

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ (РОСБИОТЕХ)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОСБИОТЕХ)»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

«Техническое обслуживание программного обеспечения мехатронных устройств и систем»

Уровень образования:	Среднее профессиональное образование
Специальность	15.02.10 Мехатроника и робототехника (по отраслям)
Квалификация	специалист по мехатронике и робототехнике
Форма обучения	Очная
Срок освоения образовательной программы в соответствии с ФГОС (очная форма)	2 г. 10 м. (на базе среднего общего образования)
Год начала подготовки	2026 г.
Период освоения дисциплины	3 семестр
Форма контроля	Экзамен.

1. Область применения.

Фонд оценочных средств (ФОС) является неотъемлемой частью программы дисциплины при реализации программы подготовки специалистов среднего звена (ППСЗ) среднего профессионального образования (СПО) по специальности:

15.02.10 МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА (ПО ОТРАСЛЯМ)

Оценочные фонды разрабатываются для проведения оценки степени соответствия фактических результатов обучения при изучении дисциплины запланированным результатам обучения, соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, а также сформированности компетенций, установленных программой подготовки специалистов среднего звена.

Компетенции	Знать:	Уметь:	Владеть навыками (иметь практический опыт):
ПК 2.1. Выявлять внешние дефекты узлов и агрегатов мехатронных устройств и систем в результате их внешнего осмотра	- Виды дефектов материалов (трещины, коррозия, износ), ГОСТ/ТУ и методы измерения параметров (твёрдость, шероховатость). - Влияние свойств материалов на работу электроники (теплопроводность, изоляция). - Признаки износа и старения материалов, их ресурсные характеристики. - Свойства материалов для замены и методы их соединения. - Влияние материалов корпусов на теплоотвод и совместимость. - Материалы для смазки, очистки и защиты поверхностей, регламенты ТО .	- Определять и классифицировать внешние дефекты (коррозия, трещины, износ). - Сопоставлять параметры материалов (твёрдость, шероховатость) с нормативами. - Проверять соответствие материалов электронных модулей условиям эксплуатации (температура, влажность). - Определять степень износа деталей и выявлять критические дефекты. - Подбирать аналоги материалов при замене и выполнять замену с учётом их свойств. - Оценивать совместимость материалов с режимами работы после обновления ПО. - Выбирать смазочные и защитные материалы в зависимости от материала детали.	- Навыками визуального и инструментального контроля состояния материалов. - Работой с измерительными приборами (твёрдомер, профилометр). - Диагностикой отказов, связанных с перегревом или коррозией материалов. - Определением остаточного ресурса деталей на основе анализа материала. - Демонтажем/монтажом деталей с учётом их материала и способа соединения. - Проверкой целостности материалов после изменений в ПО. - Проведением профилактических работ (смазка, очистка, антикоррозионная обработка).
ПК 2.2. Проверять соответствие диагностируемых параметров узлов, агрегатов и электронных модулей мехатронных устройств и систем требованиям эксплуатационной документации			
ПК 2.3. Проводить контроль работоспособности программного обеспечения электронных устройств управления, приводов и датчиков мехатронных устройств и систем			

<p>ПК 2.4. Выявлять отработавшие ресурс или вышедшие из строя компоненты мехатронных устройств и систем</p> <p>ПК 2.5. Заменять отработавшие ресурс или вышедшие из строя компоненты мехатронных устройств и систем</p> <p>ПК 2.6. Проводить контроль корректности работы и обновление программного обеспечения мехатронных устройств и систем</p> <p>ПК 2.7. Проводить текущее техническое обслуживание узлов и агрегатов мехатронных устройств и систем</p>			
---	--	--	--

Цели и задачи фонда оценочных средств.

Целью ФОС является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта ФГОС СПО по ОПОП.

ФОС предназначен для решения задач контроля достижения целей реализации ОПОП СПО и обеспечения соответствия результатов обучения области, сфере, объектам профессиональной деятельности, области знаний и типам задач профессиональной деятельности.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Распределение часов дисциплины
по семестрам

Семестр(<Курс>.<Семестр на курсе>)	3(2.1)		Итого	
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	30	30	30	30
Лабораторные	28	28	28	28
Итого ауд.	58	58	58	58
Контактная работа	58	58	58	58
Сам. работа	80	80	80	80
Итого	140	140	140	140

Задания для промежуточной аттестации с ключами ответов

№ вопроса	Формулировка тестовых заданий	Варианты ответов	Правильный ответ
1.	Какой вид программного обеспечения отвечает за прямое управление аппаратными компонентами мехатронной системы (например, драйверы, прошивки контроллеров)?	а) Прикладное ПО б) Системное ПО в) Встроенное ПО (Embedded Software) г) Офисное ПО	в) Встроенное ПО (Embedded Software)
2.	Основная цель технического обслуживания ПО мехатронных систем — это:	а) Полная замена аппаратной части б) Обеспечение надежной, безопасной и эффективной работы системы в) Увеличение стоимости оборудования г) Сокращение числа обновлений	б) Обеспечение надежной, безопасной и эффективной работы системы
3.	Что такое «контроль версий» в контексте обслуживания ПО?	а) Проверка скорости работы программы б) Система учета изменений в исходном коде и документации в) Диагностика аппаратных сбоев г) Измерение температуры процессора	б) Система учета изменений в исходном коде и документации
4.	Какой протокол чаще всего используется для обмена данными между датчиками, контроллерами и ПК в современных промышленных системах?	а) HTTP б) Modbus TCP/IP или OPC UA в) SMTP г) FTP	б) Modbus TCP/IP или OPC UA
5.	Что в первую очередь необходимо сделать перед установкой обновления критического ПО на промышленном роботе?	а) Создать полную резервную копию (бекап) текущей системы и конфигурации б) Увеличить скорость интернета в) Отключить все датчики г) Перезагрузить систему без сохранения данных	а) Создать полную резервную копию (бекап) текущей системы и конфигурации

6.	Инструментальное средство «симулятор» или «эмулятор» используется для:	а) Физической очистки компонентов б) Тестирования и отладки ПО без риска для реального оборудования в) Компиляции исходного кода г) Измерения напряжения в сети	б) Тестирования и отладки ПО без риска для реального оборудования
7.	Диагностический буфер (лог-файл) контроллера используется для:	а) Хранения резервных копий ПО б) Записи системных событий, предупреждений и ошибок для последующего анализа в) Увеличения оперативной памяти г) Настройки графического интерфейса	б) Записи системных событий, предупреждений и ошибок для последующего анализа
8.	Что означает аббревиатура CAD/CAM в контексте разработки управляющих программ?	а) Комплексная автоматическая диагностика / Контроль и мониторинг б) Централизованный архив данных / Централизованный доступ к модулям в) Автоматизированное проектирование / Автоматизированное производство) г) Компиляция и анализ / Код и модификация	в) Автоматизированное проектирование / Автоматизированное производство)
9.	Какая операционная система часто используется в качестве базовой для встраиваемых и промышленных систем из-за своей надежности и открытости?	а) Windows 11 Home б) Linux (специализированные дистрибутивы, например, ROS Industrial) в) macOS г) DOS	б) Linux (специализированные дистрибутивы, например, ROS Industrial)
10.	Какой вид документации содержит пошаговые инструкции по установке, настройке и устранению неполадок конкретного ПО?	а) Маркетинговая брошюра б) Эксплуатационная документация (Руководство пользователя/администратора) в) Научная статья г) Патент	б) Эксплуатационная документация (Руководство пользователя/администратора)
11.	Признаком «отработавшего ресурс» программного компонента может быть:	а) Высокая скорость выполнения задач б) Современный графический интерфейс в) Маленький размер файла г) Участвующая частота критических сбоев, не устраняемых обновлениями, и прекращение поддержки разработчиком	г) Участвующая частота критических сбоев, не устраняемых обновлениями, и прекращение поддержки разработчиком
12.	Для чего используется процедура «отката» (rollback) системы?	а) Для ускорения работы системы б) Для возврата к предыдущей, стабильной версии ПО после неудачного обновления в) Для удаления всех пользовательских данных г) Для физического переворота устройства	б) Для возврата к предыдущей, стабильной версии ПО после неудачного обновления
13.	Что такое API (Application Programming Interface) в мехатронных системах?	а) Физический разъем для подключения датчиков б) Набор готовых функций и протоколов, позволяющий разным	б) Набор готовых функций и протоколов, позволяющий разным

		<p>программам или компонентам системы взаимодействовать</p> <p>в) Инструмент для пайки микросхем</p> <p>г) Вид системного журнала</p>	<p>программам или компонентам системы взаимодействовать</p>
14.	Какой этап является частью цикла технического обслуживания ПО?	<p>а) Покраска корпуса</p> <p>б) Планирование обновлений, установка, тестирование, документирование изменений</p> <p>в) Замена гидравлической жидкости</p> <p>г) Калибровка механических шестерен</p>	<p>б) Планирование обновлений, установка, тестирование, документирование изменений</p>
15.	Какая компетенция из ПК наиболее близко связана с проверкой корректности работы ПО после его обновления?	<p>а) ПК 2.6 (Контроль корректности работы и обновление ПО)</p> <p>б) ПК 2.1 (Выявление внешних дефектов)</p> <p>в) ПК 2.4 (Выявление отработавших ресурс компонентов)</p> <p>г) ПК 2.7 (Текущее ТО узлов и агрегатов)</p>	<p>а) ПК 2.6 (Контроль корректности работы и обновление ПО)</p>
16.	Установите соответствие между видом программного обеспечения и его описанием:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Системное ПО 2. Прикладное ПО 3. Встроенное ПО (Firmware) 4. Инструментальное ПО (SDK, IDE) 5. Драйвер устройства 6. <p>а) ПО, напрямую записанное в память аппаратного контроллера, управляющее его базовыми функциями.</p> <p>б) Обеспечивает взаимодействие между операционной системой и конкретным аппаратным устройством (например, датчиком, приводом).</p> <p>в) Обеспечивает работу компьютера в целом (ОС, утилиты).</p> <p>г) Среда и библиотеки для создания, отладки и тестирования программ.</p> <p>д) Программа для решения конкретной пользовательской задачи (например, САД-система, HMI).</p>	<p>1-в, 2-д, 3-а, 4-г, 5-б</p>
17.	Установите соответствие между этапом диагностики сбоя и действием специалиста:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выявление симптома 2. Локализация проблемы 3. Определение причины 4. Устранение причины 5. Верификация решения 6. <p>а) Анализ лог-файлов и тестов для понимания, в ПО или «железе» ошибка.</p> <p>б) Запуск тестовой программы для подтверждения, что система работает штатно.</p>	<p>Ответ: 1-г, 2-а, 3-д, 4-в, 5-б</p>

		<p>в) Обновление драйвера или установка патча.</p> <p>г) Оператор сообщает: «Манипулятор не движется к заданной точке».</p> <p>д) Установлено, что ошибка возникает из-за устаревшей версии библиотеки связи.</p>	
18.	Установите соответствие между типом документации и её назначением:	<p>1. Техническое задание (ТЗ)</p> <p>2. Руководство пользователя</p> <p>3. Руководство программиста/системного интегратора</p> <p>4. Паспорт изделия</p> <p>5. Журнал технического обслуживания</p> <p>а) Содержит правила безопасной эксплуатации и основные инструкции для оператора.</p> <p>б) Описывает архитектуру системы, API, процедуры установки и настройки ПО.</p> <p>в) Фиксирует все проведенные работы, обновления и инциденты с системой.</p> <p>г) Исходный документ с требованиями к функционалу и характеристикам системы.</p> <p>д) Содержит основные технические характеристики и гарантийные обязательства.</p>	1-г, 2-а, 3-б, 4-д, 5-в
19.	Установите соответствие между инструментом и его применением в ТО ПО:	<p>1. Система контроля версий (Git)</p> <p>2. Эмулятор/Симулятор</p> <p>3. Монитор сети (Wireshark)</p> <p>4. Средство создания образов (Acronis, Clonezilla)</p> <p>5. Интегрированная среда разработки (IDE)</p> <p>6. а) Анализ сетевого трафика и протоколов обмена данными.</p> <p>б) Безопасное тестирование нового кода без риска для производства.</p> <p>в) Резервное копирование всей системы перед обновлением.</p> <p>г) Написание, компиляция и отладка управляющих программ.</p> <p>д) Отслеживание изменений в конфигурационных файлах и исходном коде.</p>	1-д, 2-б, 3-а, 4-в, 5-г
20.	Установите соответствие между понятием и его определением:	Пакет обновления (Patch)	1-в, 2-б, 3-д, 4-а, 5-г

		<p>«Теплый» резерв (Warm Standby)</p> <p>Режим отладки (Debug Mode)</p> <p>Конфигурационный файл</p> <p>Пинг (Ping)</p> <p>а) Файл с настройками параметров работы программного компонента.</p> <p>б) Резервная система, которая частично запущена и готова к быстрому переключению.</p> <p>в) Файл с исправлениями ошибок или уязвимостей в ПО.</p> <p>г) Утилита для проверки доступности сетевого узла.</p> <p>д) Специальный режим работы программы с подробным логированием для поиска ошибок.</p>	
21.	Опишите последовательность действий специалиста при плановом обновлении программного обеспечения промышленного контроллера.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ релиз-ноутов обновления. 2. Создание полного бекапа системы и конфигурации. 3. Установка обновления по инструкции. 4. Тестирование функционала. 5. Документирование работ в журнале ТО.
22.	Назовите три типичных источника информации об ошибке в мехатронной системе.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Журналы ошибок (логи) контроллера. 2. Индикаторы состояния на аппаратных модулях. 3. Сообщения на HMI-панели или в SCADA-системе.
23.	Почему резервное копирование критически важно при ТО ПО?		Бекап позволяет быстро восстановить работоспособность системы после сбоя или неудачного обновления, минимизировать простой и сохранить уникальные

			конфигурации данных.
24	Что такое «цикл разработки и сопровождения ПО» и как он помогает специалисту по ТО?		Это процесс от создания до вывода ПО из эксплуатации. Понимание цикла помогает специалисту правильно планировать обновления, взаимодействовать с разработчиками и учитывать сроки поддержки версий (EOL).
25.	Как связаны ТО аппаратной и программной частей мехатронной системы?		Аппаратные сбои проявляются как программные ошибки, и наоборот. Знание обеих областей необходимо для точной диагностики, безопасной настройки и комплексного решения проблем, что повышает надёжность системы.

Примерные контрольные вопросы для зачёта и экзамена:

1. Дайте определение мехатронной системы. Назовите основные компоненты и их взаимосвязь.
2. Классификация программного обеспечения мехатронных систем: системное, прикладное, встроенное. Приведите примеры каждого типа.
3. Что такое встроенное программное обеспечение (Embedded Software/Firmware)? В чём его особенности и роль в мехатронике?
4. Цели и задачи технического обслуживания программного обеспечения. Чем отличается ТО ПО от ТО аппаратных средств?
5. Основные этапы жизненного цикла программного обеспечения (Software Lifecycle). Опишите этап эксплуатации и сопровождения.
6. Виды и назначение документации, сопровождающей ПО мехатронных систем (техническое задание, руководство пользователя, руководство программиста, паспорт).
7. Понятие и назначение системы контроля версий (Version Control System, например, Git) в процессе сопровождения ПО.
8. Что такое регламент технического обслуживания ПО? Из каких разделов он состоит?
9. Объясните принципы обеспечения информационной безопасности при обслуживании ПО промышленных систем.
10. Роль операционных систем в мехатронных устройствах. Особенности ОС реального времени (RTOS) и ОС общего назначения (например, Linux).

11. Типовая последовательность действий специалиста при диагностике сбоя в работе мехатронной системы.
12. Основные источники диагностической информации: журналы событий (логи), индикаторы состояния, диагностические коды, HMI. Как их использовать?
13. Классификация ошибок ПО: синтаксические, логические, ошибки времени выполнения. Приведите примеры.
14. Что такое диагностический буфер контроллера/ПЛК? Какую информацию он содержит и как его анализировать?
15. Методы локализации проблемы: разделение на подсистемы, стресс-тестирование, использование эмуляторов. Опишите один из методов.
16. Типовые программные сбои в мехатронных системах: зависание, утечка памяти, нарушение синхронизации. Возможные причины и способы устранения.
17. Инструменты мониторинга сетевого трафика (например, Wireshark). Зачем они нужны при диагностике промышленных сетей (EtherNet/IP, Profinet, Modbus TCP)?
18. Понятие «отказавшего» или «отработавшего ресурс» программного компонента. Критерии для принятия решения о его замене или обновлении.
19. Подготовительный этап перед установкой или обновлением критического ПО. Почему он важен?
20. Пошаговый алгоритм обновления ПО промышленного контроллера. На каких этапах наибольший риск?
21. Что такое пакет обновления (patch, hotfix) и сервиспак (service pack)? В чём разница?
22. Процедуры «отката» (rollback) системы к предыдущей версии. Когда и как она применяется?
23. Понятие резервного копирования (backup) и восстановления (restore). Какие данные необходимо резервировать в первую очередь?
24. Методы и инструменты создания полного образа системы (imaging). Назовите примеры программ.
25. Конфигурирование ПО. Что такое конфигурационный файл? Какие параметры в нём обычно задаются (IP-адреса, скорости портов, коэффициенты ПИД-регулятора)?
26. Кратко охарактеризуйте системы автоматизированного проектирования (CAD) и производства (CAM). Их роль в создании управляющих программ (УП).
27. Что такое интегрированная среда разработки (IDE)? Приведите примеры IDE для программирования ПЛК (например, TIA Portal, CODESYS) и роботов.
28. Назначение и использование симуляторов и эмуляторов при отладке ПО для мехатронных систем.
29. Понятие Human-Machine Interface (HMI). Основные задачи ПО HMI и его связь с контроллером.
30. Протоколы обмена данными в мехатронных системах. Сравните Modbus RTU и Modbus TCP. Где применяется каждый?
31. Что такое API (Application Programming Interface)? Приведите пример использования API для интеграции стороннего ПО с системой управления роботом.
32. Современные тенденции в ПО для мехатроники: промышленный Интернет вещей (IIoT), облачные платформы, цифровые двойники. Как они влияют на задачи ТО?
33. Вы получили задание установить новую версию ПО на станок с ЧПУ. Опишите ваш план действий от начала до сдачи работы заказчику.
34. Оператор сообщает о периодическом зависании робота-манипулятора в середине цикла. С чего вы начнёте расследование?
35. После обновления драйвера сервопривода система перестала выходить на точность позиционирования. Каковы ваши предположения и действия?
36. Вам необходимо интегрировать новый датчик давления в существующую систему управления. Какие шаги по настройке ПО необходимо выполнить?

37. Объясните, как вы организуете учёт и хранение резервных копий ПО для десяти однотипных мехатронных модулей на производстве.
38. Система управления выдает ошибку «Потеря связи с модулем ввода/вывода». Перечислите возможные причины (аппаратные и программные) и способы проверки.
39. Почему при техническом обслуживании мехатронной системы специалист должен обладать знаниями как в области ПО, так и в области аппаратных средств? Приведите пример, иллюстрирующий эту взаимосвязь.
40. Сформулируйте основные принципы культуры безопасной и ответственной работы с программным обеспечением сложных технических систем.

Критерии и шкалы оценивания.

Текущий контроль по дисциплине

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется в соответствии с локальным актом университета (положением), регламентирующим проведение текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся и организации учебного процесса с применением балльно-рейтинговой системы оценки качества обучения.

Промежуточная аттестация по дисциплине

Форма промежуточной аттестации – Экзамен.

Оценка *«отлично»* выставляется обучающемуся, если дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, системно показана совокупность освоенных знаний об объекте, проявляющаяся в свободном оперировании понятиями, умении выделить существенные и несущественные его признаки, причинно-следственные связи. Ответ формулируется при помощи научного категориально-понятийного аппарата, изложен последовательно, логично, доказательно, демонстрирует авторскую позицию студента.

Оценка *«хорошо»* выставляется обучающемуся, если дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний об объекте, доказательно раскрыты основные положения темы; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Ответ изложен последовательно, логично и доказательно, однако допущены недочеты в определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется обучающемуся, если дан полный, но недостаточно последовательный ответ на поставленный вопрос, но при этом показано умение выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Ответ логичен и изложен научным языком. Могут быть допущены две-три ошибки в определении основных понятий, которые студент затрудняется исправить самостоятельно.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется обучающемуся, если дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связи между понятиями, концептуальные пересечения, структурные закономерности между различными объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

Результат обучения по дисциплине считается достигнутым при получении обучающимся оценки «зачтено», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» по каждому из контрольных мероприятий, относящихся к данному результату обучения.

Критерии оценки образовательных результатов обучающихся на зачете по дисциплине

Качество освоения ОПОП рейтинговые баллы	Оценка зачета, зачета с оценкой (нормативная) в 5-балльной шкале	Уровень достижений компетенций	Критерии оценки образовательных результатов
85-100	Зачтено, 5, отлично	Высокий (продвинутый)	<p>ЗАЧТЕНО, ОТЛИЧНО заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала на занятиях и самостоятельной работе. При этом, рейтинговая оценка (средний балл) его текущей аттестации по дисциплине входит в диапазон 85-100. При этом, на занятиях, обучающийся исчерпывающе, последовательно, чётко и логически стройно излагал учебно-программный материал, умел тесно увязывать теорию с практикой, свободно справлялся с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, предусмотренные программой. Причем обучающийся не затруднялся с ответом при видоизменении предложенных ему заданий, правильно обосновывал принятое решение, демонстрировал высокий уровень усвоения основной литературы и хорошо знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины.</p> <p>Как правило, оценку «отлично» выставляют обучающемуся, усвоившему взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значение для приобретаемой профессии, проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.</p> <p>Рейтинговые баллы назначаются обучающемуся с учётом баллов текущей (на занятиях) и (или) рубежной аттестации (контроле).</p>

70-84	Зачтено, 4, хорошо	Хороший (базовый)	<p>ЗАЧТЕНО, ХОРОШО заслуживает обучающийся, обнаруживший осознанное (твердое) знание учебно-программного материала на занятиях и самостоятельной работе. При этом, рейтинговая оценка (средний балл) его текущей аттестации по дисциплине входит в диапазон 70-84.</p> <p>На занятиях обучающийся грамотно и по существу излагал учебно-программный материал, не допускал существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применял теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владел необходимыми навыками и приёмами их выполнения, уверенно демонстрировал хороший уровень усвоения основной литературы и достаточное знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины.</p> <p>Как правило, оценку «хорошо» выставляют обучающемуся, показавшему систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.</p> <p>Рейтинговые баллы назначаются обучающемуся с учётом баллов текущей (на занятиях) и (или) рубежной аттестации (контроле).</p>
-------	--------------------	----------------------	---

60-69	Зачтено, удовлетворительно	3, (минимальный)	<p>Достаточный</p> <p>ЗАЧТЕНО, УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО заслуживает обучающийся, обнаруживший минимальные (достаточные) знания учебно-программного материала на занятиях и самостоятельной работе. При этом, рейтинговая оценка (средний балл) его текущей аттестации по дисциплине входит в диапазон 60-69.</p> <p>На занятиях обучающийся демонстрирует знания только основного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей профессиональной работы, слабое усвоение деталей, допускает неточности, в том числе в формулировках, нарушает логическую последовательность в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических заданий и работ, знакомый с основной литературой, слабо (недостаточно) знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой.</p> <p>Как правило, оценку «удовлетворительно» выставляют обучающемуся, допускаяшему погрешности в ответах на занятиях и при выполнении заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.</p> <p>Рейтинговые баллы назначаются обучающемуся с учётом баллов текущей (на занятиях) и (или) рубежной аттестации (контроле).</p>
-------	-------------------------------	---------------------	---

Менее 60	Не зачтено, 2, неудовлетворительно	Недостаточный (ниже минимального)	НЕ ЗАЧТЕНО, НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО выставляется обучающемуся, который не знает большей части учебно-программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы на занятиях и самостоятельной работе. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающемуся продемонстрировавшего отсутствие целостного представления по дисциплине, предмете, его взаимосвязях и иных компонентов. При этом, обучающийся не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на недостаточном уровне или не сформированы. Рейтинговые баллы назначаются обучающемуся с учётом баллов текущей (на занятиях) и (или) рубежной аттестации (контроле).
----------	------------------------------------	-----------------------------------	--

Промежуточная аттестация может проводиться в форме компьютерного тестирования. Обучающемуся отводится для подготовки ответа на один вопрос открытого и закрытого типа не менее 5 минут.

Итоговая оценка при проведении зачёта и экзамена выставляется с использованием следующей шкалы.

Оценка	Правильно решенные тестовые задания (%)
«отлично»	90-100
«хорошо»	66-89
«удовлетворительно»	50-65
«неудовлетворительно»	0-49

Примеры лабораторных работ

Лабораторная работа №1

1.1 Цель и задачи работы

Целью работы является освоение студентами принципов построения и функционирования программного обеспечения для практической реализации системы автоматического управления мехатронного электропривода.

1.2 Задание на лабораторную работу

1. Составить алгоритм программы для цифровой системы

управления, реализующий следующие типы регуляторов:

- П-регулятор;
- ПИД-регулятор.

2. На основании полученного алгоритма, разработать программу для реализации и моделирования регулятора в среде Mathcad.
3. Провести моделирование работы системы автоматического управления, подобрать коэффициенты регулятора.
4. Сделать выводы на основе полученных результатов
5. (дополнительно) разработать функцию цифрового регулятора на языке высокого уровня

1.3 Краткая теория

Привод, включает, прежде всего, двигатель и устройство управления им. Кроме того, в состав привода могут входить различные механизмы для передачи и преобразования движения (редукторы, преобразователи вращательного движения в поступательное и наоборот), тормоз и муфта.

К приводам, применяемым в мехатронных и робототехнических системах, предъявляют весьма жесткие специфические требования. В связи с необходимостью встраивания приводов в рабочие органы роботов — в манипуляторы и системы передвижения — габариты и масса приводов должны быть минимальными.

Приводы в робототехнических системах работают в основном в неуставившихся режимах и с переменной нагрузкой. При этом переходные процессы в них должны быть практически

неколебательными. Важными параметрами приводов МС являются также надежность, стоимость, удобство эксплуатации. Требования, предъявляемые к их способу управления, быстродействию и точности, непосредственно определяются соответствующими требованиями к МС в целом.

Системы автоматического управления, включающие измерительную систему, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, цифровые регуляторы реализованные на микроконтроллерах способны обеспечивать жесткие требования к мехатронным приводам.

ПИД-регулятор

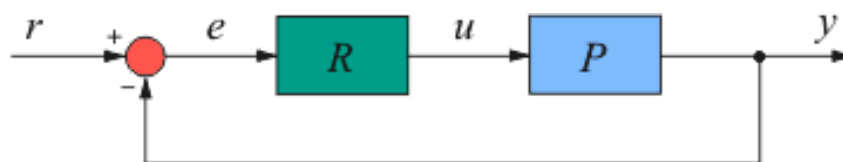


Рис. 1.1 Структурная схема САУ

В ней блок **R** называют регулятором (от слова Regulator), **P** – управляющим воздействием или уставкой (reference), **e** – сигналом рассогласования или ошибки (error), **u** – выходной величиной регулятора, **y** – регулируемой величиной.

Если выходная переменная **u** регулятора описывается выражением

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

где t – время; k_p , k_i , k_d – пропорциональный коэффициент (безразмерный), постоянная интегрирования (размерность времени) и постоянная дифференцирования (размерность времени) регулятора, то такой регулятор называют ПИД-регулятором.

В частном случае пропорциональная, интегральная или дифференциальная компоненты могут отсутствовать и такие упрощенные регуляторы называют П, И или ПИ регуляторами.

Следует подчеркнуть, что входом объекта управления на всех рисунках является выход регулятора, т.е. величина **u** имеет ту же

размерность, что и рассогласование e , выходная величина y и уставка r . Т.е., если объект управляется, например, ШИМ- регулятором, током, или частотой вращения вала, во всех этих случаях управляющей величиной является u , а в модель объекта управления P следует ввести преобразователь величины u в ширину импульса ШИМ-регулятора, в ток или в частоту вращения вала соответственно. Это надо учитывать также при задании входного воздействия в экспериментах для настройки или моделирования регулятора. Таким воздействием во всех случаях должна быть величина u (выходная величина регулятора).

Дискретный ПИД-регулятор

Непрерывные переменные удобно использовать для анализа и синтеза ПИД-регуляторов. Для технического воплощения необходимо перейти к дискретной форме уравнений, поскольку основой большинства современных регуляторов является микроконтроллер, контроллер или компьютер, которые оперируют с переменными, полученными из аналоговых сигналов после их дискретизации по времени и квантования по уровню.

Переход к конечно-разностным уравнениям

Переход к дискретным переменным в уравнениях аналогового регулятора выполняется путем замены производных и интегралов их дискретными аналогами. Если уравнение записано в операторной форме, то сначала выполняют переход из области изображений в область оригиналов. При этом оператор дифференцирования заменяют производной, оператор интегрирования – интегралом.

Рассмотрим интегральный член ПИД-регулятора:

$$I(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Наиболее устойчивой и более распространенной формулой для численного интегрирования является формула интегрирования

с правыми разностями, когда значение ошибки берется в тот же момент времени, что и вычисляемый интеграл:

$$I_i = I_{i-1} + \frac{\Delta t}{T_i} e_i$$

Рассмотрим дифференциальный член ПИД-регулятора с фильтром

$$u_{Di} = \left(\frac{T_d}{T_d + N\Delta t} \right) u_{Di-1} + \frac{NT_d}{T_d + N\Delta t} (e_i - e_{i-1})$$

Здесь условие сходимости

$$\left| \frac{T_d}{T_d + N\Delta t} \right| < 1$$

выполняется для всех Δt и ни при каких значениях параметров не возникает колебаний. Кроме того, последняя формула позволяет "отключить" дифференциальную составляющую в ПИД регуляторе путем назначения $T_d = 0$.

На практике, величина шага дискретизации Δt выбирается как можно меньше, это улучшает качество регулирования.

Для обеспечения хорошего качества регулирования он не должен быть больше чем 1/15...1/6 от времени установления переходной характеристики объекта по уровню 0,95 или 1/4...1/6 от величины транспортной задержки. Однако при увеличении частоты дискретизации более чем в 2 раза по сравнению с верхней частотой спектра возмущающих сигналов (по теореме Котельникова) дальнейшего улучшения качества регулирования не происходит.

Если контроллер используется не только для регулирования, но и для аварийной сигнализации, то такт дискретизации не может быть меньше, чем допустимая задержка срабатывания сигнала аварии.

Уравнение цифрового ПИД-регулятора

Основываясь на изложенном выше, уравнение дискретного ПИД-регулятора можно записать в виде

$$u_{i+1} = Ke_i + I_i + u_{Di}$$

где i - номер временного такта. Величины I_i и u_{Di} вычисляются по ранее указанным формулам. Для начала работы алгоритма

выбирают обычно $u_{D0} = 0$, $I_0 = 0$, $e_0 = 0$, однако могут быть и другие начальные условия, в зависимости от конкретной задачи регулирования.

Отметим, что алгоритм, полученный путем простой замены операторов дифференцирования и интегрирования в базовой формуле конечными разностями и конечными суммами:

$$u_{i+1} = Ke_i + \frac{1}{T_i} \sum_{k=0}^i e_k + T_d \frac{e_{i+1} - e_i}{\Delta t}$$

(здесь k – индекс суммирования отсчетов от начала процесса до текущего i -того временного такта)

обладает плохой устойчивостью и низкой точностью. Однако в простых ПИД-регуляторах чаще всего используют именно его, а недостаток точности компенсируют высоким быстродействием системы, так как с ростом частоты дискретизации различие между приведенным методом и другими, более точными методами стирается.

Настройка ПИД-регулятора

Существует множество различных методов, позволяющих осуществить подбор параметров ПИД-регулятора. Некоторые основаны на численном моделировании системы автоматического управления. С этими методами вы можете ознакомиться в курсе "Теории автоматического управления". Однако часто расчет параметров по формулам не может дать оптимальной настройки регулятора, поскольку аналитически полученные результаты основываются на сильно упрощенных моделях объекта. В частности, в них не учитывается всегда присутствующая нелинейность типа "ограничение" для управляющего воздействия. Кроме того, модели используют параметры, идентифицированные с некоторой погрешностью. Поэтому после расчета параметров регулятора желательно сделать его подстройку.

Подстройку можно выполнить на основе правил, которые используются для ручной настройки. Эти правила получены из опыта, теоретического анализа и численных экспериментов. Они сводятся к следующему:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;

- с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;
- уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;
- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

Перечисленные правила применяются также для регуляторов, использующих методы экспертных систем и нечеткой логики.

Ручную настройку с помощью правил удобно выполнять с применением интерактивного программного обеспечения на компьютере, временно включенном в контур управления. Для оценки реакции системы на изменение уставки, внешние воздействия или шумы измерений подают искусственные воздействия и наблюдают реакцию на них. После выполнения настройки значения коэффициентов регулятора записывают в память ПИД-контроллера, а компьютер удаляют.

Отметим, что применение правил возможно только после предварительной настройки регулятора по формулам. Попытки настроить регулятор без начального приближенного расчета коэффициентов могут быть безуспешными. Сформулированные выше правила справедливы только в окрестности оптимальной настройки регулятора.

Для начального приближенного расчета коэффициентов можно использовать различные методы, например, широко известный метод *Зиглера–Никольса*.

Метод подбора коэффициентов ПИД-регулятора Зиглера–Никольса

Суть метода состоит в следующем:

1. Выставляем все коэффициенты (K_p , K_i , K_d) в ноль.
2. Начинаем постепенно увеличивать значение K_p и следим за реакцией системы. Нам нужно добиться, чтобы в системе начались устойчивые колебания (вызванные перерегулированием). Увеличиваем K_p , пока колебания системы не стабилизируются (перестанут затухать).
3. Запоминаем текущее значение K_p (обозначим его K_u) и измеряем период колебаний системы (T_u).

4. Теперь используем полученные значения K_u и T_u для расчета всех параметров ПИД регулятора по формулам:

$$K_p = 0.6K_u$$

$$K_i = 2K_p / T_u \quad K_d =$$

$$K_p \cdot T_u / 8$$

Для дискретных регуляторов нужно еще учесть период дискретизации – T (умножить K_i на T , разделить K_d на T).

1.4 Ход работы

Описание мехатронного привода

Исследуемый мехатронный привод (рис. 1.2) состоит из двигателя постоянного тока 1, редуктора 2, и стержня 3, закрепленного на выходном валу редуктора. На валу редуктора установлен также датчик угла поворота, определяющий положение вала (на рис.2 не показан).

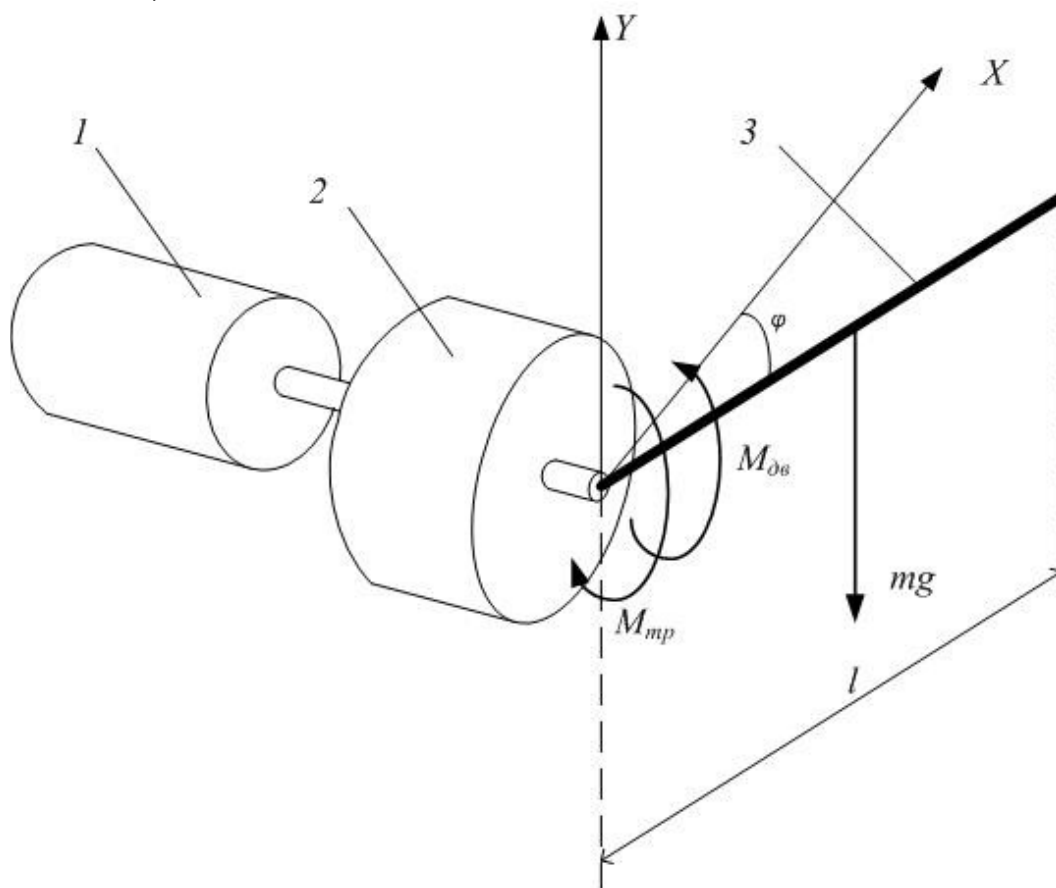


Рис. 1.2 Расчетная схема привода

Для моделирования дискретного регулятора необходима математическая модель объекта управления.

Математическая модель объекта управления

Согласно приведенной расчетной схеме (рис. 1.2) запишем систему математических уравнений описывающих данную систему.

$$J\ddot{\varphi} = M_{np} - mg \cdot \cos(\varphi) - \mu \cdot \dot{\varphi} - M_{тр}$$

$$L \frac{di}{dt} + RI + C_E(\dot{\varphi} \cdot i) = U$$

$$\frac{di}{dt}$$

dt

$$M_{np} = C_M I$$

где J – момент инерции, C_M – моментный коэффициент двигателя, C_E – коэффициент пропорциональности между противо-ЭДС и скоростью вращения вала; I – ток обмотки якоря двигателя постоянного тока, m – масса звена, μ – коэффициент силы вязкого сопротивления, L – индуктивность цепи якоря, R – активное сопротивление цепи якоря, $M_{тр}$ – момент силы трения, определяемое как:

$$-M_{тр.пред} \text{sign}(\dot{\varphi}), \text{ если } \dot{\varphi} \neq 0;$$

$$M_{тр} = \begin{cases} -\sum M_{внеш}, & \text{если } \dot{\varphi} = 0 \text{ и } \sum M_{внеш} \leq M_{тр.пред}; \\ -M_{тр.пред} \text{sign}(\sum M_{внеш}), & \text{если } \dot{\varphi} = 0 \text{ и } \sum M_{внеш} > M_{тр.пред}, \end{cases}$$

$$-M_{тр.пред} \text{sign}(\sum M_{внеш}), \text{ если } \dot{\varphi} = 0 \text{ и } \sum M_{внеш} > M_{тр.пред},$$

где: $M_{тр.пред}$ - предельное значение момента сил трения в шарнире (редукторе), $\sum M_{внеш}$ - сумма внешних сил.

Моделирование ограничения мощности управляющего питания

$$M_{об} = \begin{cases} M_{об} = k \cdot I & \text{если } U < U_{\max} \\ M_{об} * & \text{если } U \geq U_{\max} \end{cases}$$

Математическое моделирование объекта управления в

Mathcad

Приведем листинг программы позволяющей получить решение системы уравнений, описывающих мехатронный привод (рис. 1.3-1.6). В данном случае используется метод Вереле с фиксированным шагом интегрирования.

A(Time) :=	dt ← 0.0001	постоянная интегрирования
	Count ← $\frac{\text{Time}}{\text{dt}}$	подсчет количества итераций расчета
	m ← 0.5	масса звена
	l ← 0.2	длина звена
	L ← 0.00008	индуктивность обмоток двигателя
	R ← 0.3	сопротивление обмотки
	g ← 9.81	ускорение свободного падения
	J ← $\frac{(m \cdot l^2)}{3}$	расчет момента инерции
	red ← 20	передаточное число редуктора
	Cm ← 0.03	моментная постоянная двигателя
	Ce ← 0.03	электрическая постоянная двигателя
	W ← 27	предельная мощность источника питания
	MtrPr ← 0.01	предельный момент трения
	μ ← 0.001	коэффициент момента вязкого сопротивления
	fs ← 1000	частота опроса датчика положения
	fc ← 200	частота обновления управляющего воздействия
	φ ← 0	начальные значения: положения
	dφ ← 0	скорости
	ddφ ← 0	ускорения
	di ← 0	производной от тока
	i ← 0	тока в обмотках двигателя

Рис. 1.3 Листинг программы (часть I, инициализация)

for j ∈ 0.. Count	основной цикл моделирования привода
if $\text{mod}\left(j, \frac{1}{dt \cdot fc}\right) = 0$	условие вызова функции регулятора
 U ←	программа регулятора задающая значение управляющего напряжения
di ← $\frac{U - R \cdot i - C_e \cdot d\varphi \cdot \text{red}}{L}$	уравнение для производной от тока
i ← i + di · dt	вычисление тока в обмотках двигателя
i ← $\begin{cases} i & \text{if } i \cdot U < W \\ \frac{W}{U} & \text{otherwise} \end{cases}$	моделирование ограниченного источника питания
Md ← Cm · i · red	расчет крутящего момента привода
SumM ← $dd\varphi \cdot J - Md + m \cdot g \cdot \cos(\varphi) \cdot \frac{1}{2} + \mu \cdot d\varphi$	расчет суммы моментов внешних сил, для определения момента сил трения
if dφ = 0	
Mtr ← MtrPr · sign(SumM) if SumM > MtrPr	расчет момента сил трения
Mtr ← SumM otherwise	
Mtr ← MtrPr · sign(dφ) otherwise	
ddφ ← $\frac{Md - m \cdot g \cdot \cos(\varphi) \cdot \frac{1}{2} - \mu \cdot d\varphi - Mtr}{J}$	определение углового ускорения
dφ ← dφ + ddφ · dt	определение угловой скорости
φ ← φ + dφ · dt + $\frac{dd\varphi \cdot dt^2}{2}$	расчет угла поворота
B _{j,0} ← t	Сохранение результатов моделирования в массив данных
B _{j,1} ← φ	
B	

C := A(1) пример вызова функции моделирования

t := C⁽⁰⁾ φ := $\frac{C^{(1)} \cdot 360}{2 \cdot \pi}$ пример переобозначения результатов

Рис. 1.4 Листинг программы (часть II, моделирование)

if $\text{mod}\left(j, \frac{1}{dt \cdot fc}\right) = 0$	
$sd\varphi \leftarrow \frac{[(\varphi_{zad} - s\varphi) - (\text{prevs}\varphi_{zad} - \text{prevs}\varphi)]}{dt \cdot fc}$	расчет дифференциальной составляющей ошибки
$i\varphi \leftarrow [(\varphi_{zad} - s\varphi) \cdot dt \cdot fc + i\varphi]$	расчет интеграла от ошибки регулирования
$\text{prevs}\varphi \leftarrow s\varphi$	
$\text{prevs}\varphi_{zad} \leftarrow \varphi_{zad}$	
$cU \leftarrow kp \cdot (\varphi_{zad} - s\varphi) + kd \cdot sd\varphi + ki \cdot i\varphi$	формирование управляющего напряжения
$U \leftarrow \begin{cases} cU & \text{if } cU < 9 \\ 9 \cdot \text{sign}(cU) & \text{otherwise} \end{cases}$	

Рис. 1.5 Листинг программы (часть III, пример реализации ПИД-регулятора)

$s\varphi \leftarrow \text{round}\left(\frac{\varphi - 360}{2\pi}, 0\right)$ if $\text{mod}\left(j, \frac{1}{dt \cdot fs}\right) = 0$	Моделирование измерительной системы
---	-------------------------------------

Рис. 1.6 Листинг программы (часть IV, пример моделирования датчика угла поворота звена)

1.5 Пример выполнения (Вариант №0)

Составим алгоритм управляющей программы ПИД-регулятора (рис. 1.7).

Проведем моделирование работы системы автоматического управления. Согласно варианту определим параметры модели.

Параметры электродвигателя подберем согласно электронному каталогу (рис. 1.8).

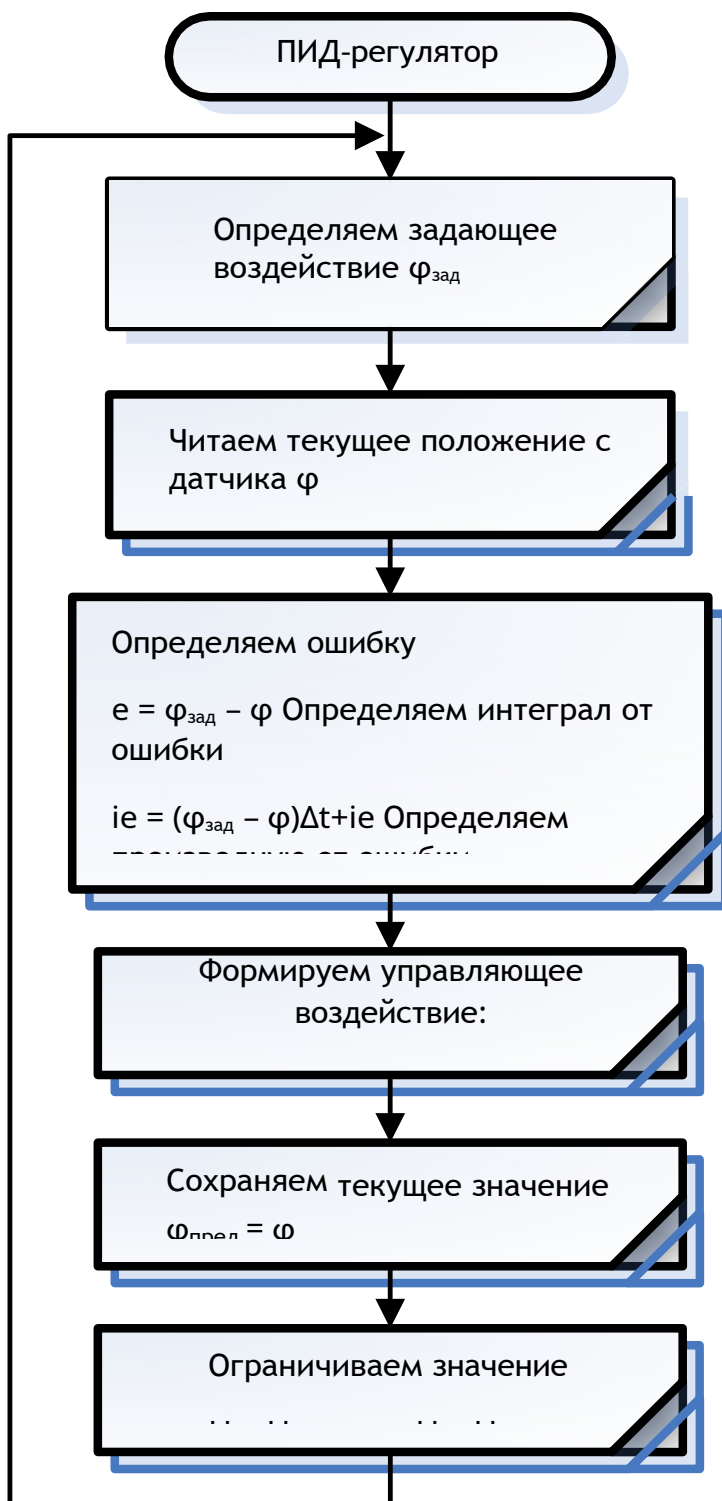
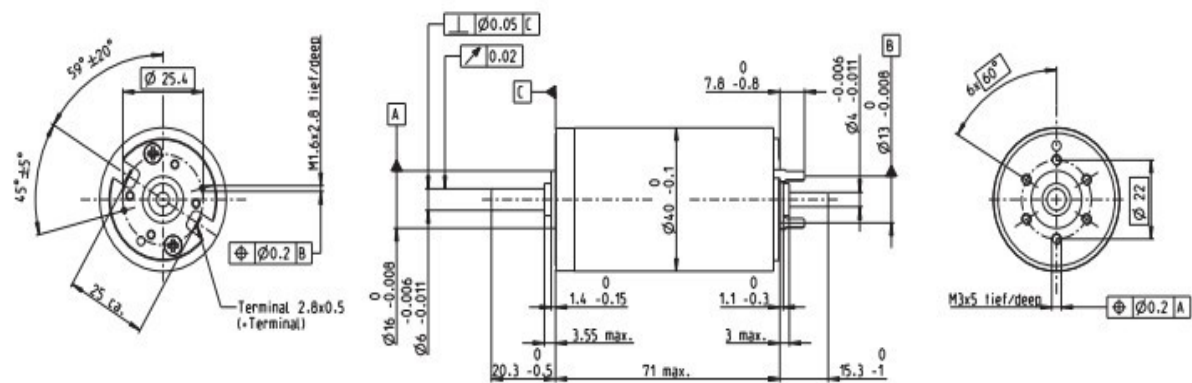


Рис. 1.7 Алгоритм формирования управляющего воздействия ПИД-регулятором

RE 40 Ø40 mm, Precious Metal Brushes, 25 Watt

NEW



M 1:2

Stock program
Standard program
Special program (on request)

Part Numbers

Motor Data		448588	448589	448590	448591	448592
Values at nominal voltage						
1 Nominal voltage	V	9	18	24	42	48
2 No load speed	rpm	2850	2850	2780	2920	2690
3 No load current	mA	49.7	24.8	18.1	11	8.62
4 Nominal speed	rpm	2610	2600	2480	2640	2410
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	87.8	87.8	88.2	87.6	87.6
6 Nominal current (max. continuous current)	A	2.96	1.48	1.09	0.65	0.524
7 Stall torque	mNm	873	956	794	895	818
8 Starting current	A	29	15.9	9.66	6.53	4.81
9 Max. efficiency	%	92	92	92	92	92
Characteristics						
10 Terminal resistance	Ω	0.311	1.14	2.49	6.43	9.97
11 Terminal inductance	mH	0.0824	0.33	0.613	1.7	2.62
12 Torque constant	mNm/A	30.2	60.3	82.2	137	170
13 Speed constant	rpm/V	317	158	116	69.7	56.2
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	3.27	2.98	3.51	3.27	3.3
15 Mechanical time constant	ms	4.85	4.29	4.36	4.14	4.13
16 Rotor inertia	gcm ²	142	137	119	121	120

Рис. 1.8 Технические характеристики двигателя RE40(9B) Согласно

таблице технических характеристик (рис. 8),

зададимся параметрами двигателя:

$U_{\text{НОМ}} = 9\text{В}$ $C_M =$

0.0302

$C_e = U_{\text{НОМ}}/w_{\text{X.X}} = 9/298,3 = 0,03 \text{ (Врад)}$ $L =$

0.00008 Гн

$R = 0,3 \text{ Ом}$

Параметры нагрузки:

$m = 0,5 \text{ кг}$ $l =$

0.2 м $\text{red} = 20$

$M_{\text{Тр}} = 0,01 \text{ Нм}$ $\mu =$

$0,001 \text{ кг/с}$

Параметры САУ

Разрешение датчика = 360° Частота

опроса датчика = 1 кГц

Результаты моделирования

Покажем результаты моделирования ПИД – регулятора (рис. 1.9-1.14).

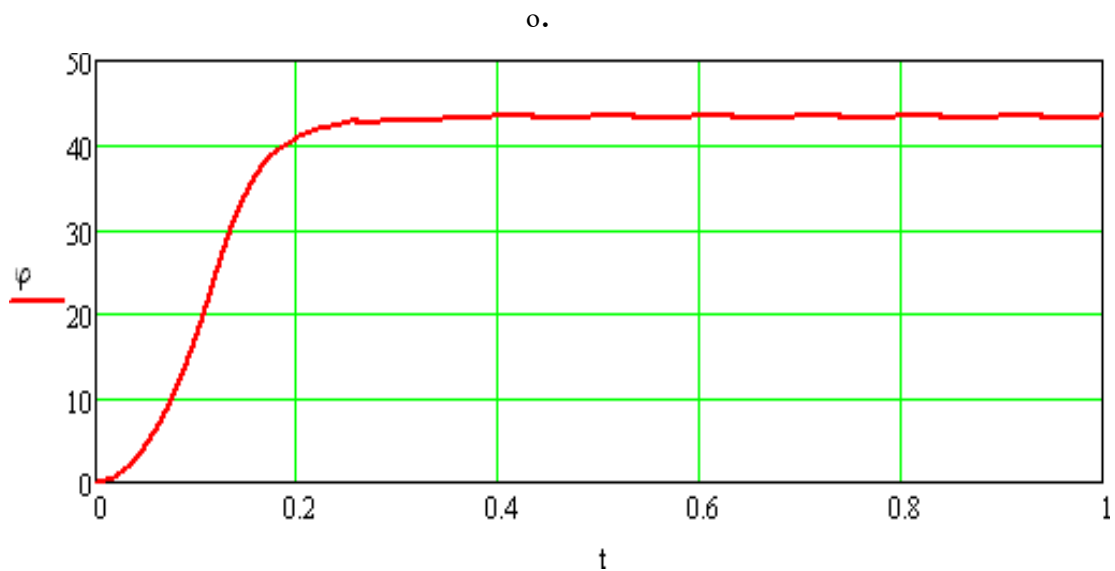


Рис. 1.9 График перемещения звена

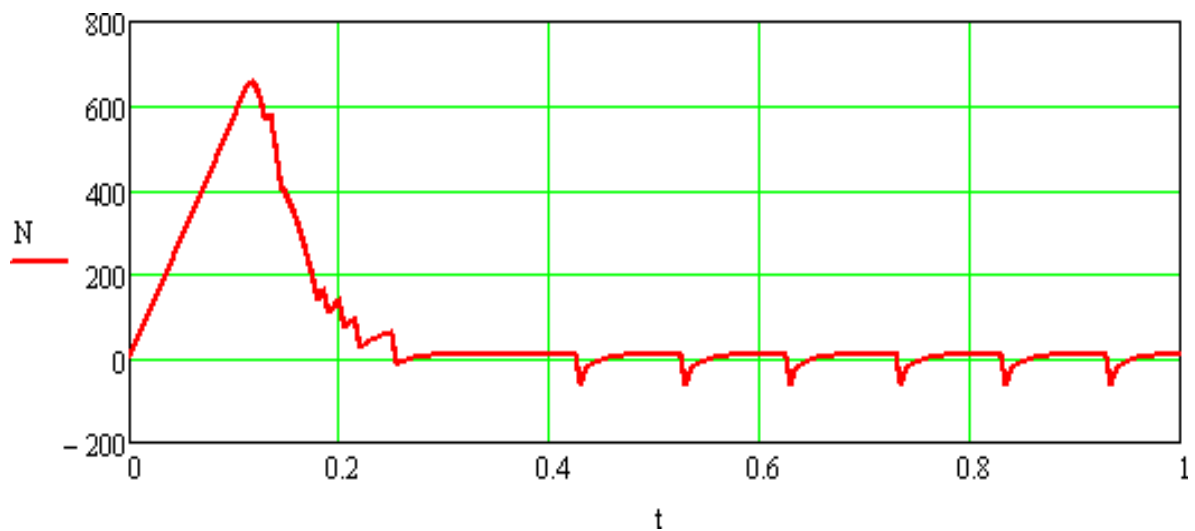


Рис. 1.10 График частоты вращения вала двигателя

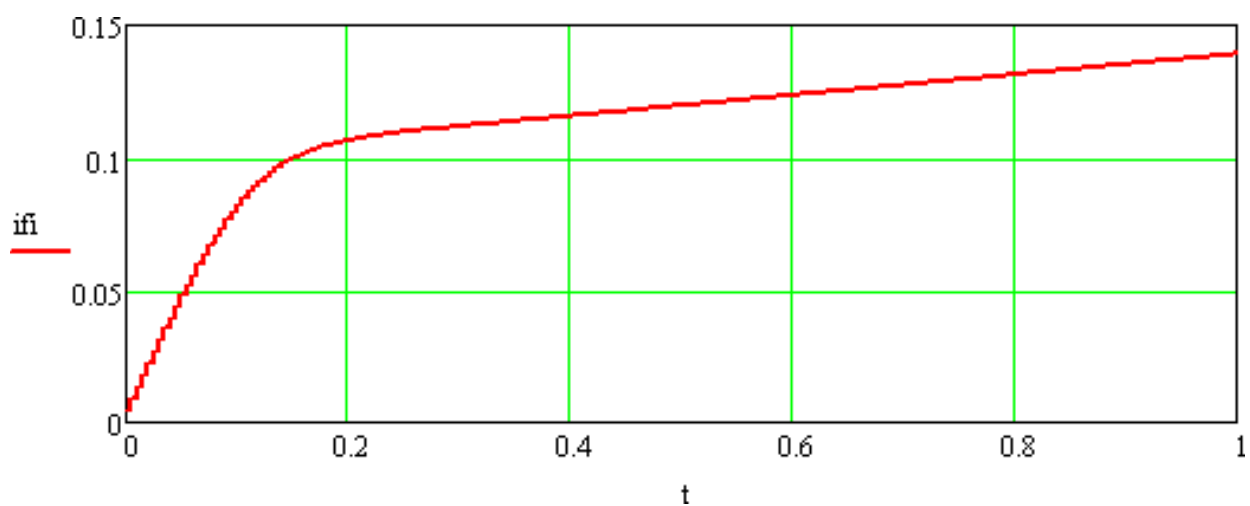


Рис. 1.11 График интегральной ошибки

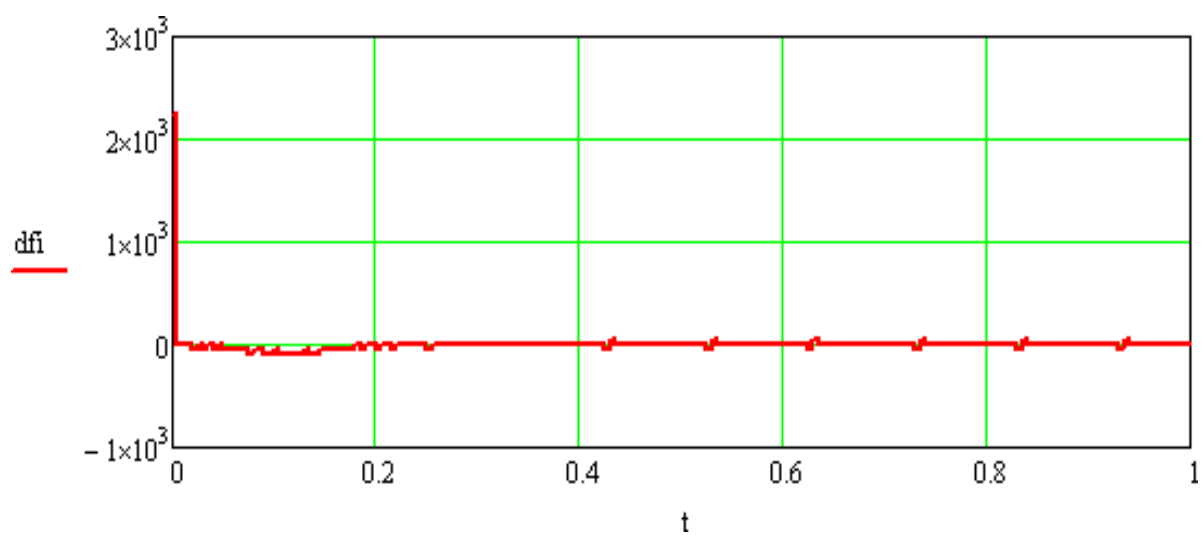


Рис. 1.12 График производной ошибки

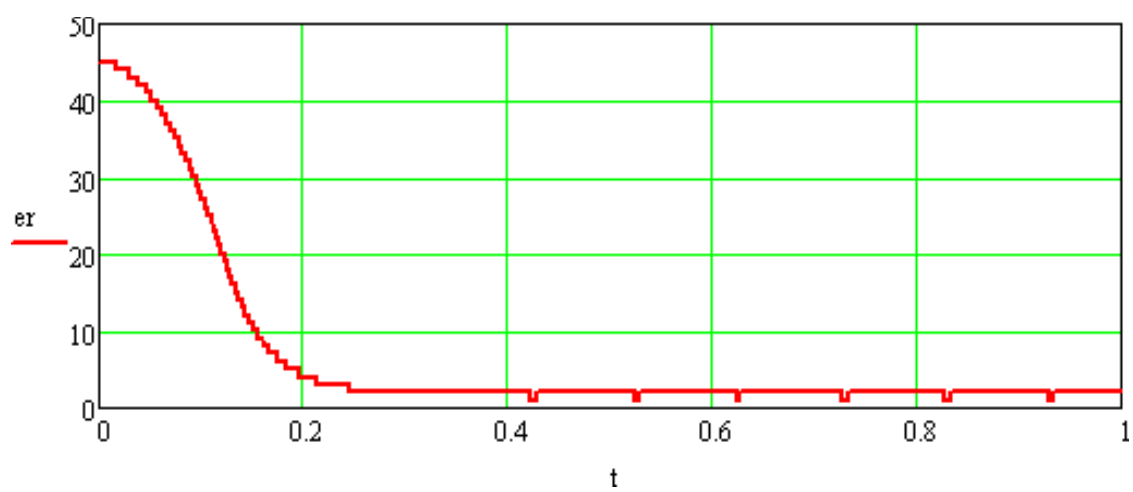


Рис. 1.13 График изменения ошибки

1.6 Исходные данные для выполнения работы

№ Варианта	Масса звена, кг	Длина звена, м	Момент силы трения	Модель двигателя	Перед. отнош. редуктора	Частота системы измерения	Частота САУ
0 (пример)	0,5	0,2	0,01	RE40	20	1000	200
1	0,8	0,1	0,015	RE40	20	1000	200
2	1	0,1	0,005	RE40	20	1100	300
3	1,5	0,2	0,02	RE40	30	1200	500
4	0,4	0,2	0,01	RE40	20	1000	200
5	0,8	0,2	0,015	RE40	25	1000	400
6	1	0,1	0,005	RE40	20	1100	300
7	1,5	0,1	0,02	RE40	25	1200	500
9	0,5	0,2	0,01	RE40	20	1000	200
10	0,5	0,2	0,04	RE40	20	1000	200
11	0,8	0,1	0,015	RE30	20	1000	200
12	1	0,1	0,005	RE30	20	1100	300
13	1,5	0,2	0,02	RE30	30	1200	500
14	0,4	0,2	0,01	RE30	20	1000	200
15	0,8	0,2	0,015	RE30	25	1000	400
16	1	0,1	0,005	RE30	20	1100	300
17	1,5	0,1	0,02	RE30	25	1200	500
18	0,5	0,2	0,01	RE30	20	1000	200
19	1,5	0,2	0,01	RE30	40	1000	200
20	1,8	0,1	0,015	RE30	45	1000	200

Лабораторная работа № 2. Программная реализация следящей системы автоматического управления

2.1 Цель и задачи работы

Целью работы является освоение студентами принципов построения и функционирования программного обеспечения для практической реализации следящей системы автоматического управления мехатронного электропривода.

2.2 Задание на лабораторную работу

1. Составить алгоритм программы для цифровой системы управления, реализующий управляемое перемещение звена по требуемому закону.
2. Провести моделирование работы П, ПИ, ПИД регуляторов для требуемых траекторий.
3. Варьируя параметрами системы управления настроить систему управления с приемлемым качеством регулирования.
4. Сделать выводы на основе полученных результатов
5. (дополнительно) на основе составленных алгоритмов, разработать программу на языке высокого уровня.

2.3 Краткая теория

Рассмотренный в курсе ТАУ ПИД-регулятор и его модификации являются теоретическими идеализациями реальных регуляторов, поэтому для их практического воплощения необходимо учесть особенности, порождаемые реальными условиями применения и технической реализации.

К таким особенностям относятся:

- конечный динамический диапазон изменений физических переменных в системе (например, ограниченная мощность нагревателя, ограниченная пропускная способность клапана);

$$u < 0$$

- ограниченная точность измерений, что требует специальных мер для выполнения операций дифференцирования с приемлемой погрешностью;
- наличие практически во всех системах типовых нелинейностей: насыщение (ограничение динамического диапазона изменения переменных), ограничение скорости нарастания, гистерезис и люфт;
- технологический разброс и случайные вариации параметров регулятора и объекта;
- дискретная реализация регулятора;
- необходимость плавного (безударного) переключения режимов регулирования.

Погрешность дифференцирования и шум

Проблема численного дифференцирования является достаточно старой и общей как в цифровых, так и в аналоговых регуляторах. Суть ее заключается в том, что производная вычисляется обычно как разность двух близких по величине значений функции, поэтому относительная погрешность производной всегда оказывается больше, чем относительная погрешность численного представления дифференцируемой функции.

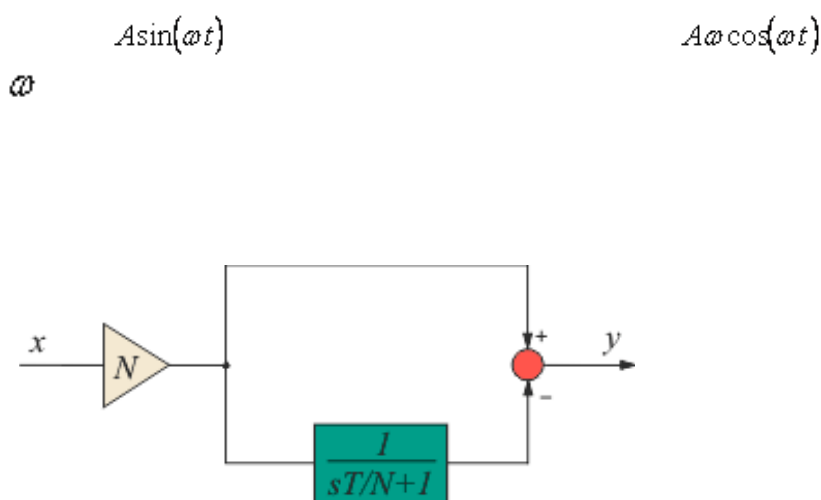


Рис. 2.1 Структурная реализация дифференциального члена ПИД-регулятора

Если помехи, усиленные дифференциатором, лежат за границей рабочих частот ПИД-регулятора, то их можно ослабить с

помощью фильтра верхних частот. Структурная реализация дифференциатора с фильтром показана на рис. 2.1.

$$y = Mx \left(1 - \frac{1}{sT/N + 1} \right) = \left(\frac{sT}{sT/N + 1} \right) x, \quad D(s)$$

$$D(s) = (sT) \left(\frac{1}{sT/N + 1} \right),$$

где коэффициент N задает граничную частоту фильтра и обычно выбирается равным 2...20.

$$F(s) = \frac{1}{1 + sT_F + s^2 T_F^2 / 2}.$$

Постоянную времени фильтра обычно выбирают равной $T_F = T_i / N$, где $N = 2...20$. Граничную частоту фильтра желательно не выбирать ниже частоты $1/T_i$, т.к. это усложняет расчет параметров регулятора и запаса устойчивости.

и

Поскольку объект управления обычно является низкочастотным фильтром, шумы измерений редко проникают по контуру регулирования на выход системы. Однако они увеличивают погрешность измерений $y(t)$ и снижают точность регулирования.

В ПИД регуляторах различают шум с низкочастотным спектром, вызванный внешними воздействиями на объект управления, и высокочастотный шум, связанный с электромагнитными наводками, помехами по шинам питания и земли, с дискретизацией измеряемого сигнала и другими причинами. Низкочастотный шум моделируют как внешние возмущения ($d(s)$), высокочастотный - как шумы измерений ($n(s)$).

Интегральное насыщение

Наиболее типовым проявлением режима ограничения является так называемое "интегральное насыщение", которое возникает в процессе выхода системы на режим в регуляторах с ненулевой постоянной интегрирования $T_i \neq 0$.

рис. 2.2-2.3).

На рис. 2.2 Показана реакция выходной переменной $y(t)$ на скачок входного воздействия $r(t)$ для ПИ-регулятора при условии ограничения мощности на входе объекта и без ограничения. Объект управления — второго порядка, $T_1 = 0,1с$, $T_2 = 0,05с$, $L = 0,02с$.

Параметры регулятора: $K = 2$, $T_i = 0,06с$, $T_d = 0$.

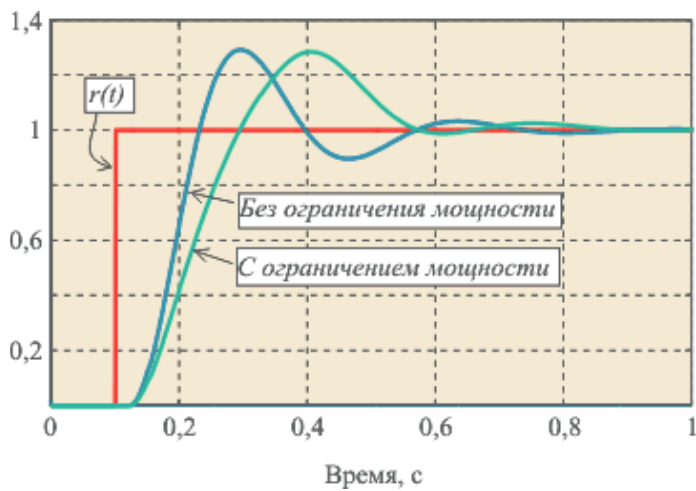


Рис. 2.2 График переходного процесса

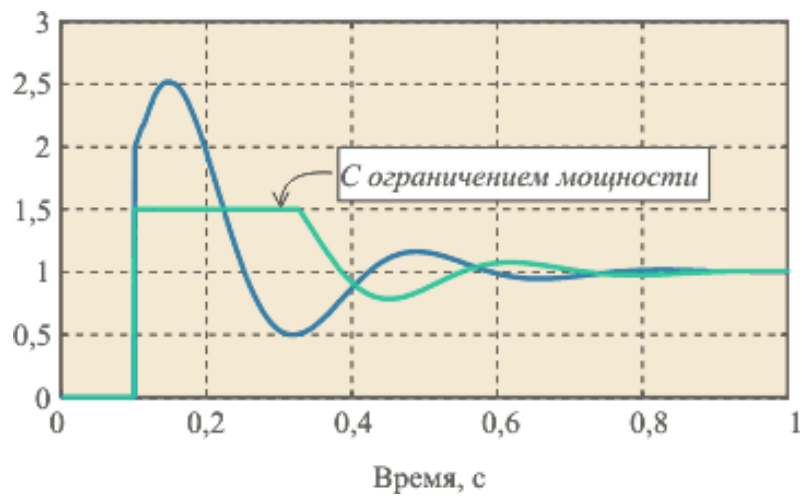


Рис. 2.3 График сигналов на входе объекта управления

На последнем рис. 2.3 показан сигнал на входе объекта $u(t)$ при условии ограничения мощности и без. Объект — второго порядка, $T_2 = 0,05\text{с}$, $L = 0,02\text{с}$. Параметры регулятора: $K = 2$, $T_i = 0,06\text{с}$, $T_d = 0$.

Аналогичный эффект возникает вследствие ограничения пропорционального и интегрального члена ПИД-регулятора (рис. 2.4-2.5).

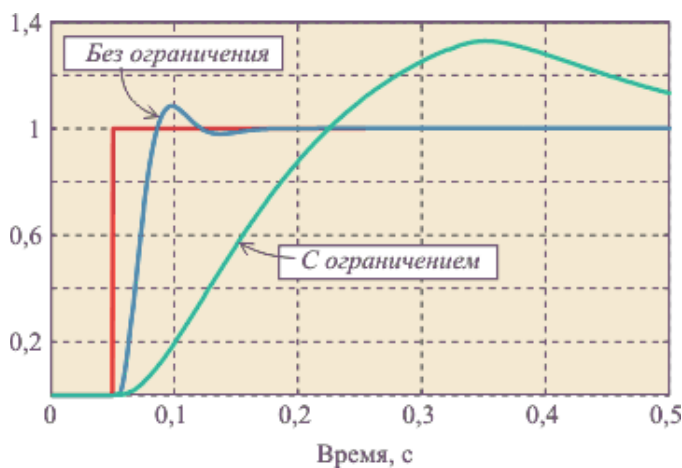


Рис.2.4 График переходного процесса

На рис. 2.4 показана реакция выходной переменной $y(t)$ на скачок входного воздействия $r(t)$ для ПИД-регулятора при условии ограничения мощности на входе объекта $u(t)$ и без ограничения. Объект - второго порядка, $T_1 = 0,1с$, $T_2 = 0,05с$, $L = 0,02с$. Параметры регулятора: $K = 10$, $T_i = 0,014с$, $T_d = 0,3с$

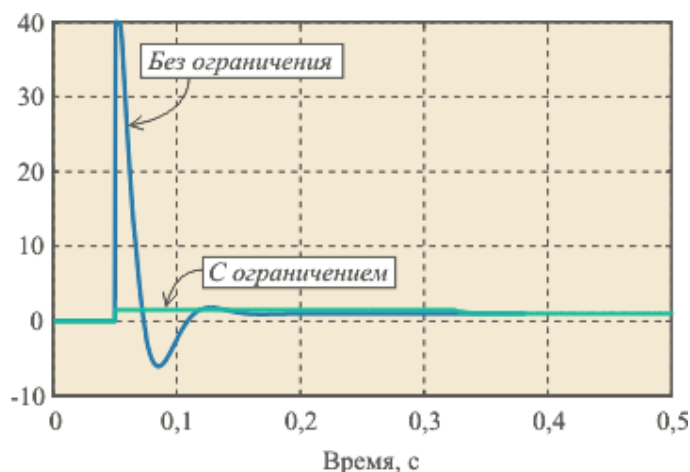


Рис. 2.5 График сигналов на входе объекта управления

На рис. 2.5 показаны сигналы на входе объекта $u(t)$ в контуре с ПИД-регулятором при условии ограничения мощности и без. Объект — второго порядка, $T_1 = 0,1с$, $T_2 = 0,05с$, $L = 0,02с$. Параметры регулятора: $K = 10$, $T_i = 0,014с$, $T_d = 0,3с$

Суть проблемы интегрального насыщения состоит в том, что если сигнал на входе объекта управления $u(t)$ вошел в зону

насыщения (ограничения), а сигнал рассогласования $r(t) - y(t) \neq 0$ не равен нулю, интегратор продолжает интегрировать т. е. сигнал на его выходе растет, но этот сигнал не участвует в процессе регулирования и не воздействует на объект вследствие эффекта насыщения. Система управления в этом случае становится эквивалентной разомкнутой системе, сигнал на входе которой равен уровню насыщения управляющего сигнала $u(t)$.

Для тепловых систем ограничением снизу обычно является нулевая мощность нагрева, в то время как ПИД-регулятор требует подачи на объект "отрицательной мощности нагрева", т.е. требует охлаждения объекта.

Эффект интегрального насыщения известен давно. В аналоговых регуляторах его устранение было достаточно проблематичным, поскольку в них проблема не могла быть решена алгоритмически, а только аппаратными средствами. С появлением микропроцессоров проблему удастся решить гораздо эффективнее. Методы устранения интегрального насыщения обычно являются предметом изобретений, относятся к коммерческой тайне фирм-производителей и защищаются патентами.

Подробно с методами борьбы с различными проблемами реализации цифровых регуляторов можно ознакомиться в литературе, указанной в конце методического руководства.

ПИД-регулятор при отработке траектории

В предыдущей работе рассматривалась постоянная внутри цикла величина задающего воздействия $\varphi_{зад}$, таким образом в начальный момент времени рассогласование имело большое значение. В случае если задающая величина является функцией времени, и в начальный момент равна реальному положению, то ошибка будет иметь меньшие значения.

Для задания требуемой траектории можно использовать как линейную функцию задающего воздействия, так и функцию с плавным разгоном/торможением.

Уравнение для S-образной траектории может иметь вид:

$$T(t) = \frac{3H \cdot t^2}{\tau} - \frac{2H \cdot t^3}{\tau}, \quad \text{где } T(t) \text{ - уравнение траектории, } H \text{ -}$$

значение полного перемещения, τ - время полного перемещения.

Обратим внимание, что при программной реализации, необходимо

учитывать текущее положение объекта управления, а также время t - в данной формуле, начинается от 0 и заканчивается τ . Для этого удобно создать вложенный цикл, рассчитывающий требуемое положение объекта на траектории в конкретный момент времени.

2.4 Ход работы

Для моделирования следящей системы автоматического управления при отработке траектории будем использовать математическую модель привода, используемую нами в первой лабораторно работе. Напомним схему мехатронного привода (рис. 2.6).

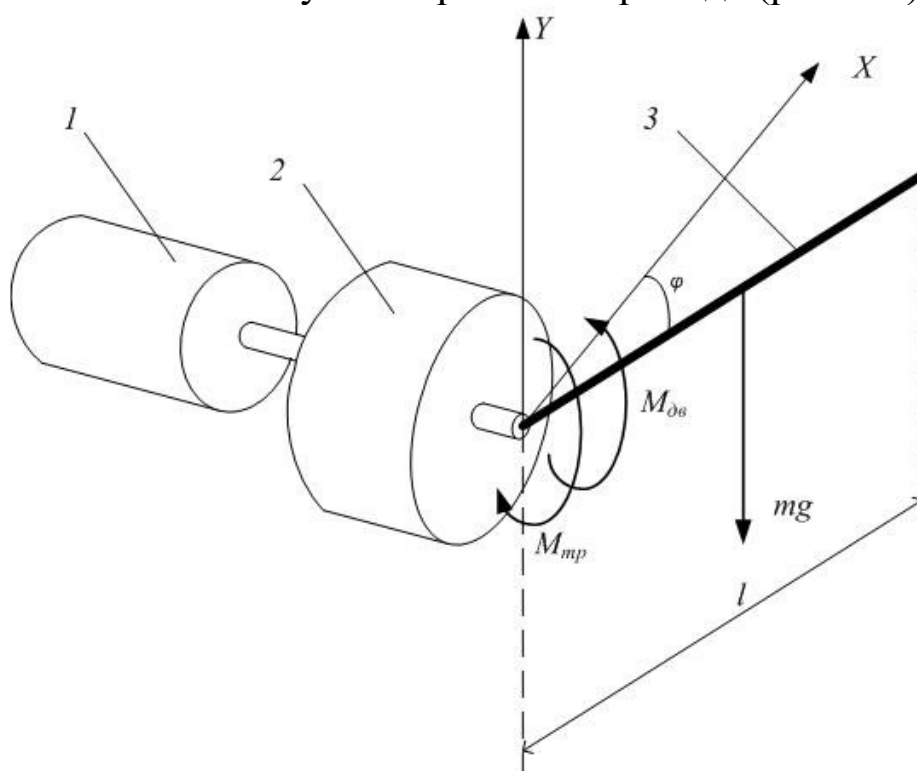


Рис. 2.6 Расчетная схема привода

Мехатронный привод состоит из двигателя постоянного тока 1, редуктора 2, и стержня 3, закрепленного на выходном валу редуктора. На валу редуктора установлен также датчик угла поворота, определяющий положение вала (на рис. не показан). Уравнения также будем использовать из первой работы.

Численное моделирование также проводится в системе MathCAD с использованием метода Верле. Листинг программы моделирования покажем в рамках примера выполнения работы.

2.5 Пример выполнения

Согласно вариантам задания определяем из таблицы параметры мехатронного привода, массу и длину звена, и т.д. Приведем пример листинга программы моделирования для различных методик реализации траектории движения исполнительного механизма.

Покажем листинг программы моделирования линейной функции задающего воздействия.

```

A(Time) := | dt ← 0.0001
            | Count ←  $\frac{\text{Time}}{\text{dt}}$ 
            | m ← 0.5
            | l ← 0.2
            | L ← 0.00005
            | R ← 0.5
            | g ← 9.807
            |  $J \leftarrow \frac{(\text{m}\cdot\text{l}^2)}{3}$ 
            | red ← 20
            | Cm ← 0.03
            | Ce ← 0.03
            | MtrPr ← 0.01
            |  $\mu \leftarrow 0.002$ 
            | kp ← 0.5
            | ki ← 0
            | kd ← 0
            | fs ← 1000
            | fc ← 1000
            | tmin ← 5000
            | tmax ← 10000
            | k ← 0.009

```

Рис. 2.7 Листинг программы (часть 1)

```

for t ∈ 0..Count
    φzad ←  $\begin{cases} 0 & \text{if } t < t_{\min} \\ \text{otherwise} \\ k \cdot (t - t_{\min}) & \text{if } t_{\min} \leq t \leq t_{\max} \\ 45 & \text{otherwise} \end{cases}$ 
    sφ ←  $\text{round}\left(\frac{\varphi \cdot 360}{2\pi}, 0\right)$  if  $\text{mod}\left(t, \frac{1}{dt \cdot fs}\right) = 0$ 
    if  $\text{mod}\left(t, \frac{1}{dt \cdot fc}\right) = 0$ 
        sdφ ←  $\frac{[(\varphi_{\text{zad}} - s_{\varphi}) - (\text{prevs}\varphi_{\text{zad}} - \text{prevs}\varphi)]}{dt \cdot fc}$ 
        iφ ←  $[(\varphi_{\text{zad}} - s_{\varphi}) \cdot dt \cdot fc + i_{\varphi}]$ 
        prevsφ ← sφ
        prevsφzad ← φzad
        cU ← kp · (φzad - sφ) + kd sdφ + ki · iφ
        U ←  $\begin{cases} cU & \text{if } |cU| < 9 \\ 9 \cdot \text{sign}(cU) & \text{otherwise} \end{cases}$ 
        di ←  $\frac{U - R \cdot i - C_e \cdot d\varphi \cdot \text{red}}{L}$ 
        i ← i + di · dt
        i ←  $\begin{cases} i & \text{if } |i| < 3 \\ 3 \cdot \text{sign}(i) & \text{otherwise} \end{cases}$ 
        Md ← Cm · i · red
        SumM ← dd · φ · J - Md + m · g · cos(φ) ·  $\frac{1}{\gamma}$  + μ · dφ

```

Рис. 2.8 Листинг программы (часть 2)

```

if dφ = 0
    Mtr ← MtrPr·sign(SumM) if |SumM| > MtrPr
    Mtr ← SumM otherwise
Mtr ← MtrPr·sign(dφ) otherwise

Md = m·g·cos(φ)· $\frac{1}{2}$  - μ·dφ - Mtr
ddφ ←  $\frac{Md - m \cdot g \cdot \cos(\varphi) \cdot \frac{1}{2} - \mu \cdot d\varphi - Mtr}{J}$ 
dφ ← dφ + ddφ·dt
φ ← φ + dφ·dt +  $\frac{dd\varphi \cdot dt^2}{2}$ 
Bt,0 ← t·dt
Bt,1 ← φ
Bt,2 ← sφ
Bt,3 ← iφ
Bt,4 ← sdφ
Bt,5 ←  $\frac{d\varphi \cdot 45 \cdot red}{2 \cdot \pi}$ 
Bt,6 ← cU
Bt,7 ← φzad
t ← t + 1

```

В

Рис. 2.9 Листинг программы (часть 3)

Результаты моделирования можем отобразить в виде таблицы или временных зависимостей.

		0	1	2	3		4	5
	0	0	-1.126·10 ⁻⁶	0	0	0	0	-1.075
E := A(2)	1	1·10 ⁻⁴	-2.945·10 ⁻⁶	0	0	0	0	-2.095
	2	2·10 ⁻⁴	-5.465·10 ⁻⁶	0	0	0	0	-3.105
	3	3·10 ⁻⁴	-8.678·10 ⁻⁶	0	0	0	0	-4.103
t := E ^{<0>}	4	4·10 ⁻⁴	-1.258·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-5.091
	5	5·10 ⁻⁴	-1.715·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-6.068
φ := $\frac{E^{<1>} \cdot 360}{2 \cdot 3.14}$	6	6·10 ⁻⁴	-2.24·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-7.034
E =	7	7·10 ⁻⁴	-2.831·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-7.99
	8	8·10 ⁻⁴	-3.488·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-8.936
sφ := E ^{<2>}	9	9·10 ⁻⁴	-4.21·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-9.871
ifi := E ^{<3>}	10	1·10 ⁻³	-4.996·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-10.796
difi := E ^{<4>}	11	1.1·10 ⁻³	-5.846·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-11.711
	12	1.2·10 ⁻³	-6.758·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-12.617
NN := E ^{<5>}	13	1.3·10 ⁻³	-7.733·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-13.512
er := E ^{<6>}	14	1.4·10 ⁻³	-8.769·10 ⁻⁵	0	0	0	0	-14.398
	15	1.5·10 ⁻³	-9.866·10 ⁻⁵	0	0	0	0	...

Рис. 2.10 Вывод результатов моделирования

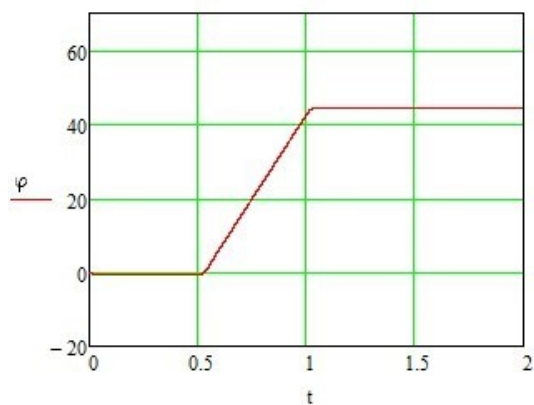


Рис. 2.11 График фактического перемещения звена

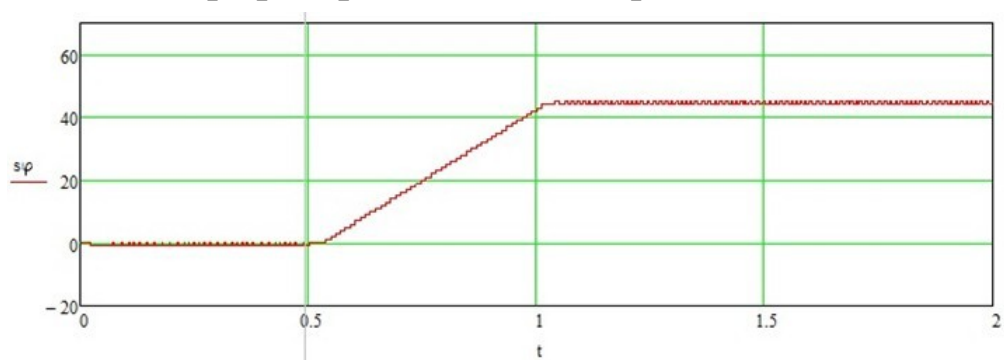


Рис. 2.12 Перемещение, полученное с датчика

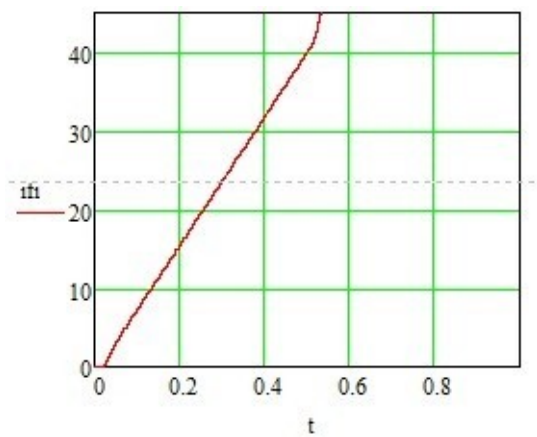


Рис. 2.13 График интегральной ошибки

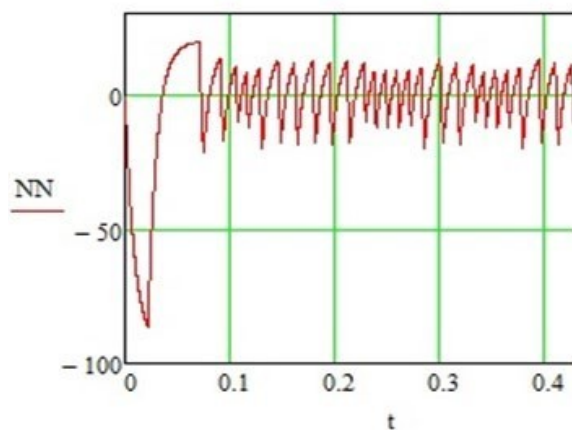


Рис. 2.14 График частоты вращения вала двигателя

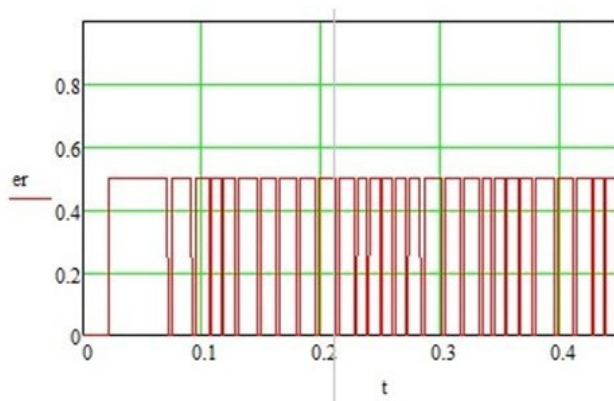


Рис. 2.15 График изменения ошибки

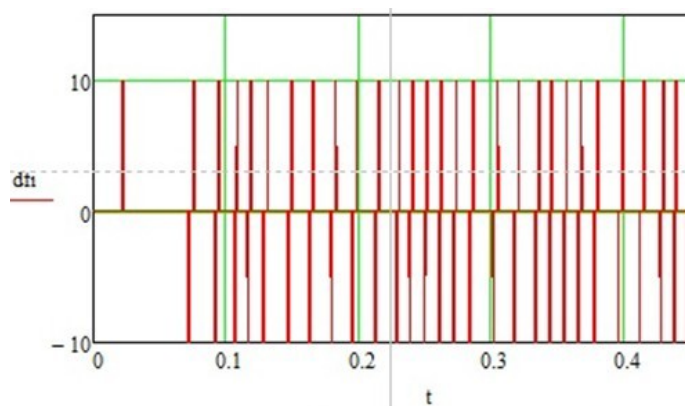


Рис. 2.16 График производной ошибки

Тригонометрическая функция задающего воздействия

```

for t ∈ 0..Count
    | φзад ← | 0 if t < tmin
               | otherwise
               | -25·cos[w·(t - tmin)] + 25 if tmin ≤ t ≤ tmax
               | 45 otherwise

```

Рис. 2.17. Листинг программы (задание тригонометрической функции)

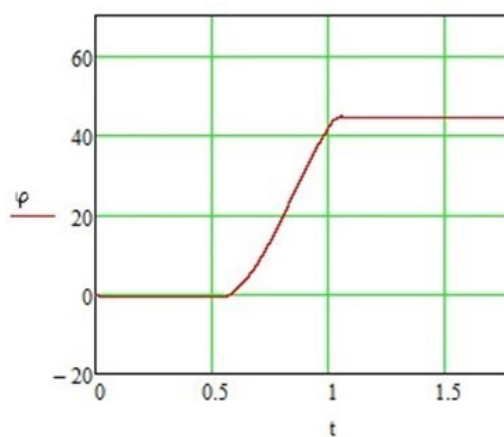


Рис. 2.18. График перемещения звена

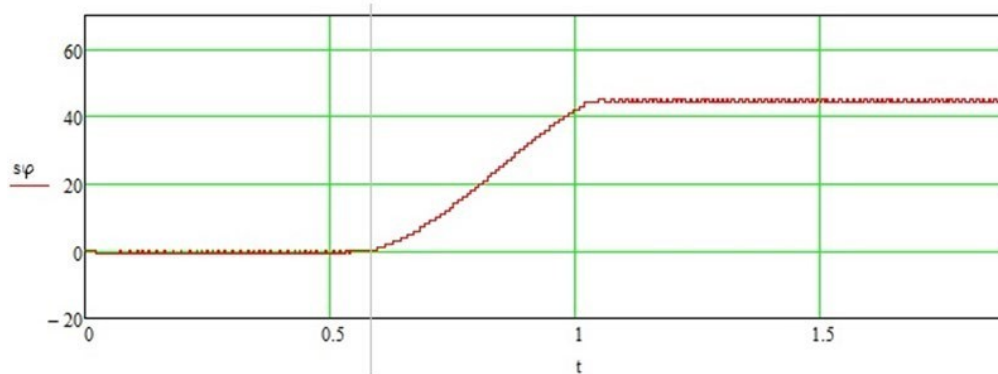


Рис. 2.19. График перемещения звена

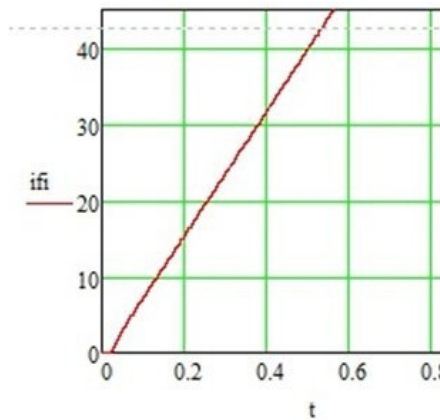


Рис. 2.20. График интегральной ошибки

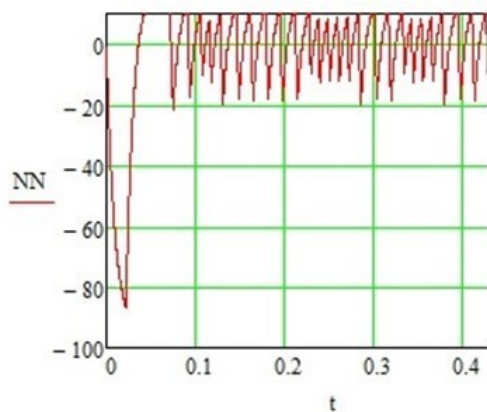
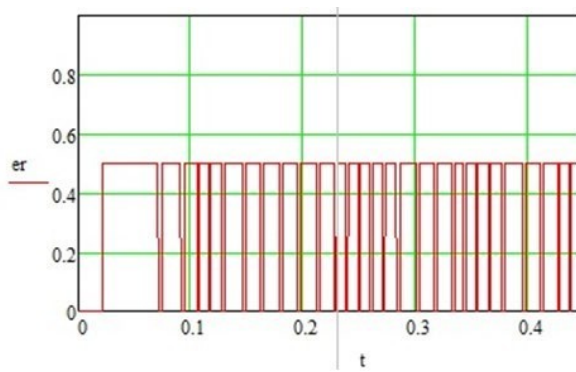


Рис. 2.21. График частоты вращения вала двигателя



Степенная функция задающего воздействия

```

for t ∈ 0..Count
    φзад ← 0 if t < tmin
    otherwise
        
$$\frac{3H(t - t_{\min})^2}{(t_{\max} - t_{\min})^2} - \frac{2H(t - t_{\min})^3}{(t_{\max} - t_{\min})^3} \text{ if } t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$$

        45 otherwise

```

Рис. 2.23 Листинг программы (задание степенной функции)

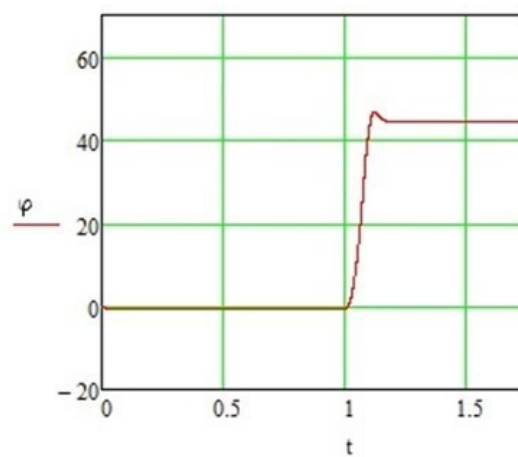


Рис. 2.24 График перемещения звена

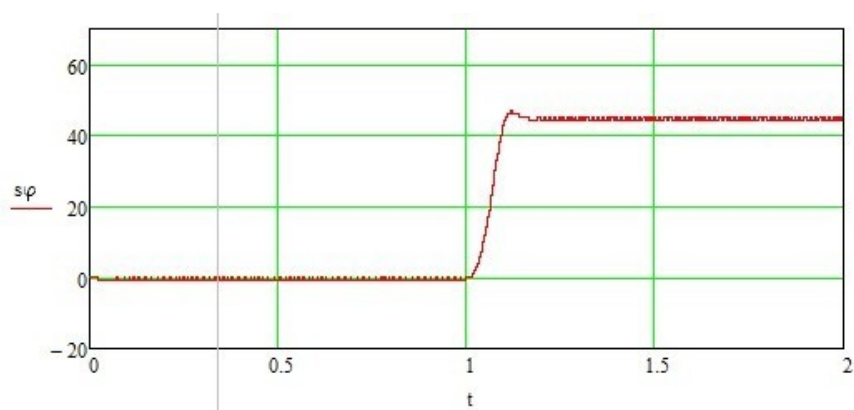


Рис. 2.25 График перемещения звена, полученные с датчика

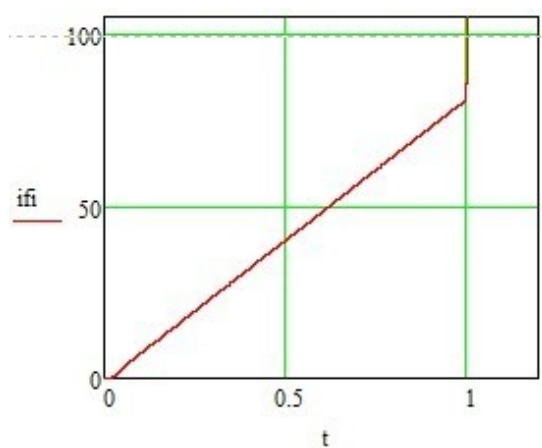


Рис. 2.26 График интегральной ошибки

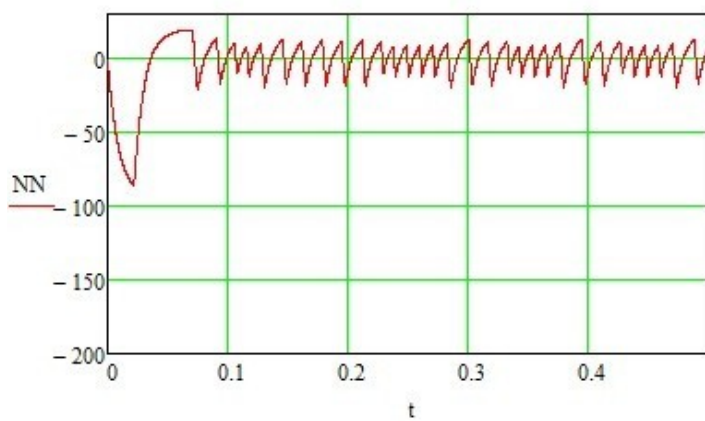


Рис. 2.27 График частоты вращения вала двигателя

2.6 Исходные данные для выполнения работы

№ Варианта	Масса звена, кг	Длина звена, м	Момент силы трения	Модель двигателя	Перед. отнош. редуктора	Частота системы измерения	Частота САУ
0 (пример)	0,5	0,2	0,01	RE40	20	1000	200
1	0,8	0,1	0,015	RE40	20	1000	200
2	1	0,1	0,005	RE40	20	1100	300
3	1,5	0,2	0,02	RE40	30	1200	500
4	0,4	0,2	0,01	RE40	20	1000	200
5	0,8	0,2	0,015	RE40	25	1000	400
6	1	0,1	0,005	RE40	20	1100	300
7	1,5	0,1	0,02	RE40	25	1200	500
9	0,5	0,2	0,01	RE40	20	1000	200
10	0,5	0,2	0,04	RE40	20	1000	200
11	0,8	0,1	0,015	RE30	20	1000	200
12	1	0,1	0,005	RE30	20	1100	300
13	1,5	0,2	0,02	RE30	30	1200	500
14	0,4	0,2	0,01	RE30	20	1000	200
15	0,8	0,2	0,015	RE30	25	1000	400
16	1	0,1	0,005	RE30	20	1100	300
17	1,5	0,1	0,02	RE30	25	1200	500
18	0,5	0,2	0,01	RE30	20	1000	200
19	1,5	0,2	0,01	RE30	40	1000	200
20	1,8	0,1	0,015	RE30	45	1000	200