

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте

Факультет техники и технологии

Кафедра электрооборудования и автоматизации производственных процессов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Ю.С. Сергеев
_____ 2021 г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА
ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА КМ-50 ПРОКАТНОГО
ЦЕХА №3 ООО «ЗМЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности

к.т.н., доцент

_____ С.Н. Трофимова
_____ 2021 г.

Руководитель работы

д.т.н., профессор

_____ П.Г. Вигриянов
_____ 2021 г.

Автор работы

студент группы ФТТ-533

_____ Г.О. Теплых
_____ 2021 г.

Нормоконтролер

ст. преподаватель

_____ О.В. Терентьев
_____ 2021 г.

Златоуст 2021

АННОТАЦИЯ

Теплых Г.О. Модернизация электропривода механизма подъема мостового крана КМ 50 прокатного цеха №3 ООО «ЗМЗ» – г. Златоуст: филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте, кафедра ЭАПП; 2021 г., 62 с., 22 ил., библиогр. список – 24 наим., 8 листов чертежей ф. А1.

Целью выпускной квалификационной работы модернизация электропривода механизма подъема крана мостового КМ 50. Модернизация осуществляется заменой электродвигателя и преобразователя частоты.

В выпускной квалификационной работе представлен расчет мощности электродвигателя, построена нагрузочная диаграмма электродвигателя. На основе нагрузочной диаграммы был выбран асинхронный электродвигатель и преобразователь частоты. Разработана схема электрическая принципиальная силовых цепей, цепей управления и защиты.

В экономической части проведен анализ экономической эффективности модернизации электропривода.

Были рассмотрены вопросы по безопасности жизнедеятельности на предприятии.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ ВКР		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Теплых Г.О.				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Вигриянов П.Г.				Д	4	62
Реценз.	Сандалов В.М.				Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоуст Кафедра ЭАПП		
Н. Контр.	Терентьев О.В.						
Утверд.	Сергеев Ю.С.				Пояснительная записка		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	7
2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КРАНА МО- СТОВОГО КМ 50.....	10
2.1 Условия эксплуатации электрооборудования.....	14
2.2 Технические требования к электроприводу и схеме управления.....	15
3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРАНА МОСТОВОГО КМ50.....	17
3.1 Расчет мощности приводного двигателя.....	17
3.2 Расчет и выбор преобразователя частоты.....	35
3.3 Проверка правильности расчета мощности и окончательный выбор двигателя.....	36
4 ВЫБОР СХЕМЫ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ, ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ.....	41
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	45
5.1 Краткое описание производственного участка.....	45
5.2 Анализ производственных факторов.....	45
5.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды и трудового процесса.....	45
5.4 Мероприятия по обеспечению безопасных и безвредных условий труда.....	46
5.5 Производственная санитария.....	47
5.6 Расчет искусственного освещения.....	47
5.7 Эргономика и производственная эстетика.....	49
5.8 Противопожарная и взрывобезопасность.....	50
5.9 Экологическая безопасность.....	51
5.10 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций.....	52
5.11 Экологическая безопасность.....	54
5.12 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций.....	54
6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	58
6.1 Ориентировочные расчеты себестоимости модернизации и окупаемость.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	61

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного производства все большее распространение получает регулируемый автоматизированный электропривод. Основными причинами являются: повышенные возможности энергосбережение, повышение качества производственного процесса, а также широкий круг возможностей, обусловленных применением программируемых контроллеров. Поскольку высокими темпами развиваются микроэлектроника, силовая преобразовательная техника, системы управления электроприводами и другие области науки и техники, то такие темпы развития приводят к тому, что электрооборудование быстро морально устаревает и требует модернизации.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение энергетических показателей при работе электропривода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- задача 1; провести сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений
- задача 2; провести расчёт мощности приводного двигателя
- задача 3; построение нагрузочной диаграммы и механической характеристики рабочей машины
- задача 4; проверка правильности расчета мощности и окончательный выбор двигателя
- провести анализ экономической эффективности работы;
- рассмотреть вопросы безопасности жизнедеятельности.

Объект работы: электропривод механизма подъема мостового крана КМ-50

Предмет работы: основное внимание будет обращено на замену реостатного регулирования асинхронных двигателей с фазным ротором и применение частотного регулирования скорости

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Обычно для электропривода крана КМ-50 применяются специально разработанные серии электродвигателей переменного и постоянного тока. По применению материалов, геометрии магнитопровода, электромеханическим свойствам и конструкции такие электродвигатели в корне отличаются от двигателей общепромышленного исполнения [9].

Для режима работы электродвигателей в электроприводе крана характерны большие изменения нагрузки, частые пуски и задержки, а также большие диапазоны скоростей ниже и выше номинальной скорости (с приводами постоянного тока и преобразователями частоты).

Электродвигатели кранов предназначены для прерывистой работы, которая характеризуется временем включения (PV) 15, 25, 40 и 60% при продолжительности цикла не более 10 минут [9].

Из-за высоких требований к динамике двигателей во время переходных процессов пуска и торможения, а также для снижения энергопотребления двигателя сконструированы таким образом, чтобы момент инерции ротора был как можно меньше. Уменьшение момента инерции достигается за счет уменьшения высоты оси вращения при заданной мощности двигателя.

Электрические двигатели имеют (по сравнению с общепромышленными электродвигателями) повышенный запас прочности механических узлов и деталей. Роторный агрегат всегда устанавливается на вал с помощью гаечного ключа.

Одним из основных применений в электроприводах кранов считаются асинхронные двигатели с фазными роторами. Регулирование скорости и скорости вращения электроприводов с такими двигателями осуществляется подключением пусковых резисторов в цепь ротора. Для достижения пониженных скоростей (нагрузки) используются противоположный режим переключения или различные специальные схемы переключения (например, динамическое торможение с самовозбуждением) [9].

Также применяются модификации асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, приспособленные для работы в системах частотного регулирования.

Работа асинхронных двигателей в системах частотного регулирования имеет свои особенности. Прежде всего, частотное регулирование значительно уменьшает потери энергии в двигателях в режимах запуска и торможения. Это позволяет перейти на более скоростные электроприводы, и при проектировании двигателей особое внимание уделяется снижению потерь в обмотках двигателя в номинальном режиме. Таким образом, при проектировании двигателей для системы частотного регулирования учитывается следующее:

- в современных частотно-регулируемых электроприводах с векторным управлением механические характеристики определяются системой управления преобразователя. Следовательно, при проектировании электродвигателей, рассчитанных для работы только с преобразователями частоты, можно не предприни-

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

мать специальные меры для увеличения перегрузочной способности и пускового момента;

-при проектировании необходимо согласовывать максимальную частоту вращения разрабатываемого электропривода и максимальную допустимую частоту вращения редуктора;

-с целью уменьшения потерь, обмотка ротора двигателя заливается чистым алюминием или выполняется медной, скольжение при этом – минимальное. Регулирование выходного напряжения и частоты двигателя позволяет оптимизировать использование его активных частей и осуществить работу двигателя в режиме минимальных потерь;

Данные мероприятия позволяют при одинаковой нагрузке уменьшить в 1, 5-1, 8 раза мощность двигателя в частотно-регулируемом приводе.

Помимо применения двигателей переменного тока могут применяться двигатели постоянного тока с регулированием с помощью управляемого выпрямителя. В этом случае мощность и частота вращения электродвигателя увеличиваются приблизительно пропорционально напряжению.

Выбираем тип электропривода с асинхронным двигателям с короткозамкнутым ротором с частотным управлением. Данный тип привода отвечает всем необходимым характеристикам проектируемого электропривода.

Исходя из специфики работы электропривода, выбираем векторно-частотное управление.

Частотно-регулируемый электропривод за последнее годы стал основой при разработке проектов новых грузоподъемных кранов. Кроме того, большинство эксплуатирующихся организация при проведении модернизации кранов мостового типа чаще всего рассматривают в качестве основы частотные электропривода.

После внедрения преобразователей частоты (ПЧ) появилась возможность получить любой требуемый для крановых механизмов диапазон регулирования скорости, как в двигательном, так и в тормозном режимах работы. До этого подобные диапазоны регулирования удавалось достичь лишь в случае применения электродвигателей постоянного тока с менее эффективными методами регулирования [1].

Одним из преимуществ применения частотного регулирования скорости в крановом электроприводе является повышение удобства управления краном, существенно увеличение ресурса механических передач, тормозов и металлоконструкций из-за уменьшения динамических нагрузок при пусках и торможениях механизмов.

Наибольшую популярность в крановом электроприводе получили преобразователи частоты ведущих мировых электротехнических фирм, таких как Siemens, АВВ, Hitachi, Schneider Electric [15]. Внешний вид преобразователей частоты представлен на рисунке 1.1, 1.2, 1, 3, 1.4

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8



Рисунок 1.1 – Внешний вид частотного преобразователя фирмы Siemens



Рисунок 1.2 – Внешний вид частотного преобразователя фирмы АВВ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ

Лист

9



Рисунок 1.3 – Внешний вид частотного преобразователя Hitachi



Рисунок 1.4 – Внешний вид частотного преобразователя Schneider Electric

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ

Лист

10

Многие производители выпускают специализированные преобразователи для кранового оборудования с определённым набором функциональных возможностей: управление тормозом, подъем с повышенной скоростью, предотвращение ослабления грузового каната и т.д. Между отечественными производителями преобразователей частоты можно сделать акцент на преобразователи частоты «ОВЕН», которые вследствие широкой номенклатуры дополнительных модулей для систем управления получили наибольшее распространение в промышленном секторе.

Отечественные крановые электродвигатели серий (4)МТКФ, (4)МТКН показали свою внушительную надежность при работе в частотно-регулируемом электроприводе. Во многих случаях возможно применение электродвигателей с самовентиляцией, так как большую часть цикла электроприводы кранов общего назначения работают на номинальной скорости. Именно поэтому, вопреки сложившемуся мнению, не требуется обязательное применение двигателей с независимой вентиляцией в крановом частотно-регулируемом электроприводе. При модернизации кранов есть возможность использовать существующие электродвигатели с фазным ротором с закороченными контактными кольцами [4].

Выводы по разделу один

1 На основании проведенного анализа работы механизма подъема крана мостового типа, специфики технологического процесса и основных требований к электроприводам крановых механизмов, для повышения отказоустойчивости крановой установки произведем замену реостатного ступенчатого регулирования скорости на плавное изменение скорости с применением преобразователя частоты.

2 Применение преобразователя частоты позволит снизить динамические моменты нагрузки при пуске и остановке двигателя, а также позволит обеспечить пониженную скорость двигателя при подъеме и спуске грузов, необходимую для точной укладки или установки грузов.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КРАНА МОСТОВОГО КМ-50

Кран мостовой предназначен для выполнения погрузочно-разгрузочных работ на складах и промышленных предприятиях.

Внешний вид крана мостового представлен на рисунке 2.1. Кинематическая схема механизма подъема крана мостового КМ50 представлена на рисунке 2.2.

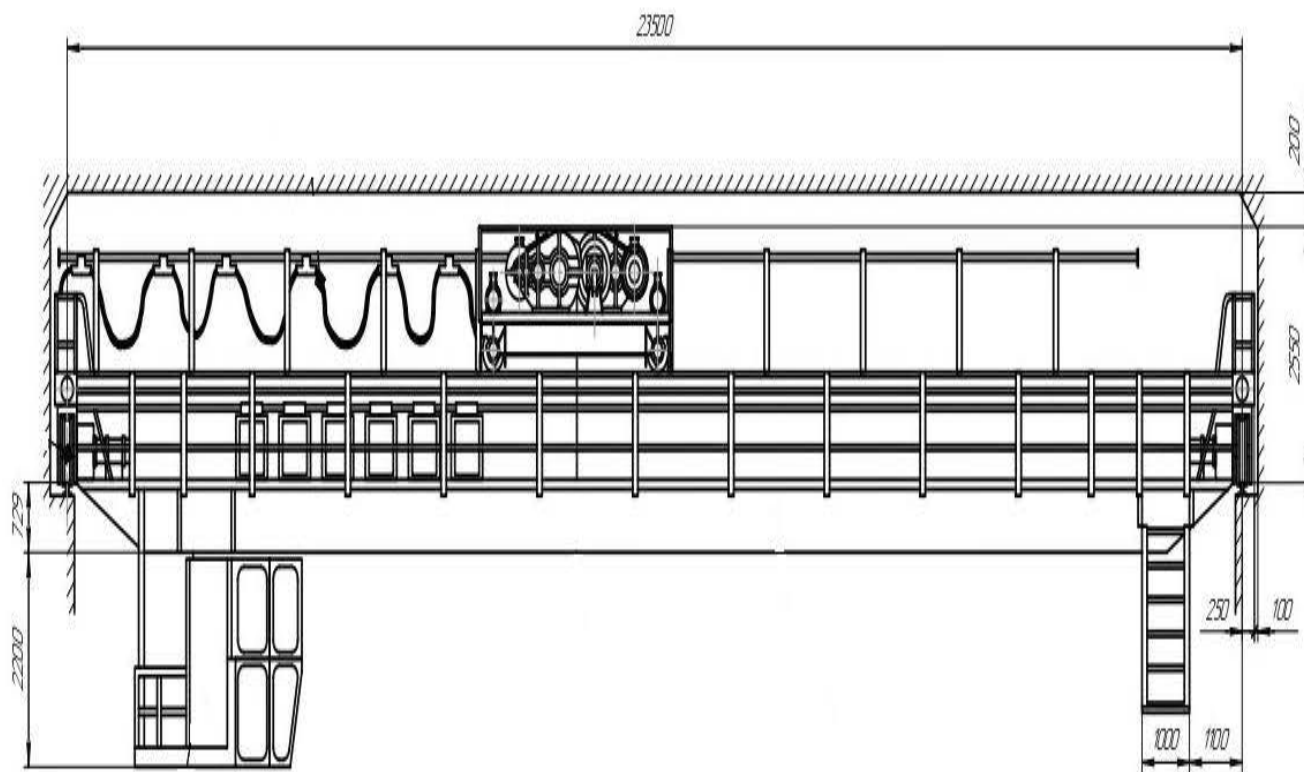


Рисунок 2.1 - Внешний вид мостового крана КМ-50

Конструкция крана состоит из моста, по рельсам которого движется грузовая тележка. Из кабины крановщика, установленной под рабочей платформой моста, совершается управление краном. Для проведения обслуживания токоприемников и питающих крановых троллей предусмотрена служебная кабина тролля. Электрооборудование, находящееся в кабине крановщика, на мосту и в тележках рассчитано на управление механизмами крана. Подача тока на грузовую тележку подается гибким кабелем, подвешенным к вагонам, движущимся по монорельсу [9].

Мост крана состоит из двух полумостов, вес каждого из которых равномерно передается на четыре ходовых колеса. Полумосты шарнирно соединены друг с другом с помощью переходных балок. Мост имеет отдельный привод движения, а также оснащен лестницами, буферами, переходными площадками [9].

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

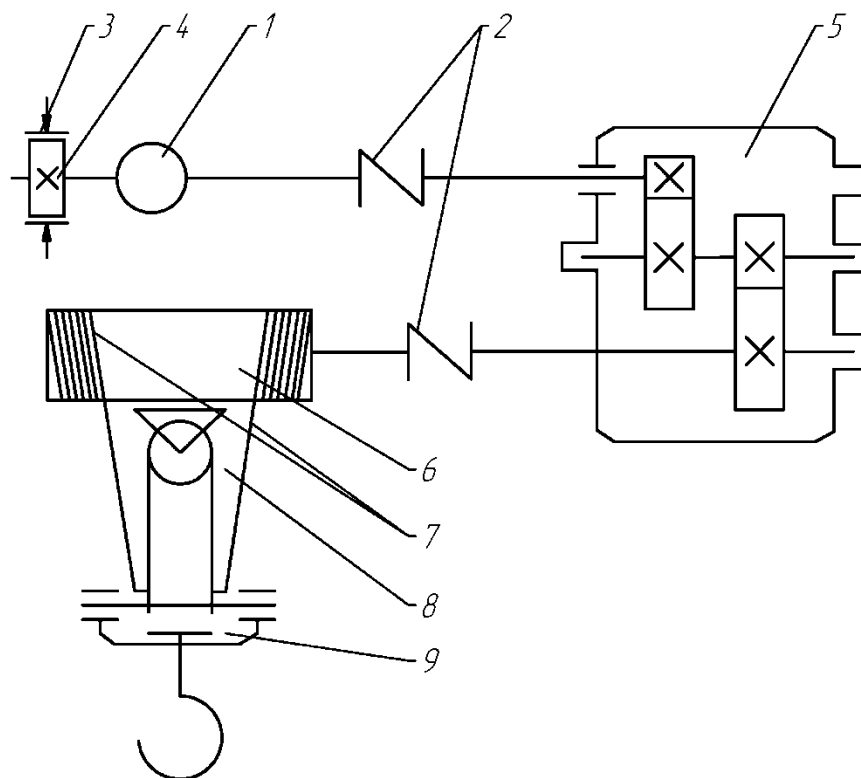


Рисунок 2.2 - Кинематическая схема механизма подъема мостового крана
КМ-50

- 1-электродвигатель;
- 2-соединительная муфта;
- 3-механический тормоз;
- 4-тормозной шкив;
- 5-редуктор;
- 6-барабан;
- 7-канат;
- 8-полиспаст;
- 9-грузозахватывающее устройство;

При помощи соединительной муфты вал двигателя механизма подъема соединяется с быстроходным валом редуктора. При помощи соединительной муфты тихоходный вал редуктора также соединяется с валом, на котором находится барабан. От барабана крюку передается движение при помощи полиспаста. К оси подвижных блоков крепится крюк крана [9].

Муфты служат для непосредственной передачи вращения между валом и зубчатым колесом.

Редуктор защищает зубчатую передачу от грязи, и таким образом обеспечивает хорошую смазку в масляной ванне и улучшает точность зацепления зубьев шестерен.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Механический тормоз предназначен для установки и удержания валов механизма в заторможенном состоянии при неработающем приводе.

Крановые барабаны предназначены для наматывания на них грузового каната. Барабаны обычно изготавливают в виде цилиндра, на внешней поверхности которого сделаны винтовые желобки (ручьи) для навивки каната. Чтобы не допускать возможность износа каната при навивке, диаметр ручья выполняют немного больше диаметра каната.

Канаты на кранах необходимы для подъема груза и для изготовления грузо-захватных приспособлений. Канат производят из отдельных свитых проволочек.

Грузовые крюки имеют один или два рога. Крюки бывают нескольких видов: кованные, штампованные и пластинчатые (состоящие из нескольких пластин, соединенных заклепками). Не допускается возможность применения на кранах литых и сварных крюков.

Полиспаст — это грузоподъемное устройство, состоящее из нескольких подвижных и неподвижных блоков, огибаемых веревкой, канатом или тросом, позволяющее поднимать грузы с усилием в несколько раз меньшим, чем вес поднимаемого груза.

2.1 Условия эксплуатации электрооборудования

Питание электропривода механизма подъема мостового крана КМ-50 осуществляется от промышленной трехфазной сети переменного тока 380/220В с частотой 50Гц.

Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения $\delta U_{сепм}$ на выводах приемников электрической энергии равны соответственно ± 5 и $\pm 10\%$ от номинального напряжения электрической сети. Данный вид возмущения имеет наибольшую вероятность. Возмущение, в ряде случаев, может вызываться перегрузкой сети, прямым пуском мощного двигателя переменного тока, симметричным коротким замыканием в сети.

Нормально допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в точках общего присоединения к электрическим сетям с номинальным напряжением 0,38 кВ составляют 8 и 12 соответственно [1].

Колебания напряжения сети оказывают существенное влияние, прежде всего на электродвигатели переменного тока, так как момент, развиваемый двигателем в этом случае пропорционален квадрату питающего напряжения.

С учётом этого, следует уточнить требования к регулируемому электроприводу:

- возможность функционирования оборудования при предельных отклонениях в сети;
- регулируемый электропривод не должен вызывать отклонений.

Условия эксплуатации электрооборудования должны соответствовать климатическому исполнению оборудования «УХЛ-3» по ГОСТ 15150-69 (ГОСТ 15543-89Е): для эксплуатации в закрытых помещениях (объемах) с естественной

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе, например в металлических с теплоизоляцией, каменных, бетонных, деревянных помещениях (отсутствие воздействия атмосферных осадков, прямого солнечного излучения; существенное уменьшение ветра; существенное уменьшение или отсутствие воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги) [24].

2.2 Технические требования к электроприводу и схеме управления

Чтобы качественно выполнять подъемы, опускания и перемещения грузов электропривод крановых механизмов должен соответствовать следующим основным требованиям [9]:

- относительно низкий диапазон регулирования скорости (в большинстве случаев не выше 10: 1);

- иметь жесткие механические характеристики, особенно регулировочные, так чтобы значение скорости не сильно зависело от нагрузки;

- установить ограничение ускорения до приемлемых пределов с минимальной продолжительностью переходных процессов. Данное условие связано с требованием уменьшения воздействия в механических передачах при выборе зазоров и уменьшения раскачивания груза, подвешенного на канатах, которое происходит при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов движения и вращения[9];

- убедитесь, что электропривод реверсирован и работает в режиме двигателя и тормоза. В подъемных механизмах обеспечивают торможение при спуске и автоматический переход с моторного режима на тормозной в зависимости от веса груза;

- приводной двигатель должен иметь наименьший момент инерции и высокую перегрузочную способность для быстрого запуска, остановки и реверса механизма;

- электропривод должен обеспечивать, чтобы крутящий момент и ток электродвигателя были ограничены допустимыми значениями, как при переходных процессах запуска и торможения, так и при механических перегрузках.

Схема управления должна обеспечивать следующие виды защиты, блокировки и сигнализации:

- защита:

- максимальная нагрузка по току;

- тепловая;

- замки:

- нулевой замок;

- ограничение рабочей зоны;

- блокировка от работы электродвигателя в двух фазах;

Устройства, которые находятся под контролем оператора, то есть в этих системах выбор времени начала операции, параметров скорости и времени оконча-

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

ния операции производится лицом, управляющим механизмом называются системами управления крановым механизмом. В свою очередь, система управления должна обеспечивать необходимую защиту [9].

Системы управления краном могут быть подразделены в соответствии с методом управления:

- управляется напрямую контроллерами силовых кулачков, когда процесс управления, включая выбор необходимых ускорений, выполняется только оператором;

- управляется кнопочными постами, когда ресурсы управления ограничены конструктивными особенностями поста и заданной программой разгона (торможения);

- управляется сложным комплектным устройством (магнитный контроллер с преобразователем энергии или без него). В таком случае оператор должен выбирать только необходимые скорости, а процессы разгона, торможения и промежуточного переключения выполняются автоматически [9].

Вывод по разделу два

Выбор системы управления крановыми механизмами основывается на диапазоне регулирования, способе управления, энергетических и динамических показателях, ресурсе (уровне износостойкости), а также дополнительных данных, определяющих условия работы электроприводов.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА КМ-50

Базовые технические характеристики крана КМ-50 представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики крана.

Наименование параметра	Значение параметра
Тип крана	кран мостовой опорный
Конструкция кранового моста	двухбалочный мост, балки коробчатые
Грузоподъемность крана, т	10
Кратность полиспаста, а	3
Пролет, м	16
Высота подъема, м	6
Номинальная скорость подъема, м/с	0,1
Номинальная скорость движения тележки, м/с	0,63
Диаметр барабана лебедки, м	0,4
Напряжение в канате, тс/см ²	2
Модуль упругости каната, тс/см'	1500
Масса крана, т	5,07
Масса тележки, т	0,6
Род тока, в	380
Продолжительность включения крана, %	25
Высота пролетной балки, м	6
Электродвигатель подъемного механизма, мощность	4АМ112М2, 7,5 кВт

3.1 Расчет мощности приводного двигателя

3.1.1 Количественная оценка вектора состояния или тахограммы требуемого процесса движения

Скорость подъема груза составляет $V_{\text{под}}=0,1$ м/с. Скорость спуска груза составляет 75% от скорости подъема.

$$V_{\text{сп}} = 0,75 \cdot V_{\text{под}} = 0,75 \cdot 0,1 = 0,075 \text{ м/с}. \quad (3.1)$$

При разгоне и торможении ускорение не должно превышать допустимое значение $a=0,11$ м/с².

Полный цикл работы механизма подъема мостового крана состоит из следующих операций:

- спуск грузозахватывающего устройства весом $G_0=0,5$ т на высоту $H=6$ м;
- подъем груза на высоту $H_M=6$ м;
- опускание груза на высоту $H_M=6$ м;
- подъем грузозахватывающего устройства на высоту $H=6$ м.

В соответствии с вышеизложенным приведем упрощенную тахограмму процесса движения.

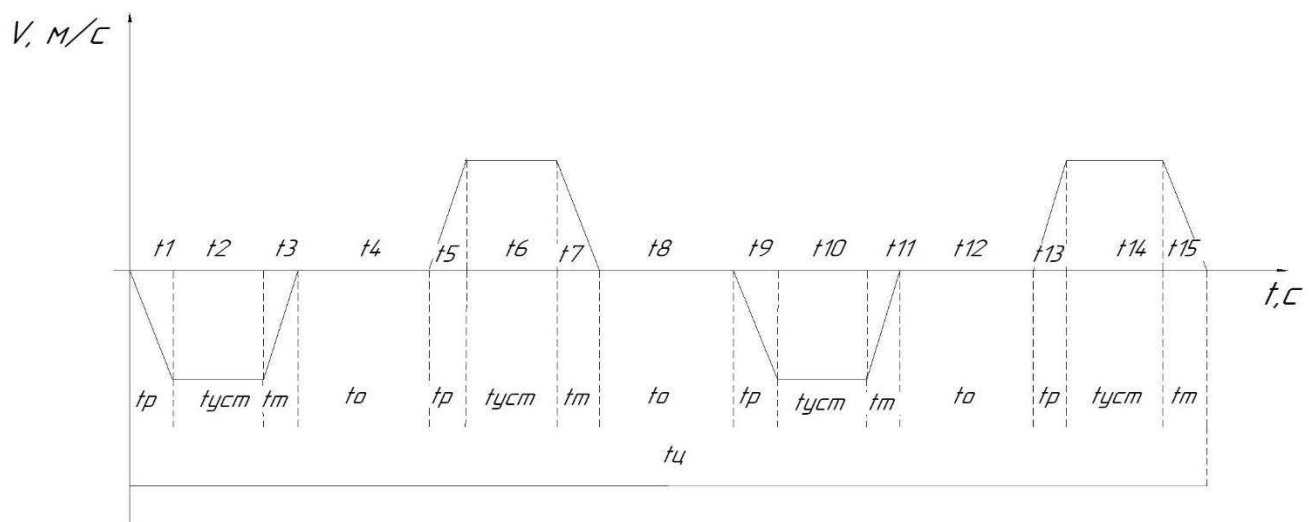


Рисунок 3.1 – Циклограмма процесса движения при спуске и подъеме грузозахватывающего устройства

Определим время разгона и торможения при спуске грузозахватывающего устройства на высоту $H=6$ м:

$$t_1 = t_3 = \frac{V_{СП}}{a} = \frac{0,075}{0,11} = 0,7 \text{ с.} \quad (3.2)$$

Определим расстояние, которое проходит ненагруженное грузозахватывающее устройство за время разгона и торможения:

$$S_1 = \frac{a \cdot t_1^2}{2} = \frac{0,11 \cdot 0,7^2}{2} = 0,027 \text{ м.} \quad (3.3)$$

Определим время работы при скорости $V_{СП}$:

$$t_2 = \frac{H - 2 \cdot S_1}{V_{СП}} = \frac{6 - 2 \cdot 0,027}{0,075} = 79,3 \text{ с.} \quad (3.4)$$

Рассчитаем время разгона и торможения при подъеме груза на высоту $H_M=6$ м:

$$t_5 = t_7 = \frac{V_{\text{ПОД}}}{a} = \frac{0,1}{0,11} = 0,9 \text{ с.} \quad (3.5)$$

Рассчитаем расстояние, которое проходит нагруженное грузозахватывающее устройство за время разгона и торможения:

$$S_2 = \frac{a \cdot t_5^2}{2} = \frac{0,11 \cdot 0,9^2}{2} = 0,045 \text{ м.} \quad (3.6)$$

Рассчитаем время работы при подъеме груза на высоту $H_M=6$ м при скорости $V_{\text{ПОД}}$:

$$t_6 = \frac{H_M - 2 \cdot S_2}{V_{\text{ПОД}}} = \frac{6 - 2 \cdot 0,045}{0,1} = 59,1 \text{ с.} \quad (3.7)$$

Определим время разгона и торможения при спуске груза устройства на высоту $H_M=6$ м:

$$t_9 = t_{11} = \frac{V_{\text{СП}}}{a} = \frac{0,075}{0,11} = 0,7 \text{ с.} \quad (3.8)$$

Определим расстояние, которое проходит нагруженное грузозахватывающее устройство за время разгона и торможения:

$$S_3 = \frac{a \cdot t_9^2}{2} = \frac{0,11 \cdot 0,7^2}{2} = 0,027 \text{ м.} \quad (3.9)$$

Определим время работы при спуске груза на высоту $H_M=6$ м, при скорости $V_{\text{СП}}$:

$$t_{10} = \frac{H_M - 2 \cdot S_3}{V_{\text{СП}}} = \frac{6 - 2 \cdot 0,027}{0,075} = 79,3 \text{ с.} \quad (3.10)$$

Рассчитаем время разгона и торможения при подъеме грузозахватывающего устройства на высоту $H=6$ м:

$$t_{13} = t_{15} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{a} = \frac{0,1}{0,11} = 0,9 \text{ с.} \quad (3.11)$$

Рассчитаем расстояние, которое проходит ненагруженное грузозахватывающее устройство за время разгона и торможения:

$$S_4 = \frac{a \cdot t_{13}^2}{2} = \frac{0,11 \cdot 0,9^2}{2} = 0,045 \text{ м.} \quad (3.12)$$

Рассчитаем время работы при подъеме грузозахватывающего устройства на высоту $H=6$ м при скорости $V_{\text{ПОД}}$:

$$t_{14} = \frac{H - 2 \cdot S_4}{V_{\text{ПОД}}} = \frac{6 - 2 \cdot 0,045}{0,1} = 59,1 \text{ с.} \quad (3.13)$$

Определим время работы электропривода за один цикл:

$$\begin{aligned} t_P &= t_1 + t_2 + t_3 + t_5 + t_6 + t_7 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{13} + t_{14} + t_{15} = \\ &= 4 \cdot 0,7 + 2 \cdot 79,3 + 4 \cdot 0,9 + 2 \cdot 59,1 = 283,2 \text{ с} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Принимаем время пауз составляет 60% от времени работы. С учетом этого рассчитаем суммарное время пауз, а также время одной паузы.

$$t_{\text{П}} = 0,6 \cdot t_P = 0,6 \cdot 283,2 = 170 \text{ с.} \quad (3.15)$$

$$t_4 = t_8 = t_{12} = \frac{t_n}{3} = \frac{170}{3} = 56,7 \text{ с.} \quad (3.16)$$

Рассчитаем время цикла работы электродвигателя:

$$t_{\text{Ц}} = t_P + t_{\text{П}} = 283,2 + 170 = 453,2 \text{ с.} \quad (3.17)$$

Так как время цикла работы двигателя меньше 10 минут, то можно сделать вывод о том, что двигатель работает в повторно-кратковременном режиме работы S3. Определим продолжительность включения:

$$ПВ\% = \frac{t_P}{t_{\text{Ц}}} \cdot 100\% = \frac{283,2}{453,2} \cdot 100\% = 62\% . \quad (3.18)$$

Далее, необходимо перейти от линейной скорости грузозахватывающего устройства к угловой скорости вала двигателя.

$$\omega_{\text{ПОД}} = \frac{V_{\text{ПОД}} \cdot i_p \cdot i_n}{D_{\delta} / 2} = \frac{0,1 \cdot 40 \cdot 3}{0,4 / 2} = 60 \text{ рад / с.} \quad (3.19)$$

$$\omega_{\text{СП}} = \frac{V_{\text{СП}} \cdot i_p \cdot i_n}{D_{\delta} / 2} = \frac{0,075 \cdot 40 \cdot 3}{0,4 / 2} = 45 \text{ рад / с.} \quad (3.20)$$

где i_p - передаточное число редуктора;

i_n - передаточное число полиспаста;

D_0 - диаметр барабана.

По найденным промежуткам времени строим уточненную тахограмму процесса движения в среде Mathcad, представленную на рисунке 3.2

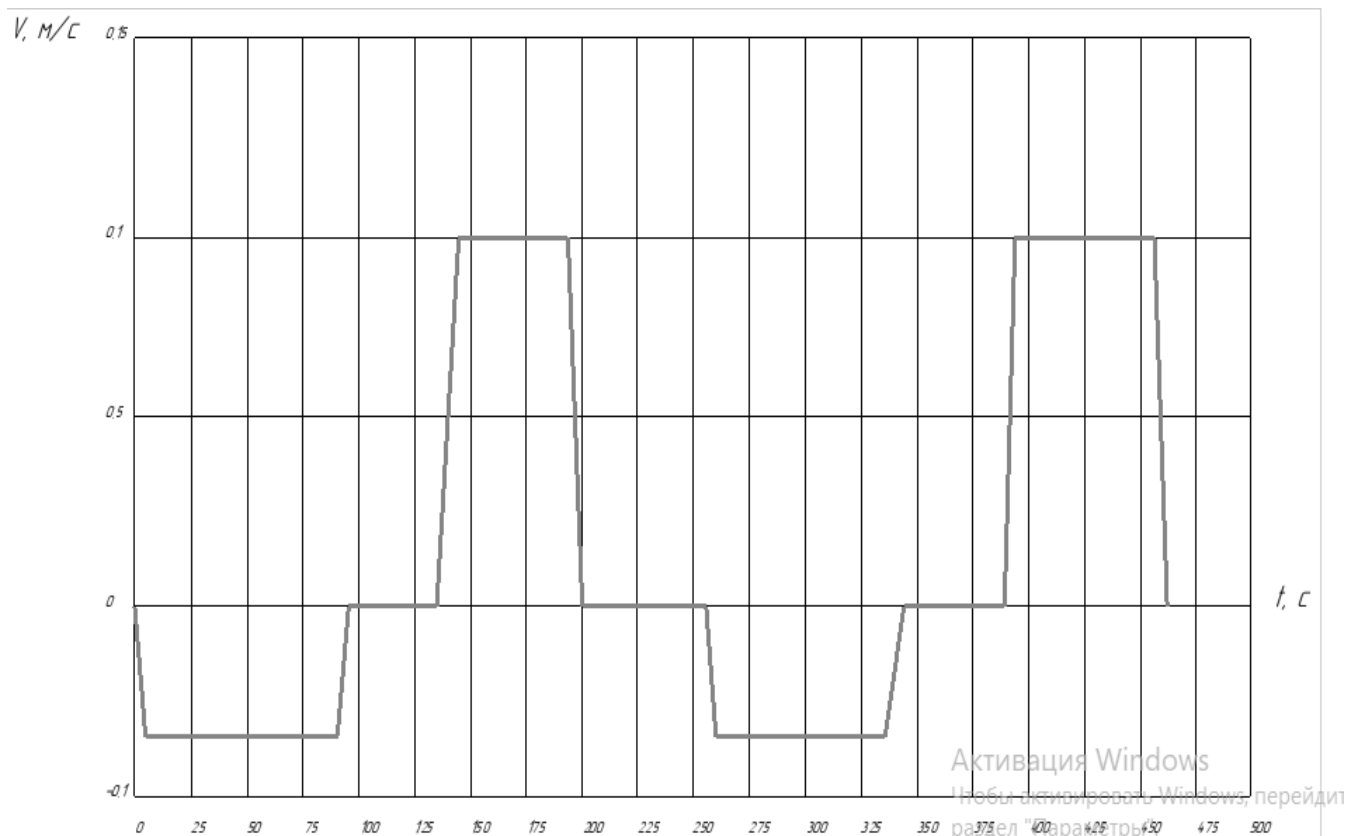


Рисунок 3.2 – Тахограмма процесса движения грузозахватывающего устройства

3.1.2 Количественная оценка моментов и сил сопротивления

На валу двигателя найдем момент при спуске ненагруженного грузозахватывающего устройства.

$$M_{C1} = \frac{G_0 \cdot D_0 \cdot g}{2 \cdot i_p \cdot i_n} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_p \cdot \eta_n}\right), \quad (3.20)$$

$$\text{где } M_{C1} = \frac{0,5 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 9,81}{2 \cdot 40 \cdot 3} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,92 \cdot 0,87}\right) = 7,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где η_p - коэффициент полезного действия редуктора;

η_n - коэффициент полезного действия полиспаста.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ

Лист

21

По принципу аналогии определим момент на валу двигателя при спуске груза.

$$M_{C3} = \frac{(G_0 + G) \cdot g \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i_p \cdot i_n} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_p \cdot \eta_n}\right), \quad (3.21)$$

$$\text{где } M_{C3} = \frac{(0,5 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 40 \cdot 3} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,92 \cdot 0,87}\right) = 128,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где G – вес груза.

Приступаем к расчету момента на валу двигателя при подъеме груза.

$$M_{C2} = \frac{(G_0 + G) \cdot g \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i_p \cdot i_n \cdot \eta_p \cdot \eta_n}, \quad (3.22)$$

$$\text{где } M_{C2} = \frac{(0,5 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 40 \cdot 3 \cdot 0,92 \cdot 0,87} = 214,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По принципу аналогии рассчитаем момент на валу двигателя при подъеме ненагруженного грузозахватывающего устройства.

$$M_{C4} = \frac{G_0 \cdot g \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i_p \cdot i_n \cdot \eta_p \cdot \eta_n}, \quad (3.23)$$

$$\text{где } M_{C4} = \frac{0,5 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 40 \cdot 3 \cdot 0,92 \cdot 0,87} = 10,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3.1.3 Построение расчетной схемы механической части электропривода

Для построения расчетной схемы механической части электропривода необходимо привести параметры схемы к валу двигателя.

Кинематическая схема механизма подъема мостового крана представлена на рисунке 3.3.

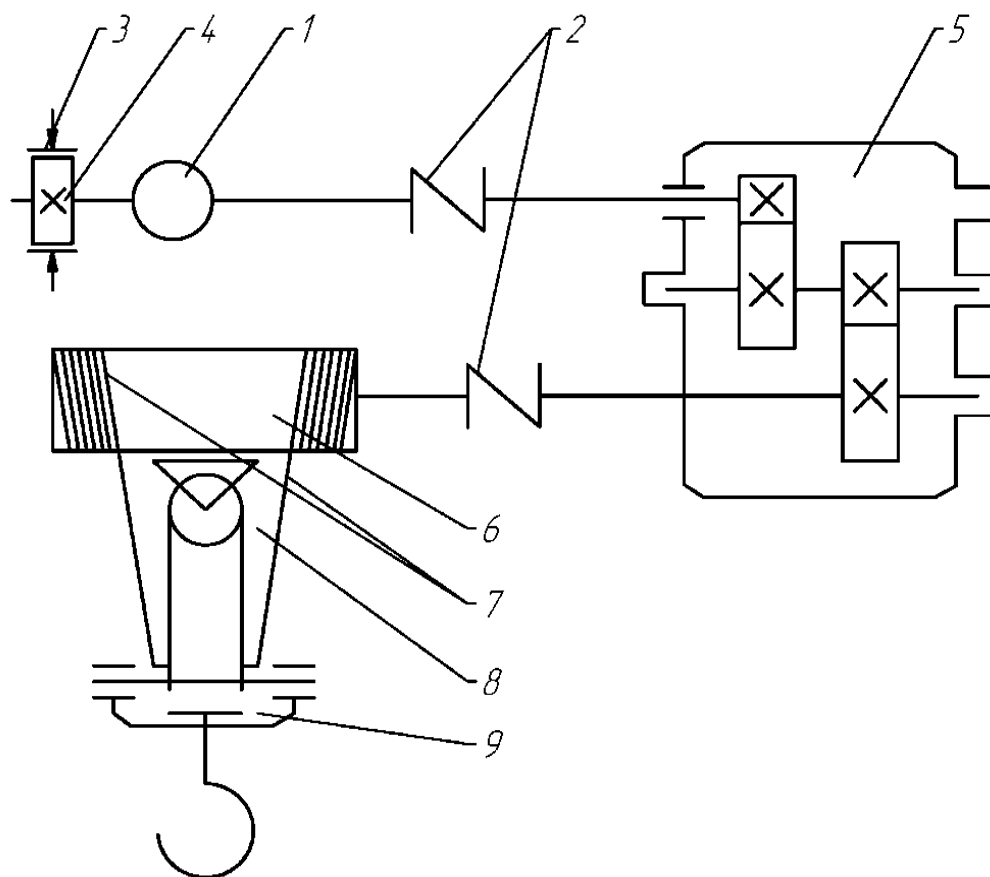


Рисунок 3.3 – Кинематическая схема механизма подъема мостового крана КМ-50:

- 1-электродвигатель;
- 2-соединительная муфта;
- 3-механический тормоз;
- 4-тормозной шкив;
- 5-редуктор;
- 6-барабан;
- 7-канат;
- 8-полиспаст;
- 9-грузозахватывающее устройство;

Для приведения параметров схемы к валу двигателя будем использовать следующие формулы:

$$J_{npi} = \frac{J_{np}}{i_i^2} . \quad (3.24)$$

$$J_{npj} = m_j \cdot \rho_j^2 . \quad (3.25)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$C_{npi} = \frac{C_i}{i_i^2} . \quad (3.26)$$

где J_{npi} - приведенный момент инерции для вращающихся тел;
 J_{npj} - приведенный момент инерции тел, выполняющих поступательное движение;
 C_{npi} - приведенная жесткость;
 i_i - передаточное число.

Далее, рассчитаем приведенный момент инерции барабана.

$$J_{\bar{o}} = 0,008 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 . \quad (3.27)$$

Определяем момент инерции груза.

$$J_{ГР} = \frac{(G_0 + G) \cdot D_{\bar{o}}^2}{4 \cdot i_p^2 \cdot i_n^2} , \quad (3.28)$$

$$\text{где } J_{ГР} = \frac{(0,5 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) \cdot 0,4^2}{4 \cdot 40^2 \cdot 3^2} = 0,029 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Определяем момент инерции грузозахватывающего устройства.

$$J_{ГРУ} = \frac{G_0 \cdot D_{\bar{o}}^2}{4 \cdot i_p^2 \cdot i_n^2} , \quad (3.29)$$

$$\text{где } J_{ГРУ} = \frac{0,5 \cdot 10^3 \cdot 0,4^2}{4 \cdot 40^2 \cdot 3^2} = 0,001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Определяем момент инерции тормозного шкива.

$$J_{шк} = 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 . \quad (3.30)$$

Принимаем момент инерции двигателя $J_{дв} = 0,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ Приведенный момент инерции редуктора принимаем равным 35% от момента инерции двигателя.

$$J_p = 0,35 \cdot J_{дв} , \quad (3.31)$$

$$\text{где } J_p = 0,35 \cdot 0,75 = 0,263 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Определим приведенный момент инерции муфты:

$$J_M = \frac{J_M^1}{i_p^2}, \quad (3.32)$$

$$\text{где } J_M = \frac{0,25}{40^2} = 0,0001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

где J_M^1 - момент инерции муфты.

Рассчитываем приведенную жесткость муфты:

$$c_M = \frac{c_M^1}{i_p^2} = \frac{8,1 \cdot 10^7}{40^2} = 50625 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.33)$$

где c_M^1 - жесткость муфты.

Рассчитаем приведенную жесткость каната:

$$c_K = c_K^1 \cdot \frac{D_\sigma^2}{4 \cdot i_p^2 \cdot i_n^2} \cdot \frac{N}{H}, \quad (3.34)$$

$$\text{где } c_K = 1,65 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,4^2}{4 \cdot 40^2 \cdot 3^2} \cdot \frac{2}{6} = 1,528 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где c_K^1 - жесткость 1 метра каната;

N – число несущих канатов;

H – максимальная высота подъема.

В соответствии с кинематической схемой механизма подъема мостового крана можем отметить, что имеем четырехмассовую расчетную схему, представленную на рисунке 3.4.

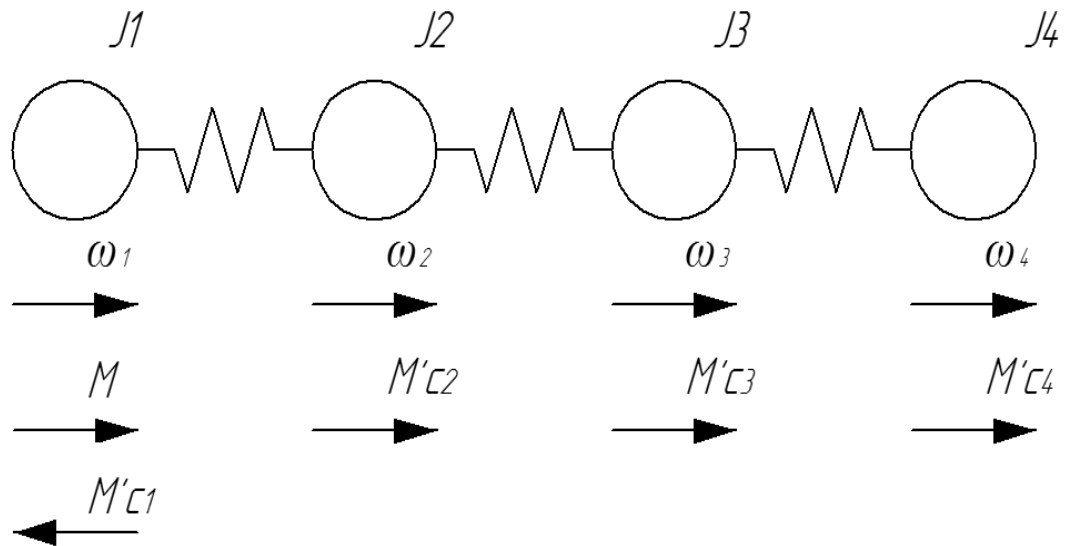


Рисунок 3.4 – Четырехмассовая расчетная схема электропривода

Исходя из кинематической схемой механизма подъема мостового крана, рассчитаем моменты инерции четырехмассовой расчетной схемы, с учетом неучтенного момента инерции равного 8% от суммарного момента инерции установки.

$$J_1 = J_{ДВ} + J_{ШК} + \frac{J'_M}{2}, \quad (3.35)$$

где $J_1 = 0,75 + 0,015 + \frac{0,25}{2} = 0,89 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$J_2 = \frac{J^1_M}{2} + J_p + \frac{J_M}{2}, \quad (3.36)$$

где $J_2 = \frac{0,25}{2} + 0,263 + \frac{0,0001}{2} = 0,388 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$J_3 = \frac{J_M}{2} + J_6 + 0,08 \cdot J_\Sigma, \quad (3.37)$$

где $J_3 = \frac{0,0001}{2} + 0,008 + 0,08 \cdot 1,528 = 0,130 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$J_4 = J_{ГР} + J_{ГРУ} \quad (3.38)$$

где $J_4 = 0,029 + 0,01 = 0,030 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

С помощью метода последовательного упрощения расчетной схемы, приведем четырехмассовую расчетную схему к трехмассовой расчетной схеме, изображенной на рисунке 3.5.

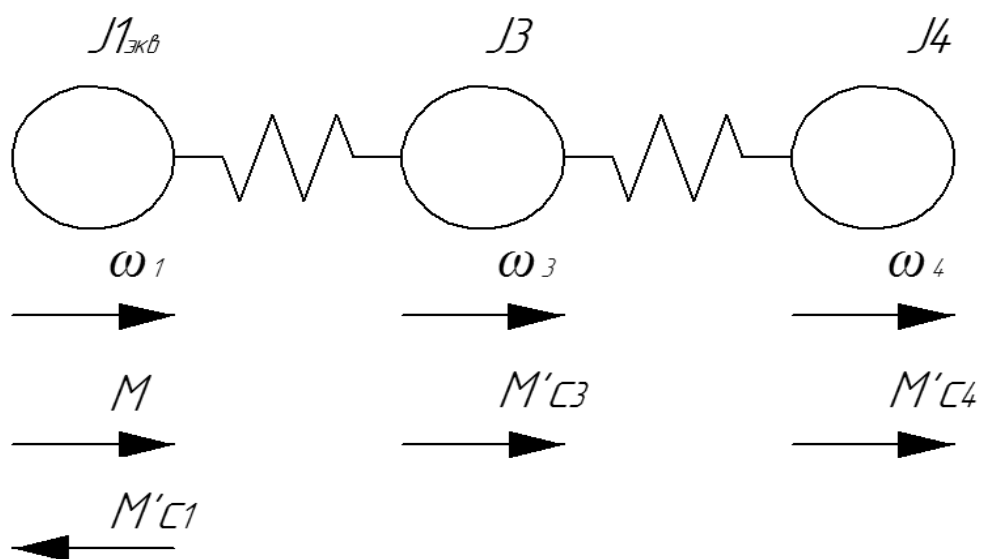


Рисунок 3.5 – Трехмассовая расчетная схема электропривода

Заменяем последовательно соединенные звенья J_1 и J_2 на эквивалентное звено J_{19} в соответствии приведенным ниже алгоритмом:

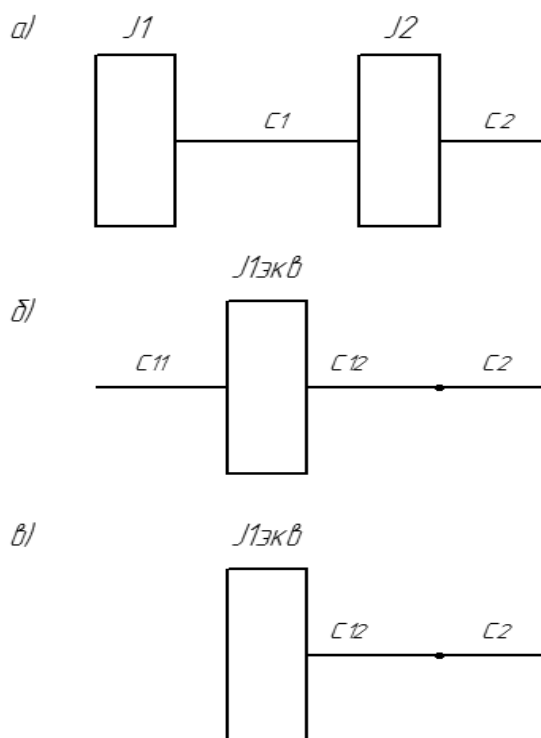


Рисунок 3.6 – Замена звена типа Б на звено типа А

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Согласно с приведенным алгоритмом следует произвести замену звена типа Б (рисунок 3.6 (а)) на звено типа А (рисунок 3.6 (б)). При этом если пропорциональное звено является крайним, то при преобразовании остается свободный упругий участок, имеющий жесткость c_{11} , который отбрасываем. С учетом этого окончательная схема представлена на рисунке 3.6 (в).

Замена звена типа Б на звено типа А выполняется в соответствии со следующими выражениями:

$$J_{1Э} = J_1 + J_2 \quad (3.39)$$

где $J_{1Э} = 0,89 + 0,388 = 1,278 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

$$c_{12} = c_1 \cdot \frac{J_{1ЭKB}}{J_1} \quad (3.40)$$

При последовательном соединении звеньев эквивалентная жесткость рассчитывается следующим образом:

$$c_{1ЭKB} = \frac{c_{12} \cdot c_2}{c_{12} + c_2} \quad (3.41)$$

Используя метод последовательного упрощения расчетной схемы, приведем трехмассовую расчетную схему к двухмассовой расчетной схеме, изображенной на рисунке 3.7.

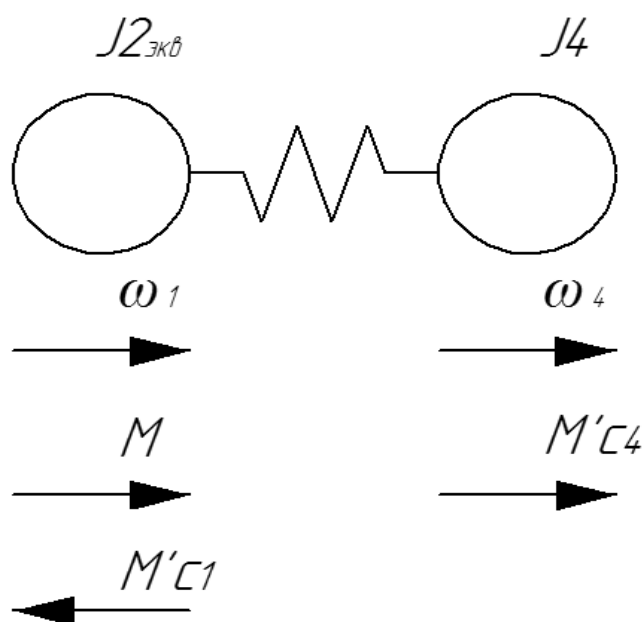


Рисунок 3.7 – Двухмассовая расчетная схема электропривода

Заменяем последовательно соединенные звенья $J_{1Э}$ и J_3 на эквивалентное звено $J_{2Э}$ в соответствии приведенным ниже алгоритмом:

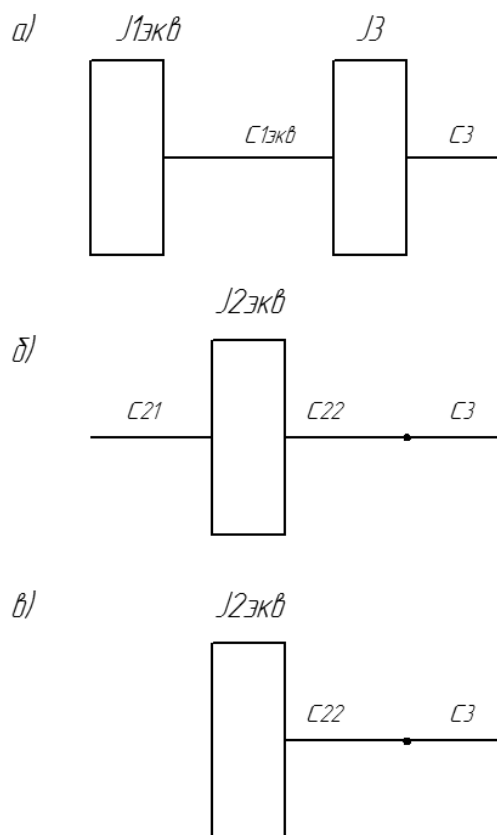


Рисунок 3.8 – Замена звена типа Б на звено типа А

Аналогично приведенным ранее формулам для замены звена типа Б на звено типа А запишем формулы для данного случая:

$$J_{2Э} = J_{1Э} + J_3 \quad (3.42)$$

где $J_{2Э} = 1,278 + 0,130 = 1,408 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

$$c_{22} = c_{1ЭКВ} \cdot \frac{J_{2ЭКВ}}{J_{1ЭКВ}} \quad (3.43)$$

$$c_{2ЭКВ} = \frac{c_{22} \cdot c_3}{c_{22} + c_3} \quad (3.44)$$

В результате произведенных преобразований имеем двухмассовую консервативную расчетную схему электропривода.

3.1.4 Построение нагрузочной диаграммы и механической характеристики рабочей машины

Нагрузочная диаграмма представляет собой графическое изображение зависимости статического момента механизма, приведенного к валу электродвигателя, от времени.

Для построения нагрузочной диаграммы запишем значения статических моментов:

$$M_{C1} = 7,8 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.45)$$

$$M_{C2} = 214,8 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.46)$$

$$M_{C3} = 128,5 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.47)$$

$$M_{C4} = 10,8 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (3.48)$$

При построении нагрузочной диаграммы для определения промежутков времени воспользуемся тахограммой процесса движения, изображенной на рисунке 3.2. По тахограмме процесса движения определим общее время переходных процессов и суммарное время установившегося движения за один цикл работы.

$$t_{III} = t_1 + t_3 + t_5 + t_7 + t_9 + t_{11} + t_{13} + t_{15} , \quad (3.49)$$

$$\text{где } t_{III} = 0,7 + 0,7 + 0,9 + 0,9 + 0,7 + 0,7 + 0,9 + 0,9 = 6,4 \text{ с} .$$

$$t_{уст} = t_2 + t_6 + t_{10} + t_{14} , \quad (3.50)$$

$$\text{где } t_{уст} = 79,3 + 59,1 + 79,3 + 59,1 = 276,8 \text{ с} .$$

Определим время переходных процессов по отношению к времени установившегося движения:

$$\delta = \frac{t_{III}}{t_{уст}} \cdot 100\% , \quad (3.51)$$

$$\text{где } \delta = \frac{6,4}{276,8} \cdot 100\% = 2,3\% .$$

Так как время переходного процесса меньше, чем 10% от времени, то нужно учитывать динамические моменты. Для этого рассчитаем динамические моменты:

$$M_{\text{дин.сп}} = J_{\Sigma} \frac{a}{\rho} = J_{\Sigma} \frac{a \cdot \omega_{\text{сп}}}{V_{\text{сп}}}, \quad (3.52)$$

где $M_{\text{дин.сп}} = 1,528 \cdot \frac{0,11 \cdot 45}{0,075} = 100,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

$$M_{\text{дин.под}} = J_{\Sigma} \frac{a \cdot \omega_{\text{под}}}{V_{\text{под}}} \quad (3.53)$$

где $M_{\text{дин.под}} = 1,528 \cdot \frac{0,11 \cdot 60}{0,1} = 100,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

С учетом вышеизложенного произведем построение нагрузочной диаграммы.

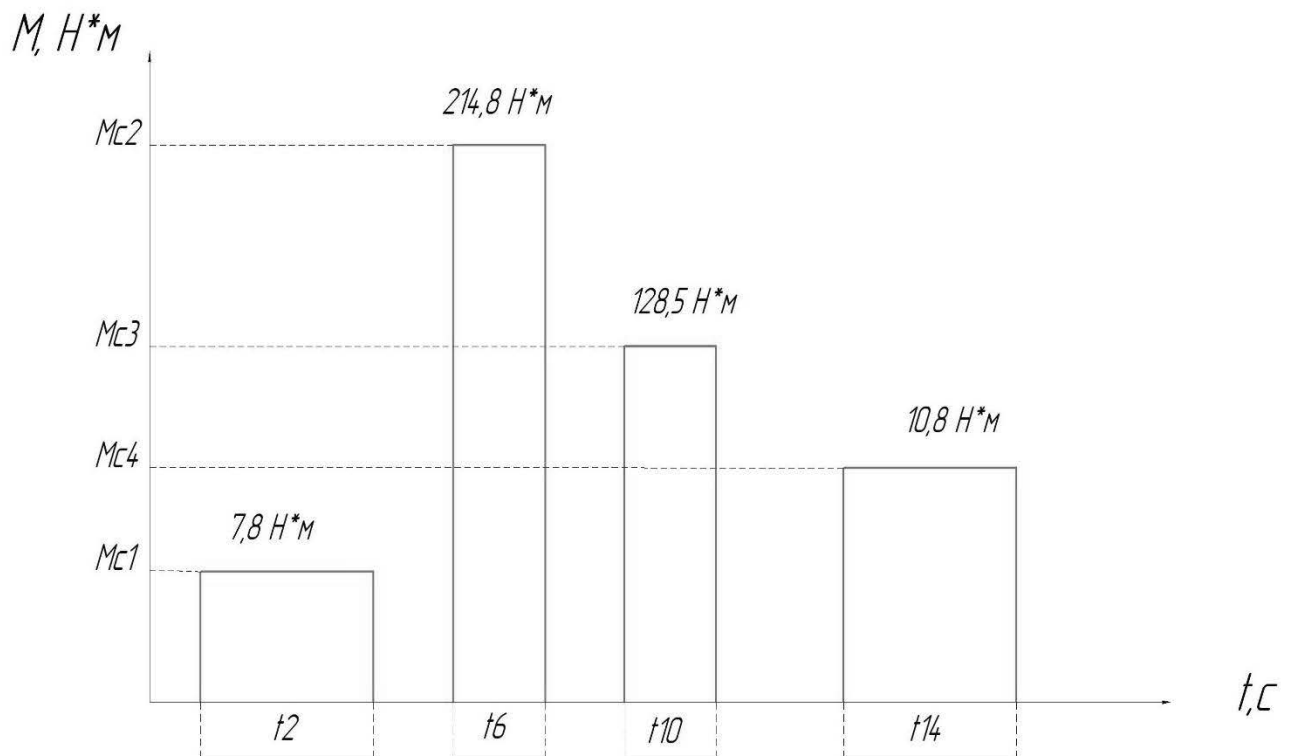


Рисунок 3.8 – Нагрузочная диаграмма процесса движения грузозахватывающего устройства

В соответствии с выражениями 3.45-3.48 построим механическую характеристику рабочей машины.

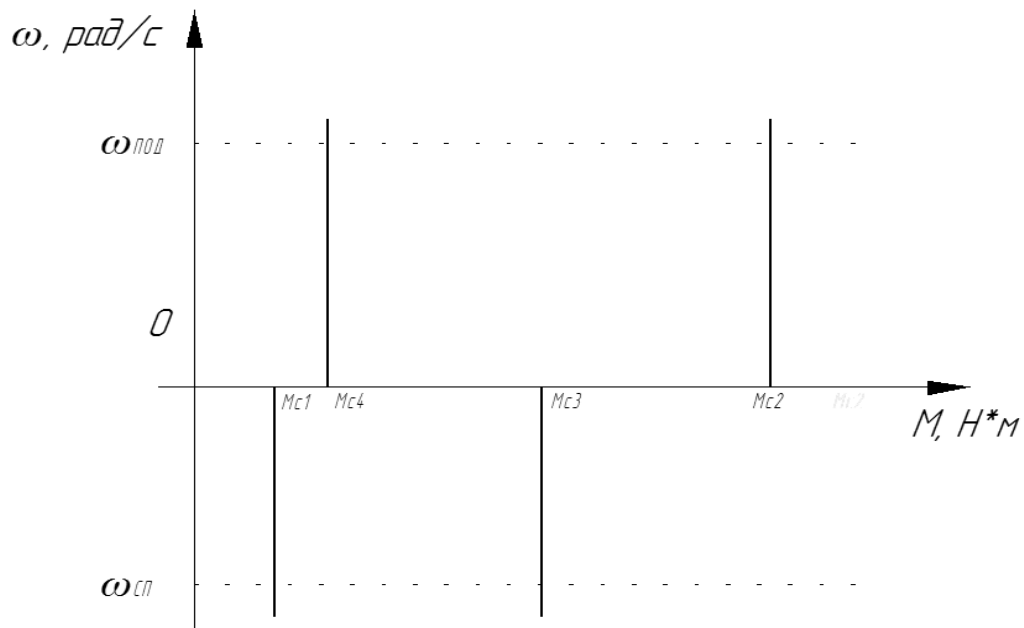


Рисунок 3.9 – Механическая характеристика рабочей машины

3.1.5 Расчет и выбор двигателя.

Необходимо выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Расчет мощности двигателя будем производить по методу эквивалентного момента.

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \quad (3.54)$$

где M_i - величина статического момента на i -ом участке работы, Н·м;
 t_i - время работы с моментом M_i , с.

Рассчитаем эквивалентный момент двигателя в соответствии с нагрузочной диаграммой (рисунок 3.8).

$$M_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{M_{C1}^2 \cdot (t_1 + t_2 + t_3) + M_{C2}^2 \cdot (t_5 + t_6 + t_7) + M_{C3}^2 \cdot (t_9 + t_{10} + t_{11}) + M_{C4}^2 \cdot (t_{13} + t_{14} + t_{15})}{t_1 + t_2 + t_3 + t_5 + t_6 + t_7 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{13} + t_{14} + t_{15}}} \quad (3.55)$$

где

$$M_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{7,8^2 \cdot (2 \cdot 0,7 + 79,3) + 214,8^2 \cdot (2 \cdot 0,9 + 59,1) + 128,5^2 \cdot (2 \cdot 0,7 + 79,3) + 10,8^2 \cdot (2 \cdot 0,9 + 59,1)}{2 \cdot 0,7 + 79,3 + 2 \cdot 0,9 + 59,1 + 2 \cdot 0,7 + 79,3 + 2 \cdot 0,9 + 59,1}} = 121,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

После расчета эквивалентной мощности произведем приведение к ближайшей стандартной ПВ.

$$M_{\text{ЭКВ.СТ}} = M_{\text{ЭКВ}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{РАСЧ}}}{ПВ_{\text{СТ}}}}, \quad (3.56)$$

где $M_{\text{ЭКВ.СТ}} = 121,1 \cdot \sqrt{\frac{62}{40}} = 150,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

где $ПВ_{\text{РАСЧ}}$ - расчетная продолжительность включения;
 $ПВ_{\text{СТ}}$ - стандартная продолжительность включения.

Определим расчетную мощность двигателя:

$$P_{2,\text{РАСЧ}} = K_3 \cdot M_{\text{ЭКВ.СТ}} \cdot \omega_{\text{ПОД}}, \quad (3.57)$$

где $P_{2,\text{РАСЧ}} = 1,05 \cdot 150,8 \cdot 60 = 9,5 \text{ кВт}.$

Рассчитаем номинальную скорость подъема:

$$n_{\text{ПОД}} = \omega_{\text{ПОД}} \cdot \frac{30}{\pi}, \quad (3.58)$$

где $n_{\text{ПОД}} = 60 \cdot \frac{30}{3,14} = 573,2 \text{ об/мин}.$

Исходя из этого, выбираем асинхронный двигатель краново-металлургической серии для работы в составе с частотным преобразователем МТКНФ2П312-8. Технические характеристики электродвигателя приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики двигателя.

f, Гц	U _н , В	P _н , кВт S3-40%	КПД, %	cosφ	n _н , об/мин	λ	J, кг·м ²
50	380	11	85	0,65	735	3	0,371

Режим работы: повторно-кратковременный S3 – ПВ40% во всем диапазоне регулирования.

Двигатель предназначен для питания от преобразователя частоты с диапазоном от 10 до 100 Гц при определенном законе регулирования.

Высота над уровнем моря составляет не более 1000 м, температура окружающей среды от -45 до + 50 °С.

Конструктивное исполнение асинхронного электродвигателя представлено на рисунке 3.10

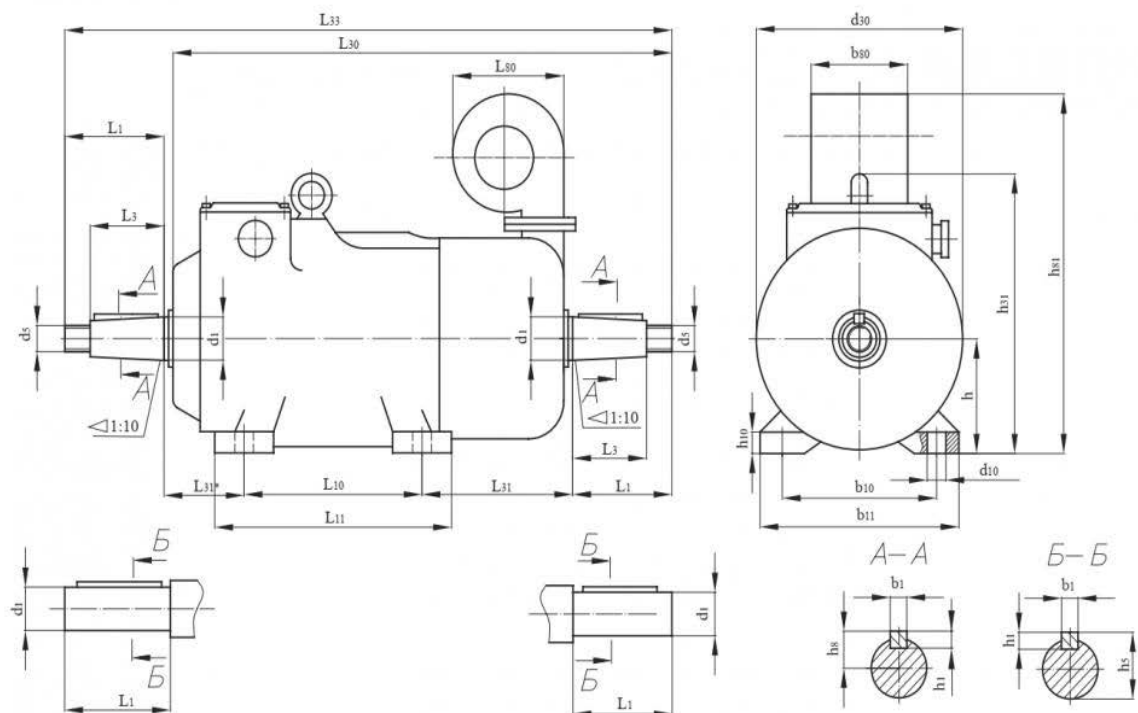


Рисунок 3.10 – Конструктивное исполнение асинхронного двигателя МТКНФ2П312-8

Конструктивные особенности:

- несущие элементы корпуса с вертикально-горизонтальными ребрами и несущими экранами отлит из высокопрочного чугуна;
- двигатель выполнен с независимой вентиляцией - с центробежным вентилятором фирмы "EVM", Германия, установленным поверх корпуса двигателя;
- двигатель обеспечивает повышенные энергетические и регулировочные характеристики и надежную длительную работу под воздействием повышенных ШИМ-напряжений, благодаря конструктивным особенностям обмоток статора и ротора. Обмотки статора выполнены из проволоки с армированной стекловолоконной изоляцией.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ

Лист

34

3.2 Расчет и выбор преобразователя частоты

Условиями выбора преобразователя частоты на базе автономного инвертора являются: $U_{\text{ПР}} = 380 \text{ В}$, $P_{\text{ПР}} \geq 11 \text{ кВт}$.

Выбор преобразователя будем осуществлять из серии преобразователей частоты Schneider Electric Altivar 71. Данная серия ПЧ позволяет управлять с помощью алгоритма векторного управления потоком асинхронного двигателя в разомкнутой и замкнутой системах регулирования скорости.



Рисунок 3.11 - Внешний вид частотного преобразователя ATV71HD11N4

С учетом условий выбора преобразователя выбираем преобразователь ATV71HD11N4. Основные характеристики преобразователя представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики преобразователя ATV71HD37N4.

Мощность, кВт	11
Линейный ток, А	36,6
Максимальный ток в установившемся режиме, А	27,7
Максимальный переходный ток в течение 60 с, А	45,7
Диапазон выходной частоты, Гц	От 0 до 1600
Номинальная частота коммутации, кГц	2,5
Настраиваемая частота коммутации, кГц	От 1 до 16
Диапазон скорости в замкнутой системе с импульсным датчиком скорости	1000
Диапазон скорости в разомкнутой системе с импульсным датчиком скорости	100
Точность поддержания момента в замкнутой системе	$\pm 5 \%$
Точность поддержания момента в разомкнутой системе	$\pm 15 \%$
Переходный перегрузочный момент в течение 60 с	170 % номинального момента двигателя
Переходный перегрузочный момент в течение 2 с	220 % номинального момента двигателя

Преобразователь обуславливает следующие законы управления двигателем:
-векторное управление потоком с обратной связью по скорости (вектор тока);

-векторное управление потоком без обратной связи по скорости (вектор напряжения или тока);

-закон «напряжение/частота» (по 2 или 5 точкам);

-система адаптации мощности (Energy Adaptation System - ENA) для неуравновешенных механизмов.

Приведенные ниже кривые соответствуют установившемуся и переходному перегрузочным моментам для двигателя с естественной и принудительной вентиляцией. Разница заключается в способности двигателя продолжительно развивать значительный момент при скорости ниже половины номинальной.

Торможение с помощью сопротивления позволяет преобразователю Altivar 71 останавливать или приводить в действие электропривод в генераторном режиме, рассеивая энергию при этом сопротивлении. Преобразователь ATV71HD11N4 оснащен встроенным тормозным транзистором (прерывателем). Тормозные сопротивления для подъемно-транспортного оборудования (ТО) обеспечивают работу преобразователя Altivar 71 при торможении до полной остановки за счет рассеивания энергии торможения.

Преобразователь Altivar 71 обладает встроенной программной функцией, которая позволяет ограничить перенапряжение на клеммах двигателя. Функция программного обеспечения ограничивает перенапряжение на клеммах двигателя, чтобы удвоить напряжение линии постоянного тока. Для различных применений с циклами торможения, в которых промежуточное напряжение постоянного тока превышает его нормальный уровень, определяется напряжением питания, умноженным на $\sqrt{2}$.

Интерфейсная карта датчика RS 422 ESIM (Encoder SIMulation) дает возможность контроллеру движения выдать информацию о положении и скорости двигателя с помощью выхода ESIM с интерфейсом RS 422.

Применяем интерфейсную карту импульсного датчика VW3 401 со следующими характеристиками:

- напряжение питания, В 5;
- максимальный ток, мА 200;
- количество импульсов на один оборот вала датчика <5000;
- максимальная частота, кГц 300.

Для двуполярного задания скорости применим карту расширения VW3 A3 202.

3.3 Проверка правильности расчета мощности и окончательный выбор двигателя

Чтобы проверить правильность расчета мощности двигателя воспользуемся методом средних потерь.

Средние потери мощности в двигателе в течение цикла выражаются уравнением:

$$\Delta P_{CP} = \frac{\Delta P_{II} \cdot t_{II} + \Delta P_{Y} \cdot t_{Y} + \Delta P_{T} \cdot t_{T}}{\sum t_{II} + \sum t_{Y} + \sum t_{T}} . \quad (3.59)$$

где $\Delta P_{II}, \Delta P_{T}$ - средние потери мощности в двигателе за время пуска t_{II} и торможения t_{T} ;

ΔP_{Y} - потери мощности в двигателе за время работы t_{Y} с установившейся скоростью.

Так как выбранный двигатель имеет независимую вентиляцию, то будем считать, что средние потери мощности в двигателе за время пуска и торможения малы. С учетом этого средние потери мощности в двигателе будем определять согласно следующему выражению:

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^4 \Delta P_{Pi} \cdot t_{P}}{\sum t_{P}} . \quad (3.60)$$

где ΔP_{Pi} - потери мощности в двигателе за время работы t_{P} .

В соответствии с тахограммой процесса движения определим расчетную мощность на каждом из участков работы.

$$P_1 = M_{C1} \cdot \omega_{СП} = 7,8 \cdot 45 = 0,4 \text{ кВт} \quad (3.61)$$

где $P_1 = 7,8 \cdot 45 = 0,4 \text{ кВт}$.

$$P_2 = M_{C2} \cdot \omega_{ПОД} , \quad (3.62)$$

где $P_2 = 214,8 \cdot 60 = 12,9 \text{ кВт}$.

$$P_3 = M_{C3} \cdot \omega_{СП} , \quad (3.63)$$

где $P_3 = 128,5 \cdot 45 = 5,9 \text{ кВт}$.

$$P_4 = M_{C4} \cdot \omega_{ПОД} , \quad (3.64)$$

где $P_4 = 10,8 \cdot 60 = 0,6 \text{ кВт}$.

Определим потери мощности для каждого периода нагрузки.

$$\Delta P_i = P_i \cdot \frac{1 - \eta_i}{\eta_i} . \quad (3.65)$$

где η_i - коэффициент полезного действия двигателя при данной нагрузке.

Коэффициент полезного действия двигателя при частичной нагрузке определяется как:

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_H} - 1\right) \cdot \frac{\alpha + \chi^2}{(\alpha + 1)\chi}} . \quad (3.66)$$

Отношение постоянных потерь к переменным при номинальной нагрузке:

$$\alpha = 0,75 . \quad (3.67)$$

Коэффициент загрузки двигателя:

$$\chi = \frac{P_i}{P_H} . \quad (3.68)$$

Определим значения коэффициента загрузки двигателя для каждого периода нагрузки:

$$\chi_1 = \frac{P_1}{P_H} = \frac{0,4}{11} = 0,04 .$$

$$\chi_2 = \frac{P_2}{P_H} = \frac{12,9}{11} = 1,08 .$$

$$\chi_3 = \frac{P_3}{P_H} = \frac{5,9}{11} = 0,54 .$$

$$\chi_4 = \frac{P_4}{P_H} = \frac{0,6}{11} = 0,05 .$$

Коэффициент полезного действия двигателя при частичной нагрузке для каждого периода нагрузки:

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_H} - 1\right) \cdot \frac{\alpha + \chi_1^2}{(\alpha + 1) \cdot \chi_1}} ,$$

$$\text{где } \eta_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{0,86} - 1\right) \cdot \frac{0,75 + 0,04^2}{(0,75 + 1) \cdot 0,04}} = 0,36 .$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_H} - 1\right) \cdot \frac{\alpha + \chi_2^2}{(\alpha + 1) \cdot \chi_2}} ,$$

$$\text{где } \eta_2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{0,86} - 1\right) \cdot \frac{0,75 + 1,08^2}{(0,75 + 1) \cdot 1,08}} = 0,858 .$$

$$\eta_3 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_H} - 1\right) \cdot \frac{\alpha + \chi_3^2}{(\alpha + 1) \cdot \chi_3}} ,$$

$$\text{где } \eta_3 = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{0,86} - 1\right) \cdot \frac{0,75 + 0,54^2}{(0,75 + 1) \cdot 0,54}} = 0,848 .$$

$$\eta_4 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_H} - 1\right) \cdot \frac{\alpha + \chi_4^2}{(\alpha + 1) \cdot \chi_4}} ,$$

$$\text{где } \eta_4 = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{0,86} - 1\right) \cdot \frac{0,75 + 0,05^2}{(0,75 + 1) \cdot 0,05}} = 0,42 .$$

С учетом этого определим потери мощности для каждого периода нагрузки:

$$\Delta P_1 = P_1 \cdot \frac{1 - \eta_1}{\eta_1} = 0,4 \cdot \frac{1 - 0,36}{0,36} = 0,71 \text{ кВт} .$$

$$\Delta P_2 = P_2 \cdot \frac{1 - \eta_2}{\eta_2} = 12,9 \cdot \frac{1 - 0,858}{0,858} = 2,13 \text{ кВт} .$$

$$\Delta P_3 = P_3 \cdot \frac{1 - \eta_3}{\eta_3} = 5,9 \cdot \frac{1 - 0,848}{0,848} = 1,06 \text{ кВт} .$$

$$\Delta P_4 = P_4 \cdot \frac{1 - \eta_4}{\eta_4} = 0,6 \cdot \frac{1 - 0,42}{0,42} = 0,83 \text{ кВт} .$$

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Определим средние потери мощности в двигателе.

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^4 \Delta P_{Pi} \cdot t_P}{\sum t_P}, \quad (3.69)$$

$$\text{где } \Delta P_{CP} = \frac{0,71 \cdot 79,3 + 2,13 \cdot 59,3 + 1,06 \cdot 79,3 + 0,83 \cdot 59,1}{79,3 + 59,1 + 79,3 + 59,1} = 1,14 \text{ кВт}.$$

Определим номинальные потери в двигателе:

$$\Delta P_H = P_H \cdot \frac{1 - \eta_H}{\eta_H}, \quad (3.70)$$

$$\text{где } \Delta P_H = 11 \cdot \frac{1 - 0,86}{0,86} = 1,79 \text{ кВт}.$$

Правильно выбранный двигатель должен удовлетворять неравенству:

$$\Delta P_{CP} \leq \Delta P_H. \quad (3.71)$$

С учетом этого получаем:

$$1,14 \text{ кВт} \leq 1,79 \text{ кВт}. \quad (3.72)$$

Коэффициент использования двигателя:

$$\chi = \frac{\Delta P_{CP}}{\Delta P_H} = \frac{1,14}{1,79} = 65\%. \quad (3.73)$$

Следовательно, выбранный двигатель удовлетворяет условиям проектируемого электропривода.

Выводы по разделу три

По результатам рассчитанного значения мощности приводного двигателя выбрали асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии МТКНФ2ПЗ12-8, а также преобразователь частоты Schneider Electric Altivar 71. Для выбранного электродвигателя произвели проверку в соответствии с нагрузочной диаграммой, по результатам которой можно сделать вывод, что выбранный электродвигатель удовлетворяет условиям работы электропривода.

4 ВЫБОР СХЕМЫ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ, ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Схема электрическая принципиальная силовой части преобразователя изображена на рисунке 4. Источником питания служит трехфазная сеть переменного тока с напряжением 380 В.

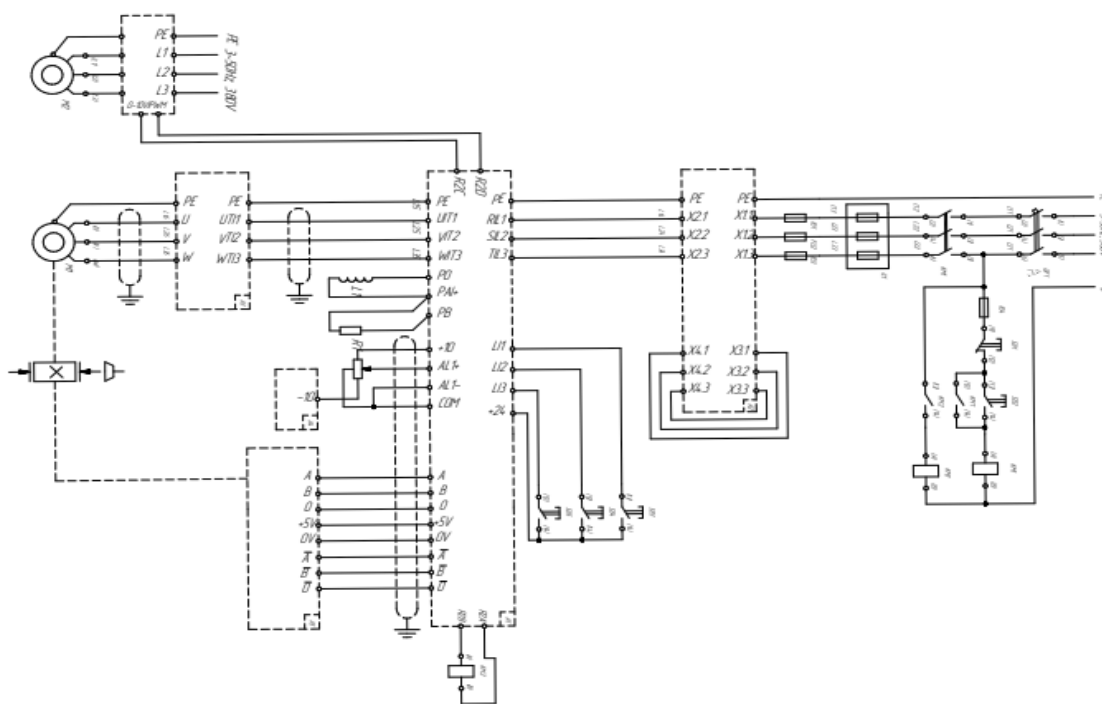


Рисунок 4 – Схема электрическая принципиальная силовой части преобразователя

Для обеспечения ручного релейного включения и отключения силовой части от питающей сети будем применять автоматический выключатель QF1 с комбинированным расцепителем. Данная функция необходима для обеспечения технической безопасности при выполнении монтажных и пуско-наладочных работ, а также для ручного отключения силовой части в случае аварийных режимов. Кроме того, автоматический выключатель обеспечивает защиту от режимов перегрузки двигателя.

Для обеспечения дистанционного включения и отключения силовой части от питающей сети будем применять магнитный пускатель KM1. Внешний вид магнитного пускателя изображен на рисунке 4.1



Рисунок 4.1- Внешний вид магнитного пускателя КМ1

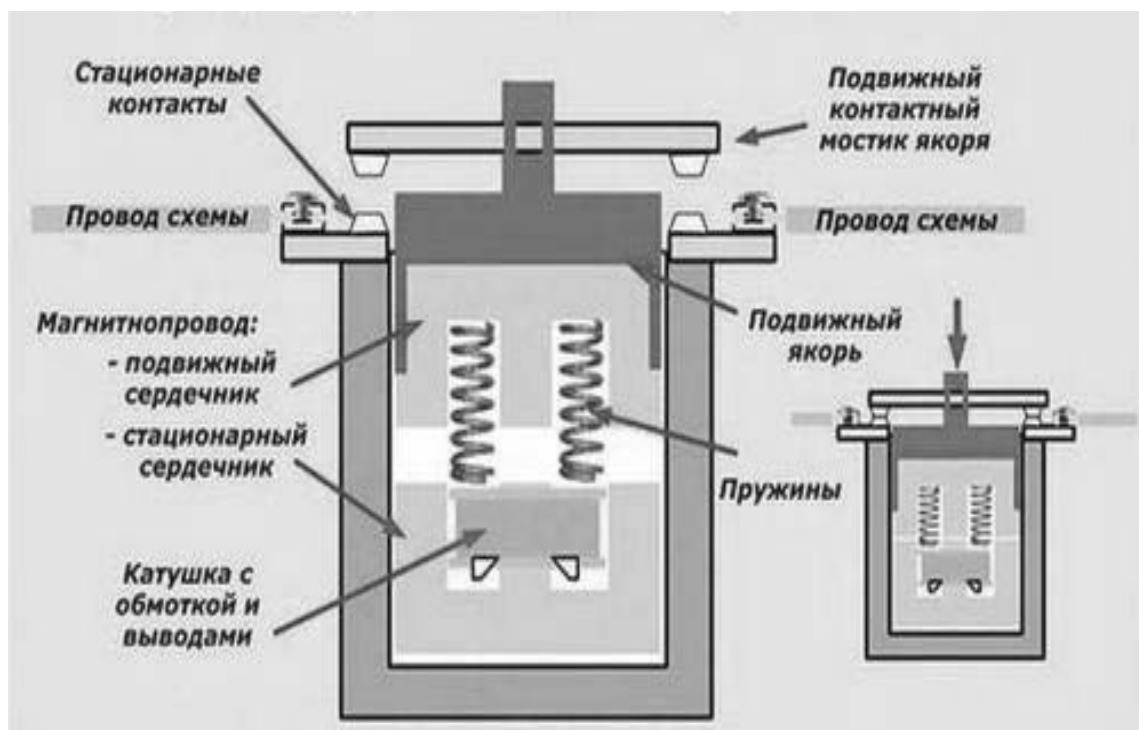


Рисунок 4.2- Принцип устройства магнитного пускателя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ

Лист

42

Дистанционное релейное отключение необходимо для оперативного управления преобразователем при выполнении технологического процесса установки.

Для обеспечения дистанционного управления преобразователем помимо магнитного пускателя будем использовать кнопки «Пуск» и «Стоп», а также для обеспечения защиты цепи управления используем предохранитель FU4.

Применение сетевого дросселя на входе преобразователя дает возможность обеспечить лучшую защиту от сетевых перенапряжений и уменьшить гармоники тока, вырабатываемые преобразователем частоты. На входе преобразователя частоты устанавливаются сетевые дроссели.

Пассивный фильтр на входе преобразователя позволяет уменьшить гармонические составляющие тока.

Дроссель постоянного тока позволяет уменьшить гармонические составляющие тока.

Для создания замкнутой системы электропривода необходимо применение датчика скорости.

Для пуска и остановки технологической установки применены выключатели кнопочные SB3 «Подъем», SB4 «Спуск» и SB5 «Стоп». Внешний вид кнопочного выключателя изображен на рисунке 4.3



Рисунок 4.3 – Внешний вид кнопочного выключателя

Для реализации динамического торможения, а также генераторного режима преобразователь оснащен тормозным сопротивлением.

Преобразователи Altivar 71 снабжены входными фильтрами подавления радиопомех.

Выводы по разделу четыре

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ				

Работа электропривода механизма подъема крана КМ-50 мостового типа благодаря использованию современной системы управления на базе преобразователя частоты позволит значительно снизить динамические нагрузки на элементы крана, что позволит повысить энергетические показатели в работе электропривода мостового крана КМ-50.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1 Краткое описание производственного участка

При эксплуатации оборудования металлургического производства на персонал влияют различные факторы. Неблагоприятным фактором является фактор, который при воздействии на работника производства в этих условиях приводит к травме или внезапному резкому ухудшению здоровья и производительности труда. Задача охраны труда состоит в том, чтобы свести к минимуму вероятность травмы или болезни работника, обеспечивая при этом комфорт при максимальной производительности труда. Целью охраны труда является сохранение здоровья и обеспечение отличного самочувствия работников в производственных условиях.

5.2 Анализ производственных факторов

Идентификация опасных и вредных производственных факторов производится в соответствии с ГОСТ 12.0.003-15.

Для крановых механизмов характерны следующие физические опасные и вредные производственные факторы:

- недостаточная освещенность рабочей зоны (подкрановых путей);
- опрокидывание крана при порывах ветра;
- движущиеся механизмы;
- расположение кабины оператора крана на значительной высоте относительно поверхности земли;
- травмирование работника при контакте с острыми кромками, заусенцами;
- поражение электрическим током.

Все вышеперечисленные физические опасные и вредные производственные факторы, а также нештатные ситуации, возникающие в процессе работы крановых механизмов и электрооборудования, потенциально могут послужить причиной возникновения опасных ситуаций.

5.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды и трудового процесса

Особенностью работы с мостовым краном является необходимость в обеспечении соблюдения санитарных норм допускаемых показателей напряженности, шума и освещенности электромагнитного поля согласно установленным санитарным нормам. Ко II категории тяжести относится работа машиниста крана, в частности это работа с затратой энергии более 175...232 Вт, то есть процесс работы осуществляется сидя или стоя, но никак не связан с подъемом и перемещением тяжестей. Для выполнения этой категории работ комфортными условиями являются: скорость перемещения воздуха - не более 0, 2 м/с, температура воздуха 20-22°C, влажность порядка 40-60%. Помещения цехов и участков производства должны быть оборудованы системами кондиционирования воздуха, системами

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

вентиляции, системами отопления в соответствии с [12], которые обеспечивают чистоту воздуха и нормальный температурный режим, уменьшение пребывания вредных веществ в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 исходя из особенностей к гигиеническим требованиям по отношению к микроклимату производственных помещений [13]. В рамках СН 2.2.4/2.1.8.562-96 допускаемый уровень шума составляет 80 дБ.

Не менее 10 Ом должно быть сопротивление заземляющего устройства для электроустановок с напряжением до 1000 В. Наиболее эффективным считается искусственное освещение задающего участка листа, осуществляемое 112 дуговыми ртутными люминесцентными лампами ДРЛ - 400, расположенными в четыре ряда.

5.4 Мероприятия по обеспечению безопасных и безвредных условий труда

Для устранения или снижения воздействия выявленных вредных и опасных факторов необходимо предусмотреть ряд технических и технологических решений:

- при недостаточной видимости в пределах рабочей площадки нельзя проводить работы на кране; при сильном ветре, показатели которого превышают допустимое значение; при неисправности рельсового пути крана. Оповещение при превышении допустимого значения силы ветра осуществляется звуковой сигнализацией. При недостаточном освещении рабочей зоны необходимо включить внешние осветительные установки.

- во время работы механизмов крана запрещается их чистка, регулировка и смазка. Нельзя снимать с работающих механизмов ограждение, кожухи и крышки.

- с целью предотвращения возможности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусам электродвигателей и другим нетоковедущим металлическим частям электрооборудования, шкафов управления или конструкциям крана, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам, в цепях при номинальном напряжении 380 В применяются защитное заземление. Для исключения аварийных режимов, возникающих при возможных перегрузках и коротких замыканиях, применяются тепловые реле и плавкие предохранители в силовой цепи и цепи управления. Для исключения самопроизвольного включения электрооборудования после пропадания напряжения цепи питания электродвигателей подключаются через магнитный пускатель. Снижение опасности поражения электрическим током достигается размещением силового контактного электрооборудования в закрытом силовом шкафу, а также размещение внешней силовой проводки в металлорукавах.

Электрооборудование в кабине крана соответствует степени защиты IP31; электрооборудование внутри шкафов – IP00; электрооборудование на открытых частях крана – IP44 [7].

Тормоза механизмов передвижения нормально закрытого типа, автоматически размыкаются при включении привода. Тормозы механизмов передвижения

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

кранов, работа которых осуществляется на открытом воздухе, обеспечивают удержание крана при действии максимально допустимой скорости ветра [7].

Подача напряжения на электрооборудование крана от внешней сети осуществляется через вводное устройство (рубильник, автоматический выключатель) с ручным или дистанционным приводом. Кабина управления крана, который работает на открытом воздухе, оборудуется отопительным прибором [7].

Кран оборудован ограничителями рабочих движений для автоматической остановки. Ограничители механизмов передвижения обеспечивают отключение двигателей на расстоянии до упора не менее полного пути торможения [7].

Дверь для входа в кабину управления, передвигающуюся вместе с краном, со стороны посадочной площадки снабжена электрической блокировкой, запрещающей движение крана при открытой двери [7].

5.5 Производственная санитария

Задача производственного контроля заключается в соблюдении требований и Санитарных правил. Именно эту задачу приводят в исполнение в цехе №3. Осуществляется проведение различных профилактических мероприятий, которые направлены на предупреждение и предотвращение возникновения заболеваний у людей, трудящихся в производственных помещениях. Существует контроль, который отвечает за соблюдение условий отдыха и труда, а также выполнение мер индивидуальной и коллективной защиты трудящихся от негативного воздействия микроклимата.

5.6 Расчёт искусственного освещения

При проектировании освещения производственной среды необходимо определить ряд важных факторов:

- выберите тип источника: газоразрядные лампы в большинстве случаев используются для освещения производственных помещений;

- определите систему освещения: при выборе системы освещения важно учитывать, что комбинированная система освещения более эффективна, но общая система освещения более гигиенична, так как распределение световой энергии происходит равномерно по всей площади;

- выбрать тип лампы с учетом характеристик: распределения света, прямых пределов яркости, экономических показателей, условий окружающей среды, а также с учетом требований взрывопожарной и пожарной безопасности;

- распределите лампы и определите их количество, расположение ламп может быть: рядами, в шахматном порядке, ромбовидной формы;

- определить норматив освещенности на рабочем месте. Чтобы это сделать, нужно определить характер работы, которая выполняется по размерам объекта различия, контрастности объекта с фоном и фоном на рабочем месте. Согласно выбранной системе освещения и источнику света необходимо найти минимальное нормальное освещение.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Чтобы осуществить освещение цеха № 3 размерами 200 на 34 метра и высотой 20 метров мы останавливаем выбор на ртутных люминесцентных дуговых ламп ДРЛ-1000. H_c - высота расположения светильников над освещаемой поверхностью:

$$H_c = H - h_c - h_p,$$

где H – общая высота помещения, м;

h_c – высота от потолка до нижней части светильника, м;

h_p – высота от освещаемой поверхности до пола, м.

$$H_c = 25 - 1.5 - 1.5 = 22$$

У выбранных ДРЛ ламп отношение расстояния между светильниками L_k . Высота их подвеса H_c при прямоугольном размещении светильников принято 1,5. Отсюда можно вычислить расстояние между рядами светильников вдоль длинной стены L :

$$L = H_c - 1,5,$$

где H_c – это высота светильников, расположенных над освещаемой поверхностью и рассчитывается по формуле

$$L = 22 - 1,5 = 33$$

Промежуток между крайними рядами светильников и стенами принимаем: $l = (0,3 \dots 0,5) L$, а ширина зала 30 м.

Число рядов светильников n :

где B – ширина помещения, м;

L – рассчитываем расстояние между рядами светильников вдоль длинной стены, по формуле

$$n = \frac{34}{33} = 1,03$$

Соответственно, располагаем светильники в 4 ряда.

Норму освещенности в цехе устанавливает СНиП 23 - 05 – 95, то есть $E_n = 300$ лк для работ средней точности и общего. Индекс помещения i :

$$i = \frac{A \cdot B}{H_c \cdot (A + B)}$$

где A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м;

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

H_c – высота расположения светильников над освещаемой поверхностью, м по формуле

$$i = \frac{200 \cdot 34}{22 \cdot (200 + 34)} = 1,321$$

Рассчитываем коэффициент использования светового потока $\eta = 0,33$ по найденному индексу помещения.

Для ДРЛ номинальный световой поток, $\Phi_{л} = 50000$ лм. Рассчитаем необходимое число светильников N , шт.

$$N = \frac{E_n \cdot k \cdot z \cdot S}{n \cdot \Phi_{л} \cdot \eta}$$

где E_n – норма освещенности для цеха, лк;

n – число рядов светильников;

S – площадь помещения, м²;

z – коэффициент неравномерности освещения (1,1 – 1,15);

k – коэффициент запаса (1,4 – 1,7);

η – коэффициент использования.

$$N = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 6800}{2 \cdot 50000 \cdot 0,45} = 78,2$$

В результате, наиболее эффективным будет считаться искусственное освещение задающего участка листа с выбранными 78 дуговыми ртутными люминесцентными лампами ДРЛ - 1000 и расположенными в два ряда.

5.7 Разработка мероприятий по снижению уровней шума и вибрации

Шум и вибрация служат источниками снижения таких показателей, как: работоспособность, ослабление памяти, внимание, острота зрения, которые могут привести к травматизму и авариям. Частичную, а иногда и полную потерю слуха способно вызвать длительное воздействие интенсивных шумов. Уровень вредности вибрации и шума напрямую зависит от уровня (силы), частоты, регулярности и продолжительности их воздействия. Допустимые уровни шума и их классификация на рабочих местах установлены в ГОСТ 12.1.003 - 76 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и СН 245 - 71.

Электромагниты, двигатели и вращающиеся части вспомогательных механизмов служат источниками шума и вибраций в цехе. Шум образуется в результате плохой балансировки, неуравновешенности муфт, центровки, маховиков и других вращающихся деталей и в результате неплотного крепления деталей и пере-

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

косов, а также недостаточным количеством смазки. Обслуживающему персоналу необходимо внимательно следить за исправностью и нормальной работой оборудования, своевременно устранять различные поломки, которые к тому же могут привести к возникновению аварии.

В качестве основных мер, направленных на предотвращение воздействия шума на рабочих, могут выступать дистанционное управление технологическими процессами, вызывающими шум и комплексная автоматизация.

Чтобы ограничить распространение шума используются звукоизолирующие кожухи, стены, перекрытия, полы. Не рекомендуется окрашивать стены помещений масляной краской и облицовывать метлахской плиткой там, где размещаются вызывающие шум агрегаты, так как происходит увеличение отражения звука. В помещениях такого типа принято использовать акустическую штукатурку, акустическую черепицу, стекловолокно и войлок. Для того, чтобы защитить трудящихся от шума все внутренние помещения звукоизолированы, то есть потолки и стены облицованы специальными материалами, поглощающими звук. Окна выполняются с двойным остеклением и специальными упругими прокладками по контуру. Допускаемый уровень шума составляет 80 дБ в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

5.8 Разработка и реализация мероприятий по снятию психологических перегрузок

В соответствии с действующим законодательством и рядом правил внутреннего трудового распорядка установлена общая продолжительность времени начала и окончания работы, длительность рабочего времени, периодичность и длительность внутрисменных перерывов, продолжительность обеденного перерыва, а также работа в ночное время.

Психологическими перегрузками можно считать: переутомление, перенапряжение слуховых и зрительных анализаторов, эмоциональные перегрузки, монотонность труда. Такие параметры негативно сказываются на производительности труда. В несколько раз увеличивается вероятность травматизма, возрастает риск аварий. Даже небольшой отдых может привести к снятию психологической нагрузки.

На психофизиологическую деятельность оператора, которому необходимо следить за работой установки, особое влияние оказывает шум работающей установки, а также условия окружающей среды.

Монотонность работы и статическое состояние оператора приводит к утомлению.

Утомление характеризуется особенностью физиологического состояния организма человека, которая возникает по итогу проделанной работы и выражается во временном падении работоспособности. Проявлением утомления и переутомления считается снижение производительности труда, которое выражается в ощущении усталости, в частности нежелании или даже отсутствии возможности

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

для дальнейшего продолжения работы. Утомление может появиться вне зависимости от вида деятельности.

Основной причиной появления переутомления служит постоянное несоответствие времени отдыха, продолжительности и сложности работы. К тому же, развитию переутомления могут оказывать содействие плохое питание или неудовлетворительная обстановка на рабочем месте.

Для профилактики утомления важную роль играет разработка и внедрение наиболее подходящего режима труда и отдыха в производственную деятельность, то есть целесообразной системы мероприятий по чередованию периодов работы и перерывов между ними. Это является неотъемлемой частью в производственных процессах, которые влекут за собой наибольшие затраты энергии или требуют постоянного внимания. Также необходимо иметь в виду, что для определения длительности перерывов при выполнении одной и той же работы нужно учитывать факторы возрастных особенностей организма.

В системе мер, которые обеспечивают комфортные условия труда, наибольшую роль играют вопросы цветового оформления помещений. Самыми благоприятными считаются прохладные и успокаивающие тона, в частности голубовато-зеленые.

5.9 Эргономика и производственная эстетика

На организм человека, его физиологические функции, психику и производительность труда непосредственно влияет внешняя среда, которая окружает его на работе.

Точное решение ряда вопросов, связанных с производственной эстетикой имеет благотворное влияние на человеческий организм, предполагает исключение причин травматизма и заболеваний, связанных с особенностями той или иной профессии. А также направлена на улучшение культуры производства и увеличение производительности труда. Для выполнения производственных мероприятий необходимо, чтобы рабочее место сотрудника давало возможность комфортного выполнения работ в положении стоя или сидя, или как в положении стоя, так и в положении сидя.

В то же время необходимо учитывать:

- физический уровень тяжести работы;
- габариты рабочей зоны и потребность перемещения в ней работника во время выполнения работ;
- специфика технологического процесса выполнения работ.

В свою очередь, органам управления производственным оборудованием необходимо соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Производственное оборудование. Общие требования безопасности. Дата введения 01.01.92

Конструкция управления мостовым краном обеспечивает оптимальные условия для производственного процесса.

Аварийные органы управления расположены в пределах действия моторного поля, а специальные средства идентификации и предотвращения их произ-

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

вольного и самопроизвольного включения должны быть предусмотрены в соответствии с ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Производственное оборудование. Общие требования безопасности. Дата введения 01.01.92

5.10 Противопожарная и взрывобезопасность

Возможность появления пожаров в каких-либо сооружениях и зданиях, а также развитие в них огня зависит от планировки и размеров зданий. Необходимо учесть зависимость от материалов и строения.

По уровню пожарной опасности цех № 3 можно отнести к категории G, а по показателю огнестойкости - к I категории.

Пожар в цехе может образоваться при повреждении существующего оборудования и легком воспламенении горючих материалов (трансформаторное масло, кабельная масса), а также при осуществлении ремонтных работ применяя открытый огонь (пайка, сварка и т.д.) в случае неисполнении правил пожарной безопасности.

Для предотвращения пожара запрещается: хранение горючих материалов в цехах; зажигать паяльные лампы вне распределительного устройства.

Пространство проведения противопожарных дел надлежит быть обеспечено способами пожаротушения (огнетушитель, песочница, ведро с водой), а при наличии близко данных дел легковоспламеняющихся систем последние обязаны быть защищены от пожара.

Запрещается использовать открытый огонь работая при этом с красками и лаками, содержащими взрывоопасные и легковоспламеняющиеся летучие разбавители и растворители, такие как ацетон или бензин.

Проведение сварочных работ необходимо осуществлять только лицам, знающим "Инструкцию по мерам пожарной безопасности при проведении сварочных работ" и освоившим программу пожарно-технического минимума.

В случае пожара команда должна немедленно приступить к тушению пожара всеми доступными средствами. Если самостоятельно ликвидировать пожар не представляется возможным, необходимо вызвать пожарную команду.

Правильно спроектированная, выполненная и эксплуатируемая машина не является пожароопасной. Причины, которые нарушают нормальную работу машин, имеют такие названия как: перегрузка сетевых проводов, короткое замыкание, появление большого переходного сопротивления. Короткое замыкание может возникнуть при прямом (или же через металлический предмет) соединении проводов друг с другом в электрической цепи. В сети происходит перегрузка проводов при прохождении по ним тока, сила которого превышает допустимое значение для проводов данного сечения. Переходные сопротивления формируются в точках, где ток проходит от одного провода к другому.

Если такие переходы выполняются плохо, то при прохождении тока создаются большие сопротивления, вызывающие сильный перегрев в этих местах. В случае короткого замыкания и перегрузки температура проводов быстро повышается и может привести к возгоранию изоляции.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Тушение пожара электрооборудования осуществляется при снятии напряжения, предотвращая переход огня на близлежащие установки. При сжигании маслonaполненного оборудования можно использовать различные средства пожаротушения: огнетушители, распыленную воду, воздушно-механическую пену. Не рекомендуется тушить горящее масло контактными струями воды, чтобы избежать увеличения площади пожара.

При тушении кабелей, проводов, оборудования используются пенные огнетушители ОП - 10, углекислотные ОУ – 5 или порошковые огнетушители, а также распыленная вода. Если напряжение не может быть снято, допускается тушение пожара контактными и распыленными струями воды. В этом случае ствол горячего шланга должен быть заземлен, и вы должны работать в диэлектрических ботинках и перчатках.

Ответственность за противопожарное состояние электроустановки возлагается на главного электрика объекта.

Состояние электрооборудования объекта должно контролироваться непрерывно путем периодической проверки электрических сетей как внешним осмотром, так и с помощью устройств для изменения сопротивления изоляции.

Все электрооборудование, системы питания и освещения, а также электрические сети должны выполняться в соответствии с правилами монтажа электроустановок.

Эксплуатация сетей с нарушенной или некачественной изоляцией, а также временных электросетей не допускается.

Использование некалиброванных плавких вставок для защиты электрических цепей запрещено.

Запрещается сгибать, скручивать электрические провода, а также тянуть провода.

Запрещается устанавливать и подключать электронагревательные приборы (электроплиты, электрические чайники, электронагреватели) в служебных помещениях, а также устанавливать электронагревательные приборы технологического назначения с разрешения главного энергетика и санкции пожарной охраны.

Электрооборудование и оборудование защитного, закрытого и др. использование должно систематически проверяться с точки зрения степени герметизации, состояния уплотнительных прокладок и т.д.

Запрещается использовать неисправные выключатели, розетки, распределительные коробки, картриджи, вилки.

Неисправное электрическое оборудование и оборудование должны быть немедленно отключены от сети.

Запрещается подключать к сети электроприборы и электрооборудование с оголенными концами проводов без штекеров.

Для быстрого устранения источника пожара средства пожаротушения должны располагаться вблизи места возможного возгорания и быть доступными для быстрого реагирования. На территории завода имеется пожарная часть, которая в случае возникновения пожара может быстро прибыть к источнику возгорания.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

5.11 Экологическая безопасность

Основопологающим началом в формировании чистоты окружающей среды является научно и экономически обоснованное планирование ее охраны, позволяющее найти наилучшие решения данного вопроса. Так в совокупном проекте промышленного объекта следует проектировать разделы по поддержанию чистоты воздуха, гидросферы, а также охраны окружающей среды от загрязнения ее твердыми отходами производства.

При реализации технологического процесса по дозированию продукции совершается загрязнение наружной и внутренней воздушной среды производственного цеха.

Организован целый ряд процедур, ориентированный на уменьшение загрязнения сразу наружной и внутренней воздушной среды. Это прежде всего модернизация объекта, заключающихся в замене используемых токсичных веществ нетоксичными или малотоксичными, в применении выбросов для других технологических этапов и производств. К тому же это герметизация аппаратуры и коммуникаций, осуществление технологических процессов в вакууме с тем, чтобы при внезапном или намеченном открывании аппаратов вредные вещества не загрязняли воздух.

При случае, когда технологический процесс нельзя герметизировать или вести в вакууме, в местах выделения вредных веществ устанавливают вентиляционные укрытия и отсосы, например, разжиженные зонты, бортовые отсосы, воздухоотсасывающие пакеты.

Отсосы и укрытия должны конструироваться одновременно с разработкой технологического оборудования и являются его свойственной и очень важной частью.

Стержневой метод охраны водоемов от загрязнения сточными водами строительство сооружений. Множество химических соединений, загрязняющих сточные воды, вызвало надобность использование всевозможных методов и сооружений для очистки сточных вод. Внутреннее расширение для очистки производственных сточных вод получили способы механической, биологической и физико-химической очистки.

Что касается мостового крана, установленного на участке погрузки законченной продукции в цехе №3, для защиты окружающей среды, специальных средств защиты не используется, потому что он не наносит вред.

5.12 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций

Стихийные бедствия сил природы наносят огромный ущерб экономике государства и населению. Целью гражданской обороны в настоящее время является максимально возможная защита людей и объектов от последствий стихийных бедствий, разработка мер по предотвращению аварий и катастроф, а также ликвидация последствий любой из катастроф в короткие сроки. Стихийные бедствия-

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

это природные явления, вызывающие экстремальные ситуации, нарушающие нормальное функционирование людей и функционирование объектов.

Чрезвычайной ситуацией может стать налипание снега на провода зимой, разрушение цехов, а также пожары. Пожар считается чрезвычайной ситуацией в том случае, если на данной территории не хватает сил и средств пожарной охраны, дислоцированных для его ликвидации.

Основными мерами по предупреждению чрезвычайных ситуаций являются укрепление несущих оснований цехов, опор линий электропередач. Возникновение чрезвычайной ситуации связано с присутствием остаточного риска. В соответствии с концепцией остаточного риска полная безопасность обеспечена быть не может. Для этого применяется такая безопасность, которая в определенный период времени может быть обеспечена самим обществом.

Причины при которых возникают чрезвычайной ситуации:

- присутствие источника риска (давление, взрывоопасные, токсичные, радиоактивные вещества);
- влияние факторов риска (выброс газа, взрыв, пожар);
- нахождение в зоне поражения людей, сельскохозяйственных животных и земли.

Оценка причин и хода развития чрезвычайных ситуаций различного типа показывает их общую особенность-поэтапность. Выделяют пять этапов (периодов) возникновения чрезвычайных ситуаций:

- накопление неблагоприятных последствий, приводящих к аварии
- промежуток развития катастрофы
- предельный период, в течение которого выделяется основная доля энергии
- период затухания
- период ликвидации последствий.

Цели гражданской обороны условно делятся на три основные группы.

В первую группу входят все вопросы по защите населения. Они являются основной задачей гражданской обороны. В структуре гражданской обороны, применительно к теме выпускной квалификационной работы, защита населения происходит комплексными мерами по организации работы на заводе, то есть осуществление инструктажей, выполнением "Должностных инструкций".

Вторая группа задач-мероприятия гражданской обороны, нацеленные на увеличение стабильности работы, а также снижение возможного ущерба национальной экономике в случае стихийных бедствий, аварий и катастроф.

Третья группа задач включает мероприятия по подготовке сил и средств к устранению результата стихийных бедствий, катастроф и аварий. Эти мероприятия включают сертификацию и подготовку персонала в чрезвычайных ситуациях.

Из этой группы задач гражданской обороны, в первую очередь, определяется одна из важнейших-аварийно-спасательные и неотложные аварийно-восстановительные работы в пострадавших районах с вовлечением всех сил и средств.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Большие повреждения и катастрофы могут случиться в результате стихийного бедствия, а также несоблюдение технологии производства, правил эксплуатации машин, оборудования и установленных мер безопасности.

Под аварией подразумевается неожиданная прекращение работы или ухудшение производственного процесса на объекте, транспорте или других производствах, влекущее поломку или уничтожение материальных ценностей.

В этом случае более потенциальной причиной аварии является нарушение в системе электроснабжения, который может привести к отключению и повреждению оборудования.

Под катастрофой понимают непредвиденные бедствия - события, порождающие за собой трагический исход. Катастрофа сопровождается развалом зданий, настроений и приводит к гибели людей.

Особо полное и налаженное выполнение правил ГО на производстве достигается предварительно разработанным планом мероприятий, которые очень важно провести при образовании чрезвычайной ситуации.

План ГО производства подразумевает собой произведенный план процедуры по защите рабочих и служащих, увеличению стабильности работы производства в непредвиденных ситуациях.

В план ГО входят процедуры по защите рабочих и служащих, сохранению производственной работы и другие, с учетом ситуации. План ГО производства является программой исполнения оберегательных и других процедур. План допускающий оперативно решать задачи ГО в случае образования серьезных аварий и катастроф или стихийного бедствия.

Для исполнения плана по гражданской обороне, объектам осуществляется покупка средств индивидуальной защиты, медикаментов, аптек. Кроме мер по защите людей также спланирован план о необходимости защиты используемого оборудования, хранении запасов имущественных средств и необходимой документации, созданию более простых технологических процессов, увеличении физической устойчивости строений и конструкций, а также инженерных коммуникаций.

При устранении результата крупнейших аварий и катаклизмов, а также стихийных бедствий предполагается организация предупреждение рабочих и служащих работающей смене. Применение сети внутреннего радиовещания, телефонной диспетчерской связи. Предполагают меры по организации и осуществлению эвакуации рабочих, устанавливаются маршруты и пункты эвакуации.

Формируются силы и средства для осуществления работ по устранении результата больших аварий и катастроф, порядок управления, силы и средства связи, предоставляющие управление. Предполагают формирование питания, порядок ремонта техники, а также охрану имущественных ценностей и частной собственности граждан, организацию общественного порядка.

При борьбе с пожарами их устранение состоит из остановки огня, его локализации тушения и последующей охраны места возгорания.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Главным методом ликвидации пожаров можно назвать использование растворов огнетушащих химикатов, тушение водой и более радикальным методом - отжигом (пуск встречного огня).

Спасение людей является главной и первостепенной задачей спасательных работ при пожарах. Из зон возможного распространения пожара эвакуируются люди и материальные ценности. Первоначальным этапом является поиск людей, которые оказались в горящих зданиях, участках и помещениях. Спасательные операции по поиску людей проводят парами ради безопасности: находясь в наиболее безопасном месте один спасатель страхует того, который осуществляет поиск. Спасательные работы осуществляют с использованием противогаса в местах сильного задымления.

В гражданской обороне уделяется особое внимание устойчивости предприятий. Под устойчивостью понимается возможность объекта выполнять заданный вид продукции в тех номенклатурах и объемах, предусмотренных соответствующими планами, в условиях различных воздействий стихийных бедствий, а также адаптивность объекта к восстановлению в случае повреждения.

Проводимые инженерно-технические мероприятия очень важны для достижения, за счет усиления уязвимых объектов и участков, повышенной устойчивости энергосистемы.

Для повышения устойчивости промышленных объектов принимают меры:

- повышение устойчивости логистики;
- повышение прочности и устойчивости наиболее важных элементов объектов ;
- принятие мер для снижения вероятности возникновения вторичных факторов ущерба и ущерба от них;
- подготовка к восстановлению производства после разрушения объекта.
- повышение стабильности управления

На предприятии самой уязвимой является система электроснабжения, поломка которой приводит к отключению, повреждению оборудования и потере информации. Поэтому повышение стабильности электроснабжения объекта имеет решающее значение.

За счет реализации общегородских инженерно-технических процедур достигается повышение устойчивости системы электроснабжения объекта.

Вывод по разделу пять

Произведен анализ опасных и вредных факторов, вероятных происшествий, которые могут возникнуть при работе на мостовом кране, расположенном в цехе, а также проведен расчет уровня освещения цеха. Рассмотрены меры безопасности при эксплуатации мостового крана, так же эргономические требования.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

6.1 Ориентировочные расчеты себестоимости модернизации и окупаемость

Анализ работы электропривода механизма подъема крана мостового типа показывает, что основной причиной, приводящей к нерациональному расходу электроэнергии, является неправильный выбор режимов работы.

Выделим преимущества применения преобразователей частоты в регулируемых электроприводах:

- значительное повышение КПД;
- вследствие уменьшения потребления мощности, снижается передаваемая мощность, вследствие чего снижаются потери электрической энергии в сети;
- введение регулируемого электропривода позволяет избежать частого пуска двигателей с высокими показателями динамического момента.

Последовательность экономического обоснования технических решений:

- расчет единовременных затрат (инвестиций);
- расчет годовых текущих издержек (затраты на заработную плату персонала, затраты на электроэнергию, издержки на ремонт и техническое обслуживание);
- расчет показателей экономической эффективности.

Таблица 6.1 - Исходные технические показатели и параметры системы электропривода проектируемого варианта и базового варианта.

Наименование показателей и параметров	Базовый вариант ЭП с реостатным регулированием АДФР	Проектируемый вариант ЭП с импульсным регулированием АДФР
1 Объект управления	ЭП механизма подъема	ЭП механизма подъема
2 Техническое оборудование, где установлен объект	Кран мостового типа	Кран мостового типа
3 Тип электродвигателя (мощность)	Асинхронный электродвигатель с фазным ротором	Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором
4 Количество электродвигателей, шт	1	1
5 Тип регулирования скорости	Реостатное регулирование в цепи ротора	Частотный преобразователь
6 Рабочее место	Кабина машиниста крана	
7 Условия работы	Нормальные условия	

Капитальные затраты включают в себя стоимость преобразователя частоты - 218295 руб., монтаж и транспортные расходы – 8550 руб.

Стоимость затрат энергии при работе с частотным преобразователем:

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$$Z_{д} = c \cdot \sum P_i \cdot T \quad (6.1)$$

где c - стоимость 1 кВт*ч электроэнергии;
 P_i - потребная мощность электропривода режима работы мостового крана КМ-50;

$T = 8000$ - число часов работы электропривода в год.

$$Z_{д} = 4,5 \cdot (0,2 \cdot 36,3 + 0,3 \cdot 27,9 + 0,5 \cdot 36,1) = 1212480 \text{ руб.}$$

Стоимость затрат энергии при работе с преобразователем частоты:

$$Z_{пч} = 4,5 \cdot (0,2 \cdot 36,3 + 0,3 \cdot 4,21 + 0,5 \cdot 11,6) = 515628 \text{ руб.}$$

Экономия потерь электроэнергии при модернизации электропривода мостового крана составляет:

$$\mathcal{E} = Z_{д} - Z_{пч} = 1212480 - 515628 = 696852 \text{ руб.}$$

Выводы по разделу шесть

При проведении замены электрооборудования экономический эффект от экономии электроэнергии составил 696,8 тыс. руб. в год. Таким образом, проведенная модернизация электропривода окажет существенное влияние на технико-экономические показатели работы энергетического оборудования мостового крана КМ-50.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта была произведена замена устаревшей системы электропривода механизма подъема крана мостового типа.

В ходе проектирования был произведен анализ возможных технических решений поставленной задачи, результатом данного анализа стал выбор системы электропривода и способа организации системы управления.

На основании рассчитанной нагрузочной диаграммы электропривода произвели расчет и выбор энергетического оборудования схемы управления электропривода механизма подъема крана.

Приведен анализ вредных и опасных производственных факторов с последующей разработкой технических решений по их устранению. Соблюдение правил техники безопасности и следование разработанным рекомендациям по эксплуатации оборудования исключает травматизм и чрезвычайные ситуации на производстве.

Целесообразность разработки подтверждена расчетами технико-экономических показателей.

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. – Москва: Изд-во Академия, 2006. – 265 с.
- 2 Макаров, Л.Н. Двигатели новой серии для частотно-регулируемого электропривода кранов / Л.Н. Макаров. – Москва: Изд-во НИУ МЭИ, 2005. – 59 с.
- 3 Баев, А.П. Современные системы управления асинхронным электроприводом / А.П. Баев, А.С. Исаков. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2006. – 34 с.
- 4 Электрооборудование грузоподъемных кранов / Е.М. Певзнер [и др.] под ред. Г.Б. Онищенко. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 360 с.
- 5 Ключев, В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
- 6 Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 576 с.
- 7 Двигатели асинхронные крановые серий МТ, 4МТ. Руководство по эксплуатации БИДМ.520205.013.
- 8 Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: метод. пособие. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1985.-143 с.
- 9 Крановое электрооборудование: справочник / Ю.В. Алексеев, А.П. Богословский, Е.М. Певзнер и др.; под ред. А.А. Рабинович. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
- 10 Чунихин, А.А. Электрические аппараты (общий курс): учебник для энергетических и электротехнических институтов и факультетов / А.А. Чунихин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. - 648 с.
- 11 Эргономика и безопасность труда / Л.П. Голикова, О.М. Мальцева, Н.А. Коханова, А.Н. Строкина. – М.: Машиностроение, 1985. – 112 с.
- 12 Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 256 с.
- 13 Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б.Ю. Семенов. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - 416 с.
- 14 Инструкция по охране труда для электромонтеров по ремонту и обслуживанию электрооборудования грузоподъемных машин. - https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/167/1593/
- 15 Техническая коллекция Schneider Electric Выпуск №12. – <https://www.proektant.org/arh/882.html>.
- 16 Университетская библиотека. – <http://biblioclub.ru/index>.
- 17 Надежность электроснабжения и качество электроэнергии. - http://www.eti.su/articles/spravochnik/spravochnik_1566.html

					13.03.02.2021.218.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

18 Использование электрической энергии: электротехнический справочник / В.Г. Герасимов и др.; под ред. А.И. Попова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2004. – 518 с.

19 Ключев, В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.

20 Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов: учебник для вузов / М.М. Соколов. – 3-е изд., переработ. и доп. – М.: Энергия, 1976. - 488 с.

21 ПБ 10-382-00 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (с изменениями от 28 октября 2008 г.). - <https://tehnavigator.ru/Normdoc/pb/pb61>

22 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - <https://docs.cntd.ru/document/901704046>

23 Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17 июля 1999 г. №181 – ФЗ / Собрание законодательства Российской Федерации – 1999 - № 29 – ст. 3702.

24 ГОСТ 15150-69 (ГОСТ 15543-89Е) Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: ИПК изд-во стандартов, 1971. – 47 с.