

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Дербенёв Александр Александрович

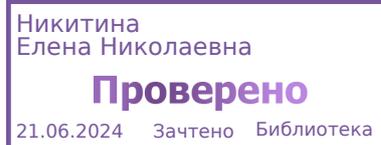
**Синтез системы электропривода
манипуляционного механизма на принципах
оптимальности**

Направление подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2024



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

Кандидат технических наук,
доцент кафедры Горькавый Александр
Иванович

Рецензент

Кандидат технических наук,
главный инженер, ООО «Одиссей-ДВ»
Бакаев Виктор Викторович

Защита состоится «20» июня 2024 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Автореферат разослан 13 июня 2024 г.

Секретарь ГЭК

А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Одной из современных тенденций является роботизация производства. Роботизация производства дает неоспоримое преимущество в повышении производительности производства, увеличении количества выпускаемой продукции в единицу времени, улучшении ее качества и сокращении себестоимости. Современные промышленные роботы могут гибко и в короткое время переходить с одной технологической операции на другую путем замены управляющей программы.

Огромное количество производств по всему миру пришли к тому, что без применения промышленных роботов невозможно было достичь тех результатов, которые были получены после внедрения подобных систем.

На сегодняшний день возникает реальная необходимость в цифровизации промышленных предприятий, так как проблема обработки огромных массивов данных, возникающая на крупных производствах, может быть решена только за счет использования машин. Современные технологии дают возможность машинам не только выполнять автоматические действия, но и взаимодействовать между собой в разных сферах работы предприятия.

Таким образом, речь идет уже не только об автоматизации отдельных этапов производства, но и о внедрении цифровых технологий в сквозной процесс, включающий не только производственные этапы, но и сопутствующую финансовую и организационную деятельность.

Целью данной работы является исследование траекторных перемещений рабочего органа промышленного робота с модальными и оптимальными регуляторами.

Основные задачи магистерской диссертации заключаются в:

- сравнении модального и оптимального управлений по траекторной точности и энергетическим затратам;
- решение технологических операций, выполняемые промышленным роботом.

Научную новизну в данной работе можно определить как расширение

возможностей типовых процедур управления, реализуемых при помощи имитационного стенда, а также определение рекомендаций по настройке мехатронных модулей, построенных по оптимальному принципу, в области систем управления в электроприводах. Практическая значимость подтверждается участием в научно-практических конференциях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность.

В первой главе рассмотрены основные виды роботов; виды работ, выполняемые промышленным роботом, с траекторией перемещения рабочего фланца; структуры и описание электроприводов.

Во второй главе приведен принципы модального и оптимального управления, а также были рассчитаны по этим принципам электропривода.

В третьей главе создается имитационный стенд (рисунки 2 и 3), представляющий из себя модель движения двухкоординатной манипуляционной системы (рисунок 1), которая обеспечивает движение исполнительного органа (схвата) по заданной пространственной траектории либо в заданное положение путём управления движением отдельных звеньев манипулятора. Каждое звено оснащено электроприводом и датчиками для контроля перемещений. Задание на движение звеньев осуществляется в декартовой системе координат от устройства управления (УУ).

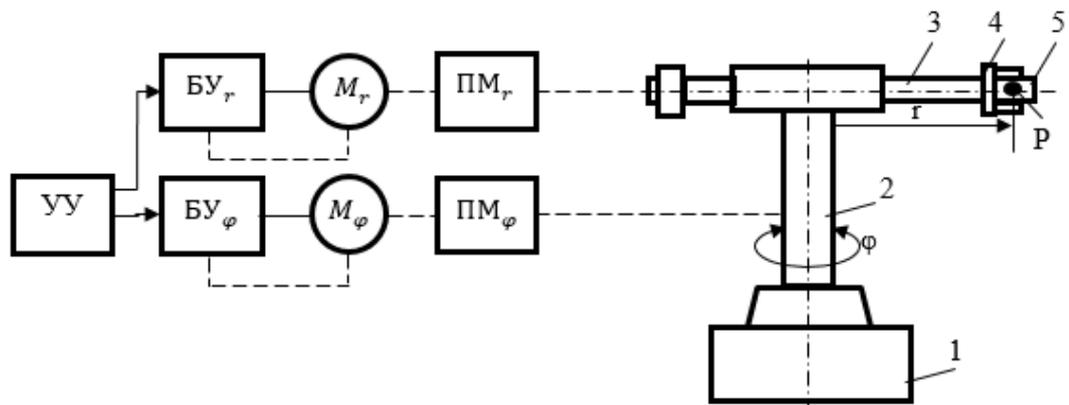


Рисунок 1 – Модель движения двухкоординатной манипуляционной системы



Рисунок 2 – Структурная модель манипуляционной системы



Рисунок 3 – Модель манипуляционной системы в среде Simulink

Пояснения к рисунку 2:

- В блоке «Сигнал задания» задаётся перемещение в декартовой системе координат функцией от времени. Пример заданного перемещения изображен на рисунке

- В блоке «ДВП» происходит перевод декартовых координат в полярные. Преобразование декартовых координат в полярные происходят по формулам:

$$x = \rho \cdot \cos \varphi;$$

и

$$y = \rho \cdot \sin \varphi.$$

где $\sin \varphi = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}};$

$$\cos \varphi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

- В блоке «Мехатронный модуль выдвижения» находится мехатронный модуль выдвижения руки промышленного робота.

- В блоке «Мехатронный модуль поворота» находится мехатронный модуль поворота руки промышленного робота.

- В блоке «ПВД» происходит перевод полярных координат в декартовые. Преобразование декартовых координат в полярные происходит по формулам:

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2};$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{y}{x} \right).$$

Исследование точности траекторного перемещения в форме квадрата со временем обхода траектории за 5 секунд продемонстрировано на рисунках 4-7. Как видно из рисунков 4-5 точность обхода углов электроприводами с модальными и оптимальными регуляторами одинакова, а токи в пиковых значениях в системах с оптимальным регулятором значительно меньше (рисунки 6-7), что подтверждает меньшие затраты энергии.

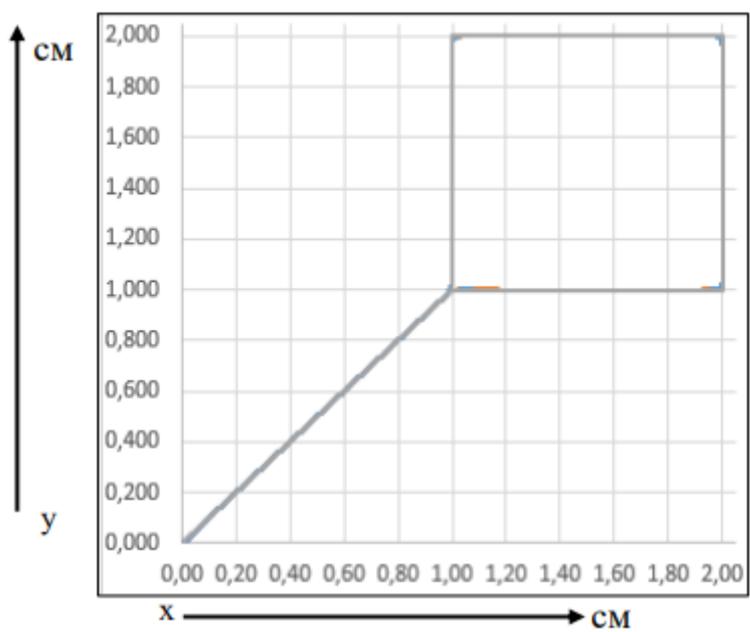
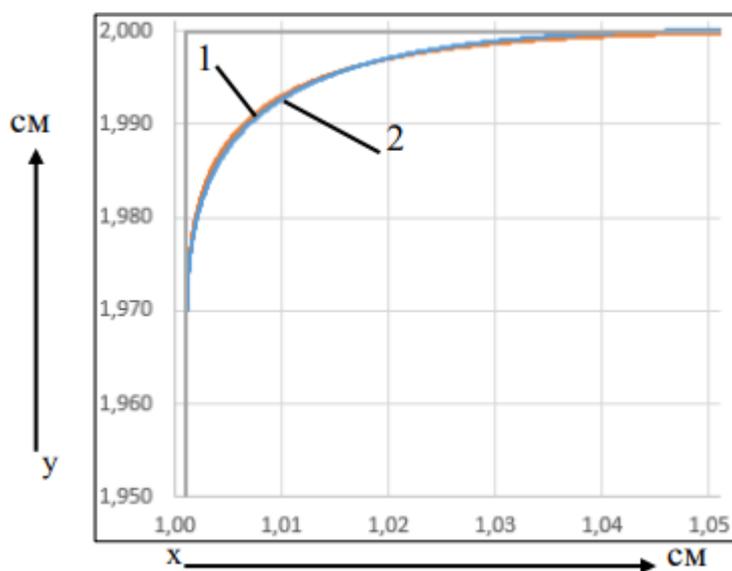


Рисунок 4 – Траекторное перемещение



1 – система с оптимальными регуляторами, 2 – система с модальными регуляторами

Рисунок 5 – Обход углов траекторного перемещения

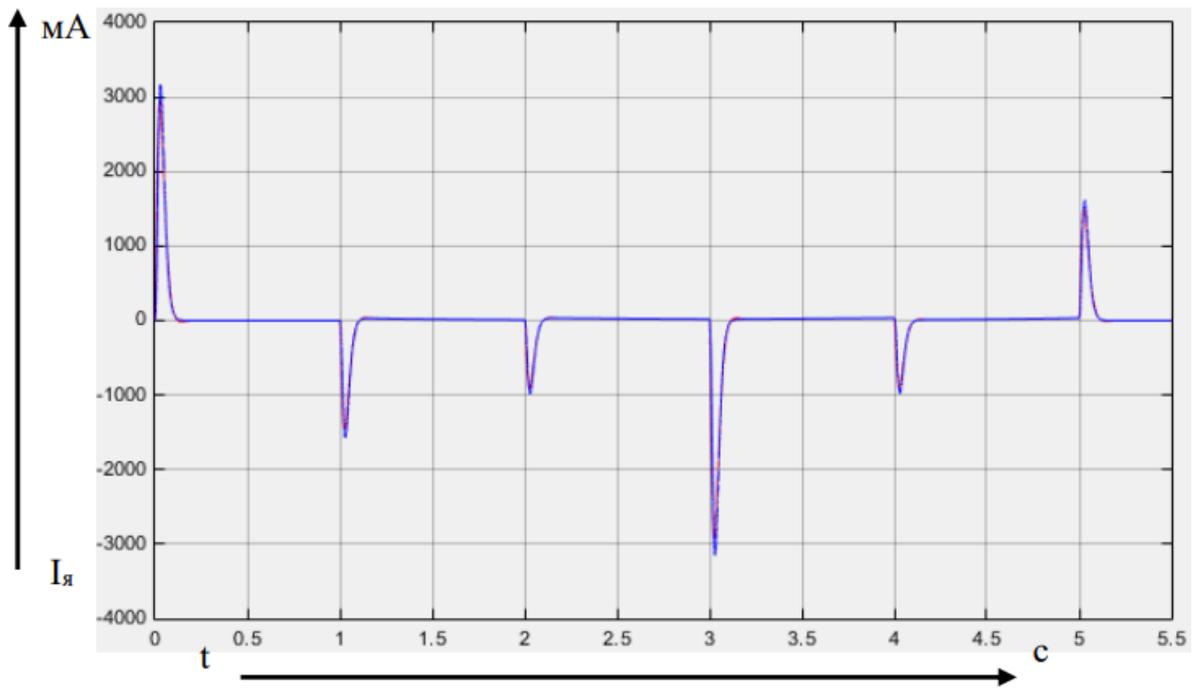
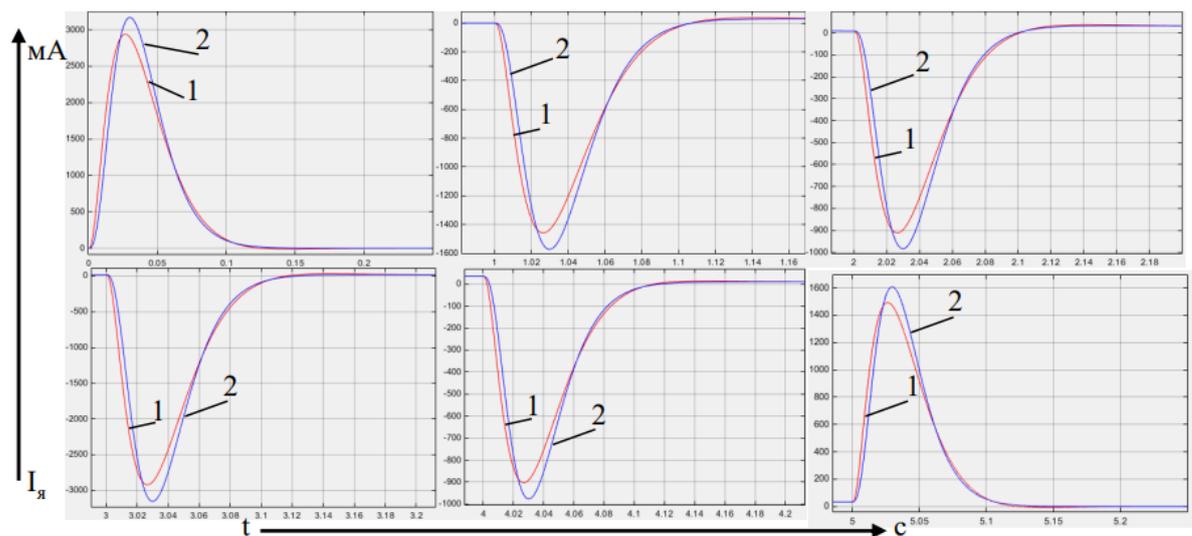


Рисунок 6 – Графики изменения токов при обходе траектории



1 – система с оптимальными регуляторами, 2 – система с модальными регуляторами

Рисунок 7 – Пики токов при обходе траектории

Расчёты и исследования показали, что полученные даже методом подбора компромиссы между точностью траекторных перемещение и энергоэффективностью при оптимальном подходе к синтезу системы позволяют снизить энергетические затраты при небольшой потере в точности.

В четвертой главе продемонстрировано решение задачи фрезерования неоднородных материалов путём позиционно-силового управления электропривода.

Для формирования и анализа траекторных перемещений был разработан моделирующий стенд систем управления мехатронными модулями в составе двухкоординатной манипуляционной системы (рисунок 8).

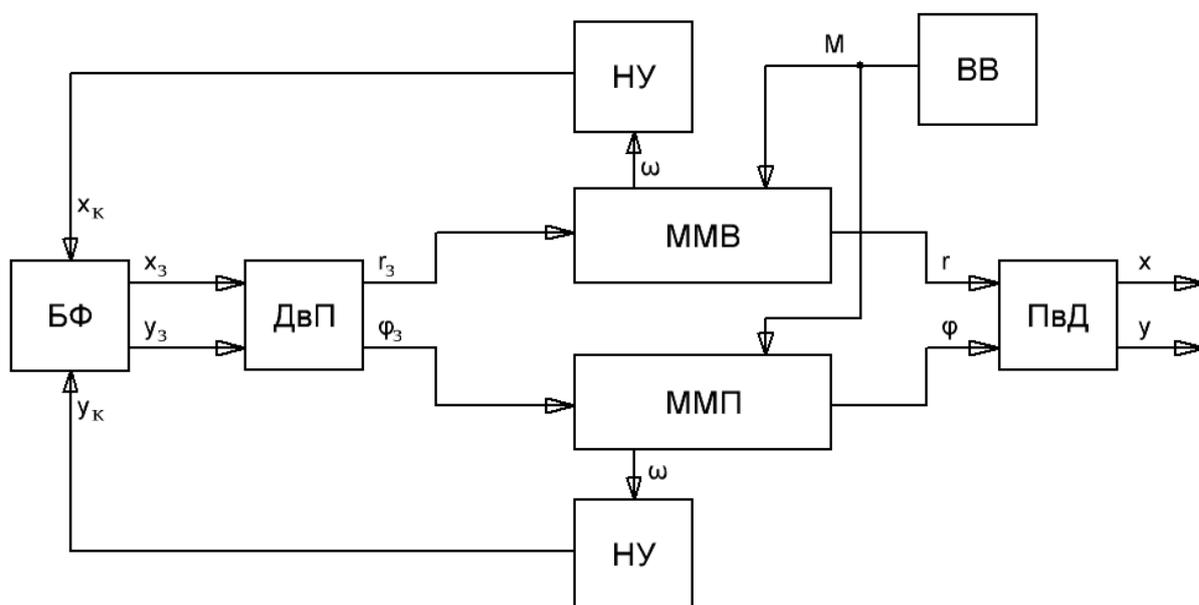


Рисунок 8 – Структура моделирующего стенда

В блоке БФ формируется заданная траектория перемещения (в декартовой системе координат). Блок ДВП преобразует декартовые координаты в полярные, и сигналы задания радиуса и угла (r_3 , φ_3) подаются на мехатронный модуль выдвижения (ММВ) и мехатронный модуль поворота (ММП).

Блок ПВД преобразует полярные координаты в декартовые, что позволяет сравнивать заданную траекторию с траекторией выполненной манипуляционной системой.

В момент начала фрезерования на ММВ и ММП подаётся внешнее воздействие (ВВ), моделирующее начальную твёрдость материала, которая

изменяется в процессе фрезерования. Происходит это из-за неравномерной плотности материала.

ММВ и ММП являются электроприводами постоянного тока с четырьмя переменными состояниями ($n = 4$): перемещение (r, φ), скорость (V, ω), ток (I_a) и ЭДС тиристорного преобразователя (Етп).

Наблюдающие устройства (НУ), оценивая моменты и усилия, связанные с подачей шпинделя фрезы и твёрдостью материала, выполняют роль силомоментных датчиков, благодаря которым можно корректировать программу подачи в блоке БФ при вхождении фрезы в материал с другой плотностью.

Варианты построения таких систем зависят как от принципов построения системы электропривода, так и от способов получения информации о силовых воздействиях, в качестве которых чаще всего выступают силомоментные датчики [10].

В начале идёт перемещение в точку фрезерования. Дальше начинается процесс фрезерования, в процессе которого возникает момент, вызванный жёсткостью материала. При соприкосновении с неоднородностью силомоментный датчик посылает информацию об изменении момента в БФ для корректировки скорости инструмента (замедлении). При возвращении на предыдущую неоднородность, силомоментный датчик подаётся сигнал об изменении в БФ для корректировки скорости инструмента (ускорение).

Процесс фрезерования технологическим роботом показана на рисунке 9.

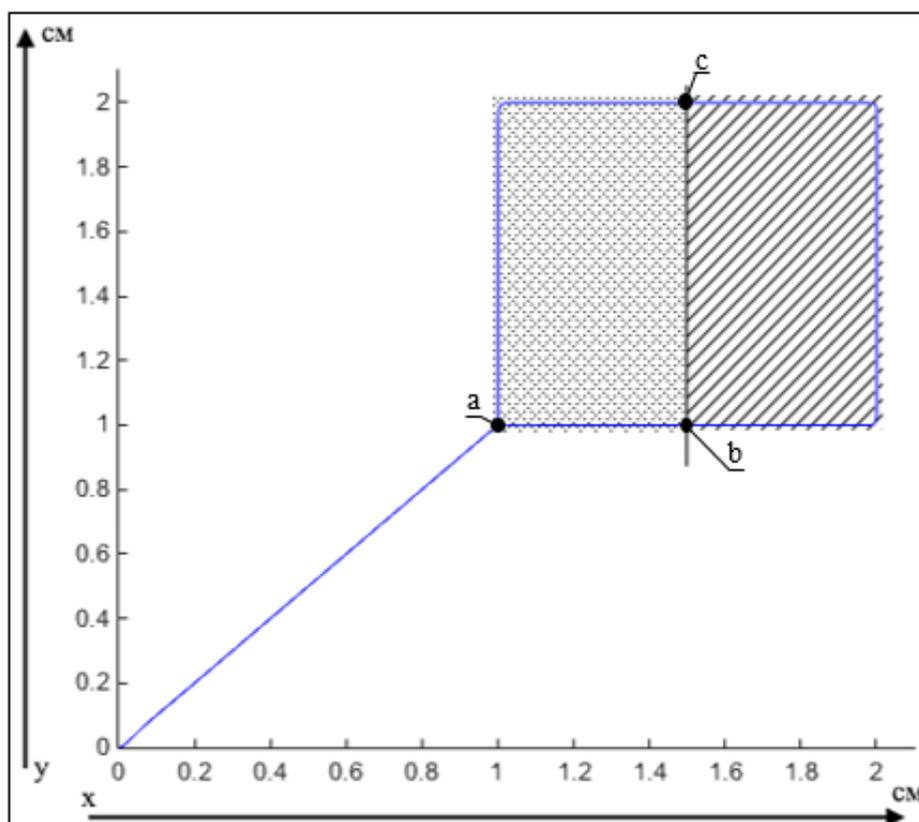


Рисунок 9 – Фрезерование роботом неоднородного материала

В точке «а» происходит начало процесса фрезерования. В точке «b» твёрдость материала увеличивается и подача уменьшается. В точке «с» твёрдость материала уменьшается и подача увеличивается.

Скорость мехатронного модуля и внешний момент, воздействующий на систему, показаны на рисунках 10 и 11.

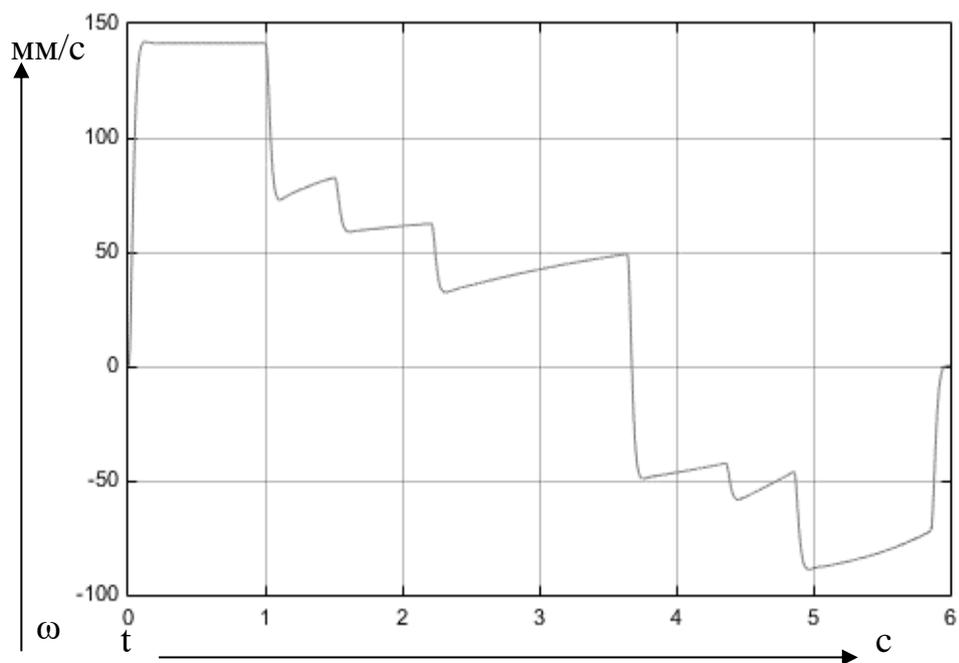


Рисунок 10 – Скорость выдвижения мехатронного модуля

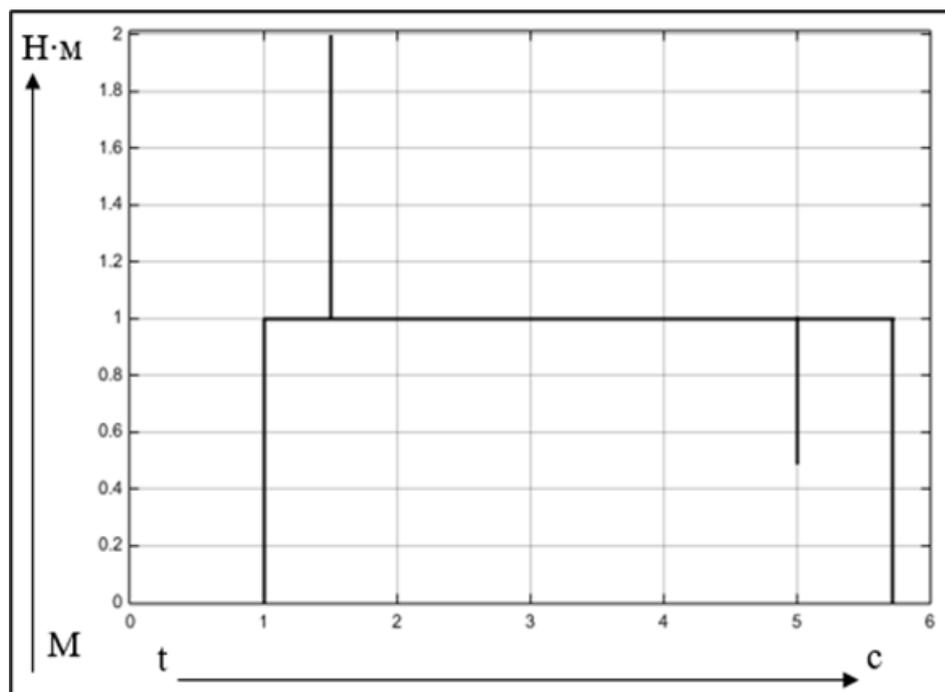


Рисунок 11 – Внешний момент, воздействующий на систему

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Был создан цифровой моделирующий стенд, представляющий из себя двухкоординатную манипуляционную систему, для решения технических задач.

2 Произведено сравнения модального и оптимального принципа управления по критериям точности и энергоэффективности

3 Была решена задача по фрезерованию неоднородных материалов путём создания системы, построенной на основе позиционно-силового управления.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Дербенёв, А. А. Разработка и исследование оптимальной по траекторной точности манипуляционной системы / А. А. Дербенёв, А. И. Горькавый // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : материалы VI международной науч.-практической конф. молодых ученых Комсомольск-на-Амуре, 5-11 декабря 2022 г. : в 2 ч. / редкол. : С. И. Сухоруков (отв. Ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2023. – Ч. 1. – С. 18-20.

2 Дербенёв, А. А. Оценка эффективности методов настройки регуляторов мехатронных модулей в составе многоканальной системы / А. А. Дербенёв, А. И. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VI Всерос. нац. науч. конф. молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10-14 апреля 2023 г.: в 3 ч. / А. В. Космынин, А. В. Ахметова, Т. Н. Шелковникова – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2023. – Ч. 1. – С. 217-220

3 Дербенёв, А. А. Позиционно-силовое управление мехатронными модулями промышленного робота / А. А. Дербенёв, А. И. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VII Всерос. нац. науч. конф. молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 8-12 апреля 2024 г.: в 3 ч. / А. В. Космынин, А. В. Ахметова, Т. Н. Шелковникова – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2024. – Ч. 1.