

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод шламового насоса

УДК62-83-523.621.65:622.765

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Хомяков Павел Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Хомякову Павлу Викторовичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод шламового насоса

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе:

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)

- Электропривод механизма шламового насоса;
- Нагрузка – реактивная;
- Режим работы – повторно-кратковременный;
-

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Изучить технологический процесс; - Выбрать преобразователь частоты и двигатель; - Рассчитать статические характеристики электродвигателей; - Разработать имитационную модель электропривода;
Перечень графического материала:	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусев Н.В.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Хомяков Павел Викторович		05.04.2018г.

Реферат

Ключевые слова: частотно-регулируемый, электропривод, шламовый насос, скалярное управление.

Объектом исследования является электропривод шламового насоса.

Цель работы заключается в разработке и исследовании системы управления электродвигателя с преобразователем частоты, для регулирования скорости вращения шламового насоса.

В процессе работы проводились исследования частотно-регулируемого электропривода.

В результате исследования была собрана имитационная модель и сняты динамические характеристики.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007. Были использованы: среда имитационного моделирования – Matlab R2010b, система компьютерной алгебры – MathCad 14.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС	12
1.1 Технологический процесс производства цемента на предприятии ООО "Топкинский цемент"	12
1.2 Технические требования к электроприводу насоса	17
2 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШЛАМОВОГО НАСОСА	20
2.1 Выбор шламowego насоса и расчет мощности электродвигателя	20
3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА	26
3.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя	26
3.2 Расчет естественных механических характеристик	29
3.3 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода	33
4 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШЛАМОВОГО НАСОСА	37
4.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением	37
4.2 Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой	40
4.3 Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой	41
4.4 Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя	43
4.5 Динамические характеристики электропривода шламowego насоса	45
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	47
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	48

5.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	48
5.2 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода	50
5.3 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)	52
5.4 Планирование проектных работ	54
5.5 Расчет сметы затрат на проектирование	58
5.6 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта	59
5.7 Оценка рисков при создании проекта	60
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	64
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	66
Введение	66
6. Производственная безопасность	66
6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	66
6.1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	69
6.2 Экологическая безопасность	70
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	71
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
CONCLUSION	75
Список литературы:	76

ВВЕДЕНИЕ

Область применения шламового насоса

Предназначены шламовые насосы для перекачивания гравийных, песочно-гравийных, шлаковых, золошлаковых и других абразивных гидросмесей.

Шламовые насосы обеспечивают перекачивание гидросмесей с высокой плотностью твердых фракций (до 2500 кг/м³) и с крупностью твердых частиц до 20 мм.

Шламовые насосы ГШН:

Горизонтальный шламовый насос типа ГШН (6Ш8). - центробежный горизонтальный консольный, одноступенчатый с рабочим колесом одностороннего входа, с осевым подводом жидкости, с приводом от электродвигателя через втулочно-пальцевую муфту. Насос и электродвигатель установлены на общей фундаментной плите. Рабочие органы насоса ГШН изготовлены из стали 40Х.

Быстроизнашивающимися деталями насоса являются:

- рабочее колесо;
- защитный диск (бронеплита) - только для ГШН-150;
- втулка подсальниковая.

Конструкция насоса: На чугунной станине насоса 6Ш8, ГШН устанавливается спиральный корпус и вал с подшипниками. Рабочее колесо закреплено на валу с помощью резьбового соединения. Передняя крышка насоса защищена от износа бронедиском. Подшипники и масляная ванна Насосов ГШН150, ГШН-250,6Ш8, защищены от попадания в них перекачиваемой пульпы кольцом отбойным и манжетами.

Уплотнением вала с напорной стороны служит сальниковая набивка, которая по мере износа поджимается крышкой сальника. Для разгрузки подшипников в рабочем колесе имеются разгрузочные отверстия. Для охлаждения подшипников используется подача чистой воды.

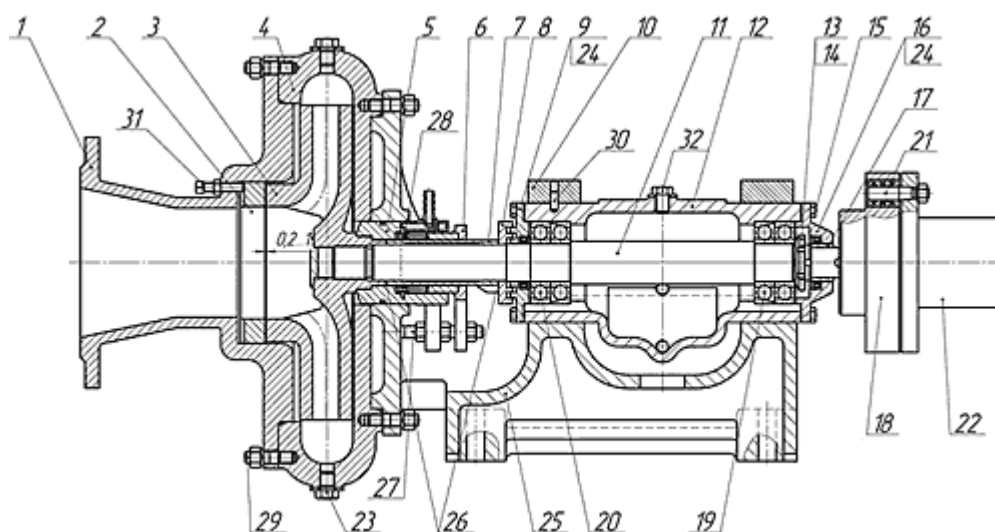


Рисунок 1- Шламовый насос типа ГШН

1. Всасывающий патрубок; 2. Кольцо уплотнительное; 3. Колесо рабочее; 4. Корпус спиральный; 5. Корпус уплотнения; 6. Корпус сальника; 7. Втулка (подсальниковая); 8. Кольцо лабиринтное; 9. Крышка подшипника передняя; 10. Скоба; 11. Вал; 12. Корпус подшипника; 13. Гайка; 14. Шайба; 15. Болты; 16. Крышка подшипниковая задняя; 17. Втулка; 18. Полумуфта шламового насоса; 19. Подшипник 346310; 20. Подшипник 310; 21. Пальцы муфты; 22. Полумуфта эл. дв.; 23. Пробка; 24. Манжета 1.2-50x70; 25. Корпус шламового насоса; 26. Кольцо регулировочное; 27. Шпилька М16х125; 28. Кольцо сальника; 29. Шпилька М16х125; 30. Штифт; 31. Винт регулировачный М12х55; 32. Пробка подшипниковая. [1]

Шламовые насосы Warman:

Насосы “ АН, АНР, НН, S, L, М, ZGB, Z, G, SP ” – центробежные, консольные одностороннего действия, с осевым входом, они делятся на горизонтальные и вертикальные типы. Конструктивные особенности вызваны наличием крупногабаритных абразивных включений в перекачиваемой жидкости-пульпе, конструкция насоса дает возможность относительно легко и быстро заменять подвергающийся износу внутренний корпус, состоящий из футеровки и защитного диска, напорный

патрубок регулируется с шагом 45° в плоскости перпендикулярной оси вала.

Шламовые насосы серий АН, АНР, НН, L, LR, М

Шламовые насосы серий АМ, НН, L, М имеют сменную футеровку и рабочее колесо из высокохромистого белого чугуна. Рабочие колеса и футеровка изготавливаются из высокохромистого белого чугуна, сплав с высоким содержанием хрома 27%.

Шламовые насосы серий АНР, LR имеют сменную футеровку из износостойкой резины. Рабочее колесо и футеровка изготавливаются из износостойкой резины. Насосы с резиновой футеровкой лучше использовать в агрессивных средах. Мягкая поверхность легко поглощает удары частиц.

Шламовые насосы серии НН являются консольными, горизонтальными, центробежными шламовыми насосами, разработаны для достижения высокого напора при высоких давлениях. Используются транспортирования шлама на большие расстояния.

Шламовые насосы типа М подходят для перекачки среднеабразивных шламов средней плотности для подразделений металлургических, горнодобывающих, угольных и строительных предприятий. Уплотнение вала может быть как сальниковым, так и центробежным.

Преимущества насосов

Подшипниковый узел – это вал большого диаметра с коротким выступом, минимизирующим отклонения и способствующим длительному сроку службы подшипника. Необходимо всего четыре сквозных анкерных болта для фиксации корпуса кассетного типа в станине.

Уплотнение вала может быть набивным, центробежным и механическим. По запросу напорный патрубок может быть расположен с интервалами 45° и ориентирован в любое из восьми положений, подходящее для монтажа и эксплуатации.

Футеровка легко поддается замене, крепится к корпусу болтами для хорошего прилегания и простоты техобслуживания. Твердосплавная футеровка полностью заменяема на формованный под давлением эластомер. Уплотнительные кольца из эластомера проложены по всем местам соединения футеровки.

Корпус – половинки корпуса из чугуна или ковкого чугуна с внешними ребрами жесткости обеспечивают высокое рабочее давление и дополнительную безопасность.

Рабочее колесо – передний и задний бронедиск имеют лопатки, которые снижают рециркуляцию и загрязнение уплотнения. Твердосплавные и эластомерные рабочие колеса полностью заменимы. Литая резьба рабочего колеса не требует вкладышей или гаек. Имеются также высокопроизводительные модели, рассчитанные на большую высоту напора.

Цельная станина – это очень прочная цельная опорная рама для подшипникового узла и вала. Внешний механизм регулировки рабочего колеса находится под корпусом подшипника для простоты регулировки зазора рабочего колеса.

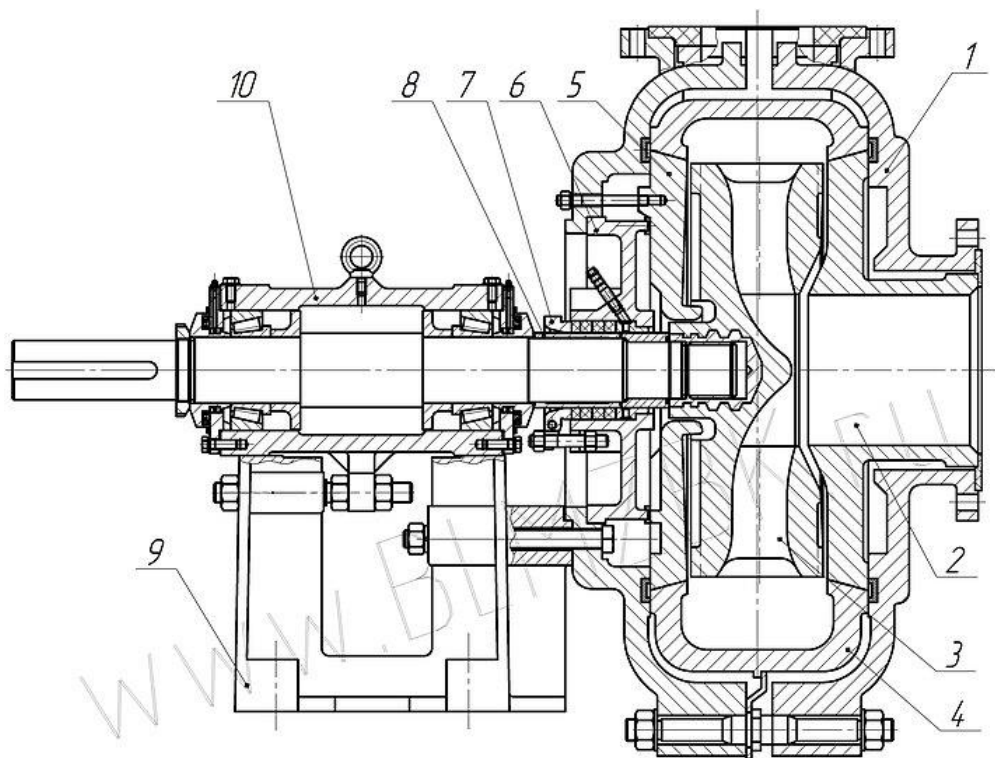


Рисунок 2-Шламовый насос Warman

1. Корпус наружный; 2. Диск всасывающий; 3. Колесо рабочее; 4. Корпус внутренний; 5. Диск задний; 6. Корпус сальника; 7. Крышка сальника; 8. Втулка защитная; 9. Корпус станина; 10. Подшипниковый узел в сборе. [2]

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

1.1 Технологический процесс производства цемента на предприятии ООО "Топкинский цемент"

История Топкинского цементного завода началась в послевоенном 1946 году. Именно тогда предварительная разведка Соломинского месторождения известняков показала: горная порода пригодна для производства качественного цемента. 20 лет ушло на разработку проектной документации, подготовку и ведение строительных работ. В строй действующих предприятий завод вступил 30 января 1966 года, когда государственная комиссия приняла в эксплуатацию технологическую линию №1. Уже через год была запущена вторая производственная линия, в 1970 году начала работу третья. В 1971-м с вводом четвертой линии годовая мощность завода достигла 2,4 млн. тонн клинкера и 2,7 млн. тонн цемента. В 2010 была запущена пятая печь.

Генеральный проектировщик - «Гипроцемент». Проектная мощность завода 3,7 тыс. тонн цемента в год.

В сегодняшнее время ООО «Топкинский цемент» входит в структуру ОАО «Холдинговая Компания «Сибирский цемент», с Управляющей компанией в г. Кемерово.

Рассмотрим технологический процесс производства.

ООО «Топкинский цемент» осуществляет выпуск цемента с полным циклом, т.е. от добычи сырья до отгрузки.

Способ производства цемента – мокрый.

Сырьевой базой для производства цемента является:

Соломинское месторождение известняков и глин, где соответственно добываются:

- известняк;

- глина.

Корректирующие добавки:

- трифолин;
- шлак железосодержащий;
- антрацит (выгорающая добавка).

Минерализатор:

- руда флюоритовая

Минеральные добавки (активные):

- шлак доменный гранулированный.

Водоснабжение:

- технологическая вода – система водоотлива карьера;
- питьевая вода – артезианская скважина №143 Д, ООО «Топкинский водоканал».

Производственная структура – цеховая:

- Основные производственные подразделения: цех «Горный», цех «Дробильный», цех «Сырьевой», цех «Обжиг», цех «Помол», цех «Готовая продукция».

- Вспомогательные подразделения: цех «Транспортный», цех «Лаборатория и ОТК», цех «КИПиА», цех технического обслуживания оборудования, цех «Автотракторный», Складское хозяйство, «Пароводоцех», «Электроцех», Газовая служба.

Цех «Горный» (в карьере) добывает известняк и глину, с помощью горного оборудования: экскаваторы: ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЕК-400, LIEBHERR, буровой станок D245S DRILTECH.

Цех «Дробильный», осуществляет дробление известняка, на оборудовании: две щековые дробилки размером зева 1400×1800, две молотковые дробилки марки СМД – 97А с системой конвейеров.

Цех «Сырьевой» осуществляет производство шламов (высокотитрованного, корректирующих) с использованием оборудования: три грейферных крана, девять шаровых мельниц, в том числе пять из них 3,0×14 и четыре 3,2×15.

В состав цеха «Сырьевой» входит отделение «Гидрофол» для переработки закарстованного сырья и корректирующих добавок. Оборудование отделения «Гидрофол»: экскаватор ЭКГ – 4У, две мельницы самоизмельчения и две шаровые мельницы домола. ГШБ и ВШБ для приготовления и хранения шлама.

Цех «Обжиг» осуществляет производство клинкера пятью вращающимися печами размером 5x185, также в цехе установлены электрофильтры (УГ-3-4x88, ПГД-4x50, ELEX AG NTF 3429 В3x50) и клинкерные холодильники (Волга 75-СА, Волга КС-75, ЕТА-746).

Цех «Помол» производит цемент на девяти цементных мельницах. Размеры цементных мельниц: 3,2x15 (мельницы № 6,8,9 замкнутого цикла с сепараторами, мельницы № 1-5,7 открытого цикла). После помола цемент пневмокамерными насосами транспортируется в 12 цементных силосов.

В состав цеха «Помол» входит Шлакосушильное отделение с двумя шлакосушильными барабанами 3,5x27.

Цех «Готовая продукция» осуществляет отгрузку готового продукта – цемента.

Добыча сырья, производство полуфабрикатов и готового продукта осуществляется согласно требованиям Технологического регламента (комплект документов на технологический процесс производства цемента) ТР 53086734-1.1-13.

Технологический регламент включает:

- технологическую схему производства;
- нормы расхода сырья, добавок и минерализатора на тонну клинкера;
- нормы расхода клинкера, активных минеральных добавок и камня гипсового и гипсоангидритового на тонну цемента;
- норму расхода газообразного топлива на обжиг тонны клинкера.

- характеристики установленного оборудования и режимов его работы;
- технические требования к сырью, полуфабрикатам и готовому продукту;
- этапы контроля технологических процессов.

Среди регионов потребителями Топкинского цемента являются: Кемеровская; Тюменская; Новосибирская; Омская область; Алтайском край; Казахстан и т.д.. Потребителями тампонажного цемента – являются нефти и газодобывающие предприятия, расположенные в Томской и Тюменской областях.

Подробно коснемся технологического процесса подачи рабочего шлама во вращающиеся печи.

Для подачи рабочего шлама на вращающиеся печи №№ 1-5 установлено четыре насоса 6ФШ-7А (производительностью 200 м³/ч каждый) и один насос типа ГрАТ (производительностью 450 м³/ч).

В насосной станции горизонтальных бассейнов №№ 7-8 установлены два насоса 6ФШ-7А. Один из насосов осуществляет транспортировку шлама на печи №№ 3-4, второй на печь № 5 по отдельным шламовым магистралям. [3]

На рисунке3 представлена схема подачи рабочего шлама.

Исходя из технических характеристик насосов 6 ФШ-7А (а именно их производительности – 200 м³/ч) данное оборудование может обеспечить подачу шлама только на две печи. При работе пяти печей в работе одновременно должно находиться три шламовых насоса 6 ФШ-7А.

В данной работе будет подробно рассмотрен электропривод насоса Warman, который изображен на рисунке 3 под номером 5.

1.2 Технические требования к электроприводу насоса

К электроприводу насоса предъявляются следующие требования:

Высокоэффективного перекачивания, при этом устраняется необходимость в регулирующих клапанах, которые неэффективно использовались для снижения расхода воды, и нет нужды недогружать насосы, что происходит при их работе с постоянной скоростью.

Плавного пуска, помогающего избежать пиков давления и вытекающей отсюда нагрузки на выходные трубы. Это снижает риск повреждений и утечки, а также внезапных колебаний давления, которые вызывают вибрацию труб, сопровождаемую звуками, напоминающими стук молотка, называемые обычно "трамбовкой". Интенсивная трамбовка может даже вызвать разрыв труб, в то время как внезапное понижения давления может, наоборот, вызвать вдавливание. Кавитация может также вызвать коррозию трубопровода. Постепенная, а не внезапная остановка насосов к тому же предотвращает одинаково вредные для труб пики давления. Более того, она снижает износ подшипников и редукторов насоса. С помощью настройки длительности разгона и торможения можно оптимизировать процесс запуска и останова.

Преимущества использования частотных преобразователей.

Плавная регулировка скорости вращения электродвигателя позволяет в большинстве случаев отказаться от использования редукторов, дросселей и другой регулирующей аппаратуры. Это значительно упрощает механическую систему, повышает ее надежность и снижает эксплуатационные расходы.

При использовании частотного преобразователя пуск двигателя происходит плавно, без пусковых токов и ударов, что уменьшает нагрузку на двигатель и механику, увеличивает срок их жизни. Применение частотных преобразователей с обратной связью обеспечивает точное поддержание скорости вращения при переменной нагрузке, что во многих

задачах позволяет значительно улучшить качество технологического процесса.

Для питающей сети преобразователь является чисто активной нагрузкой и потребляет ровно столько энергии, сколько требуется для выполнения механической работы (с учетом КПД преобразователя и двигателя).

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем может применяться для замены приводов постоянного тока. В этом случае значительно снижаются эксплуатационные затраты, повышается перегрузочная способность, а соответственно и надежность системы.

Применение регулируемого частотного электропривода позволяет экономить энергию путем устранения непроизводительных затрат энергии в дроссельных заслонках, механических муфтах и других регулирующих устройствах. При этом экономия прямо пропорциональна непроизводительным затратам и может достигать 80%.

Основные возможности.

Частотный преобразователь позволяет регулировать выходную частоту в пределах от 0 до 400 Гц.

Разгон и торможение двигателя осуществляется плавно (по линейному закону), время разгона и торможения можно настраивать в пределах от 0.1 сек до 30 мин. Возможен плавный реверс двигателя.

При разгоне происходит автоматическое увеличение момента для компенсации инерционной нагрузки. Момент при пуске достигает 150% от номинального.

Частотные преобразователи обеспечивают полную электронную защиту преобразователя и двигателя от перегрузок по току, перегрева, утечки на землю и обрыва линий передачи.

Преобразователь позволяет отслеживать и отображать на цифровом пульте основные параметры системы - заданную скорость, выходную частоту, ток и напряжение двигателя, выходную мощность и момент, состояние дискретных входов, общее время работы преобразователя и т.д.

В зависимости от характера нагрузки можно выбрать подходящую вольт-частотную характеристику или создать свою собственную.

Преобразователь позволяет экономить на непроизводительных затратах энергии, кроме того он имеет функцию энергосбережения. Эта функция позволяет при выполнении той же работы экономить еще от 5 до 30% электроэнергии путем поддержания электродвигателя в режиме оптимального КПД.

В режиме энергосбережения преобразователь автоматически отслеживает потребление тока, рассчитывает нагрузку и снижает выходное напряжение. Таким образом снижаются потери в обмотках двигателя и увеличивается его КПД. Режим энергосбережения хорошо подходит для следующих задач:

- управление скоростью вращения вентиляторов и насосов;
- управление оборудованием с переменной нагрузкой;
- управление машинами, которые большую часть времени работают с малой нагрузкой.

2 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШЛАМОВОГО НАСОСА

2.1 Выбор шламового насоса и расчет мощности электродвигателя

По условиям технологического процесса на три вращающиеся печи требуется подавать 400 м³/ч. готового шлама. По требуемой производительности выберем насос марки Варман.

Основные технические характеристики насоса Вр8/6Е-АН (насос Варман 8/6):

- Напор: 10 - 61 метров;
- Частота вращения: 500 - 1140 об/мин;
- Максимальный КПД: 72%;
- NPSH: 2 - 9 метров;
- Диаметр рабочего колеса - 560 мм
- Масса насоса - 1480 кг.

График рабочих характеристик насоса Вр8/6Е-АН (насос Warman 8/6, насос Варман 8/6). [2]

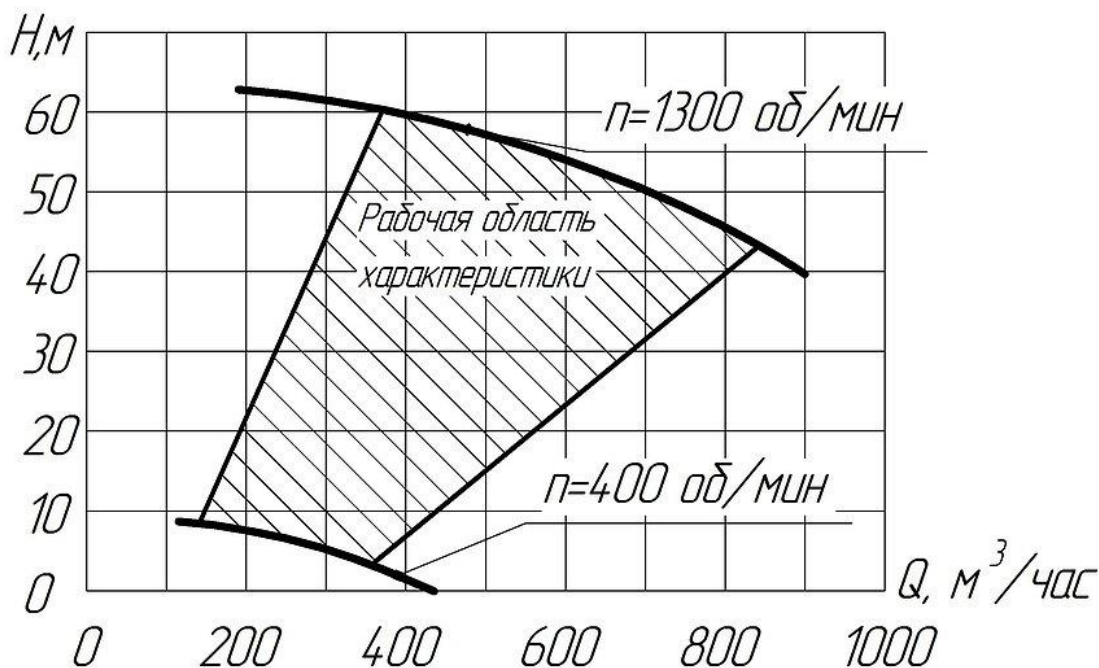


Рисунок 4- График рабочих характеристик насоса Вр8/6Е-АН

Произведем расчет мощности электродвигателя.

Мощность двигателя для привода центробежного насоса определяется по формуле

$$P = \frac{k_3 \cdot Q \cdot H \cdot \gamma}{1000 \cdot (\eta_n \cdot \eta_{\text{п}})} = \frac{1,1 \cdot 0,11 \cdot 60 \cdot 16671}{1000 \cdot (0,72 \cdot 0,9)} = 186,777 \text{ кВт};$$

где Q-подача насоса, м³/с;

H-полный напор, м(напор возьмем из графика рабочих характеристик насоса по производительности и максимальным оборотам насоса H=60 м);

γ-удельный вес перекачиваемой жидкости, Н/м³ (удельный вес шлама γ=16671 Н/м³);

k₃-коэффициент запаса, k₃= от 1,1 до 1,5 (большие значения соответствуют меньшей мощности двигателя, до 5 кВт);

η_н-КПД насоса;

η_п-КПД передачи (КПД ременной передачи η_п=0,9).

По расчетной мощности выберем двигатель:

Таблица 1-Параметры электродвигателя

Тип	Rном, кВт	пном, об/мин	Mном, Н.м	η%	Iном, А	Uно м, В	f, Гц	Cosφ	J, кг/м ²	Mпуск /Mном	I пуск /Iно м	Mмакс /Mно м
АДЧР315М4	200	1485	1285	98,5	358	380	50	0,89	3,97	2,5	7,4	3,3

Асинхронные электродвигатели для частотного регулирования (электродвигатели АДЧР) один из немногих отечественных продуктов, который активно применяется в современном машиностроении для построения высокочастотных систем, в которых необходимо обеспечить регулирование скорости электропривода во всем диапазоне (металлообрабатывающие станки, крановое и подъемное оборудование, экструдеры, намотчики, куттеры, дробильное оборудование, мельницы, размоточное оборудование, элеваторы, реакторы, прокатные станы ...). Можно сказать, что появление электродвигателей АДЧР в конце 2000-х

обусловлено нежеланием отечественных производителей окончательно упустить возможность присутствовать на высокотехнологичном рынке. К примеру, в Европе, США и Азии зарождение данного направления произошло с 20-ти летним опережением. [4]

2.2 Выбор преобразователя частоты

По мощности и току и напряжению электродвигателя выберем преобразователь частоты:

Таблица 2-Параметры ЧРП

Тип	Ном. мощность, кВт	Ном. напряж ., В	Ном. ток, А	Макс. ток, А
Danfoss VLT aqua drive	200	380	395	435



Рисунок 5-Внешний вид ЧРП Danfoss VLT aqua drive

Степень защиты корпуса IP20/шасси, IP21/NEMA 1, IP55/NEMA 12, IP66/NEMA 4X

Автоматическая настройка ПИ-контроллеров. При помощи автоматической настройки встроенных ПИ-контроллеров, привод отслеживает реакцию системы на внесенные им поправки и

соответственно корректирует их. Таким образом быстро обеспечиваются точность и стабильность работы системы.

Режим заполнения трубы. Происходит управляемое (замкнутый контур управления) заполнение трубы; предотвращает гидравлические удары, повреждения труб и разбрызгивателей.

Крайняя точка рабочей кривой. Функция обнаружения повреждений и утечек в системе. При переходе насоса в крайнюю точку рабочей кривой, привод подаст аварийный сигнал, отключит насос или произведет другое предустановленное действие.

Защита от сухого хода. VLT Aqua Drive FC-202 предотвращает преждевременный выход из строя насоса, постоянно оценивая его состояние при помощи измерений частоты и мощности.

Стандартный каскадный контроллер. Встроенный каскадный контроллер позволяет управлять тремя насосами, один из которых является неизменным ведущим.

Чередование двигателей. Логическая функция, обеспечивающая поочередную работу двух насосов. Встроенный таймер обеспечивает равные коэффициенты загрузки насосов.

Компенсация потока. В зависимости от величины потока, функция уменьшает значение уставки давления, в результате чего экономится электроэнергия.

Начальный разгон. Функция начального разгона обеспечивает быстрое ускорение насоса до минимальной скорости, начиная с которой происходит обычный разгон. Такой разгон предотвращает повреждение подшипников.

Интеллектуальный логический контроллер. VLT Aqua Drive FC-202 предоставляет функции логического последовательного управления, основанного на событиях и действиях.

Безопасность. VLT Aqua Drive FC-202 может быть оснащен опцией безопасного останова (Safe Stop) категории 3, согласно стандарту EN 954-

Функция Safe Stop препятствует непреднамеренному включению привода.

Вспомогательное оборудование. Для преобразователя частоты VLT Aqua Drive FC-202 доступен широкий ассортимент дополнительных принадлежностей, соответствующих Вашим требованиям. Подробности Вы можете найти в руководстве по эксплуатации.

Plug and Play

- Любая опция – плата последовательной связи, программируемый модуль позиционирования, плата расширения вводов-выводов и т.д. – поставляется полностью готовой к установке и работе.

Опции панели управления

- Панель местного управления LCP – графическая или числовая, комплект для удаленного монтажа.

Прикладные опции

- Плата подключения внешнего источника питания +24 В (МСВ-107).

Опции последовательной связи

- Плата PROFIBUS (МСА-101).
- Плата DeviceNet (МСА-104).
- Плата Ethernet IP (МСА-121).

I/O options

- Дополнительные универсальные вводы-выводы (МСВ 101).
- Дополнительные реле (МСВ 105).
- Расширенный каскадный контроллер (МСО-101).
- Продвинутый каскадный контроллер (МСО-102)
- Дополнительные аналоговые вводы-выводы и питающий элемент для часов (МСВ-109).

Фильтры

- Фильтр гармоник (АНФ 005/010).
- Синусоидальный фильтр (МСС 101).
- Фильтр dU/dt (МСС 102).

Прочее

- Набор IP21/NEMA1, адаптер Profibus с разъемом Sub-D, развязывающая плата для сетевых кабелей, кабель USB для подключения к ПК. [5]

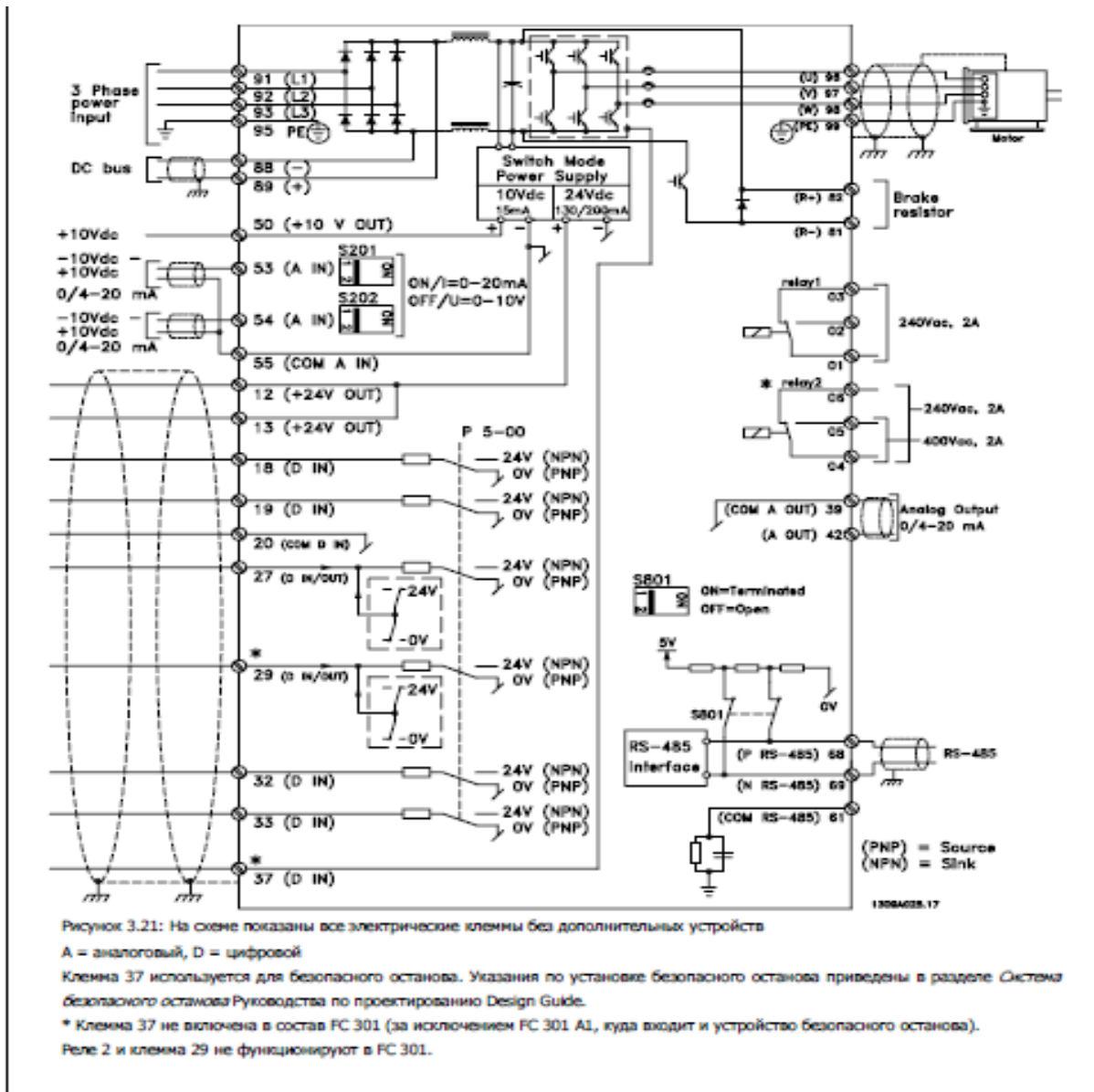


Рисунок 6- Схема ЧПП Danfoss VLT aqua drive

3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя

Параметры схемы замещения определим по методике, изложенной в [6]

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p^* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-s_H}{1-p^* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(p^* \cdot \frac{1-s_H}{1-p^* \cdot s_H} \right)^2}} = \sqrt{\frac{264.907^2 - \left(0,75 \cdot 345.669 \cdot \frac{1-0,001}{1-0,75 \cdot 0,001} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1-0,001}{1-0,75 \cdot 0,001} \right)^2}} = 86.602 \text{ A}$$

где

$$I_{1H} = \frac{P_H \cdot 1000}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{200 \cdot 1000}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,985} = 345.669 \text{ A} - \text{НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК}$$

статора;

$$I_{11} = \frac{p_z \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_z \cdot \eta_z} = \frac{200000 \cdot 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,871 \cdot 0,985} = 264.907 \text{ A} . - \text{ток фазы статора}$$

при частичной нагрузке;

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^*=0,75$;

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_H$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\cos \varphi_z = 0.985 + \Delta \cos \varphi_z = 0,871 .$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{обн}} \cdot c_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,01)}{2 \cdot 2,5 \cdot 200000 \cdot 1,017^2 \cdot \left(0,6 + \frac{1}{0,066} \right)} = 0,006717 \text{ Ом.}$$

$$\text{где } c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{86,602}{2 \cdot 7,4 \cdot 345,669} = 1,017 - \text{коэффициент}$$

характеризующий $\frac{X_{1\mu} + X_{1\sigma}}{X_{\mu}}$;

Критическое скольжение

$$s_k = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$0,01 \cdot \frac{3,3 + \sqrt{3,3^2 - (1 - 2 \cdot 0,01 \cdot 0,6 \cdot (3,3 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,01 \cdot 0,6 \cdot (3,3 - 1)} = 0,066.$$

где β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $\beta = 0,6$.

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,017 \cdot 0,006717 \cdot 0,6 = 0,004098 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_k

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,066^2} \right) - 0,6^2} = 15,066,$$

тогда

$$X_k = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 15,066 \cdot 1,017 \cdot 0,006717 = 0,103 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 0,103 = 0,043 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,043}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,0001376 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_{\kappa}}{c_1} = \frac{0,58 \cdot 0,103}{1,017} = 0,059 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,059}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,0001376 \text{ Гн}.$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(380 \cdot 0,89 - 345,669 \cdot 0,004098)^2 + (380 \cdot \sqrt{1 - 0,89^2} - 345,669 \cdot 0,043)^2} = 212,304 \text{ В}. \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{212,304}{86,602} = 2,451 \text{ Ом}.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,451}{2\pi \cdot 50} = 0,007803 \text{ Гн}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}, = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,006717}{157,08 \cdot 0,01 \cdot \left[0,103^2 + \left(2,109 + \frac{0,006717}{0,01} \right)^2 + \left(\frac{2,109 \cdot 0,006717}{0,01 \cdot 2,451} \right)^2 \right]} = 1,329 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2}, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{0,007803}{(0,007803 + 0,0001868)} \cdot 0,956 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{345,669^2 - 86,602^2} = 1,325 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 86,602 \cdot 0,007803 = 0,956, \text{ Вб.}$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,286 \times 10^3 < 1,329 \times 10^3 \leq 1,415 \times 10^3;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^* \cdot 1,329 \times 10^3 \approx 1,325 \times 10^3$$

По результатам расчета эти условия выполняются.

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.2.

Таблица 3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1, \text{ Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{ Ом}$	$L_{1\sigma}, \text{ Гн}$	$R_2', \text{ Ом}$	$X_{2\sigma}', \text{ Ом}$	$L_{2\sigma}', \text{ Гн}$	$X_\mu, \text{ Ом}$	$X_k, \text{ Ом}$	$L_\mu, \text{ Гн}$
0,004098	0,043	0,0001376	0,006717	0,059	0,0001868	2,451	0,103	0,0078

3.2 Расчет естественных механических характеристик

Естественная механическая характеристика $M(s)$ асинхронного двигателя для частоты $f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$ рассчитывается по выражению:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot \left[U_{1\text{фн}}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 \right]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \cdot s \cdot \left(\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}}} \right)^2 \right)}$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \cdot (1 - s).$$

где M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

По результатам расчёта построена механическая характеристика $\omega(M)$ (рисунок 7), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$$

Рассчитаны значения электромагнитного номинального момента

$$\begin{aligned} M_{\text{ЭМ}}(s_{\text{Н}}) = M_{\text{ЭМ}} &= \frac{3 \cdot U_{1\text{ФН}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_{\text{Н}} \cdot \left[X_{\text{кН}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{Н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_{\text{Н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,006717}{157,08 \cdot 0,01 \cdot \left[0,103^2 + \left(2,109 + \frac{0,006717}{0,01} \right)^2 + \left(\frac{2,109 \cdot 0,006717}{0,01 \cdot 2,451} \right)^2 \right]} = \\ &= 1,329 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

критического скольжения

$$s_{\text{К}} = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + (X_{\text{кН}})^2}} = 0,006717 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,004098}{2,451} \right)^2}{0,004098^2 + (0,103)^2}} = 0,065$$

и электромагнитного критического момента

$$\begin{aligned} M_{\text{ЭМ.К}}(s_{\text{Н}}) = M_{\text{ЭМ.К}} &= \frac{3 \cdot U_{1\text{ФН}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_{\text{К}} \cdot \left[X_{\text{кН}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{К}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_{\text{К}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,006717}{157,08 \cdot 0,065 \cdot \left[0,103^2 + \left(2,109 + \frac{0,006717}{0,065} \right)^2 + \left(\frac{2,109 \cdot 0,006717}{0,065 \cdot 2,451} \right)^2 \right]} = \\ &= 4,312 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя.

По выражению для скольжения $s=1$ рассчитано значение электромагнитного пускового момента $M_{\text{эм.п}}$.

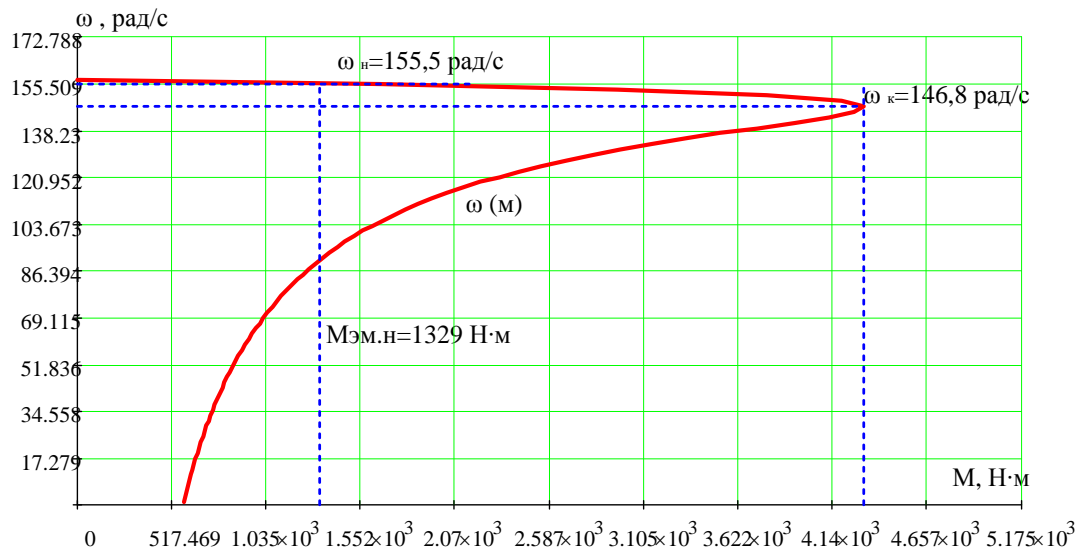


Рисунок 7- Естественная механическая характеристика электродвигателя

Момент от силы трения на валу электродвигателя

$$\Delta M_c = M_{\text{эм}} - M_{\text{дв.н}} = 1,329 \cdot 10^3 - 1,286 \cdot 10^3 = 42,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По полученным результатам определяем

– кратность пускового момента

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{эм.п}}}{M_{\text{эм.н}}} = \frac{4,244 \cdot 10^3}{1,329 \cdot 10^3} = 3,19;$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{эм.к}}}{M_{\text{эм.н}}} = \frac{4,312 \cdot 10^3}{1,329 \cdot 10^3} = 3,24;$$

– критическое скольжение

$$s_{\text{к}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{к}}}{\omega_0} = \frac{157,08 - 146,844}{157,08} = 0,065.$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя

$I_1(s, f_1)$ и $I_2(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^{\prime 2}(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)},$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - s).$$

По результатам расчета на рисунке 8 построены естественные электромеханические характеристики $\omega(I_1)$, $\omega(I_2')$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

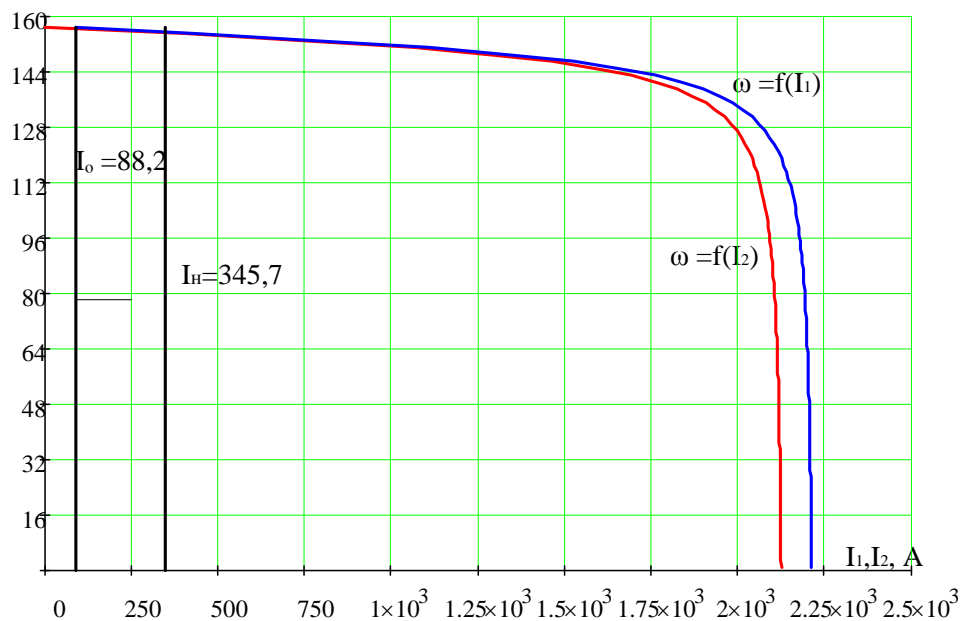


Рисунок 8 - Естественные электромеханические характеристики электродвигателя

По результатам расчета электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 88,212 \text{ А}$, номинального тока $I_n = 345,669 \text{ А}$ и пускового тока двигателя $I_{п} = 2211,9 \text{ А}$.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i = \frac{I_{п}}{I_n} = \frac{2557,9}{345,669} = 7,4$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к справочным параметрам двигателя.

3.3 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

Произведем расчет и построение механической характеристики насоса по методике изложенной в [7].

Момент от сил трения на валу электродвигателя:

$$\Delta M_C = 42,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Принимаем максимальный момент:

$$M_{\text{макс}}(\omega_n) = 1,5 \cdot M_{\text{дв.ном}} + \Delta M_C = 1,5 \cdot 1286 + 42,65 = 1972 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент постоянных потерь:

$$\Delta M_{\text{трения}} = 0,1 \cdot 0,8 \cdot M_{\text{дв.ном}} = 0,1 \cdot 0,8 \cdot 1286 = 102,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полный момент нагрузки:

$$M_{\text{нагр}} = 0,8 \cdot M_{\text{дв.ном}} = 0,8 \cdot 1286 = 1029 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Уравнение механической характеристики насоса имеет вид:

$$M_C(\omega_{\text{нагр}}) = \Delta M_{\text{трения}} + M_{\text{нагр}} \cdot (\omega_{\text{нагр}} / \omega_n)^3$$

С учетом момента от сил трения на валу электродвигателя:

$$M_{C1}(\omega_{\text{нагр}}) = M_C(\omega_{\text{нагр}}) + \Delta M_C$$

Построим механическую характеристику насоса:

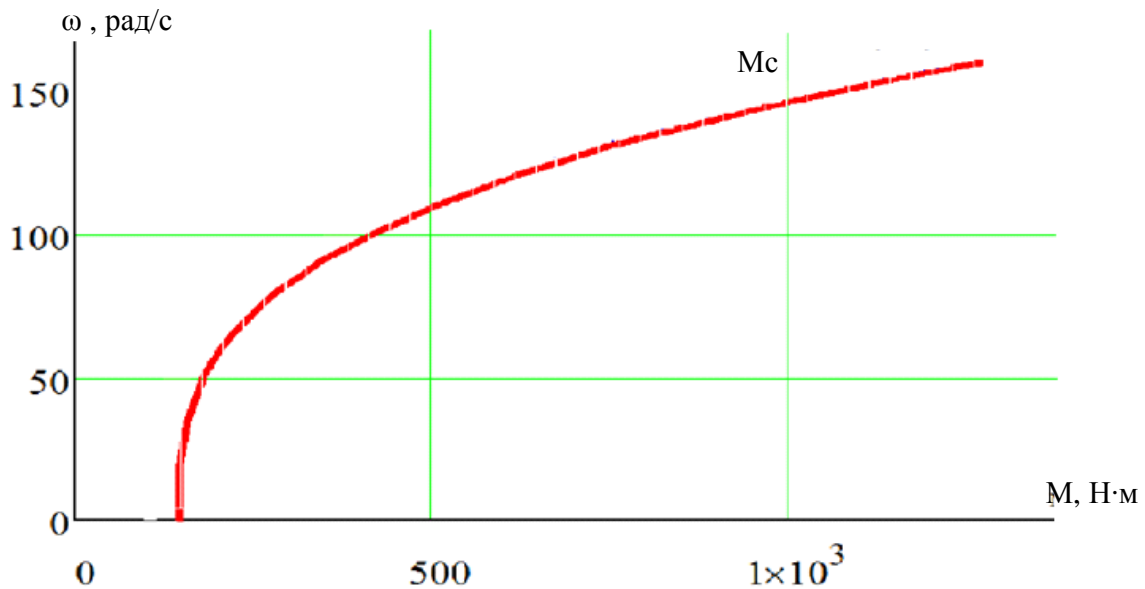


Рисунок 9- Механическая характеристика насоса.

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим выражением

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 0,006717}{\omega_{0j} \cdot 1 \cdot \left[0,103^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(0,004098 + \frac{0,006717}{1} \right)^2 + \left(\frac{0,004098 \cdot 0,006717}{1 \cdot 2,451 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

ω_{0j} – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1н}}$ – относительное значение частоты питающего

напряжения.

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 10

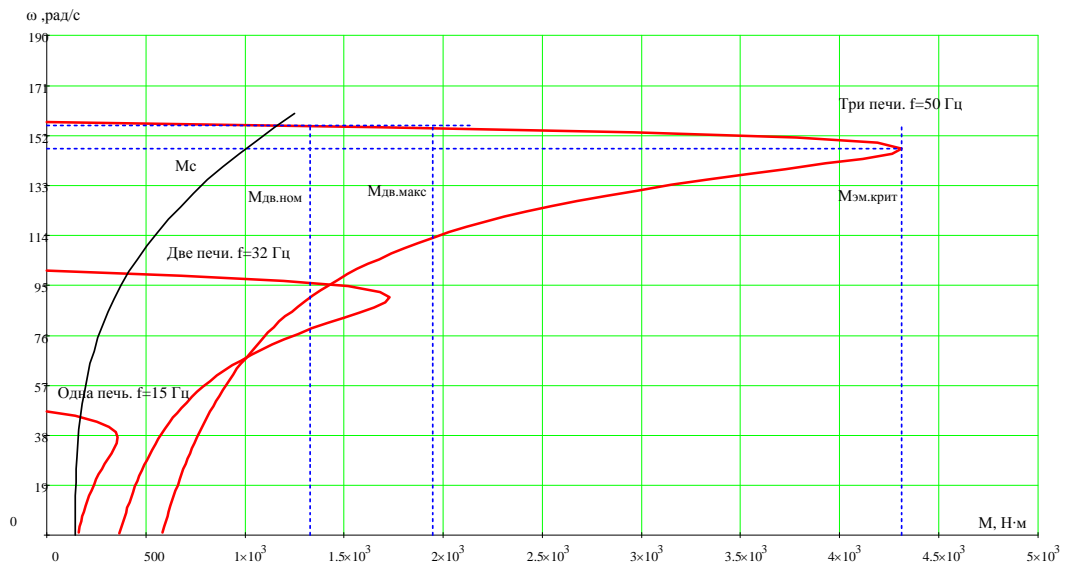


Рисунок 10 - Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Из данной характеристики видно, что при работе насоса на одну печь очень низкая кратность критического момента, что не позволит удержать момент нагрузки и приведет к остановке привода, а также столб шлама в нагнетающей трубе начнет падать и раскрутит привод в обратную сторону. Чтобы увеличить кратность критического момента необходимо ввести компенсацию по напряжению на низких частотах.

Выражение для расчета электромеханических характеристик, определяющих зависимость приведенного тока ротора от скольжения s при законе управления $U/f^2 = \text{const}$,

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot f_{1*}}\right)^2}}$$

Расчетное выражение для электромеханических характеристик $I_1 = f(s)$, отражающих зависимость тока статора I_1 от скольжения

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \phi_2(s)},$$

где
$$\sin \phi_2 = \frac{x_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}};$$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (x_{1\text{н}} + x_{\mu\text{н}})^2 \cdot f_{1*}^2}}.$$

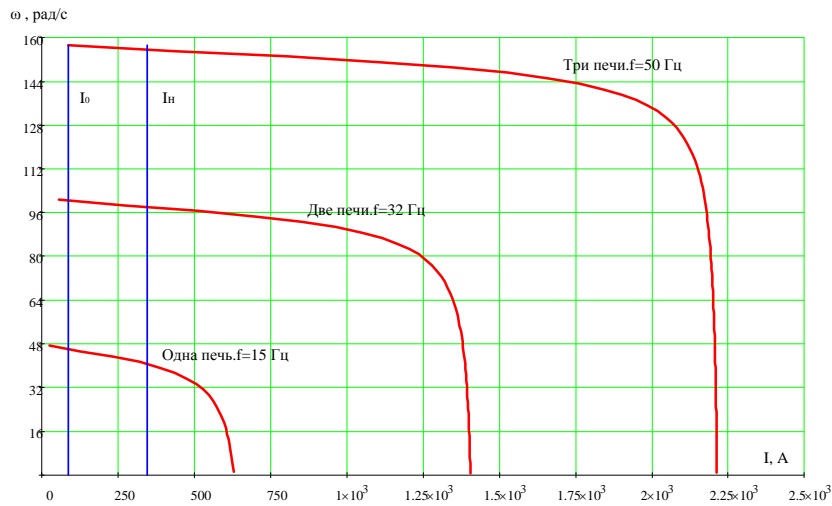


Рисунок 11 - Электромеханические характеристики $I_2'(s)$ разомкнутой системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

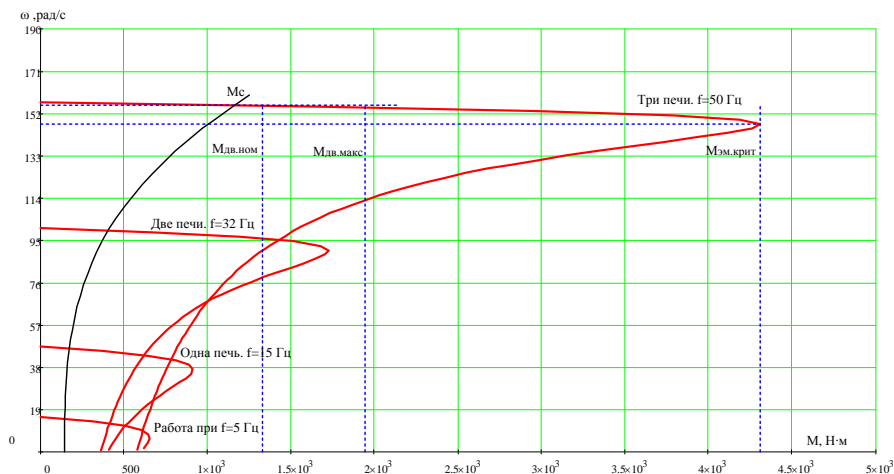


Рисунок 10 - Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель с компенсацией вольт-частотных характеристик.

Величина напряжения компенсации было подобрано опытным путем, при моделировании в среде Matlab R2010b и составила 12В.

4 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШЛАМОВОГО НАСОСА

4.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением

На рисунок 13 приведена функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением без датчика скорости. Основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются:

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений u_{1a} , u_{1b} и u_{1c} , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;

- формирователь $\frac{U}{f^2}$ - характеристики;
- датчики в общем случае линейного тока двигателя;
- блок расчета фактического значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого максимального и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока;
- блок компенсации скольжения;
- блок коррекции управления напряжением инвертора в функции фактического значения напряжения звена постоянного тока U_d преобразователя.

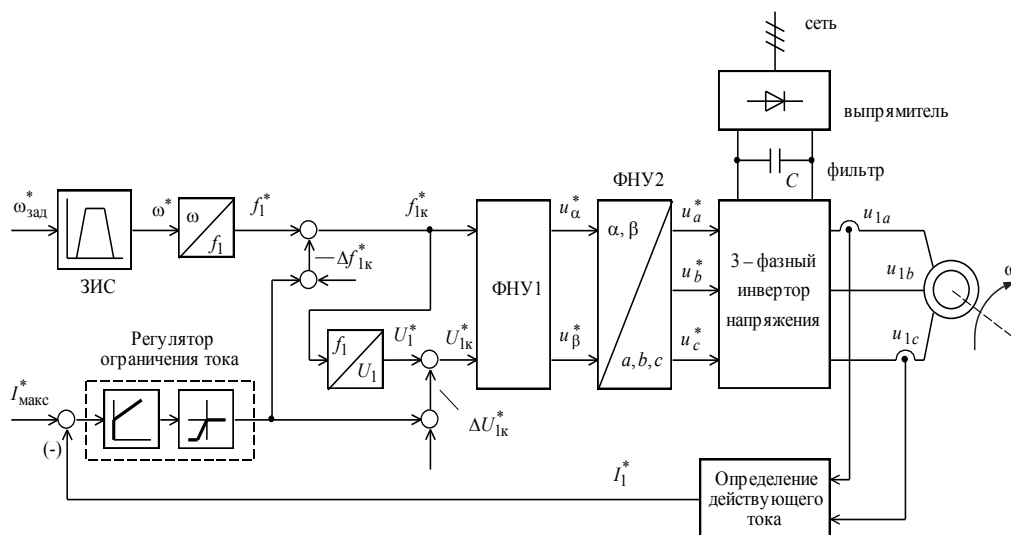


Рисунок 13 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

В функциональной схеме асинхронного электропривода со скалярным управлением используются следующие варианты реализации моделей:

- Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя рисунок 14

- Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой рисунок 15;

- Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат рисунок 16

- имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера рисунок 17;

- имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 18;

- модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя рисунок 19.

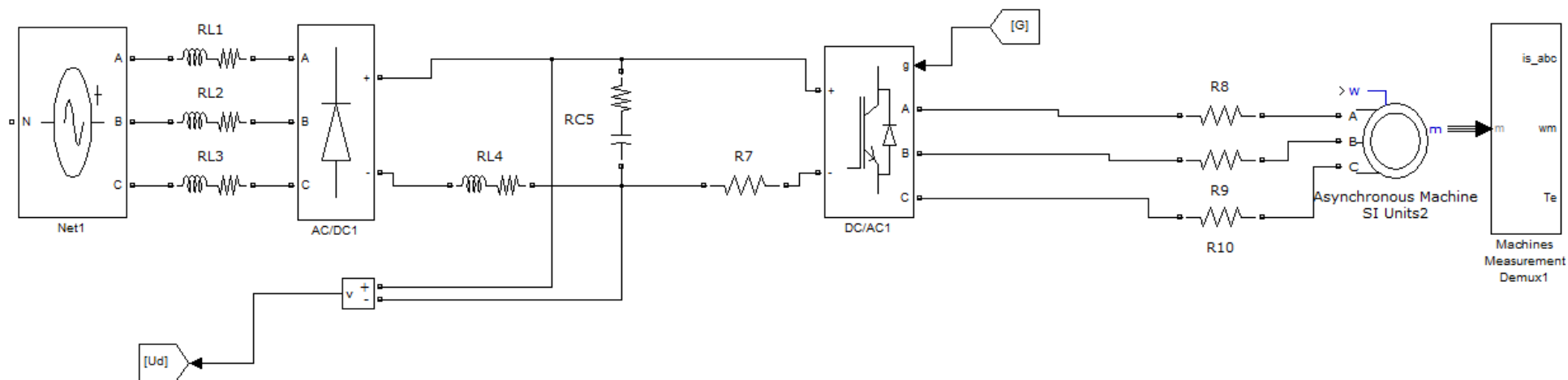


Рисунок 14 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя

Имитационная модель электрической части силового канала изображенная на рисунке 14 состоит из: источника переменного тока, входного дроселя, выпрямителя, RC фильтра, инвертора, проводников с их сопротивлениями и библиотечной модели асинхронного двигателя.

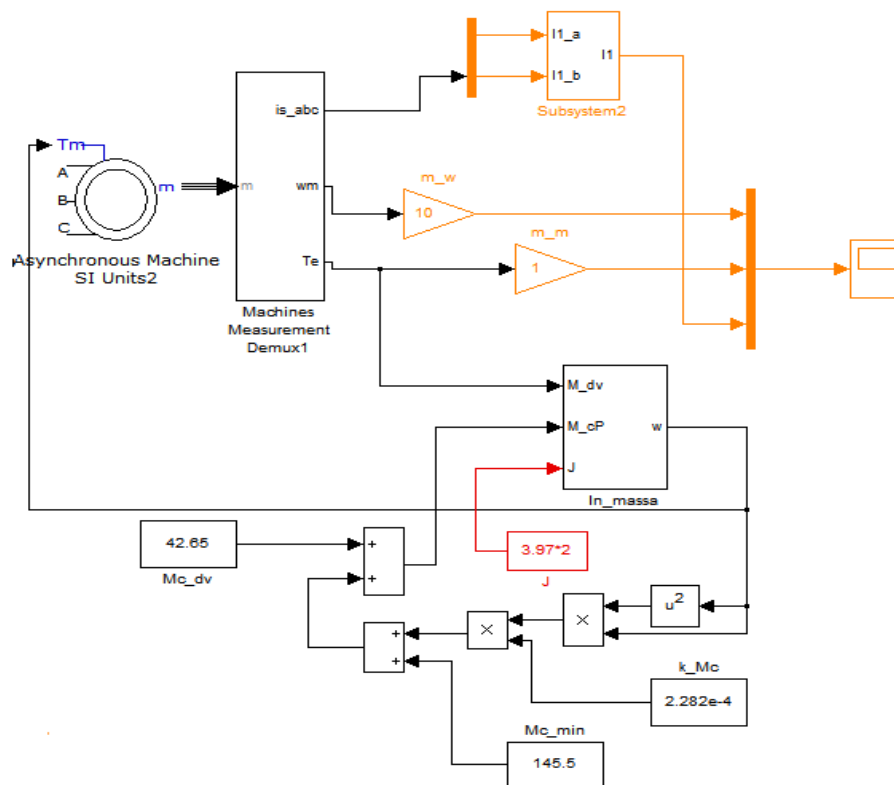


Рисунок 15 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой

4.2 Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунок 17

На схеме рисунка 17 приняты следующие дополнительные обозначения:

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м;

$M_{ср}$ – приведенный к валу двигателя статический момент реактивного характера, Н·м;

$J_{э}$ – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, кг·м².

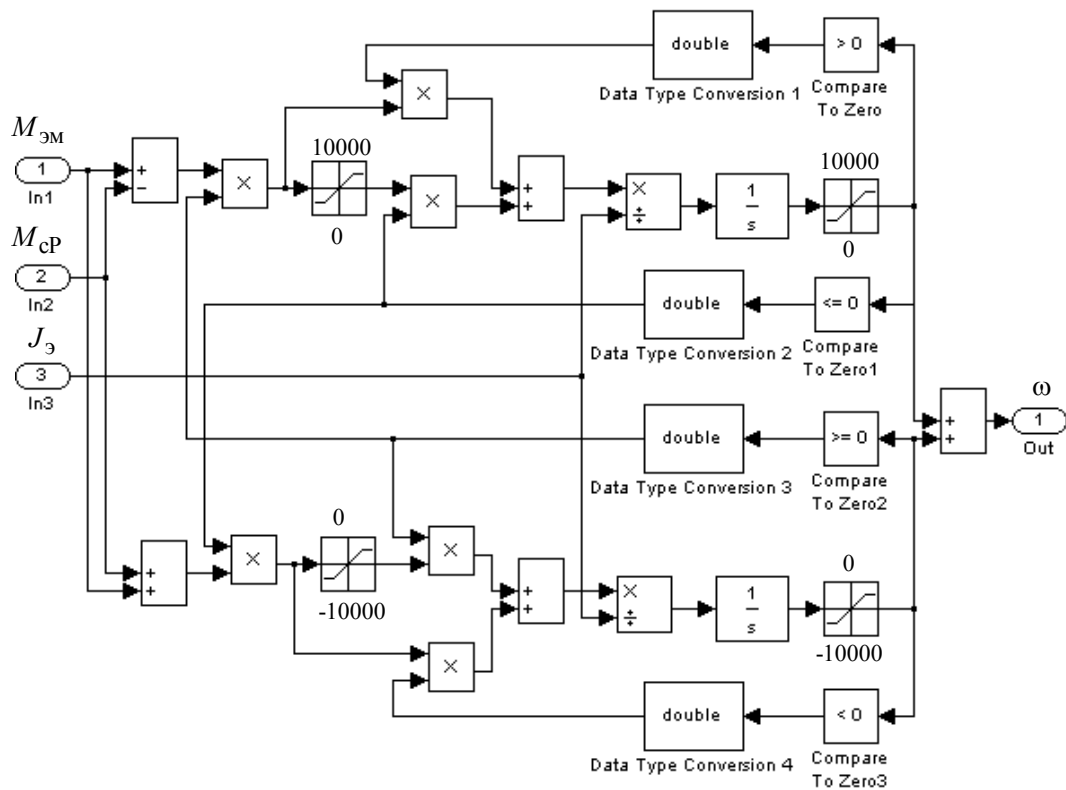


Рисунок 17 – Имитационная модель блока одномассовой механической

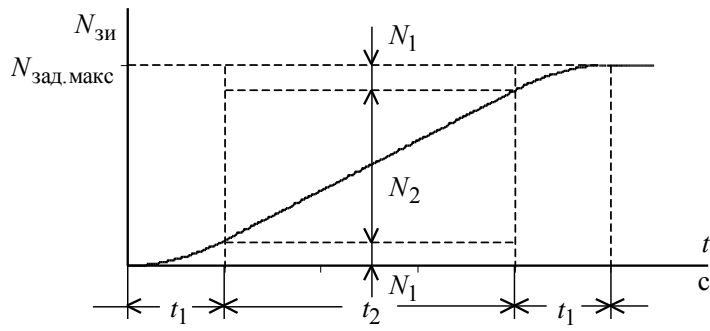
системы с моментом нагрузки реактивного характера

4.3 Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой

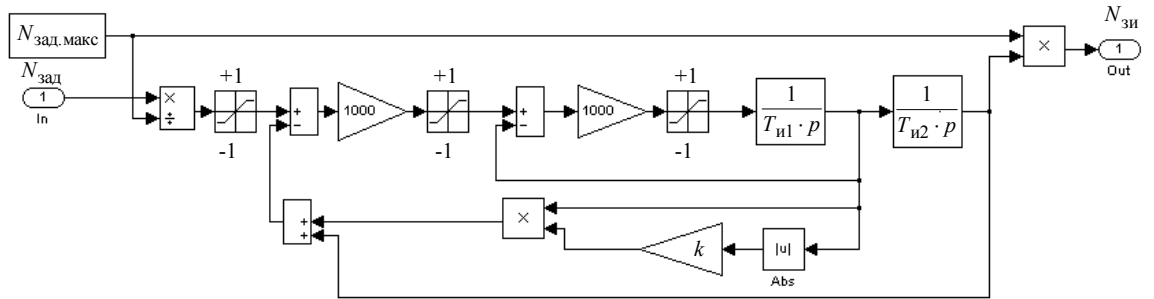
Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 18. Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой определяются по выражениям:

$$T_{u1} = t_1, c \quad T_{u2} = t_1 + t_2, c$$

$$k = 0,5 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$



a



б

Рисунок 18 - Задатчик скорости с S – образной характеристикой:

а – временная характеристика; б – имитационная модель

4.4 Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя

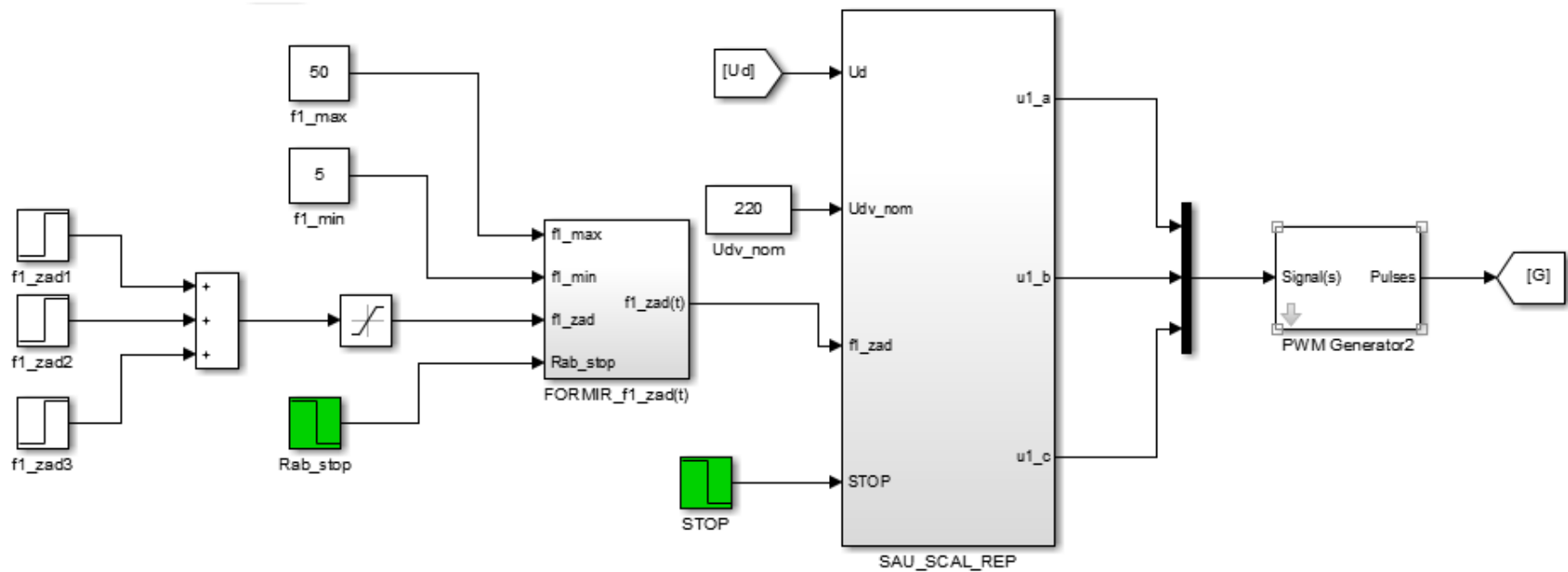


Рисунок 19 – Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя

В имитационной модели изображенной на рисунке 19 происходит формирование задания на изменение выходной частоты из преобразователя.

В блоке SAU_SCAL_REP реализовано скалярное управление, а также настройка вольт-частотных характеристик с помощью компенсации напряжения на низких частотах до 30 Гц.

В блоке FORMIR_f1_zad(t) заключен задатчик скорости с S – образной характеристикой.

С помощью имитационной модели получим динамические характеристики представленные на рисунке 20 и на рисунке 21.

4.5 Динамические характеристики электропривода шламового насоса

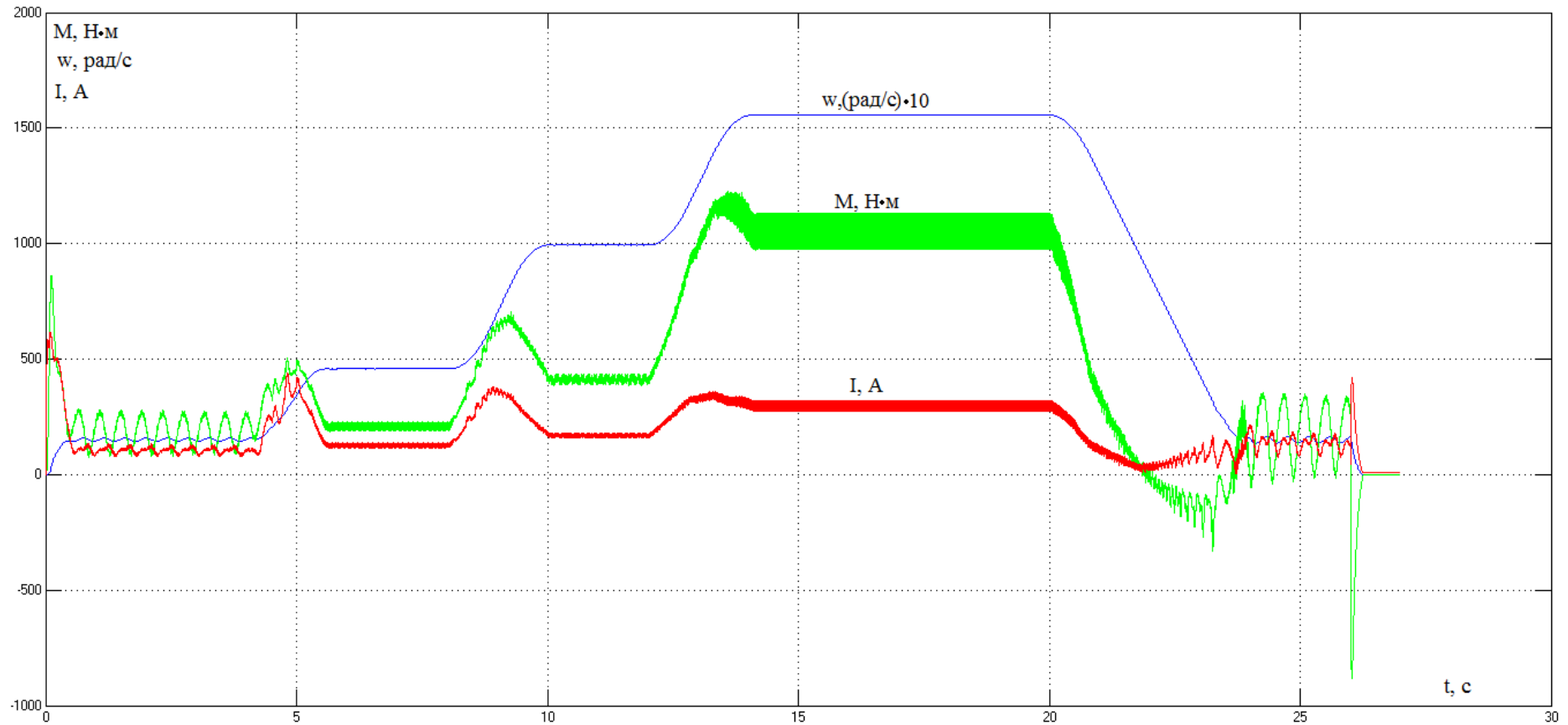


Рисунок 20 - Диаграммы отработки электроприводом насоса ступенчатого цикла: 5 Гц, 15 Гц, 32 Гц, 50 Гц; рабочий стоп двигателя до 5 Гц, полный останов

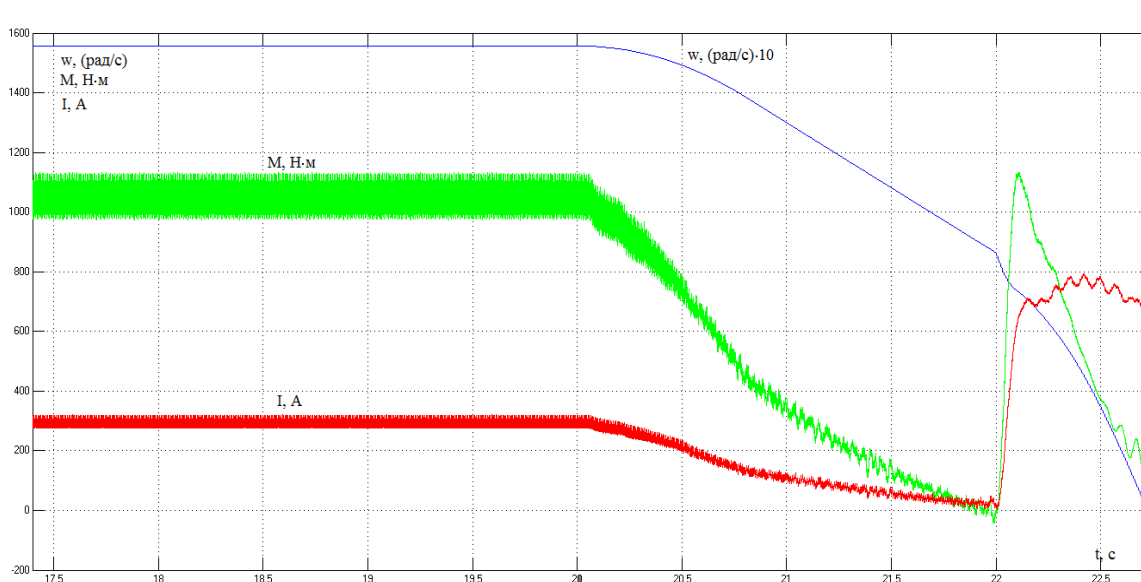


Рисунок 21 - Диаграммы отработки электроприводом насоса рабочего стопа без компенсации вольт-частотных характеристик

На рисунке 20 представлены диаграммы отработки электроприводом насоса ступенчатого цикла с компенсацией по напряжению. Компенсация позволяет работать в соответствии с заданными требованиями привода шламового насоса. В цикле работы привода прослеживается переменная нагрузка, что соответствует нагрузочной характеристики насоса. Цикл работы начинается с запуска электродвигателя на частоту 5 Гц при этом производительность насоса будет равна нулю, работа на этой скорости нужна нам чтобы держать столб шлама в нагнетающей трубе до тех пор пока не закроется задвижка иначе этот столб сольется обратно в шламовый бассейн при этом насос раскрутит в обратную сторону, что влечет за собой неисправность насоса, а именно ослабление затяжки рабочего колеса насоса с последующим заклиниванием. В 4 секунды происходит разгон до 15 Гц., что соответствует минимальной производительности насоса и подачи шлама на одну вращающуюся печь, в 8 секунд начинается разгон двигателя на частоту 32 Гц при этой частоте вращения двигателя насос производит подачу шлама на две печи и заключительный разгон электродвигателя на частоту 50 Гц. при этой скорости вращения электродвигателя насос работает со 100% производительностью и осуществляет подачу рабочего шлама на три печи, после отработки на 50 Гц. в 20 секунд осуществляется рабочий стоп и в 26 секунд полный останов.

На рисунке 21 представлены диаграммы отработки электроприводом насоса рабочего стопа без компенсации вольт-частотных характеристик, из которых видно, что без компенсации по напряжению при низких частотах двигатель не удерживает момент нагрузки.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Хомяков Павел Викторович

Институт	Институт электронного обучения (ИЭО)	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Для разработки электропривода потребуются следующие ресурсы: материально-технические ресурсы; финансовые ресурсы для оплаты труда исполнителям проекта; энергетические ресурсы; человеческие ресурсы.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления в социальные фонды -30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Потенциальные потребители результатов НТП, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
<i>2. Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование выполнения проекта, -Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования - Определение научно-технической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка технического уровня новшества
2. Смета затрат
3. Линейный график

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Хомяков Павел Викторович		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

На ООО "Топкинский цемент" (далее заказчик) для подачи рабочего шлама на вращающиеся печи № 1-5 установлено четыре насоса 6ФШ-7А (производительностью 200 м³/ч каждый) и один насос типа ГрАТ (производительностью 450 м³/ч).

В насосной станции горизонтальных бассейнов № 7-8 установлены два насоса 6ФШ-7А. Один из насосов осуществляет транспортировку шлама на печи № 3-4, второй на печь № 5 по отдельным шламовым магистралям.

Исходя из технических характеристик насосов 6 ФШ-7А (а именно их производительности – 200 м³/ч) данное оборудование может обеспечить подачу шлама только на две печи. При работе пяти печей в работе одновременно должно находиться три шламовых насоса 6 ФШ-7А.

Заказчик требует приобрести и установить высокопроизводительный шламовый насос WARMAN 8/6 EE-ANE производства компании WeirMineralsLLC (Великобритания) с мощностью двигателя 250 кВт с частотным преобразователем фирмы Danfoss и производительностью до 450 м³/ч, вместо применяемых двух насосов 6 ФШ-7А с мощностью двигателя 160 кВт каждый и производительностью 200 м³/ч каждый. Примерный бюджет проекта составляет 1800000 рублей.

В настоящий момент при новом строительстве и модернизации существующих станций используют приводы с электродвигателями переменного тока. Их преимуществом являются высокая надежность и удобство в эксплуатации. Несмотря на это, до сих пор применяют двигатели постоянного тока.

Асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока имеют ряд преимуществ по сравнению электродвигателями постоянного тока с последовательным возбуждением. Прежде всего, это отсутствие в

асинхронных электродвигателях такого сложного и малонадежного узла, как коллектор, что значительно сокращает эксплуатационные расходы на текущее обслуживание и ремонт, а также исключает получение ложного контроля положения стрелки за счет выпрямительного эффекта дуги при искрении коллектора.

Межремонтный срок службы электродвигателей переменного тока в 3-4 раза больше по сравнению с двигателями постоянного тока.

Следует отметить, что коллекторные двигатели изобретены более 170 лет назад. По управляемости и энергоэкономичности они считаются лучшими, в особенности для электроприводов с регулированием скорости или положения. Их основной недостаток — ненадежный и быстро изнашивающийся щеточно - коллекторный узел, вызывающий искрение и помехи. Спустя 50 лет, как альтернатива коллекторному двигателю, появились асинхронные двигатели переменного тока, по сути бесконтактные, лишенные данного недостатка, но существенно ниже по энергетической эффективности и управляемости.

Наилучшими областями их применения являются длительно работающие нерегулируемые электроприводы с одной или двумя скоростями вращения, стабильность которых не имеет решающего значения (обычные вентиляторы, насосы, транспортеры и др.). Развитие электроники привело к появлению весьма сложных и дорогих асинхронных двигателей с частотным управлением, регулируемых по скорости. Но их динамические показатели, такие, как точность регулирования и быстродействие, не могут конкурировать с более простыми электроприводами постоянного тока аналогичного класса и стоимости.

· автоматическое выключение двигателя через (10 ± 2) с после включения; двукратное уменьшение массогабаритных характеристик (в сравнении с коллекторными двигателями);

- возможность планового пуска двигателя, исключение удара остряка о рамный рельс; двигатель может быть изготовлен как для работы в сетях как постоянного, так и переменного тока;

- блок управления двигателя обеспечивает самодиагностику и диагностику электропривода (без прокладки дополнительных проводов) .

На заводе изготовителе производится около 20 модификаций электродвигателей, что является невыгодным, так как под каждый нужна специфическая оснастка, которую должно поддерживать в работоспособном состоянии, даже если она используется всего несколько раз в год. Поэтому специалисты придумали универсальный двигатель, который, благодаря использованию электронной платы, может быть запрограммирован на разное число оборотов и разный вид напряжения. При этом сама механика для всех типов двигателей осталась единой.

Стоимость асинхронного двигателя в 2 раза ниже, чем двигателя постоянного тока.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что применение управляемого асинхронного электропривода наиболее целесообразно и ведет к уменьшению потребления электроэнергии.

5.2 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода

Выбор структурной схемы сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной. Первый вариант – электропривод с двигателем постоянного тока; второй вариант – частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Таблица 4 – Параметры рассматриваемых электроприводов

	ЭП постоянного тока	ЭП переменного тока	Примечания: (преимущества, недостатки)
Общее количество составных частей	4	4	
1. Количество типов элементов	4	4	
Количество оригинальных элементов	2	2	
Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=200 кВт	P=200 кВт	
Габариты		Меньше в 2 раза	
Масса		Легче в 3 раза	

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех.

Таблица 5 – Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели.

Таблица 6 – Оценку степени обеспечения цели

Уровень цели	Низкий	Средний	Высокий
Оценка обеспечения цели	1	0.5	0

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов

ЭП	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1,0	0,8	0,6	0,3	0,4	0,2	0,1	
ЭП постоянного тока	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5	1,15
ЭП переменного тока	1,0	0,5	1,0	0	0,5	0	0,5	2,25

Из таблицы 7 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте электропривода переменного тока. Наиболее целесообразно устанавливать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

5.3 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 8 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Таблица 9 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 10 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0,5

Таблица 11 – Возможность реализации по времени и масштабам

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

На основании выше приведенных таблиц рассчитаем НТУ:

$$k_1 = 0,6; \Pi_1 = 6;$$

$$k_2 = 0,4; \Pi_2 = 8;$$

$$k_3 = 0,2; \Pi_3 = 10;$$

$$k_4 = 0,2; \Pi_4 = 4.$$

$$\text{НТУ} = 0,6 \cdot 6 + 0,4 \cdot 8 + 0,2 \cdot 10 + 0,2 \cdot 4 = 8.16$$

По полученному значению коэффициента научно-технического уровня (НТУ) можно сказать о достаточно высоком научно-техническом уровне проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

5.4 Планирование проектных работ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;
2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

t_{\min} – минимальный срок выполнения;

t_{\max} – максимальный срок выполнения;

$t_{ож}$ – ожидаемое время выполнения

Таблица 12 – Содержание проектных работ

Содержание работ	Продолжительность работ, дни			Исполнители
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	
1	2	3	4	
Подготовительные работы				
1. Разработка технического задания на проектирование	2	4	3	РП, И
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	2	4	3	РП, И
3. Описание объекта модернизации	5	10	7	РП, И
4. Разработка структурной схемы ЭП	2	4	3	РП, И
Итого			16	
Экспериментальные работы				
5. Подбор насоса	3	6	4	РП, И
6. Согласно проведенного расчета, выбор насоса.	2	4	3	РП, И
7. Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления.	4	8	6	РП, И
8. Создание скалярных систем управления.	6	10	8	РП, И
9. Разработка математической модели системы АСУ ЭП	7	12	9	РП, И
Итого			30	
Заключительные работы				
10. Вопросы безопасности и экологичность проекта	4	7	5	РП, И
11. Технико-экономические расчеты	5	8	6	РП, И
12. Составление пояснительной записки	10	14	12	РП, И
13. Разработка графического сопровождения проекта	12	18	14	РП, И
Итого			37	
Итого			83	

Таблица 13 - График выполнения работ

Этапы	Вид работ	Исполнители	tk	Март					Апрель				Май			Июнь	
1	Разработка технического задания на проектирование	Руководитель проекта, инженер	3	■													
2	Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	Руководитель проекта, инженер	3		■												
3	Описание объекта модернизации	Руководитель проекта, инженер	7			■											
4	Разработка структурной схемы ЭП	Руководитель проекта, инженер	3				■										
5	Подбор насоса	Руководитель проекта, инженер	4					■									
6	Согласно проведенного расчета, выбор насоса	Руководитель проекта, инженер	3						■								
7	Выбор системы и алгоритма управления. Подбор оборудования для управления.	Руководитель проекта, инженер	6						■								
8	Создание скалярных систем управления.	Руководитель проекта, инженер	8							■							
9	Разработка математической модели системы АСУ ЭП	Руководитель проекта, инженер	9								■	■					
10	Вопросы безопасности и экологичность проекта	Руководитель проекта, инженер	5										■				
11	Технико-экономические расчеты	Руководитель проекта, инженер	6											■			
12	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, инженер	12												■	■	
13	Разработка графического сопровождения проекта	Руководитель проекта, инженер	14														■

■ Руководитель проекта

■ Инженер

Исполнителями проекта являются руководитель проекта, и инженер проектировщик.

Определим трудоемкость работ по методике, изложенной в [11]

Ожидаемое время выполнения рассчитывается по выражению:

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

Для перевода рабочих дней в календарные воспользуемся выражением:

$$T = k \cdot t_{\text{ож}},$$

где k – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k = \frac{F_{\text{кал}}}{F_{\text{ном}}},$$

где $F_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, равное 365 дням;

$F_{\text{ном}}$ – номинальный фонд рабочего времени, дни.

Номинальный фонд рабочего времени определяется, как

$$F_{\text{ном}} = F_{\text{кал}} - F_{\text{вых}} - F_{\text{пр}},$$

где $F_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, равное 96 дням;

$F_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году, равное 12 дням.

Определим номинальный фонд рабочего времени:

$$F_{\text{ном}} = 365 - 96 - 12 = 257 \text{ дн.}$$

Коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{пер}} = \frac{365}{257} = 1,42.$$

$$T = 1,42 \cdot 91 = 129,54 \text{ дня.}$$

Общее количество рабочих дней, которое потребуется на выполнение данного проектирования, составило 130 дней, с учетом праздников и выходных дней.

Сетевой график работ представляет линейный вид, все работы выполняются в той же последовательности что и в таблице приведенной ранее. Проект выполняется сотрудниками ООО "Топкинский цемент".

5.5 Расчет сметы затрат на проектирование

Таблица 14 - Заработная плата научно-производственного персонала

Квалификация рабочего	Тарифная ставка (Тс) руб./час	Премия (Пр.) 50%	Районный коэффициент 30%	Всего, руб./час	Всего часов	Всего начислено, руб.
Руководитель проекта (тарифная ставка начальника цеха "Электроцех" на ООО "Топкинский цемент")	300	150	135	585	728	425880
Инженер (тарифная ставка инженера по наладке электроприводов на ООО "Топкинский цемент")	210	105	94,5	409,5	728	298116
ИТОГО						723996

Расчет сметы затрат на выполнение проекта выполняем согласно метода сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов.

Таблица 15 – Смета затрат на проектирование

Статьи расхода	сумма	Примечания
	руб.	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	50000	ПК для проектирования
2. Специальное оборудование	40000	Стенды, приборы, установки, программы
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	723996	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	72399,6	10% от ст.3
5. Отчисление во внебюджетные фонды	240511,4	30,2%(ст.3+ст.4)
6. Накладные расходы	180305	16%
7. Годовая сметная стоимость проекта	1307212	

5.6 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия)

включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Расчет капитальных вложений оформлен в виде таблицы 16:

Таблица 16 – Расчет капитальных вложений

Наименование оборудования	Кол-во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
1.Оборудование:			
Двигатель АДЧР315М4	1	339390	339390
Преоб. частоты Danfoss VLTaquadrive	1	16877	16877
2.Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от 1.			
Комплектный привод (6%)			
Некомплектный (15%)		74816	74816
3.Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)		8621	8621
4.Сметная стоимость проектно конструкторских работ		1307212	1307212
Всего затрат			1746946

Рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен действительных на 8 апреля 2018 года.

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был проведен расчет коэффициента научно - технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию.

Проект соответствует требованиям заказчика в полном объеме.

5.7 Оценка рисков при создании проекта

Риски проекта по своему составу можно объединить в указанные ниже группы в зависимости от их характера (Социальные, Экономические, Экологические, Технические, и Политические).

К социальным рискам относятся:

- Потеря и хищения имущества на стадии производства продукции
- Несоблюдение техники безопасности
- Отсутствие командной работы

К экономическим рискам можно отнести:

- Рост цен
- Недобросовестные поставщики и исполнители
- Изменение налогообложения
- Непредвиденные расходы
- Недобросовестные поставщики и исполнители

Технологические риски включают в себя:

- Низкое качество изготовления комплектующих
- Неисправность оборудования
- Опасность повреждения оборудования при транспортировке
- Опасность повреждения комплектующих при монтаже

Возможные экологические риски:

- Высокий уровень травматизма

Политические риски:

- Критика в СМИ
- Нарушение действующих нормативных законодательных норм
- Возможное изменение политического курса партии и правительства

При оценке важности рисков, оценивается вероятность их наступления. По шкале от 0 до 100 процентов:

- 100 – Наступит точно
- 75 – Скорее всего, наступит
- 50 – Ситуация неопределенности
- 25 – Риск, скорее всего не наступит
- 0 – Риск не наступит

Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i).

Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i .

Внутри каждой группы оценка идет от простого к сложному. Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице.

Таблица 17 - Проведение экспертизы социальных рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (p_i)	Важность (b_i)	Вес риска (w_i)	Итоговая оценка ($P_i \cdot w_i$)
1	Потеря и хищения имущества на стадии производства продукции	75	10	0,34	25,5
2	Несоблюдение техники безопасности	25	8	0,27	6,75
3	Недовольство жителей, а именно дороговизной продукта	0	6	0,21	0
4	Отсутствие командной работы	25	3	0,18	4,55
Итого			27	1	36,75

Таблица 18 - Проведение экспертизы экономических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Инфляция	100	2	0,48	48
2	Недобросовестные поставщики и исполнители	50	2	0,09	4,5
3	Изменение налогообложения	25	5	0,24	6
4	Непредвиденные расходы	75	4	0,19	14,25
Итого			14	1	72,75

Таблица 19 - Проведение экспертизы технологических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Низкое качество изготовления комплектующих	50	8	0,38	19
2	Неисправность оборудования	25	5	0,24	6
3	Опасность повреждения оборудования при транспортировке	25	5	0,24	6
4	Опасность повреждения комплектующих при монтаже	25	3	0,14	3,5
Итого			23	1	34,5

Таблица 20 - Проведение экспертизы экологических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Загрязнение окружающей территории	75	6	0,4	30
2	Применение и транспортировка токсичных материалов	75	5	0,33	24,75
3	Высокий уровень травматизма	0	4	0,27	0
Итого			15	1	54,75

Таблица 21 - Проведение экспертизы политических рисков

№ п/п	Риски	Вероятность (pi)	Важность (bi)	Вес риска (wi)	Итоговая оценка (Pi*wi)
1	Критика в СМИ	2	3	0,1	0,2
2	Нарушение действующих нормативных законодательных норм	0	7	0,37	0
3	Возможное изменение политического курса партии и правительства	0	9	0,53	0
Итого			19	1	0,2

Вычисление общих рисков для проекта:

Таблица 22 - Определение общих рисков проекта:

№ п/п	Риски	Ранг (Pi)	Вес(Wi)	Вероятность (vi)	Общая оценка проекта (wi*vi)
1	Социальные	8	0,2	36,75	7,35
2	Экономические	10	0,25	72,75	18,18
3	Технологические	10	0,25	34,5	8,625
4	Экологические	4	0,1	54,75	5,475
5	Политические	5	0,125	0,2	0,025
Итого		37			39,655

Расчет рисков дает общую оценку в 39,655. Эта цифра говорит, что проект имеет право на реализацию, хотя и не лишен вероятных препятствий со стороны наступления экономических рисков(инфляция и изменение налогообложений).

Тем не менее, проект является целесообразным поскольку имеет конкретного заказчика.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Хомяков Павел Викторович

Институт	Инженерная школа энергетики	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<p><i>Объектом исследования является шламовые насосы цементного завода</i> Шламовые насосы предназначены для перекачивания гравийных, песочно-гравийных, шлаковых, золошлаковых и других абразивных гидросмесей</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Вредные факторы возникают при работе электрооборудования. - Повышенный уровень шума - Повышенный уровень вибрации - Повышенная влажность воздуха рабочей зоны
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Механические опасности возникают из-за движущихся машин и механизмов производственного оборудования. - Удар электрическим током может повлечь за собой судороги, ожоги, летальный исход. - Возможные причины пожара: возникновение КЗ в проводке.
<p>2. Экологическая безопасность: - разработать решения по обеспечению экологической безопасности</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке элементов электропривода.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Возможные ЧС: пожар. - Пожар.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - правовые нормы трудового законодательства; - Требования к рабочему персоналу</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Хомяков Павел Викторович		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В дипломной работе проектируется электропривод шламового насоса. В данной разделе рассматривается воздействие, шума, вибрации, микроклимата, опасных и вредных факторов на персонал при эксплуатации и ремонте насосной станции. Также рассматриваются следующие вопросы: техника безопасности при выполнении работ; обязанности персонала перед началом работы; обязанности персонала при выполнении работы; обязанности персонала при обслуживании и ремонте технических систем и рабочих мест; обязанности персонала в конце выполнения работы, включая уборку и обслуживание рабочих мест; обеспечение взрыво-, пожаро-, электробезопасности; заключение.

6. Производственная безопасность

6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

При эксплуатации насосной установки возможно воздействие на человека следующих опасных производственных факторов:

- поражение электрическим током;
- воздействие вращающихся частей;
- возникновение пожара

к вредным факторам относятся:

- повышенный уровень вибраций;
- повышенный уровень шума;
- плохое освещение на рабочем месте;
- повышенная температура воздуха

Шум классифицируются как активные, то есть они могут оказать воздействие на человека посредством заключенных в них энергетических

ресурсов, при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ - к снижению слуха, вплоть до глухоты.

Методы и средства борьбы с шумом принято подразделять на:

—методы снижения шума на пути распространения его от источника;

—методы снижения шума в источнике его образования;

—средства индивидуальной защиты от шума.

Снижение влияния шума насосов достигнуто вынесением его за пределы рабочей зоны. В проектируемом насосе предусматривается использование современных смазочных материалов. Снижение шума на пути его распространения от источника в значительной степени достигается проведением строительно-акустических мероприятий. В данном случае применима акустическая обработка помещений (облицовка части внутренних поверхностей ограждений звукопоглощающими материалами, а также размещение в помещении штучных поглотителей, представляющих собой свободно подвешиваемые объемные поглощающие тела различной формы), звукоизолирующие ограждения или звукозащитные кабины.

Вибрация низкочастотная общая вибрация вызывает длительную травматизацию межпозвоночных дисков и костной ткани, смещение органов в брюшной полости, возникновение и прогрессирование дегенеративных изменений позвоночника.

Нормы локальной вибрации по максимальному превышению ДУ в любой октавной полосе по виброскорости в вредных, тяжелых условиях труда до 9 дБ. Местная вибрация может оказывать благоприятное воздействие на организм, но может стать причиной заболеваний, таких как нейрососудистые расстройства рук, снижение всех видов кожной чувствительности, слабость в кистях рук.

Защита от вибраций:

- Ограничение контакта работника с вибрацией.

Повышенная влажность воздуха человек может заметить повышение температуры тела, слабость, боль в голове, учащение пульса и дыхания и происходит отдача тепла из организма посредством испарения. Если при низкой температуре влажность повышена, человек наоборот будет испытывать переохлаждение. Значительное повышение относительной влажности воздуха также может привести к неблагоприятным реакциям нервной системы.

В кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники, а также в других помещениях при выполнении работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 22-24°C при относительной влажности 60-40%. Оптимальная норма относительной влажности воздуха в производственных помещениях при тяжелых категориях работ составляет 40-60 %. Допустимая норма относительной влажности воздуха в производственных помещениях при тяжелых категориях работ в холодный период года не более 75%, в теплый период года не более 50% .

В производственных помещениях должны быть предусмотрены мероприятия по защите работающих от возможного перегревания и охлаждения: системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, помещения для отдыха и обогрева, спецодежда для защиты от повышенной или пониженной температуры, средства индивидуальной защиты, регламентация времени работы и отдыха и др.

6.1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Поражение электрическим током возможно как при случайном прикосновении его непосредственно к токоведущим частям, так и к неметаллическим нетоковедущим элементам электрооборудования (к корпусу электрических машин, трансформаторов, светильников и т.п.), которые могут оказаться под напряжением в результате какой - либо аварийной ситуации (замыкания фазы на корпус, повреждение изоляции и т.п.).

Поражение электрическим током использующей ток напряжением от 42 В до 380 В и частотой 50Гц. Возможность поражения персонала электрическим током:

- Прикосновение персонала к оголенным проводам, контактов ПРА.
- Ошибочное действие персонала, подача напряжения на рабочее место.

Прикосновение к частям электрооборудования, металлическим конструкциям сооружений и т.п., в обычном состоянии не находящихся, но в результате повреждения (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением.

По обеспечению безопасности являются технические и организационные мероприятия.

К основным электроизолирующим средствам для электроустановок до 1000 В относятся:

- электроизолирующие штанги всех видов;
- электроизолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- электроизмерительные клещи;
- электроизолирующие перчатки;

– ручной электроизолированный инструмент.

Защитное зануление и заземление являются наиболее распространенными, весьма эффективными и простыми мерами защиты от поражения электрическим током при появлении напряжения на металлических нетоковедущих частях (металлических корпусах оборудования).

Движущиеся части производственного оборудования, могут являть причиной травмы, попадание человека под вращающиеся части электрического оборудования. Для предотвращения травмы вращающиеся части должны быть закрыты (кожухом) или оградительной лентой и знаком безопасности. Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности, установлены кнопки аварийной остановки.

6.2 Экологическая безопасность

Организация природопользования и обеспечения экологической безопасности включает в себя работу по следующим направлениям:

- а) Регулирование процесса выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.
- б) Регулирование процесса сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты.
- в) Регулирование процесса образования, использования и размещения бытовых и производственных отходов.

В целях охраны воздушной среды от загрязнения вредными выбросами мероприятия предусмотрены следующие мероприятия:

- применение герметизированной системы по всей технологической цепочке;
- контроль, автоматизация технологических процессов; постоянный автоматический контроль загазованности в местах максимально возможного выделения;
- осуществление производственного экологического контроля за промышленными выбросами;

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Опасными факторами пожара для людей являются открытый огонь, искры, повышенная температура воздуха, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок, а также взрыв.

Для предотвращения пожара необходимы следующие меры:

- а) предотвращение образования горючей среды;
- б) предотвращение образования в горючей среде источников зажигания;
- в) поддержание температуры и давления горючей среды ниже допустимых;
- г) уменьшение определяющего размера горючей среды.
- д) применение противопожарных преград (противопожарные стены, перегородки и перекрытия)
- е) отведения специальных мест для курения
- ж) проведения инструктажей персонала о пожарной безопасности.

Согласно СП 12.13130.2009 насосная станция относится к производствам категории Д, характеризующимся наличием несгораемых веществ и материалов в холодном состоянии.

При коротких замыканиях, перегреве и т.п. возможно загорание электропроводки, электроустановок. Активная борьба с пожаром (тушение пожара) производится огнетушителями различного наполнения, песком и другими негорючими материалами, мешающими огню распространяться и гореть. Также иногда огонь сбивают взрывной волной.

Для само эвакуации людей из горящих зданий применяется лебёдка, закреплённая с внешней стороны окна, по которой проживающие на высоких этажах люди могут спуститься на землю. Для защиты ценных вещей и документов от огня применяются сейфы.

Доведение сигналов оповещения ГО и в случае ЧС до персонала объектов осуществляется с помощью речевой информации по каналам радиовещания, по радиотрансляционным сетям и сетям связи. Электроснабжение основных электроприемников объектов предусматривается по I категории надежности от двух независимых источников. Проектные решения по предупреждению чрезвычайных ситуаций (ЧС). На территории насосных станций не используют, не производят, не перерабатывают, не хранят радиоактивные, пожаро, а так же взрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации. В качестве наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций техногенного характера проектом рассматриваются:

- пожар на территории объектов;

- ЧС при постороннем вмешательстве в деятельность объектов.

Население, которое может оказаться в зоне действия поражающих факторов в случае аварии на объектах, отсутствует.

Для обеспечения нормальной работоспособности объекта при ЧС приняты следующие меры безопасности:

- Установлен генератор для обеспечения резервного электрического питания;

- наличие запасов питьевой воды.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный трудовой процесс, и эффективное использование орудий и предметов труда, что повышает производительность и способствует снижению утомляемости рабочих.

Нормальная продолжительность рабочего времени для работников комбината не может превышать 40 часов в неделю.

Основной рабочей неделей для работников комбината является – пятидневная неделя.

Режим рабочего времени работников комбината, работающих в одну смену, устанавливается:

При 5-ти дневной рабочей неделе:

- начало работы — 8.00;
- перерыв — 11.45 — 12.45 , 15 минут.
- окончание работы —17.00.

Безопасный трудовой процесс конструкция электроустановок должна соответствовать условиям их эксплуатации и обеспечивать защиту персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, а оборудования от попадания внутрь посторонних тел и воды.

Работы должны выполнять рабочий персонал прошедший медицинский осмотр, вводный инструктаж, первичный на рабочем месте, дублирование на рабочем месте, сдать экзамены на присвоение группы по электробезопасности, владеть навыками оказания первой медицинской помощи, уметь освобождать пострадавшего находящегося под напряжением. Работы проводимые на электрооборудовании должны оформляться на бланках установленной формы с дальнейшей записью в оперативном журнале. Приступать к работам может только электротехнический персонал с 3 группой по электробезопасности до 1000 В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы был рассмотрен насос подачи рабочего шлама во вращающиеся печи. Для данного насоса был выбран двигатель марки АДЧР315М4 мощностью 200 кВт, по параметрам двигателя был выбран преобразователь частоты марки Danfoss VLT aqua drive. Для двигателя были рассчитаны параметры схемы замещения, построены механические и электромеханические характеристики. Для работы привода на низких частотах была произведена настройка вольт-частотных характеристик с помощью подбора напряжения компенсации. Была построена имитационная модель преобразователь частоты-асинхронный двигатель со скалярным управлением, с помощью данной модели были получены динамические характеристики ступенчатого цикла работы привода шламового насоса с последующей остановкой двигателя, а также получены динамические характеристики остановки двигателя без настройки вольт-частотных характеристик из которых видно, что на низких частотах двигатель не может удерживать момент нагрузки и проваливается. Была произведена оценка рисков проекта. А при эксплуатации насосной станции учлись и проанализированы все вредные и опасные факторы вождействующие на персонал в разделе 6.

CONCLUSION

In the course of the thesis work, the pump of working slurry feed into rotary kilns was considered. For this pump, the ADHR315M4 engine with a power of 200 kW was selected, the Danfoss VLT aqua drive was selected for the engine parameters. For the engine, the parameters of the substitution circuit were calculated, mechanical and electromechanical characteristics were constructed. To operate the drive at low frequencies, the volt-frequency characteristics were tuned by compensating the compensation voltage. A simulation model of a frequency converter-asynchronous motor with scalar control was built, with the help of this model dynamic characteristics of a stepped cycle of operation of the slurry pump drive followed by a stopping of the engine were obtained, and dynamic characteristics of engine stop without adjusting the volt-frequency characteristics were obtained. at low frequencies, the engine can not hold the load moment and fails. The project risks were assessed. And while operating the pumping station, all the harmful and dangerous factors influencing the personnel in section 6 were taken into account and analyzed.

Список литературы:

1. Паспорт насоса ГШН [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.plasma.com.ua/pump/abrasive_liquids/6sh8.html
2. Паспорт насоса Warman 8/6 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.blmzbk.ru/#!/-warman-86--86/c10qw>
3. Регламент ООО "Топкинский цемент"
4. Электродвигатели серии АДЧР [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.esbk.ru/products_info/ed/109_ed_adchr/109_ed_adchr.html
5. Инструкция по эксплуатации ЧРП Danfoss VLT aqua drive [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.vlt-drives.com.ua/usersimage/File/files/VLT%20AQUA%20Drive/FC202_Operation_instruction_025-90kW_MG20MA50.pdf
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 448 с.
7. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод. 2-е издание. - Томск: Изд-во ТПУ, 2010.- 14 с.
8. Принцип построения и особенности работы контрольной, управляющей и рабочей цепей пятипроводной схемы управления стрелочным электроприводом с двигателем переменного тока [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL:<http://edu.dvgups.ru>
9. Электродвигатели для привода стрелочных переводов [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL:<http://www.etm.ru/>
10. Инновации этз «ГЭКСАР» [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL:<http://www.saratovnews.ru>
11. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-воэкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В.,

Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

12. Правила устройства электроустановок. Издание 7, Москва 2002 г.

13. ГОСТ 12.4.051-87 Средства индивидуальной защиты органа слуха

14. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности

15. ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума

16. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

17. ГОСТ 12.4.125-83 Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация

18. ГОСТ 12.1.033-81 Пожарная безопасность. Термины и определения

19. ГОСТ 12.1.012-90 Вибрационная безопасность. Общие требования

20. СНиП 2.01.51-90 Инженерно–технические мероприятия гражданской обороны

21. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

22. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

23. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение

24. ГОСТ 12.4.221-2002 Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты.

25. СанПиН РУз №0141-03. Гигиеническая классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

26. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с изменением N 1). Межгосударственный стандарт.

27. СанПиН РУз № 0326-16. Санитарные нормы общей и локальной вибрации на рабочих местах.

28. СанПиН РУз № 0203-06. Санитарно-гигиенические нормы микроклимата производственных помещений.

29. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей СПб, 1999-320с.

30. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок 2014 г.

31. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. СПб, 2002 – 123с.

32. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности