

Министерство образования и науки Российской Федерации

УДК 62-83::621.313.3

ГРНТИ 45.41.31 50.43.00 52.13.29

Инв. №

УТВЕРЖДЕНО:
Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева»
От имени Руководителя организации _____ / В.А. Ковалев / М.П.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ОТЧЕТ**

о выполнении 3 этапа Государственного контракта
№ 14.740.11.1105 от 24 мая 2011 г.

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Программа (мероприятие): Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.2 Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук.

Проект: Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии

Руководитель проекта:
_____ /Семыкина Ирина Юрьевна
(подпись)

Кемерово
2012 г.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ
по Государственному контракту 14.740.11.1105 от 24 мая 2011 на выпол-
нение поисковых научно-исследовательских работ
для государственных нужд

Организация-Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Руководитель темы:

доцент кафедры «Электропривод и автоматизация»,
кандидат технических наук,
доцент

подпись, дата

Семькина И. Ю.

Исполнители темы:

аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация»

подпись, дата

Кольцов Р. А.

студент группы ЭА-071

подпись, дата

Киселев А. В.

студент группы ЭАб-111

подпись, дата

Конев А. И.

студент группы ЭАб-111

подпись, дата

Вернер Д. Ю.

Реферат

Отчет 50 с., 5 ч., 15 рис., 2 табл., 18 источн., 1 прил.

Ключевые слова: горные машины, асинхронный электродвигатель, регулируемый электропривод, энергоэффективность.

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по 3 этапу Государственного контракта № 14.740.11.1105 "Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии" (шифр "2011-1.2.2-226-011") от 24 мая 2011 по направлению "Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук в следующих областях:- атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;- водородная энергетика; - новые и возобновляемые источники энергии; - производства топлив и энергии из органического сырья; - создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии; - создание энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных средств" в рамках мероприятия 1.2.2 "Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук.", мероприятия 1.2 "Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук и кандидатов наук" , направления 1 "Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий." федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Цель работы – создание на базе математической модели, комплексно описывающей основные аспекты, влияющие на потери энергии в процессе функционирования электропривода горной машины в динамических режимах, программного средства, позволяющего выполнить вычислительные эксперименты, дающие полное представление о динамических процессах, а также формулировка требований, предъявляемых к силовой и информационной подсистемам экспериментальной установки, позволяющей оценить адекватность математической модели.

При выполнении работ по этапу использовались:

1. Методы подготовки технического задания.
2. Методы математического и компьютерного моделирования.

В качестве инструментария использовались:

1. ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.
2. Компьютерные средства программирования.

Результаты, полученные при выполнении 3 этапа Государственного контракта:

1. Техническое задание, регламентирующее необходимый набор требований, предъявляемых к комплексу средств для проведения вычислительных экспериментов с электроприводом горной машины.

2. Математическая модель, комплексно описывающая основные аспекты, влияющие на потери энергии в процессе функционирования электропривода горной машины в динамических режимах.

3. Программное средство, реализующее полученную математическую модель.

4. Данные компьютерного моделирования, включающие зависимости изменения во времени всех переменных состояния электропривода горной машины в соответствии с разработанной математической моделью.

5. Техническое задание, регламентирующее необходимый набор требований, предъявляемых к силовой и информационной подсистемам экспериментальной установки.

Содержание

Определения	8
Обозначения и сокращения	9
Введение	11
Составление математической модели асинхронного электропривода горных машин в динамических режимах.....	12
1. Подготовка технического задания на средства вычислительных экспериментов	13
1.1. Общие положения	13
1.1.1. Полное наименование системы и ее условное обозначение ..	13
1.1.2. Номер контракта.....	13
1.1.3. Наименования организации-заказчика и организаций-участников работ	13
1.1.4. Перечень документов, на основании которых создается система.....	13
1.1.5. Плановые сроки начала и окончания работы по созданию системы	13
1.1.6. Перечень нормативно-технических документов, методических материалов, использованных при разработке ТЗ	13
1.1.7. Определения, обозначения и сокращения	14
1.2. Назначение и цели создания системы	14
1.2.1. Назначение системы	14
1.2.2. Цели создания системы	14
1.3. Характеристика объекта автоматизации	14
1.4. Требования к системе.....	15
1.4.1. Требования к системе в целом	15
1.4.1.1. Требования к структуре и функционированию системы. 15	
1.4.1.2. Перечень подсистем, их назначение и основные характеристики	16
1.4.2. Требования к способам и средствам связи для информационного обмена между компонентами системы.....	16
1.4.2.1. Показатели назначения	17
1.4.2.2. Требования к надежности.....	17
1.4.2.3. Требования к эргономике и технической эстетике	18
1.4.2.4. Требования к защите информации от несанкционированного доступа.....	18
1.4.2.5. Требования по сохранности информации при авариях ...	18
1.4.2.6. Требования к патентной чистоте.....	18
1.4.2.7. Требования по стандартизации и унификации.....	18
1.4.3. Требования к функциям (задачам), выполняемым системой. 18	
1.4.4. Требования к видам обеспечения	19
1.4.4.1. Требования к математическому обеспечению системы ..	19
1.4.4.2. Требования к информационному обеспечению системы ...	19
1.4.4.3. Требования к лингвистическому обеспечению системы. 19	

1.4.4.4. Требования к программному обеспечению системы	19
1.4.4.5. Требования к техническому обеспечению	19
1.4.4.6. Требования к методическому обеспечению	20
1.5. Состав и содержание работ по созданию системы	20
1.6. Порядок контроля и приемки системы	20
1.6.1. Виды, состав, объем и методы испытаний системы	20
1.6.2. Общие требования к приемке работ по стадиям.....	20
1.7. Требования к документированию.....	21
2. Разработка математической модели.....	23
2.1. Модель асинхронного электродвигателя	23
2.2. Модель полупроводникового преобразователя частоты.....	24
2.3. Модель механической части	25
2.4. Комплексная математическая модель	26
3. Разработка программных средств	28
4. Проведение вычислительных экспериментов	32
5. Подготовка технического задания на средства натуральных экспериментов..	37
5.1. Общие положения	37
5.1.1. Полное наименование системы и ее условное обозначение ..	37
5.1.2. Номер контракта	37
5.1.3. Наименования организации-заказчика и организаций-участников работ	37
5.1.4. Перечень документов, на основании которых создается система.....	37
5.1.5. Плановые сроки начала и окончания работы по созданию системы	37
5.1.6. Порядок оформления и предъявления заказчику результатов работ по созданию системы.....	37
5.1.7. Перечень нормативно-технических документов, методических материалов, использованных при разработке ТЗ	38
5.1.8. Определения, обозначения и сокращения.....	38
5.2. Назначение и цели создания системы	38
5.2.1. Назначение системы	38
5.2.2. Цели создания системы	38
5.3. Характеристика объекта автоматизации	39
5.4. Требования к системе.....	39
5.4.1. Требования к системе в целом	39
5.4.1.1. Требования к структуре и функционированию системы. 39	
5.4.1.2. Требования к численности и квалификации персонала системы	40
5.4.1.3. Показатели назначения	41
5.4.1.4. Требования к надежности.....	41
5.4.1.5. Требования к безопасности	41
5.4.1.6. Требования к эргономике и технической эстетике	41
5.4.1.7. Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы.....	41

5.4.1.8. Требования к защите информации от несанкционированного доступа.....	41
5.4.1.9. Требования по сохранности информации при авариях ...	42
5.4.1.10. Требования к защите от влияния внешних воздействий	42
5.4.1.11. Требования к патентной частоте	42
5.4.1.12. Требования по стандартизации и унификации.....	42
5.4.2. Требования к функциям (задачам), выполняемым системой.	42
5.4.3. Требования к видам обеспечения	43
5.4.3.1. Требования к математическому обеспечению системы ..	43
5.4.3.2. Требования к информационному обеспечению системы	43
5.4.3.3. Требования к программному обеспечению системы	43
5.4.3.4. Требования к техническому обеспечению	43
5.4.3.5. Требования к метрологическому обеспечению.....	44
5.4.3.6. Требования к методическому обеспечению	44
5.5. Состав и содержание работ по созданию системы	44
5.6. Порядок контроля и приемки системы	45
5.6.1. Виды, состав, объем и методы испытаний системы	45
5.6.2. Общие требования к приемке работ по стадиям.....	45
5.7. Требования к документированию.....	46
Заключение	47
Список использованных источников	48
Приложение	50

Определения

Резкопеременная нагрузка – под этим термином понимается специфичный для технологического процесса функционирования горных машин момент (усилие) нагрузки на рабочем органе, носящий случайный характер из-за изменения свойств горного массива, нерациональных действий машинистов с недостаточной квалификацией и по ряду других причин.

Коэффициент полезного действия – характеристика эффективности системы электропривода в отношении выполнения электромеханического преобразования энергии.

Энергоэффективность – комплексное понятие, в рамках данной работы подразумевающее эффективное использование электрической энергии, потребляемой электроприводом в процессе своего функционирования.

Энергооптимальность – характеристика, свидетельствующая о достижении экстремума (максимума или минимума) какого-либо энергетического показателя качества функционирования.

Программный комплекс – совокупность программных, логических блоков – подсистем, взаимосвязанных общей оболочкой с целью выполнения установленной функции.

Математическая модель – представление объекта автоматизации в виде математических формул описывающих процессы происходящие в объекте с максимальным приближением.

Горные машины – машины, предназначенные для работы в условиях горных выработок.

Стохастически изменяющийся – случайно изменяющийся.

Функция параметрирования – изменение требуемых параметров с учетом.

Критическая ошибка – ошибка в расчетах, вызванная как неправильно введенными данными, так и ошибками в математической модели, которая может привести к зависанию системы.

Обозначения и сокращения

Список использованных обозначений:

Индекс $*$ – заданные величины;

Индексы $ном$ и n – номинальное значение величины;

Индексы α и β – составляющие вектора в неподвижной системе координат α - β ;

Индексы u и v – составляющие вектора в системе координат u - v , вращающейся с произвольной скоростью;

Индексы d и q – составляющие вектора в системе координат d - q , вращающейся синхронно с одним из векторов потокосцеплений;

M – вектор моментов механической подсистемы электропривода, включая электромагнитный момент двигателя M_m ;

M_l – момент нагрузки;

φ – вектор угловых положений механической подсистемы электропривода;

J – матрица моментов инерции;

B – матрица вязкостей упругих связей;

C – матрица жесткостей упругих связей;

p – число пар полюсов электродвигателя;

U_s – вектор напряжения статора;

U_d – напряжение звена постоянного тока, напряжение питания инвертора;

I_s, I_r, I_m – векторы токов статора, ротора и взаимоиндукции соответственно;

I_d – ток в звене постоянного тока;

ψ_s, ψ_r, ψ_m – векторы потокосцеплений статора, ротора и взаимоиндукции соответственно;

I_{ec}, ψ_{ec} – векторы тока и потокосцепления эквивалентного контура, учитывающего потери в стали от вихревых токов;

u_{sx}, u_{sy} – составляющие вектора напряжения статора;

ψ_{sx}, ψ_{sy} – составляющие вектора потокосцепления статора;

i_{sx}, i_{sy} – составляющие вектора тока статора;

i_{rx}, i_{ry} – составляющие вектора тока я ротора;

ω_k – угловая скорость системы координат;

ω – угловая скорость вала двигателя;

θ_u – угол вектора напряжения статора относительно системы координат α - β ;

R_s, R_r – активные сопротивления фаз статора и ротора;

L_s, L_r – полные индуктивности обмоток статора и ротора;

$L_{\sigma s}, L_{\sigma r}$ – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора;

L_m – взаимная индуктивность обмоток статора и ротора;

L_{ec} – индуктивность контура потерь в стали от вихревых токов;

k_h – коэффициент учета потерь в стали.

Список использованных сокращений:

СУ – система управления.

ГМ – горные машины.

АД – асинхронных двигатель.

ПЧ – преобразователь частоты.

АИН – автономный инвертор напряжения.

ЭП – электрический привод, электропривод.

ТЗ – техническое задание.

ГПТ – генератор постоянного тока.

ПК – персональный компьютер.

ПО – программное обеспечение.

ОС – операционная система.

АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

АВ – автоматический выключатель.

ПЭС – принципиальная электрическая схема.

Введение

Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии предполагает создание нового подхода к СУ горных машин.

Как показали результаты обзора, проведенного в ходе предыдущих этапов, оптимизация режимов работы асинхронных электроприводов обеспечивается внедрением частотного регулирования, причем, как правило, основной целью данного мероприятия является не экономия электроэнергии, а улучшение эффективности технологических процессов. Энергосбережение достигается как сопутствующий результат, а его уровень при функционировании электропривода не оценивается.

Дополнительно следует отметить, что частотно-регулируемые электроприводы могут существенно отличаться по своей структуре в зависимости от того, какой принцип заложен в их систему управления. При этом как показатели качества регулирования, так и показатели энергоэффективности будут различаться. Исходя из этого, наиболее эффективное направление энергосбережения средствами электропривода заключается в применении таких систем управления, в которых помимо основных, оцениваются еще и энергетические показатели. С учетом невозможности и технической нецелесообразности определять каждую из составляющих общих потерь электропривода средствами измерений, алгоритм, заложенный в систему управления, должен содержать математический аппарат оценки потерь. Сложность создания таких систем управления заключается в недостаточной проработанности математического описания процесса электромеханического преобразования энергии в электроприводах ГМ с точки зрения формирования потерь на каждом его этапе. Среди потерь на разных этапах можно выделить магнитные потери (потери в стали), электрические (потери в меди), механические, добавочные, а также потери в преобразователе частоты, сетевых фильтрах и питающих двигателя кабелях. Все перечисленные потери существенно зависят от величины нагрузки двигателя, угловой скорости вала и режима его работы.

Отдельные аспекты, влияющие на формирование потерь, теоретически достаточно проработаны. Так известно и широко используется математическое описание электрических потерь в обмотках двигателя, существуют адекватные динамические модели для определения вихревых токов, формирующих часть магнитных потерь. В то же время некоторые составляющие потерь, например потери на гистерезис, имеют проработанное математическое описание, адекватное только в режимах близких к статическим и его недостаточно, чтобы синтезировать алгоритм системы управления для современного электропривода, переходные процессы которого по скорости, при текущем развитии техники, уже сопоставимы по интенсивности с электромагнитными переходными процессами.

Таким образом, возникает задача разработки комплексных математических и имитационных моделей регулируемого электропривода ГМ на всех

этапах электромеханического преобразования энергии в переходных режимах. Полученные модели могут быть использованы не только при создании принципиально новых систем управления, но также для более эффективной с точки зрения энергосбережения настройки уже эксплуатирующихся электроприводов.

Дополнительно, учитывая высокую сложность электроприводов ГМ по структуре, встает задача подтверждения адекватности разработанных математических и компьютерных моделей, поскольку только в этом случае будет эффективно решена основная задача исследования, а именно создание энергооптимальных систем управления электроприводов горных машин.

Составление математической модели асинхронного электропривода горных машин в динамических режимах

Выполнение научно-исследовательских работ по 3 этапу Государственного контракта № 14.740.11.1105 предполагает следующие виды работ:

1. Подготовка технического задания на средства вычислительных экспериментов.
2. Разработка математической модели.
3. Разработка программных средств.
4. Проведение вычислительных экспериментов.
5. Подготовка технического задания на средства натуральных экспериментов.

Содержание данных работ раскрыто в настоящем научно-техническом отчете.

1. Подготовка технического задания на средства вычислительных экспериментов

1.1. Общие положения

1.1.1. Полное наименование системы и ее условное обозначение

Автоматизированный комплекс для проведения вычислительных экспериментов (далее программный комплекс).

1.1.2. Номер контракта

Государственный контракт № 14.740.11.1105 от 24 мая 2011.

1.1.3. Наименования организации-заказчика и организаций-участников работ

Заказчик: научный руководитель ГК № 14.740.11.1105 от 24.06.11 г. И.Ю. Семькина.

Исполнитель: студент КузГТУ гр. ЭА-071 А.В. Киселев.

1.1.4. Перечень документов, на основании которых создается система

Государственный контракт №14.740.11.1105 от 24 мая 2011.

Дополнительное соглашение № 14.740.11.1105/1 от 01.09.2011 к государственному контракту №14.740.11.1105 от 24 мая 2011.

1.1.5. Плановые сроки начала и окончания работы по созданию системы

Дата начала работ – 1 февраля;

Дата окончания работ – 30 апреля.

1.1.6. Перечень нормативно-технических документов, методических материалов, использованных при разработке ТЗ

ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

ГОСТ 34.601-90. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.

РД 50-34.698-90. Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.

ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

1.1.7. Определения, обозначения и сокращения

Программный комплекс – совокупность программных, логических блоков – подсистем, взаимосвязанных общей оболочкой с целью выполнения установленной функции.

Математическая модель – представление объекта автоматизации в виде математических формул описывающих процессы, происходящие в объекте с максимальным приближением.

Горные машины – машины, предназначенные для работы в условиях горных выработок.

Стохастически изменяющийся – случайно изменяющийся.

Функция параметрирования – изменение требуемых параметров с учетом.

Критическая ошибка – ошибка в расчетах, вызванная как неправильно введенными данными, так и ошибками в математической модели, которая может привести к зависанию системы.

1.2. Назначение и цели создания системы

1.2.1. Назначение системы

Программный комплекс, предназначенный для выполнения вычислительных экспериментов с электроприводами горных машин для определения степени их энергоэффективности.

1.2.2. Цели создания системы

Разработка программного комплекса реализующего математическую модель электропривода горной машины для определения качественных и количественных критериев его функционирования при этом должны выполняться требования, предъявляемые к комплексу средств, для проведения вычислительных экспериментов с электроприводом горной машины.

1.3. Характеристика объекта автоматизации

Горные машины занимают центральное место в технологической цепи добычи полезных ископаемых. Особенностью работы электроприводов горных машин является стохастически изменяющийся в большом диапазоне характер их нагружения и возможные стопорения исполнительного органа. Наличие упругой податливости в элементах трансмиссии ГМ совместно с изменяющейся нагрузкой способствует постоянному присутствию переходных процессов в механических передачах.

В общем случае система электропривода ГМ является достаточно сложной. С одной стороны, она должна базироваться на асинхронном электродвигателе, модель которого является многосвязной и имеет существенные нелинейности. С другой стороны, механические преобразователи, использующие-

ся в ГМ, имеют разнообразную структуру и их модели могут также быть нелинейными и включать несколько выделенных масс. К тому же, система управления электропривода должна регулировать несколько координат.

Структуру ГМ можно разделить на следующие части:

- силовая часть;
- система управления;
- механическая часть.

Электроприводы горных машин имеют достаточно разнообразную структуру. Так, ГМ для открытых горных работ (карьерные экскаваторы, буровые станки) имеют регулируемый электропривод постоянного тока. В машинах для ведения подземных горных работ, как, например, в очистных и проходческих комбайнах, используется нерегулируемый асинхронный электропривод.

В качестве механического преобразователя используются редукторы самых разнообразных конструкций. В тоже время, ведущие производители горных машин, как для открытых, так и для подземных горных работ, интенсивно внедряют регулируемый асинхронный электропривод. Например, в очистных комбайнах нашел применение асинхронный регулируемый электропривод подачи.

Особенностью электроприводов ГМ также является то, что для эффективного распределения габаритной мощности, как правило, в них используют несколько двигателей, работающих на один вал и питающихся от одного общего или нескольких индивидуальных электрических преобразователей. В общем случае математическое описание таких систем будет включать в себя математические модели асинхронных электродвигателей и преобразователей частоты.

В структуру механических преобразователей в приводах ГМ входят валы, зубчатые колеса, канаты, цепи и т.д. Они обладают упругой податливостью, внутренним трением, в них присутствуют зазоры, их параметры могут изменяться в процессе работы. В общем случае, механические преобразователи ГМ являются сложными системами с распределенными параметрами, и для анализа динамических процессов, протекающих в механической части электроприводов, прибегают к идеализации механических систем. Далее с учетом идеализации, модель электрической горной машины включало еще трехфазный электрический преобразователь, АД и механическую часть, идеализированную до двухмассовой механической системы имеющей порядок равный девяти.

1.4. Требования к системе

1.4.1. Требования к системе в целом

1.4.1.1. Требования к структуре и функционированию системы

В структуру программного комплекса должны быть включены про-

граммные блоки, обеспечивающие следующие функции:

- задание пользователем данных для модели;
- задание параметров эксперимента для нахождения оптимума;
- моделирование составляющих электропривода;
- архивация расчетных данных и заданных параметров для модели;
- отображение полученных результатов в виде графиков и модели АД.

1.4.1.2. Перечень подсистем, их назначение и основные характеристики

Блок задания параметров модели, предназначен для осуществления ввода параметров электропривода ГМ. Также в данном блоке предусмотрена функция загрузки и сохранения предустановленных настроек.

Блок задания параметров эксперимента выполняет функцию параметрирования по заданному критерию, при проведении экспериментов с нахождением оптимума.

Блок математических моделей содержит в себе формулы математического описания процессов, происходящих в электроприводе и его составных частях. При использовании данного математического описания происходит расчет динамического состояния модели, используемый в том числе для отображения информации.

Блок отображения результатов моделирования использует данные, полученные в результате расчета и отображает текущее состояние модели в графическом виде с возможностью определения значений требуемых параметров в установленный отрезок времени, а также предоставляет возможность численно определить ряд показателей качества регулирования.

Блок архивации предназначен для сохранения настроек модели и результатов моделирования в виде отдельных файлов с целью их последующей загрузки для анализа. Также данный блок реализует защитную функцию от аварийной потери данных.

1.4.2. Требования к способам и средствам связи для информационного обмена между компонентами системы

Для пояснения процесса обмена данными составлена схема, представленная на рис.1. Данные от пользователя поступают на блок задания З, который передает эти данные для расчета параметров модели в расчетный блок Р и в блок архивации А, который сохраняет эти параметры в отдельном файле. Расчетный блок имеет внутреннюю обратную связь, реализуемую в виде прерываний, в том числе как защита от критической ошибки в расчетах.

Данные с расчетного блока поступают на блок отображения графической информации О и в блок архивации для сохранения их вместе с файлом настроек. Блок отображения графической информации выводит данные о состоянии модели в удобном для пользователя виде позволяя оценить проведенный эксперимент.

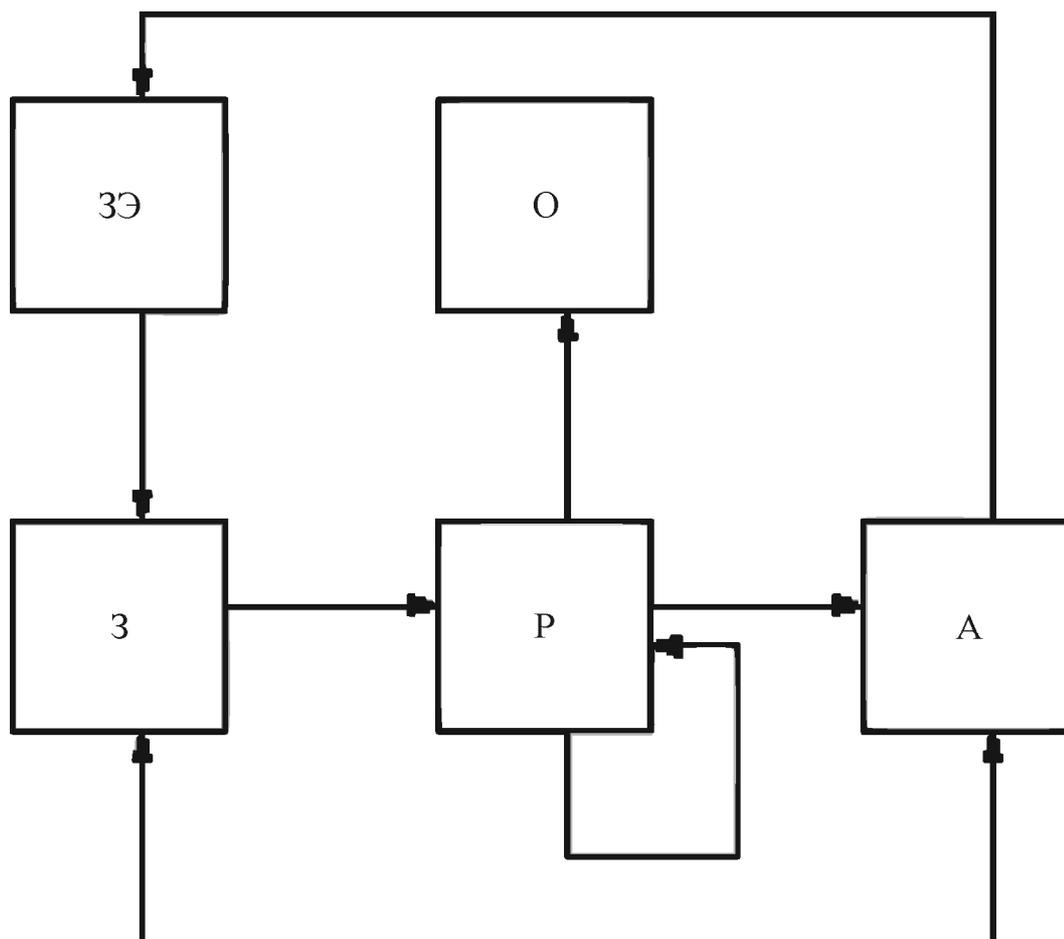


Рис.1. Структурная схема программного комплекса

Для экспериментов с нахождением оптимума предусмотрен блок задания эксперимента ЗЭ, данный блок получает информацию из блока архивации об уже проведенных экспериментах в данной серии, и, изменяя заданный параметр с определенным шагом, измеряет отклонение контролируемой величины, вычисляя оптимальное значение параметров.

1.4.2.1. Показатели назначения

На данном этапе разработки в программном комплексе предусмотрена модель простейшей системы управления. В дальнейшем данный программный комплекс должен обладать возможностью дополнения другими моделями, в том числе моделями систем управления, с целью проведения всестороннего исследования.

1.4.2.2. Требования к надежности

Разрабатываемый программный комплекс в качестве расчетных должен использовать метаматематические модели с наименьшей вероятностью ошибок в процессе работы, которые могут повлиять на результаты эксперимента. Производительность данного программного комплекса не должна быть ниже минимальной при минимальных параметрах аппаратного обеспечения.

1.4.2.3. Требования к эргономике и технической эстетике

Работа с данной системой не должны вызывать дискомфорт при длительной работе оператора – более 30 мин. Интерфейс должен быть интуитивно-понятным.

1.4.2.4. Требования к защите информации от несанкционированного доступа

Доступ к комплексу ограничен техническим персоналом системы и группой разработчиков.

1.4.2.5. Требования по сохранности информации при авариях

Защита от аварийного отключения электроэнергии не предусмотрена. Для сохранности данных о проведенных испытаниях, программным комплексом производится архивация полученных данных с установленной в настройках программы периодичностью.

1.4.2.6. Требования к патентной частоте

На разрабатываемый программный комплекс должно быть получено свидетельство на программу для ЭВМ.

1.4.2.7. Требования по стандартизации и унификации

Для работы программного комплекса должна использоваться ОС Windows.

1.4.3. Требования к функциям (задачам), выполняемым системой

Данный программный комплекс должен определять различные потери в электроприводе, используя математическое моделирование его отдельных элементов.

Исходя из структуры комплекса, входящие в его состав подсистемы должны обладать следующими функциями:

- подсистема ввода данных об электроприводе должна обладать возможностями сохранения и загрузки установок;
- подсистема задания эксперимента должна обладать функциями изменения аргумента (параметра эксперимента) для определения значения функции (параметр оптимизации) используя ранее полученные данные;
- подсистема расчетов должна содержать в себе адекватные математические модели различных элементов электропривода, при использовании которых на основании данных полученных от пользователя должно производиться вычисление текущего состояния электропривода горной машины. При вычислении состояния системы должна быть реализована программная защита от ошибочного выполнения расчетов;

- подсистема отображения должна обладать функциями отображения полученной информации в удобном для пользователя виде, а также иметь возможность получения сведений о процессах либо значениях параметров в отдельных элементах системы;
- подсистема архивации должна обеспечивать сохранение информации полученной в результате расчета, а также информации о настройках системы.

1.4.4. Требования к видам обеспечения

1.4.4.1. Требования к математическому обеспечению системы

Математические модели представленные в данном программном комплексе должны быть адекватными и отображать полную информацию о процессах происходящих в электроприводе.

1.4.4.2. Требования информационному обеспечению системы

Обмен данными должен отвечать требованиям представленными в п. 1.4.2 данного технического задания.

Структура сохраненной информации должна соответствовать следующим требованиям:

- заголовок файла данных должен содержать информацию о файле настроек для текущего массива данных;
- в случае отсутствия файла настроек в корневом каталоге файла данных в структуру должны быть включены сведения о настройках данного эксперимента;
- данные расчета представляют собой таблицу значений параметра эксперимента и времени.

1.4.4.3. Требования к лингвистическому обеспечению системы

Интерфейс программы должен быть выполнен на русском языке, текст программы должен содержать комментарии, в возможности программной оболочки для проведения экспериментов должна быть встроена помощь по работе с оболочкой на русском языке.

1.4.4.4. Требования к программному обеспечению системы

Программа должна работать в операционной системе Windows XP, среда разработки должна быть уточнена входе разработки программного комплекса.

1.4.4.5. Требования к техническому обеспечению

Минимальные системные требования ПК для запуска программы: 2ГГц, 2048Мб ОЗУ 1Гб.

1.4.4.6. Требования к методическому обеспечению

Должна быть разработана методическая инструкция по использованию программного комплекса, предназначенная для обучения работе технического персонала.

1.5. Состав и содержание работ по созданию системы

1. Разработка алгоритма блока задания.
2. Разработка алгоритма блока расчетов.
3. Разработка алгоритма блока отображения.
4. Разработка алгоритма блока архивации.
5. Разработка алгоритма блока задания эксперимента.
6. Разработка и отладка программного кода для блока задания.
7. Разработка и отладка программного кода для блока расчетов.
8. Разработка и отладка программного кода для блока отображения.
9. Разработка и отладка программного кода для блока архивации.
10. Разработка и отладка программного кода для блока задания эксперимента.
11. Проведение испытаний работы блока задания.
12. Проведение испытаний работы блока расчетов.
13. Проведение испытаний работы блока отображения.
14. Проведение испытаний работы блока архивации.
15. Проведение испытаний работы блока задания эксперимента.
16. Разработка алгоритмов взаимосвязи блоков.
17. Разработка и отладка программного кода и оболочки программы.
18. Проведение испытаний работы программы в целом.

1.6. Порядок контроля и приемки системы

1.6.1. Виды, состав, объем и методы испытаний системы

Испытания на ошибки ввода параметров, испытания по сохранению настроек и результатов расчетов, испытания на отображение графической информации, испытания на адекватность модели, испытания на определение оптимума.

1.6.2. Общие требования к приемке работ по стадиям

Разработка алгоритма блока задания – алгоритм должен выполняться за минимальное время.

Разработка алгоритма блока расчетов – алгоритм должен выполняться за минимально возможное время с максимально возможной точностью расчетов.

Разработка алгоритма блока отображения – алгоритм должен выполняться за минимальное время.

Разработка алгоритма блока архивации – алгоритм должен выполняться за минимальное время.

Разработка алгоритма блока задания эксперимента – алгоритм должен выполняться за минимальное время.

Разработка и отладка программного кода для блока задания – программный код должен соответствовать заложенным алгоритмам и выполнять назначенные функции.

Разработка и отладка программного кода для блока расчетов – программный код должен соответствовать заложенным алгоритмам и выполнять назначенные функции, математическая модель, заложенная в данный блок должна быть адекватной.

Разработка и отладка программного кода для блока отображения – программный код должен соответствовать заложенным алгоритмам и выполнять назначенные функции.

Разработка и отладка программного кода для блока архивации – программный код должен соответствовать заложенным алгоритмам и выполнять назначенные функции.

Разработка и отладка программного кода для блока задания эксперимента – программный код должен соответствовать заложенным алгоритмам и выполнять назначенные функции.

Проведение испытаний работы блока задания – данный блок не должен вызывать зависания работы программы, также должна быть встроена проверка правильности ввода данных пользователем.

Проведение испытаний работы блока расчетов – на данном этапе возможно проверить работу данного блока на наличие критических ошибок.

Проведение испытаний работы блока отображения – проверка вывода тестовой информации.

Проведение испытаний работы блока архивации – сохранение пробного файла данных и проверка на соответствие его структуры структуре представленной в ТЗ.

Проведение испытаний работы блока задания эксперимента – проверка возможности блока на наличие критических ошибок.

Разработка алгоритмов взаимосвязи блоков – алгоритм должен соответствовать структурной схеме представленной в данном ТЗ.

Разработка и отладка программного кода и оболочки программы – проверка на наличие критических ошибок, соответствие алгоритму программы.

Проведение испытаний работы программы в целом – комплексная проверка работоспособности совокупности блоков заключается в проведении расчета тестовых данных

1.7. Требования к документированию

Данный программный комплекс должен быть обеспечен справочной информацией по использованию и функциям программы, а также методическим указанием по работе с комплексом для обучения работы техперсонала системы.

Отдельные требования предъявляются к структуре архивных файлов создаваемых программным комплексом:

Блок архивации должен обеспечивать сохранение двух типов файлов – файл настройки и файл эксперимента.

Требования, предъявляемые к файлу настройки – в представленном файле должна быть сохранена информация о настройках системы, с которыми проводился эксперимент, используя которую программа может полностью восстановить настроенные параметры и провести эксперимент заново.

Структура файла эксперимента должна выглядеть следующим образом – в шапке файла должна быть указана ссылка на файл с настройками, использованных для эксперимента, далее должна следовать таблица данных, полученных в результате расчетов, используя которую, программа может построить требуемые графики и определить качество регулирования. На случай если файл настройки, на который указана ссылка в файле эксперимента, отсутствует, в файле должна быть предусмотрена запись данных о настройке в конце файла после таблицы данных.

2. Разработка математической модели

Для разработки математической модели, определяющей связь энергоэффективности работы электропривода с его текущим состоянием в динамическом режиме, был проведен анализ литературных источников [5-17]. Анализ выявил наиболее важные особенности функционирования ЭП ГМ, математическое описание которых должно учитываться при формировании математической модели, комплексно описывающей основные аспекты, влияющие на потери энергии в процессе функционирования электропривода горной машины в динамических режимах.

2.1. Модель асинхронного электродвигателя

При разработке модели АД, с учетом литературного анализа, наиболее важными аспектами являются учет потерь в стали, насыщения и поверхностного эффекта при моделировании динамических процессов в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе. Данные явления наиболее полно отражены в математических моделях, представленных в работах А.Б. Виноградова, Ивановский государственный энергетический университет.

Таким образом, при формировании математической модели, комплексно описывающей основные аспекты, влияющие на потери энергии в процессе функционирования электропривода горной машины в динамических режимах, будет использоваться следующая модель асинхронного электродвигателя:

$$\begin{aligned}
 U_s &= R_s I_s + L_{\sigma s} \frac{dI_s}{dt} + \frac{d\psi_m}{dt} + j\omega_k \psi_s; \\
 0 &= R_r I_r + L_{\sigma r} \frac{dI_r}{dt} + \frac{d\psi_m}{dt} + j(\omega_k - p\omega) \psi_r; \\
 0 &= R_{ec} I_{ec} + L_{ec} \frac{dI_{ec}}{dt} + \frac{d\psi_m}{dt} + j\omega_k \psi_{ec}; \\
 \psi_s &= \psi_m + L_{\sigma s} I_s; \\
 \psi_r &= \psi_m + L_{\sigma r} I_r; \\
 \psi_{ec} &= \psi_m + L_{ec} I_{ec}; \\
 \psi_m &= L_m(I_m) I_m; \\
 I_m &= I_s + I_r + I_{ec} - j \frac{\psi_m}{k_h},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где U_s – вектор напряжения статора; $I_s, I_r, I_m, \psi_s, \psi_r, \psi_m$ – векторы токов и потокосцеплений статора, ротора и взаимоиндукции соответственно; I_{ec}, ψ_{ec} – векторы тока и потокосцепления эквивалентного контура, учитывающего потери в стали от вихревых токов; R_s, R_r – активные сопротивления фаз статора и ротора; $L_{\sigma s}, L_{\sigma r}$ – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора; L_{ec} – индуктивность контура потерь в стали от вихревых токов; k_h – коэффициент

учета потерь в стали; p – число пар полюсов; ω_k – угловая скорость системы координат; ω – угловая скорость вращения ротора.

В данной модели приняты следующие допущения:

- частота основной гармоники и частота модуляции выходного напряжения преобразователя разнесены таким образом, что «медленные» процессы могли рассматриваться независимо от «быстрых»;
- имеется симметрия электрических и магнитных цепей двигателя;
- потери в стали ротора пренебрежимо малы относительно других видов потерь;
- эффект насыщения магнитной системы основным магнитным потоком и потоками рассеяния, а также эффект вытеснения тока в роторе учитываются зависимостями параметров АД от его переменных, полученными в установившихся режимах работы;
- пренебрегаем влиянием гистерезиса стали на форму токов и потокосцеплений двигателя.

2.2. Модель полупроводникового преобразователя частоты

Математическая модель АД, приведенная в п. 2.1, не учитывает искажение формы токов и напряжений, возникающих в следствии пинания двигателя от преобразователя частоты, а значит не обеспечивает учет вызванных данным явлением потерь. Чтобы ликвидировать данный недостаток, при формировании математической модели, комплексно описывающей основные аспекты, влияющие на потери энергии в процессе функционирования электропривода горной машины в динамических режимах, будет дополнительно использоваться модель ПЧ, описанная в работах Р.Т. Шрейнера, Уральский государственный технический университет.

Указанная математическая модель выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 U_s^{Fs} &= U_d \Phi_u^{Fs}; \\
 \Phi_u^{Fs} &= \frac{1}{2} (F_u^{Fs} - \frac{1}{3} Q^T F_u^{Fs} Q); \\
 U_s^* &= \sqrt{(U_{s\alpha}^*)^2 + (U_{s\beta}^*)^2}; \\
 \cos \theta_u^* &= U_{s\alpha}^* / U_s^*; \\
 \sin \theta_u^* &= U_{s\beta}^* / U_s^*; \\
 \cos \theta_u &= F_1 (\cos \theta_u^*); \\
 \cos \theta_u &= F_2 (\sin \theta_u^*);
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$U_{s\alpha} = U_d \frac{2}{3} \cos \theta_u;$$

$$U_{s\beta} = U_d \frac{2}{3} \sin \theta_u;$$

$$I_d = I_{s\alpha} \cos \theta_u + I_{s\beta} \sin \theta_u,$$

где U_s^{Fs} – вектор напряжения статора, формируемый преобразователем частоты; U_d , I_d – напряжение и ток питания инвертора; Φ_u^{Fs} – коммутационная функция инвертора; F_u^{Fs} – дискретная вектор-функция управления ключами инвертора; θ_u – угол вектора напряжения статора относительно системы координат α - β ; Q – вспомогательный единичный вектор-столбец.

В данной модели приняты следующие допущения:

- интервал непрерывной проводимости каждого из вентиляльных блоков ПЧ равен полупериоду коммутационной функции АИН;
- переходные потери каждого полупроводникового ключа равны нулю.

2.3. Модель механической части

Математическая модель АД, приведенная в п. 2.1 и п. 2.1 не описывает динамику механической подсистемы электропривода ГМ и должна быть дополнена соответствующим математическим описанием. Как показал литературный обзор, наиболее полное математическое описание механической части ЭП ГМ приведено в работах В.М. Завьялова, Кузбасский государственный технический университет.

Таким образом, при формировании математической модели, комплексно описывающей основные аспекты, влияющие на потери энергии в процессе функционирования электропривода горной машины в динамических режимах, будет дополнительно использоваться следующая математическая модель:

$$J\ddot{\varphi} + C\dot{\varphi} + B\varphi = M, \quad (3)$$

где $\varphi = [\varphi_1, \dots, \varphi_n]^T$ – вектор угловых положений; φ_i – угловое положение i -й сосредоточенной массы, где ротор двигателя является первой сосредоточенной массой; $M = [M_{\Sigma 1}, \dots, M_{\Sigma n}]^T$ – вектор моментов, включая электромагнитный момент двигателя; $M_{\Sigma i}$ – сумма внешних моментов, приложенных к i -й сосредоточенной массе;

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & J_n \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{1,2} & -b_{1,2} & & & & \\ -b_{1,2} & b_{1,2} + b_{2,3} & -b_{2,3} & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & -b_{n-2,n-1} & b_{n-2,n-1} + b_{n-1,n} & -b_{n-1,n} \\ & & & & -b_{n-1,n} & b_{n-1,n} \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} C_{1,2} & -C_{1,2} & & & & \\ -C_{1,2} & C_{1,2} + C_{2,3} & -C_{2,3} & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & -C_{n-2,n-1} & C_{n-2,n-1} + C_{n-1,n} & -C_{n-1,n} \\ & & & & -C_{n-1,n} & C_{n-1,n} \end{bmatrix};$$

J – матрица моментов инерции; J_i – момент инерции i -й сосредоточенной массы; B – матрица вязкостей упругих связей; $b_{i,i+1}$ – коэффициент жесткости внутреннего трения упругой связи между i -й и $i+1$ массами; C – матрица жесткостей упругих связей; $C_{i,i+1}$ – коэффициент жесткости безынерционной упругой связи между i -й и $i+1$ массами.

В данной модели приняты следующие допущения:

- все инерционные элементы объединены в сосредоточенные массы, соединенные невесомыми вязко-упругими соединениями;
- кинематическая цепь механического преобразователя не является разветвленной.

2.4. Комплексная математическая модель

В результате литературного анализа были выбраны математические модели отдельных элементов электропривода ГМ, в наибольшей степени удовлетворяющие требованиям данного исследования. Таким образом, искомая комплексная математическая модель может быть получена агрегированием математического описания (1) – (3) и выглядит следующим образом:

$$U_s^{Fs} = U_d \Phi_u^{Fs};$$

$$\Phi_u^{Fs} = \frac{1}{2} (F_u^{Fs} - \frac{1}{3} Q^T F_u^{Fs} Q);$$

$$U_s^* = \sqrt{(U_{s\alpha}^*)^2 + (U_{s\beta}^*)^2};$$

$$\cos \theta_u^* = U_{s\alpha}^* / U_s^*;$$

$$\sin \theta_u^* = U_{s\beta}^* / U_s^*;$$

$$\cos \theta_u = F_1(\cos \theta_u^*);$$

$$\cos \theta_u = F_2(\sin \theta_u^*);$$

$$U_{s\alpha} = U_d \frac{2}{3} \cos \theta_u;$$

$$U_{s\beta} = U_d \frac{2}{3} \sin \theta_u;$$

$$U_s = R_s I_s + L_{\sigma s} \frac{dI_s}{dt} + \frac{d\psi_m}{dt} + j\omega_k \psi_s;$$

$$0 = R_r I_r + L_{\sigma r} \frac{dI_r}{dt} + \frac{d\psi_m}{dt} + j(\omega_k - p\omega) \psi_r;$$

$$0 = R_{ec} I_{ec} + L_{ec} \frac{dI_{ec}}{dt} + \frac{d\psi_m}{dt} + j\omega_k \psi_{ec};$$

$$\psi_s = \psi_m + L_{\sigma s} I_s;$$

$$\psi_r = \psi_m + L_{\sigma r} I_r;$$

$$\psi_{ec} = \psi_m + L_{ec} I_{ec};$$

$$\psi_m = L_m (I_m) I_m;$$

$$I_m = I_s + I_r + I_{ec} - j \frac{\psi_m}{k_h};$$

$$I_d = I_{s\alpha} \cos \theta_u + I_{s\beta} \sin \theta_u;$$

$$J\ddot{\phi} + C\dot{\phi} + B\phi = M.$$

Приведенная математическая модель учитывает требуемое количество переменных состояния, определяющих потери в электроприводе горной машины в динамическом режиме его работы и представляет собой достаточно полную его модель, компьютерная реализация которой позволит детально изучить происходящие процессы и оценить с наибольшей точностью энергоэффективность электропривода.

Адекватность, а также достаточность приведенного математического описания будут оцениваться в результате сравнения данных, полученных в ходе вычислительных экспериментов, и данных, снятых экспериментально на установке, изготовление которой предусматривается на следующем этапе реализации исследования.

3. Разработка программных средств

Реализация математической модели, приведенной в п. 2.4, должна удовлетворять требованиям технического задания, описанного в п.1.

С целью реализации требований к видам обеспечения, изложенным в п. 1.4.4, в качестве среды реализации компьютерной модели была выбрана среда моделирования MatLab Simulink. Математическая модель реализована в виде блоков-подсистем, часть из которых имеет оригинальную разработку, а часть выполнена в виде стандартных блоков среды разработки MatLab Simulink реализующих математические, программные и логические функции. Общий вид математической модели представлен на рис. 2.

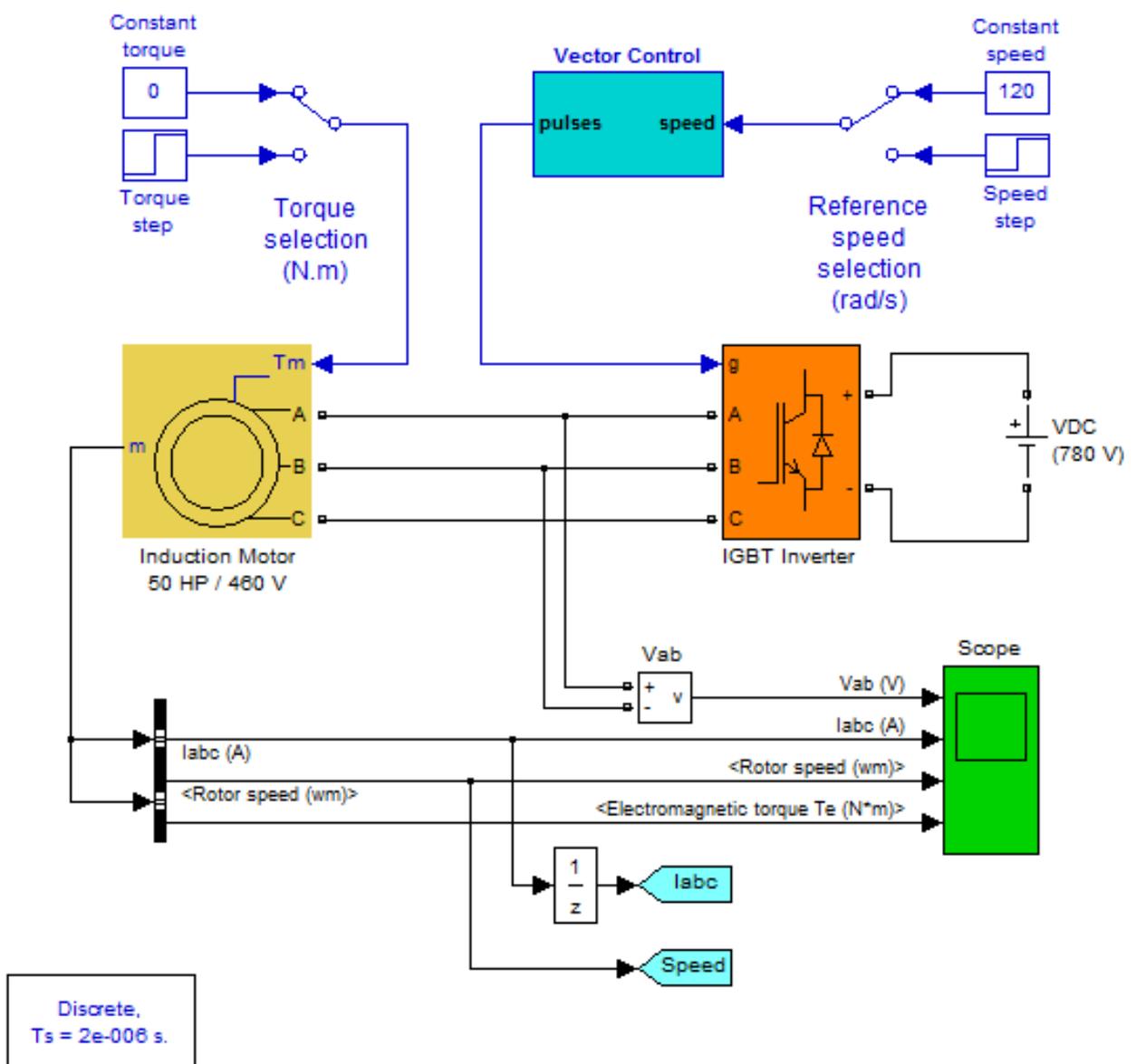


Рис.2. Реализация комплексной математической модели в среде MatLab Simulink

Компьютерная модель состоит из следующих подсистем преобразователя частоты, асинхронного двигателя и механической части, приведенных, соответственно на рис. 3 – рис. 5.

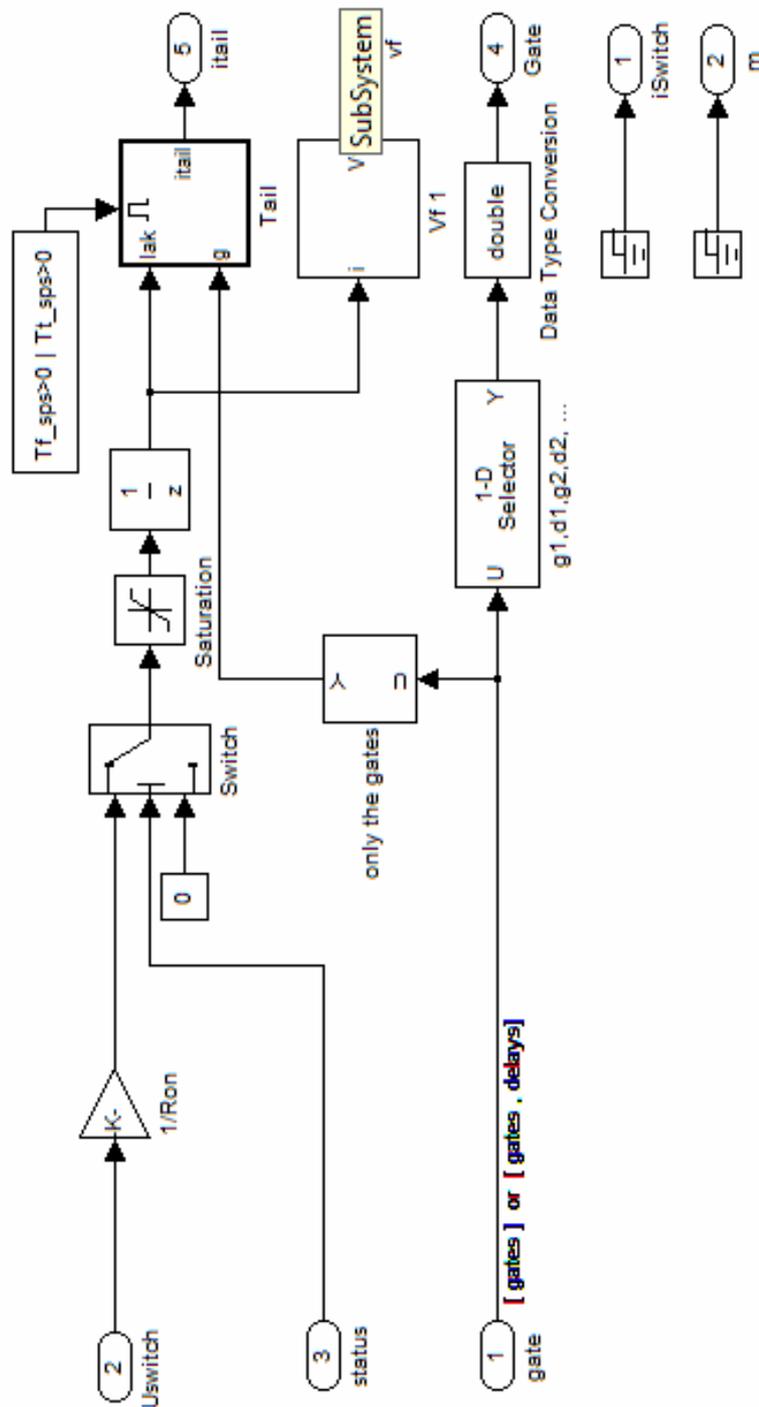


Рис.3. Реализация преобразователя частоты

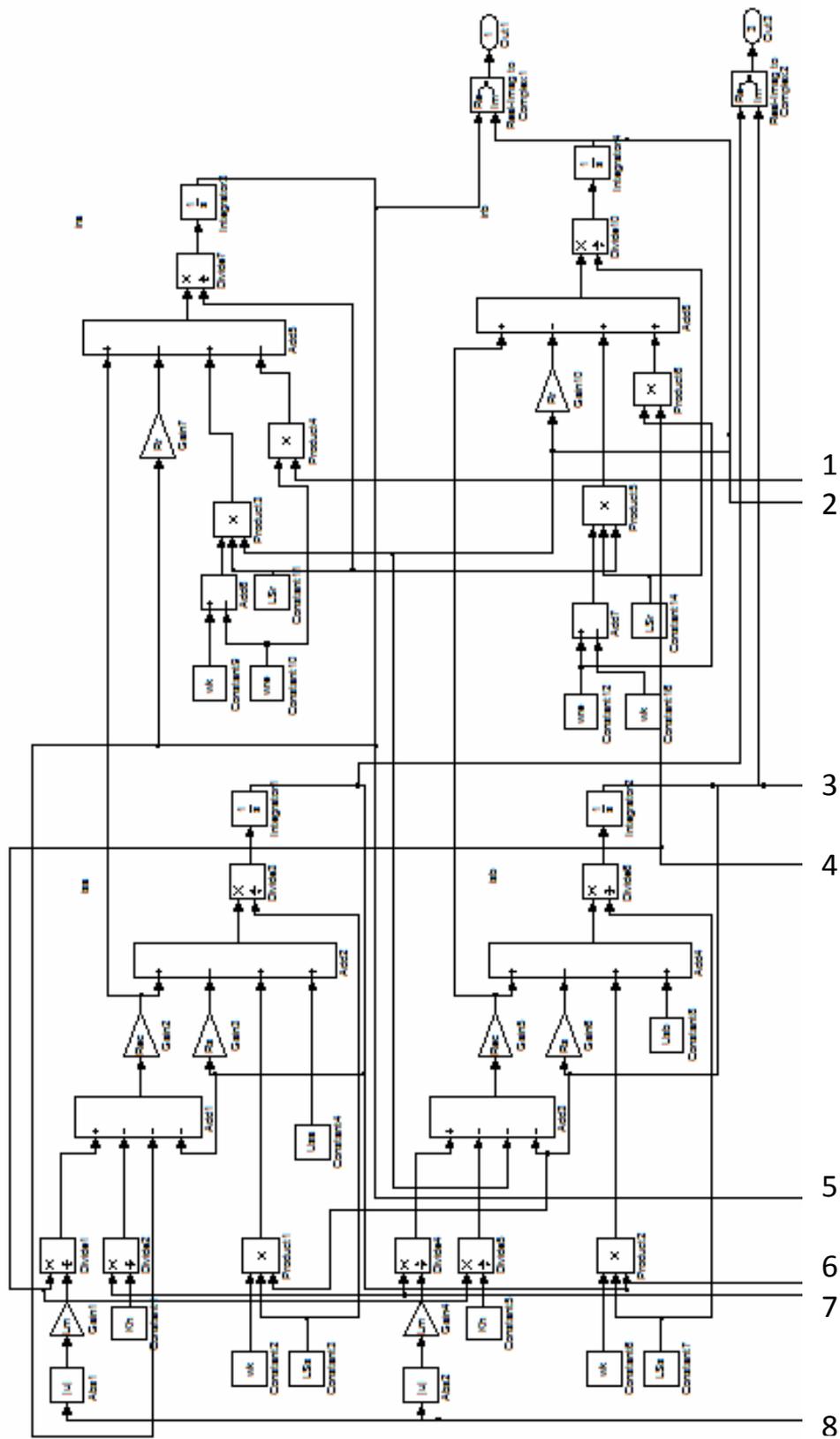


Рис.4. Реализация асинхронного двигателя

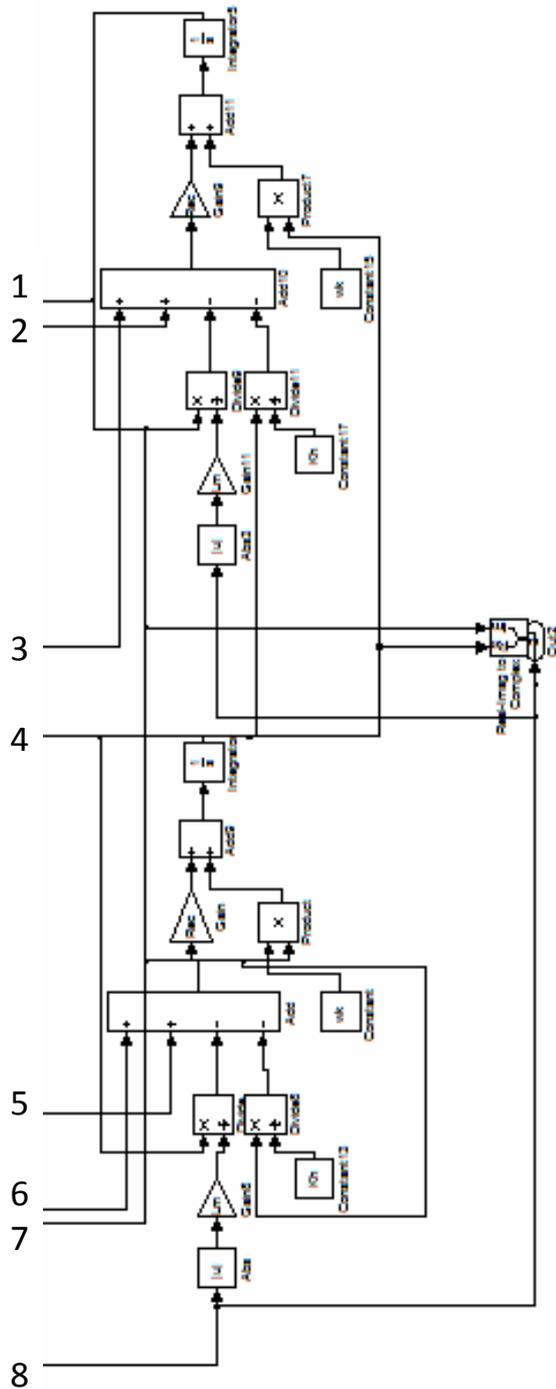


Рис.4. Реализация асинхронного двигателя (продолжение)

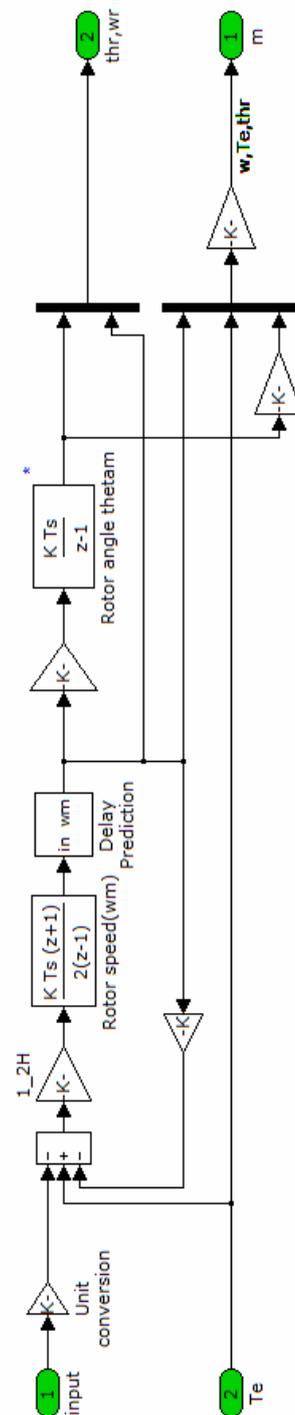


Рис.5. Реализация механической части

4. Проведение вычислительных экспериментов

Учитывая, что математическое описание (3) предусматривает произвольное количество сосредоточенных масс, моделирование осуществлялось для системы, включающей асинхронный двигатель с ПЧ на базе автономного инвертора напряжения, реализующим градиентное управление [18], а также десятимассовую механическую систему, расчетная схема которой приведена на рис. 6, с параметрами соответствующими механической системе привода резания комбайна Eickhoff SL 300. Кинематическая схема его редуктора приведена на рис. 7. Результаты моделирования приведены на рис. 8. – рис. 10.

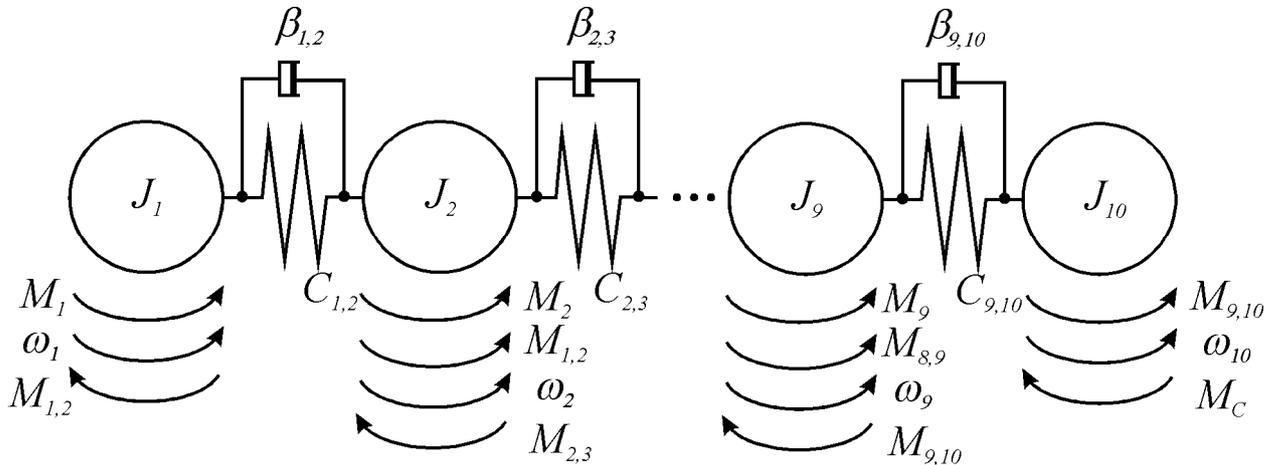


Рис. 6. Расчетная схема привода резания очистного комбайна Eickhoff SL 300

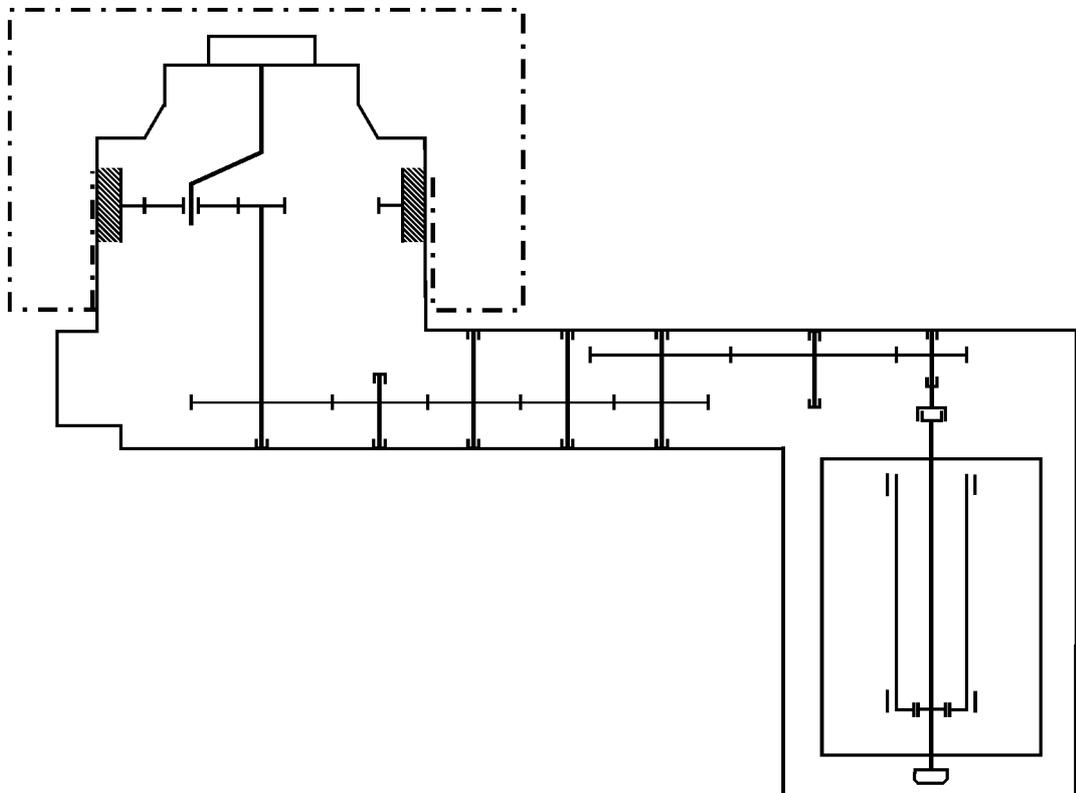


Рис. 7. Кинематическая схема привода резания очистного комбайна Eickhoff SL 300

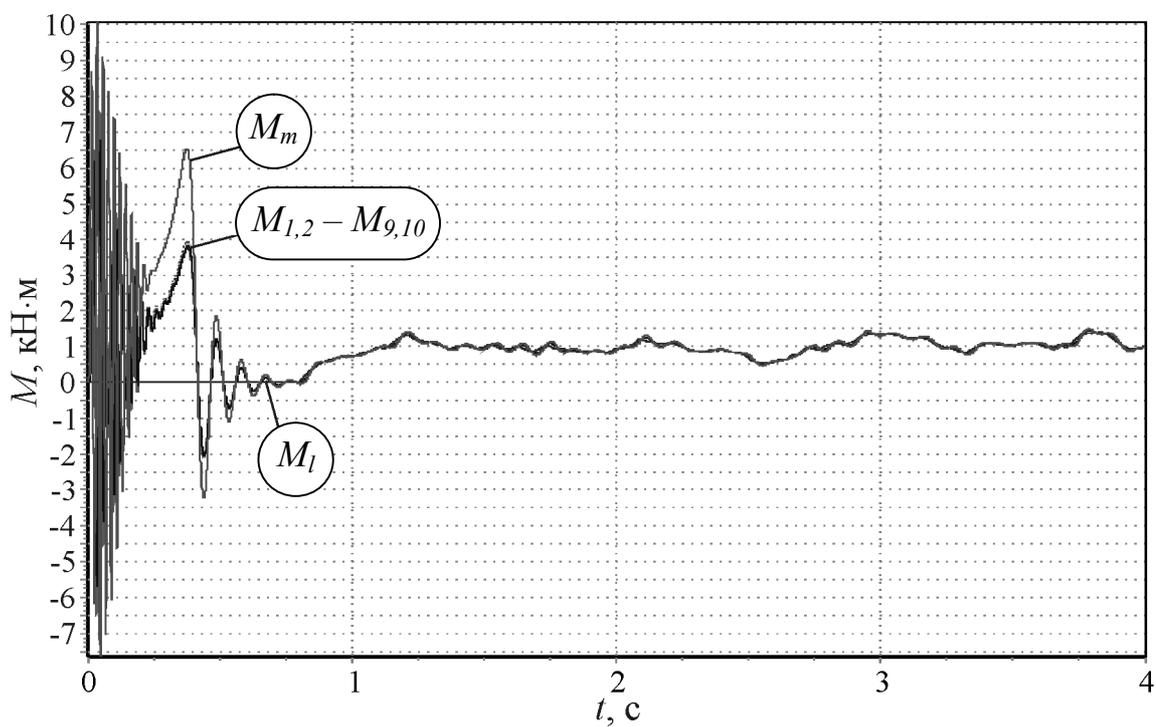


Рис. 8. Моменты при прямом пуске

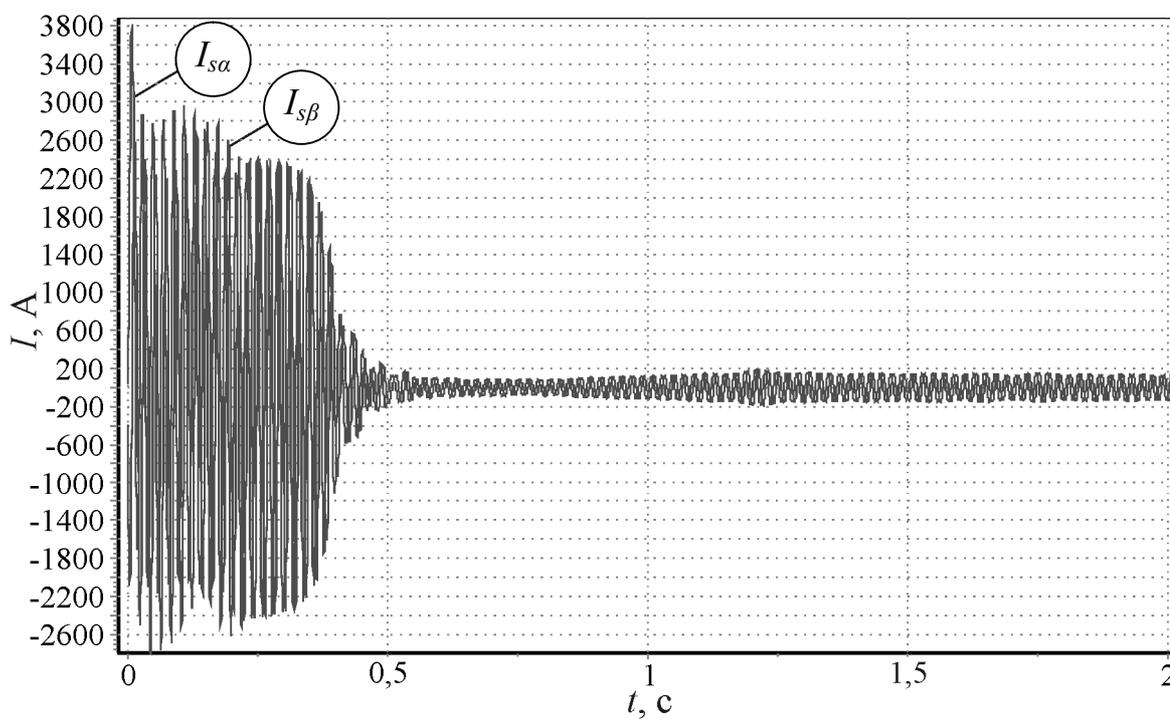


Рис. 9. Токи при прямом пуске

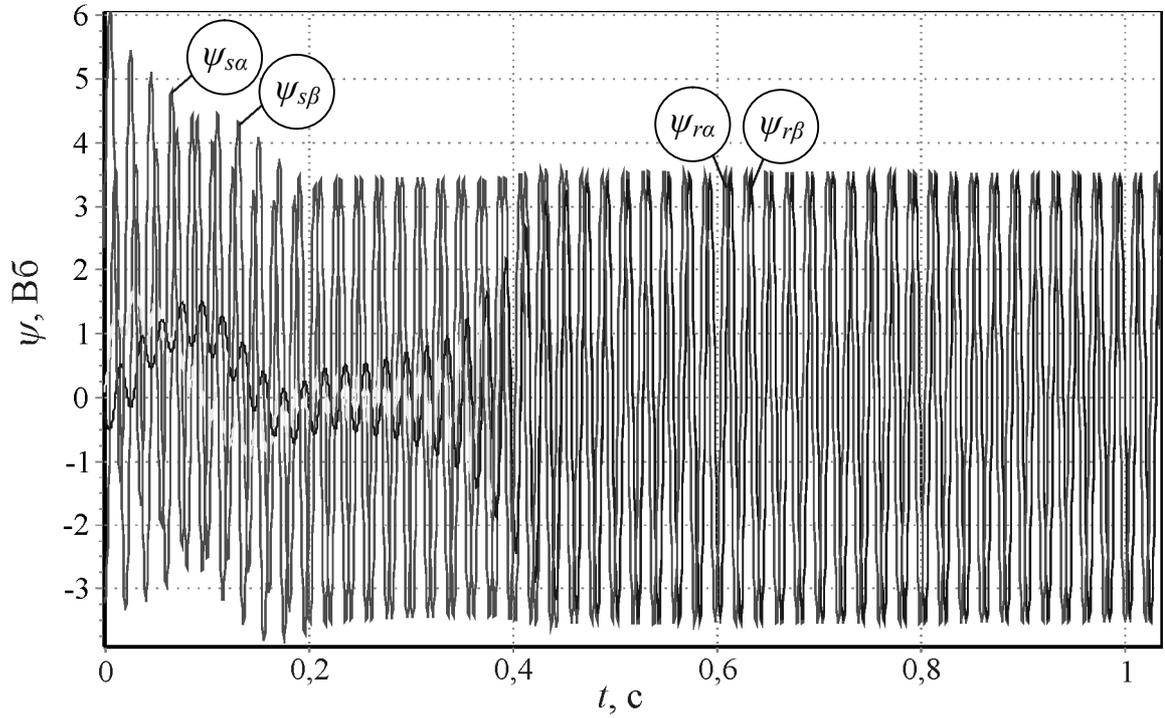


Рис. 10. Потокосцепления при прямом пуске

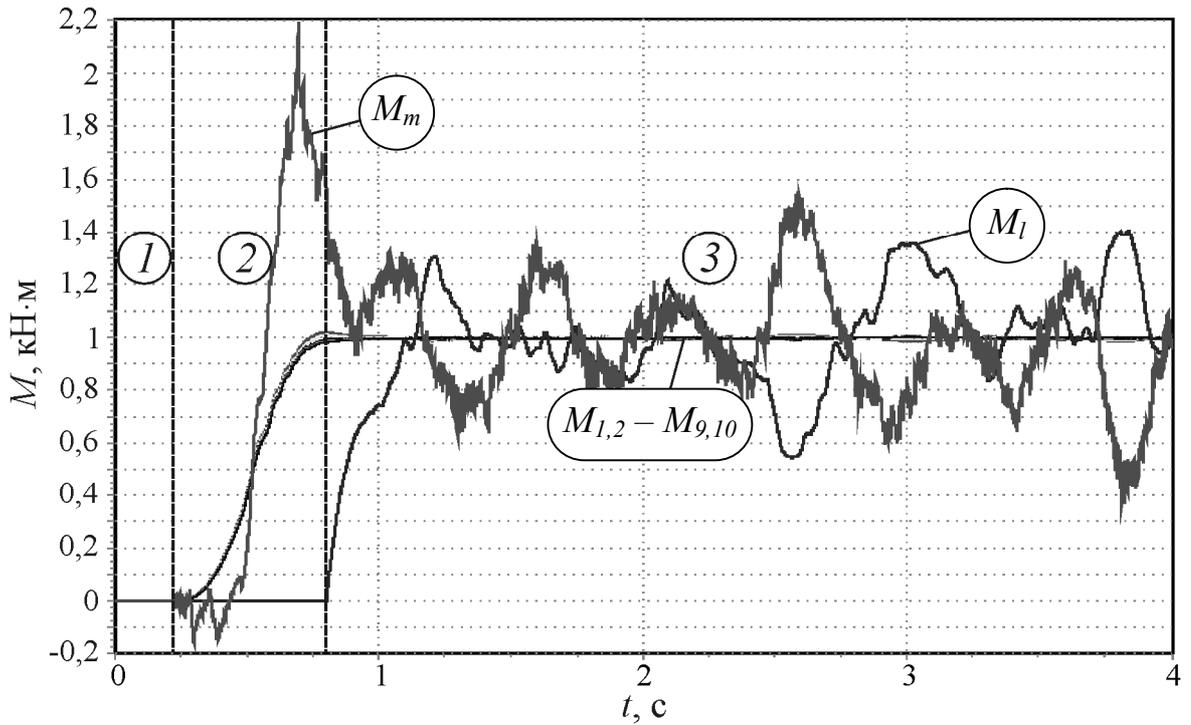


Рис. 11. Моменты в регулируемом электроприводе

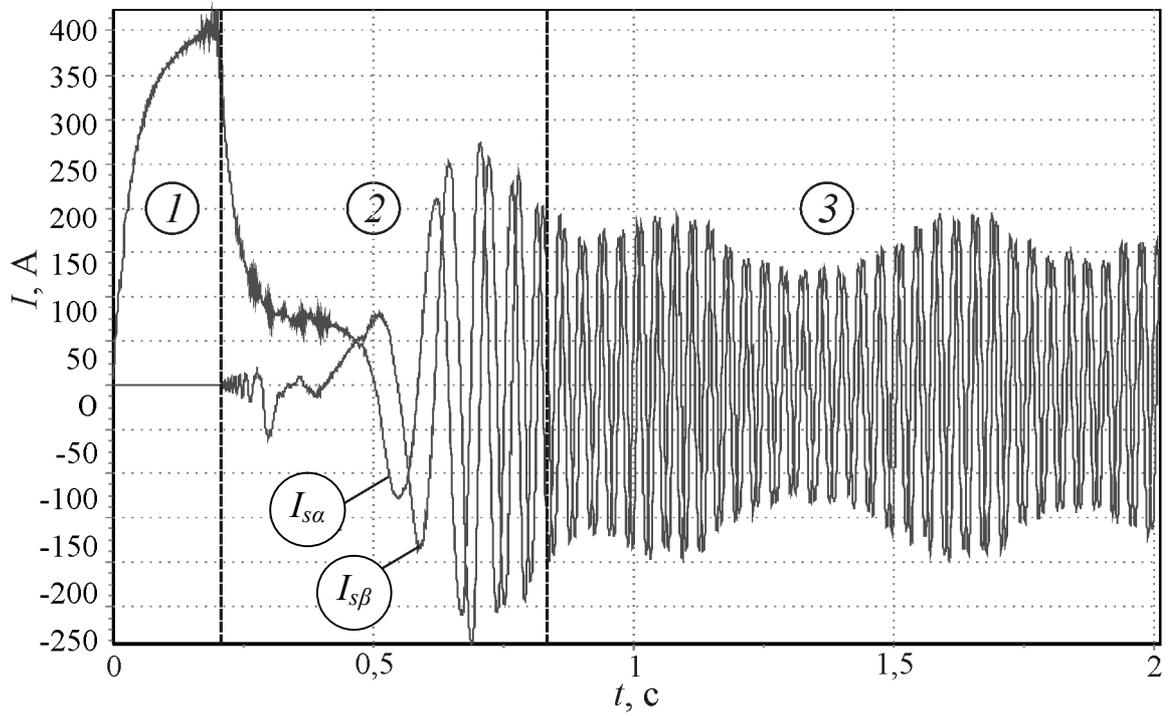


Рис. 12. Токи в регулируемом приводе

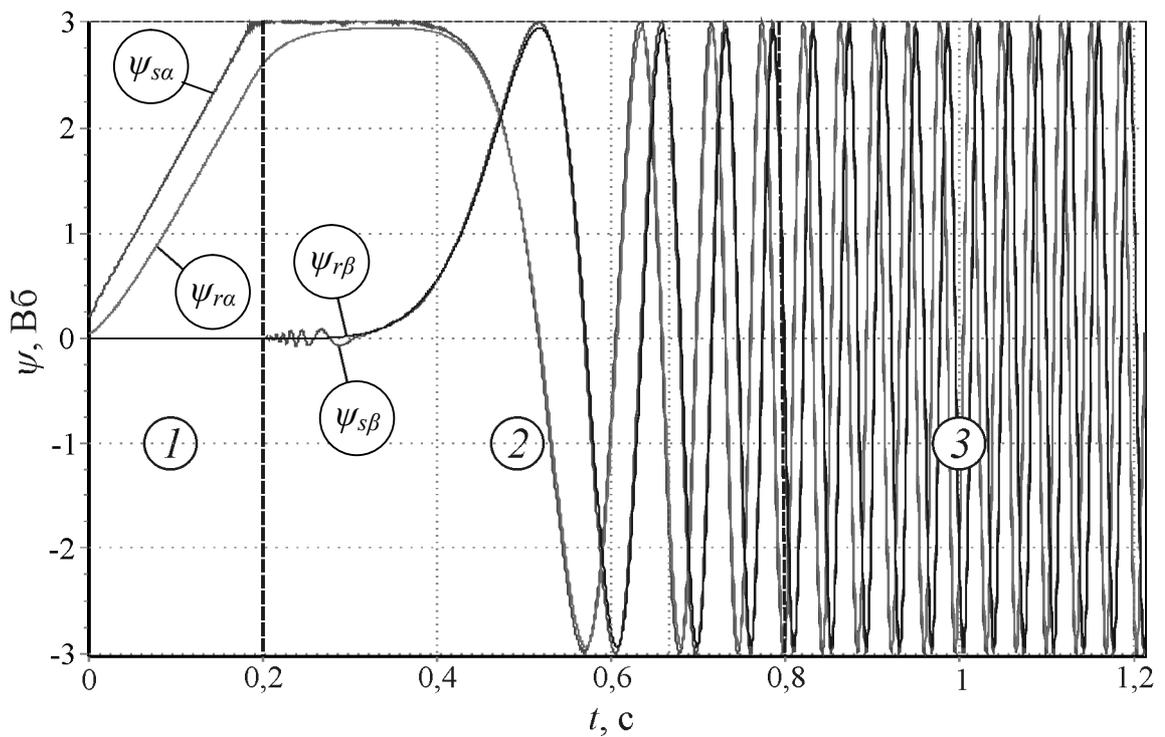


Рис. 13. Потокосцепления в регулируемом приводе

Приведенные результаты моделирования соответствуют неуправляемому пуску асинхронного двигателя (рис. 9 – рис. 10) и пуску с управлением, обеспечивающим снижение динамической загруженности привода, реализованным при помощи преобразователя частоты (рис. 11 – рис. 13). При этом в случае регулируемого привода управление осуществляется в три этапа, схематично показанных на графиках. Область 1 – соответствует процессу намагничивания электродвигателя; область 2 – разгон электропривода без нагрузки; область 3 – работа электропривода с резкопеременной нагрузкой.

Как видно из результатов моделирования, колебания механических усилий для регулируемого электропривода, в отличие от нерегулируемого, практически не превышают среднего значения, несмотря на изменяющуюся нагрузку. При этом токи и потокосцепления в регулируемом варианте не превышают номинальных значений. Для нерегулируемого варианта эти колебания достигает 50 %.

Тот факт, что пусковые токи и переменная составляющая механических нагрузок существенно снижаются, подтверждает высокий потенциал для энергосбережения и ресурсосбережения в электроприводах горных машин, работающих в высокодинамичных режимах, за счет внедрения энергооптимальных систем управления.

Следует отметить, что количественная оценка полученных результатов является предварительной и будет уточнена после проведения серии опытов на экспериментальной установке, оценивающих адекватность математической модели, приведенной в п. 2.

5. Подготовка технического задания на средства натурных экспериментов

5.1. Общие положения

5.1.1. Полное наименование системы и ее условное обозначение

Автоматизированная система исследований режимов работы электропривода на базе асинхронного двигателя с различным характером нагрузки (далее Система).

5.1.2. Номер контракта

ГК 14.740.11.1105 от 24.06.11 на выполнение в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы поисковые научно-исследовательские работы по лоту шифр «2011-1.2.2-226-011» по теме: «Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии» (шифр заявки «2011-1.2.2-226-011-002») за счет средств федерального бюджета.

5.1.3. Наименования организации-заказчика и организаций-участников работ

Заказчики: научный руководитель ГК № 14.740.11.1105 от 24.06.11 г. И.Ю. Семькина; зав. кафедрой электропривода и автоматизации КузГТУ В.М. Завьялов.

Исполнитель: аспирант кафедры электропривода и автоматизации КузГТУ Р.А. Кольцов.

5.1.4. Перечень документов, на основании которых создается система

ГК 14.740.11.1105 от 24.06.11.

Документация на установку «Компьютеризированный испытательный стенд», лежащая в основу разработки Системы.

5.1.5. Плановые сроки начала и окончания работы по созданию системы

Начало работ: 10 августа.

Окончание работ: 10 сентября.

5.1.6. Порядок оформления и предъявления заказчику результатов работ по созданию системы

Работа выполняется в соответствии с календарным планом. По оконча-

нию каждого этапа в указанный срок составляется требуемая техническая документация, а также представляется отчет о полноте и качестве выполненных работ.

5.1.7. Перечень нормативно-технических документов, методических материалов, использованных при разработке ТЗ

ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначения документов при создании автоматизированных систем.

ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

ПУЭ-7 Правила устройства электроустановок. Издание седьмое. Утверждены Приказом Минэнерго России № 204 от 08.07.2002 г.

5.1.8. Определения, обозначения и сокращения

- АД – асинхронный двигатель;
- ГПТ – генератор постоянного тока;
- ПК – персональный компьютер;
- ПО – программное обеспечение;
- ОС – операционная система;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
- АВ – автоматический выключатель;
- ПЭС – принципиальная электрическая схема.

5.2. Назначение и цели создания системы

5.2.1. Назначение системы

Система предназначена для имитации различных механических нагрузок и исследования характеристик регулируемого электропривода на базе АД с требуемым характером нагрузки.

5.2.2. Цели создания системы

Проведение экспериментальных исследований регулируемого электропривода на базе АД, имитирующих различные технологические механизмы, с возможностью определения в ходе данных экспериментов различных характеристик элементов электропривода, несущих информацию как о текущих

измеряемых координатах, так и об переменных состояния, отвечающих за энергетические режимы работы.

5.3. Характеристика объекта автоматизации

Система строится на базе установки «Компьютеризированный испытательный стенд», разработанной на кафедре электропривода и автоматизации КузГТУ. Принципиальная схема стенда показана на рис. 14.

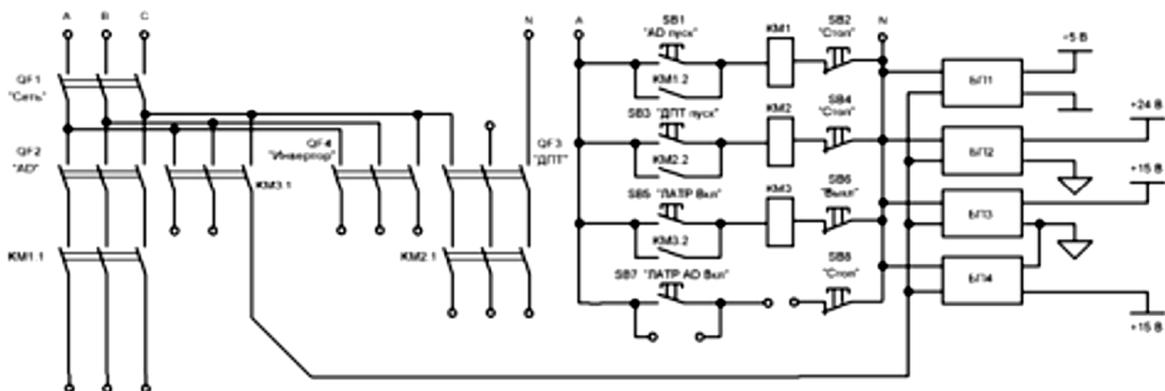


Рис. 14. Принципиальная схема стенда

Стенд содержит лицевую монтажную панель, блок коммутирующих контакторов и АВ.

На лицевой монтажной панели автоматический выключатель «Сеть» предназначен для подачи питающего напряжения на распределительный щит стенда. Также на щите установлены автоматические выключатели: «AD» – для питания и защиты преобразователя частоты; «ДПТ» – находится в резерве; «Инвертор» – также находится в резерве. Включение всех установленных на стенде блоков питания (БП1-БП4) осуществляется одновременно нажатием кнопки SB5 «ЛАТР Вкл», через контактор КМ3. Питание на ПЧ подается нажатием кнопки SB1 «AD пуск», что приводит к включению контактора КМ1.

Для питания датчиков стенда установлено 4 блока питания фирмы ОВЕН: 5В 4А, 24В 1,4А и два блока 15В 1,5А для реализации двухполярного питания.

5.4. Требования к системе

5.4.1. Требования к системе в целом

5.4.1.1. Требования к структуре и функционированию системы

Система должна соответствовать структурной схеме, показанной на рис. 15. В состав подсистем входят:

- испытуемый АД (на рис. 15 ИД);
- нагрузочный ГПТ (на рис. 15 НМ);
- измерительная подсистема стенда ИС;
- комплект датчиков Д1...Д15;
- подсистема силовой части и управления ГПТ (на рис. 15 СУНМ);
- блок защит стенда БЗ;
- монтажная панель стенда МП;
- ПК.

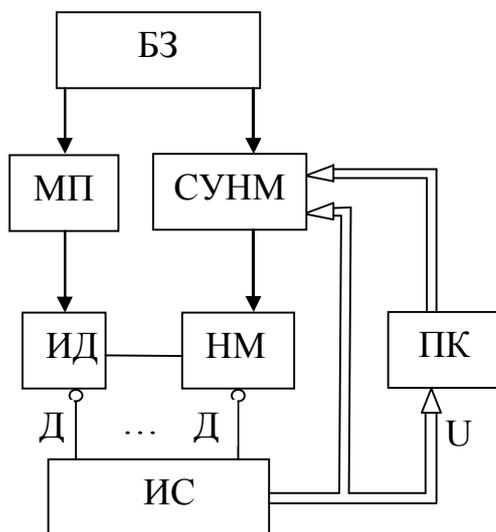


Рис. 15. Принципиальная схема стенда

В роли нагрузочной электрической машины выступает электродвигатель 4ПНМ 112 L04 с номинальной мощностью 2,5 кВт.

Измерительная подсистема стенда должна включать в себя плату АЦП с числом каналов не менее 15, а также комплект датчиков для измерения основных физических параметров испытуемого АД и нагрузочной машины (см. п. 4.3.6).

Блок защит стенда предусматривает защиту от короткого замыкания и перегрузок по току.

Информационный обмен между измерительной подсистемой и ПК должен осуществляться по интерфейсу USB 2.0.

5.4.1.2. Требования к численности и квалификации персонала системы

Количество одновременных пользователей системы ограничивается безопасным использованием системы.

Пользователь должен обладать необходимыми знаниями и навыками для безопасной и эффективной работы с системой и иметь соответствующую группу допуска.

Режим работы с системой – непродолжительный. Длительность проведения испытаний не превышает 30 минут.

5.4.1.3. Показатели назначения

Система должна иметь возможность:

- формирования на валу АД исследуемого электропривода типовых статических моментов нагрузки с возможностью программного изменения;
- мониторинга основных параметров исследуемого электропривода на базе АД и нагрузочного ГПТ.

5.4.1.4. Требования к надежности

Наработка на отказ системы должна составлять не менее 1000 часов. В случае отказа отдельных подсистем или элементов системы должна предусматриваться сигнализация о наступлении данных событий.

5.4.1.5. Требования к безопасности

На всех этапах разработки и эксплуатации система должна отвечать требованиям безопасности, предъявляемыми правилами устройства электроустановок последней редакции на момент создания системы.

5.4.1.6. Требования к эргономике и технической эстетике

Система должна обладать эргономичным дизайном и интуитивно-понятным пользователю интерфейсом.

5.4.1.7. Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы

В соответствии с требованиями для нормального функционирования вычислительной техники в помещениях при работе системы должны быть обеспечены следующие условия:

- температура окружающего воздуха 30 ± 15 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха 80 ± 10 %;
- атмосферное давление от 84 до 107 кПа (680-800 мм ртутного столба);
- запыленность воздуха в помещении – не более 1 мг/м^3 при размере частиц не более 3 мкм;
- напряженность внешнего электрического поля должна быть не более 0,3 В/м;
- напряженность внешнего магнитного поля должна быть не более 5,0 А/м;
- частота вибрации должна быть не более 25 Гц при амплитуде смещений не более 0,1 мм.

5.4.1.8. Требования к защите информации от несанкционированного доступа

К системе не предъявляются специфические требования к защите информации от несанкционированного доступа.

5.4.1.9. Требования по сохранности информации при авариях

Система должна обеспечивать возможность архивирования информации в т.ч. при аварийных ситуациях.

5.4.1.10. Требования к защите от влияния внешних воздействий

Система должна быть устойчива к воздействиям температуры и влажности окружающего воздуха по группе В1 ГОСТ 12977-84 "Температура и влажность окружающей среды. Места размещения при эксплуатации", и к воздействию механических факторов по группе L2 ГОСТ 12977-84, "Места размещения, защищенные от существенных вибраций" а для вычислительной техники – по группе 3 ГОСТ 21552-84 "Средства вычислительной техники. Общие технические требования, правила приемки, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение".

Технические средства системы должны обеспечиваться защитой от внешних электрических и магнитных полей, а также помех по цепям питания.

5.4.1.11. Требования к патентной частоте

По окончании работ над системой должна быть подана заявка на патент.

5.4.1.12. Требования по стандартизации и унификации

При построении системы необходимо максимальное использование унифицированных и соответствующих стандартам МЭК узлов и изделий.

5.4.2. Требования к функциям (задачам), выполняемым системой

Измерительная подсистема должна обеспечивать измерение и аналого-цифровое преобразование следующих параметров испытуемого электродвигателя и нагрузочной машины:

- фазных токов АД;
- фазных напряжений АД;
- тока якоря ГПТ;
- напряжения якоря ГПТ;
- электромагнитного момента;
- температуры в трех точках корпуса испытуемого электродвигателя;
- скоростей вращения ротора.

Система управления нагрузочной электрической машины должна обеспечивать имитацию формирования типовых статических моментов:

- активной нагрузки;
- нагрузки типа «сухое трение»;
- нагрузки типа «вязкое трение»;
- нагрузки вентиляторного типа.

Кроме того, система должна иметь возможность программного задания момента нагрузки.

Подсистема силовой части и управления должна обеспечивать:

- включение/отключение стенда, АД, ГПТ, инвертора;
- задание статического момента.

ПК выполняет функции построения и отображения графиков параметров, измеряемых измерительной подсистемой, а также производит их последующее архивирование.

Блок защит стенда предусматривает наличие защиты от короткого замыкания и перегрузок по току при помощи автоматических выключателей как системы в целом (АВ «СЕТЬ»), так и подсистем в частности (АВ «АД», «ДПТ» и «Инвертор»).

5.4.3. Требования к видам обеспечения

5.4.3.1. Требования к математическому обеспечению системы

Система должна реализовывать необходимые алгоритмы измерения, отображения и преобразования измеряемых данных, а также алгоритмы управления, обеспечивающие требуемый закон изменения электромагнитного момента ГПТ.

5.4.3.2. Требования к информационному обеспечению системы

Сохранение данных об измеряемых параметрах системы предполагается в текстовом формате.

Структура данных в файле – распределенная по измеряемым параметрам системы.

5.4.3.3. Требования к программному обеспечению системы

ПО системы должно быть:

- лицензионным;
- совместимым с ОС ПК и другим ПО системы.

Допускается использование свободно – распространяемого ПО или ПО оригинальной разработки при условии его полного совместимости с другими программными продуктами системы.

5.4.3.4. Требования к техническому обеспечению

Система должна быть укомплектована:

- нагрузочной машиной ГПТ и инвертором;
- комплектом датчиков, необходимых для проведения измерений требуемых параметров системы;
- платой АЦП, необходимой для преобразования сигналов с датчиков, с числом каналов не менее 15, частотой дискретизации 500 кГц и разрядностью 12 бит;
- ПО и ПК для обеспечения отображения, архивирования и вывода показателей датчиков с АЦП в графическом виде.

5.4.3.5. Требования к метрологическому обеспечению

В системе должно производиться измерение и аналого-цифровое преобразование следующих параметров:

- фазных токов АД;
- фазных напряжений АД;
- токи якоря ГПТ;
- напряжения якоря ГПТ;
- электромагнитного момента;
- температуры в трех точках корпуса испытуемого электродвигателя;
- скоростей вращения ротора и якоря.

Требования к метрологическим характеристикам датчиков измеряемых величин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к метрологическим характеристикам датчиков

Величина	Диапазон	Точность (при 25 °С)	Напряжение питания	Тип датчика
Ток	1,5...25 А	не более 1%	± 15 В; +5 В	бесконтактный
Напряжение	50...600 В	не более 1%	± 15 В	бесконтактный
Момент	1...50 Н·м	не более 1%	± 15 В; +24 В; +5 В	контактный/ бесконтактный
Температура	15...100 °С	не более ±2°С	+5 В	микросхема
Частота вращения	до 5000 об/мин	не более 1%	+24 В; +5 В	осевой

5.4.3.6. Требования к методическому обеспечению

К системе должны быть разработаны необходимые методические инструкции и правила для эффективного и безопасного использования.

5.5. Состав и содержание работ по созданию системы

Содержание работ по созданию системы составляет:

1. Эскизный проект:

- разработка предварительных проектных решений по системе и её частям;
- разработка документации на систему.

2. Технический проект:

- разработка проектных решений по системе и её частям;
- разработка документации на систему и её части;

3. Рабочая документация:

- разработка рабочей документации на систему и её части;
- разработка или адаптация программ.

4. Ввод в действие:

- подготовка системы к вводу в действие;
- комплектация системы поставляемыми изделиями (программными и техническими средствами, программно-техническими комплексами, информационными изделиями);
- строительные-монтажные работы;
- пусконаладочные работы;
- проведение предварительных испытаний;
- проведение опытной эксплуатации;
- проведение приёмочных испытаний.

5.6. Порядок контроля и приемки системы

5.6.1. Виды, состав, объем и методы испытаний системы

Для системы должны устанавливаться этапы испытаний:

- предварительные испытания;
- опытная эксплуатация;
- приемочные испытания.

Программы испытаний должны предусматривать следующие виды проверок:

- проверка комплектности комплекса технических средств и стандартной технической документации;
- проверка состава и содержания документации технорабочего проекта;
- автономная проверка готовности комплекса технических средств;
- проверка реализации функций системы на соответствие требованиям ТЗ.

5.6.2. Общие требования к приемке работ по стадиям

Календарный план создания системы приведен в табл. 2.

Таблица 2

Календарный план создания системы

Стадия создания	Срок реализации стадии	Перечень документов, предъявляемых по окончанию стадии
Функциональная схема системы	10.08. – 18.08.2012	Функциональная схема системы
Выбор оборудования		Спецификация оборудования
ПЭС системы		ПЭС системы

Стадия создания	Срок реализации стадии	Перечень документов, предъявляемых по окончанию стадии
Изготовление нестандартных узлов системы	19.08. – 27.08.2012	Общее описание системы
Монтаж системы	28.08. – 04.09.2012	Схема соединений внешних проводок; Перечень входных сигналов и данных; Перечень выходных сигналов; Таблица соединений и подключений
Проведение испытаний системы	05.09. – 10.09.2012	Протокол испытаний; Акт завершения работ; Инструкция по эксплуатации

5.7. Требования к документированию

1. Необходимый перечень документов:

- схема функциональной структуры;
- перечень входных сигналов и данных;
- перечень выходных сигналов;
- спецификация оборудования;
- схема соединений внешних проводок;
- таблица соединений и подключений;
- схема принципиальная;
- общее описание системы;
- акт завершения работ;
- протокол испытаний;
- инструкция по эксплуатации.

2. Все документы должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД и ЕСПД.

Заключение

Научно-технический отчет представляет собой результат создания математической модели, комплексно описывающей основные аспекты, влияющие на потери энергии в процессе функционирования электропривода горной машины в динамических режимах, реализацию на ее базе программного средства, позволяющего выполнить вычислительные эксперименты, дающие полное представление о протекающих в нем динамических процессах, а также перечень требований, предъявляемых к силовой и информационной подсистемам экспериментальной установки, которая позволит в дальнейшем оценить адекватность математической модели.

На этапе подготовки технического задания на средства вычислительных экспериментов сформулированы следующие базовые требования:

1. Программный комплекс должен включать программные блоки, обеспечивающие функции ввода данных для модели и параметров эксперимента, реализации модели и отображения полученных результатов, а также архивации расчетных данных.
2. При построении подсистемы реализации модели должно использоваться адекватное математическое обеспечение.

Данные требования в полном объеме реализованы на этапе разработки математической модели и этапе разработки программных средств, что обеспечило корректное проведение вычислительных экспериментов, которые подтвердили высокий потенциал для энергосбережения и ресурсосбережения в электроприводах горных машин, работающих в высокодинамичных режимах, за счет внедрения энергооптимальных систем управления. Тем не менее, количественная оценка полученных результатов нуждается в экспериментальном уточнении.

На этапе подготовки технического задания на средства натуральных экспериментов сформулированы следующие основные требования:

1. Система должна имитировать различные механические нагрузки, характерные для электроприводов ГМ
2. Информационное обеспечение должно предоставлять данные, как о текущих измеряемых координатах, так и об переменных состояниях, отвечающих за энергетические режимы работы.
3. Аппаратное обеспечение должно обеспечивать необходимые защиты и иметь требуемую надежность.
4. Данные, полученные в результате экспериментов должны обладать функцией программной совместимости с результатами вычислительных экспериментов.

Реализация данных требований позволит осуществить проверку адекватности комплексной математической модели.

Список использованных источников

1. ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.
2. ГОСТ 34.601-90. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.
3. РД 50-34.698-90. Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.
4. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
5. К.П. Ковач, И. Рац. Переходные процессы в машинах переменного тока. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.
6. Копылов И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Молодкин, Б.Ф. Токарев; под ред. И.П. Копылова. – В 2-х кн.: кн. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 464 с.
7. Домбровский В.В. Асинхронные машины: Теория, расчет, элементы проектирования / В.В. Домбровский, В.М. Зайчик. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 368 с.
8. Вейц В.Л. Динамика управляемого электромеханического привода с асинхронными двигателями / В.Л. Вейц, П.Ф. Вербовой, А.Е. Кочура, Б.Н. Куценко. – Киев: Наук. думка, 1988. – 272 с.
9. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивными роторами. – М.: Энергия, 1979. – 160 с.
10. Якимов В.В. Проблемы учета потерь в стали при расчете переходных процессов в электрических машинах переменного тока // Тез. докл. II Международной конференции по электромеханике и электротехнологии, 1-5 окт. 1996. – Крым, 1996. – Часть 1. – С. 172-174.
11. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
12. Фильц Р.В. Дифференциальные уравнения напряжений насыщенных неявнополюсных машин переменного тока // Известия вузов. Электромеханика. – 1966. – №11. – С.1195-1203.
13. Виноградов А.Б. Динамическая модель частотно-управляемого асинхронного двигателя с учетом потерь в стали и насыщения / А.Б. Виноградов, А.Е. Круглов // Тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии», 4-6 июня 2003. – Иваново, 2003. – Том 1. – С. 226.
14. Виноградов А.Б. Новые серии многофункциональных векторных электроприводов переменного тока с универсальным микроконтроллерным ядром / А.Б. Виноградов, В.Л. Чистосердов, А.Н. Сибирцев и др. // Привод и управление. – 2002. – №3. – С. 5-10.

15. Виноградов А.Б. Адаптивная система векторного управления асинхронным электроприводом / А.Б. Виноградов, В.Л. Чистосердов, А.Н. Сибирцев // Электротехника. – 2003. – №7. – С. 7-17.
16. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
17. Завьялов В.М. Управление динамическим состоянием асинхронных электроприводов горных машин: дис. ... д-ра техн. наук. – Кемерово, 2009. – 327 с.
18. Завьялов В.М. Многокритериальное управление асинхронным электроприводом / В.М. Завьялов, А.А. Неверов, И.Ю. Семькина // Вестн. КузГТУ. – 2005. – №1 – С.81-84.

Приложение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2012611705

Программный продукт для сравнения типовых систем
управления асинхронным электроприводом

Правообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ) (RU)*

Автор(ы): *Семькина Ирина Юрьевна (RU)*

Заявка № 2011619646

Дата поступления 15 декабря 2011 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
15 февраля 2012 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

