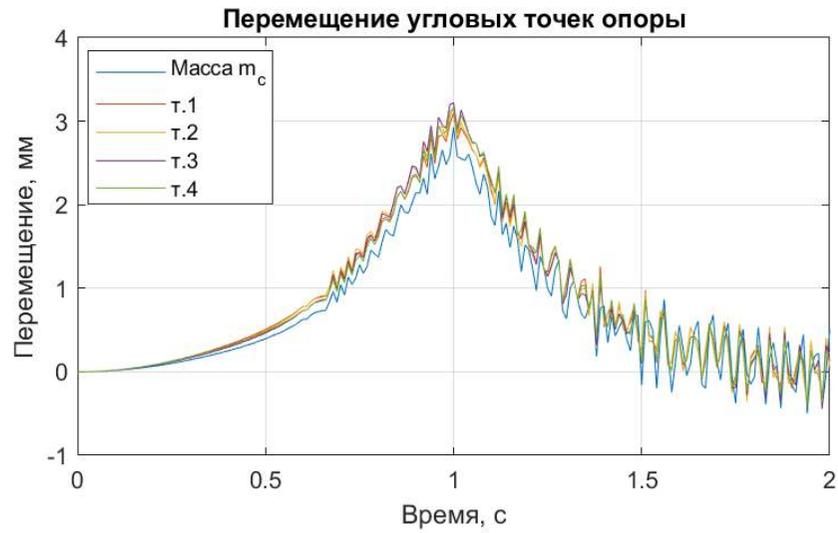


$$\varphi_2 = -30^\circ$$

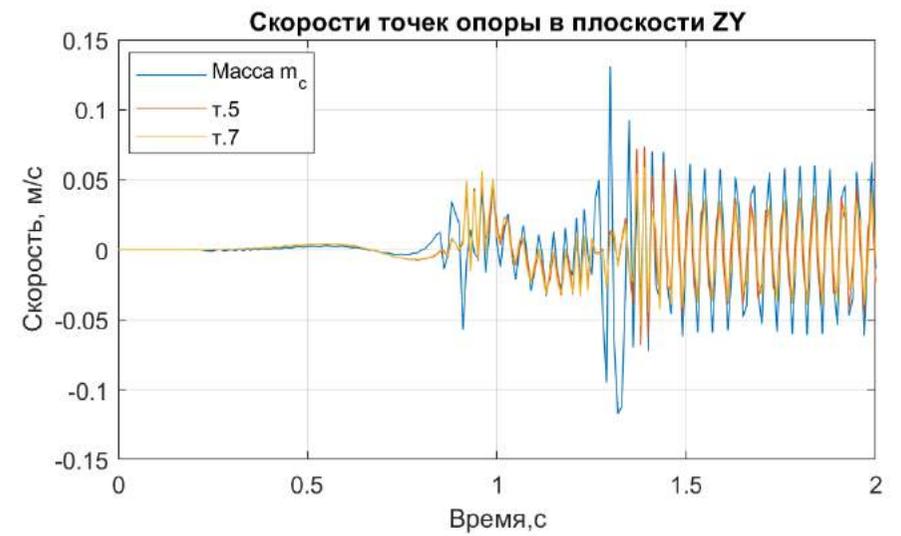
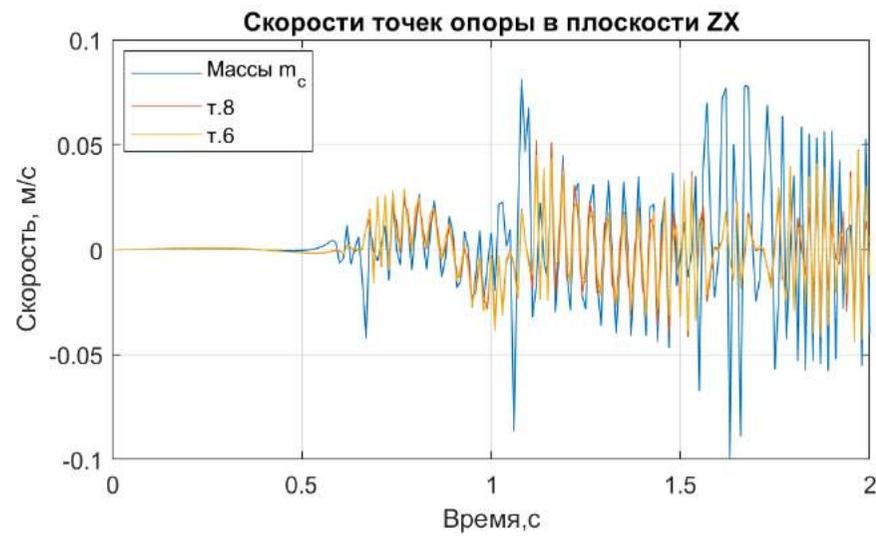
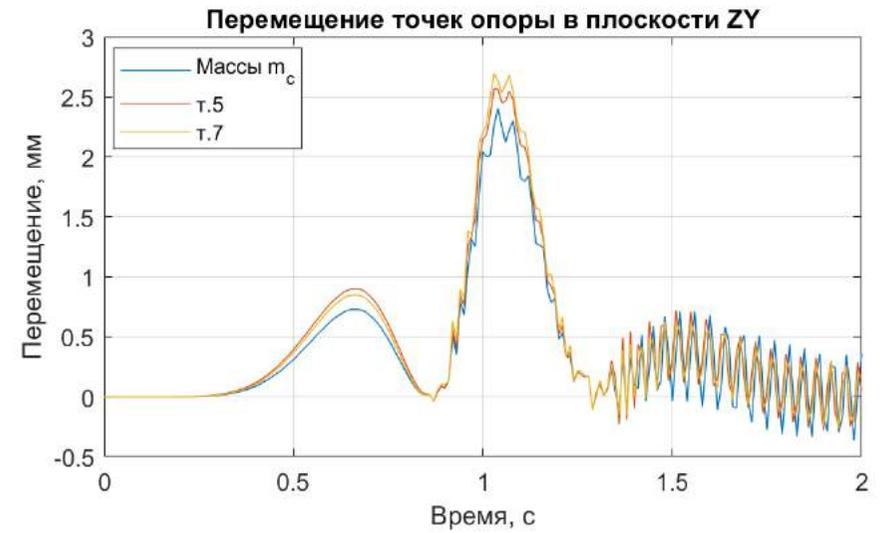
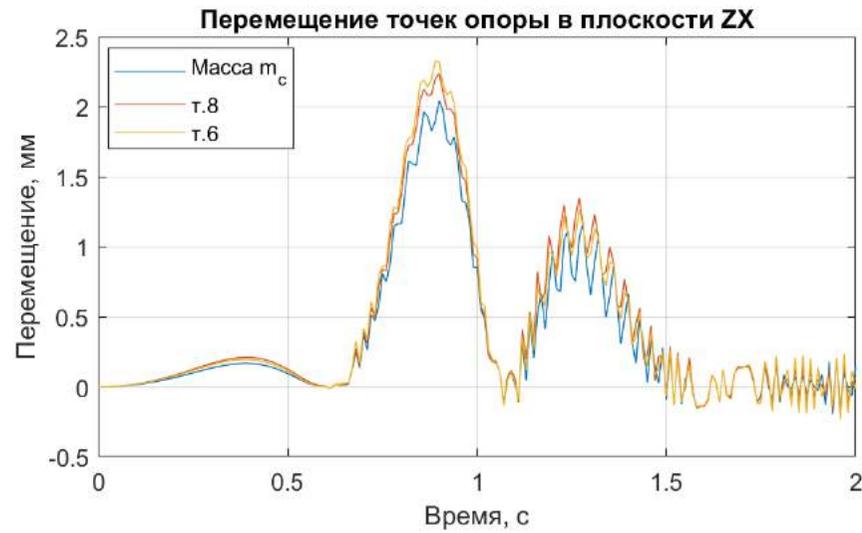
Графики первой группы.



Графики второй группы.

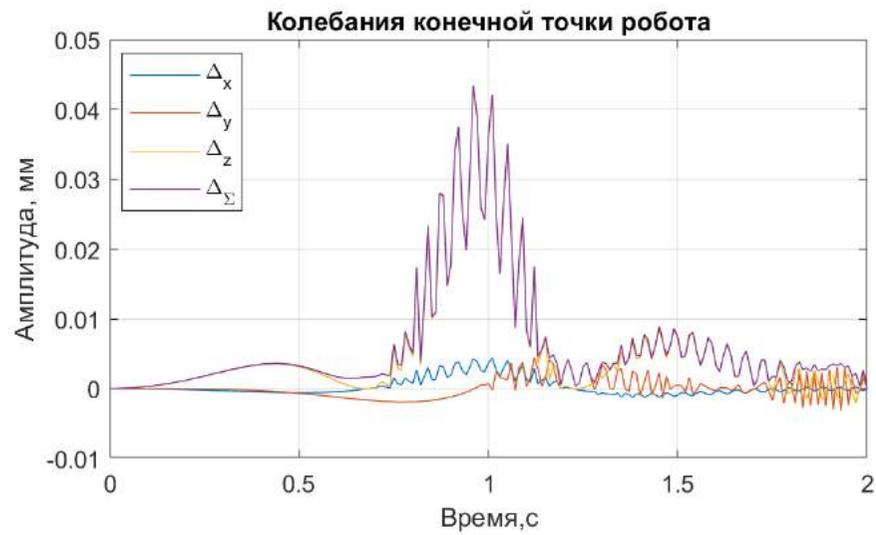
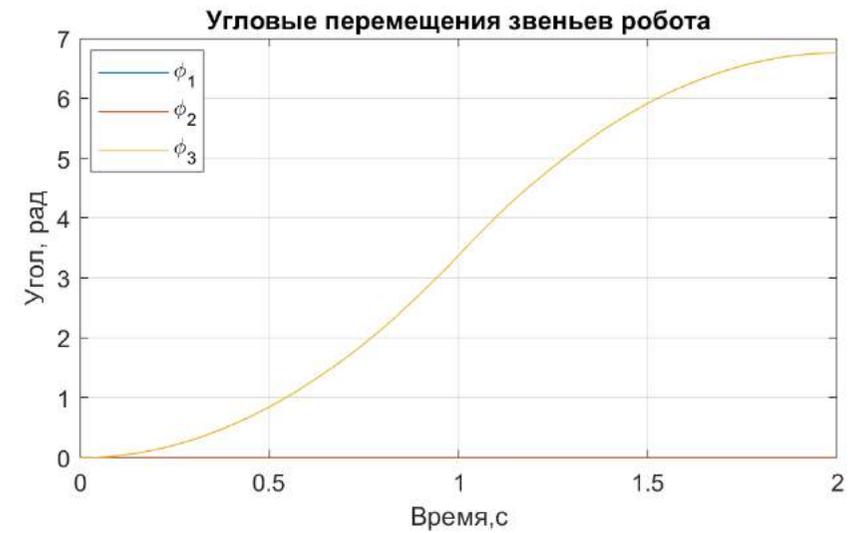
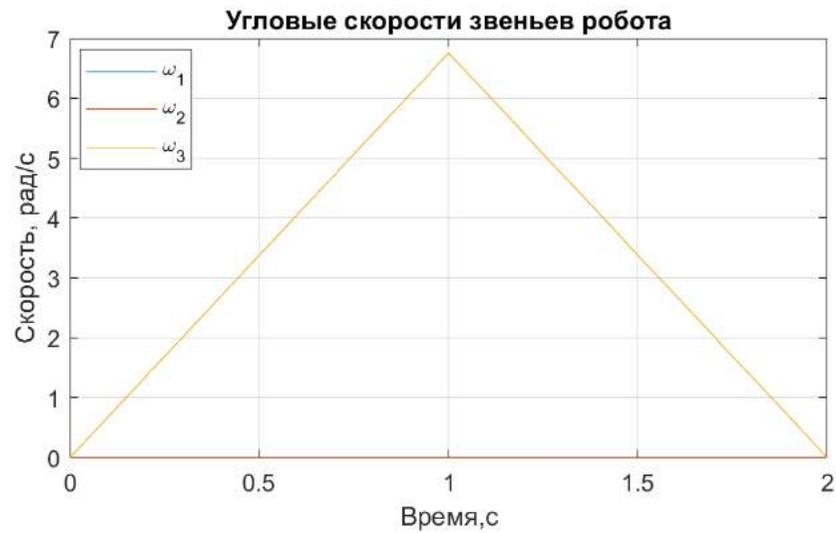


Графики третьей группы.

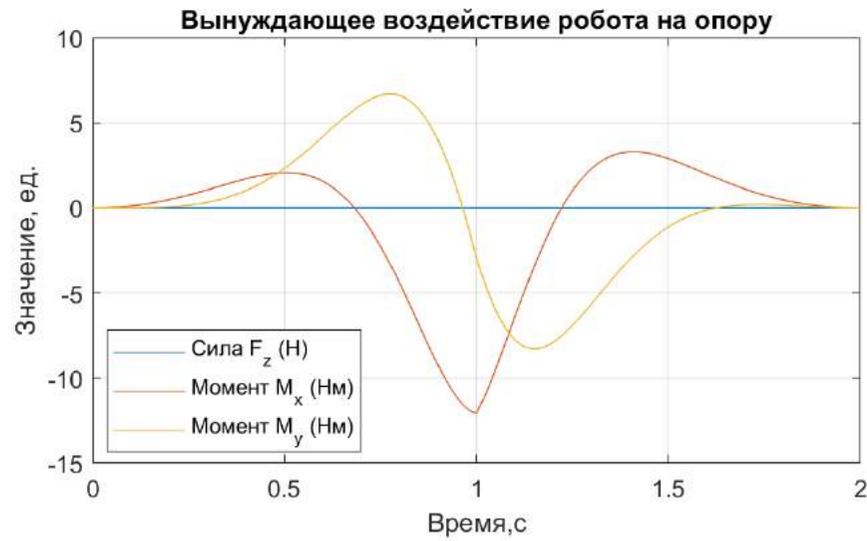
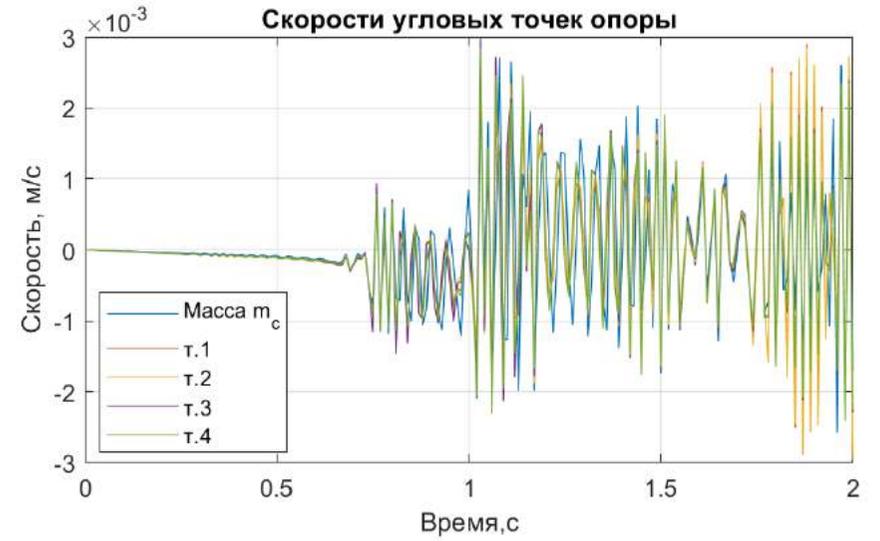
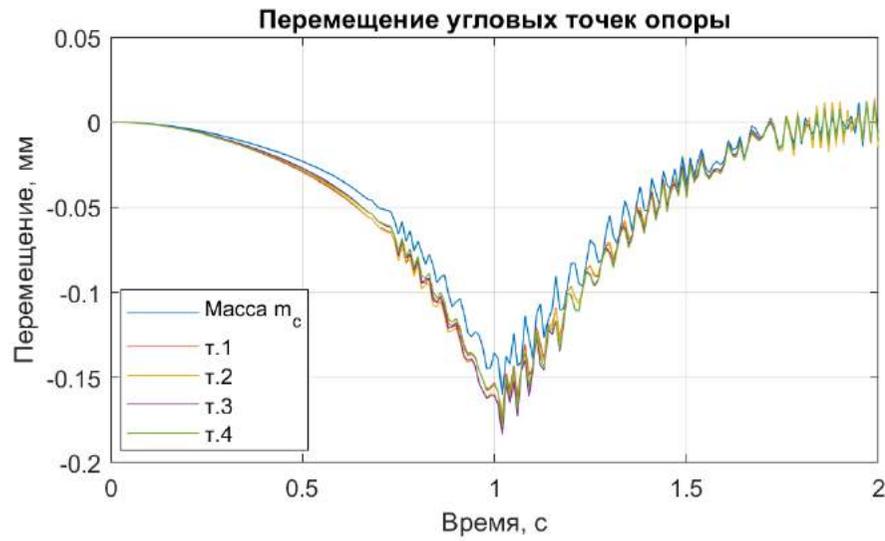


$$\varphi_2 = -15^\circ$$

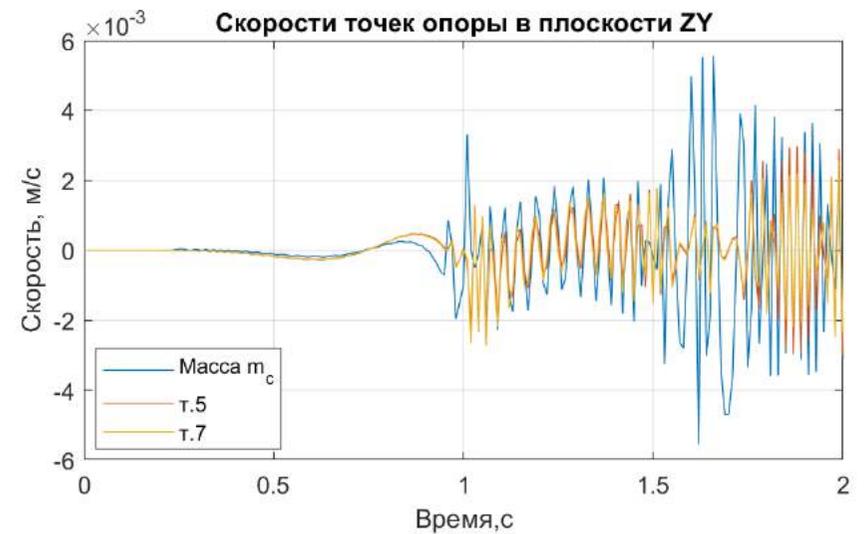
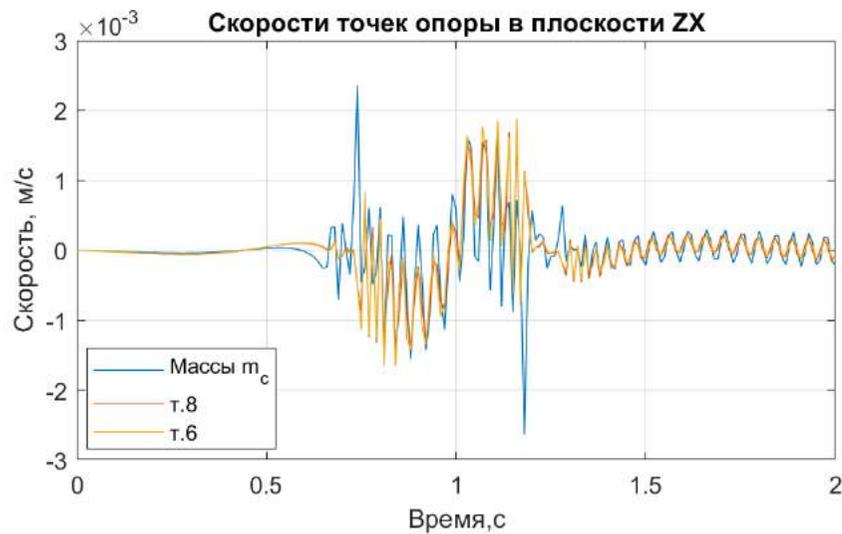
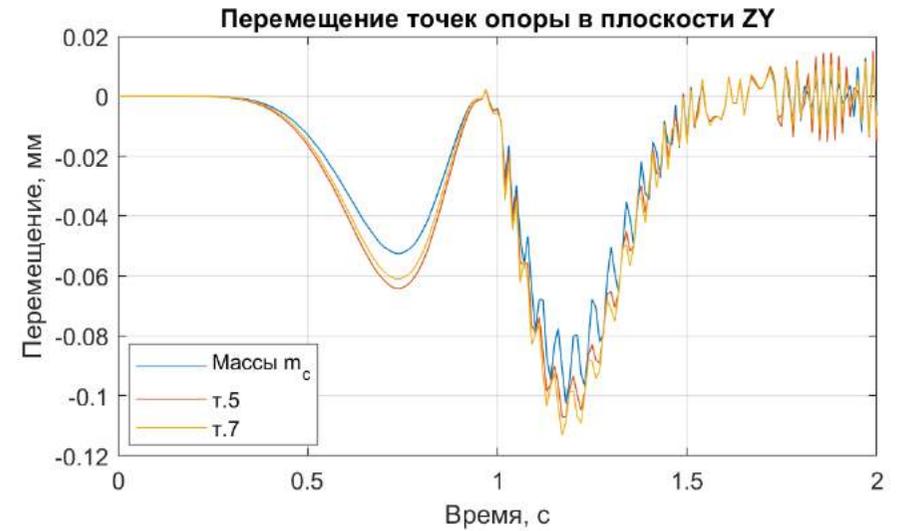
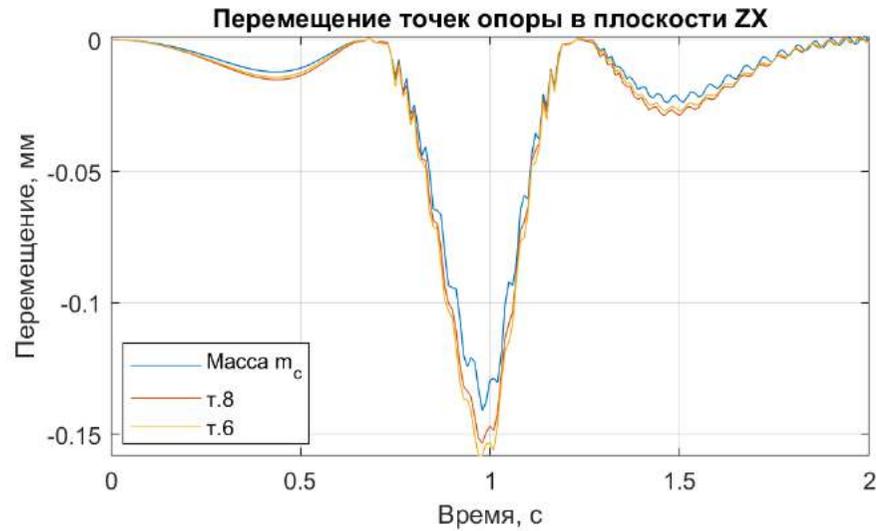
Графики первой группы.



Графики второй группы.

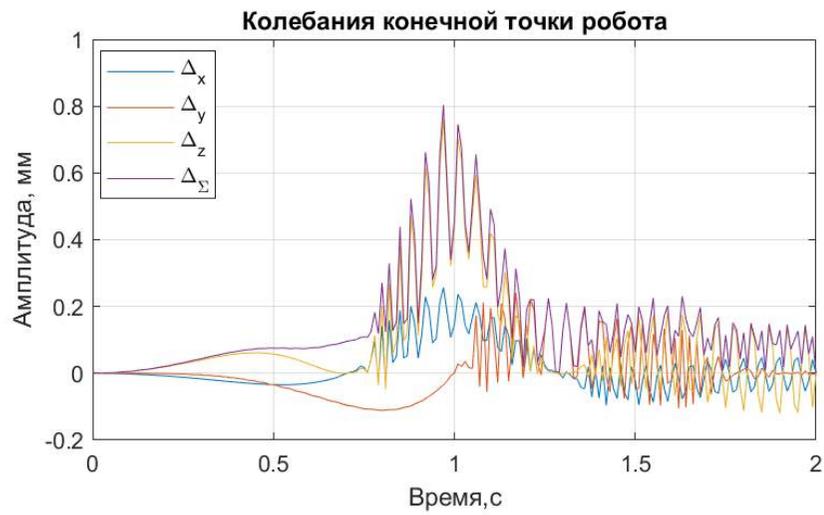
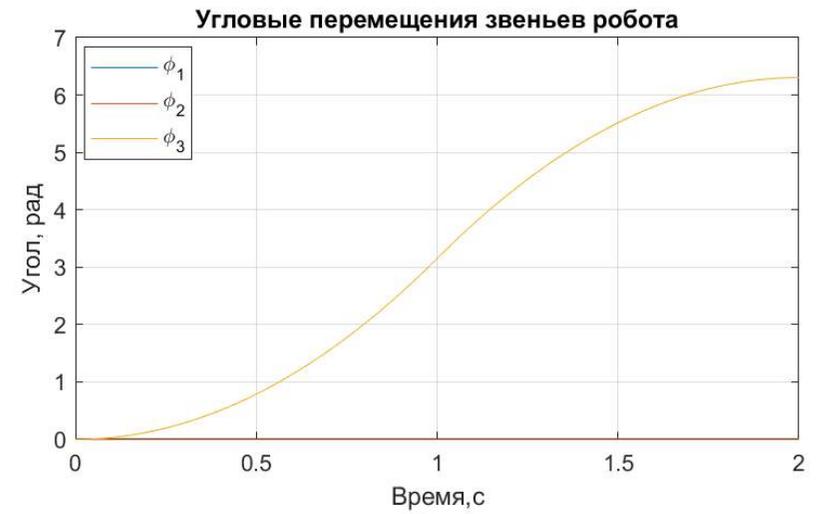
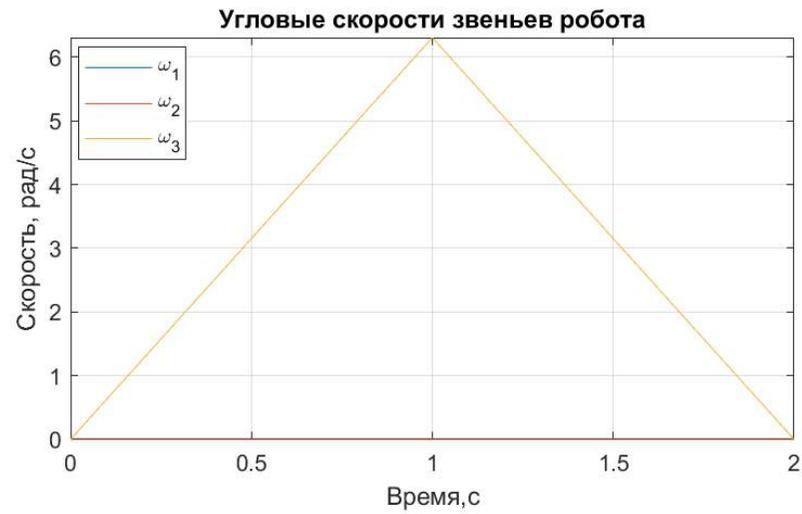


Графики третьей группы.

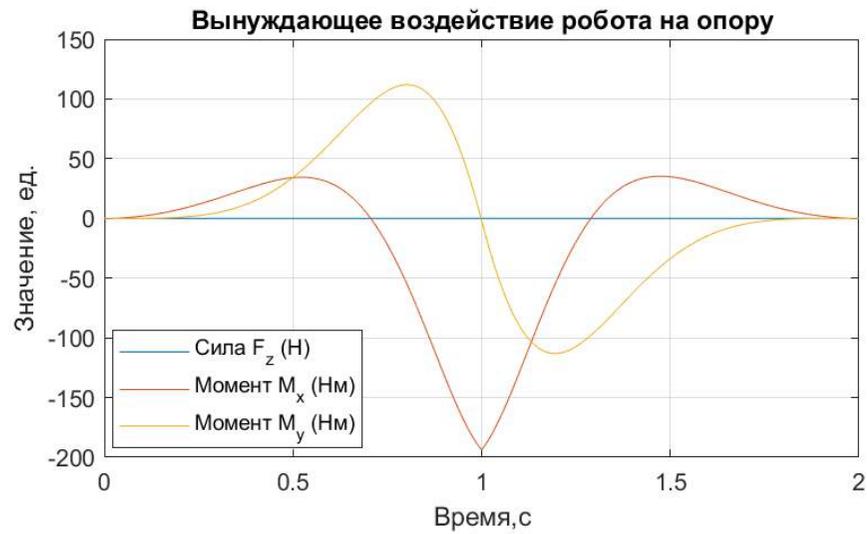
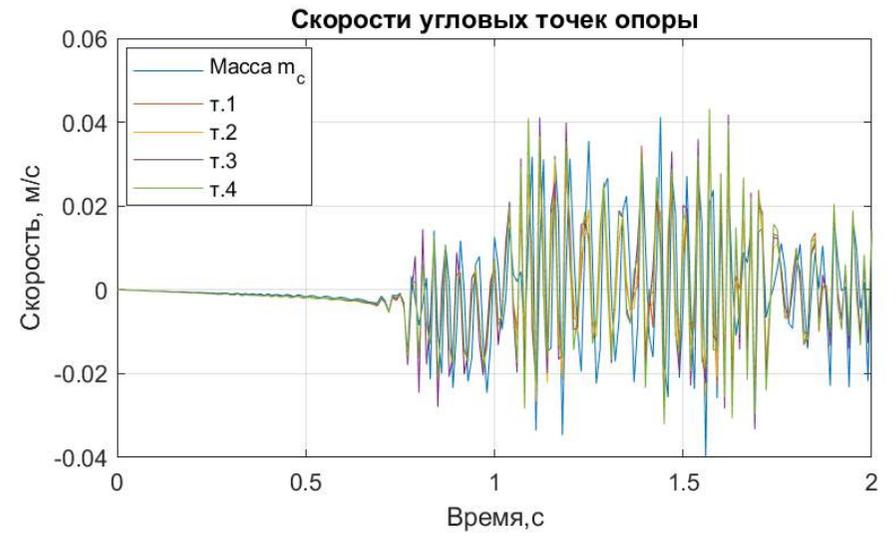
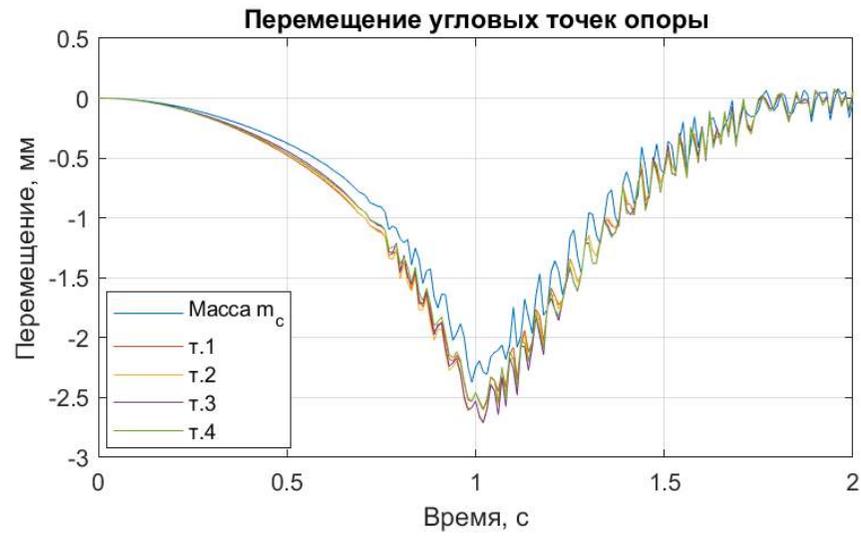


$$\varphi_2 = 0^\circ$$

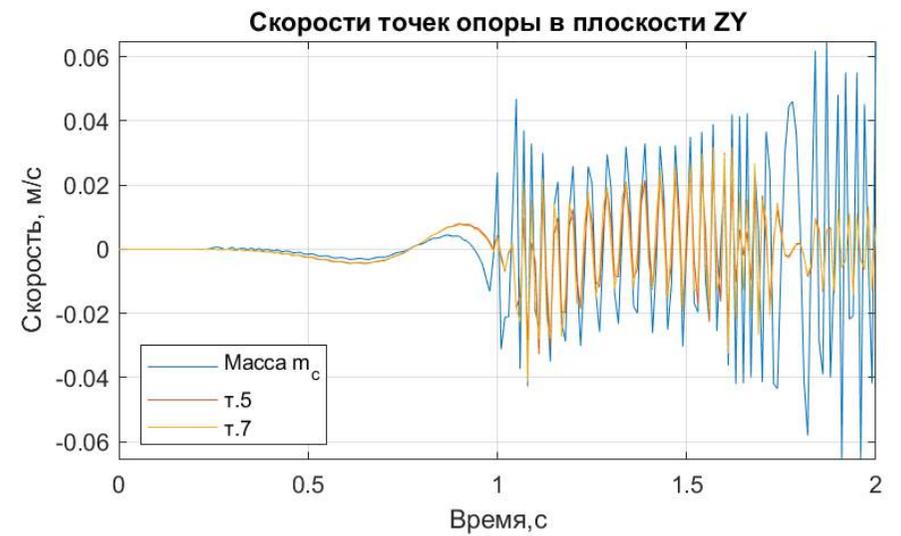
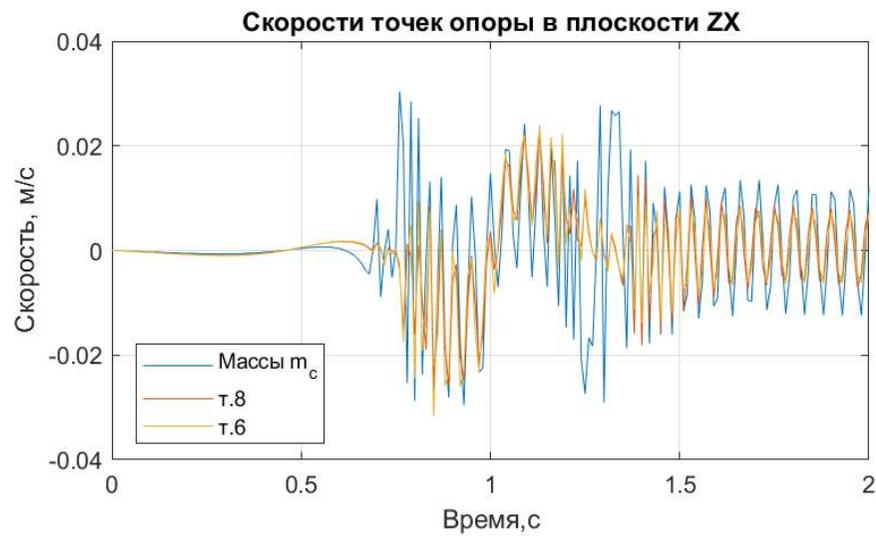
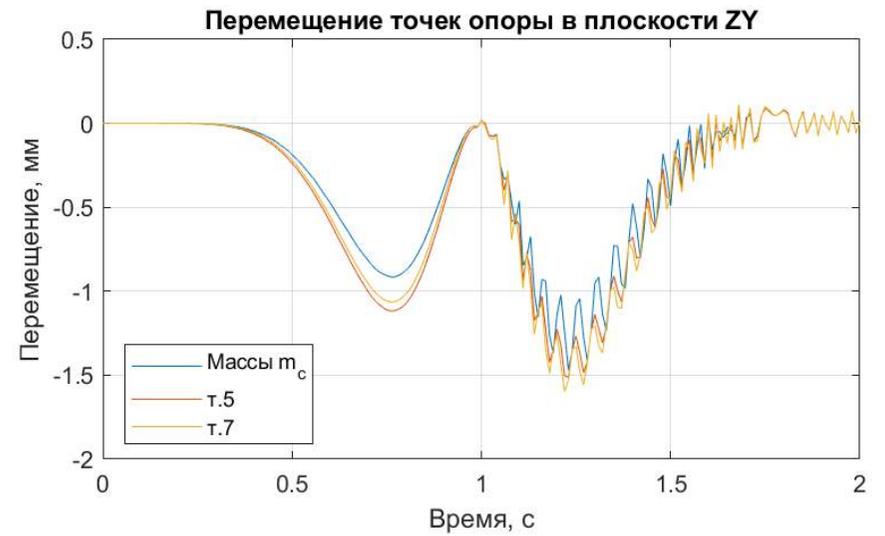
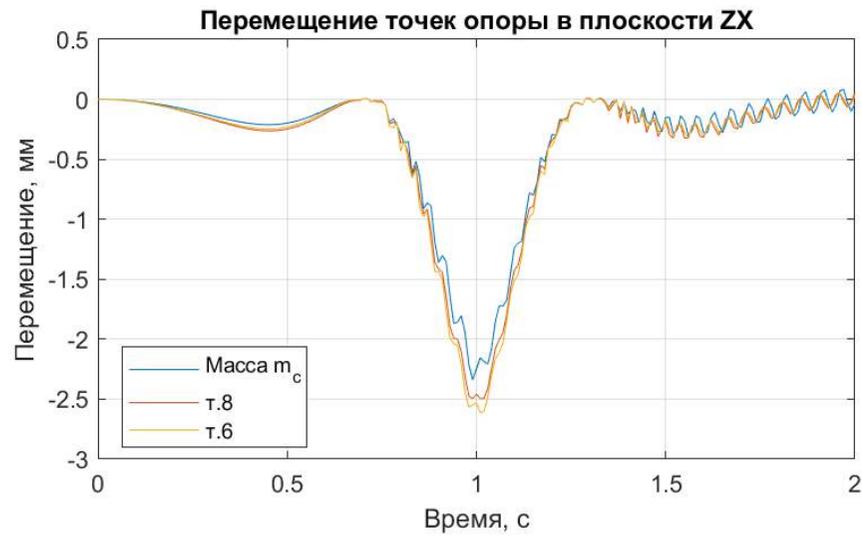
Графики первой группы.



Графики второй группы.

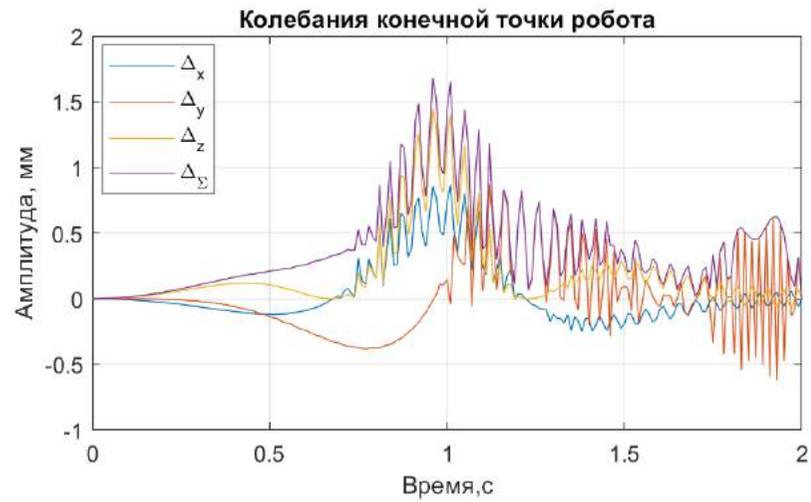
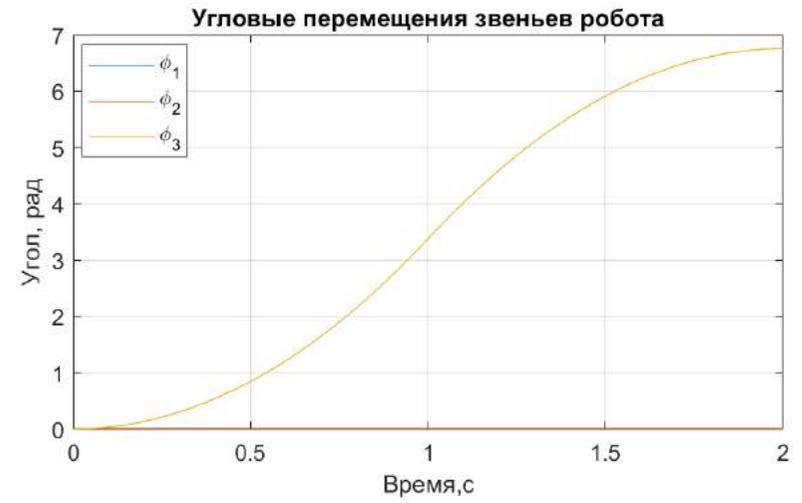
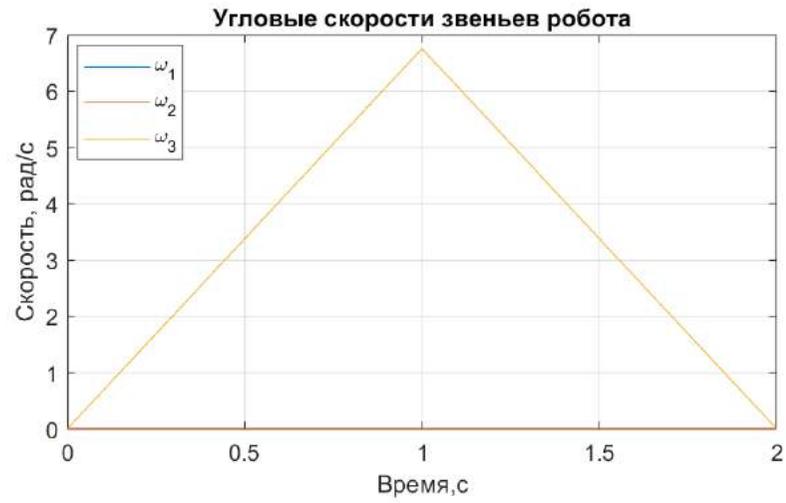


Графики третьей группы.

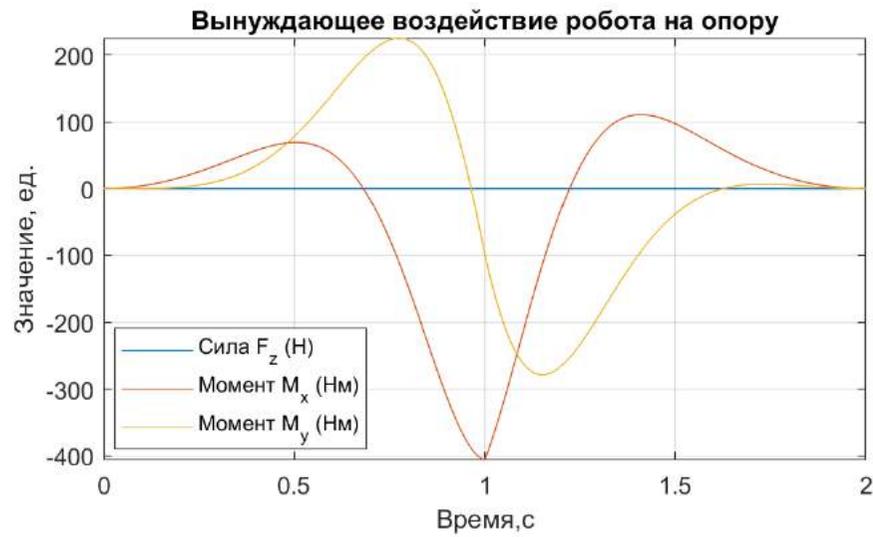
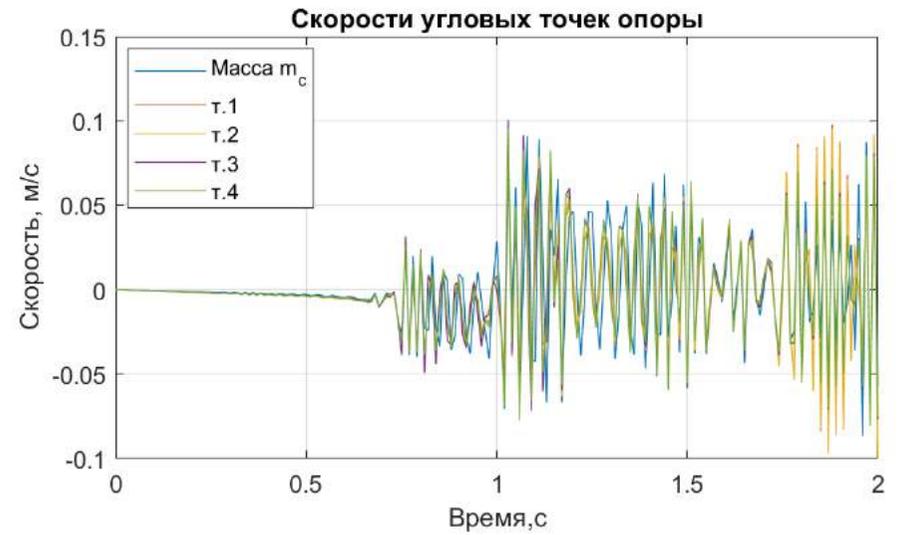
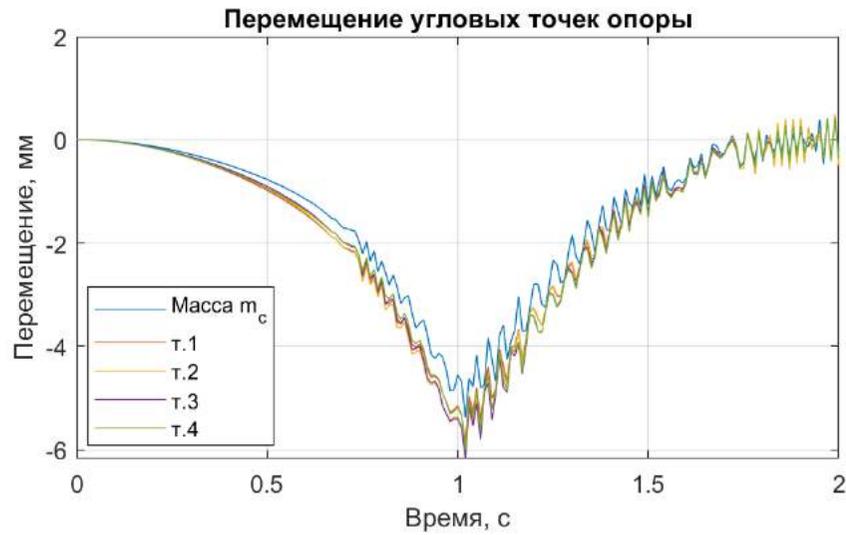


$$\phi_2 = 15^\circ$$

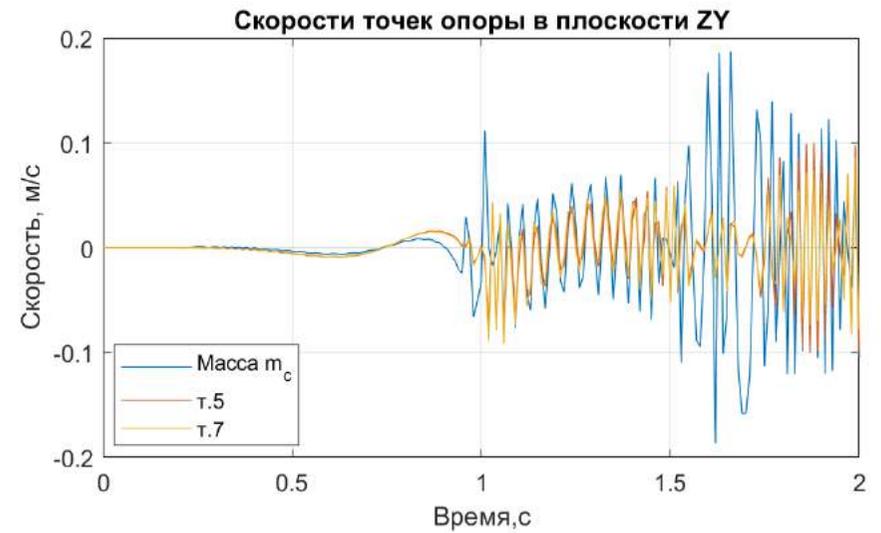
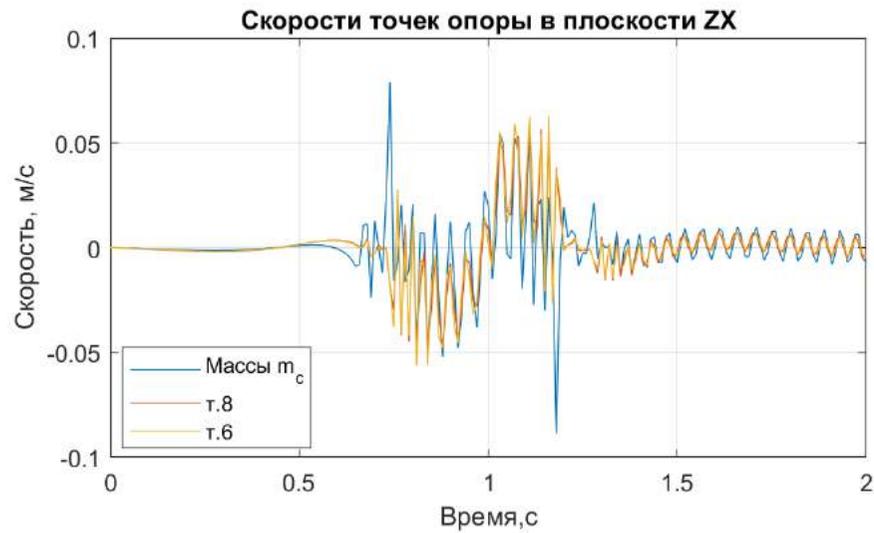
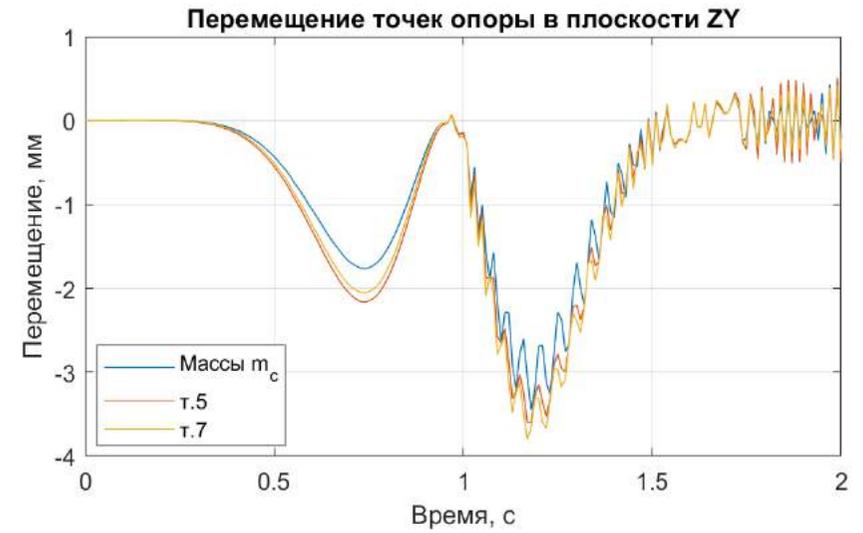
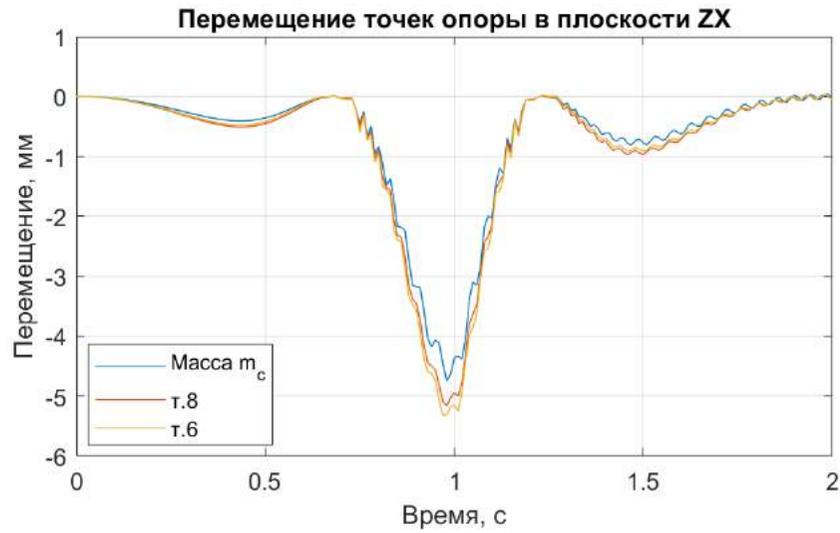
Графики первой группы.



Графики второй группы.

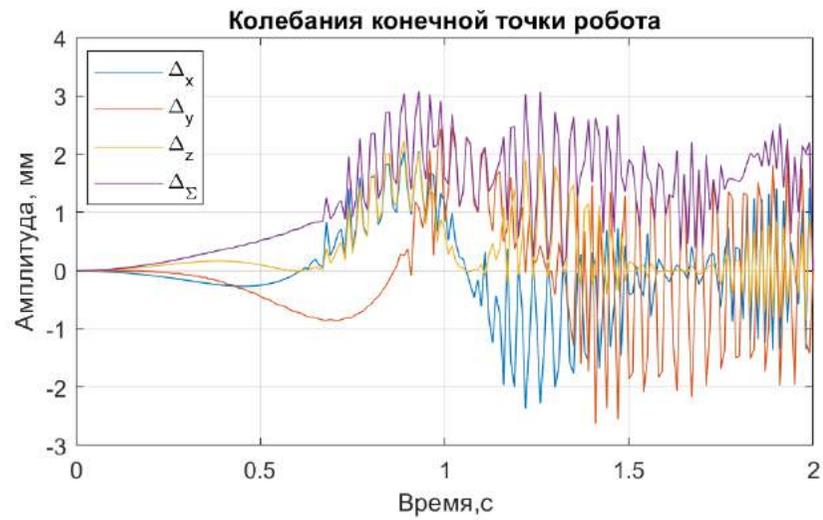
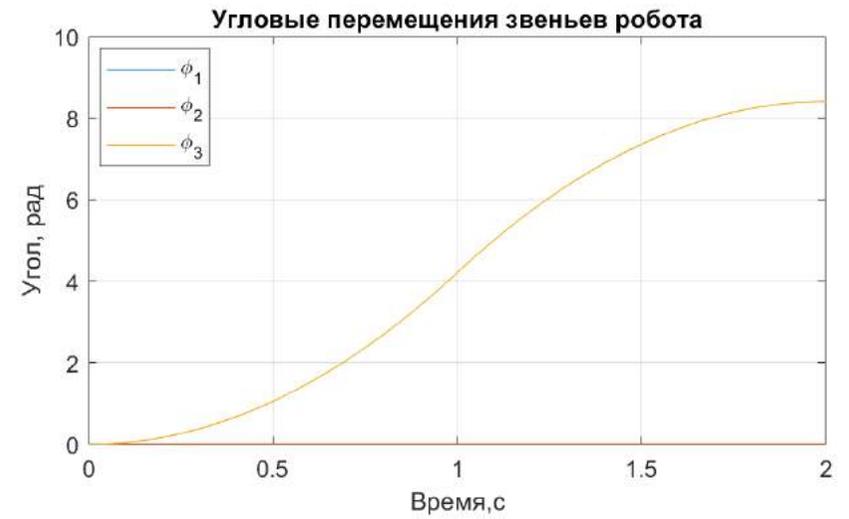
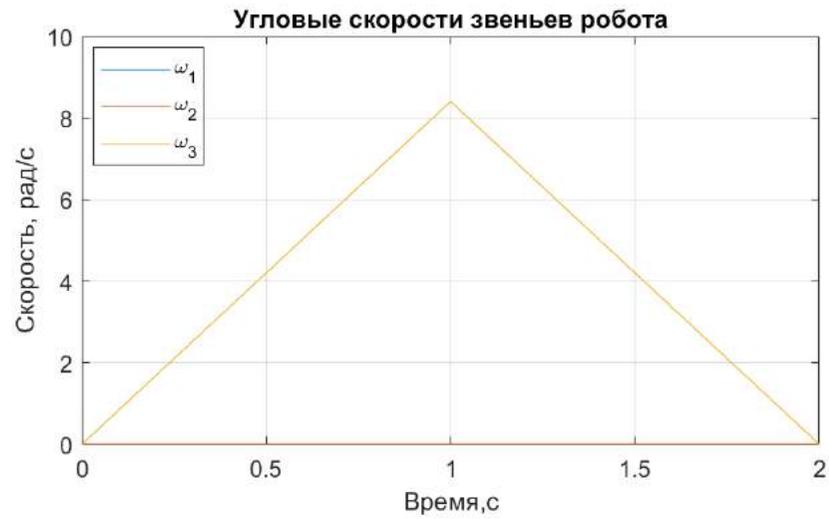


Графики третьей группы.

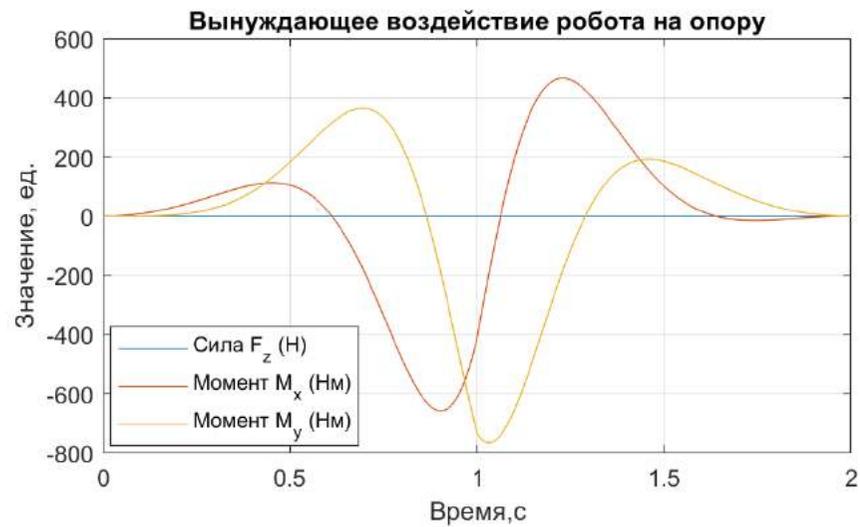
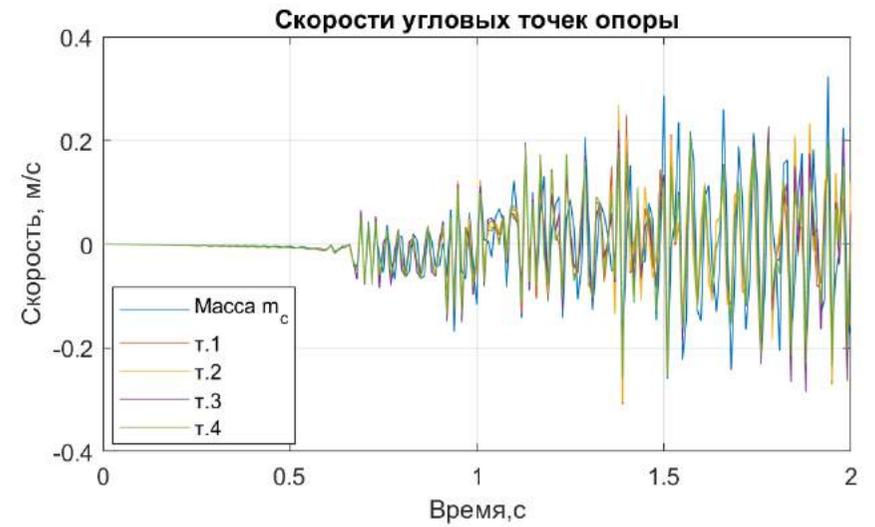
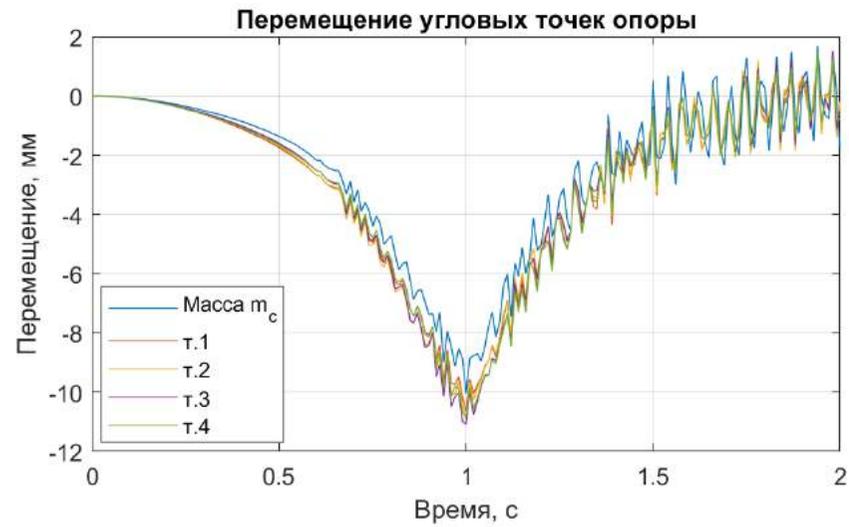


$$\phi_2 = 30^\circ$$

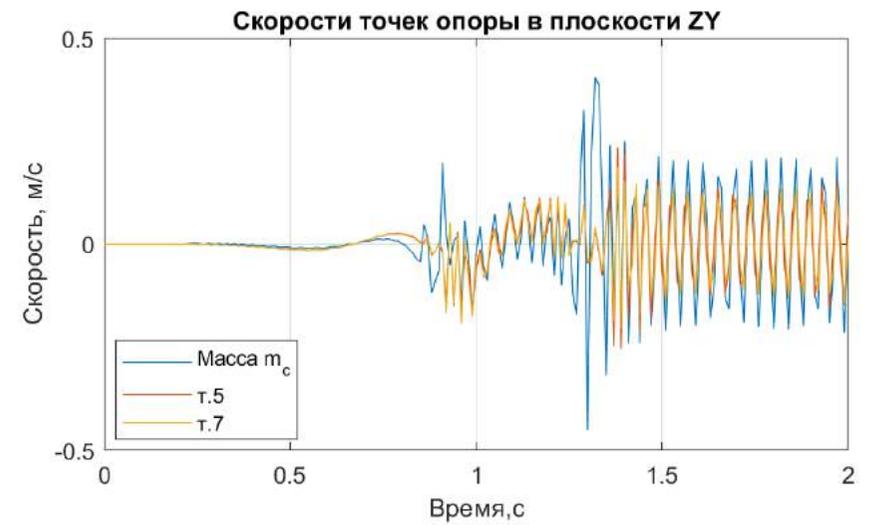
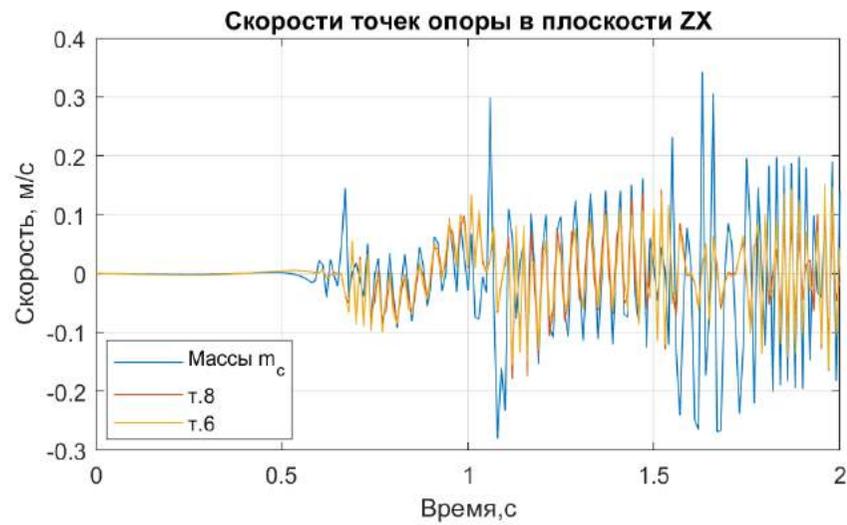
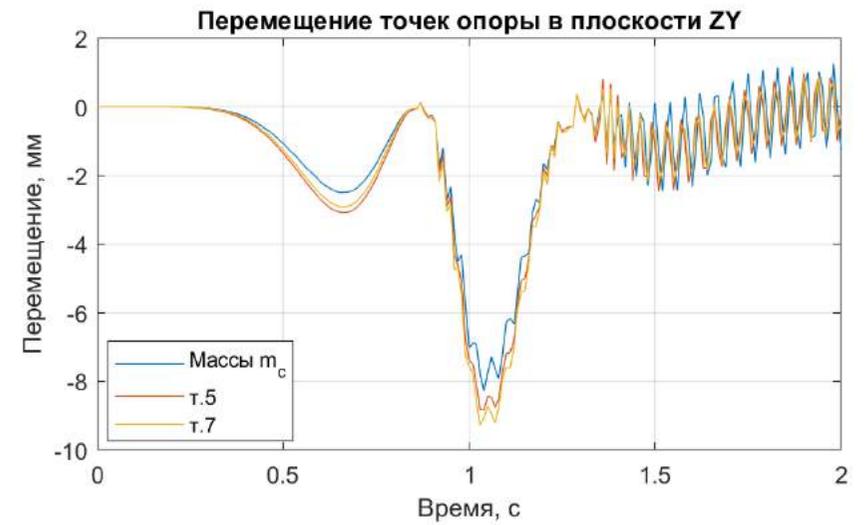
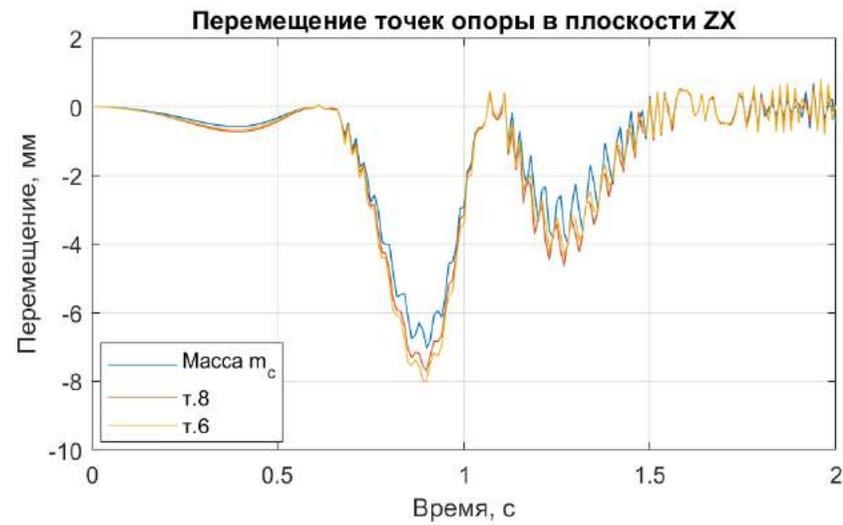
Графики первой группы.



Графики второй группы.

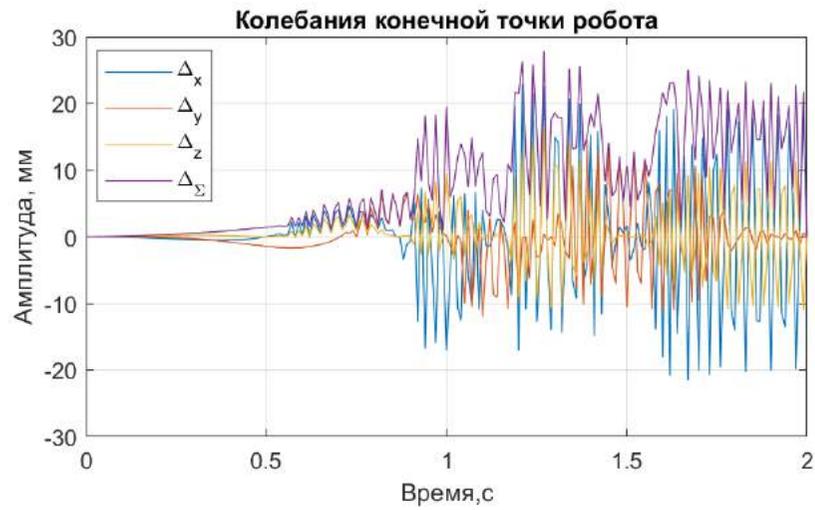
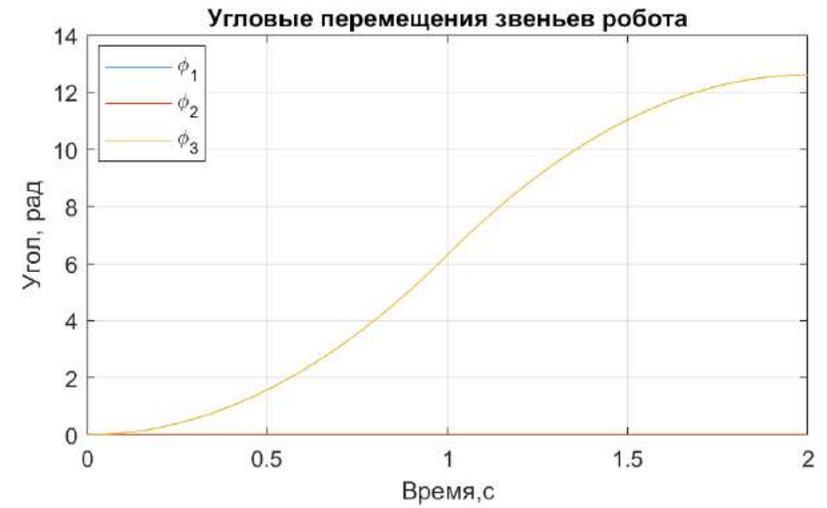
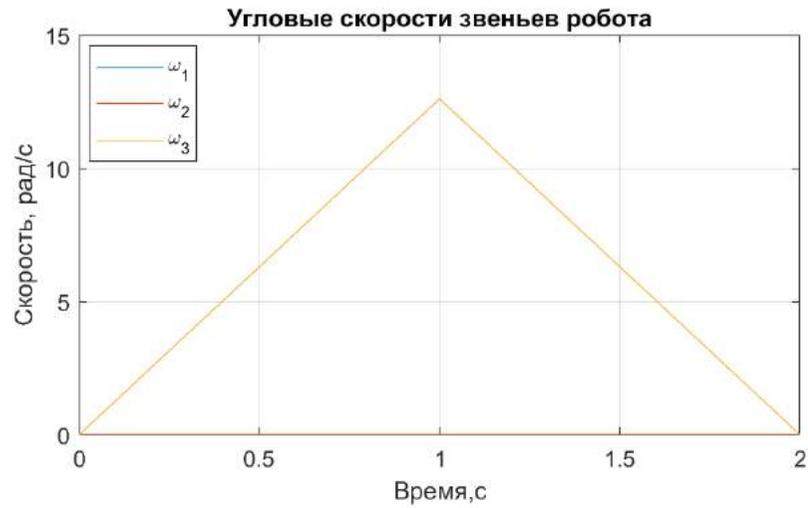


Графики третьей группы.

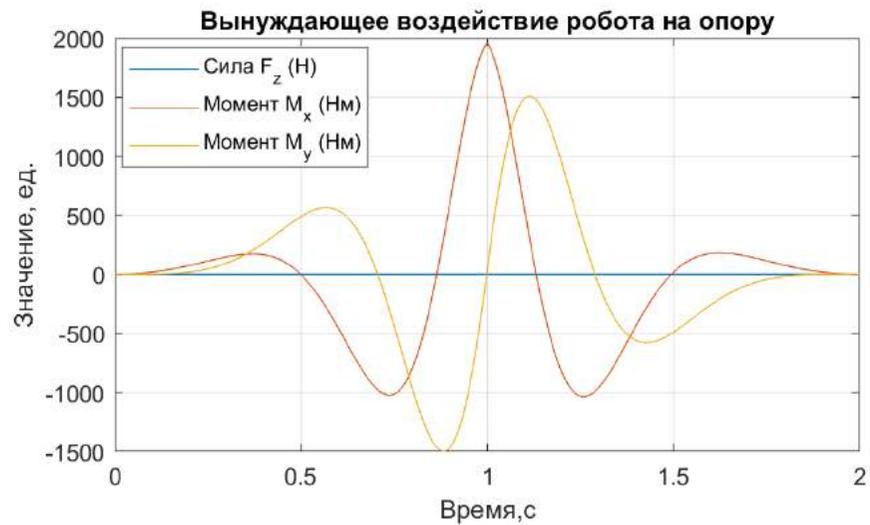
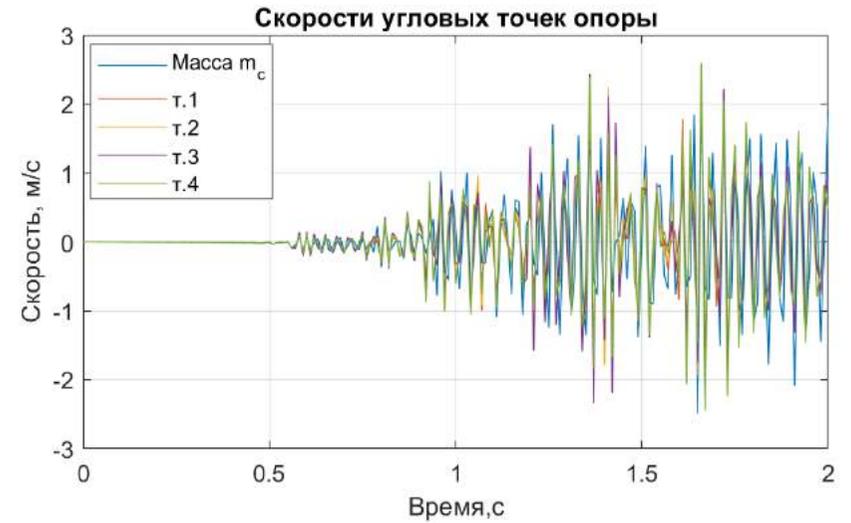
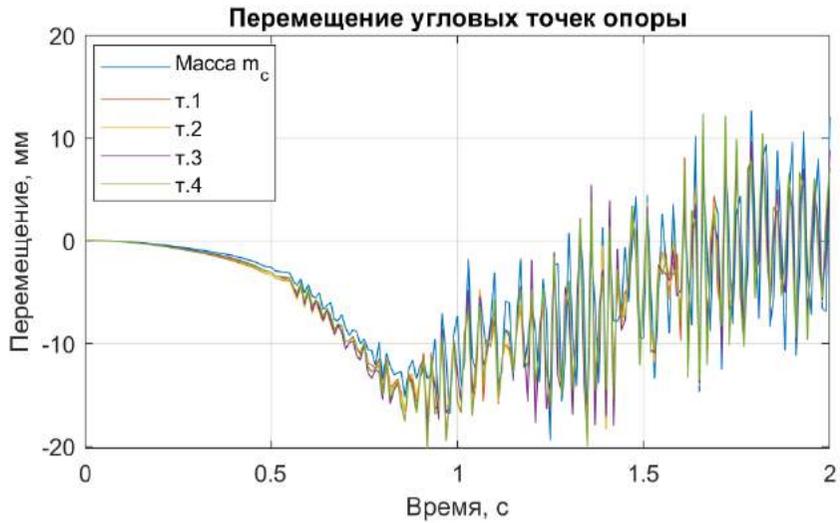


$$\varphi_2 = 45^\circ$$

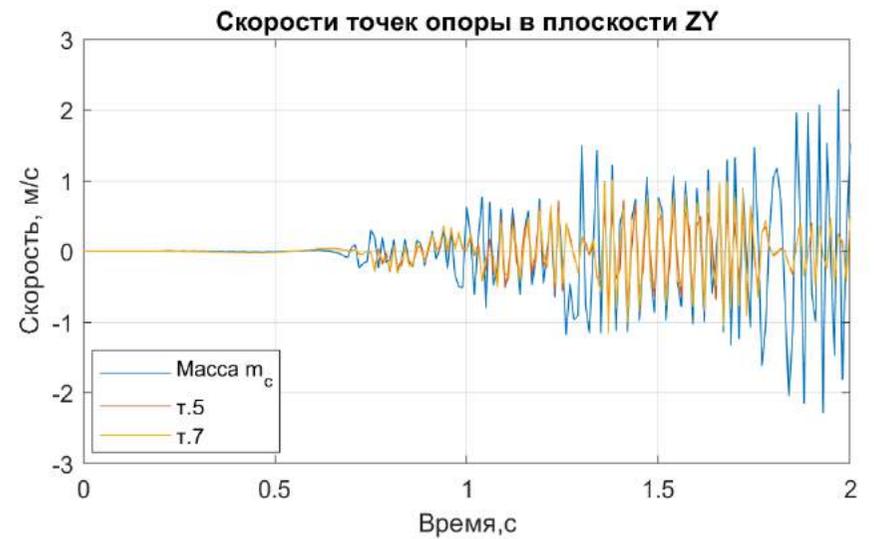
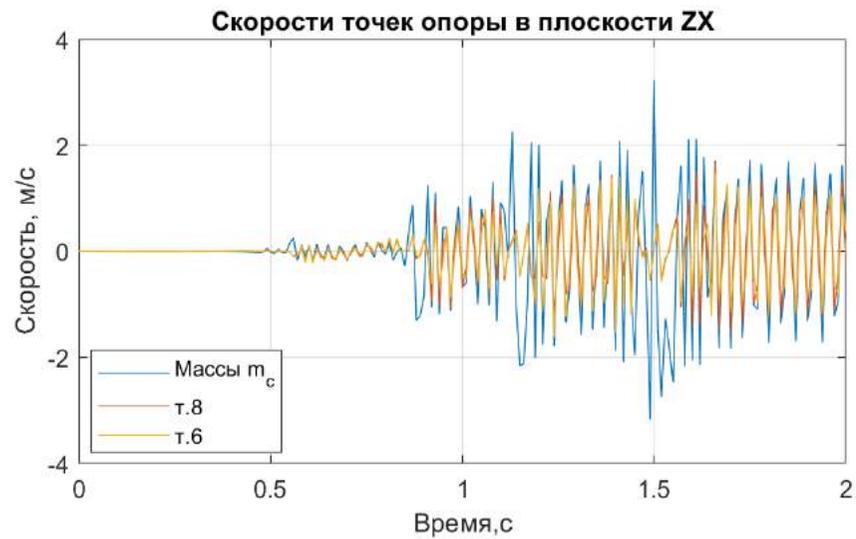
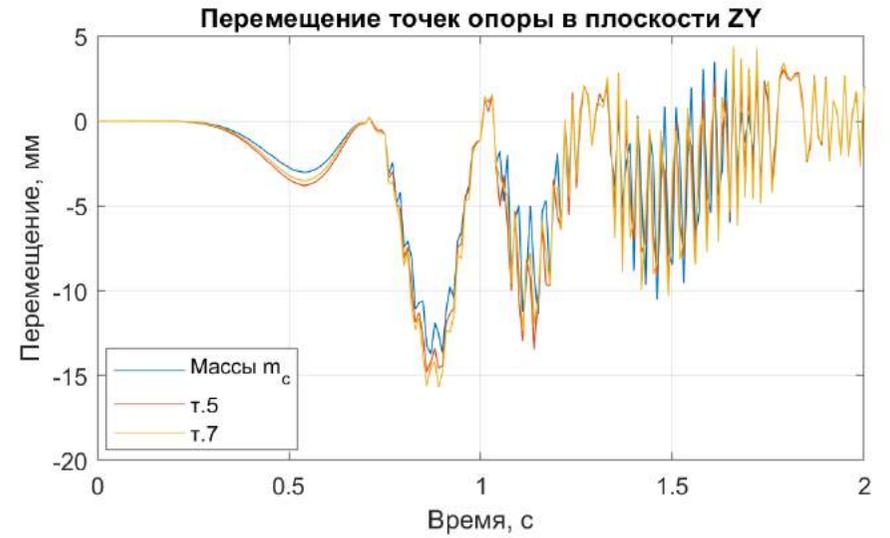
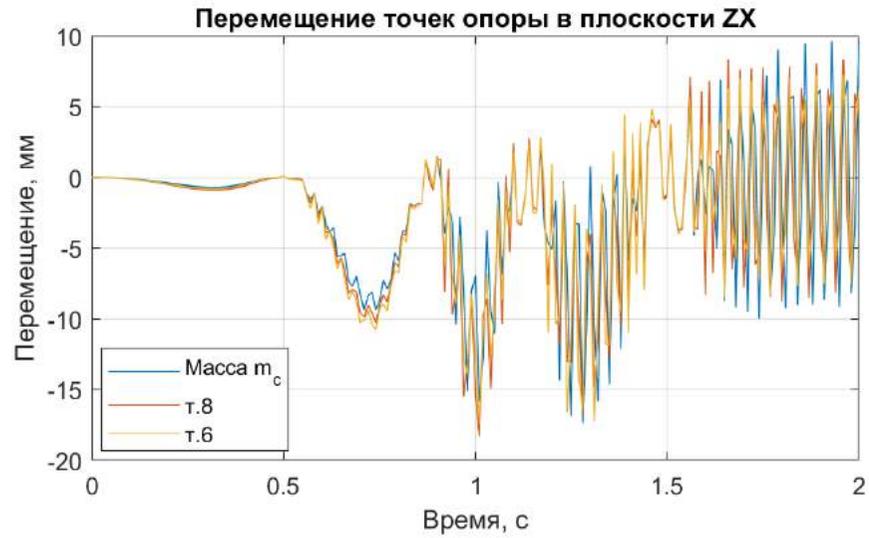
Графики первой группы.



Графики второй группы.

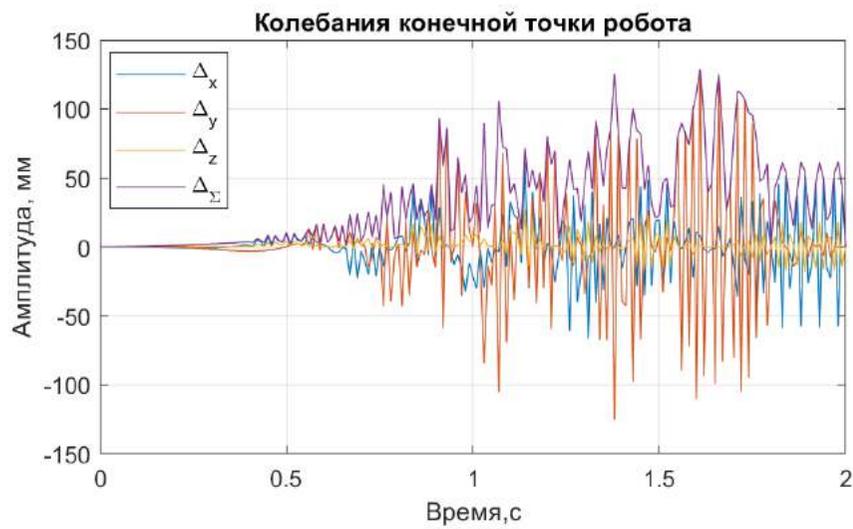
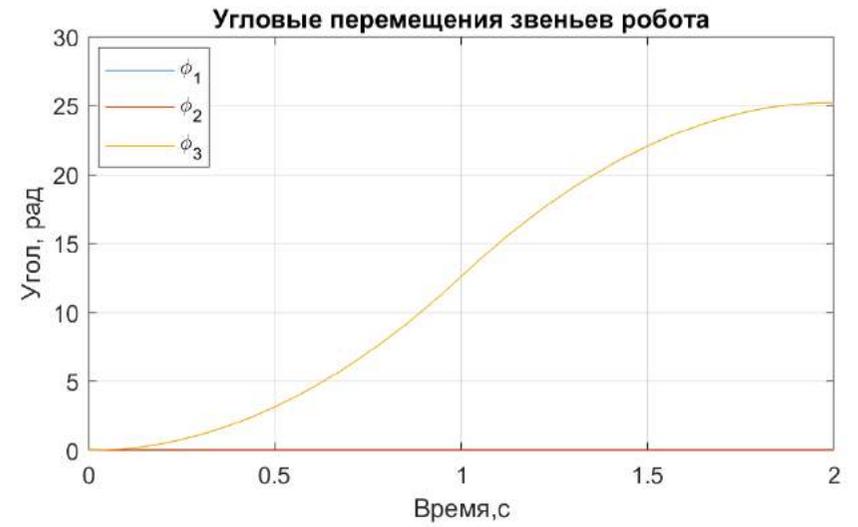
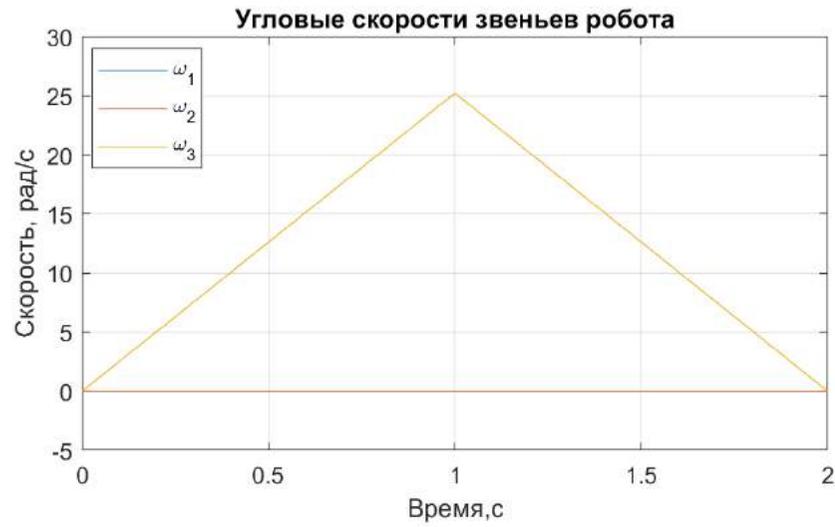


Графики третьей группы.

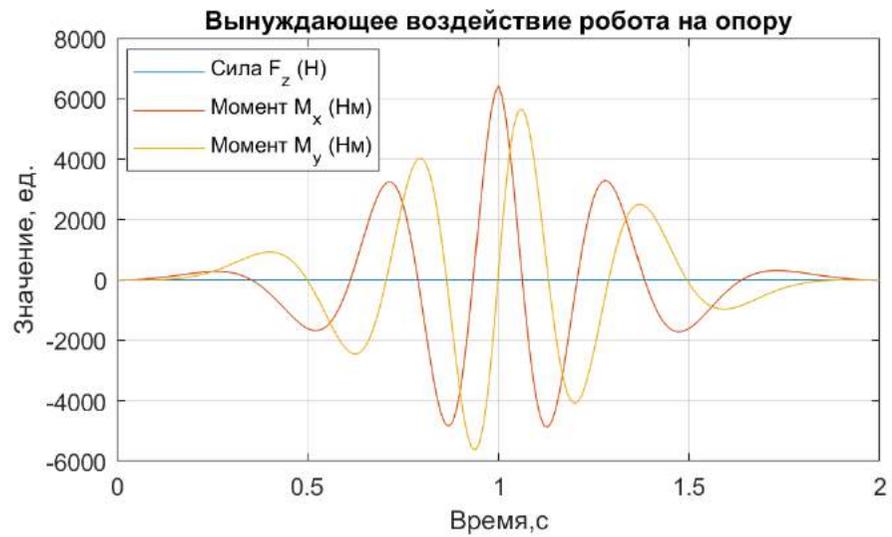
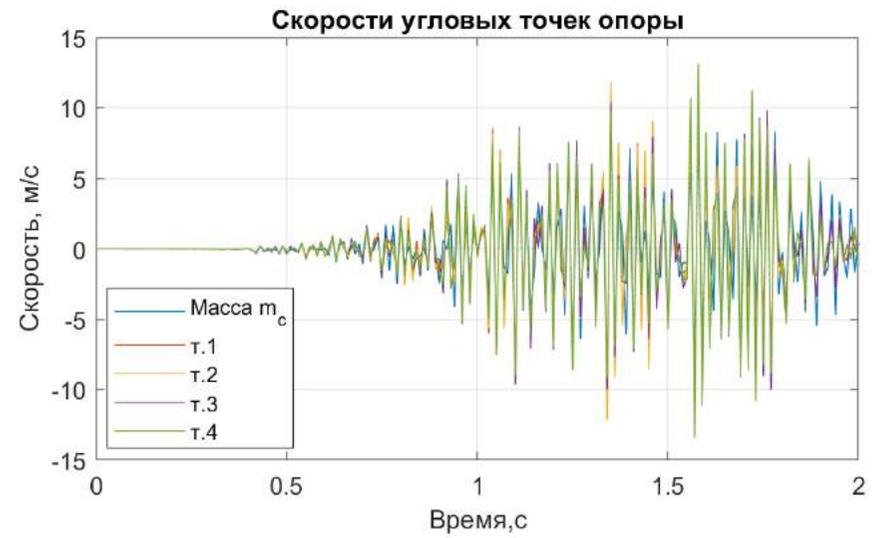
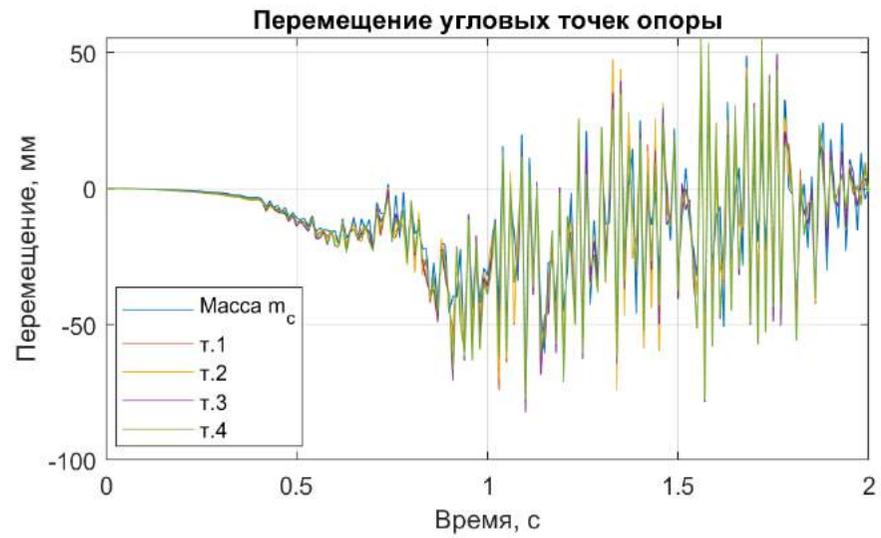


$$\varphi_2 = 60^\circ$$

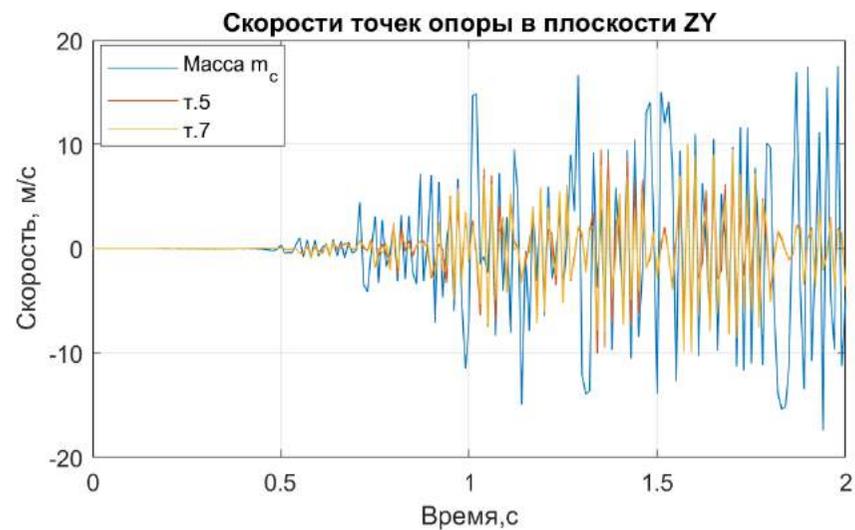
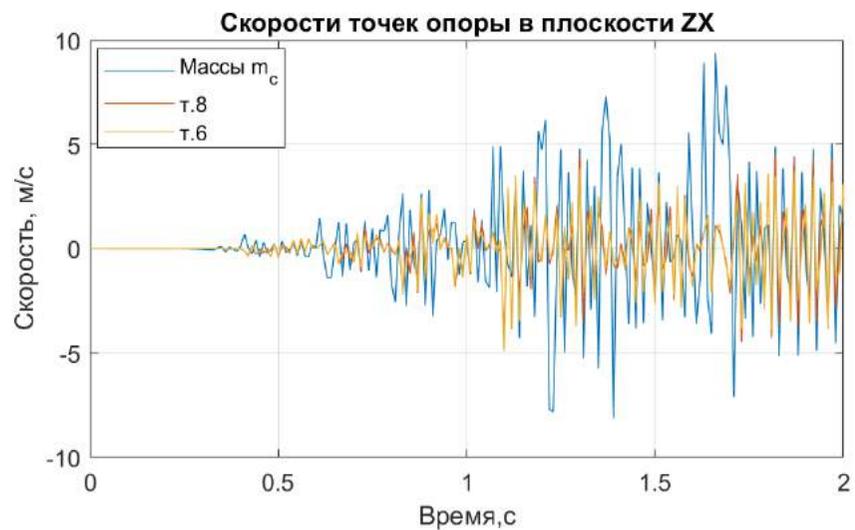
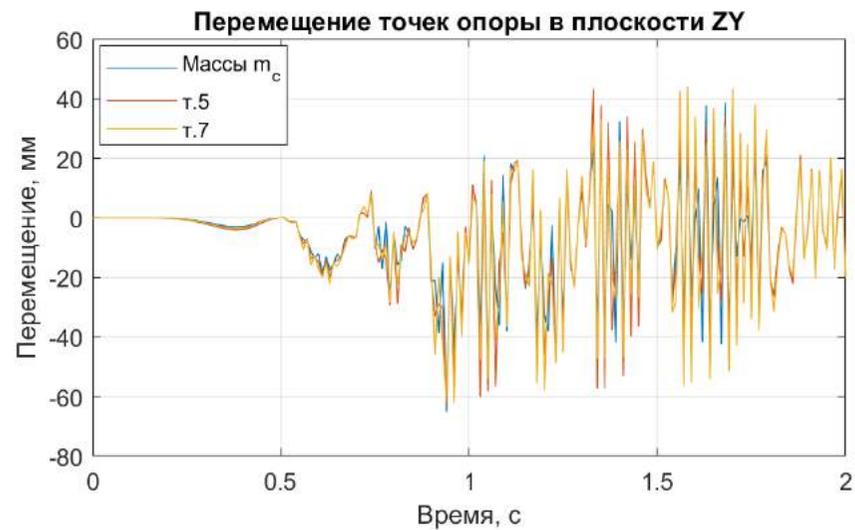
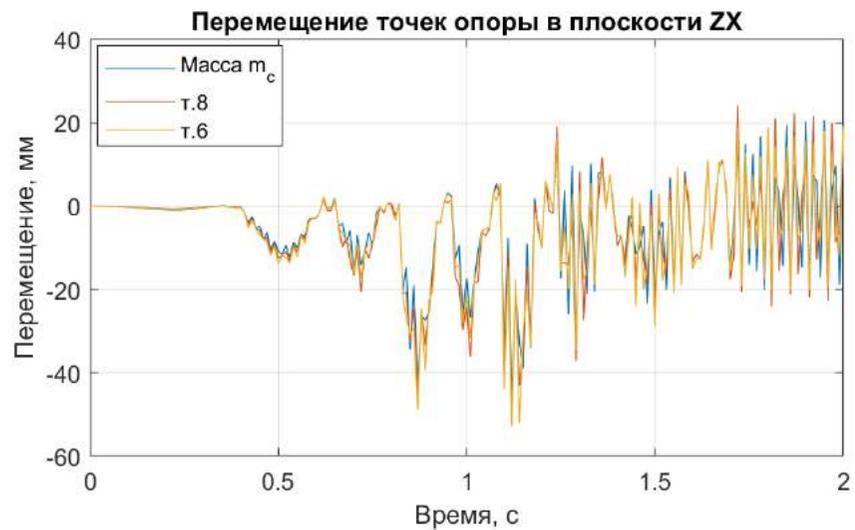
Графики первой группы.



Графики второй группы.

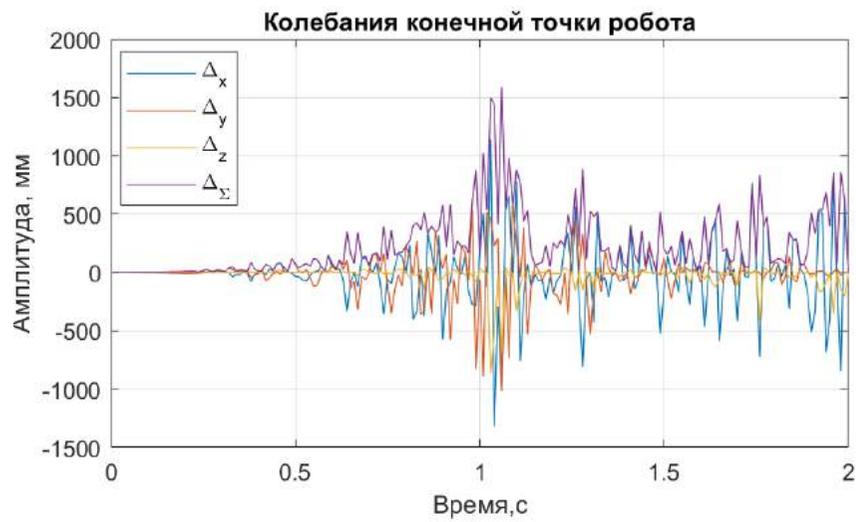
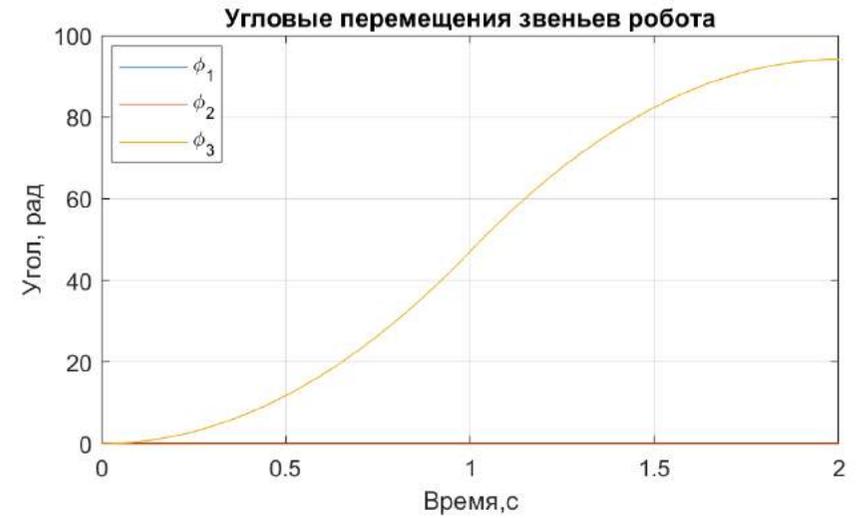
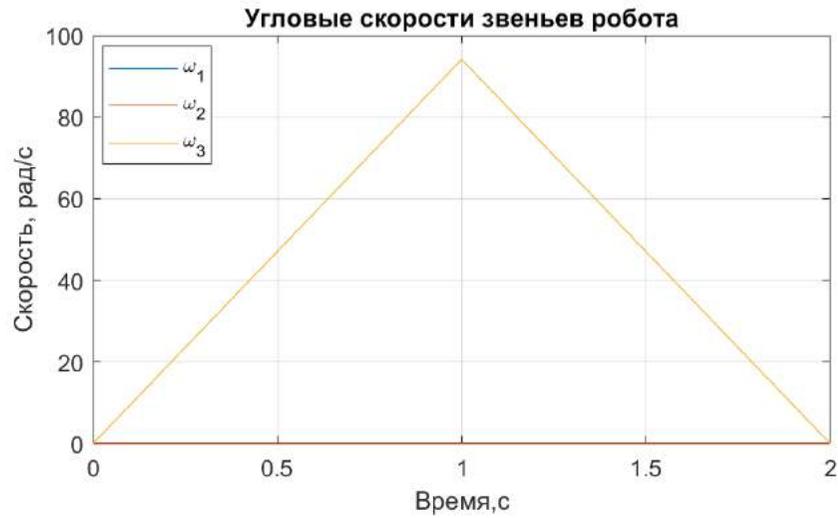


Графики третьей группы.

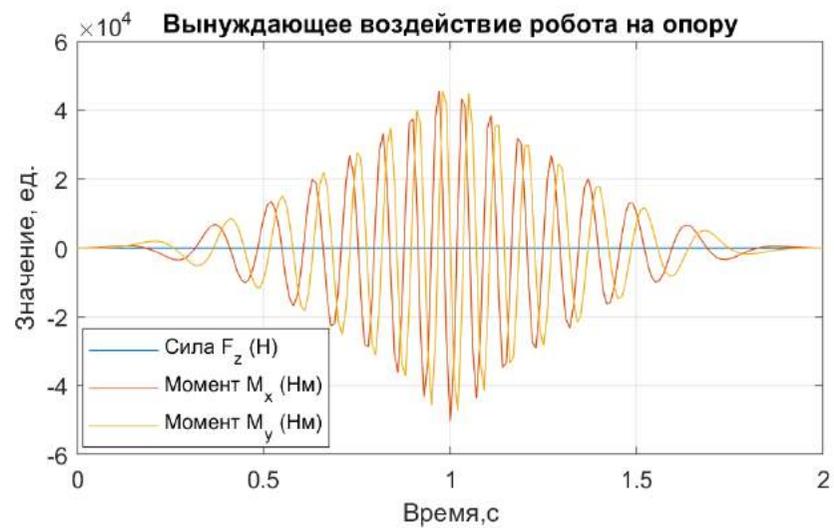
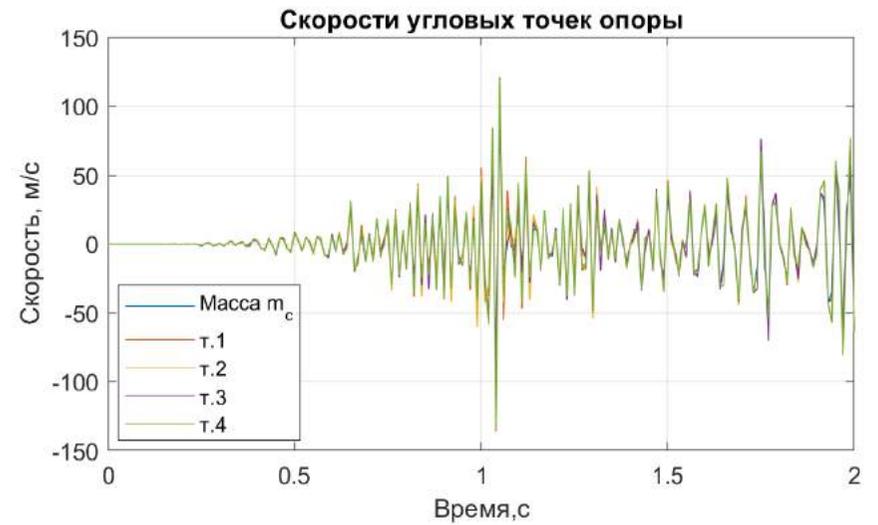
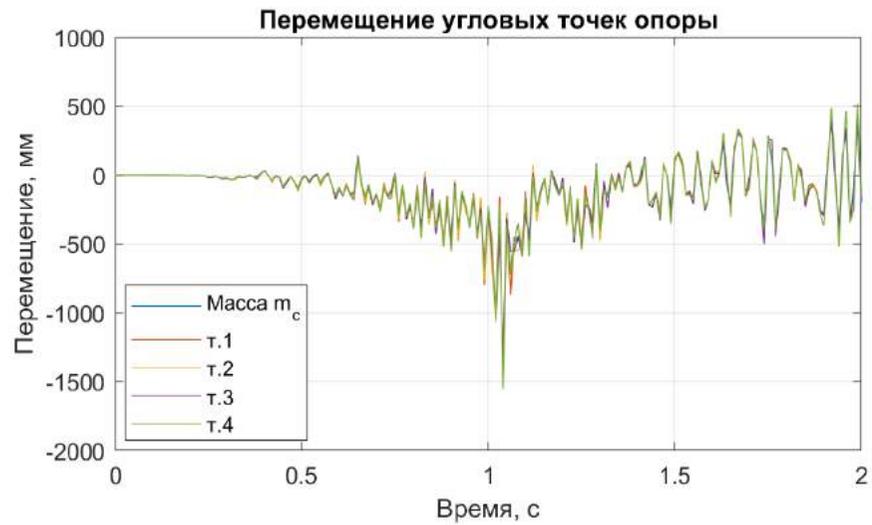


$$\phi_2 = 75^\circ$$

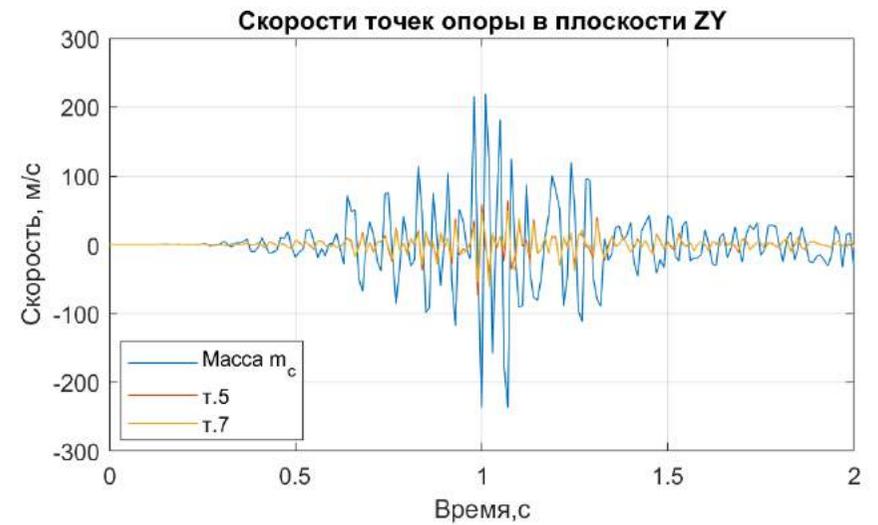
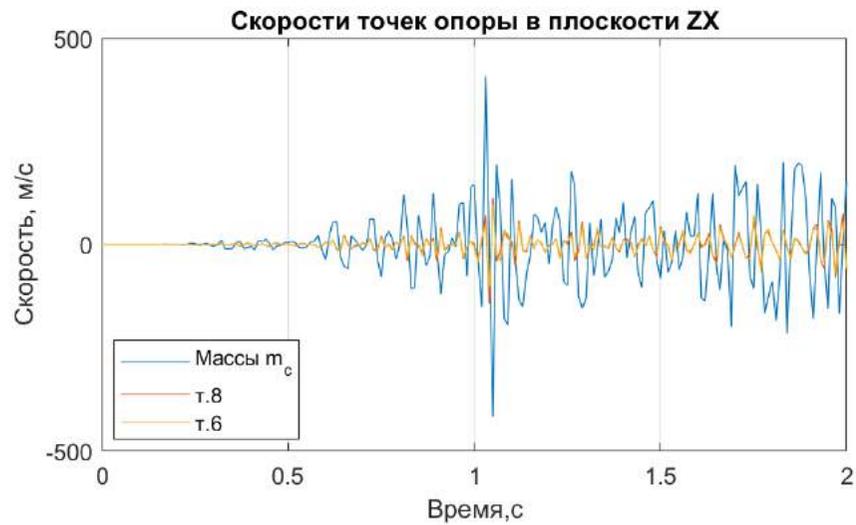
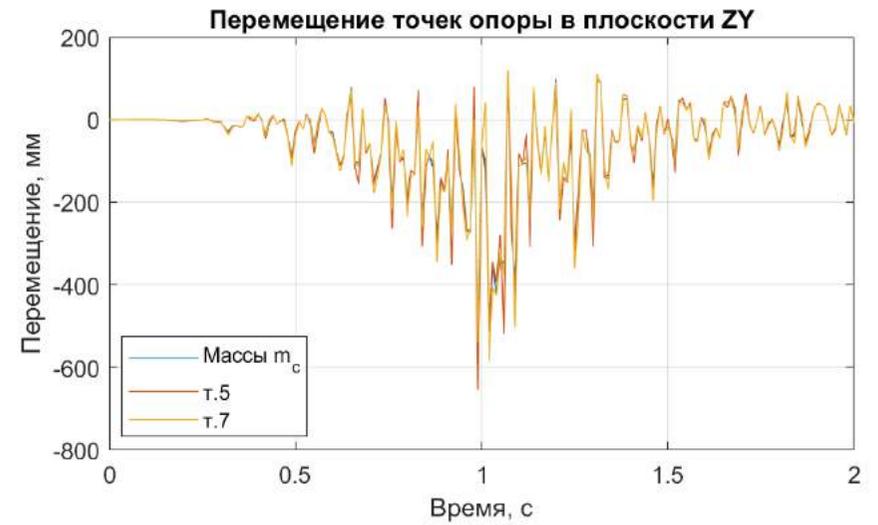
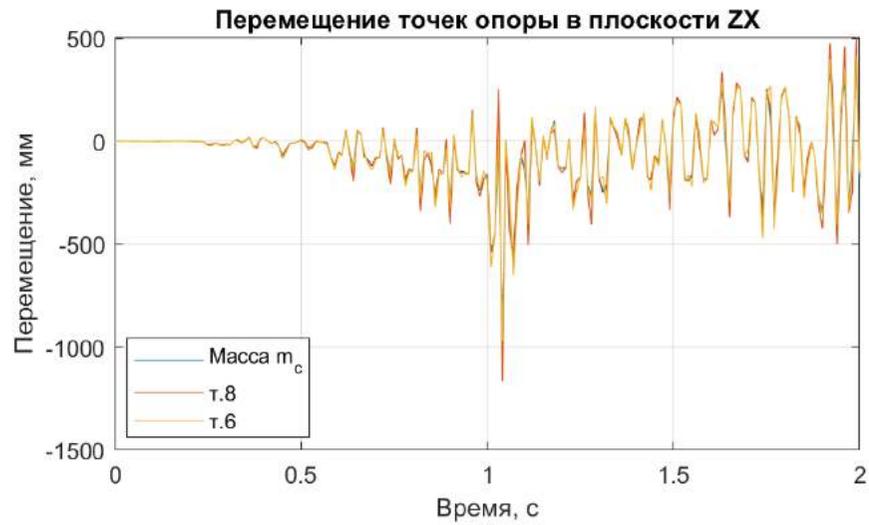
Графики первой группы.



Графики второй группы.

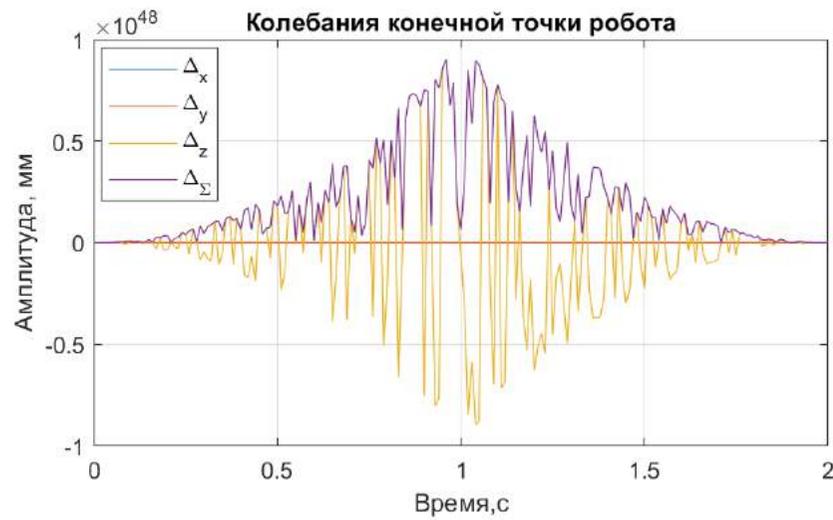
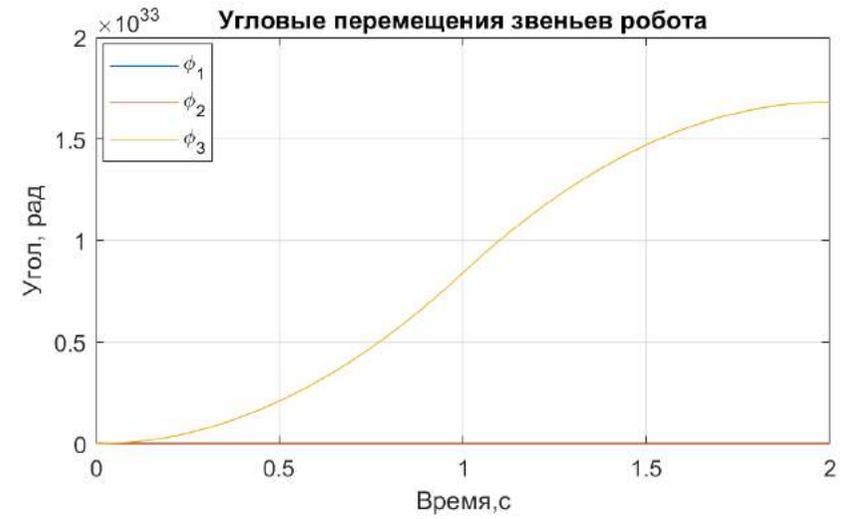
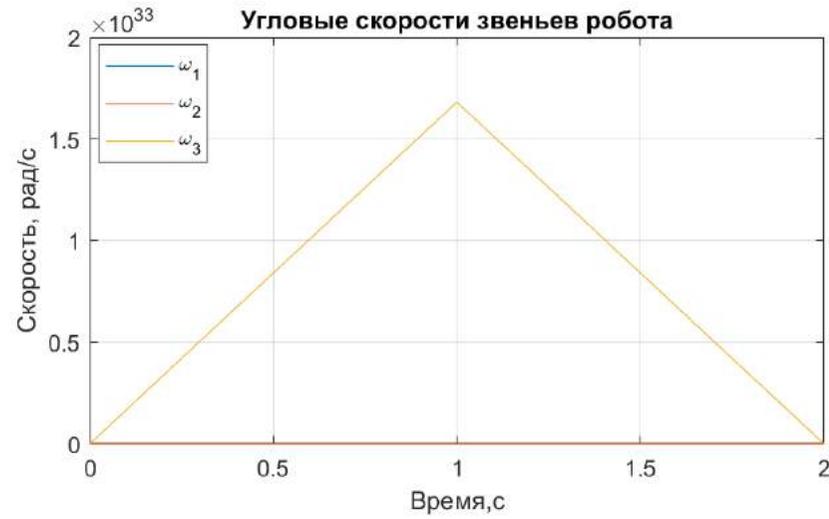


Графики третьей группы.

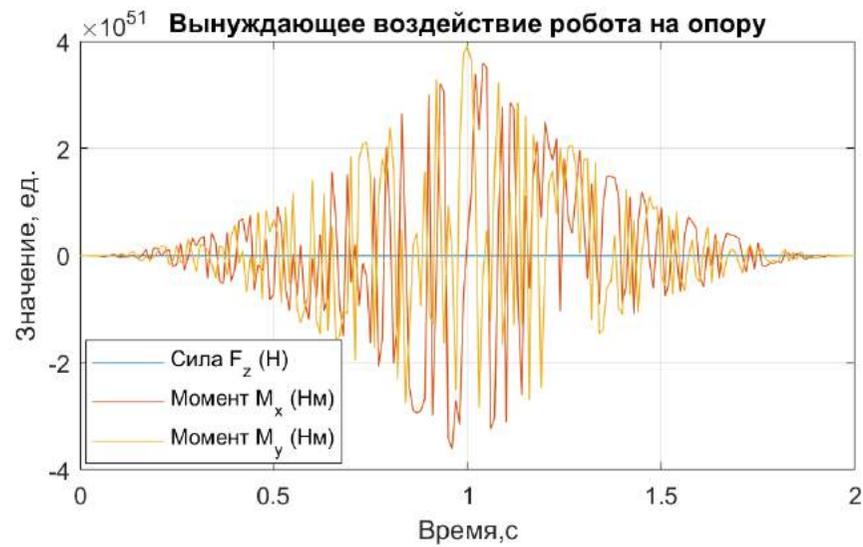
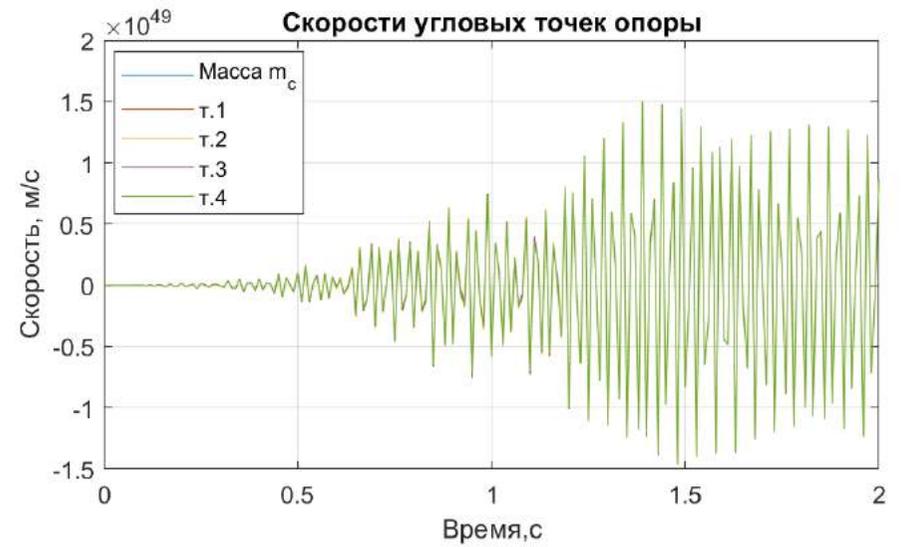
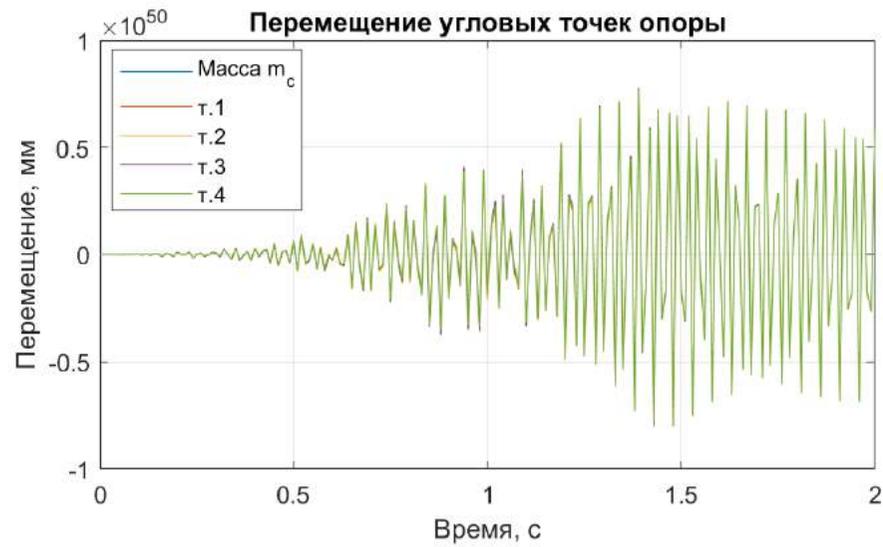


$$\varphi_2 = 90^\circ$$

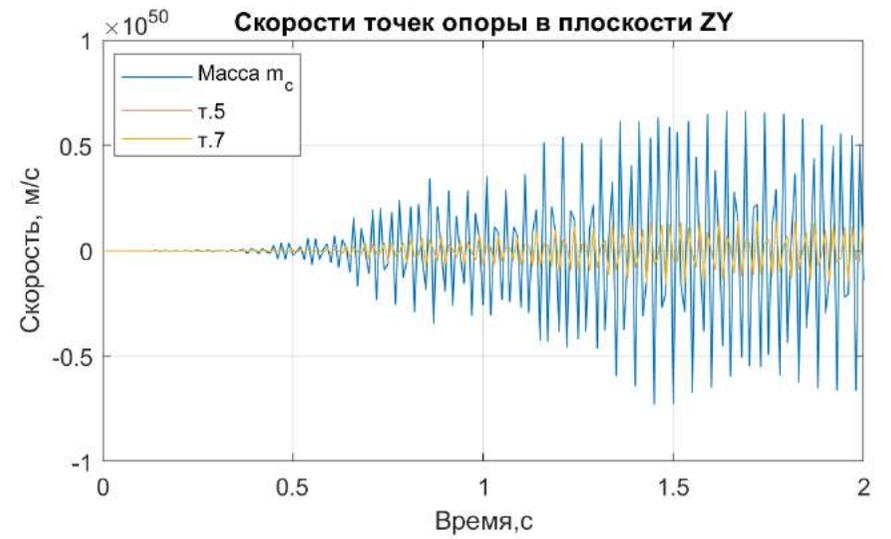
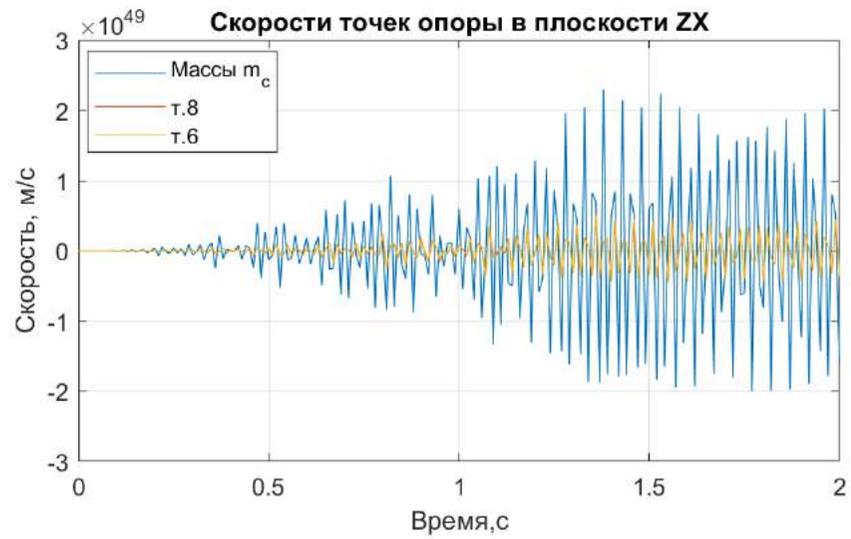
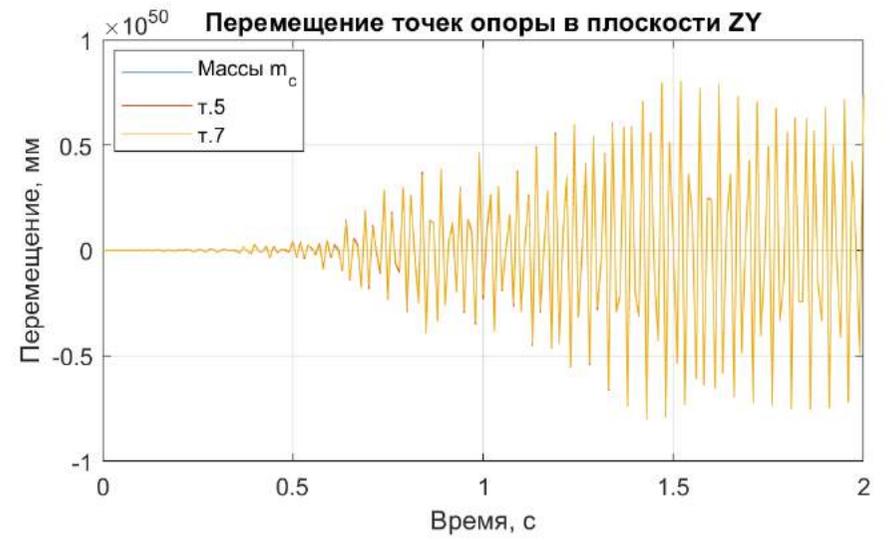
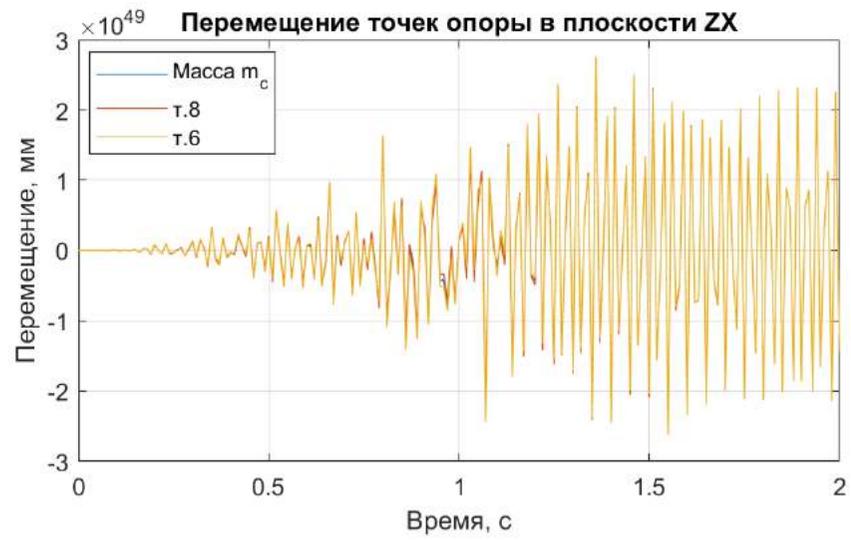
Графики первой группы.



Графики второй группы.



Графики третьей группы.

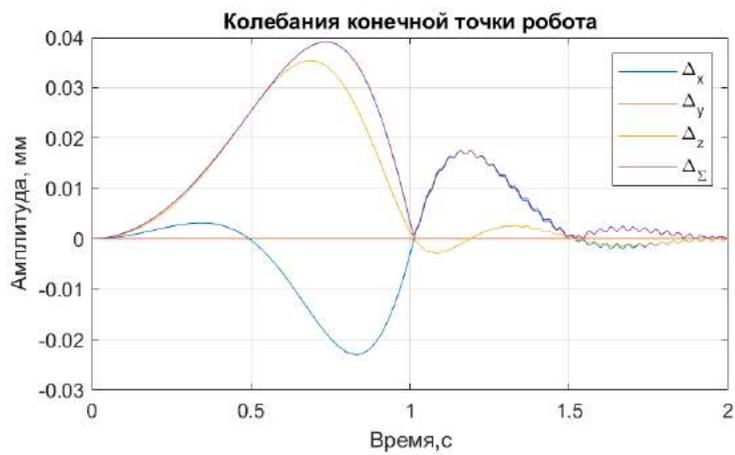
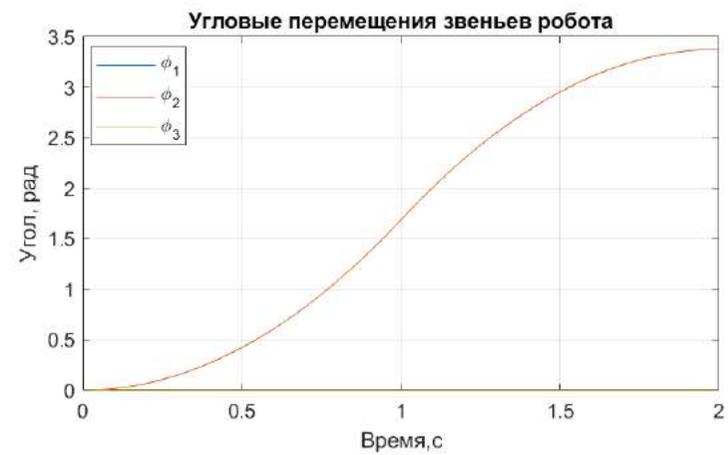
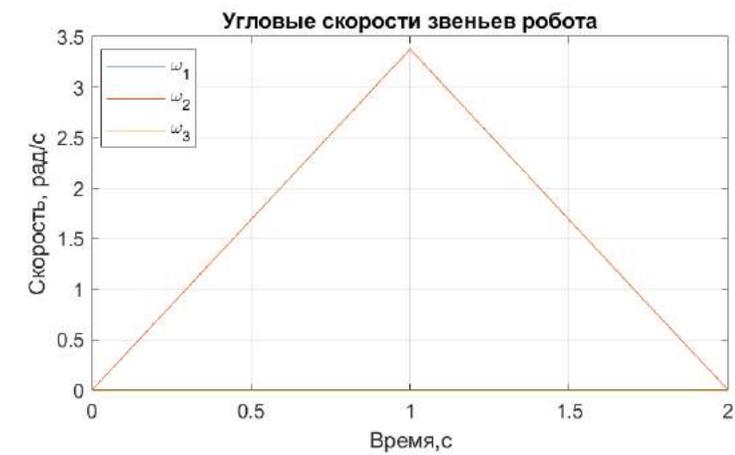


ПРИЛОЖЕНИЕ Е

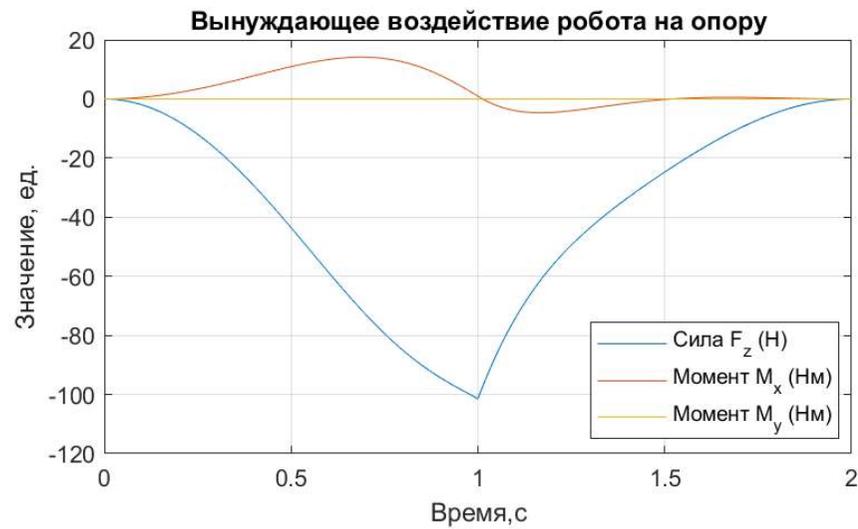
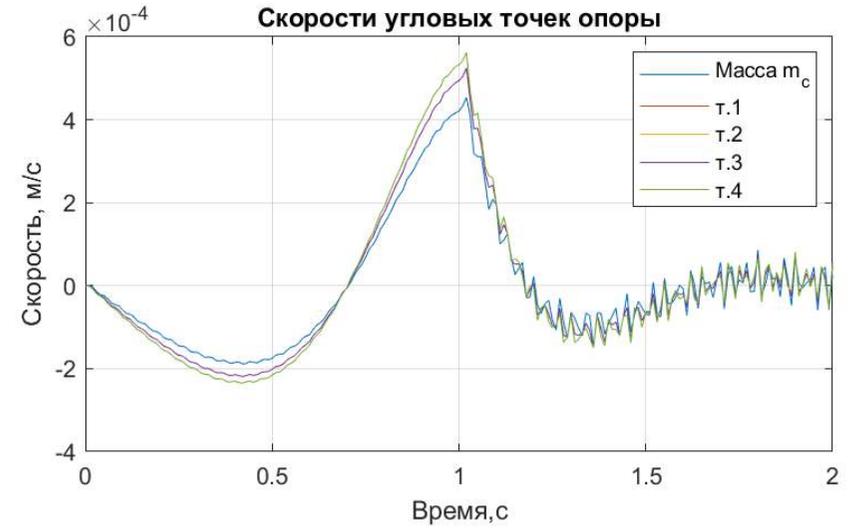
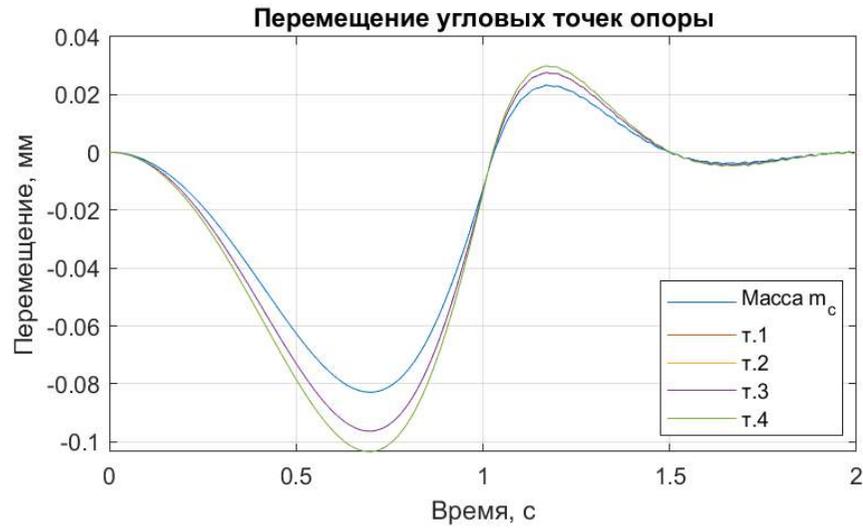
Графики третьего этапа.

$$\varphi_3 = 0^\circ$$

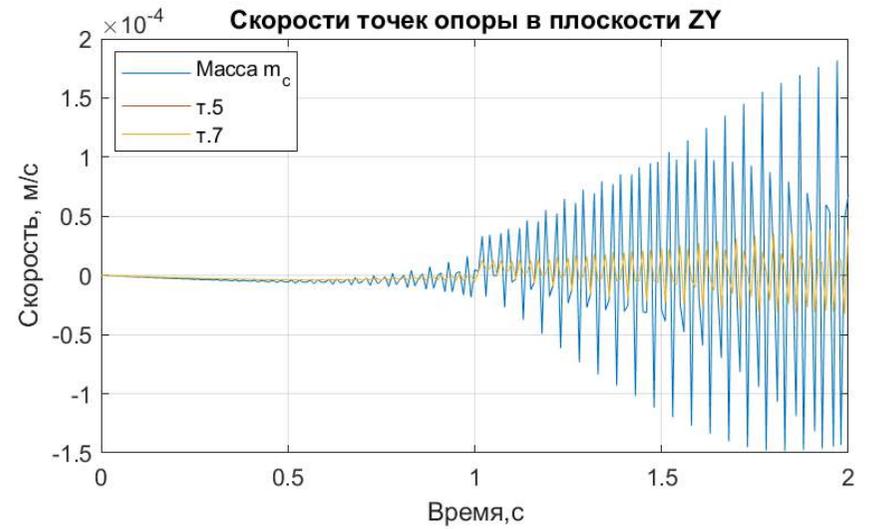
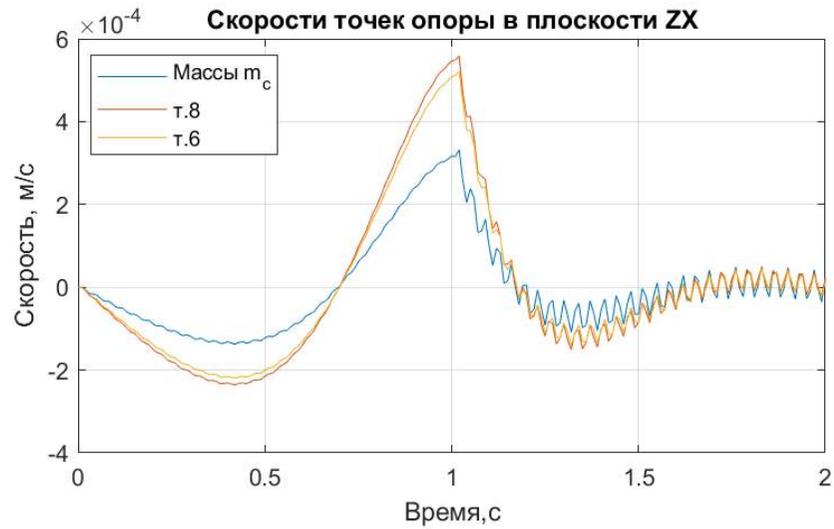
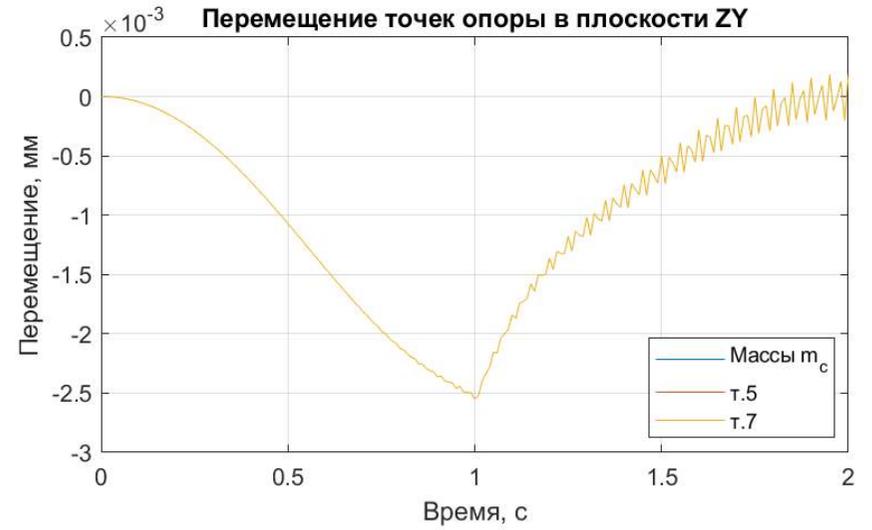
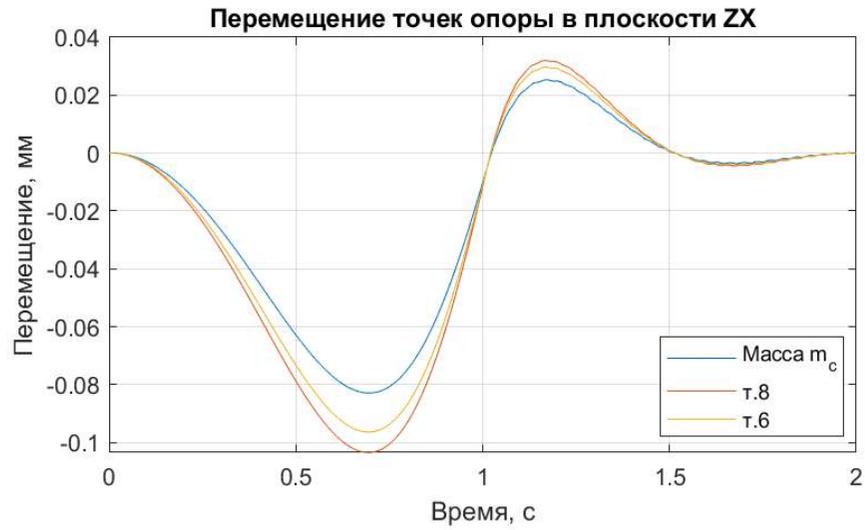
Графики первой группы.



Графики второй группы.

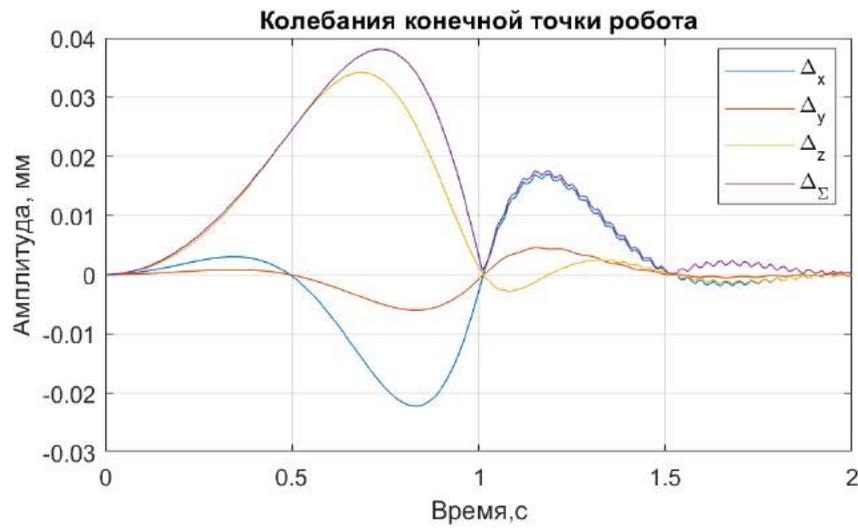
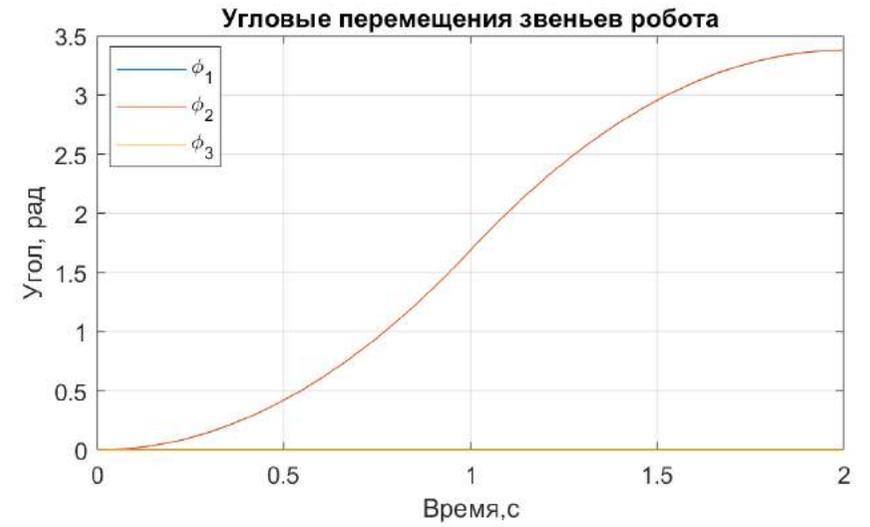
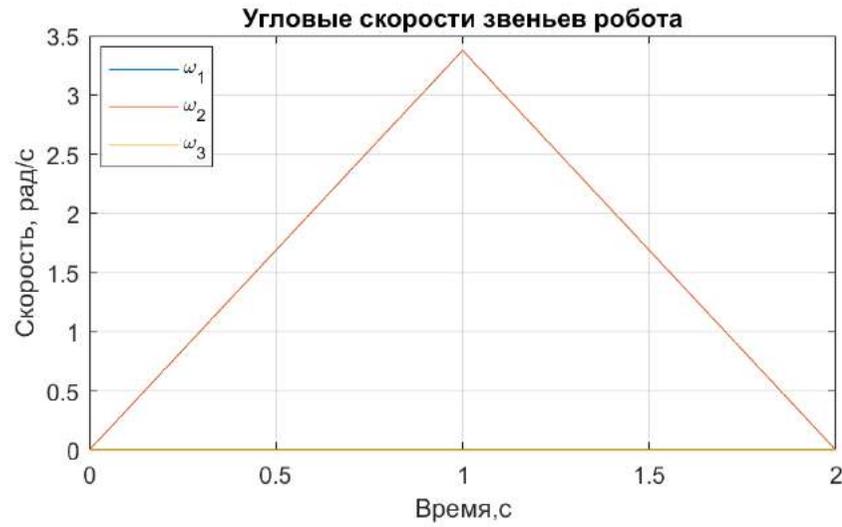


Графики третьей группы.

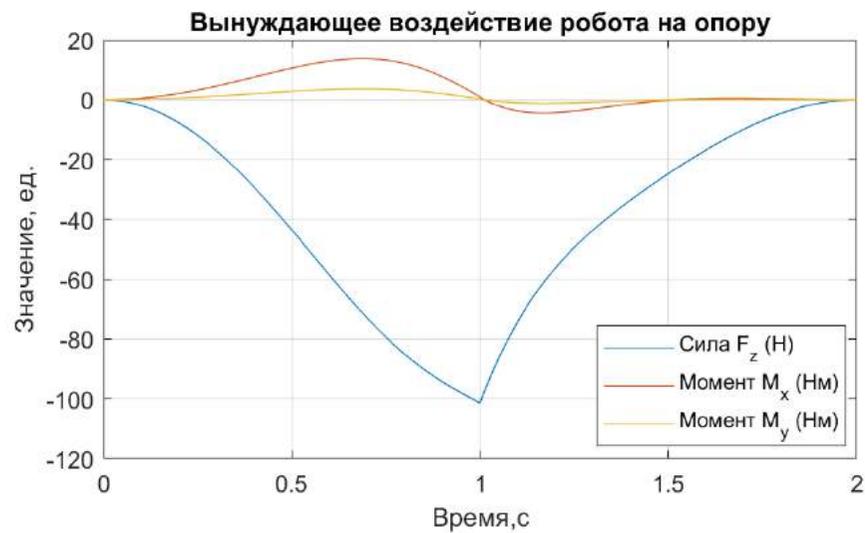
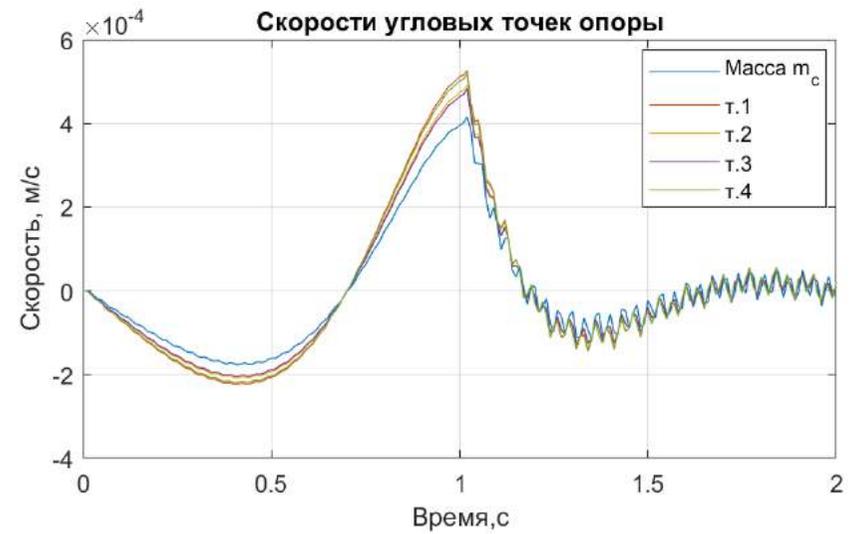
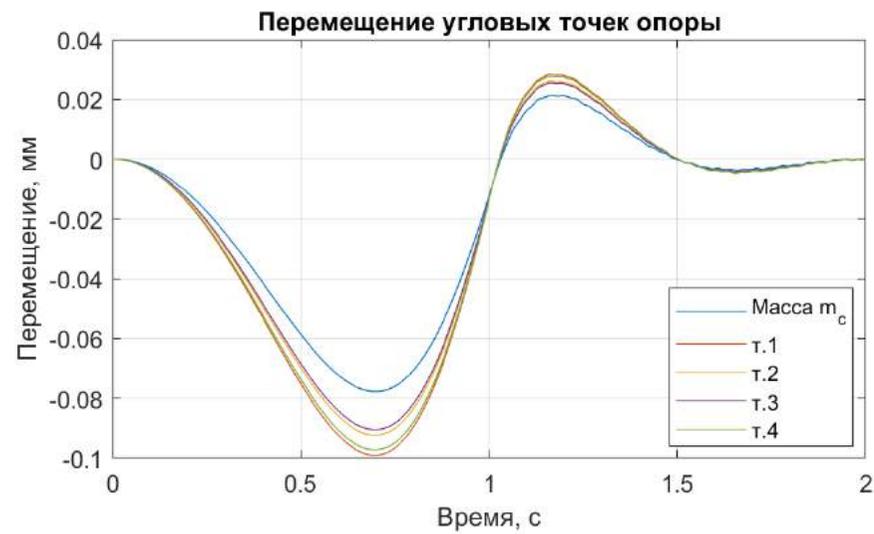


$$\phi_3 = 15^\circ$$

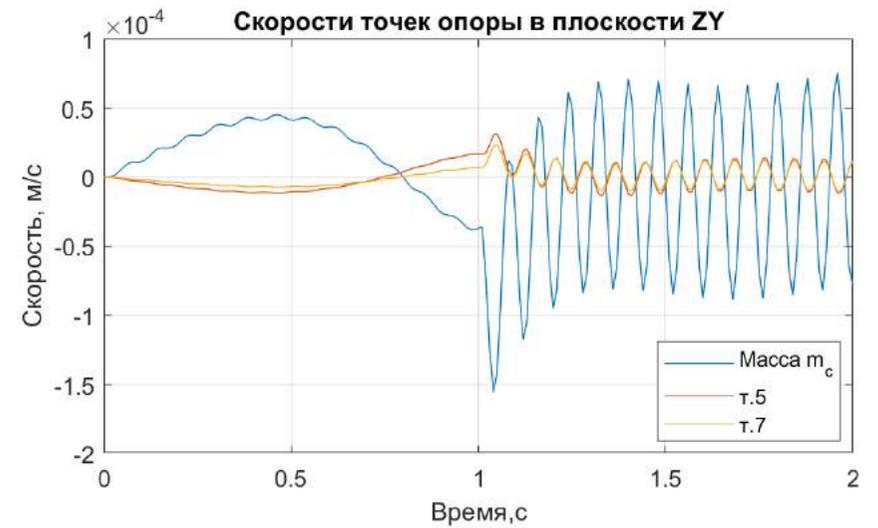
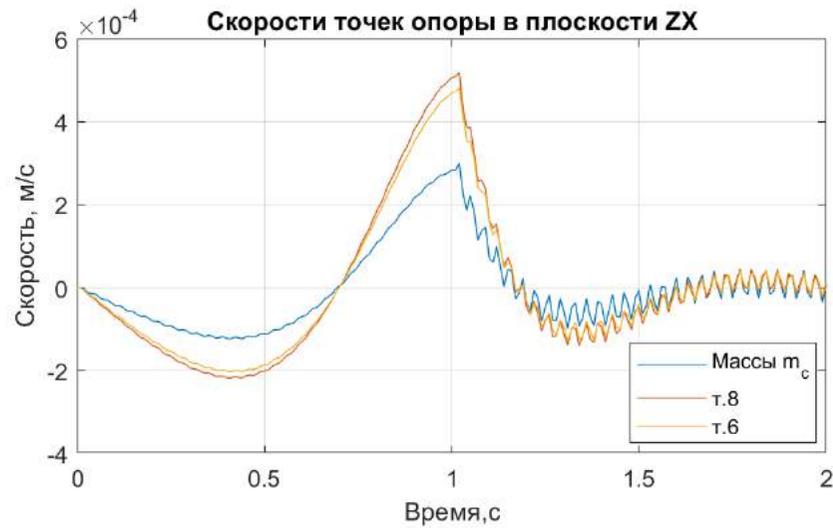
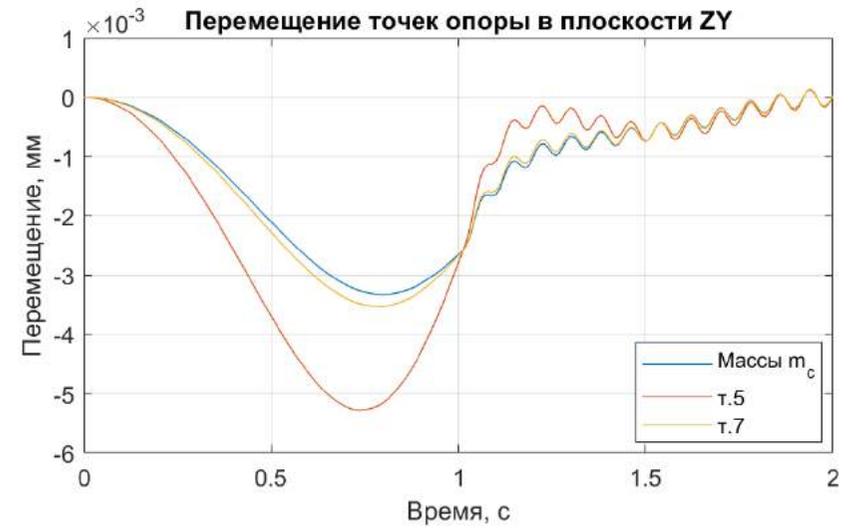
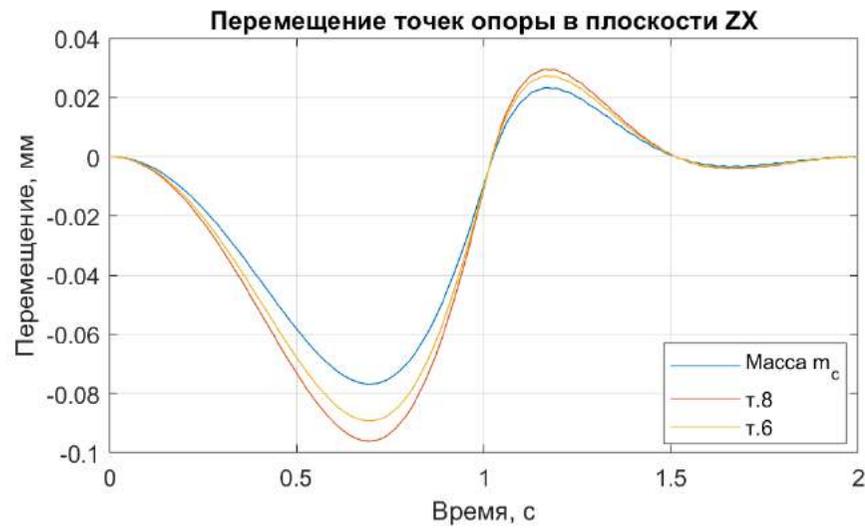
Графики первой группы.



Графики второй группы.

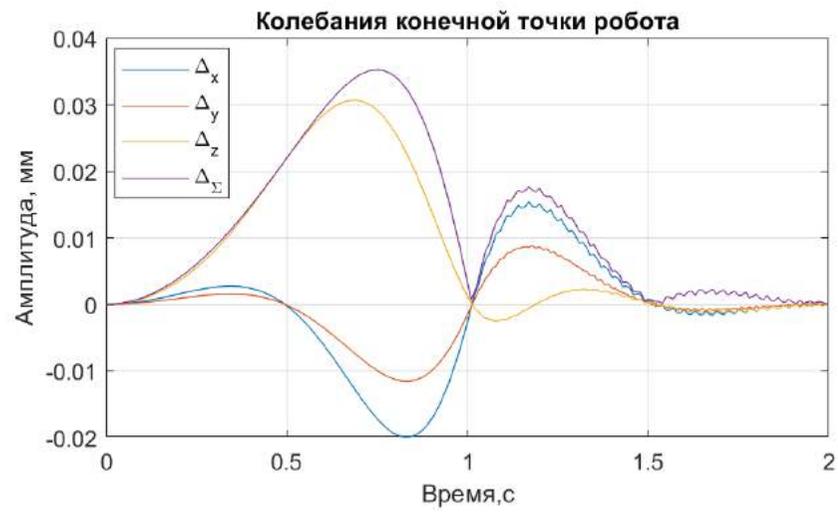
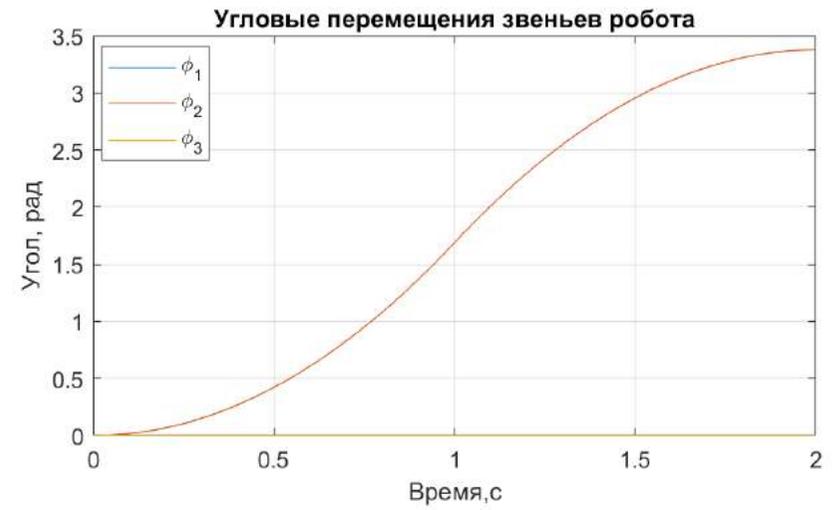
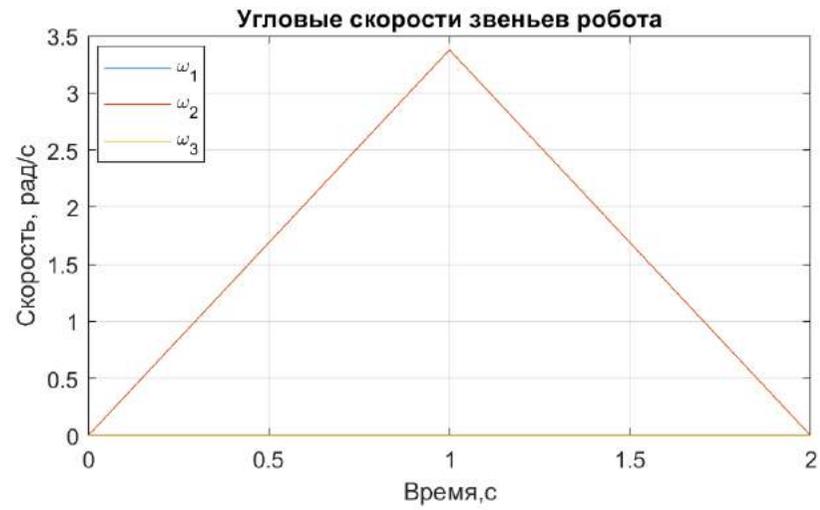


Графики третьей группы.

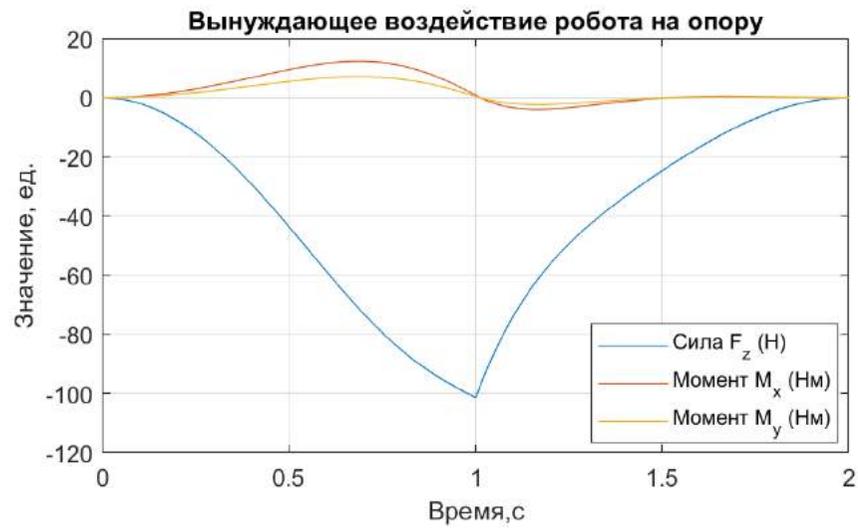
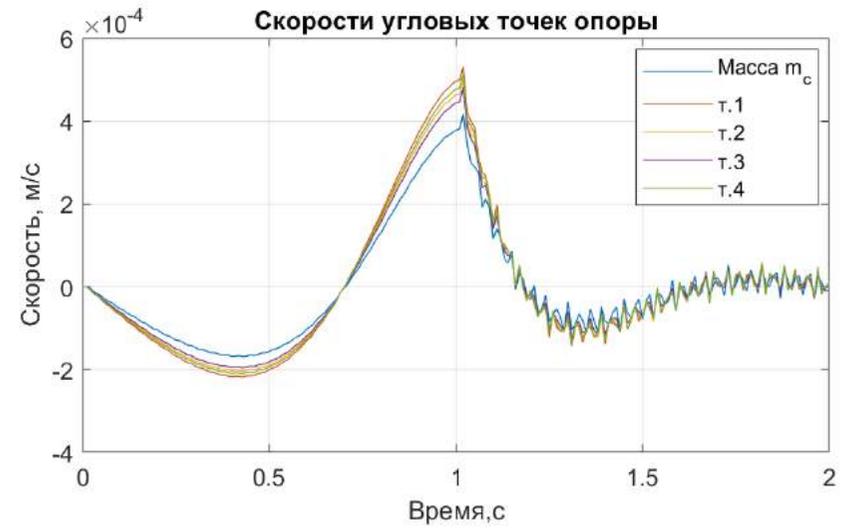
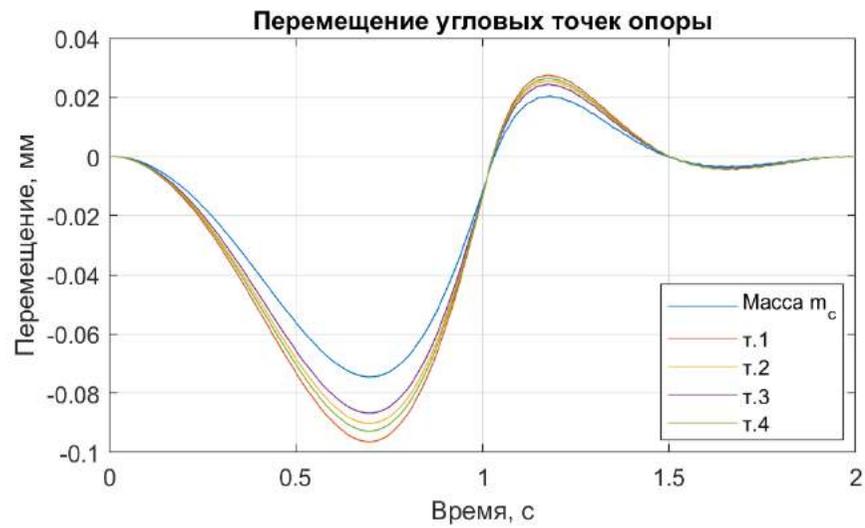


$$\phi_3 = 30^\circ$$

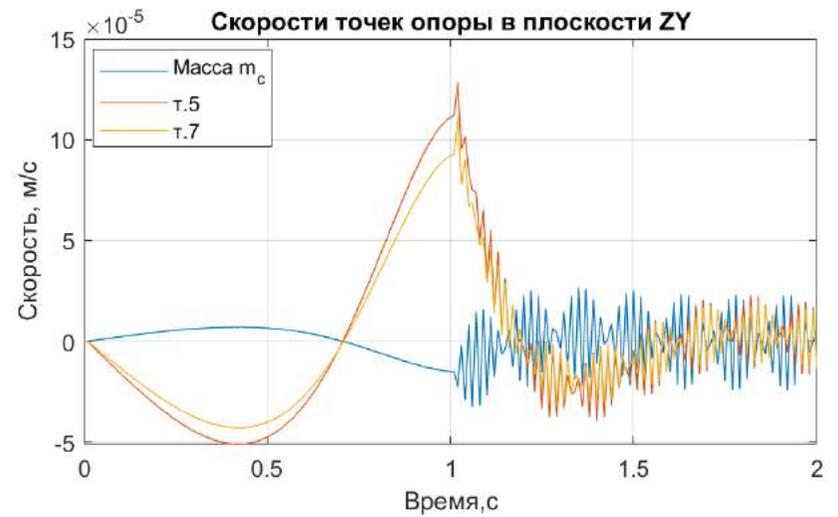
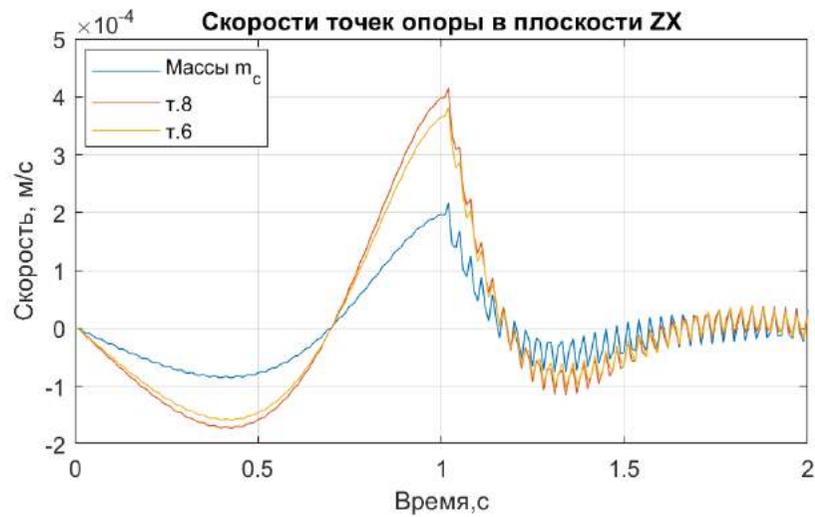
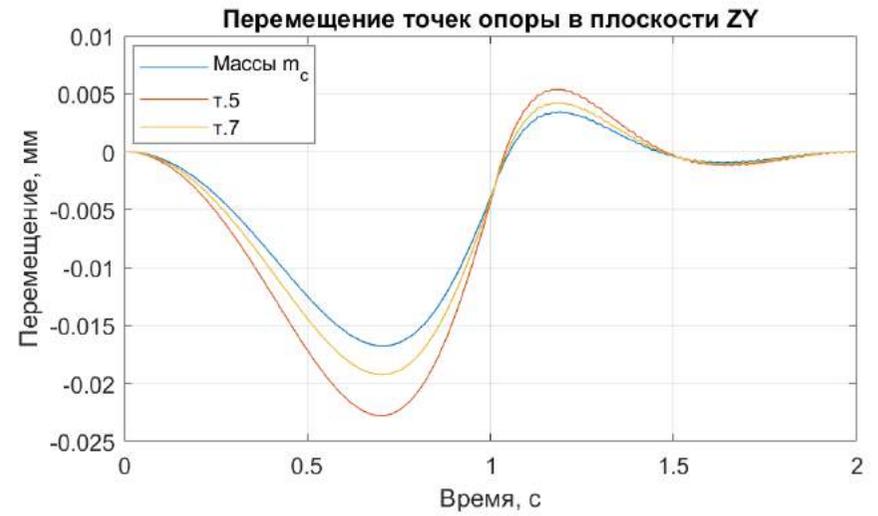
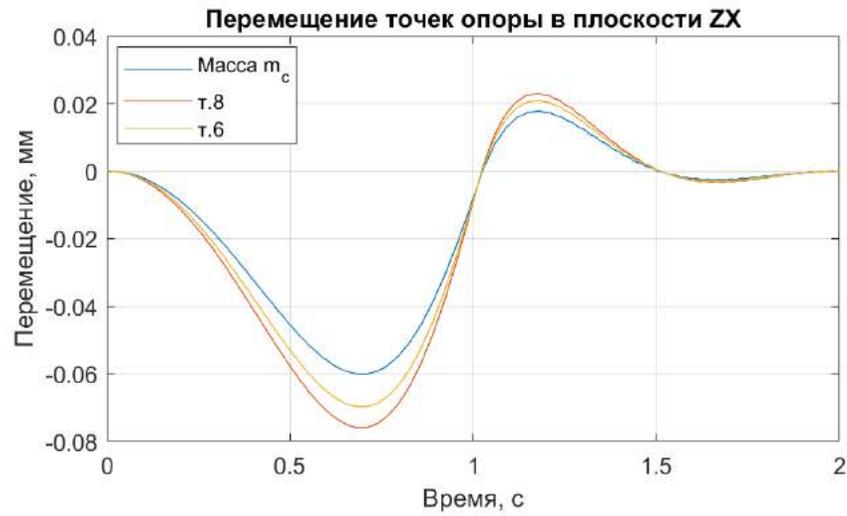
Графики первой группы.



Графики второй группы.

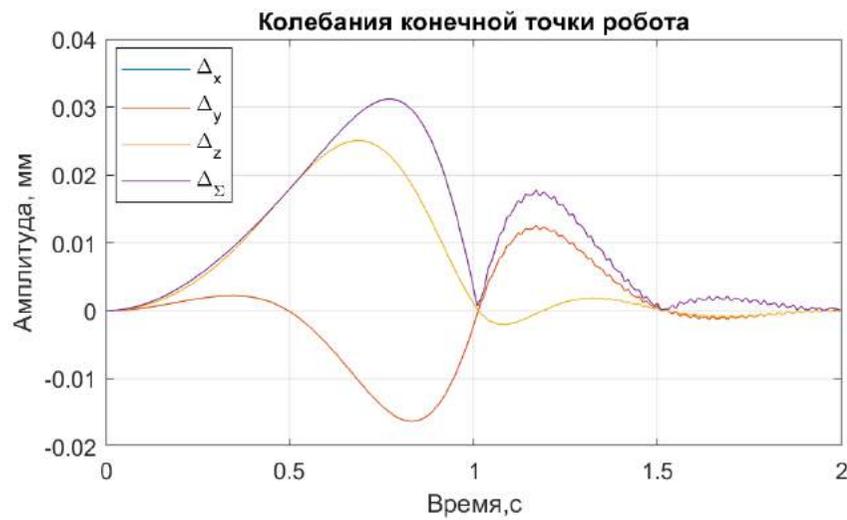
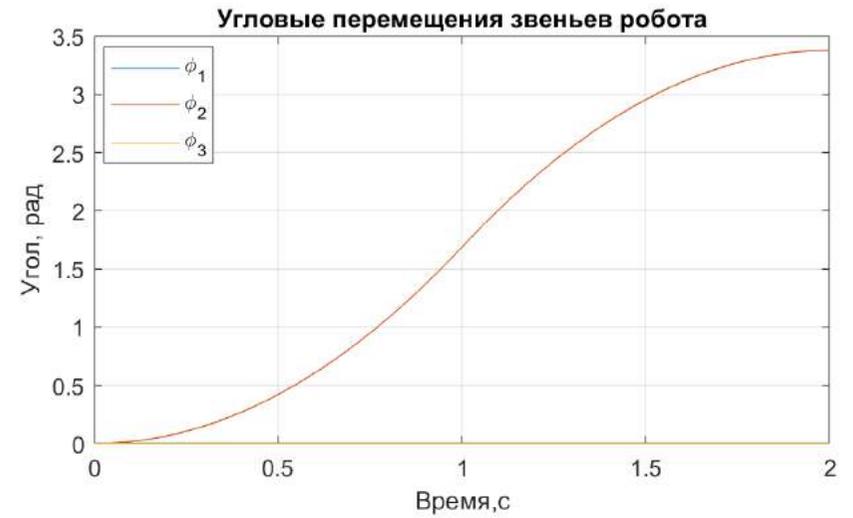
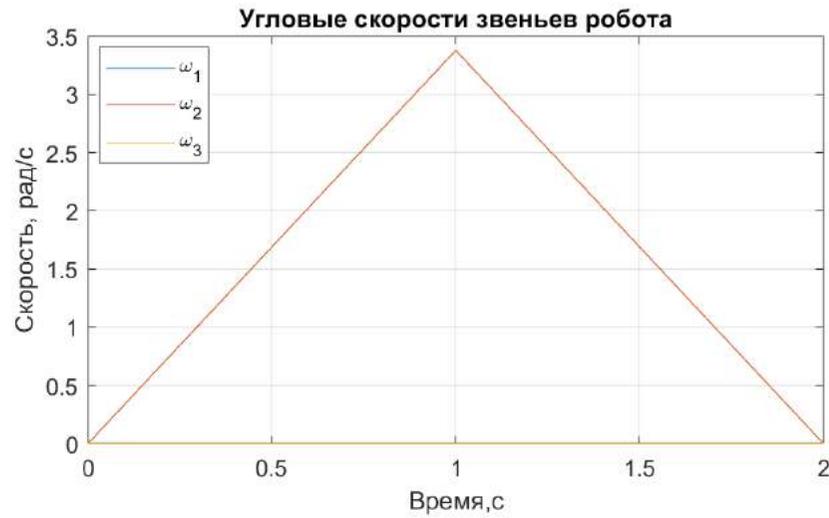


Графики третьей группы.

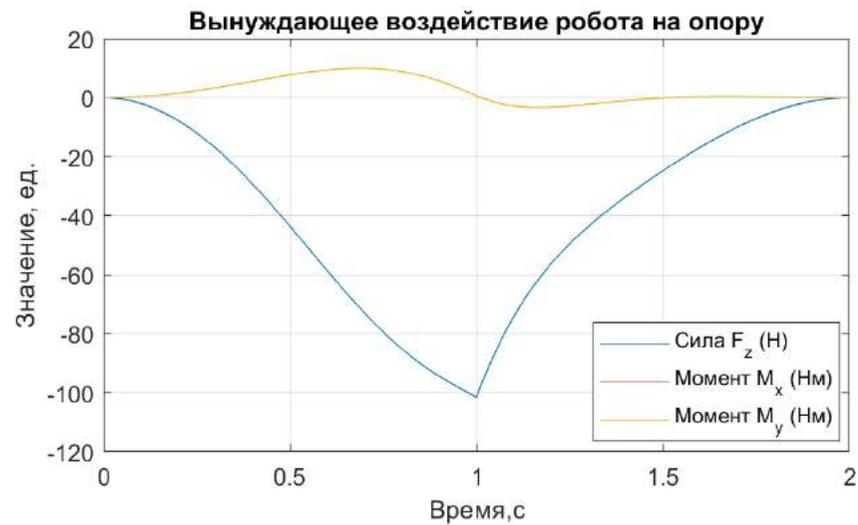
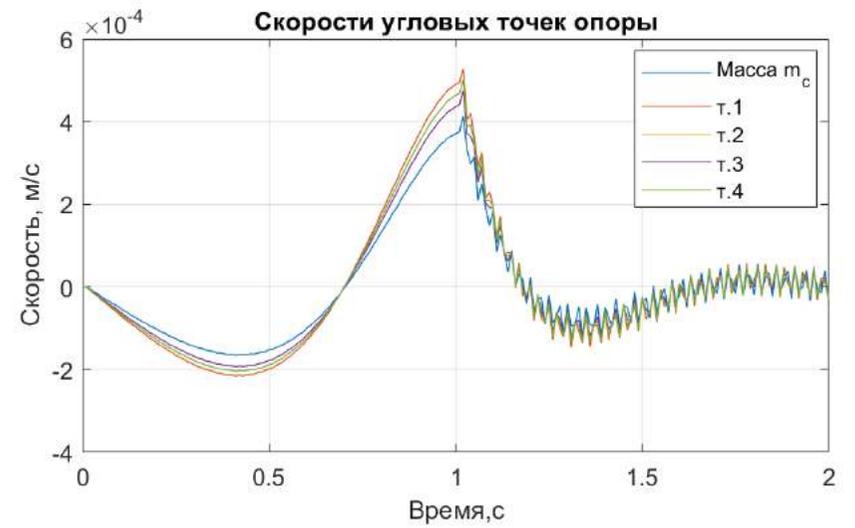
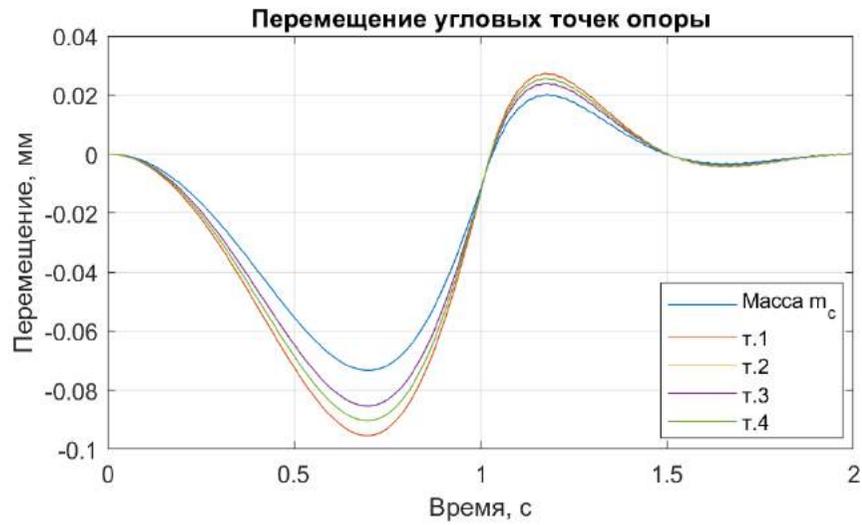


$$\varphi_3 = 45^\circ$$

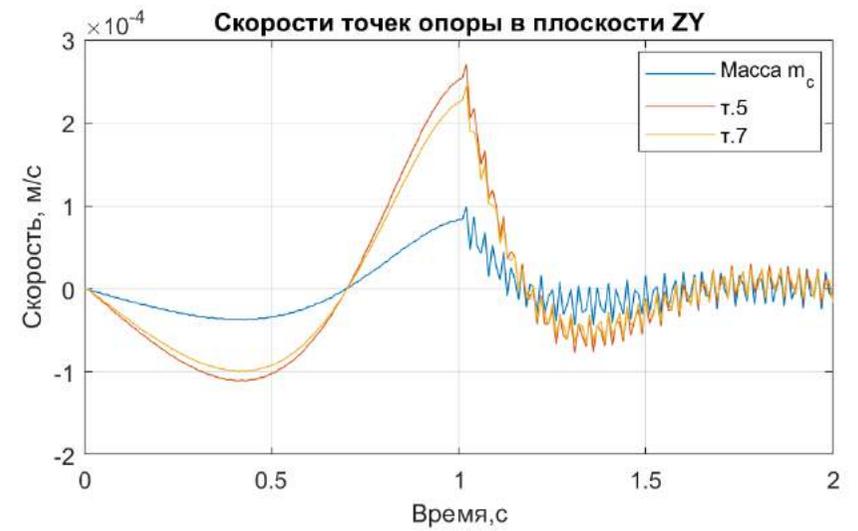
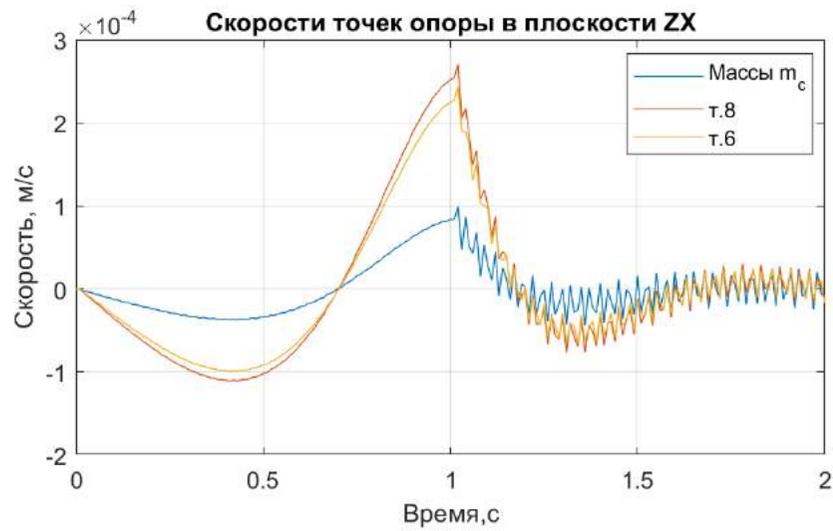
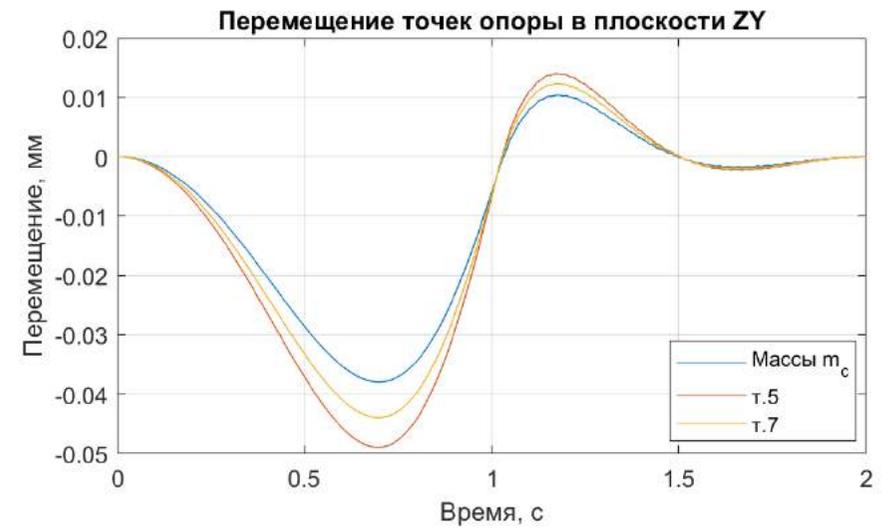
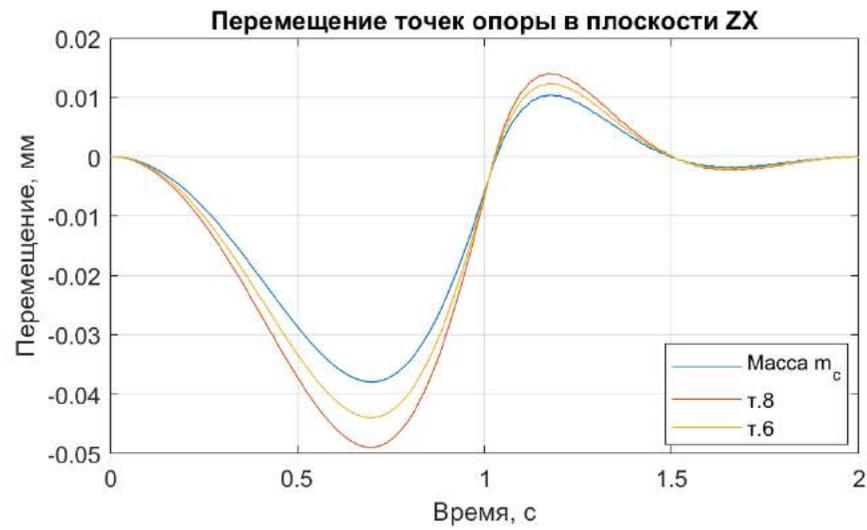
Графики первой группы.



Графики второй группы.



Графики третьей группы.

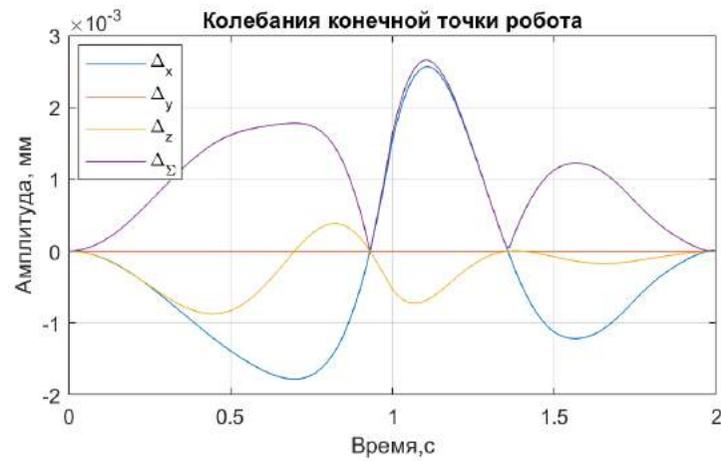
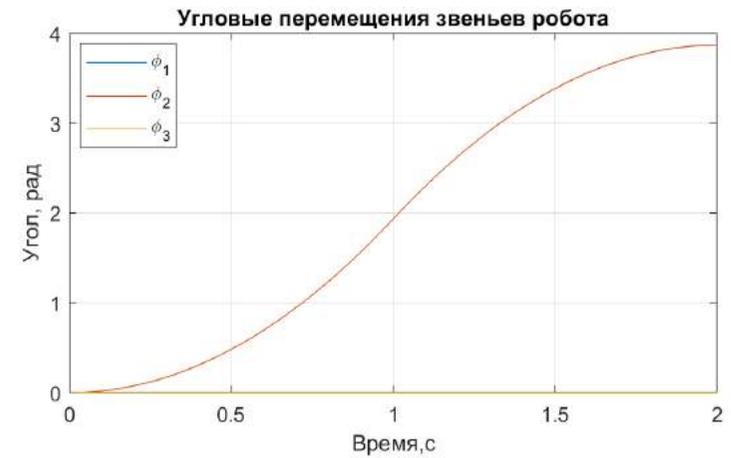
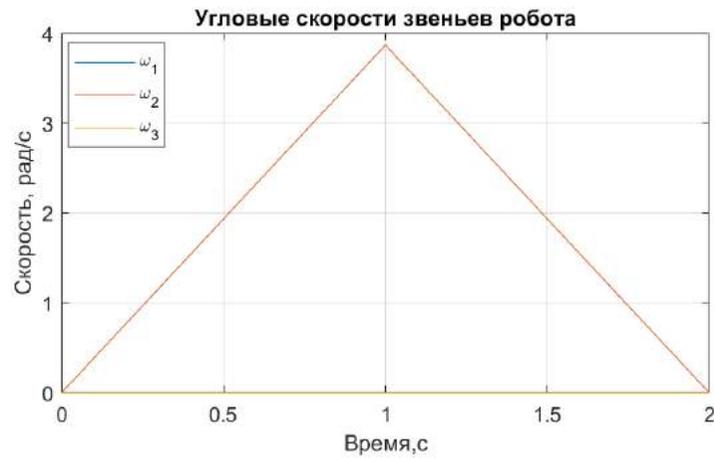


ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

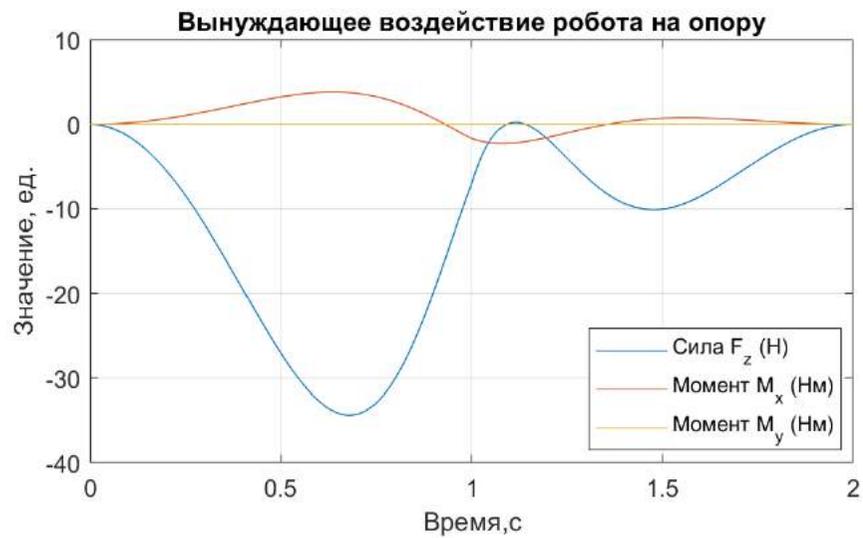
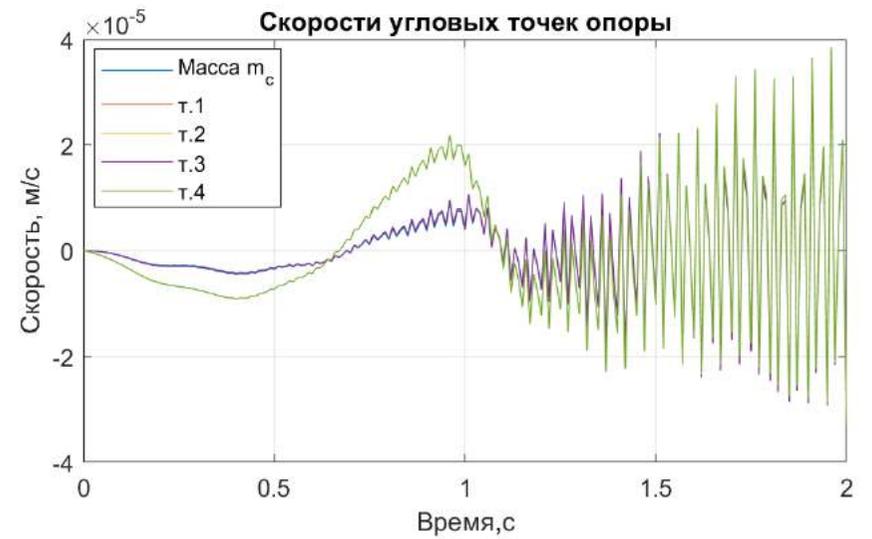
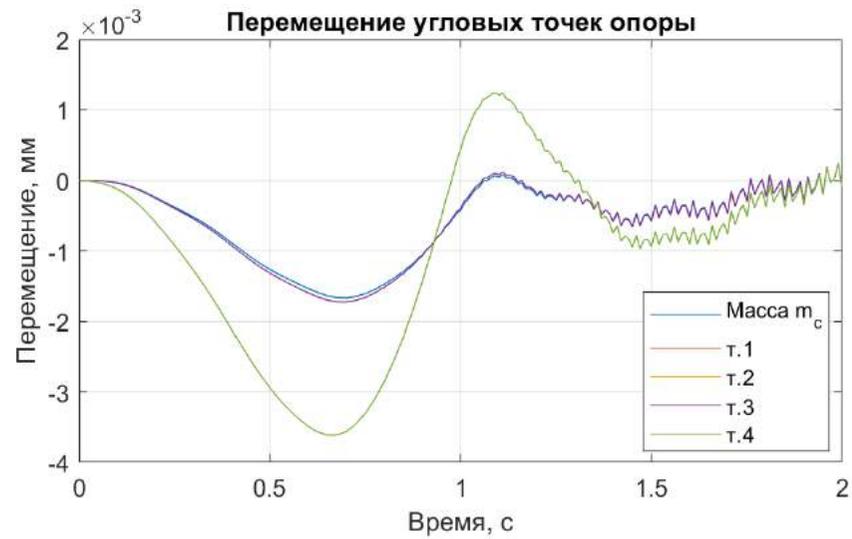
Графики пятого этапа.

$$M_2 = 15 \text{ Нм}$$

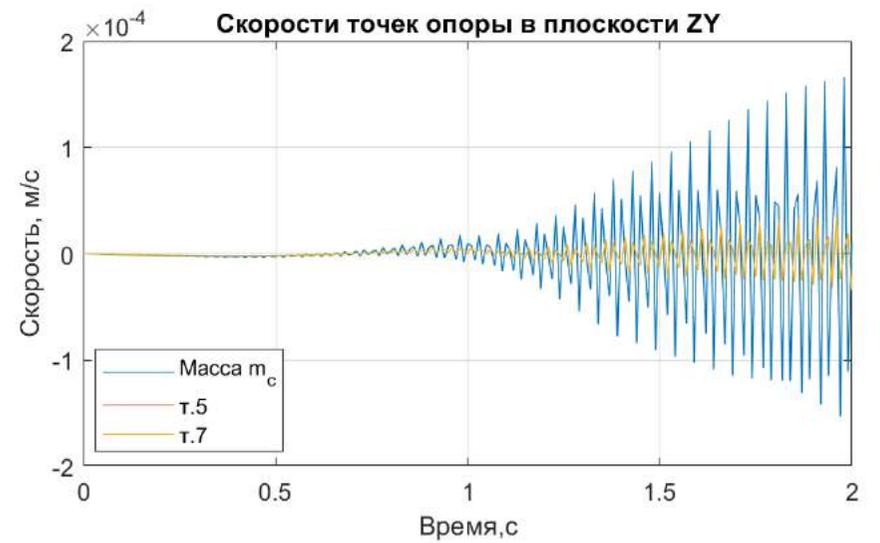
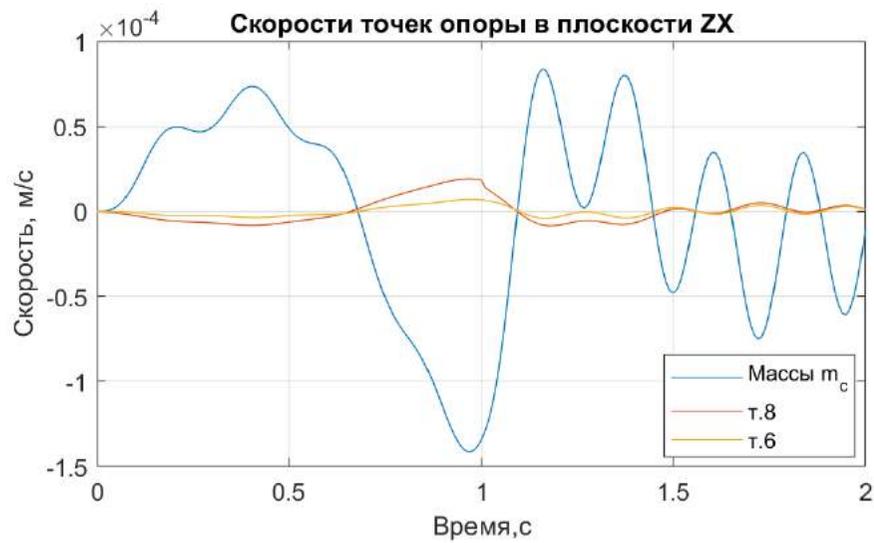
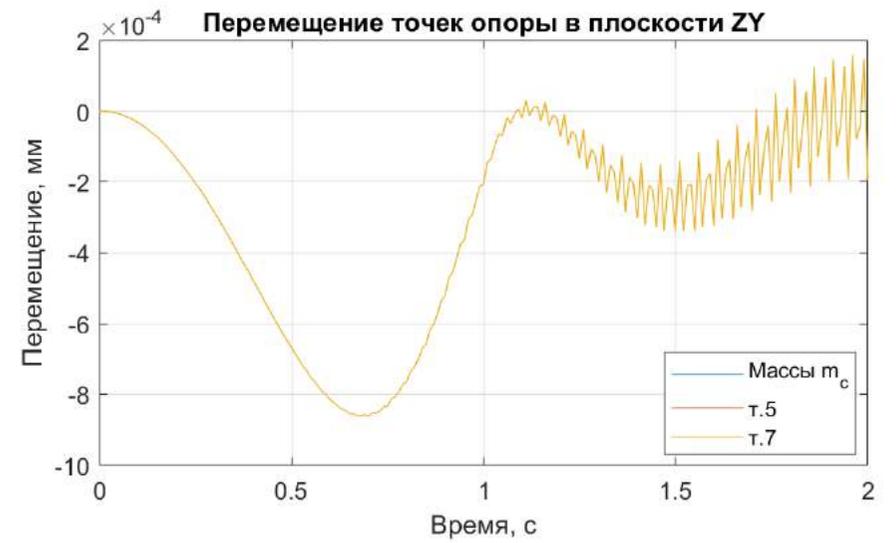
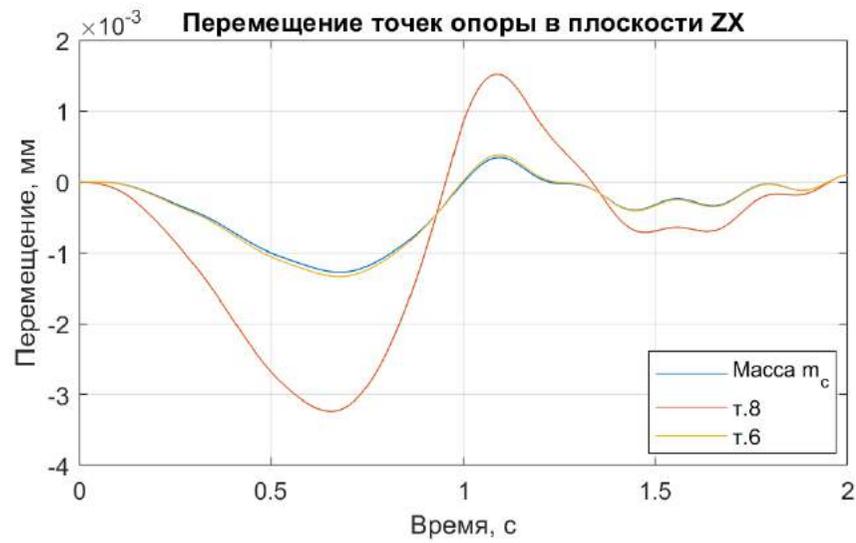
Графики первой группы.



Графики второй группы.

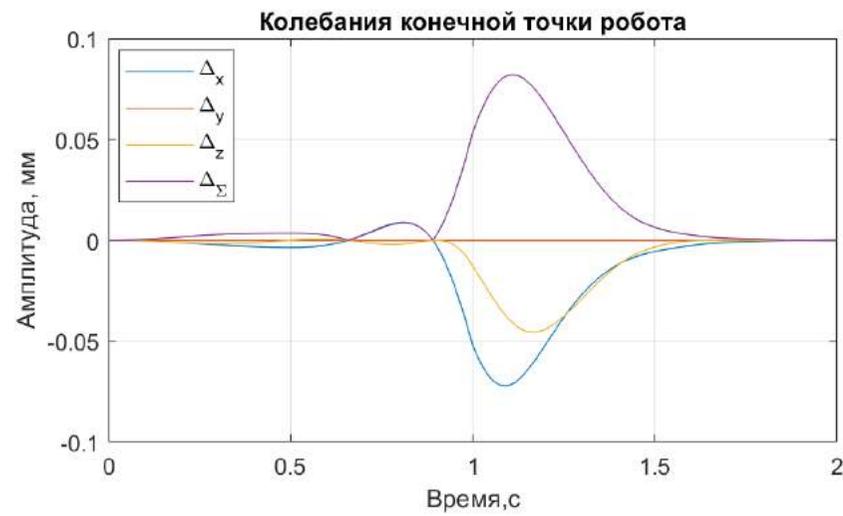
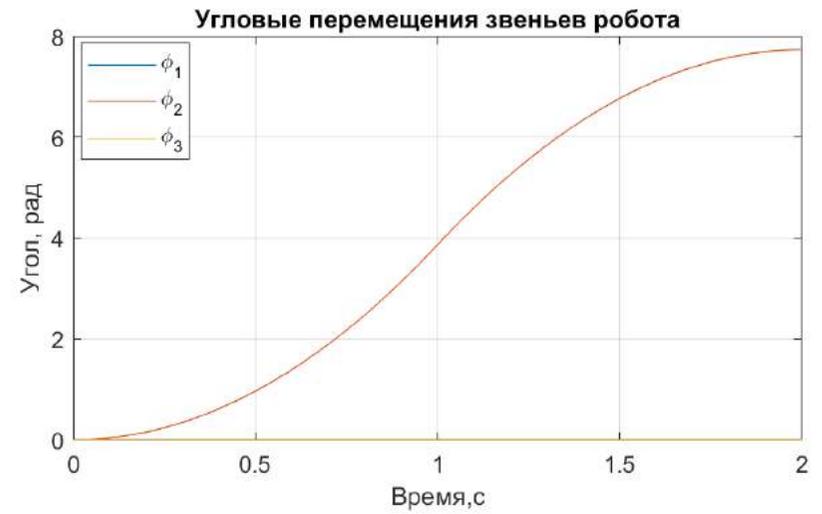
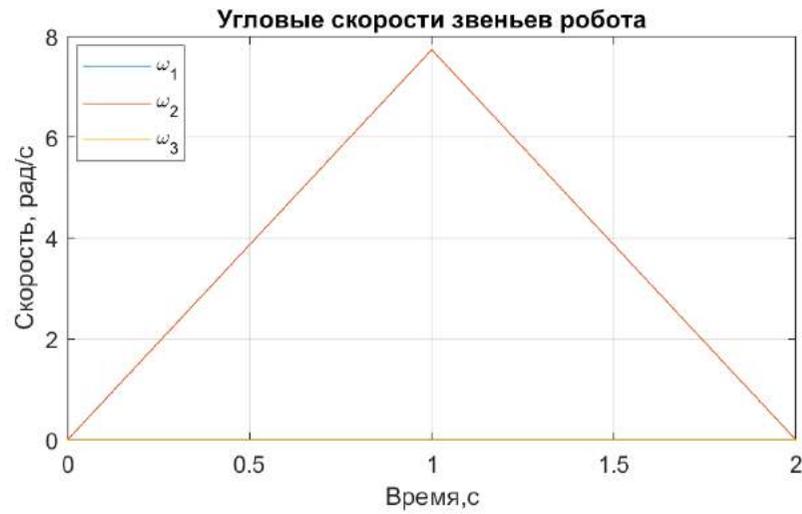


Графики третьей группы.

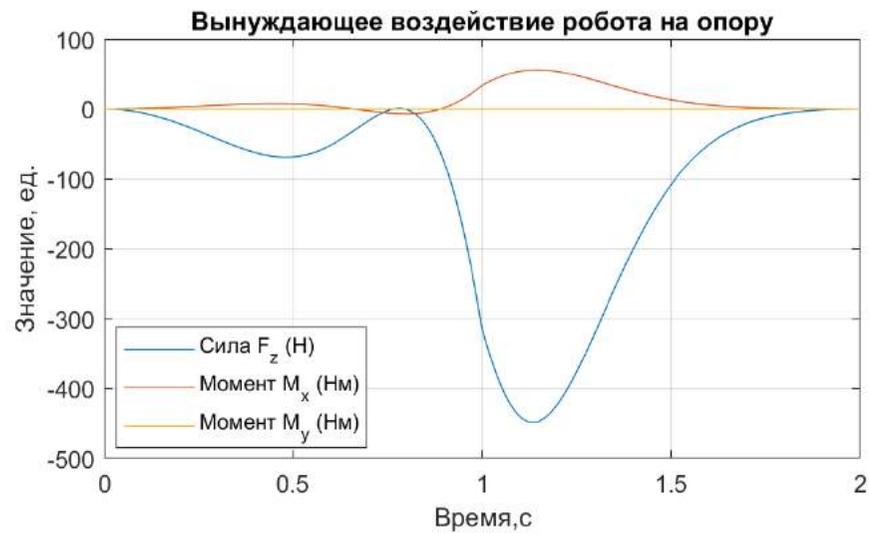
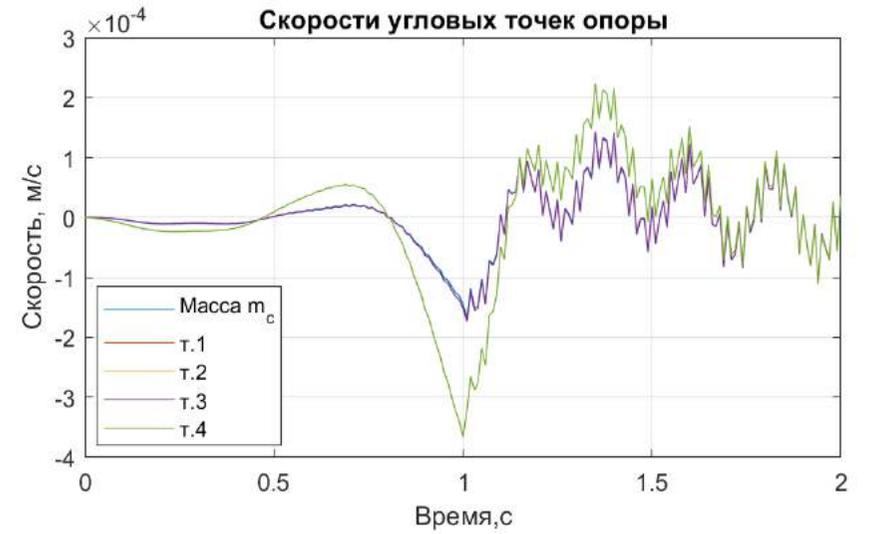
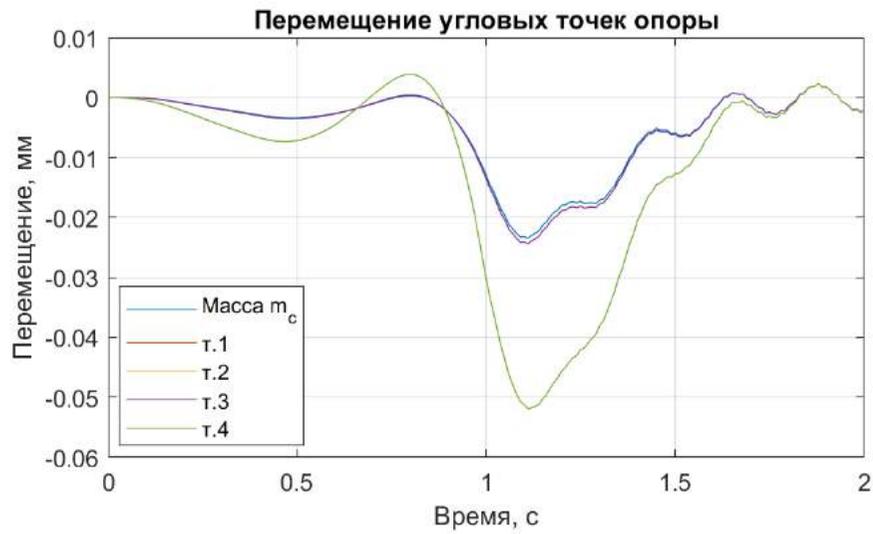


$$M_2 = 30 \text{ Нм}$$

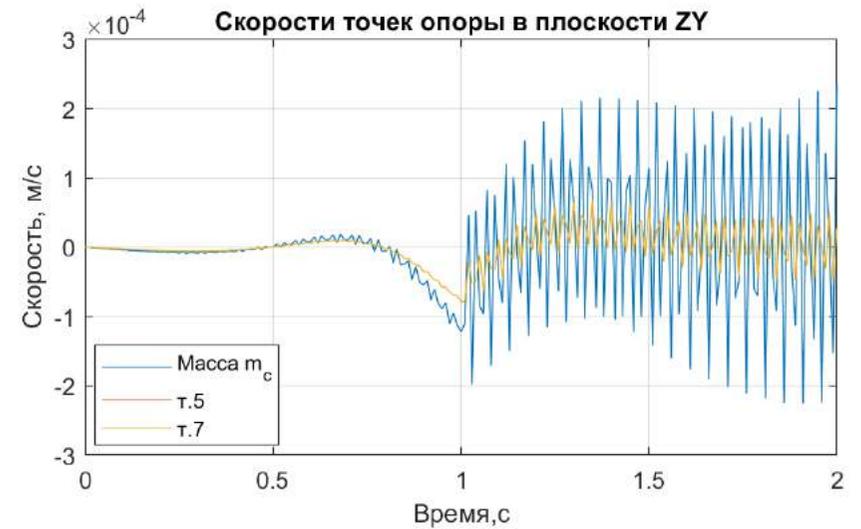
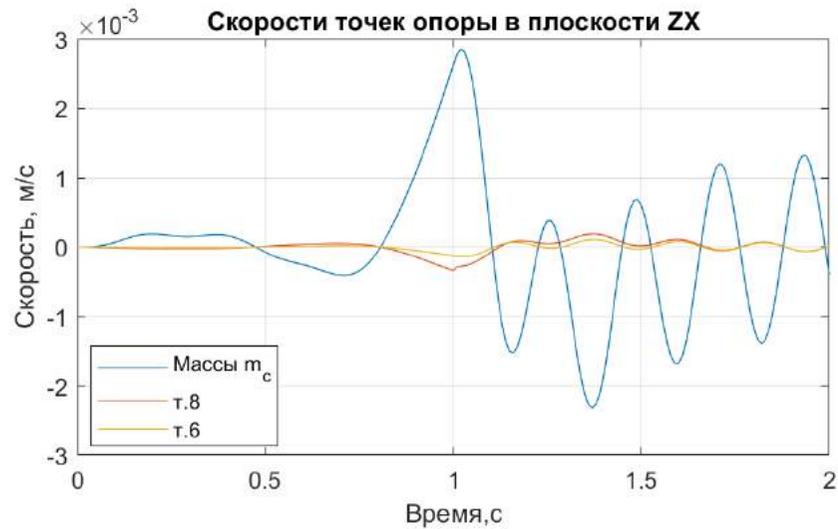
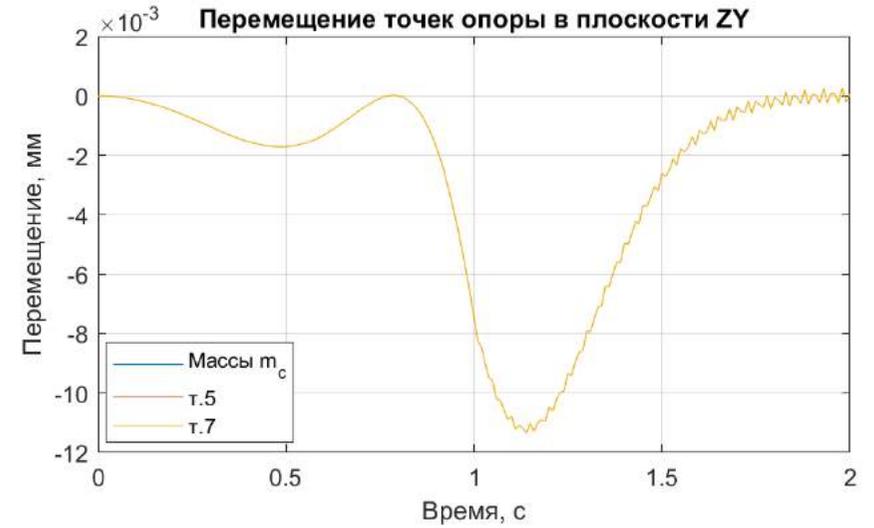
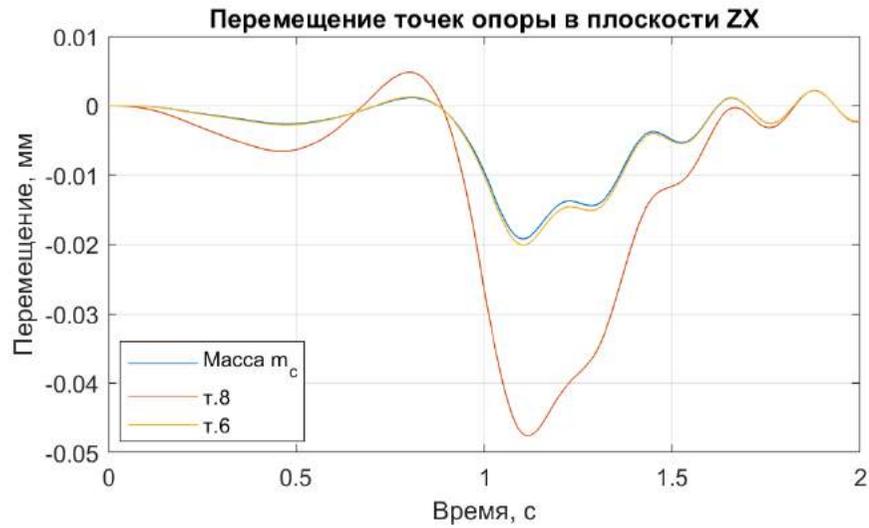
Графики первой группы.



Графики второй группы.

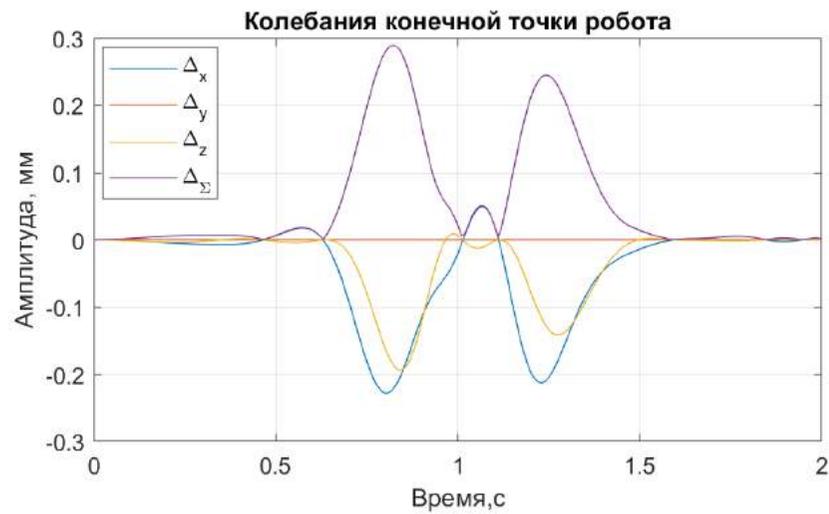
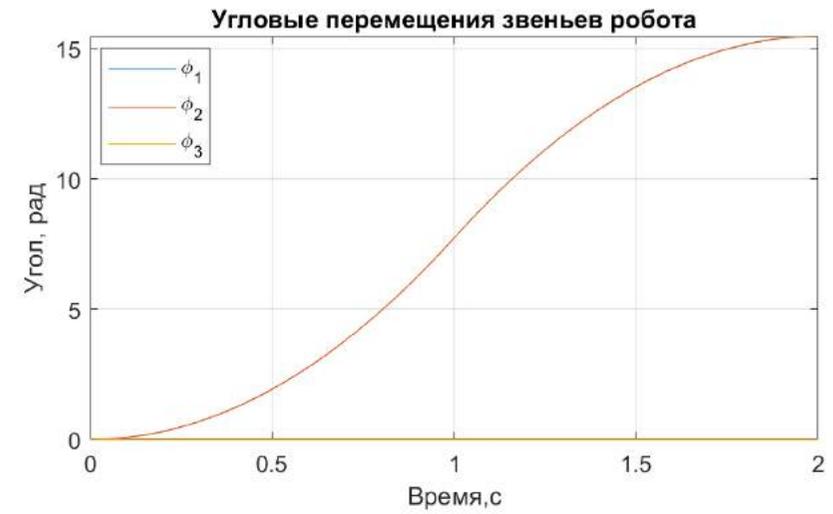
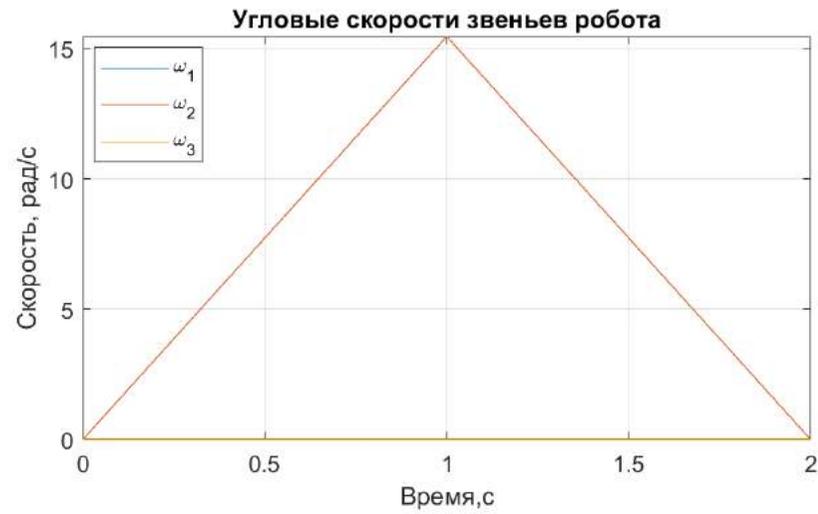


Графики третьей группы.

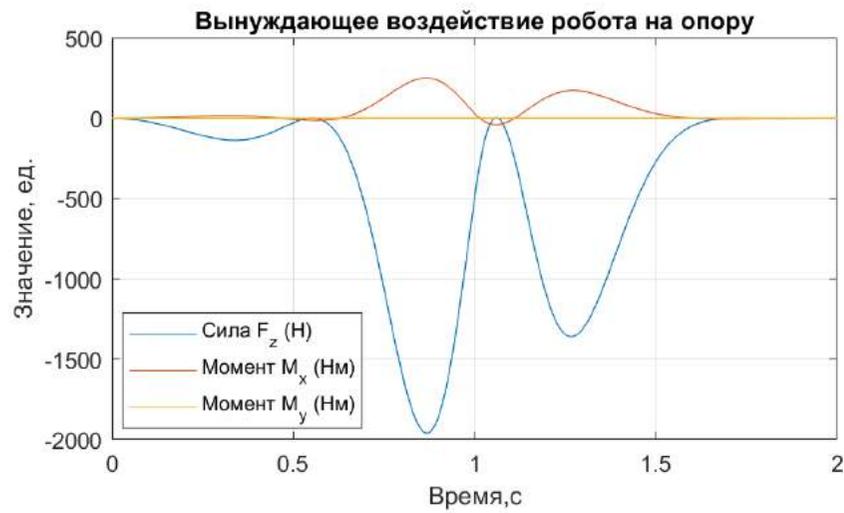
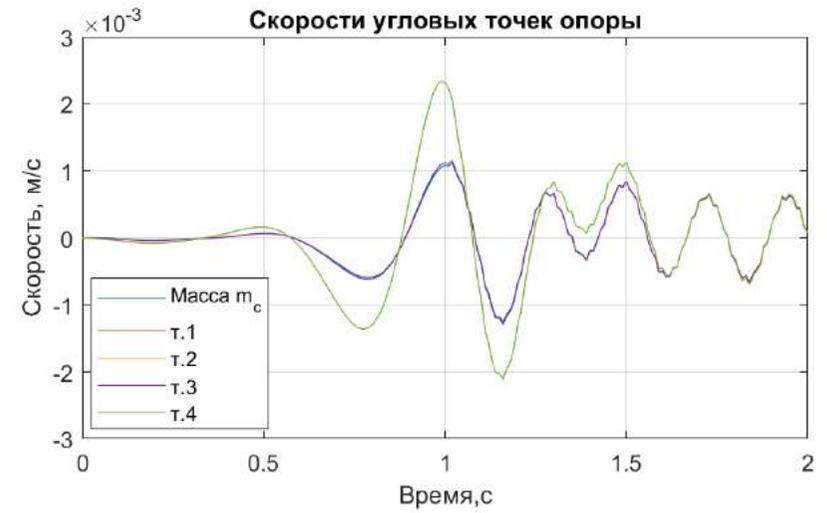
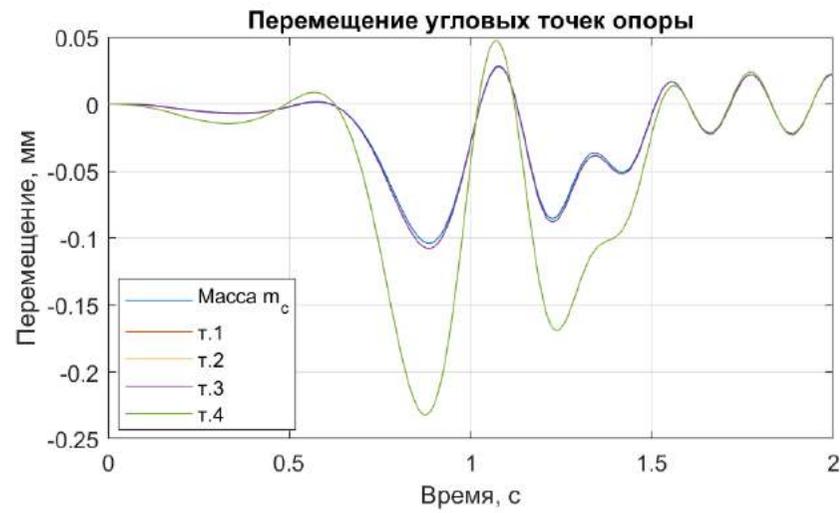


$$M_2 = 60 \text{ Нм}$$

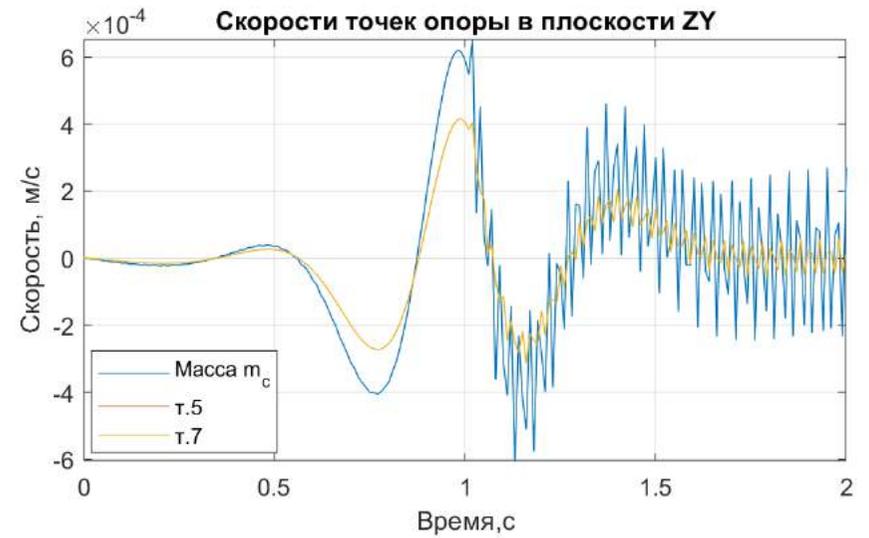
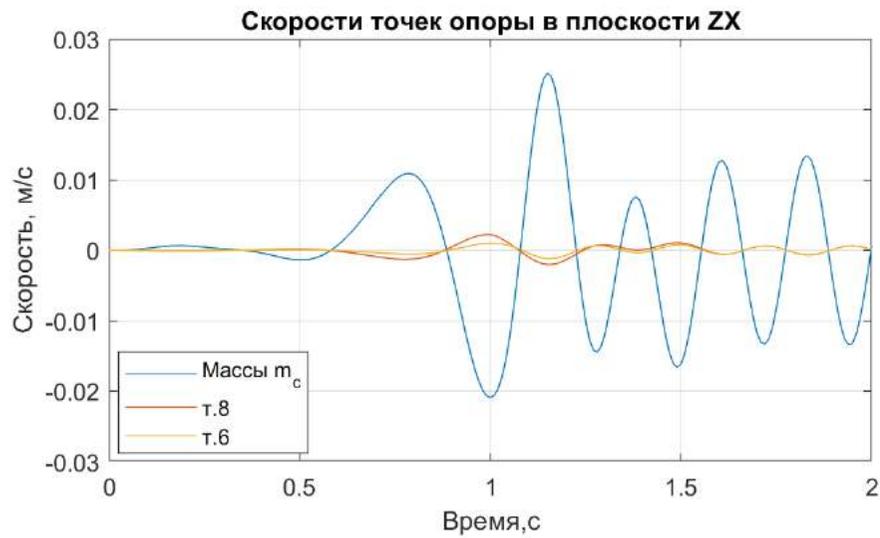
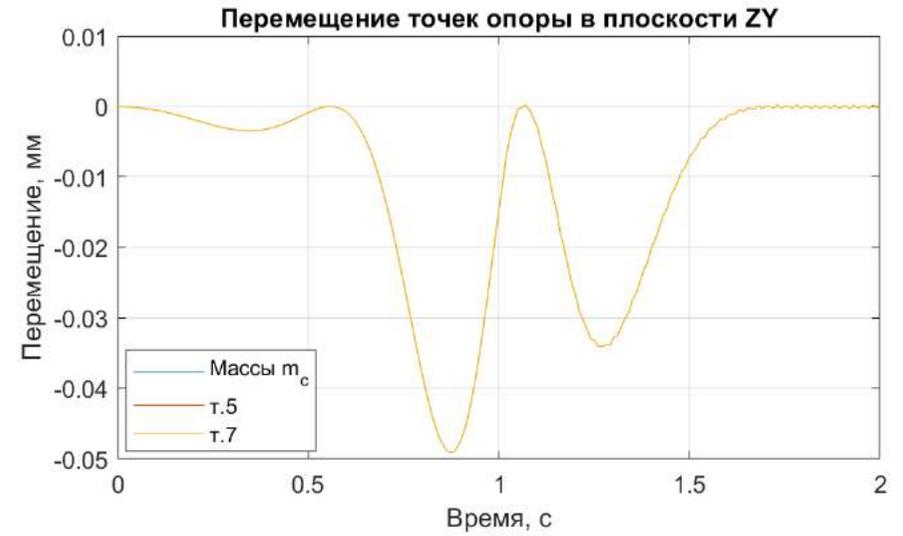
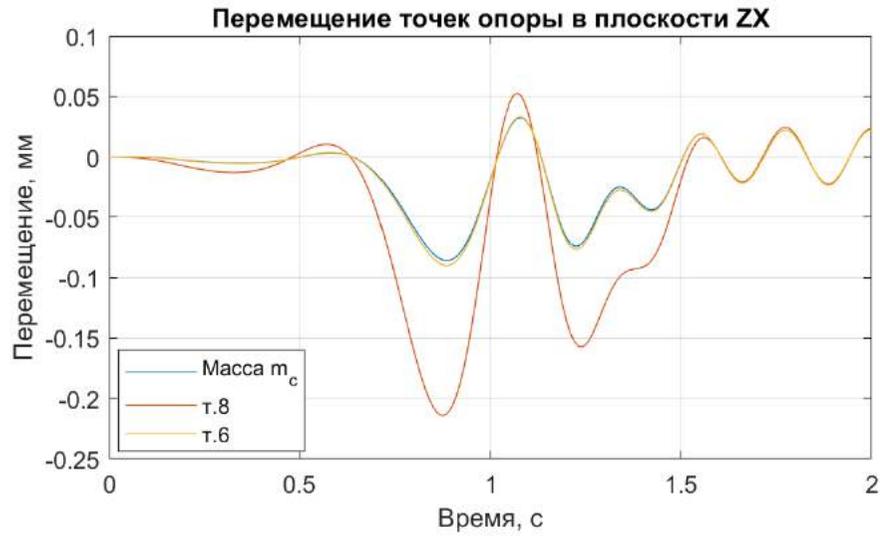
Графики первой группы.



Графики второй группы.

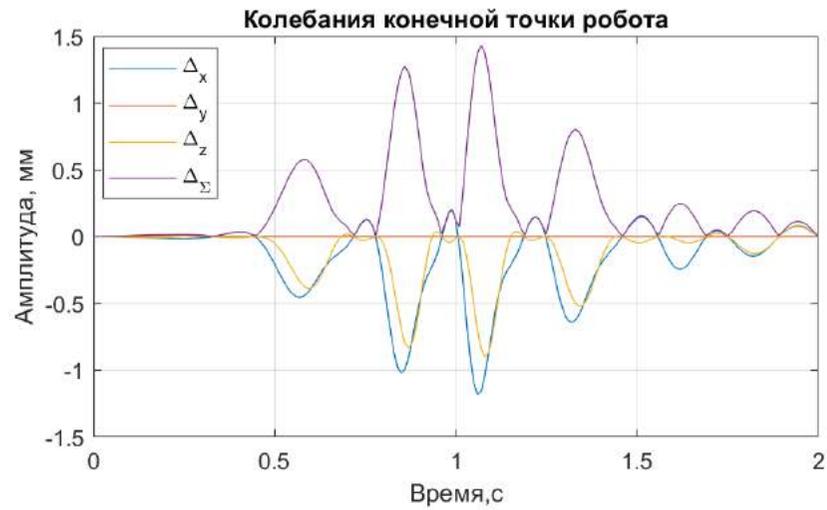
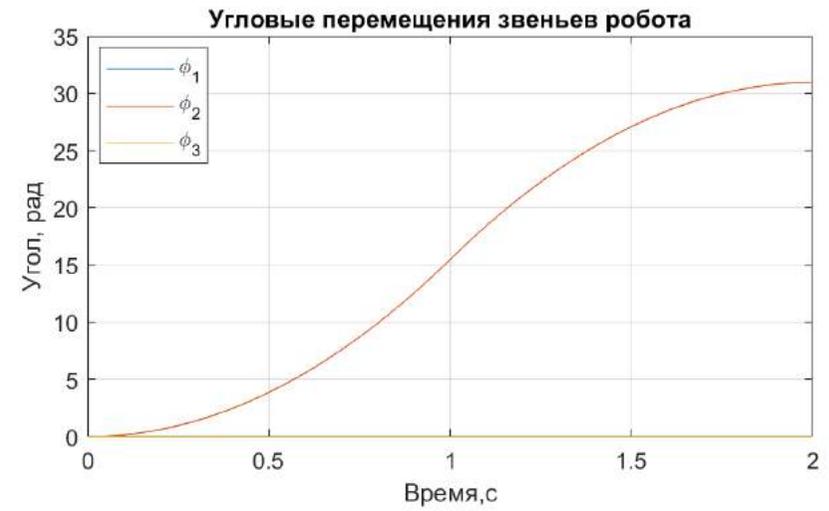
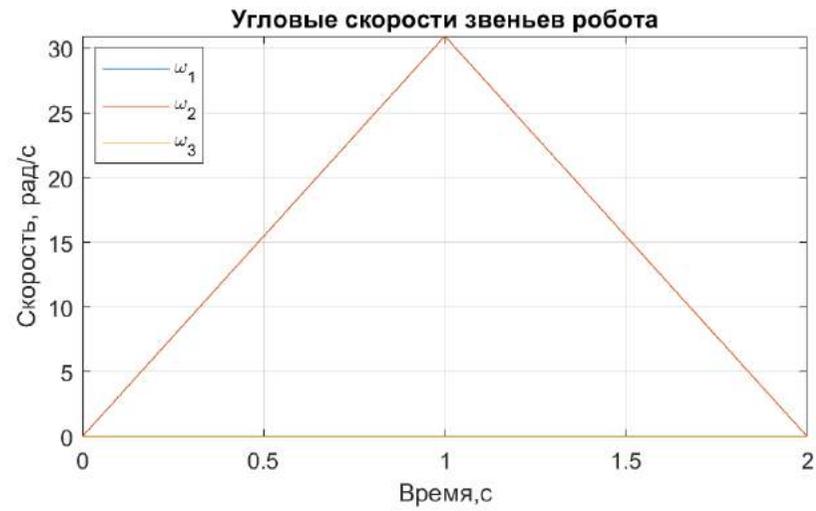


Графики третьей группы.

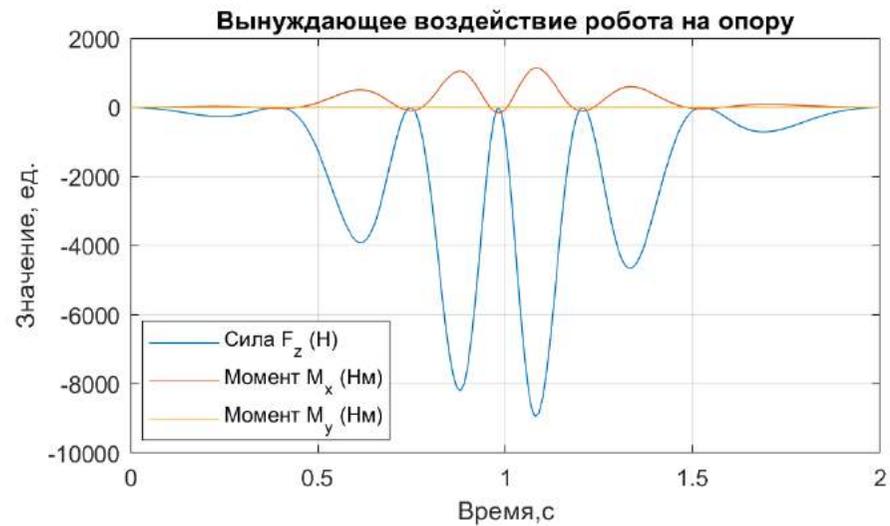
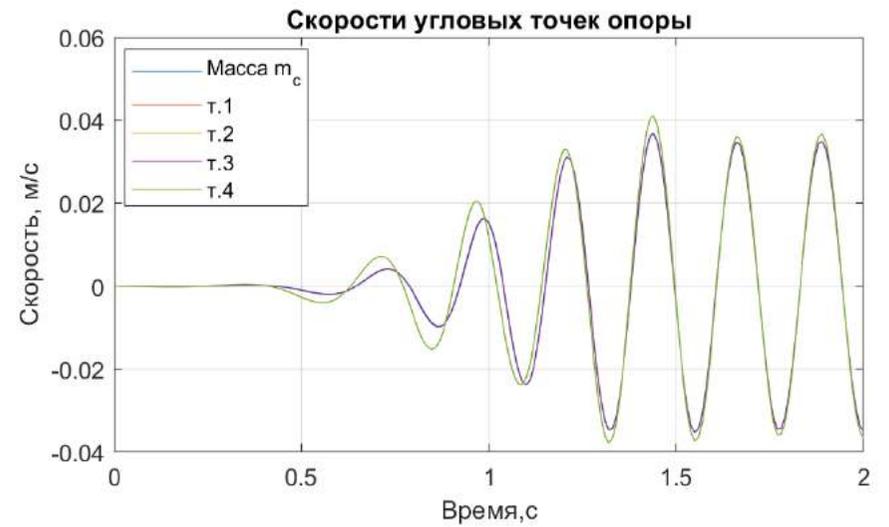
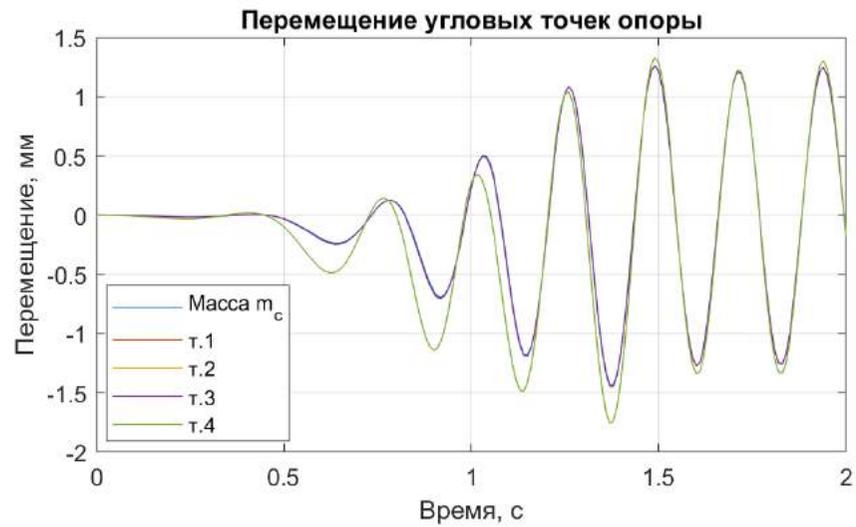


$$M_2 = 120 \text{ Нм}$$

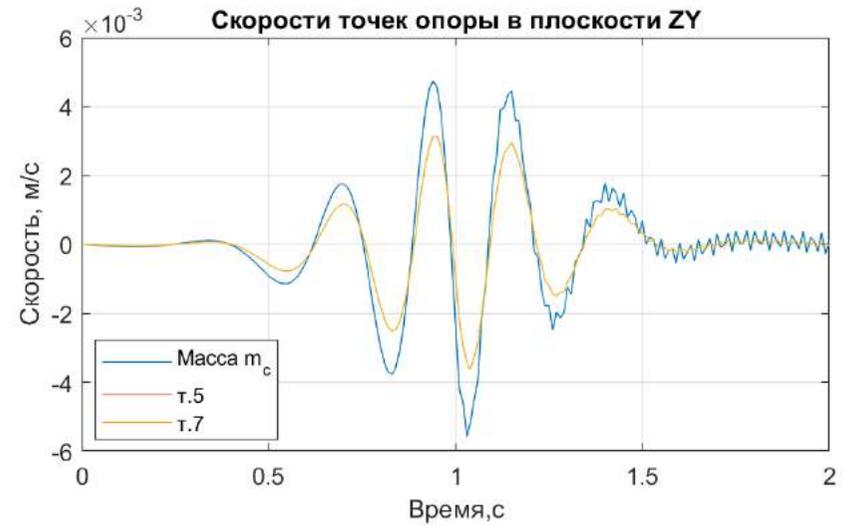
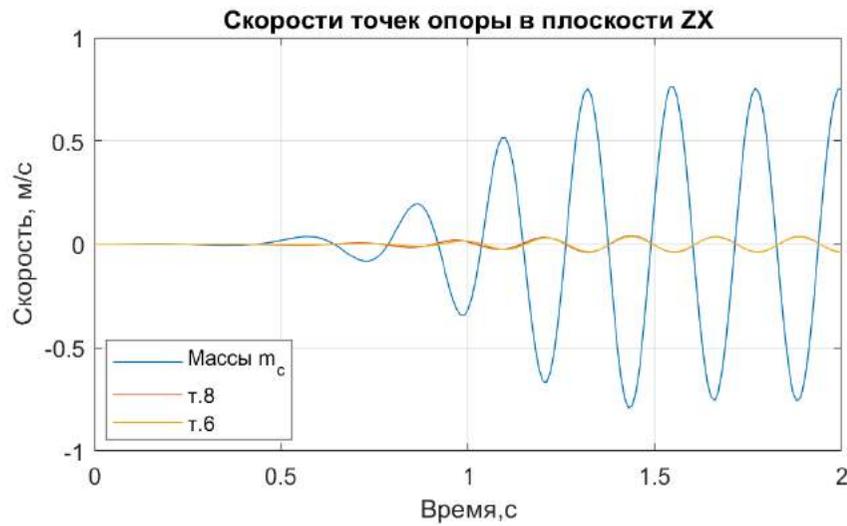
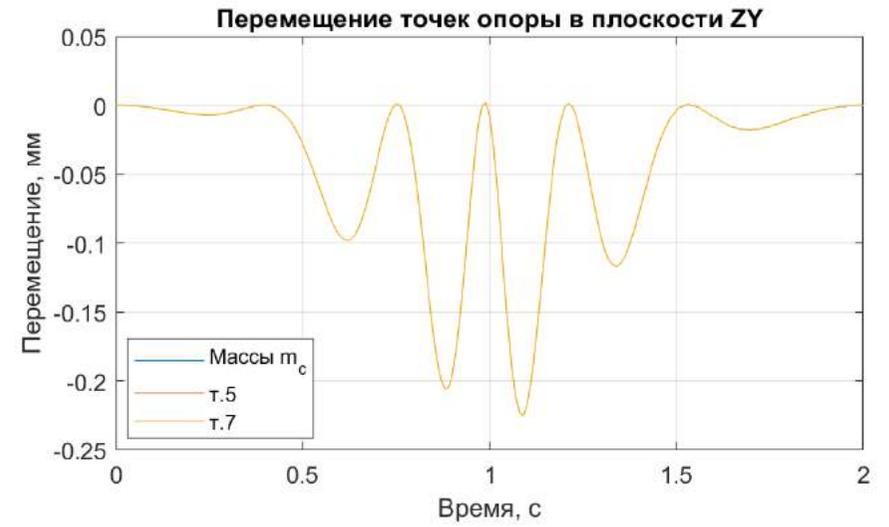
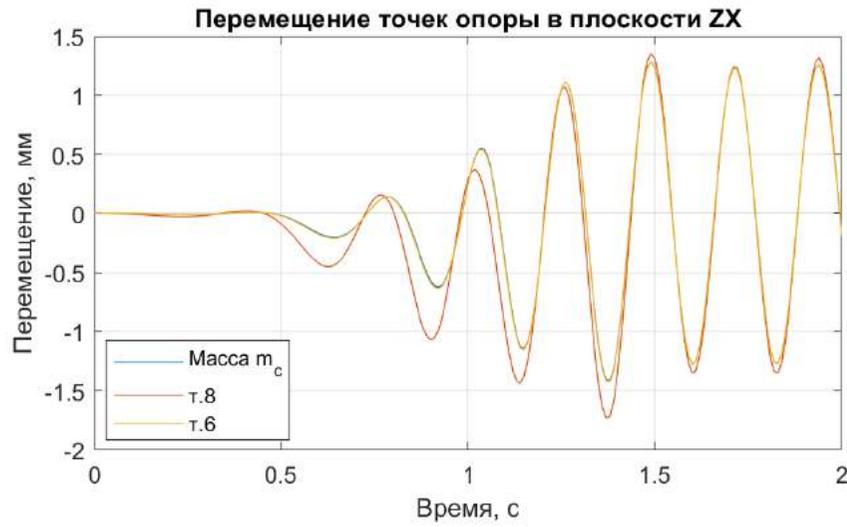
Графики первой группы.



Графики второй группы.

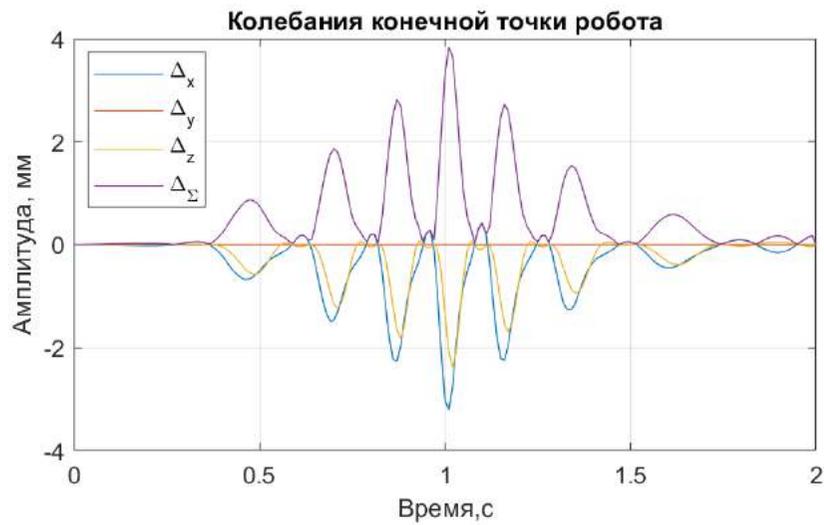
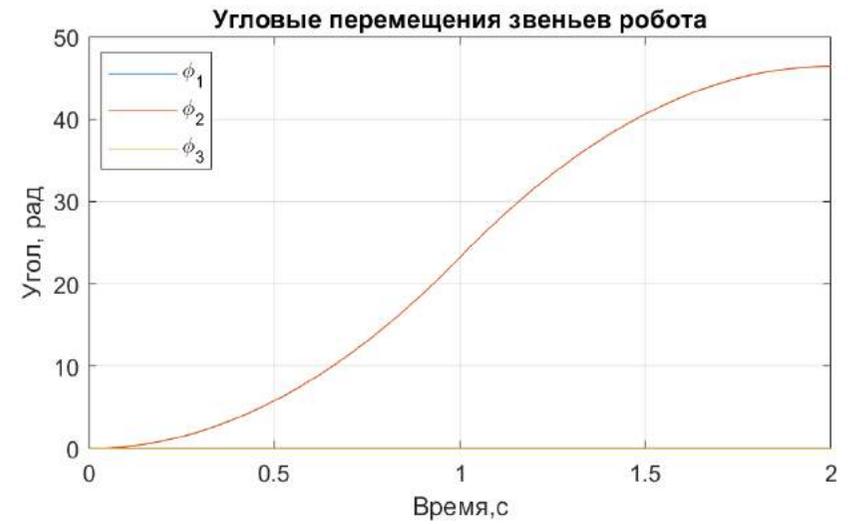
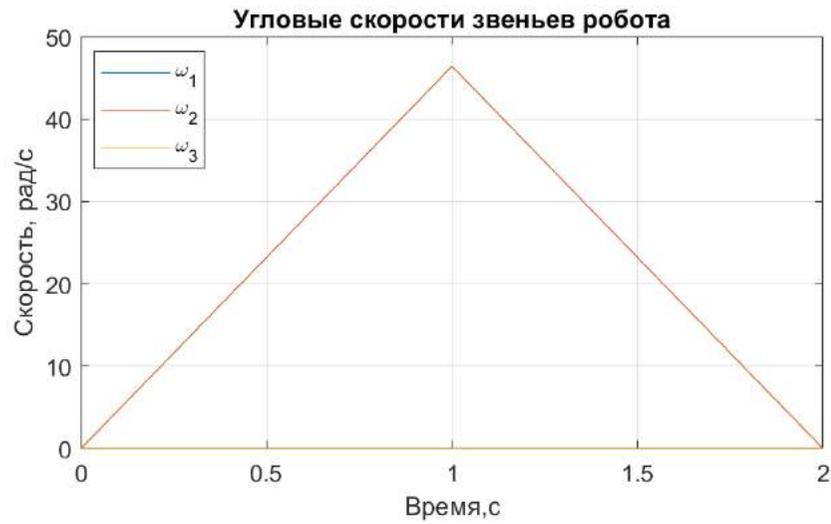


Графики третьей группы.

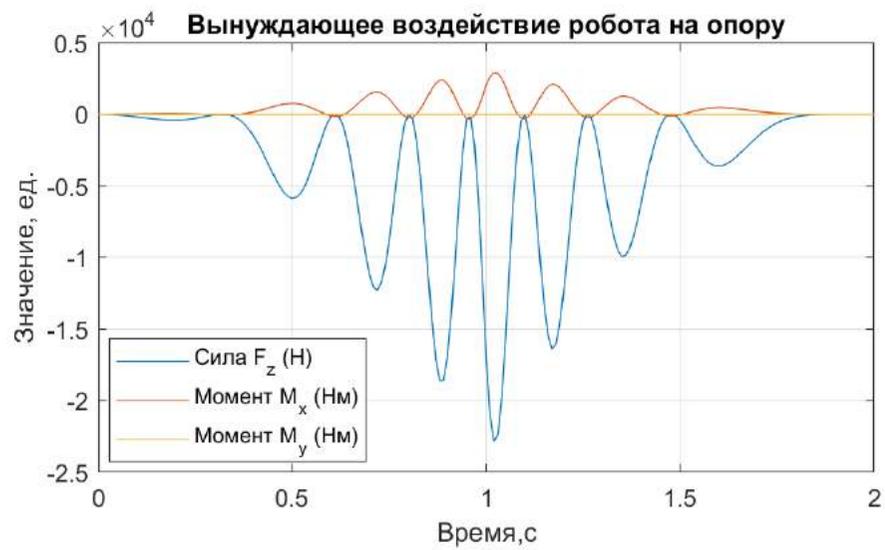
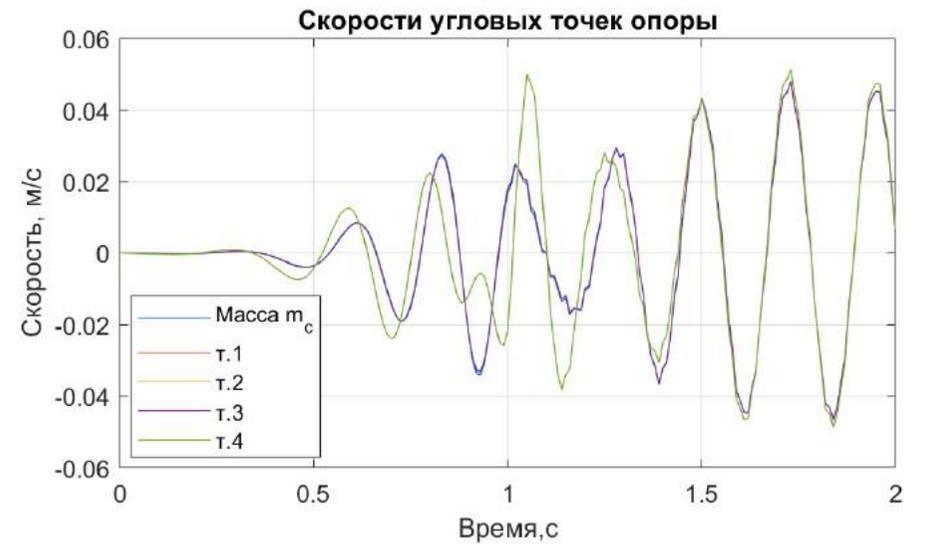
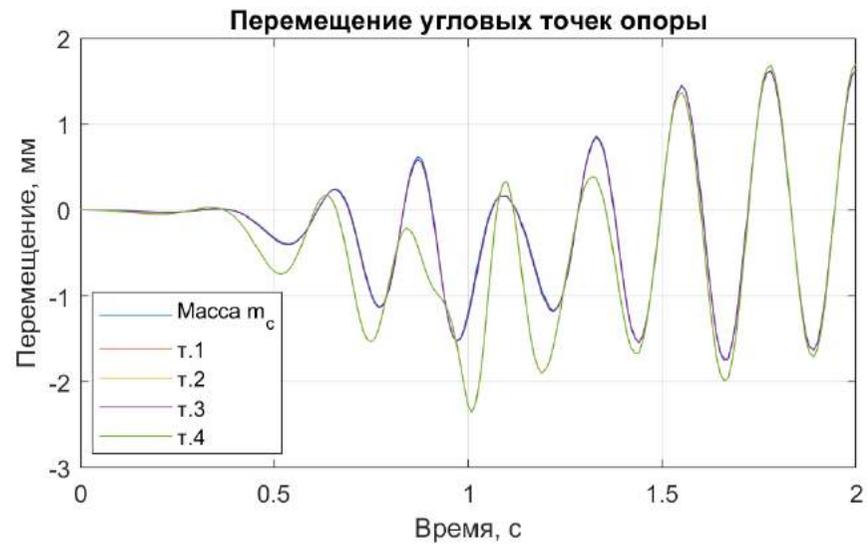


$$M_2 = 180 \text{ Нм}$$

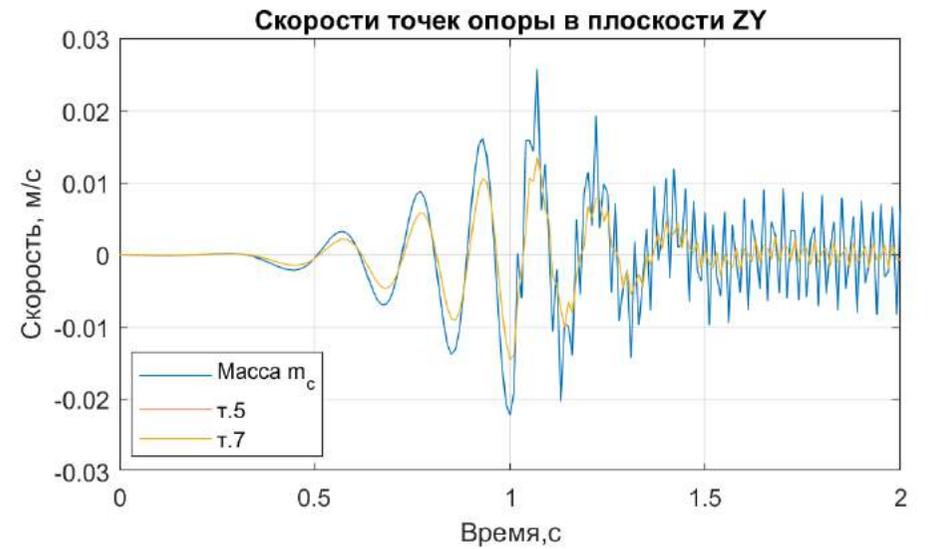
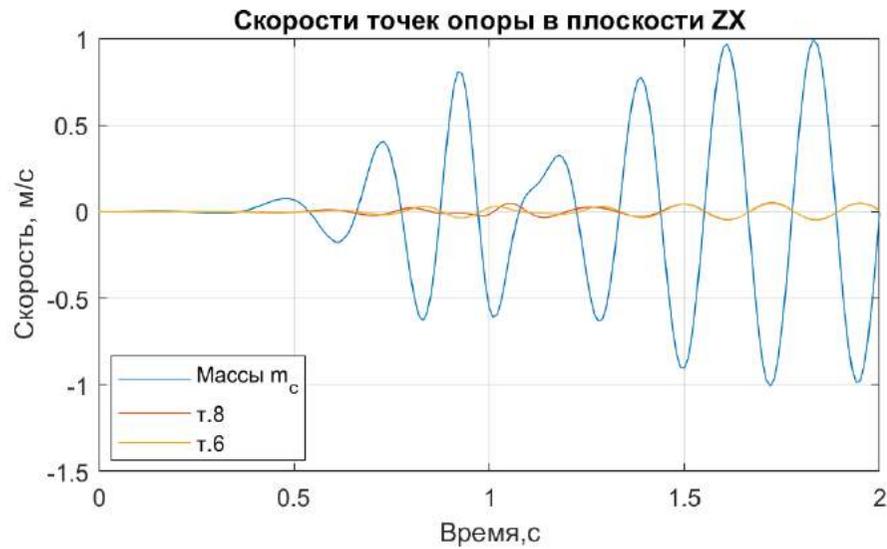
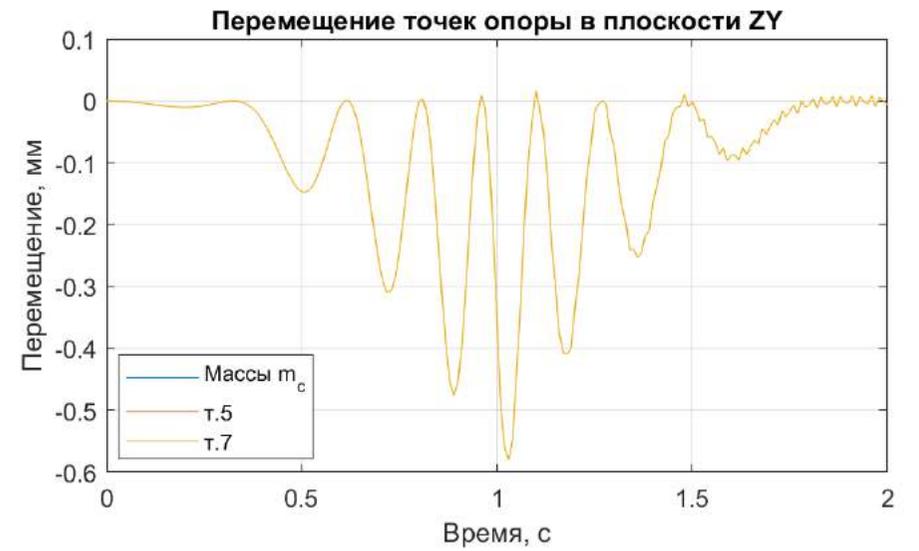
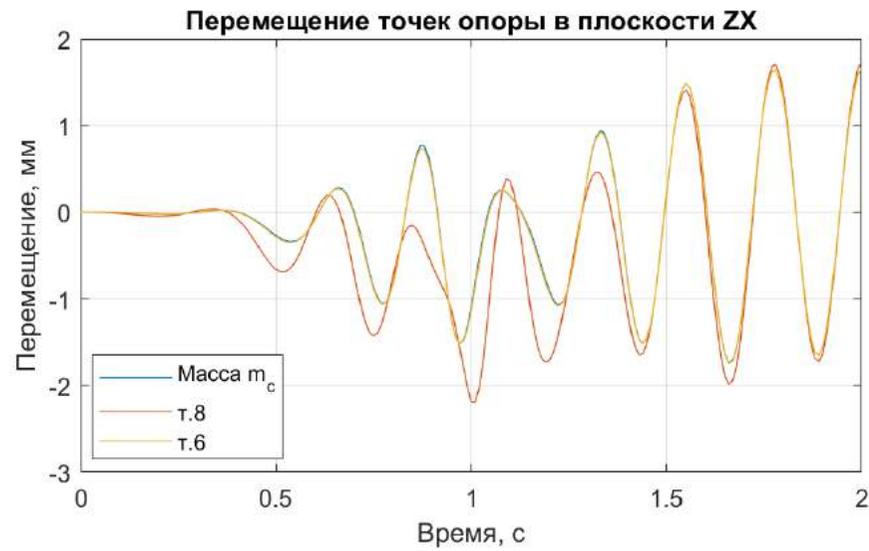
Графики первой группы.



Графики второй группы.



Графики третьей группы.



ПРИЛОЖЕНИЕ К



ТПУ

[ВОЙТИ](#) ru

[ГЛАВНАЯ /](#)

Полный отчет ?

[ПАРАМЕТРЫ ПРОВЕРКИ](#) [ЭКСПОРТ](#) [СОХРАНИТЬ](#) [ЕЩЁ...](#)

TRU938247.docx

ПРОВЕРЕНО: 14.06.2020 19:53:37

6,2%	ЗАИМСТВОВАНИЯ
0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ
1,09%	ЦИТИРОВАНИЯ
92,71%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

ПОИСК ПО БЛОКАМ

- Заимствования
- Самоцитирования
- Цитирования
- Выключенные блоки

[ПРЕДЫДУЩИЙ](#) [СЛЕДУЮЩИЙ](#)

ИСТОЧНИКИ: 68 ИЗ 68 [ПЕРЕСЧИТАТЬ](#)

- % Модуль поиска
- [01] **0,18%** **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ...**
Модуль поиска Интернет
[Изменить тип](#) [Книжка](#) [Ссылка](#)

ТЕКСТОВЫЙ ВИД | исходный вид | скрыть номера источников | [1/48](#)

1
ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

При оценке динамики современного рынка и конкурентоспособности среди промышленных компаний, важность использования промышленных роботов неоспорима. Внедрение роботов необходимо для предоставления все более индивидуализированных продуктов высокого качества в необходимом количестве. Компании, идущие в ногу с технологическим прогрессом, осознают, что роботизация производственных процессов неизбежна для