

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Электроэнергетический
Специальность 56071800 - Электроэнергетика
Кафедра Электропривод и автоматизация промышленных установок

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Берикбай Кылыбат Токтарбекқызы
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Электропривод башенного крана с
микропроцессорным управлением

утверждена приказом ректора № 148 от « 19 » октября 2015 г.
Срок сдачи законченной работы « » 20 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

Техническая и справочная документация по электроприводу башенного крана

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

- 1) Постановка задания на проектирование электропривода башенного крана
- 2) Ознакомление с требованиями предъявляемыми к крановым электроприводам
- 3) Расчет мощности электродвигателя и выбор его типа в соответствии с нагрузочной диаграммой
- 4) Выбор преобразователя частоты в соответствии с мощностью выбранного электродвигателя
- 5) Разработка и построение структурной схемы электропривода башенного крана
- 6) Разработка и исследование виртуальной модели электропривода в среде MatLab, анализ переходных процессов
- 7) Технико-экономическое обоснование модернизации электропривода башенного крана
- 8) Разработка мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Функциональная схема башенного крана
2. Кинематическая схема стреловой лебедки крана
3. Нагрузочная диаграмма электродвигателе
4. Редуктор, электродвигатель и его технические данные
5. Преобразователь частоты и его технические данные
6. Структурная схема микроконтроллера
7. Структурная схема электропривода с системой ПЧ-АД
8. Виртуальная модель электропривода с системой ПЧ-АД
9. Осциллограммы переходных процессов скорости и электрической нагрузки
10. Расчет жёсткости средств за счёт внедрения электропривода с системой ПЧ-АД

Рекомендуемая основная литература

- 1) Л.А. Невзоров, Г.Н. Пазельский, В.А. Романюха Башенные краны, М.: Внешне ширма, 1980
- 2) Г.Г. Соколовский Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для ВУЗов. - М.: Издательский центр "Академия", 2006
- 3) Терехов В.М., Осипов В.И. Системы управления электроприводами. Учебник. - М.: Академия, 2008
- 4) Брадлавский И.Э., Цициатов З.И., Палеков В.И. Жесткобрусный асинхронный электропривод. - М.: Академия, 2004
- 5) Бутырин И.Г. Микропроцессоры в системах автоматического управления: Учебное пособие. - Ленинград: Гос. техн. ун-т., 2009

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Жокашеская часть	Жакупов А.А.	20.05.2016г.	
БЖД	Джабаев М.К.	02.02-16.05.16	
Спец. часть	Цыда Н.А.		

Аннотация

Данный дипломный проект посвящен разработке устройств башенного крана с микропроцессорной системой управления. В проекте были рассмотрены все технологические, конструктивные и эксплуатационные вопросы. Проведена работа по разработке и созданию концептуально новой системы управления краном ранее не применявшейся. Приведен расчет мощности электродвигателя и осуществлен выбор типа электродвигателя марки МТКФ 412-8 и соответствующий ему преобразователь частоты марки ATV71HD30N4. Разработана структурная и виртуальная модели электропривода механизма подъема крана и исследована его динамика в программной среде MatLab.

В экономической части проведен сравнительный анализ двух вариантов системы управления электроприводом механизма подъема. По каждому варианту рассчитаны капитальные вложения и эксплуатационные издержки. Определен срок окупаемости вложений наиболее экономически эффективного варианта.

В части «Безопасность жизнедеятельности» проведен анализ вредных и опасных факторов при монтаже и эксплуатации башенного крана. Рассчитана устойчивость против опрокидывания и защитное заземление крана.

Аңдатпа

Берілген дипломдық жоба микропроцессорлық жүйесімен басқарудың мұнара кранның құрылғысын өңдеуге арналған. Жобада барлық технологиялық, құрылмалы және пайдаланылушылық сұрақтар қарастырылған. Бұрын қолданылмаған кранмен жаңа жүйесін құру және өңдеу бойынша жұмыстар жүргізілген. Электрқозғалтқыштың қуаты есептелген. Фирмалық атауы МТКФ 412-8 электрқозғалтқыш және ATV71HD30N4 тиісті жиілік түрлендіргіш таңдалған. MatLab бағдарламасында кранның көтеру механизм электр жетегінің құрылымдық мен виртуалды моделі әзірленген және оның динамикасы зерттеген.

Экономикалық бөлімінде көтеру механизм электржетегімен басқару жүйесінің екі нұсқа салыстырылады. Әрбір нұсқа бойынша капитал инвестициялары мен пайдалану шығындары есептелген. Ең экономикалық тиімді нұсқа бойынша өтімділік мерзімі анықталған.

«Өміртіршілік қауіпсіздігі» бөлімінде көтергіш кранды орнату және пайдалану кезіндегі қауіпті және зиянды факторларының талдау беріледі. Кранның қорғаныстық жерлендіруі мен ауып кетуге қарсы тұруы есептелген.

Annotation

The given graduation project covers the development of the tower crane with the micro integrated system. All process, constructive and operational issues had been considered in the design. The conceptually new control system had been developed, which hadn't been used before. The calculation of the power of the motor was made and the type of motor brand MTKF 412-8 and the corresponding frequency converter brand ATV71HD30N4 were chosen. The block and the virtual model of the electric drive of crane's lifting mechanism and explore its dynamical characteristics in the MatLab program were worked out.

In the economic part comparative analysis of the two versions of the drive control system of the lifting mechanism was made. For each option capital investments and operating costs were calculated. Payback period of the most cost-effective option's investments was detected.

In the «Life safety» part dangerous and harmful factors when the tower crane install and operate the tower crane were analyzed. Crane's stability and protective earth tap were calculated.

Содержание

Введение.....	16
1 Технология грузоподъемных машин и постановка задания на проектирование.....	18
1.1 Классификация башенных кранов.....	18
1.2 Постановка задания на проектирование	20
1.3 Основные части и рабочие узлы.....	20
1.4 Основные параметры и характеристики кранов	26
1.5 Технологическая карта	31
1.6 Монтаж башенных кранов	35
1.7 Особенности и требования к крановым электроприводам.....	36
2 Разработка электропривода механизма подъема башенного крана.....	38
2.1 Функциональная схема башенного крана.....	38
2.2 Выбор и расчет электродвигателя	40
2.3 Выбор и расчет редуктора.....	49
2.4 Выбор преобразователя частоты	55
2.5 Система тормозов.....	58
2.6 Микроконтроллер PIC как элемент управления	60
3 Исследование системы управления электроприводом в программной среде MatLab	63
3.1 Математическое описание и структурная схема системы электропривода башенного крана по схеме ПЧ-АД в среде MatLab	63
3.2 Модель системы электропривода механизма подъема башенного крана по схеме ПЧ-АД.....	66
4 Безопасность жизнедеятельности.....	68
4.1 Анализ условий труда.....	68
4.2 Расчет устойчивости башенного крана против опрокидывания	71
4.3 Приборы безопасности	76
4.4 Зануление и заземление	76
4.5 Расчет защитного заземления.....	77
5 Экономическая часть	80
5.1 Технико-экономическое обоснование внедрения системы электропривода по схеме ПЧ-АД.....	80
5.2 Расчет капитальных вложений и эксплуатационных расходов по I-му варианту.....	82
5.3 Расчет капитальных вложений и эксплуатационных расходов по II-му варианту.....	86
5.4 Расчет экономической эффективности внедрения частотно-регулируемого электропривода с микропроцессорным управлением	89
Приложение А Текст программы управления	91
Заключение	93
Список литературы	94

Введение

В настоящее время в каждом крупном городе ведутся строительные работы. В связи с чем, современный город невозможно представить без возвышающихся над зданиями грузоподъемных машин, среди которых наиболее распространенным является башенный кран.

В 1913 году инженер Юлиус Вольф создал первый прототип современного башенного крана, у которого поворотная платформа располагалась наверху башни. В 1928 году, спустя 15 лет, был создан первый башенный кран со стрелой балочного типа, в 1952 году – со стрелой подъемного типа. В нашей стране башенные краны начали использовать в годы первых пятилеток. Изобретение башенных кранов произвело революцию в строительстве.

Люди уже тысячелетие назад начали использовать для строительства зданий специальные подъемные устройства, которые устанавливались на возводимом здании. Эта идея и сейчас выследит вполне естественно. Для подъема и перемещения грузов при строительстве необходимо иметь некое приспособление, которое будет независимым от здания и выше него.

У башенных кранов существует две основные функции: подъем/опускание и горизонтальное перемещение грузов. У первых кранов вылет стрелы не изменялся, поэтому они перемещали груз только с помощью поворота самой стрелы. Затем были изобретены специальные вспомогательные механизмы – грузовые тележки, имеющая возможность передвижения по стреле.

Всего десятилетие назад на установку башенных кранов требовалось несколько недель. В современное время башенные краны устанавливаются всего за несколько дней, так как были пересмотрены применяемые компоненты крана. Также их стало намного проще транспортировать и хранить.

Использование электроники в системах управления и контроля способствует быстрому развитию и широкому распространению башенных кранов. Системы управления на основе преобразователей частоты существенным образом улучшили характеристики электроприводов механизмов крана. Благодаря применению частотно-регулируемого электропривода движения башенных кранов стали более точными, плавными и быстрыми. Также электронные устройства используют в качестве систем безопасности оборудования кранов, при этом не исключая их. Следовательно, это можно назвать дублированием систем безопасности, которое существенным образом увеличивает степень безопасности всего крана. Важными преимуществами применения электроники являются увеличение грузоподъемности кранов и существенное сокращение шумов при эксплуатации

В настоящее время ведутся работы по проектированию интеллектуальных кранов. Предполагается, что они будут на 100%

способными применять конструктивные возможности, учитывая режимы и условия работы. Это даст возможность снизить влияние ошибок управления к минимуму.

Однако совершенствование и внедрение мехатронных систем в производство в значительной мере сдерживается отсутствием научно – методических основ проектирования самих мехатронных систем, являющихся сложными автоматическими системами. Их проектирование – сложная задача, требующая обоснованного выбора объекта управления и всестороннего учета технических, экономических и социальных аспектов. Сложность задачи также усугубляется несовершенными системами управления мехатронных систем. Зачастую они слишком громоздки и требуют определенных навыков в написании и отладки программ, переналадки оборудования и т.д. Мехатронные системы, работающие под управлением этих систем, действовали строго в соответствии с заданной программой. Это, в свою очередь, приводило к тому, что при малейшем отклонении от графика технологических операций, они просто останавливались и ждали указаний оператора.

В настоящее время, когда компьютерная техника проникает во все сферы деятельности человека, значительно облегчая работу, на которую раньше уходило много затрат, перед разработчиками открылись ранее не виданные просторы в создании компактных, простых и более функциональных систем управления мехатронными системами. Появилась возможность создания адаптивных и даже интеллектуальных систем управления, т.е. при возникновении отклонений от графика технологических операций, мехатронная система сможет сама оценить ситуацию и принять соответствующее решение.

В завершении можно сказать, что будущее стоит за адаптивным и интеллектуальным управлением мехатронными системами, в частности управлением кранами. Данный дипломный проект – «Электропривод башенного крана с микропроцессорным управлением», создавался именно в этом направлении.

1 Технология грузоподъемных машин и постановка задачи на проектирование

1.1 Классификация башенных кранов

Башенный кран является одним из видов грузоподъемных машин. Он относится к грузоподъемным кранам стрелового типа. Функция башенных кранов заключается в выполнении строительных, монтажных, погрузочных и разгрузочных работ на строительных площадках, складах, полигонах и т.д. Башенным краном управляет машинист (крановщик) из кабины крана, находящейся обычно наверху башни.

Башенный кран имеет 4 степени свободы, т.е. может осуществлять подъем/спуск груза, изменять вылет крюковой подвески относительно оси вращения крана, осуществлять поворот и передвижение крана. Сочетая эти движения, кран перемещает груз в любое место строительной площадки, а также выполняет погрузку/разгрузку материалов.

В башенных кранах груз поднимается с помощью грузовой лебедки, грузового каната и крюковой подвески. Поворотная часть крана вращается относительно неповоротной части, механизмом поворота. Опорно-поворотное устройство выполняет функцию передачи вертикальных и опрокидывающих нагрузок от поворотной части крана на неповоротную часть, т.е. на ходовую раму, тем самым является связующим звеном между поворотной и неповоротной частями.

По конструктивному исполнению краны классифицируют на краны с неповоротной и поворотной башнями.

Краны, у которых опорно-поворотное устройство находится на портале крана или на опорной части являются кранами с поворотной башней. К таким кранам относятся краны марки КБ-100, КБ-408, КБ-504. Поворотная часть таких кранов состоит из поворотной платформы, на которой располагаются механизм поворота, плиты противовеса, стреловая и грузовая лебедки, башня с оголовком, распорка и стрела.

Краны, у которых опорно-поворотное устройство наверху башни, являются кранами с неповоротной башней. К таким кранам относят краны марки КБ-473, КБ-676. Поворотная часть кранов с неповоротной башней состоит из поворотного оголовка, стрелы, противовесной консоли, на которой расположены противовесы и механизмы для уравнивания крана в рабочем режиме.

По типу стрелы краны разделяют на краны с балочной стрелой и подъемной стрелой. Если изменение вылета производится посредством перемещения грузовой тележки и груза по направляющим балкам стационарно закрепленной стрелы, то такой кран является краном с балочной стрелой. Примером таких кранов являются краны типа КБ-408, КБ-504, КБ-676.

Если же изменение вылета производится при помощи поворота стрелы

относительно опорного шарнира, то такой кран называется краном с подъемной стрелой. Примерами таких кранов могут служить краны типа КБ-100, КБ-309 ХЛ. У таких кранов груз все время подвешен к головным блокам стрелы.

По способности передвижения башенные краны можно разделить на передвижные, стационарные, самоподъемные. [1]

На рисунке 1.1 представлены виды башенных кранов по способности перемещения, где: а – стационарный, б – самоподъемный, в – передвижной; 1 – приставной, 2 – универсальный, 3 –самоходный, 4 – прицепной.

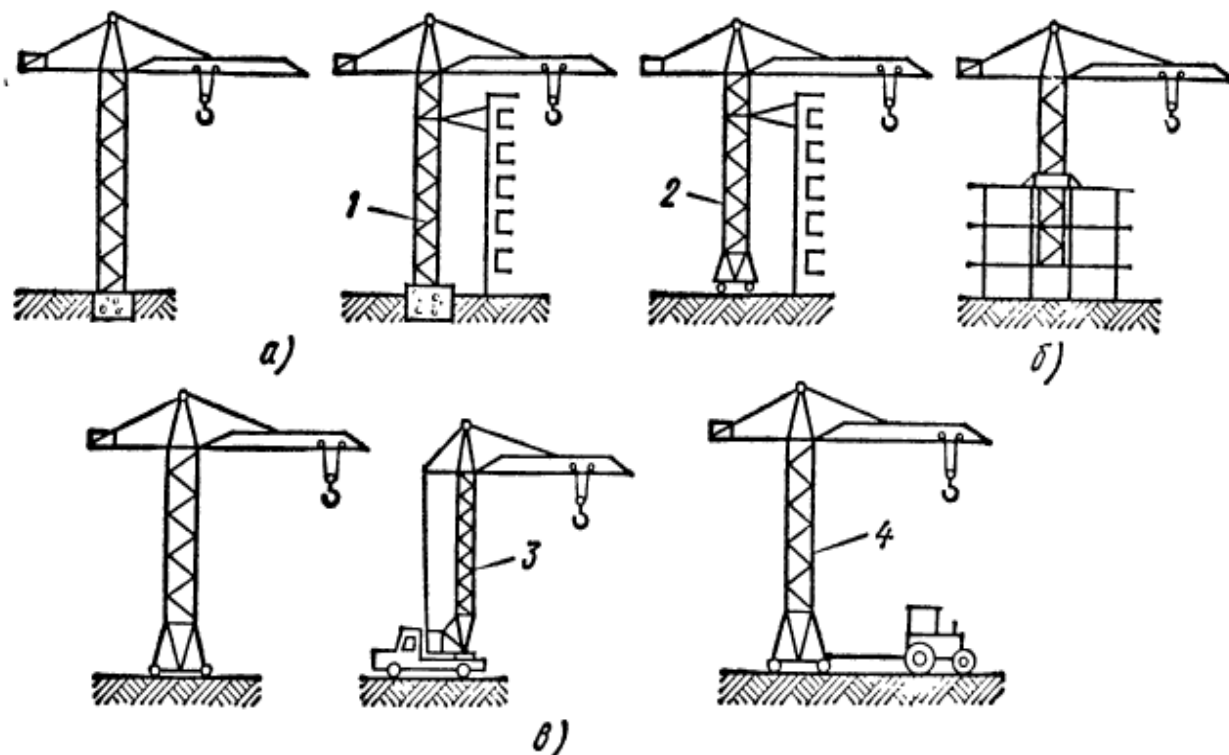


Рисунок 1.1 – Виды башенных кранов по способности перемещения

К передвижным кранам относят краны, оборудованные ходовым устройством и передвигающиеся по рабочей площадке в процессе эксплуатации.

Существуют так же самоходные, прицепные и универсальные краны.

Самоходные краны имеют собственный автономный привод, благодаря которому могут перемещаться по дорогам при эксплуатации и транспортировании.

Прицепные краны перемещаются по строительной площадке не благодаря приводному колесному ходовому устройству, а посредством тягача.

Универсальные краны перемещаются по рельсам до тех пор, пока не будет достигнута определенная высота подъема. Затем, для того чтобы повысить устойчивость при повышении высоты подъема, они крепятся к

строящемуся сооружению.

Стационарные краны крепятся на стационарных опорах или фундаменте. Если же при дальнейшем повышении высоты краны крепятся к возводимому зданию, то такие краны являются приставными.

Самоподъемные краны устанавливаются на самом строящемся здании. Такие краны по мере возведения здания перемещают вверх с помощью собственных специальных механизмов крана. [2]

1.2 Постановка задания на проектирование

В данном дипломном проекте выполнению подлежат следующие задачи:

- анализ технологического процесса башенных кранов;
- ознакомление с требованиями, предъявляемыми к крановым электроприводам;
- предварительный расчет мощности двигателя;
- выбор типа электродвигателя в соответствии с нагрузочной диаграммой;
- проверка выбранного электродвигателя на перегрузочную способность и перегрев;
- выбор и расчет редуктора;
- выбор преобразователя частоты в соответствии с мощностью выбранного электродвигателя;
- рассмотрение микроконтроллера в качестве элемента управления;
- моделирование структурной схемы системы управления электропривода в среде MatLab;
- разработка виртуальной модели в среде MatLab;
- исследование переходных процессов электропривода;
- проведение анализа вредных и опасных факторов при монтаже и эксплуатации крана и разработка методов по обеспечению безопасности жизнедеятельности;
- приведение технико-экономического обоснования применения частотно-регулируемого электропривода;
- расчет экономических показателей проектируемого электропривода.

1.3 Основные части и рабочие узлы

1.3.1 Редуктор цилиндрический двухступенчатый горизонтальный Ц2У-400КМ. Редукторы типа Ц2У-400КМ являются модернизированными, горизонтальными, двухступенчатыми, цилиндрическими редукторами с передачами Новикова. Их используют в электроприводах различного рода механизмов и машин для изменения частоты вращения и крутящего момента.

Редукторы данного типа применяются в следующих условиях:

- постоянная работа и работа с периодическими остановками;

- переменная и постоянная по направлению и величине и нагрузка (в диапазоне номинального крутящего момента)
- вращение валов возможно в любую сторону без особой предпочтительности;
- при запыленности воздуха до 10 мг/м^3 атмосфера I и II типов согласно ГОСТ 15150-69;
- возможные климатические исполнения: О и УХЛ – для категории размещения IV, Т и У – для категории размещения I, II, III согласно ГОСТ 15150-69;
- частота вращения входного вала не должна быть более 1500 об/мин.

В большинстве случаев редукторы Ц2У-400КМ предназначены для работы при переменных нагрузках и с периодическими остановками, т. е. для работы в повторно-кратковременном режиме. Но также допускается длительная работа редуктора с постоянной нагрузкой без ограничений по термической мощности.

При реверсивном режиме редуктора (периодическое изменение направления вращения) крутящий момент на выходном валу должен быть снижен на 25%.

При повторно-кратковременном режиме значение номинального крутящего момента на выходном валу необходимо понизить на 16% при числе пусков в час от 4 до 30, на 20% при числе пусков в час от 30 до 120, на 30% при числе пусков в час от 120 до 240.

При работе редукторов допускаются кратковременные перегрузки, которые превышают указанные в техническом паспорте нагрузки не более чем в 2 раза. Эти перегрузки чаще всего возникают во время пусков и остановке двигателя. При этом за все время срока службы редуктора число циклов нагружения входного вала в течение времени действия этих перегрузок не должно превышать $5 \cdot 10^4$. [3]

1.3.2 Электродвигатель. В электроприводе кранов преимущественно применяются трехфазные асинхронные двигатели переменного тока.

По способу выполнения обмотки ротора эти двигатели делятся на двигатели с короткозамкнутым ротором и с фазным ротором.

Если в электроприводе нет необходимости в регулировании частоты вращения, то используют электродвигатели с короткозамкнутой обмоткой. Также их используют как вспомогательный (второй) двигатель для снижения скорости механизмов крана. К недостаткам таких двигателей можно отнести большой пусковой ток, который в 5...7 раз больше тока двигателя при номинальной нагрузке.

Если же все-таки есть необходимость в регулировании частоты вращения, то применяется двигатель с фазным ротором. В таком случае в цепь ротора включается пускорегулирующий реостат, который улучшает механическую характеристику, повышает пусковой момент и снижает пусковой ток.

Двигатели постоянного тока конструктивно сложнее. По сравнению с трехфазными асинхронными двигателями их стоимость и масса больше. К достоинствам такого типа двигателя можно отнести способность к глубокому и плавному регулированию частоты вращения. В связи с чем, двигатели постоянного тока чаще используются при строительстве высоких зданий. [4]

Также существуют специальные крановые двигатели. Крановые двигатели выполняются закрытыми и с влагостойкой изоляцией, допускается работа и в помещении, и на открытом воздухе. Крановые асинхронные двигатели выполняются с самовентиляцией, а крановые двигатели постоянного тока – с независимой вентиляцией.

Крановые двигатели обладают повышенной прочностью, так как они предназначены для работы в тяжелых условиях. Преимущества крановых двигателей:

- возможность кратковременных перегрузок;
- большие максимальные и пусковые моменты, которые больше номинального в 2...3 раза;
- относительно небольшие пусковые токи;
- относительно малое время разгона;
- возможность работы в кратковременном и повторно-кратковременном режимах.

Обозначение крановых асинхронных состоит из букв и цифр. Обозначение начинается с букв МТ. Наличие или отсутствие индекса К в обозначении показывают тип исполнения двигателя (в обозначении двигателей с короткозамкнутым ротором индекс К присутствует). Первая цифра (0...7) характеризует наружный диаметр статорных листов, вторая цифра (1) показывает, что двигатель из модернизированной серии, третья цифра (1...3) характеризует длину сердечника статора. Цифра, которая стоит после дефиса, (6/8/10) показывает число полюсов машины.

Индексы В, F, Н указывают на класс нагревостойкой изоляции. При индексе В допустимая температура нагревостойкости равна 130 °С, при индексе F допустимая температура нагревостойкости равна 155 °С, при индексе Н допустимая температура нагревостойкости равна 180 °С. Двигатели МТ и МТК имеют класс нагревостойкой изоляции Е и допустимую температуру нагревостойкости равную 120 °С. [5]

1.3.3 Тормоза колодочные типа ТКГ. Колодочные тормоза главным образом применяются в подъемно-транспортных машинах. Они используются для остановки механизмов, а также для удержания механизмов в заторможенном состоянии (при неработающем электроприводе).

Колодочные тормоза с горизонтально расположенной осью тормозного шкива устанавливаются вертикально на работающих в пожаробезопасной и взрывобезопасной среде механизмах.

На рисунке 1.2 изображен колодочный тормоз, где: 1 – рычажной механизм тормоза; 2 – электрогидравлический толкатель; 4, 5, 6 – рычаги, 7 – колодки; 8 – регулировочный болт; 9 – шток; 3 – пружина.

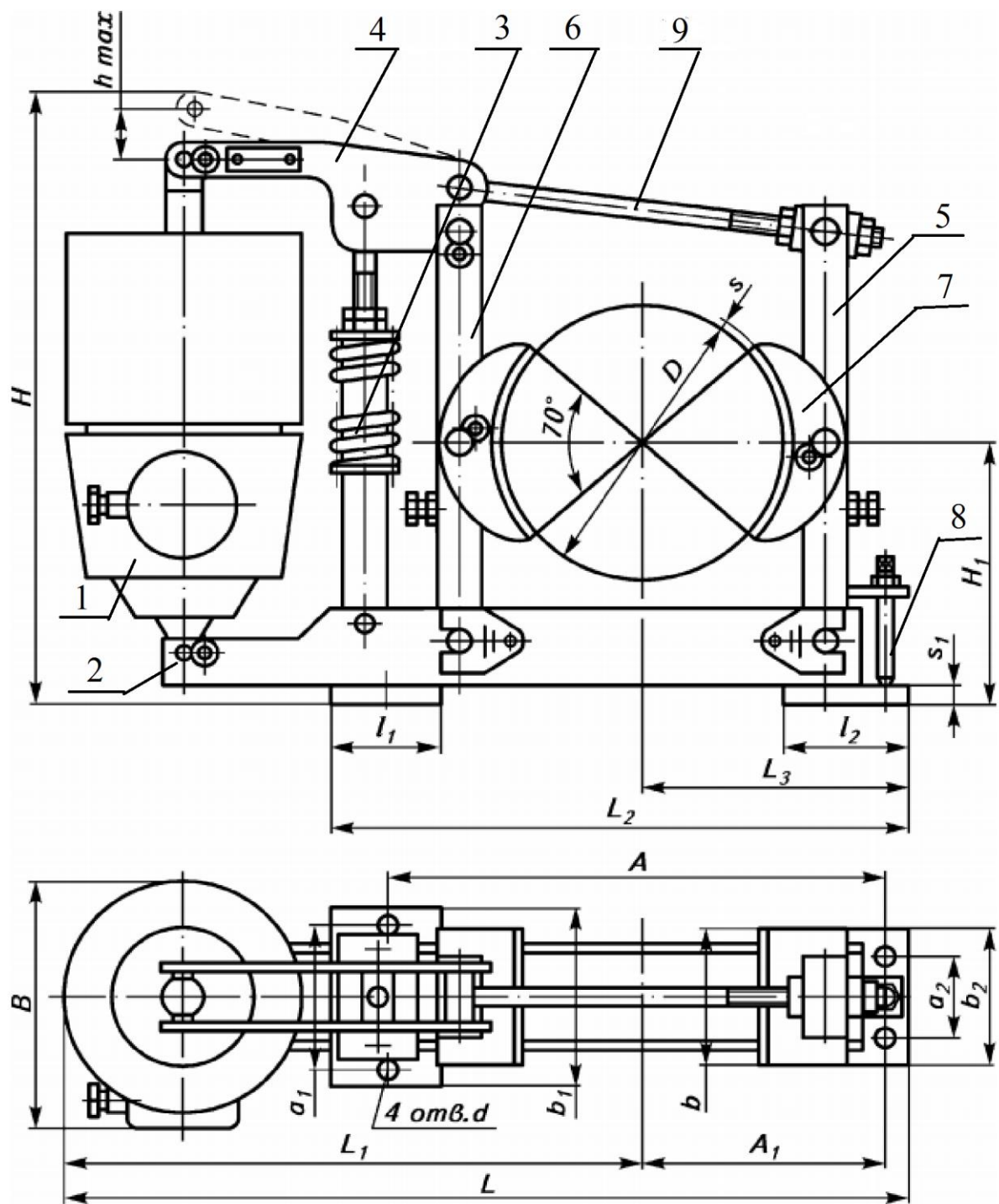


Рисунок 1.2 – Общий вид колодочного тормоза типа ТКГ

Устанавливаемые на работающих на открытом воздухе механизмах колодочные тормоза защищаются кожухом от воздействия солнечной радиации и попадания атмосферных осадков.

При неработающем толкателе сжатая пружина воздействует на рычажную систему, которая в свою очередь колодки тормоза к тормозному шкиву.

Включение толкателя начинается с выдвижения вверх штока посредством поршня. Далее освобожденные от действия пружины рычаги расходятся, при этом они растормаживают тормозной шкив. Когда шток толкателя достигает верхнего крайнего положения, растормаживание шкива заканчивается. [6]

Число включений электрогидравлического толкателя, режим работы, марка масла при различных температурах рабочей среды зависят от данных толкателя, примененного на тормозе.

1.3.4 Электрогидравлические толкатели типа ТЭ-80М. Основная функция толкателей заключается в комплектации колодочных пружинных тормозов грузоподъемных машин. Также они используются в электроприводах механизмов автоматики.

На колодочных тормозах типа ТКГ-300 устанавливаются электрогидравлические толкатели типа ТЗ-50М, на тормозах типа ТКГ-400 и ТКГ-500 устанавливаются толкатели типа ТЗ-80М.

Режим работы толкателей – повторно-кратковременный (ПВ = 40%). Частота включений – 720 вкл/ч.

При рабочей температуре, лежащей в пределах от минус 150 °С до плюс 400 °С, толкатели заполняются трансформаторным маслом ГОСТ 982-80. Также допускается применение толкателей с трансформаторным маслом до минус 200 °С, при котором не номируется скорость движения штока.

Если температура окружающей среды лежит в диапазоне от минус 400 °С до плюс 400 °С, то рекомендуется применять полиэтилсилоксановую жидкость марки ПЗС-3 ГОСТ 13004-77 или ПЗС-3Д ТУ 6-02-68876.

Также возможно использование масла АМГ-10 ГОСТ 6794-75 в роли рабочей жидкости при температуре окружающей среды от минус 600 °С до плюс 150 °С.

1.3.5 Ограничитель нагрузки типа ОНК-160.Б. Ограничитель нагрузки ОНК-160.Б подходит для установки на всех моделях башенных кранов. Данный ограничитель нагрузки:

- защищает кран от опрокидывания при подъеме груза и от перегрузок;
- защищает оборудование крана от повреждений при работе в стесненных условиях, т.е. выполняет координатную защиту;
- отображает следующую информацию: величина вылета, высота подъема груза, предельная грузоподъемность, фактическая масса поднимаемого груза, усредненная за 2 минуты величина скорости ветра, положение башенного крана на пути.

В ОНК-160.Б встроен регистратор параметров (РП), записывающий и долго хранящий информацию о работе крана (рабочие параметры, даты и величины перегрузок, уровень нагружения крана за все время работы ограничителя).

Также в ограничитель встраиваются комплексная система координатной защиты и программно-аппаратный анемометр. [7]

На рисунке 1.3 изображен ограничитель нагрузки типа ОНК-160.Б.



- Индикаторы НОРМА (1) и ОПАСНО (2)
- ИЖЦ – индикатор жидкокристаллический цифровой (3)
- Индикаторы (4-7) срабатывания координатной защиты (в ОНК-160Б не используются)
- Кнопка вызова отображения на ИЖЦ температуры БОИ, напряжений +24 В и 3 В (8)
- Кнопка обнуления массы тары (9)
- Кнопка 10 не используется
- Кнопка индикации разрешенных движений (11)
- Кнопка вызова отображения на ИЖЦ текущего значения скорости ветра (16)
- Индикатор превышения допустимого значения скорости ветра (15)
- Окно для считывания информации из РП (12)
- Кнопка блокировки координатной защиты (17)
- Кнопки: вызова меню (19) и движения по меню (13, 18): увеличения (13), уменьшения (18) и занесения (14) значения настраиваемого параметра в память ОНК
- Кнопка включения подсветки ИЖЦ (20) в темное время суток
- Вспомогательные кнопки (21, 22)
- Кнопка НАСТРОЙКА (23)

Рисунок 1.3 – Ограничитель нагрузки ОНК-160.Б

1.2.6 Лебедка крановая грузовая Л-600.4. Лебедка состоит из следующих основных узлов: барабана, специального редуктора, электродвигателя (без тормозной машины), тормоза, выносной опоры.

Лебедка изготовлена как моноблочная безрамная конструкция, прикрепляемая к поворотной платформе крана.

Редуктор двухступенчатый цилиндрический специальный.

Электродвигатель своим фланцем крепится к корпусу редуктора.

Вал электродвигателя соединяется с быстроходным валом редуктора посредством зубчатой муфты.

На противоположном конце вала электродвигателя посажен тормозной шкив, охватываемый колодками тормоза, смонтированного на кронштейнах, прикрепленных к лапам электродвигателя.

Рабочим органом лебедки является барабан, крутящий момент к которому передается от электродвигателя через редуктор.

Барабан лебедки прифланцован к выходящему валу редуктора и через выносную опору крепится к раме крана. [8]

Крепление каната на барабане – клиновое или прижимными планками.

На рисунке 1.4 представлена кинематическая схема лебедки, где: 1 – колесо зубчатое, 2 – подшипник, 3 – колесо зубчатое, 4 – вал-шестерня, 5 – подшипник, 6 – муфта зубчатая, 7 – тормоз, 8 – шкив тормозной, 9 – электродвигатель, 10 – вал-шестерня, 11 – подшипник, 12 – барабан, 13 – подшипник.

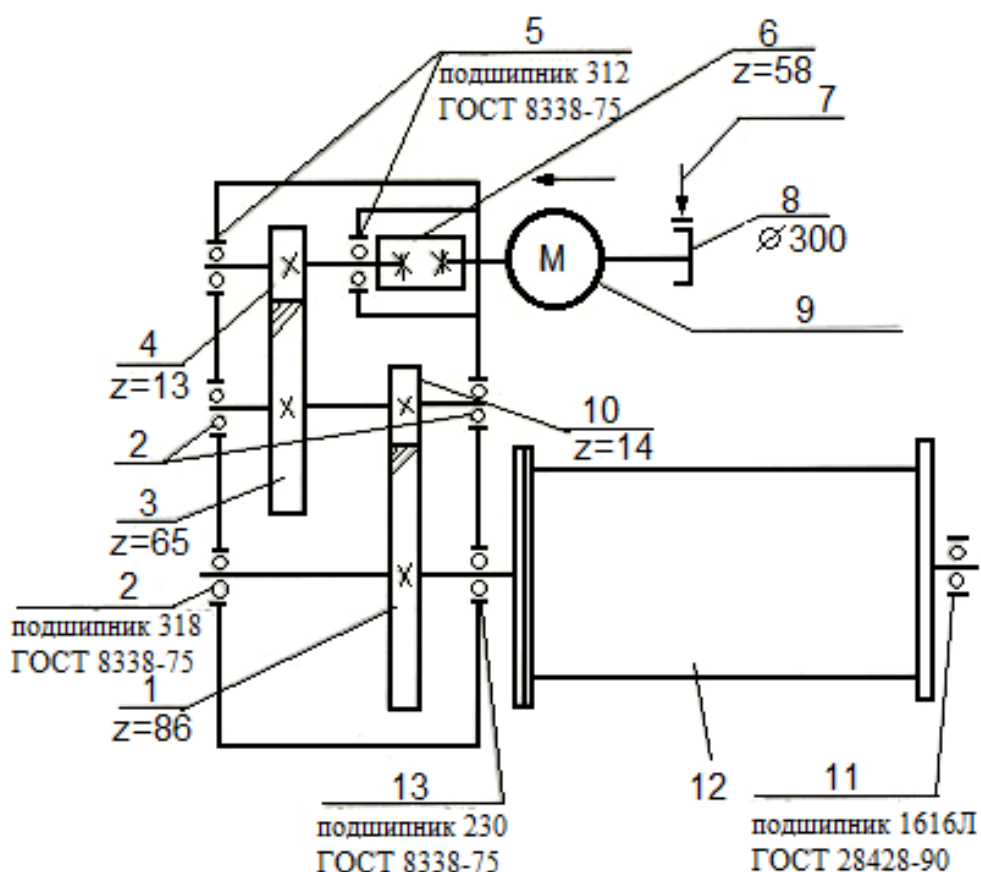


Рисунок 1.4 – Схема кинематическая грузовой лебедки

1.4 Основные параметры и характеристики кранов

Величины, характеризующие грузоподъемные свойства и размеры башенных кранов называются параметрами. Основными параметрами крана являются вылет L , грузоподъемность Q , грузовой момент M , высота подъема H , диапазон подъема D , глубина опускания h , частота вращения n поворотной части крана, колея K , база B , задний габарит l , общая и конструктивная массы крана, радиус поворота R_n , нагрузка от колеса на рельс, допустимая скорость ветра, скорость подъема V_n груза, скорость посадки V_m , скорость передвижения крана V_d , скорость передвижения тележки V_1 , скорость изменения вылета V_g , радиус закругления R , нагрузка на колесо.

Вылетом называется горизонтальное расстояние между осью вращения поворотной части и вертикальной осью грузозахватного устройства. Вылет делится на проектный, который определяется без груза на крюке, и рабочий, который определяется с грузом на крюке. Изменение вылета – это передвижение грузозахватного устройства при подъеме/опускании стрелы или перемещение грузовой тележки вдоль стрелы. Установочное изменение вылета – это изменение вылета без груза на крюке, маневровое – изменение вылета с грузом на крюке,

Грузоподъемность нетто – поднимаемый краном груз определенной

массы Q , который подвешен посредством несъемного грузозахватного устройства. Грузоподъемность нетто включает в себя массу поднимаемого груза и массу съемных грузозахватных устройств (грейфер, стропы, траверсы).

Зависимость грузоподъемности от вылета называется грузовой характеристикой $Q = f(L)$.

Грузовой момент считается главным общим параметром башенного крана, так как он учитывает основные параметры: грузоподъемность и вылет. Соответственно он равен их произведению:

$$M = Q \cdot L. \quad (1.1)$$

Высотой подъема называется вертикальное расстояние между уровнем стоянки крана и грузозахватного приспособления, которое находится в рабочем верхнем положении.

Зависимость высоты подъема от вылета называется высотной характеристикой крана $H = f(L)$. Высотная характеристика приводится либо в виде графика $H = f(L)$, либо дается в виде значений высоты подъема при максимальном H_1 и минимальном H_2 вылетах.

На рисунке 1.5 представлены грузовая и высотная характеристики башенных кранов.

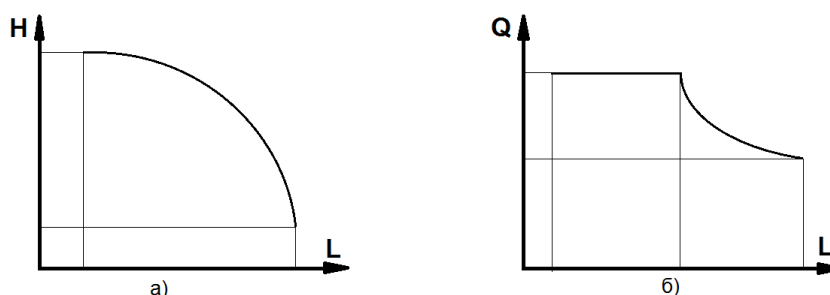


Рисунок 1.5 – Грузовая и высотная характеристики

Уровнем стоянки крана называется поверхность основания, служащая опорой для неповоротной части крана. В качестве примера можно привести нижнюю опору – для самоподъемного крана и поверхность головок рельсов – для кранов на рельсовом ходу.

Глубиной опускания называется вертикальное расстояние между уровнем стоянки крана и грузозахватным приспособлением, которое находится в нижнем рабочем положении.

Диапазоном подъема называется вертикальное расстояние от верхнего до нижнего рабочего положения грузозахватного приспособления. Диапазон подъема рассчитывается как сумма глубины опускания и высоты подъема:

$$D = H + h. \quad (1.2)$$

Горизонтальное расстояние между осями колес или рельсов ходовой части башенного крана называется колеей. Мощные краны типа БК-1000А имеют сдвоенные рельсовые пути, тогда колея измеряется расстоянием между осями сдвоенных нитей пути. У грузовых тележек колея измеряется расстоянием между осями ездовых балок, по которым передвигается грузовая тележка вдоль стрелы.

Базой называется вертикальное расстояние между осями задних и передних колес крана.

Задним габаритом называется наибольший радиус поворотной платформы с противоположной стреле стороны. Удаление рельсовых путей башенного крана от сооружаемого здания зависит от заднего габарита. Оно должно быть не более чем на 700 мм больше величины заднего габарита или части крана, которая наиболее удалена от оси вращения.

Скоростью подъема груза максимальной массы называется скорость перемещения груза по вертикали в установившемся режиме.

Скоростью посадки груза называется минимальная скорость плавной посадки груза при его укладке и монтаже в установившемся режиме.

Частота вращения поворотной части крана в установившемся режиме равна числу оборотов крана в минуту с грузом на крюке при наименьшем вылете и при условии установки крана на горизонтальной площадке при скорости ветра менее 3 м/с на высоте 10 м.

Скоростью передвижения крана называется рабочая скорость передвижения крана по горизонтальному пути грузом в установившемся режиме и при скорости ветра менее 3 м/с на высоте 10 м.

Скоростью передвижения тележки называется скорость передвижения грузовой тележки с максимальным грузом по горизонтально расположенной балочной стреле в установившемся режиме.

Скоростью изменения вылета стрелы называется средняя скорость перемещения груза по горизонтали при изменении вылета от максимального до минимального (для кранов с подъемной стрелой).

Временем изменения вылета называется время, требуемое для полного изменения вылета от максимального до минимального.

На рисунке 1.6 представлены схемы для определения основных параметров кранов, где: а – кран с поворотной башней и подъемной стрелой; б – для кран с неповоротной башней и балочной стрелой; в – радиус закругления для кранов с поворотной башней и подъемной стрелой, г – радиус закругления для кранов с неповоротной башней и балочной стрелой, в – радиус закругления для кранов на пневмоколесном ходу; Б – база; К – колея; А – удаление; D – диапазон подъема; Н – высота подъема; Н₁, Н₂ – высота подъема для минимального и максимального вылетов соответственно; h – глубина опускания; L – вылет; L_{min}, L_{max} – минимальный и максимальный вылет соответственно; l – задний габарит; n – частота вращения поворотной части крана; R, R_n – радиус закругления и поворота соответственно.

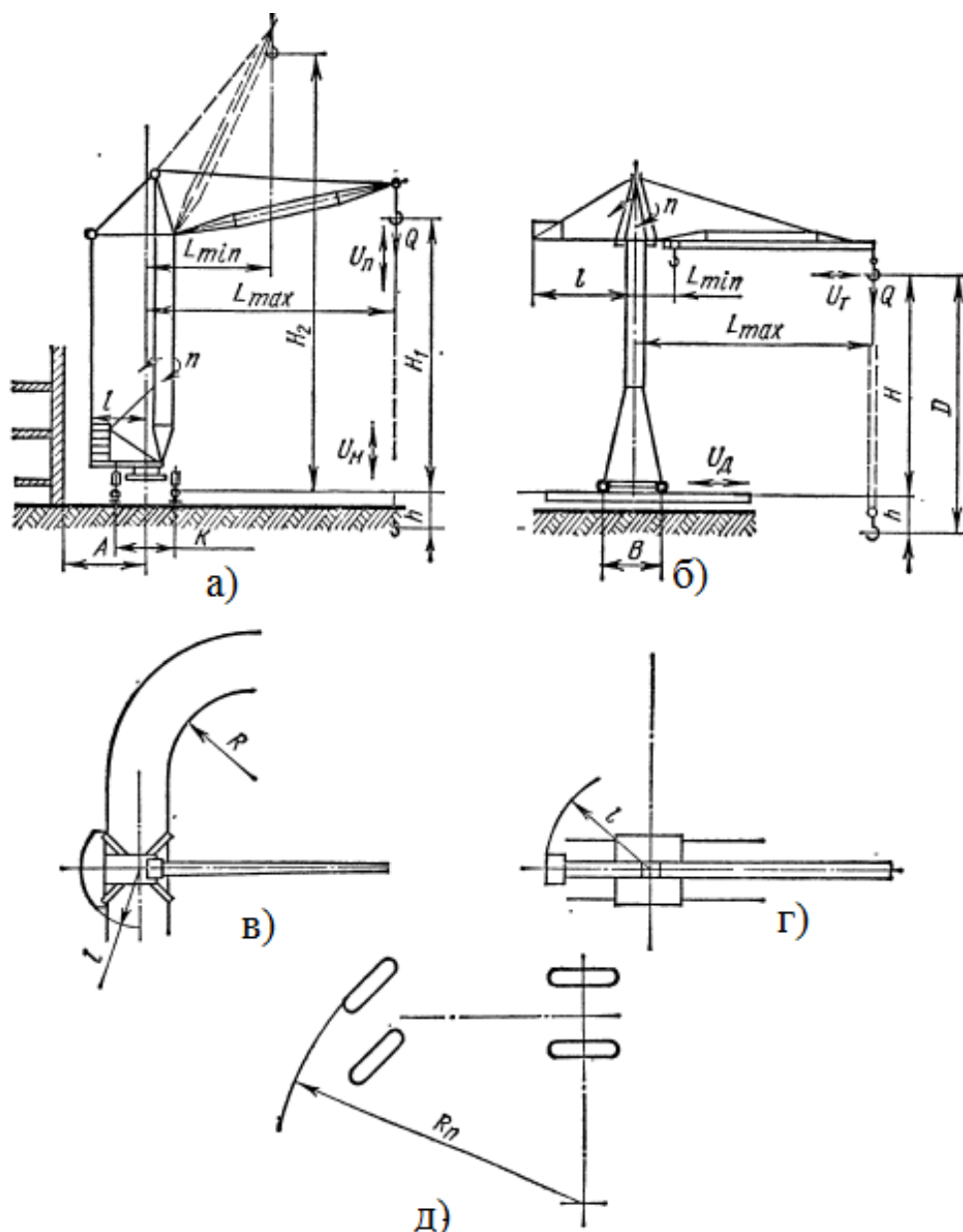


Рисунок 1.6 – Схемы для определения основных параметров крана

Суммарная мощность всех электродвигателей механизмов крана, которые могут работать одновременно, называется установленной мощностью.

Радиусом закругления называется минимальный радиус закругления оси внутреннего рельса на криволинейном участке пути крана.

Радиусом поворота называется радиус окружности, который описывается передним внешним колесом автомобиля тягача или крана при изменении направления движения.

Масса крана без учета массы противовеса, балласта и съемных транспортных и монтажных устройств называется конструктивной массой крана.

Полная масса башенного крана, включая массу противовеса и балласта,

называется общей массой.

Нагрузкой от колеса на рельс называется наибольшая вертикальная нагрузка от общей массы крана и груза, передающаяся от колеса на рельс при самом неблагоприятном положении крана.

Допустимой скоростью ветра называется максимальная скорость ветра, при которой башенный кран сохраняет устойчивость и прочность. [1]

На рисунке 1.7 представлена структурная схема обозначения башенных кранов.

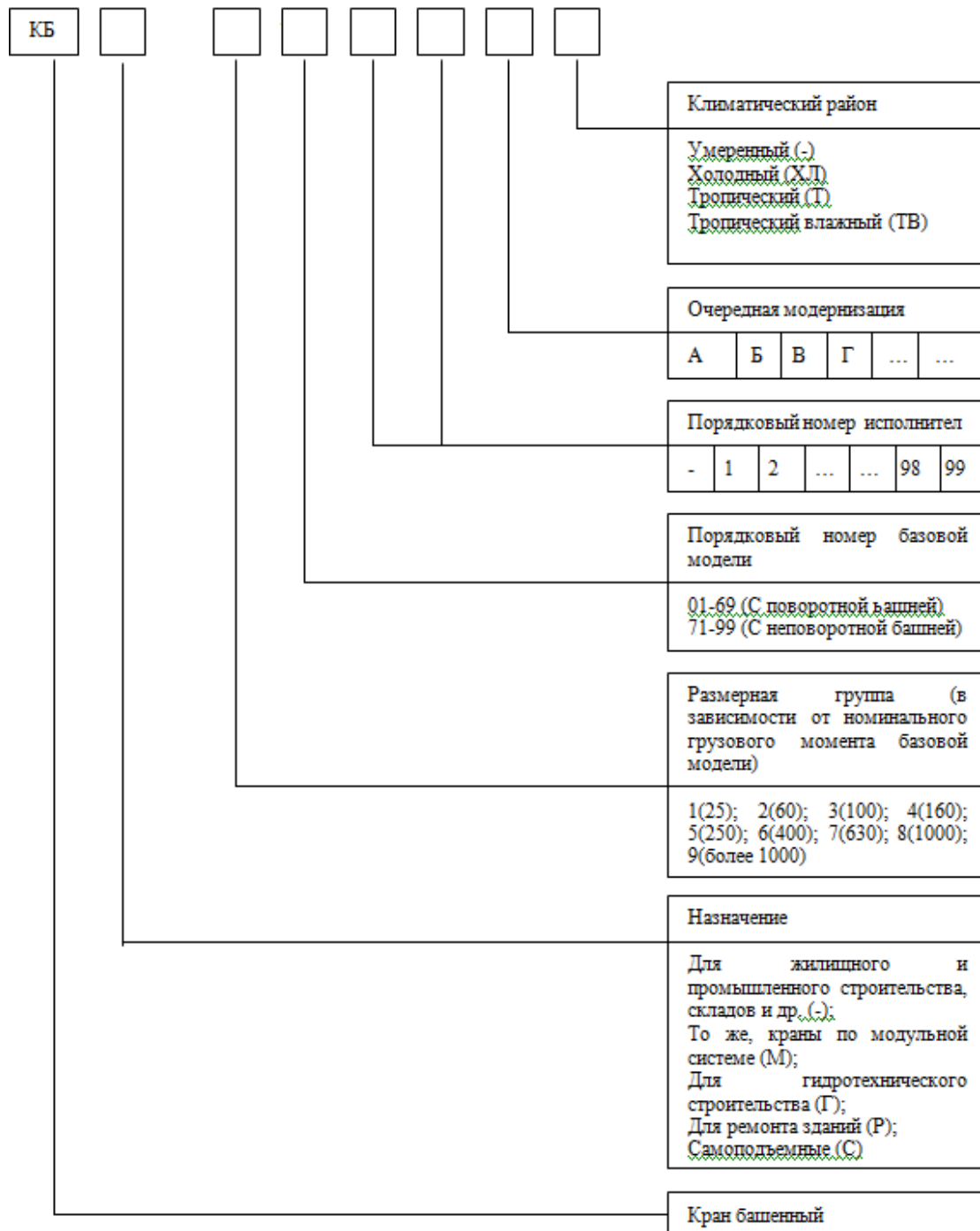


Рисунок 1.7 – Структурная схема обозначения моделей башенных кранов

В таблице 1.1 приводятся технические данные базовых моделей башенных кранов различных размерных групп.

Таблица 1.1 – Технические данные базовых моделей башенных кранов при различных размерных групп

Показатель	Размерная группа кранов					
	с балочной стрелой				с подъемной стрелой	
	3	4	5	6	7	8
Грузовой момент, т·м	100	160	250	400	630	1000
Максимальная грузоподъемность, т	8	10		25	40	63
Максимальный вылет, м	25		40	32	40	63
Максимальная высота подъема, м	40	50	63	45/70 *	80	
Скорость, м/с (м/мин), не менее: подъема/опускания груза максимальной массы опускания крюковой подвески (максимальная при двукратном полиспасте)	0.25 (15)	0.4 (24)	0.5 (30)	0.25 (15)	0.25 (15)	0.16 (10)
	0.80 (48)	0.63 (38)	1.25 (75)	1.6 (96)	0.4 (24)	0.25 (15)
Глубина опускания при минимальном вылете, м, не менее	5				8	
Колея, м	4.5	6	7.5		10	
Расчетная нагрузка от колеса на рельс, кН (тс), не более	360 (36)***					
Примечания						
* Для универсальных кранов.						
** Нагрузка ходового колеса на рельс, необходимая для проектирования и выбора кранового пути, должна составлять 0.75 расчетной нагрузки от колеса на рельс.						
*** Выпускают краны с грузовым моментом 25...60 т·м: АБКС-5, КБ-203, -210.						

1.5 Технологическая карта

Согласно положениям статьи 9.4.13 ПБ 10-382-00 технологические карты выполнения погрузочно-разгрузочных работ на местах грузопереработки и проекты выполнения монтажных работ кранами должны быть разработаны и выданы на объект применения владельцами крана или эксплуатирующими организациями.

Составной частью проектной документации является проект производства работ. Он разрабатывается на полное или частичное строительство зданий (сооружений), а также на проведение других видов строительно-монтажных работ. Содержание проекта производства и его состав определяются нормами «Организации строительного производства» (СНиП 3.01.01-85).

Проект производства работ содержит:

- календарный план;
- графики прибытия материалов и оборудования на объект;
- технологическую последовательность производства работ;
- технологические комплекты средства механизации на проведение отдельных видов работ;
- технологические карты на производство отдельных видов работ;
- графики применения средств механизации по назначению;
- технические решения задач по обеспечению безопасности при выполнении работ.

При проектировании монтажных работ должны предусматриваться следующие моменты (ст. 9.5.18 ПБ 10-382-00):

- находящийся в эксплуатации кран должен соответствовать всем применения работы по заданным параметрам: высоте подъема, вылету стрелы и грузоподъемности в пределах грузовой характеристики;
- должна быть спроектирована схема установки башенного крана у возводимого здания;
- кран должен находиться на безопасном расстоянии от дорог, тротуаров, общественных мест, воздушных и подземных линий электропередач (ЛЭП);
- должны соблюдаться безопасные расстояния при приближении крана к городским строениям (сооружениям и зданиям), складам различных конструкций и материалов, пунктам грузопереработки;
- условия работы и установки крана около котлованов и откосов траншей должны соответствовать принятым нормам (статья 2.18 ПБ 10-382-00);
- должны соблюдаться условия безопасной работы сразу нескольких кранов около одного сооружения (здания), на параллельных путях и на одном пути;
- должны присутствовать полный список используемых грузозахватных устройств и графические схемы строповки монтируемых элементов;
- должны быть предусмотрены места для складирования грузов, временные подъездные пути на строительной площадке и рабочей зоне, пункты грузопереработки. [9]

Башенные краны выполняют монтажные работы на таких объектах как, трехэтажные и более высокие жилые дома, многоэтажные здания производственного назначения, подлежащие реконструкции высотные сооружения и здания, дома с относительно широким корпусом, здания культурно-бытового назначения. Выбор башенных кранов, необходимых для проведения монтажных работ на полигонах и строительных площадках, осуществляется по определенным требуемым показателям. К ним относятся высота подъема, грузоподъемность и вылет стрелы. Требуемая грузоподъемность крана определяется массой максимально тяжелого

монтируемого элемента и съемных грузозахватных устройств:

$$Q = K \cdot P_{\max} + P_{\text{г.п}}, \quad (1.3)$$

где Q – грузоподъемность;
 P_{\max} – масса наиболее тяжелого монтируемого элемента;
 $K = 1.1$ – коэффициент, учитывающий возможное отклонение фактической массы груза от проектной;
 $P_{\text{г.п}}$ – масса грузозахватного устройства.

Максимальная высота подъема:

$$H_{\text{кр}} = H_3 + h_1 + h_2 + h_3, \quad (1.4)$$

где $h_1 = 0.5$ м – запас высоты (расстояние от нижней поверхности монтируемого элемента до основания);
 $H_{\text{кр}}$ – высота подъема крюковой подвески над уровнем стоянки крана;
 h_2 – высота монтируемого элемента;
 H_3 – высота сооружения (здания);
 h_3 – высота грузозахватного устройства.

Требуемый вылет зависит от конфигурации и размеров возводимого сооружения (здания), а также от расположения монтируемых элементов:

$$L = 0.5 \cdot a + b_1 + B, \quad (1.5)$$

где b_1 – расстояние между ближайшей к сооружению опоры крана и выступающими частями сооружения;
 a – база крана, которая равна размеру колеи рельсовых путей;
 B – ширина здания, определяемая по его выступающим частям.

При возведении нулевого цикла, т.е. подземной части сооружения, вылет стрелы определяется:

$$L_{\text{стр}} = 0.5 \cdot a + b_2 + b_3 + b_4, \quad (1.6)$$

где $b_2 = 1$ м – расстояние от ближайшей к зданию опоры крана до верхней бровки котлована;
 a – база крана;
 b_4 – расстояние между ближайшей осью здания и нижней бровкой котлована;

b_3 – заложение откоса по горизонтали:

$$b_3 = h_k \cdot \text{ctg}(t), \quad (1.7)$$

где t – угол естественного откоса грунта;
 h_k – глубина котлована.

На рисунке 1.8 представлена схема для определения места установки у здания башенного крана, где: a – база крана (колея рельсовых путей); a_1 – расстояние между точкой опирания стрелы и основанием; B – ширина здания по выступающим частям; b – расстояние между точкой опирания стрелы и выносной опорой; b_1 – расстояние от ближайшей к зданию опоры крана до выступающих частей здания; H_3 – высота здания; $H_{кр}$ – высота подъема крюка; h_1 – запас высоты (расстояние от нижней поверхности монтируемого элемента до основания); h_2 – высота монтируемого элемента; h_3 – высота грузозахватного приспособления; $L_{стр}$ – вылет.

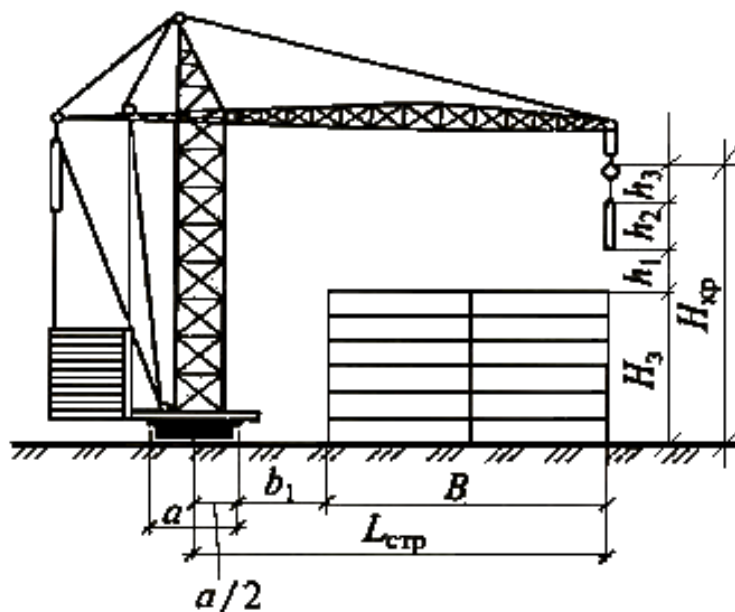


Рисунок 1.8 – Схема для определения места установки у здания башенного крана

При установке крана у здания учитывают следующие характеристики и параметры, связывающие между собой здание и кран:

- геометрические размеры рабочей зоны и здания;
- габаритные размеры, масса и места укладки конструкций и деталей в проектное положение;
- глубина опускания и высота подъема груза;
- размеры и способ страховки грузозахватных устройств;
- схема движения крана;

- места установки крана на выносные опоры в рабочей зоне;
- расстояние между зданием и поворотной рамой;
- радиус поворота рамы.

Обладая всеми вышеперечисленными параметрами, место установки башенного крана относительно возводимого здания определяется по наименьшему значению длины стрелы, так как при минимальном значении кран способен поднять на заданную высоту груз наибольшей массы, соблюдая при этом все положения действующих регламентных документов (СП 12-131-95 «Безопасность труда в строительстве», ПБ 10-382-00). [6]

1.6 Монтаж башенных кранов

После того, как башенный кран был доставлен на строительную площадку, его необходимо смонтировать и привести в рабочее положение в соответствии с «Инструкцией по монтажу крана».

Сборка крана при монтаже и последующая его разборка на сборочные единицы затрачивают много времени, приводят к повреждениям сборочных единиц крана и его самого в целом, а также снижают долговечность и надежность сборочных единиц башенного крана.

Подъемные стрелы башенных кранов более простые по способу изготовления и конструкции, поэтому башенные краны с подъемной стрелой более распространенные, чем с балочной стрелой.

Краны с поворотной башней обладают меньше массой высоко расположенных элементов, чем краны с неповоротной башней. Следовательно, центр масс у них расположен ниже. Благодаря этому уменьшается общая масса башенного крана, облегчается его монтаж и транспортирование, уменьшается раскачивание груза из-за снижения степени деформирования башни крана.

В настоящее время перевозка и монтаж кранов с неповоротной башней осуществляется укрупненными сборочными единицами. Такие краны называют немобильными, так как на монтаж таких кранов уходит в среднем 2 недели.

Краны с поворотной башней чаще всего перевозятся с минимальной разборкой на более крупные части. Краны с поворотной башней обычно перевозят с объекта на объект со сложенной стрелой и башней. При этом электрооборудование крана и канаты не демонтируются, что значительно упрощает монтаж. Это дает возможность сэкономить время монтажа крана. Такие краны называют мобильными. [3]

Но производительность работы башенного крана существенное влияние оказывают способы его монтажа. Чем скорее осуществляется монтаж крана, тем меньше его стоимость и больше степень использования. Все современные башенные краны монтируются без якорей для уменьшения времени монтажа до 1-2 смен. При этом краны обладают достаточной собственной устойчивостью. Существуют такие способы монтажа башенных кранов с

поворотной башней как, из положений «от себя» и из положения «на себя».

На рисунке 1.9 изображены башенные краны, где: а – с поворотной башней и подъемной стрелой, б – с неповоротной башней и балочной стрелой; 1 – крюковая подвеска, 2 – стрела, 3 – оголовок, 4 – кабина, 5 – распорка, 6 – башня, 7 – стреловой полиспаст, 8 – противовес, 9 – стреловая лебедка, 10 – грузовая лебедка, 11 – механизм поворота, 12 – поворотная платформа, 13 – опорно-поворотное устройство, 14 – балласт, 15 – ходовая рама, 16 – ходовая тележка, 17 – грузовая тележка, 18 – тележечная лебедка, 19 – противовесная консоль.

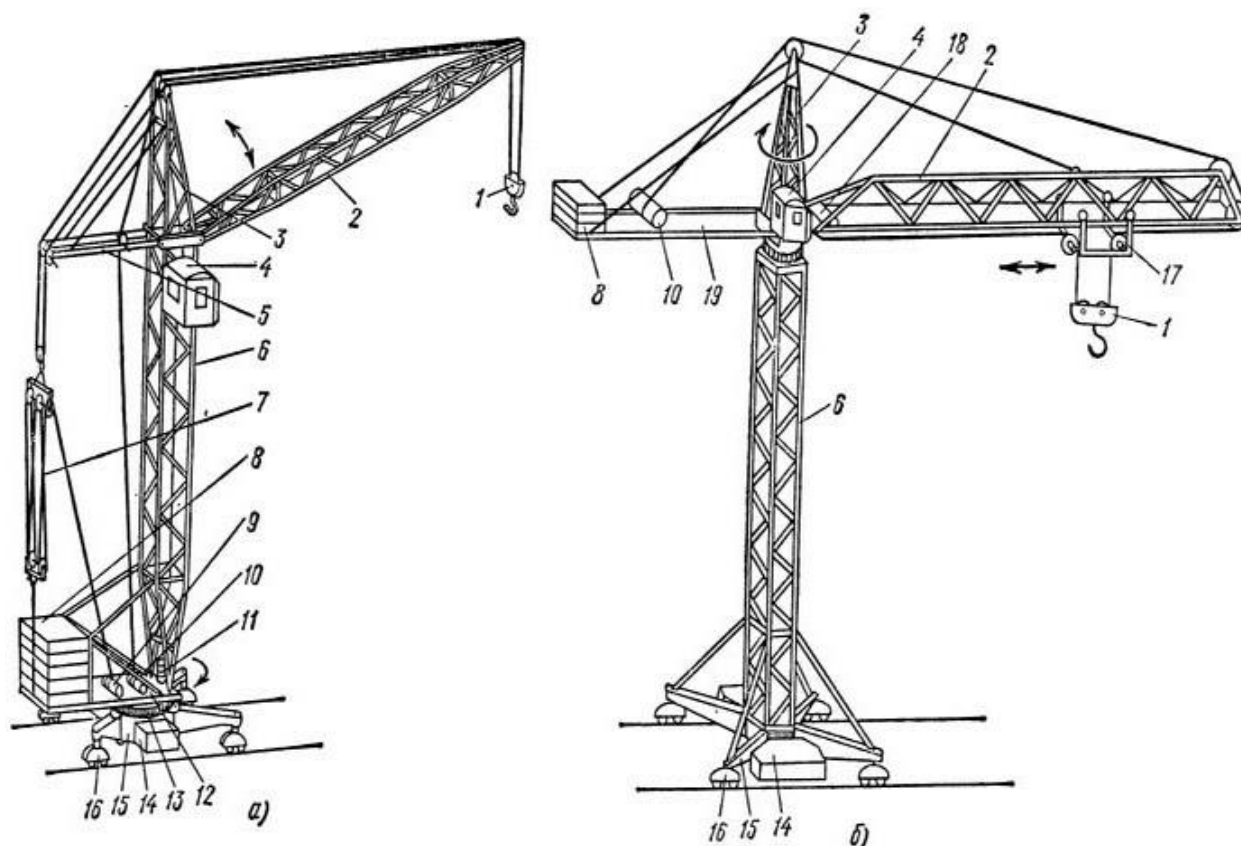


Рисунок 1.9 – Башенные краны по типу стрелы

1.7 Особенности и требования к крановым электроприводам

Электропривод грузоподъемных кранов обладает рядом особенностей, которые отличают его от электроприводов других общепромышленных механизмов:

- расположение механической характеристики во всех четырех квадрантах;
- относительно малый диапазон регулирования скорости (чаще всего не выше 10:1);
- осаждение паров кислот из воздуха 500 мг/м^2 в сутки;
- осаждение пыли из воздуха 5 г/м^2 в сутки;

- температура окружающей среды лежит в диапазоне от +40 °С до -40 °С (для металлургических цехов диапазон изменения окружающей среды составляет от +50 °С до -10 °С);
- необходимость в плавном переходе электродвигателя из двигательного режима в генераторный режим работы при опускании груза;
- усредненное значение относительной влажности воздуха равно 90% при температуре окружающей среды равной 25 °С;
- невысокие требования к быстродействию и жесткости механических характеристик;
- ускорение $a = 5 \text{ м/с}^2$, частота равна 1...50 Гц
- передвижения механизмов вызывают такие механические воздействия, как удары и вибрации;
- не редкое отсутствие профессионального квалифицированного обслуживания;
- присутствие повторяющихся одиночных ударов (с ускорением a до 30 м/с)
- высокие требования к надежности работы и по отношению к эксплуатации .

Идеальные механические характеристики электропривода механизма подъема крана приводятся на рисунке 1.10. Из рисунка видно, что идеальные механические характеристики находятся во всех четырех квадрантах.

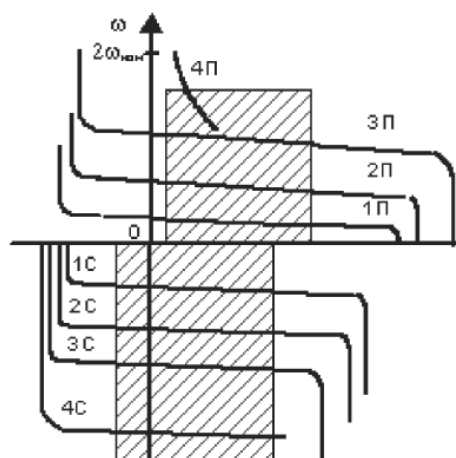


Рисунок 1.10 – Желаемые механические характеристики механизма подъема

Правилами ПБ 10-382-00 к конструкции электрической и механической частей предъявляются жесткие требования в отношении обеспечения безопасности. Это связано с тем, что при активном моменте нагрузки все время существует опасность падения груза, при котором могут пострадать люди повредиться механизмы. Два основных требования к обеспечению безопасности:

- при отключенном электроприводе механизм подъема должен быть заторможен, т.е. в механической части конструкции крана должен

присутствовать тормоз нормально-замкнутого типа, который будет обладать коэффициентом запаса торможения (запасом тормозного момента);

– процесс опускания груза должен происходить только лишь работающим двигателем.

Выше перечисленные требования определяют силовую часть электропривода подъемного механизма крана с ПЧ и схемные решения при построении:

– электропривод должен обладать достаточным запасом момента пуска при максимальном разрешенном понижении напряжения сети и при максимальной разрешенной нагрузке;

– механический тормоз должен растормаживаться только лишь после того момента, как электропривод достигнет необходимый для подъема груза пусковой момент;

– при срабатывании защиты любого вида электропривод должен отключаться механическим тормозом с определенным затормаживанием;

– преобразователь частоты должен иметь в конструкции тормозной резистор – устройство рекуперации, т.е. рассеяния энергии при торможении – который будет обеспечивать опускание максимального груза при номинальной скорости.

Все вышеуказанные требования удовлетворяет преобразователь частоты от компании Shnider Electric серии Altivar 71. Наличие в данном преобразователе микроконфигураций для различных областей применения обеспечивает быстрое и простое программирование. Каждую из всех микроконфигураций можно модифицировать. Также в преобразователе присутствует съемный графический терминал (24 символа в каждой из 8 строк), предназначенный для удобства контроля, программирования и диагностики. [11]

2 Разработка электропривода механизма подъема башенного крана

2.1 Функциональная схема башенного крана

Передвижение крана, подъем груза, изменение вылета стрелы и крюка, вращение поворотной части крана осуществляются с помощью механизмов движения крана. Каждый механизм обычно имеет собственный индивидуальный электропривод, основными составляющими которых являются: редукторы, электродвигатели, муфты, открытые зубчатые передачи, тормоза и исполнительные орган. В механизмах подъема (грузовых лебедках) и механизмах изменения вылета исполнительным органом является барабан, в механизмах поворота – ведущие шестерни, в механизмах передвижения – ходовые колеса.

У кранов с поворотной башней общий центр масс расположен ниже, чем у кранов с неповоротной башней, так как у них меньше масса

высокорасположенных элементов. Это способствует повышению удобства при монтаже и транспортировке крана, уменьшению массы крана, понижению раскачивания груза, так как башня подвергается меньшим деформациям.

В кранах с поворотной на поворотной платформе крепится башня, где также находятся механизмы движения и противовесы. Поворотная платформа опирается на неповоротную раму посредством опорно-поворотного устройства шарикового или роликового типа.

К раме присоединены поводковые, размещенные диагонально под прямыми углами друг к другу двух шарнирные кронштейны, позволяющие крану передвигаться как по прямым, так и по криволинейным путям. Неповоротная рама через кронштейны соединяется с ходовыми приводными и не приводными тележками. В рабочем положении тележки удерживаются тросами. Неповоротная рама и поворотная платформа выполняются кольцевыми по контуру опорно-поворотного устройства шарикового или роликового типа. Также выполняют опорно-поворотные устройства конического и сужающегося типа для увеличения жесткости рам.

Функциональная схема башенного крана представлена на рисунке 2.1.

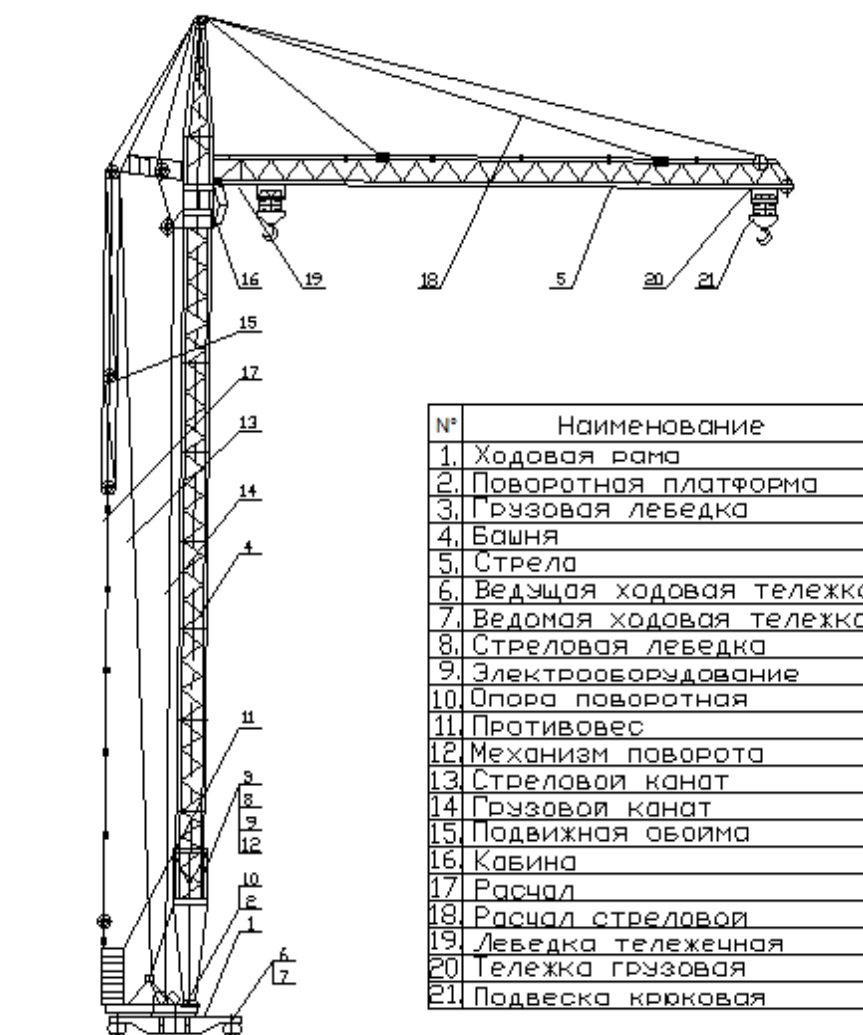


Рисунок 2.1 – Функциональная схема крана

На рисунке 2.2 представлены несущие элементы крана, где: а – поворотная платформа; б – неповоротная рама с флюгерами; в, г – те же элементы с конусными проемами.

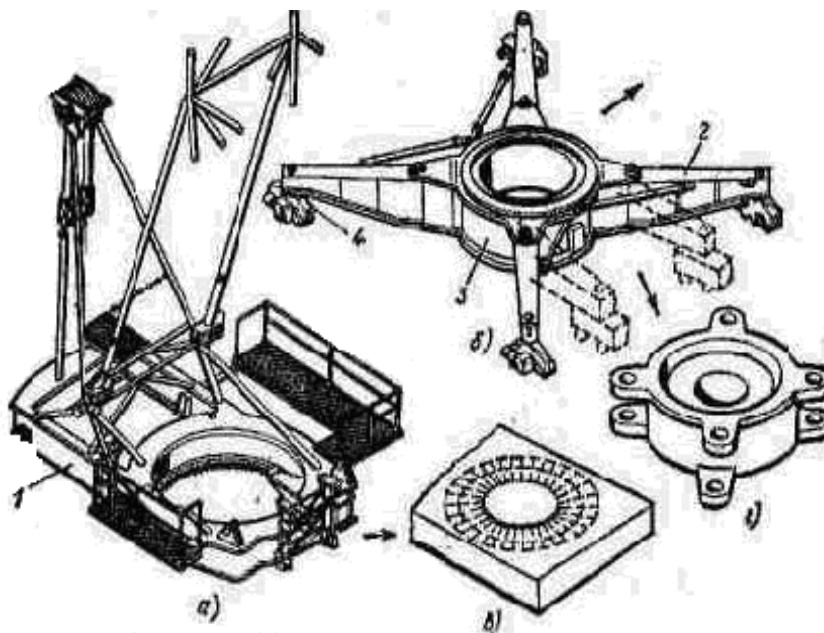


Рисунок 2.2 – Несущие элементы крана

2.2 Выбор и расчет электродвигателя

2.2.1 Предварительный расчет мощности электродвигателя. Предварительный расчет мощности электродвигателя механизма подъёма башенного крана рассчитывается как:

$$P = \frac{(G_{гр} + G_0) \cdot V}{\eta}, \quad (2.1)$$

где $G_{гр}$ – вес поднимаемого груза, Н;
 G_0 – вес грузозахватного приспособления, Н;
 $V = 18 \text{ м/мин} = 0.3 \text{ м/с}$ – скорость подъёма груза, м/с;
 η – К.П.Д механизма подъёма ($\eta = 0.8 \dots 0.85$);

$$P = \frac{(G_{гр} + G_0) \cdot V}{\eta} = \frac{(5000 + 160) \cdot 9.81 \cdot 0.33}{0.83} = 20.13 \text{ кВт}.$$

Используя справочную литературу, подбираем ближайшее значение мощности к рассчитанному: $P_n = 22 \text{ кВт}$.

Согласно рассчитанной мощности электродвигателя, выбираю для подъемного механизма крановый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа МТКФ 412-8 мощностью 22 кВт.

2.2.2 Расчет приведённого момента системы электропривода. Приведённый к валу двигателя маховый момент системы электропривода:

$$GD^2 = \alpha(GD_{\text{дв}}^2 + GD_{\text{му}} + GD_{\text{м}}^2) + \frac{GD_{\text{рм}}^2}{i^2} + 365 \frac{GV^2}{n_{\text{дв}}^2}, \quad (2.2)$$

где $GD_{\text{дв}}^2 = 3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – маховый момент предварительно выбранного двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

α – коэффициент, который учитывает маховые массы редуктора.

Лежит он обычно в диапазоне от 1.1 до 1.15 (принимаем $\alpha = 1.1$);

$GD_{\text{м}}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – маховый момент муфты, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$GD_{\text{тш}}^2 = 3.88 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – маховый момент тормозного шкива, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$GD_{\text{рм}}^2$ – максимальный момент барабана:

$$GD_{\text{рм}}^2 = m \cdot R^2 = 334 \cdot 0.2^2 = 13.36 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.3)$$

где $m = 334 \text{ кг}$ – масса барабана, кг ;

$R = 0.2 \text{ м}$ – радиус барабана, м ;

$n_{\text{дв}}$ – номинальная скорость вращения двигателя, об/мин ;

G – вес груза с крюком, Н ;

i – передаточное число:

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{рм}}}, \quad (2.4)$$

где $n_{\text{рм}}$ – скорость вращения рабочей машины (барабана):

$$n_{\text{рм}} = \frac{60 \cdot m \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{б}}}, \quad (2.5)$$

где $m = 2$ – число полиспастов;

V – скорость поступательного движущегося элемента;

$D_{\text{б}}$ – диаметр барабана, м .

$$n_{\text{рм}} = \frac{60 \cdot m \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{б}}} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 0.3}{3.14 \cdot 0.4} = 28.66 \text{ об/мин};$$

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{рм}}} = \frac{700}{28.66} = 24.42;$$

$$GD^2 = \alpha \cdot (GD_{\text{дв}}^2 + GD_{\text{му}}^2 + GD_{\text{м}}^2) + \frac{GD_{\text{рм}}^2}{i^2} + 365 + \frac{GV^2}{n_{\text{дв}}^2} =$$

$$1.1 \cdot (3 + 3.88 + 1) + \frac{13.36}{24.42^2} + 365 \cdot \frac{50620 \cdot 0.3^2}{700^2} = 12.08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

2.2.3 Расчет приведенного момента сопротивления рабочей машины (барабана). Величина момента сопротивления при подъеме груза, когда энергия передается от двигателя к рабочей машине:

$$M_c = \frac{M_{\text{рм}}}{i \cdot \eta}, \quad (2.6)$$

где $\eta = 0.83$ – К.П.Д. передачи;
 $i = 24.42$ – передаточное отношение;
 $M_{\text{рм}}$ – момент сопротивления на валу рабочей машины, Н·м:

$$M_{\text{рм}} = \frac{(G_{\text{гр}} + G_0) \cdot D_{\text{б}}}{2 \cdot m \cdot \eta}. \quad (2.7)$$

где $(G_{\text{гр}} + G_0)$ – вес груза с крюком, Н;
 $D_{\text{б}}$ – диаметр барабана, Н;
 m – число полиспастов;
 $\eta = 0.83$ – К.П.Д. системы электропривода;

$$M_{\text{рм}} = \frac{50620 \cdot 0.4}{2 \cdot 2 \cdot 0.83} = 6.1 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_c = \frac{M_{\text{рм}}}{i \cdot \eta} = \frac{6.1 \cdot 1000}{24.42 \cdot 0.83} = 300.96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.2.4 Расчет времени пуска и торможения электропривода. Время пуска и торможения двигателя:

$$t_n = GD^2 \cdot \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30 \cdot M_{j1}}, \quad (2.8)$$

$$t_m = GD^2 \cdot \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30 \cdot M_{j2}}, \quad (2.9)$$

где $n_{\text{дв}}$ – частота вращения двигателя, об/мин;
 GD^2 – маховый момент электропривода, кг·м²;
 M_j – динамический момент электропривода:

$$M_j =_{-}^{+} M_g \pm M_c \cdot \quad (2.10)$$

Знак «−» у момента сопротивления берется тогда, когда рабочая машина мешает движению системы электропривода, а знак «+» берется, когда рабочая машина помогает движению системы (когда груз опускается). Знак «−» у момента двигателя берется тогда, когда режим работы двигателя – тормозной, а знак «+» берется при двигательном режиме двигателя.

Величина момента двигателя равна:

$$M_g = \beta \cdot M_n, \quad (2.11)$$

где β – коэффициент, который зависит от типа двигателя и условий его пуска. Для подобранного двигателя $\beta = 1.6$.

M_n – номинальный момент двигателя:

$$M_n = \frac{P_n \cdot 30}{\pi \cdot n_{дв}}, \quad (2.12)$$

где $n_{дв}$ – частота вращения двигателя, об/мин;
 P_n – номинальная мощность двигателя, кВт;

$$M_n = \frac{22 \cdot 30}{3.14 \cdot 700} = 300.27 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_g = \beta \cdot M_n = 1.6 \cdot 300.27 = 480.43 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{j1} = M_g - M_c = 480.43 - 300.96 = 99.47 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{j2} = - M_g - M_c = - 480.43 - 300.96 = - 781.39 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$t_m = GD^2 \cdot \frac{\pi \cdot n_{дв}}{30 \cdot M_{j2}} = 12.08 \cdot \frac{3.14 \cdot 700}{30 \cdot 781.39} = 8.9 = 1.13 \text{ с}.$$

$$t_n = GD^2 \cdot \frac{\pi \cdot n_{дв}}{30 \cdot M_{j1}} = 12.08 \cdot \frac{3.14 \cdot 700}{30 \cdot 99.47} = 8.9 \text{ с}.$$

2.2.5 Расчет пройденного рабочим органом пути за время торможения и пуска. Пройденный рабочим органом путь за время торможения и пуска определяется по следующим формулам:

$$S_n = \frac{t_n \cdot V}{2}, \quad (2.13)$$

$$S_m = \frac{t_m \cdot V}{2}, \quad (2.14)$$

где V – скорость поступательно движущегося элемента, м/с;
 t_m – время торможения электропривода, с;
 t_n – время пуска электропривода, с;

$$S_n = \frac{t_n \cdot V}{2} = \frac{8.9 \cdot 0.3}{2} = 1.34 \text{ м};$$

$$S_m = \frac{t_m \cdot V}{2} = \frac{1.13 \cdot 0.3}{2} = 0.17 \text{ м}.$$

2.2.6 Расчет пройденного рабочим органом пути с установившейся скоростью. Пройденный рабочим органом путь с установившейся скоростью рассчитываются по формуле:

$$S_p = H - (S_n + S_m), \quad (2.15)$$

где S_m – пройденный рабочим органом путь за время торможения;
 S_n – пройденный рабочим органом путь за время пуска;
 H – высота подъёма башенного крана.

$$S_p = H - (S_n + S_m) = 12 - (1.34 + 0.17) = 10.49 \text{ м}.$$

2.2.7 Расчет времени паузы и времени равномерного хода рабочей машины. Время равномерного хода рабочей машины определяется по формуле:

$$t_p = \frac{S_p}{V}, \quad (2.16)$$

где V – скорость поступательно движущегося элемента;
 S_p – путь, пройденный рабочим органом с установившейся скоростью.

$$t_p = \frac{S_p}{V} = \frac{10.49}{0.3} = 35 \text{ с}.$$

Исходя из условий технологического процесса, принимаем время паузы равным $t_0 = 60$ с, что удовлетворяет техническим требованиям выбранного двигателя.

Нагрузочная диаграмма – это зависимость силы тока, момента, мощности в функции времени. Для выбранного двигателя по полученным

данным строим нагрузочную диаграмму $M = f(t)$, учитывая реальные времена протекания переходных процессов и величины пусковых и тормозных моментов, а также реальные значения пауз между временами работы двигателя.

Нагрузочная диаграмма выбранного электродвигателя представлена на рисунке 2.3.

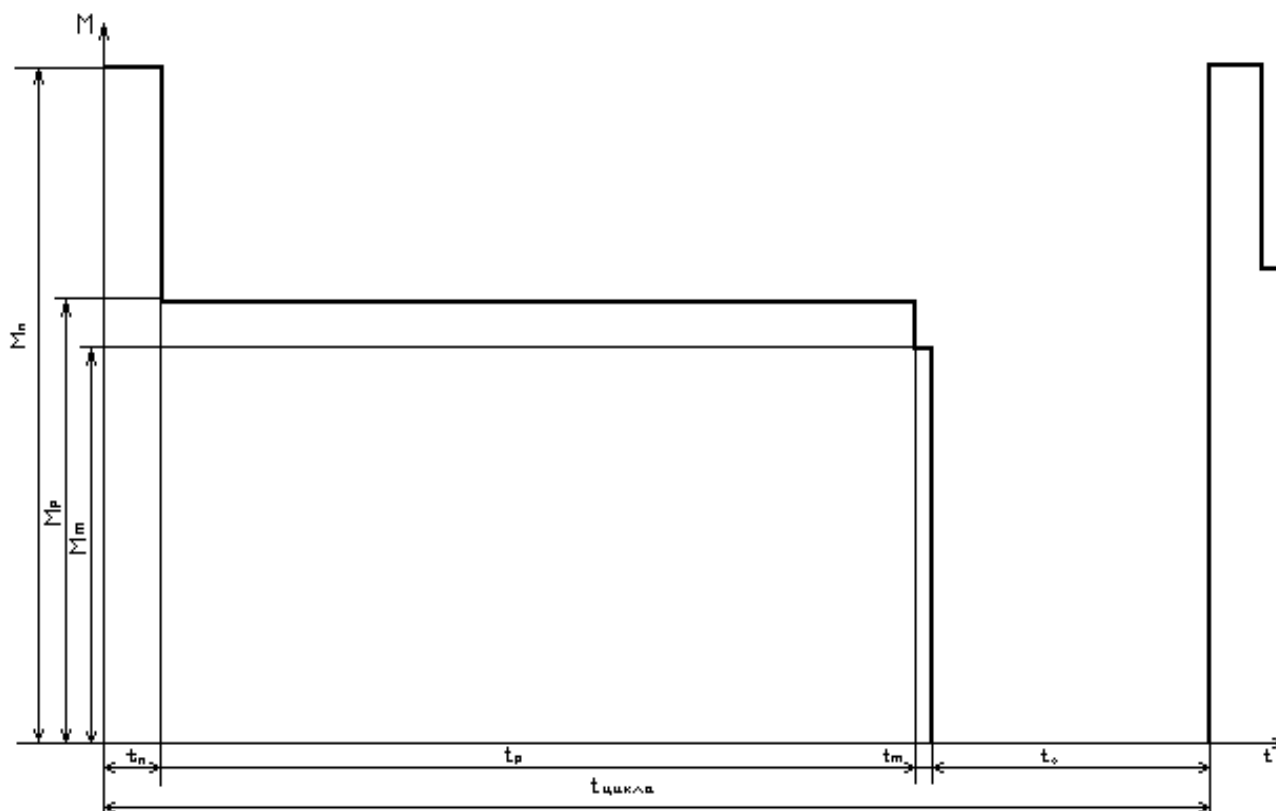


Рисунок 2.3 – Нагрузочная диаграмма двигателя

2.2.8 Расчет продолжительности включения. Время одного включения двигателя, его работы и последующей остановки, называется рабочим циклом. Продолжительность цикла обычно не более 10 минут. Промышленность выпускает крановые электродвигатели, рассчитанные на 15, 25, 40 и 60% - ную относительную продолжительность включения.

Величина ПВ показывает, сколько времени двигатель находится включенным в течение цикла:

$$ПВ = \frac{\text{время работы}}{\text{время цикла}} = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_0} . \quad (2.17)$$

Обычно крановые двигатели рассчитаны на работу при 25% ПВ, но один и тот же двигатель может работать и при 15 % ПВ, и при 40% ПВ, но при этом должна соответственно изменяться его нагрузка.

В данном случае:

$$ПВ = \frac{t_{раб}}{t_{раб} + t_0} = \frac{t_n + t_p + t_m}{t_n + t_p + t_m + t_0} = \frac{8.89 + 35 + 1.13}{8.89 + 35 + 1.3 + 90} = 0.33 \cdot 100\% = 33\% .$$

2.2.9 Расчет мощности двигателя из условий нагрева. Электрические машины не должны нагреваться свыше допустимых пределов. При перегреве машины изоляция обмоточных проводов быстро стареет, теряет изоляционные свойства, становится хрупкой и при дальнейшей работе может обуглиться, что может привести к короткому замыканию и выходу машины из строя.

Определяем эквивалентный по нагреву момент двигателя за время его работы без учёта времени пауз:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_n^2 t_n + M_c^2 t_p + M_m^2 t_m}{t_n + t_p + t_m}}, \quad (2.18)$$

где M_n и M_m – моменты, развиваемые двигателем при пуске и торможении.

Эквивалентная мощность:

$$P_{\text{э}} = \frac{M_{\text{э}} \cdot \pi \cdot n_{\text{дв}}}{30} . \quad (2.19)$$

После этого производится пересчёт эквивалентной мощности на ближайшую, стандартную продолжительность включения:

$$P_{\text{к}} = P_{\text{э}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{д}}}{ПВ_{\text{к}}}}, \quad (2.20)$$

где $ПВ_{\text{д}}$ – действительная продолжительность включения двигателя
 $ПВ_{\text{к}}$ – ближайшая по величине стандартная продолжительность включения по отношению к действительной ПВ.

Если полученная в результате расчёта мощность $P_{\text{к}} < P_{\text{н}}$ двигатель, который был предварительно выбран, по условиям нагрева проходит.

Если же $P_{\text{к}} > P_{\text{н}}$, то необходимо задаваться следующим габаритом двигателя и расчёт производить вновь.

Определяем эквивалентный момент:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_n^2 t_n + M_c^2 t_p + M_m^2 t_m}{t_n + t_p + t_m}}, \quad (2.21)$$

где $M_n = 1.3 M_{\text{н}} = 1.3 \cdot 300.27 = 390.35 \text{ Н} \cdot \text{м};$

$$M_m = \frac{k \cdot (G_{гр} \cdot G_0) \cdot D_6}{2 \cdot m \cdot i} \cdot \eta, \quad (2.22)$$

где k – поправочный коэффициент ($k = 1.5$);
 $(G_{гр} + G_0)$ – вес груза с грузозахватным приспособлением, Н;
 D_6 – диаметр барабана, м;
 m – число полиспастов;
 i – передаточное отношение;
 η – к.п.д привода;

$$M_m = \frac{1.5 \cdot 5160 \cdot 9.81 \cdot 0.4}{2 \cdot 2 \cdot 24.42} \cdot 0.83 = 258.07 (Н \cdot м);$$

$$M_э = \sqrt{\frac{(390.35)^2 \cdot 8.9 + (300.96)^2 \cdot 35 + (258.07)^2 \cdot 1.13}{8.9 + 35 + 1.13}} = 319.71 Н \cdot м.$$

Эквивалентная мощность:

$$P_э = \frac{M_э \cdot \pi \cdot n_{дв}}{30} = \frac{319.71 \cdot 3.14 \cdot 700}{30} = 23.42 \text{ кВт}.$$

$$P_k = P_э \sqrt{\frac{ПВ_д}{ПВ_k}} = 23.42 \cdot \sqrt{\frac{33}{40}} = 21.27 \text{ кВт}.$$

Поскольку $P_k = 21.27 \text{ кВт} < P_n = 22 \text{ кВт}$ то двигатель по условию нагрева проходит.

2.2.10 Проверка выбранного электродвигателя на перегрузочную способность и по пусковому моменту. Выбранный по каталогу двигатель проверяется на перегрузочную способность на основании неравенства:

$$\lambda \cdot M_n > M_{max}, \quad (2.23)$$

где $\lambda = 3.2$ – перегрузочная способность двигателя (выбирается по каталогу);

M_n – номинальный момент, Н·м;

$M_{max} = 931.95 \text{ Н·м}$ – максимальный момент двигателя (выбирается по каталогу), Н·м.

Проверка по пусковому моменту осуществляется на основании неравенства:

$$0.7 \cdot \left(\frac{M_n}{M_n} \right) \cdot M_n > M_c, \quad (2.24)$$

где $\left(\frac{M_n}{M_n}\right)=3.2$ – кратность пускового момента (берется из каталога);
 M_c – момент сопротивления, Н·м.

Если выбранный двигатель не проходит по перегрузке или пусковому моменту, то выбирается двигатель большего габарита, который удовлетворял бы этим неравенствам:

$$\lambda \cdot M_n = 3.2 \cdot 300.27 = 960.86 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\max} = 931.95 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$0.7 \cdot \left(\frac{M_n}{M_n}\right) \cdot M_n = 0.7 \cdot 3.2 \cdot 300.27 = 672.6 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_c = 300.96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Двигатель проходит на перегрузочную способность и по пусковому моменту.

МТКФ 412-8 – крановый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Класс нагревостойкости – F, температура нагревостойкости – 150 °С, число полюсов – 8, двигатель из модернизированной серии.

Технические данные двигателя приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические данные двигателя МТКФ 412-8

Величина	Обозначение	Значение
Продолжительность включения	ПВ	40%
Мощность на валу	P_n	22 кВт
Скорость вращения	$n_{\text{дв}}$	700 об/мин
Линейный ток статора	$I_{1н}$	54 А
Напряжение сети	U_1	380 В
Коэффициент мощности	K_p	0.75
Номинальный крутящий момент		300 Н·м
КПД	η	0.83
Ток ротора	$I_{2н}$	295 А
Кратность максимального момента	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	3.2
Маховый момент ротора	$GD_{\text{дв}}^2$	3 кг·м ²
Момент инерции ротора		0.63 кг·м ²
Масса	M	290 кг
Высота оси вращения		225 мм

На рисунке 2.4 представлен внешний вид выбранного кранового асинхронного электродвигателя марки МТКФ 412-8.



Рисунок 2.4 –Асинхронный крановый электродвигатель МТКФ 412-8

2.3 Выбор и расчет редуктора

2.3.1 Редуктор Ц2У-400КМ. Для расчета был выбран редуктор цилиндрический двухступенчатый горизонтальный Ц2У-400КМ.

Редукторы типа Ц2У-400КМ являются модернизированными, горизонтальными, двухступенчатыми, цилиндрическими редукторами с передачами Новикова. Их используют в электроприводах различного рода механизмов и машин для изменения частоты вращения и крутящего момента.[12]

На рисунке 2.5 представлен внешний вид редуктора Ц2У-400КМ.



Рисунок 2.5 – Редуктор Ц2У-400КМ

В таблице 2.2 приводятся технические данные редуктора Ц2У-400КМ.

Таблица 2.2– Технические данные редуктора Ц2У-400КМ

Величина	Значение
Номинальное передаточное отношение	25
Продолжительность включения, %	40
Номинальный крутящий момент на тихоходном валу, Н×м, min / max	14600/17500
Номинальная передаваемая мощность, кВт, max / min	222.5/46
Масса, кг	870

2.3.2 Расчет первой зубчатой цилиндрической передачи. Для расчета выбираем материалы, обладающие средними механическими характеристиками.

Для колеса выбираем сталь марки 40Л с улучшенной термической обработкой и твердостью поверхностей HB-180.

Для шестерни выбираем сталь марки 40 с улучшенной термической обработкой и твердостью поверхностей HB-210.

Допустимые контактные напряжения будут равны:

$$[\sigma_h] = \sigma_{h_limb} \cdot K_{HL} / [S_h], \quad (2.25)$$

где $[S_h]$ – коэффициент безопасности (для сталей с твердостью поверхностей зубьев менее HB 350: $\sigma_{h_limb} = 2 \cdot HRC + 70$, $[S_h] = 1.1$).

K_{HL} – коэффициент долговечности:

$$K_{HL} = \sqrt{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} = 0.527, \quad (2.26)$$

где N_{HO} – базовое число циклов нагружения ($N_{HO} = 17000000$ для данных сталей);

N_{HE} – эквивалентное число циклов равно:

$$N_{HE} = 60 \cdot n \cdot c \cdot L_h \cdot K_{HE} = 797966741.25, \quad (2.27)$$

где $c = 1$ – число колёс, которые находятся в зацеплении;

n – частота вращения шестерни, мин⁻¹;

$K_{HE} = 0.234375$ – дополнительный множитель эквивалентной циклической долговечности;

$L_h = 13000$ ч – срок службы зубчатой передачи.

Принимаем $K_{HL} = 1$, т.к. $K_{HL} = 0.527 < 1$.

Расчетное допустимое контактное напряжение для косозубых колес ($[\sigma_{h-1}] = 490$ МПа для шестерни; $[\sigma_{h-2}] = 430$ МПа для колеса) определяется по формуле:

$$[\sigma_h] = 0.45 \cdot ([\sigma_{h-1}] + [\sigma_{h-2}]) = 376.364 \text{ МПа.} \quad (2.28)$$

Необходимое условие $[\sigma_h] < 1.23 \cdot [\sigma_{h-2}]$ выполнено.

Коэффициент симметричности расположения колес относительно опор принимаем равным $K_{hb} = 1.25$.

Принимаем коэффициент ширины венца по межосевому расстоянию равным $\psi_{ba} = b/a_w = 0.4$.

Из условия контактной выносливости активных поверхностей зубьев межосевое расстояние рассчитывается по формуле:

$$a_w = K_a \cdot (U + 1)^3 \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_{hb}}{[\sigma_h]^2 \cdot U_2 \cdot \psi_{ba}}} = 118.402, \quad (2.29)$$

где $K_a = 43$ – для косозубых колес, при передаточном числе равным $U = 3.55$.

Согласно ГОСТ 2185-66 находим ближайшее значение межосевого расстояния: $a_w = 125$ мм.

Нормальный модуль зацепления берем по следующей рекомендации: $m_n = (0.01 \dots 0.02) \cdot a_w$ мм, для нас: $m_n = 1.25 \dots 2.5$ мм, принимаем: по ГОСТ 9563-60 $m_n = 1.375$ мм.

Предварительно принимаем угол наклона зубьев равным $\beta = 10^\circ$. Число зубьев колеса и шестерни рассчитывается как:

$$z_{ш} = 2 \cdot a_w \cdot \cos(\beta) / ((U + 1) \cdot m_n) = 39, \quad (2.30)$$

$$z_k = 3.55 \cdot z_1 = 138. \quad (2.31)$$

Уточняем значение угла наклона зубьев по формуле:

$$\cos(\beta) = (z_{ш} + z_k) \cdot m_n / (a_w \cdot 2) = (39 + 138) \cdot 1.375 / (125 \cdot 2) = 0.9735; \quad (2.32)$$

Отсюда значение угла наклона $\beta = 13.2198^\circ$.

К основным размерам шестерни и колеса относятся делительные диаметры, ширина и диаметры вершин зубьев.

Делительные диаметры колеса и шестерни:

$$d_{ш} = m_n \cdot z_{ш} / \cos(\beta) = 1.375 \cdot 39 / 0.9735 = 55.085 \text{ мм;} \quad (2.33)$$

$$d_k = m_n \cdot z_k / \cos(\beta) = 1.375 \cdot 138 / 0.9735 = 194.915 \text{ мм.} \quad (2.34)$$

Межосевое расстояние проверяется по формуле:

$$a_w = (d_{ш} + d_k)/2 = (55.085 + 194.915)/2 = 125 \text{ мм.} \quad (2.35)$$

Диаметры вершин зубьев колеса и шестерни определяются как:

$$d_{аш} = d_{ш} + 2 \cdot m_n = 55.085 + 2 \cdot 1.375 = 57.835 \text{ мм;} \quad (2.36)$$

$$d_{ак} = d_k + 2 \cdot m_n = 194.915 + 2 \cdot 1.375 = 197.665 \text{ мм.} \quad (2.37)$$

Значения ширины колеса и шестерни равны:

$$b_k = \psi_{ba} \cdot a_w = 0.4 \cdot 125 = 50 \text{ мм;} \quad (2.38)$$

$$b_{ш} = b_k + 5 \text{ мм} = 50 + 5 = 55 \text{ мм.} \quad (2.39)$$

Коэффициент ширины шестерни по отношению к диаметру равен:

$$\psi_{b,d} = b_{ш}/d_{ш} = 55/55.085 = 0.998. \quad (2.40)$$

Окружная скорость колес будет равна:

$$V = \omega_1 \cdot d_1/2 = 152 \cdot 55.085 \cdot 10^{-3}/2 = 4.197 \text{ м/с.} \quad (2.41)$$

При таком значении окружной скорости колес рекомендуется принять восьмую степень точности для зубчатых колес.

Коэффициент нагрузки рассчитывается по формуле:

$$K_h = K_{hb} \cdot K_{ha} \cdot K_{hv} = 1.227, \quad (2.42)$$

где коэффициенты $K_{hb} = 1.1$; $K_{ha} = 1.084$; $K_{hv} = 1.02$.

Проверку контактных напряжений осуществляется по формуле:

$$\sigma_h = \frac{270}{a_w} \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_h \cdot (U+1)^3}{b_2 \cdot U^2}} = 366.572 \text{ МПа} \leq [\sigma_h] = 376.364 \text{ МПа.} \quad (2.43)$$

2.3.3 Расчет второй зубчатой цилиндрической передачи. Для расчета выбираем материалы, обладающие средними механическими характеристиками.

Для колеса выбираем сталь марки 40Л с улучшенной термической обработкой и твердостью поверхностей НВ-180.

Для шестерни выбираем сталь марки ХГС с улучшенной термической обработкой и твердостью поверхностей НВ-260.

Допустимые контактные напряжения, будут определяться по формуле:

$$[\sigma_h] = \sigma_{h_limb} \cdot K_{HL} / [S_h],$$

где $[S_h]$ – коэффициент безопасности (для сталей с твердостью поверхностей зубьев менее НВ 350: $\sigma_{h_limb} = 2 \cdot HRC + 70$, $[S_h] = 1.1$);

K_{HL} – коэффициент долговечности:

$$K_{HL} = \sqrt{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} = 0.7,$$

где N_{HO} – базовое число циклов нагружения ($N_{HO} = 26400000$ для данных сталей);

N_{HE} – эквивалентное число циклов нагружения:

$$N_{HE} = 60 \cdot n \cdot c \cdot L_h \cdot K_{HE} = 224779363.7324,$$

где $c = 1$ – число колёс, которые находятся в зацеплении;

n – частота вращения шестерни, мин^{-1} ;

$K_{HE} = 0.234375$ – дополнительный множитель эквивалентной циклической долговечности;

$L_h = 13000$ ч – срок службы зубчатой передачи.

Принимаем $K_{HL} = 1$, т.к. $K_{HL} = 0.7 < 1$.

Расчетное допустимое контактное напряжение для косозубых колес ($[\sigma_{h-1}] = 590$ МПа для шестерни; $[\sigma_{h-2}] = 430$ МПа для колеса) определяется по формуле:

$$[\sigma_h] = 0.45 \cdot ([\sigma_{h-1}] + [\sigma_{h-2}]) = 417.273 \text{ МПа.}$$

Необходимое условие $[\sigma_h] < 1.23 \cdot [\sigma_{h-2}]$ выполнено.

Коэффициент симметричности расположения колес относительно опор принимаем равным $K_{hb} = 1.25$.

Принимаем коэффициент ширины венца по межосевому расстоянию равным $\psi_{ba} = b/a_w = 0.4$.

Из условия контактной выносливости активных поверхностей зубьев межосевое расстояние рассчитывается по формуле:

$$a_w = K_a \cdot (U + 1)^3 \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_{hb}}{[\sigma_h]^2 \cdot U_2 \cdot \psi_{ba}}} = 191.311,$$

где $K_a = 43$ – для косозубых колес, при передаточном числе равным $U = 4$.

Согласно ГОСТ 2185-66 находим ближайшее значение межосевого расстояния: $a_w = 200$ мм.

Нормальный модуль зацепления берем по следующей рекомендации: $m_n = (0.01 \dots 0.02) \cdot a_w$, для нас: $m_n = 2 \dots 4$ мм, принимаем: $m_n = 2$ мм.

Предварительно принимаем угол наклона зубьев равным $\beta = 10^\circ$. Число зубьев колеса и шестерни рассчитывается как:

$$Z_{ш} = 2 \cdot a_w \cdot \cos(\beta) / ((U + 1) \cdot m_n) = 2 \cdot 200 \cdot \cos 10^\circ / (5 \cdot 2) = 35.$$

$$Z_k = U \cdot z_1 = 4 \cdot 35 = 140.$$

Уточняем значение угла наклона зубьев по формуле:

$$\cos(\beta) = (z_{ш} + z_k) \cdot m_n / (a_w \cdot 2) = (35 + 140) \cdot 2.25 / (200 \cdot 2) = 0.9844.$$

Отсюда значение угла наклона $\beta = 10.1418^\circ$.

К основным размерам шестерни и колеса относятся делительные диаметры, ширина и диаметры вершин зубьев.

Делительные диаметры колеса и шестерни:

$$d_{ш} = m_n \cdot z_{ш} / \cos(\beta) = 2.25 \cdot 35 / \cos 10.1418^\circ = 80 \text{ мм};$$

$$d_k = m_n \cdot z_k / \cos(\beta) = 2.25 \cdot 140 / \cos 10.1418^\circ = 320 \text{ мм}.$$

Межосевое расстояние проверяется по формуле:

$$a_w = (d_{ш} + d_k) / 2 = 200 \text{ мм}.$$

Диаметры вершин зубьев колеса и шестерни определяются как:

$$d_{аш} = d_{ш} + 2 \cdot m_n = 80 + 2 \cdot 2.25 = 84.5 \text{ мм};$$

$$d_{ак} = d_k + 2 \cdot m_n = 320 + 2 \cdot 2.25 = 324.5 \text{ мм}.$$

Значения ширины колеса и шестерни равны:

$$b_k = \psi_{\beta a} \cdot a_w = 0.4 \cdot 200 = 80 \text{ мм};$$

$$b_{ш} = b_k + 5 \text{ мм} = 85 \text{ мм}.$$

Коэффициент ширины шестерни по отношению к диаметру равен:

$$\psi_{b,d} = b_{ш}/d_{ш} = 85/80 = 1.063.$$

Окружная скорость колес будет равна:

$$V = \omega_2 \cdot d_1/2 = 42.92 \cdot 80 \cdot 10^{-3}/2 = 1.717 \text{ м/с.}$$

При таком значении окружной скорости колес рекомендуется принять восьмую степень точности для зубчатых колес.

Коэффициент нагрузки рассчитывается по формуле:

$$K_h = K_{hb} \cdot K_{ha} \cdot K_{hv} = 1.22,$$

где коэффициенты $K_{hb} = 1.123$, $K_{ha} = 1.065$, $K_{hv} = 1.02$.

Проверку контактных напряжений осуществляется по формуле:

$$\sigma_h = \frac{270}{a_\omega} \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_h \cdot (U+1)^3}{b_2 \cdot U^2}} = \frac{270}{200} \sqrt{\frac{628075.72 \cdot 1.22 \cdot 5.0^3}{80.0 \cdot 4.0^2}} = 369.262 \text{ МПа.} \leq [\sigma_h]$$

2.4 Выбор преобразователя частоты

В механизме подъема башенного крана используется асинхронный крановый электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Допускается его применение в системе частотно-регулируемого электропривода с довольно широким диапазоном регулирования частоты вращения.

К преимуществам ПЧ относятся: практически нулевая безынерционность, отсутствие в необходимости большой мощности для управления, достаточно высокий К.П.Д., создание с их помощью электроприводов, которые будут обладать большей плавностью и широким диапазоном регулирования. Это позволяет решить задачи по формированию требуемых динамических и статических характеристик.

Асинхронные двигатели переменного тока значительно дешевле двигателей постоянного тока. При этом они могут быть рассчитаны на значительно высокие скорости при той же мощности что и ДПТ, хотя и имеют меньшие габариты. Также из-за того что асинхронные двигатели являются бесконтактными, они проще и надежней в эксплуатации. Уже разработанные системы автоматического управления электроприводами дают возможность плавного регулирования. [13]

Результаты использования ПЧ:

- существенное снижение динамических перегрузок в кинематических элементах механических передач: редукторе, муфте и т.д.;
- значительное уменьшение пускового тока (величина пускового тока не превышает уровень номинального тока статора электродвигателя)

- уменьшение электромагнитных усилий в статорных обмотках электродвигателя, ведущее к увеличению срока службы самого статора, т.к. уменьшаются износ изоляции обмотки и вибрации торцевых витков;
- уменьшение напряжения питания при пуске электродвигателя;
- улучшение условий при эксплуатации электрооборудования: кабельных линий, трансформаторов и др.;
- применение плавного пуска повышает срок службы и надежность электротехнического оборудования. Следовательно, возможно снятие ограничений по частоте и количеству пусков и остановок электроприводов.

А также система управления по схеме ПЧ-АД дает следующие возможности:

- перепрограммирование режимов торможения и плавного пуска двигателя;
- программируемая защита двигателя от перегрузок в аварийных и рабочих режимах;
- автоматически программируемый перевод электропривода в режим энергосбережения при моменте нагрузки меньше, чем $0.7 M_{ном}$;
- повышение срока службы электротехнического оборудования;
- увеличение степени надежности электрооборудования;
- снижение расходных материалов на протекание главного технологического процесса.

Выбор ПЧ осуществляется по мощности выбранного двигателя и по напряжению питания.

Из каталога выбираем ПЧ производства Schneider Electric. Выбираем преобразователь частоты типа ATV71HD30N4. Параметры преобразователя частоты ATV71HD30N4 представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры преобразователя частоты

Показатель	Описание
Семейство продуктов	Altivar 71
Тип изделия или компонента	Привод с регулируемой частотой вращения
Специальное применение изделия	Сложное оборудование высокой мощности
Фильтр помех	Встроенный
Число фаз сети	3 фазы
Мощность двигателя, кВт	30 кВт при 380...480 V 3 фазы
Номинальное напряжение питания	380...480 V (- 15...10 %)
Стиль сборки	С радиатором
Линейный ток	66 А для 380 V 3 фазы 30 кВт 56 А для 480 V 3 фазы 30 кВт
Частота питания	50...60 Hz (- 5...5 %)
Номинальный выходной ток	66 А при 4 kHz 380 V 3 фазы 30 кВт

На рисунке 2.6 изображен внешний вид преобразователя частоты ATV71HD30N4.



Рисунок 2.6 – Внешний вид преобразователя частоты ATV71HD30N4

На рисунке 2.7 представлена схема подключения ПЧ.

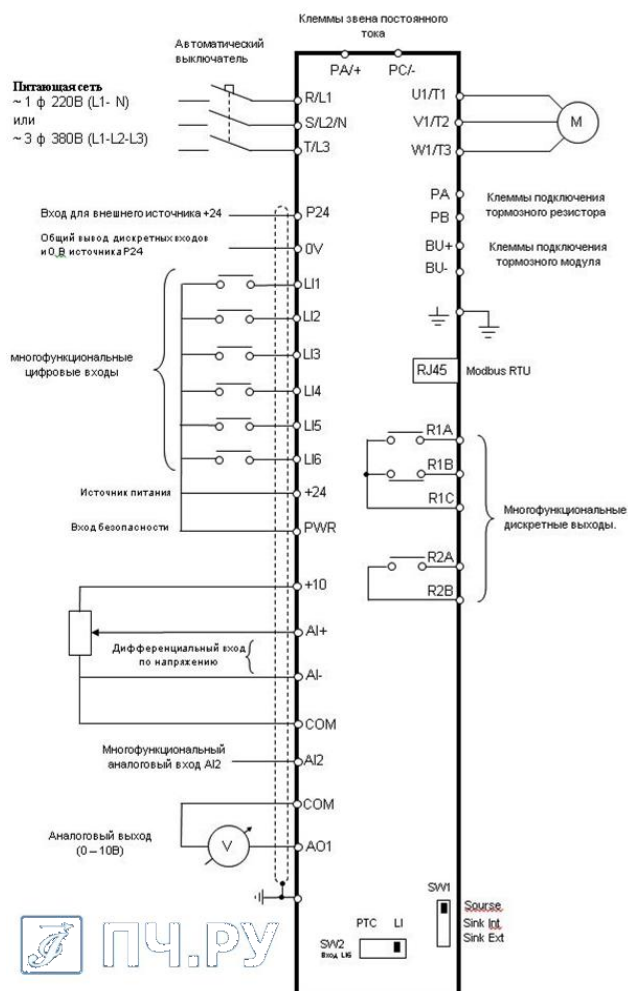


Рисунок 2.7 – Схема подключения преобразователя частоты

2.5 Система тормозов

Колодочный тормоз используется для удержания в заторможенном виде при отключенном приводе валов механизмов (чаще всего подъемно-транспортных машин) и их остановки.

Колодочные тормоза устанавливаются на механизмах вертикально на горизонтально расположенном основании для крепления тормоза.

Согласно ГОСТ 15150-69 климатическое исполнение тормоза – У, категория размещения – 2.

Тормоз предназначен для эксплуатации в следующих условиях:

- взрывобезопасная окружающая среда;
- легкий режим работы;
- частота тока 50 Гц;
- рабочее напряжение 380 В;
- диапазон изменения окружающей среды от минус 40 °С до плюс 40 °С.

Устанавливаемые на работающих на открытом воздухе механизмах колодочные тормоза защищаются кожухом от воздействия солнечной радиации и попадания атмосферных осадков.

На грузовой лебедке установлен тормоз ТКГ-400 с гидротолкателем ТЭ-80. Лебедка стреловая комплектуется тормозом ТКГ-300 с гидротолкателем ТЭ-50. Тележечная лебедка комплектуется тормозом ТКГ-200 с гидротолкателем ТЭ-25. Механизм поворота оборудован колодочным тормозом ТКГ-200 с электрогидравлическим толкателем ТЭ-25, доработанным для установки его рычажной системы на шкив с вертикальной осью вращения. Тележки ходовые ведущие комплектуются тормозами типа ТКГ-200 с гидротолкателями ТЭ-25.

Номинальная величина хода исполнительного органа приведена в таблице 2.3. Регулировка установочной длины пружины заданного тормозного момента тормозов ТКГ-400, ТКГ-300, ТКГ-200 приводится в таблице 2.4.

Таблица 2.3 – Номинальная величина хода исполнительного органа

Тип тормоза	Значение, мм
ТКГ-200	32
ТКГ-300	50
ТКГ-400	50

Таблица 2.4 – Регулировка установочной длины заданного тормозного момента

Тормоз	Тормозной момент, Н·м	Номинальная установочная длина пружины заданного момента, мм
ТКГ-400	1200	212 (2 пружины)
ТКГ-300	600	215
ТКГ-200	300	165

Тормозной шкив, на который устанавливается тормоз, должен удовлетворять следующим требованиям:

– рабочая поверхность шкива, который изготовлен из стали, должна обладать твердостью не менее 280 и шероховатостью поверхности не меньше чем 1.25;

– диаметр шкива должен иметь отклонение h_{11} .

При регулировке тормоза регулируются нормальный ход штока толкателя, длина пружины и равномерный отход колодок. Чтобы установить нормальный ход штока толкателя нужно шток толкателя установить в верхнее крайнее положение. Далее необходимо опустить его на номинальную величину хода исполнительного органа и зафиксировать рычаги в данном положении с помощью гаек штока.

В таблице 2.5 приводятся технические характеристики тормозов.

Таблица 2.5 – Технические характеристики тормозов

Параметры	ТКГ-200	ТКГ-300	ТКГ-400
Тормоз:			
Тормозной момент, Н·м	300	600	1200
Наибольший отход колодки, мм	1.0	1.5	1.8
Время растормаживания, с	0.33	0.66	0.71
Время затормаживания, с	0.28	0.57	0.5
Установочная длина пружины заданного тормозного момента, мм	165	215	212
Гидротолкатель:			
Тип	ТЭ-25	ТЭ-50	ТЭ-80
Усилие, Н	250	500	800
Наибольший ход, мм	32	50	50
Электродвигатель:			
Тип			МТКФ 412-8
Мощность, кВт			22
Частота вращения вала, об/мин			700
Напряжение трехфазного тока, В			220/380
Направление вращения			Произвольное
Допустимая температура окружающей среды, °С	От - 40 до +50°С		
Марка масла при температуре окружающей среды:	от -15 до +50 °С	Трансформаторное ГОСТ 982-80	
	от -40 до +15 °С	АМГ-10 ГОСТ 6794-75	

Расположенным на кронштейне рычага регулировочным болтом устанавливают равномерный отход колодок.

Последним этапом регулировки можно считать установку длины пружины, которая будет обеспечивать требуемое усилие в соответствии с

заданным тормозным моментом.

Установочная длина пружины при минимальном и максимальном тормозном моменте представляется в таблице 2.4.

2.6 Микроконтроллер PIC как элемент управления

В настоящее время, когда компьютерная техника проникает во все сферы деятельности человека, значительно облегчая работу, на которую раньше уходило много затрат, перед разработчиками открылись ранее не виданные просторы в создании компактных, простых и более функциональных систем управления мехатронными системами. Появилась возможность создания адаптивных и даже интеллектуальных систем управления, т.е. при возникновении отклонений от графика технологических операций, мехатронная система сможет сама оценить ситуацию и принять соответствующее решение. [14]

Общепризнано, что микропроцессоры – это принципиальный шаг в развитии средств электронной автоматики и обработки данных. Микропроцессоры очень дешевы, компактны, обладают программным управлением и отличаются высоким быстродействием. Такое сочетание свойств позволяет на единой технологической и схемотехнической базе, т. е. только за счет программирования, получить специализированные вычислительные устройства, пригодные для использования их практически во всех сферах человеческой деятельности и конкретно в управлении подъемными кранами.

Применение микропроцессоров в различных системах, где требуется сбор, передача, обработка и отображение информации, позволяет подняться на принципиально новый уровень по таким показателям, как надежность и простота обслуживания систем, с одной стороны, а также полнота и сложность выполняемых ими функций, с другой.

2.6.1 Структурная схема PIC16F877. В микроконтроллере PIC16F877 имеется 3 вида памяти: память программ, память данных и стек. Первые два типа памяти имеют отдельные шины данных и адреса, что позволяет выполнять параллельный доступ. Стек имеет 8 уровней, однако недоступен для обращения, то есть служит для перехода к подпрограммам и обратно. Память данных разделена на четыре банка, которые содержат регистры общего и специального назначения. За выбор банка памяти отвечают биты RP0 и RP1 регистра STATUS

Также в данном контроллере реализованы модули TMR0, TMR1 и TMR2, выполняющих функции таймера. Эти модули могут работать как от внутренних, так и от внешних тактовых генераторов.

Контроллер имеет значительное количество модулей для передачи, приема и обработки информации. К таким модулям можно отнести порты ввода/вывода, синхронный последовательный порт, модули CCP1 и CCP2,

универсальный синхронно-асинхронный приёмопередатчик USART, а также модуль аналогово-цифрового преобразователя.

Структурная схема контроллера приведена на рисунке 2.8.

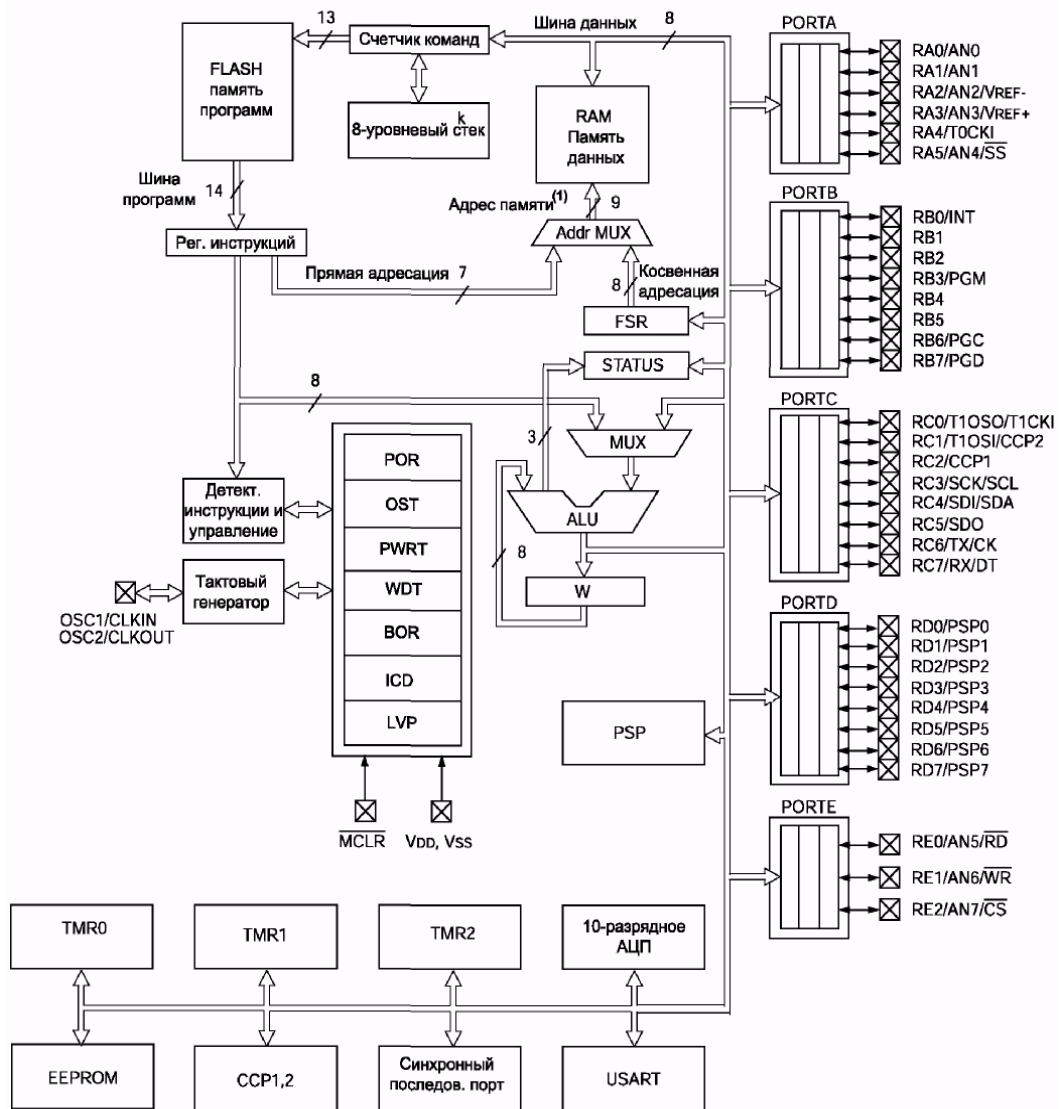


Рисунок 2.8 – Структурная схема контроллера PIC16F877

2.6.2 Команды микроконтроллера PIC16F877. Данный микроконтроллер имеет 35 основных команд. Все эти команды будут изложены ниже, однако большая их часть не будет использована в данной работе. Так как не будут использованы арифметические команды, сдвиговые команды, а также не будут использоваться прерывания. Все команды можно разделить на:

- байт ориентированные команды;
- бит ориентированные команды;
- команды управления и операций с константами.

Третья группа команд состоит, казалось бы, из разных по назначению операций, однако из-за схожего представления команд в самом микроконтроллере их относят в одну группу. [15]

Байт ориентированные команды представляют собой операции над байтами. Сюда относятся арифметические команды, логические команды, а также команды преобразования байтов.

[label] CLRF f

Команда DECFSZ вычитает 1 из содержимого указанного регистра. Если результат не равен 0, то выполняется следующая команда, если результат равен 0, то следующая команда пропускается, при этом команда выполняется за два цикла. Синтаксис команды:

[label] DECFSZ f,d

Команда MOVWF пересылает содержимое аккумулятора в указанный регистр. Синтаксис команды:

[label] MOVWF f

Команда NOP указывает, что нет операции, а счетчик команд увеличивается на 1. Синтаксис команды:

[label] NOP

В выше перечисленных командах f указывает на регистр, а d указывает на приёмник результата. Если d=0, то результат записывается в аккумулятор, а если d=1, результат записывается в регистр f.

Бит ориентированные команды предназначены для преобразования и проверки отдельных битов.

Команда BCF очищает указанный бит в регистре. Синтаксис команды:

[label] BCF f,b

Команда BSF устанавливает указанный бит в регистре. Синтаксис команды: [

label] BSF f,b

Команда BTFSC проверяет, сброшен ли указанный бит в регистре. Если не сброшен, то выполняется следующая команда, если же бит сброшен, то следующая команда пропускается. Синтаксис команды:

[label] BTFSC f,b

Команда BTFSS проверяет, установлен ли указанный бит в регистре. Если бит не установлен, то выполняется следующая команда, если же бит установлен, то следующая команда пропускается. Синтаксис команды:

[label] BTFSS f,b

Команды управления и операций с константами включают арифметические и логические операции с константами, также команды возврата из подпрограмм и другие команды.

Команда CALL вызывает указанную подпрограмму. Синтаксис команды:

[label] CALL k

Команда GOTO – команда безусловного перехода. Синтаксис команды:

[label] GOTO k

Команда MOVLW загружает константу в аккумулятор. Синтаксис команды:

[label] MOVLW k

Команда RETURN – команда возврата из подпрограммы. Синтаксис команды:

```
[label] RETURN
```

Выше были приведены только команды микроконтроллера PIC16F877, используемые в данном дипломном проекте. Однако существует ещё большое количество других команд.

2.6.4 Разработка алгоритма управления. Анализируя работу крана, можно определить, что работа крана состоит из «бесконечно» повторяемых во времени операций. Примером последовательности таких операций может служить цепочка таких операций как: поднятие груза, передвижение крана в нужную точку, поднятие стрелы крана, поворот башни, опускание груза и т.д. Однако некоторые операции могут пропускаться. На основе этого можно сделать вывод, что алгоритм работы крана является циклическим.

Алгоритм управления краном – это один большой цикл, который заключается в опросе восьми кнопок. Алгоритм был специально упрощен. Количество кнопок можно было сократить, но тогда программа управления существенно бы усложнилась. [16]

2.6.5 Программа управления. Программа очень простая не имеющая дополнительных подпрограмм и процедур. Весь цикл заключается в том, что идет бесконечный опрос кнопок.

Следуя алгоритму управления, описанного выше, программа является непрерывной и циклической. Данная программа составлена на языке ассемблера MPASM разработанного специально для программирования в среде MPLAB. . Эта среда разработки является мощным средством разработки и непосредственно реализации проектов связанными с микроконтроллерами компании MicroChip. Она поддерживает не только функции компиляции программ и построения исполнительного файла, но и работу с программатором, а также позволяет симулировать работу микроконтроллера, при условии установки дополнительного набора программ. Текст программы управления представлен в приложении А.

3 Исследование системы управления электроприводом в программной среде MatLab

3.1 Математическое описание и структурная схема системы электропривода башенного крана по схеме ПЧ-АД в среде MatLab

Одним из наиболее эффективных путей развития энергосберегающих технологических режимов при управлении башенным краном является регулируемый электропривод. В настоящее время, доминирующее положение занимают частотно – регулируемые асинхронные электроприводы с системами автоматического управления, что позволяет решить не только технологические задачи башенных кранов, но и проблему энергосбережения.

Формирование требуемых статических и динамических свойств асинхронного частотно-регулируемого электропривода возможно лишь в замкнутой системе регулирования его координат, функциональная схема которого представлена на рисунке 3.1, где Р – регулятор; Д – датчик переменных электропривода; ПЧ – преобразователь частоты.

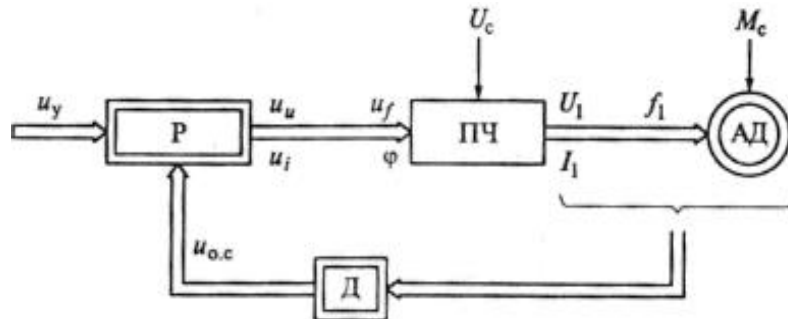


Рисунок 3.1 – Функциональная схема замкнутой системы ПЧ-АД

Для увеличения диапазона регулирования по скорости в данную систему регулирования необходимо введение отрицательной обратной связи по скорости. Поэтому в математическом описании переходных процессов электропривода учитывается обратная связь по скорости. Отметим, что структурная схема на рисунке 3.2 является линеаризованной системой электропривода.

На схеме приняты следующие обозначения: b – модуль жесткости механической характеристики; T_q – эквивалентная электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора АД; K_{pr} – передаточный коэффициент функции ПЧ; T_{pr} – постоянная времени цепи управления ПЧ; T_m – электромеханическая постоянная времени.

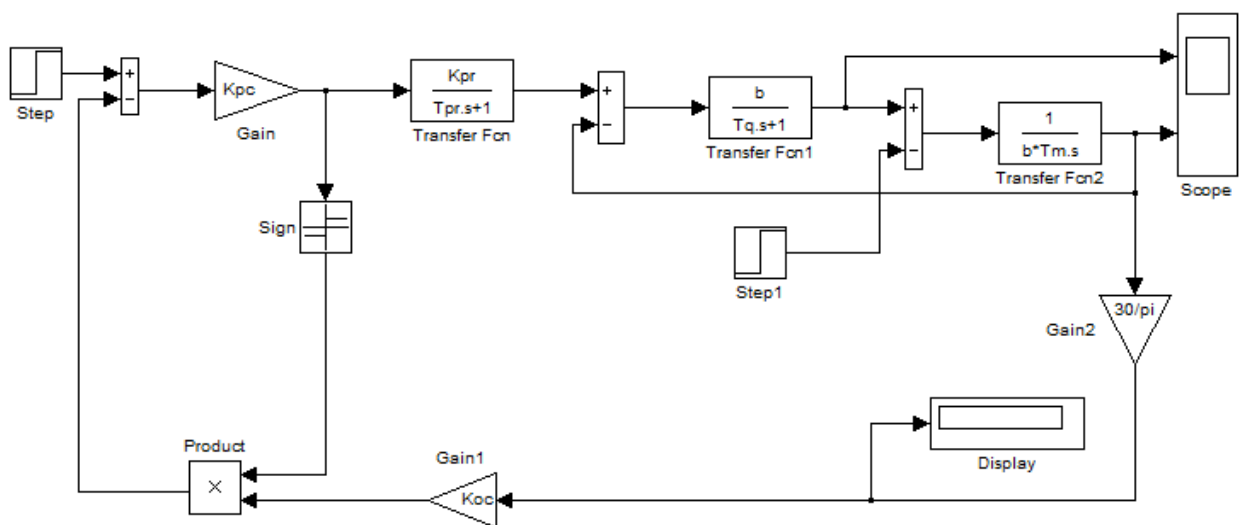


Рисунок 3.2 – Структурная схема системы электропривода механизма подъема башенного крана по схеме ПЧ-АД

Структурная схема асинхронного электродвигателя представлена двумя динамическими звеньями с передаточными функциями:

$$W_1 = 1/(b \cdot T_m \cdot s), \quad (3.1)$$

$$W_2 = b/(T_q \cdot s + 1), \quad (3.2)$$

Динамические звенья АД с короткозамкнутым ротором охвачены жесткой отрицательной обратной связью по скорости. ПЧ на рисунке 3.2 представлен инерционным звеном с передаточной функцией:

$$W_3 = K_{pr}/(T_{pr} \cdot s + 1). \quad (3.3)$$

Регулятор скорости (пропорциональный регулятор – П-регулятор) системы ПЧ-АД представлен на рисунке 3.2 как безынерционное звено с коэффициентом передачи $W_4 = K_{pc}$.

В целом структурная схема системы электропривода по схеме ПЧ-АД является линеаризованной системой с обратной связью по скорости.

Уравнение движения, согласно передаточной функции W_1 структурной схемы, можно записать в следующем виде:

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta M - \Delta M_c} = \frac{1}{b \cdot T_m \cdot s}, \quad (3.4)$$

или

$$\frac{d\Delta \omega}{dt} = \frac{1}{b \cdot T_m} (\Delta M - \Delta M_c), \quad (3.5)$$

где $\Delta \omega$ – приращение скорости;
 ΔM – приращение момента;
 ΔM_c – приращение статического момента нагрузки.

Согласно передаточной функции W_2 будем иметь следующее соотношение:

$$\frac{\Delta M}{\Delta \omega_0 - \Delta \omega} = \frac{b}{1 + T_q \cdot s}, \quad (3.6)$$

которое можно написать в виде дифференциального уравнения:

$$T_q \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = b(\Delta \omega_0 - \Delta \omega), \quad (3.7)$$

где $\Delta \omega_0$ – приращение угловой скорости электромагнитного поля АД.

Уравнение ПЧ, исходя из передаточной функции W_3 , запишем:

$$T_{pr} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = K_{pr} \cdot \Delta U_{pc}, \quad (3.8)$$

где ΔU_{pc} – (передаточная функция W_4) представим уравнением:

$$\Delta U_{pc} = K_{pc} (\Delta U_z - K_{oc} \cdot \Delta\omega) = K_{pc} \cdot \Delta U_u, \quad (3.9)$$

где ΔU_z – приращение задающего сигнала;
 K_{oc} – коэффициент обратной связи по скорости.

Таким образом, математическое описание частотно-регулируемого электропривода башенного крана можно представить следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{b \cdot T_m} (\Delta M - \Delta M_c), \\ T_q \frac{d\Delta M}{dt} + \Delta M = b(\Delta\omega_0 - \Delta\omega), \\ T_{pr} \frac{d\Delta\omega_0}{dt} + \Delta\omega_0 = K_{pr} \cdot \Delta U_{pc}, \\ \Delta U_{pc} = K_{pc} (\Delta U_z - K_{oc} \cdot \Delta\omega) = K_{pc} \cdot \Delta U_u. \end{array} \right. \quad (3.10)$$

3.2 Модель системы электропривода механизма подъема башенного крана по схеме ПЧ-АД

Проектирование полупроводникового электропривода включает в себя последовательность решения множества взаимосвязанных задач, начиная от разработки технического задания и кончая выпуском рабочей конструкторской документации. Многие из этих задач связаны с проектированием силовой преобразовательной и управляющей части системы электропривода. С возникновением мощных компьютерных технологий, опирающихся на прикладные пакеты программ, мы имеем возможность решать практически любые задачи анализа, синтеза, расчета и конструирования, не только отдельных элементов, но и системы в целом. [17]

Поскольку система ПЧ-АД является нелинейной, а динамика такой системы описывается сложными уравнениями, так как при изменении частоты меняются все параметры электродвигателя, для решения задачи моделирования системы ПЧ-АД можно прибегнуть к линеаризации системы или построить модель на основе виртуальных блоков пакета Simulink.

Для моделирования воспользуемся паспортными данными и параметрами асинхронного двигателя МТКФ 412-8.

Разработанная модель системы ПЧ-АД представлена на рисунке 3.3.

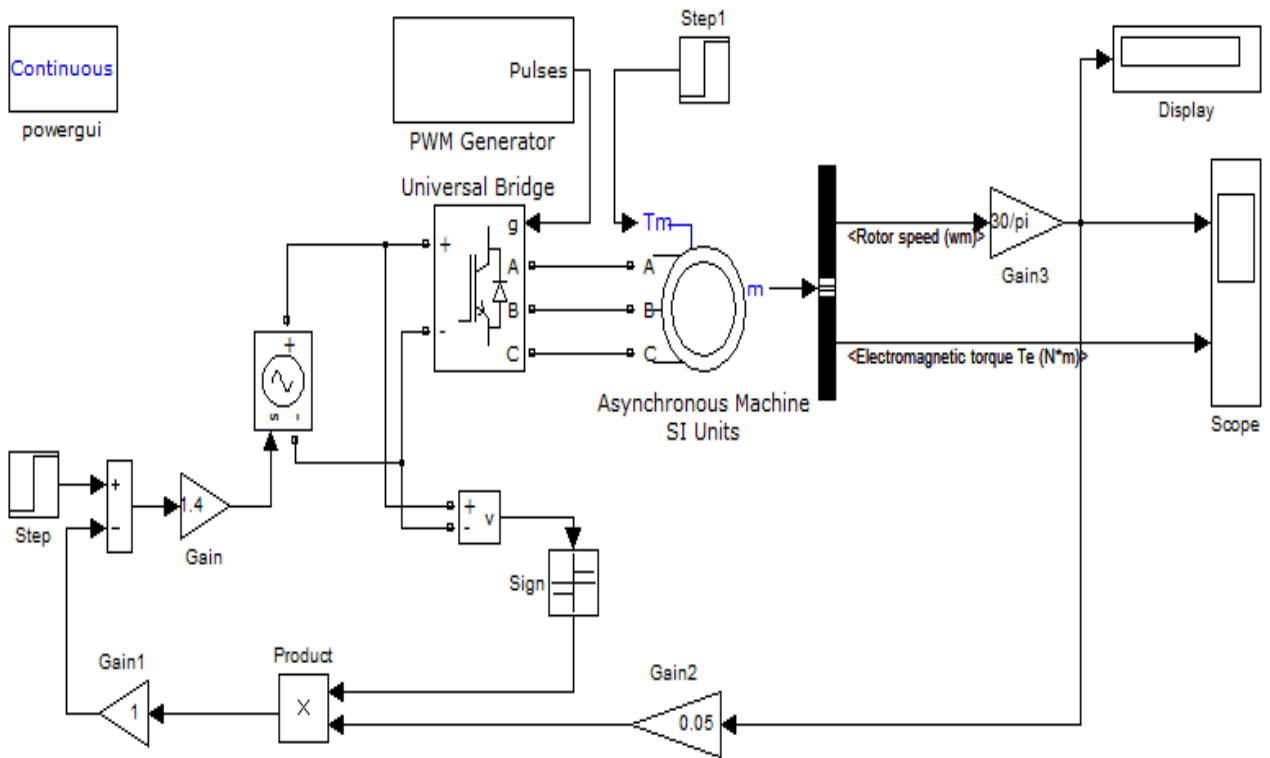


Рисунок 3.3 – Виртуальная модель системы электропривода механизма подъема башенного крана по схеме ПЧ-АД

На рисунках 3.4, 3.5 представлены переходные процессы разработанной системы электропривода механизма подъема башенного крана по схеме ПЧ-АД.

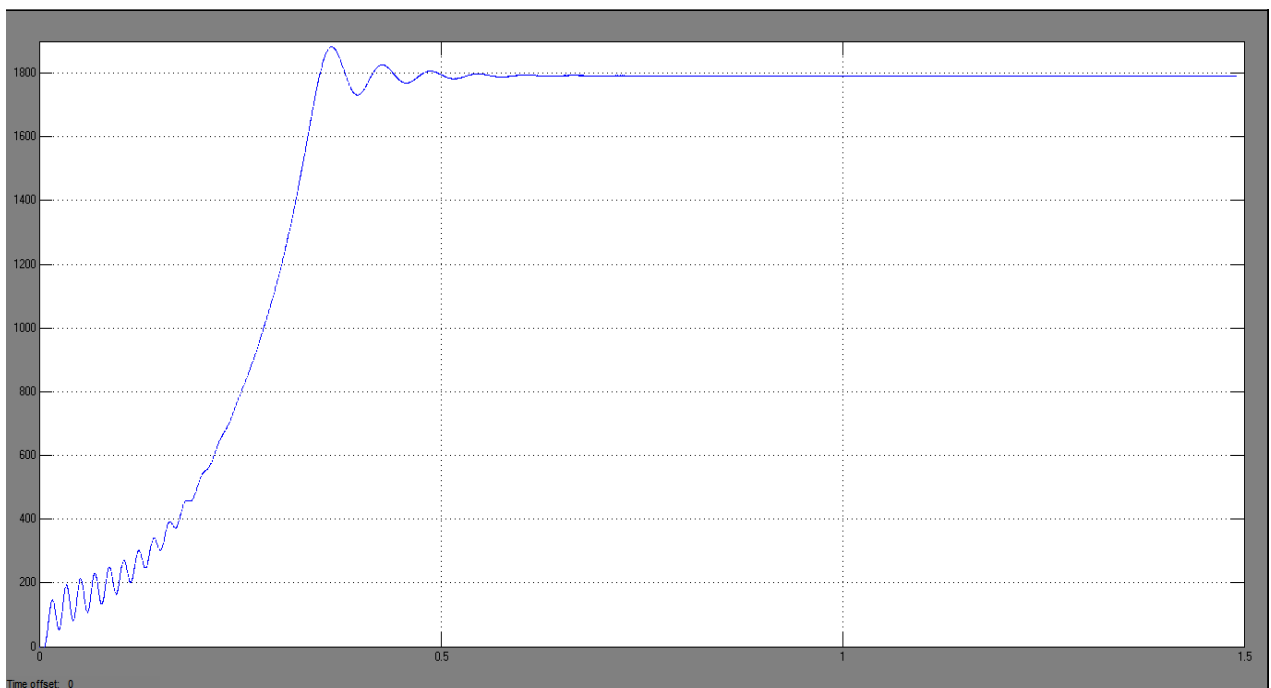


Рисунок 3.4 – Осциллограмма переходного процесса скорости

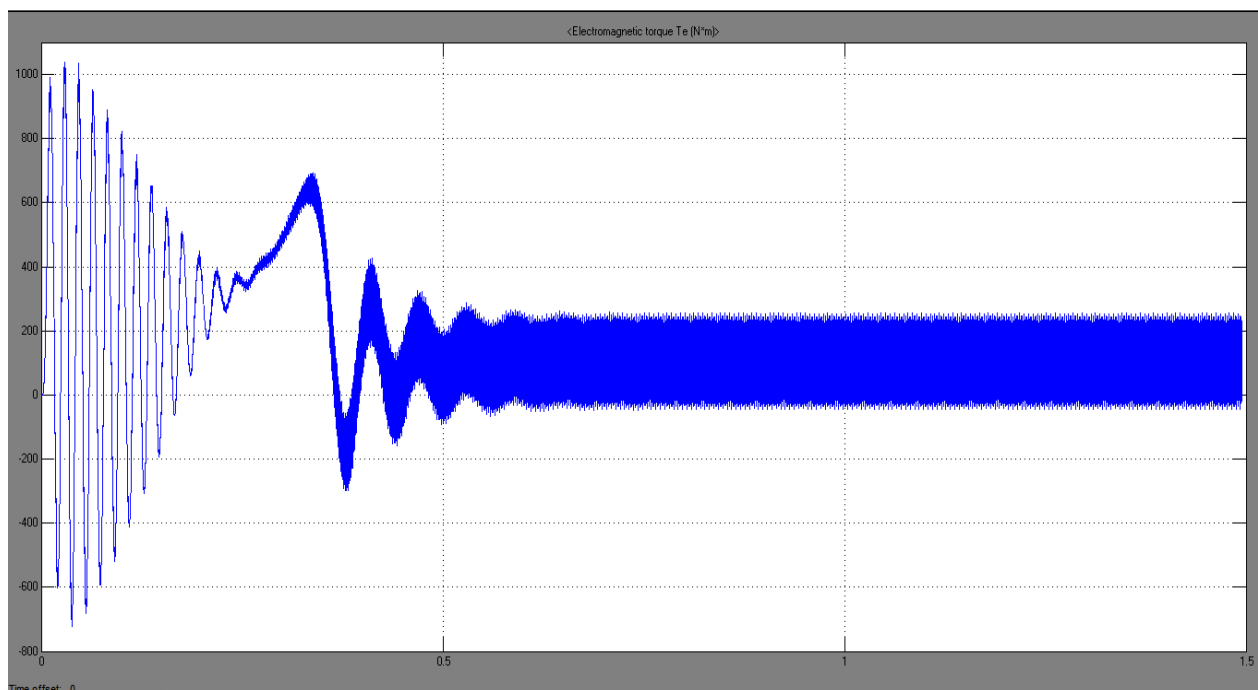


Рисунок 3.5 – Осциллограмма переходного процесса электромагнитного момента

Таким образом, исследования виртуальной модели электропривода механизма подъема башенного крана в среде визуального программирования Simulink математического пакета Matlab 7.0 доказывают, что он является оптимальным по качеству регулирования и соответствует требованиям технологического процесса.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда

В данном дипломном проекте рассматривается электропривод башенный крана. Исходные данные крана:

- Грузоподъемность – 5000 кг;
- Масса противовеса – 8000 кг;
- Масса крана – 11250 кг;
- Высота крана – 12 м;
- Максимальный вылет – 10 м;
- Скорость подъема груза – 18 м/мин.

В механизме подъема применен крановый асинхронный двигатель МТКФ 412-8 с номинальной мощностью $P_n = 22$ кВт, частотой вращения 700 об/мин и напряжением 380 В.

Грузоподъемные машины обладают повышенной опасностью. Исключение аварийной ситуации при выполнении транспортно-складских и

погрузочно-разгрузочных работах, а также предотвращение воздействия вредных и опасных производственных факторов при эксплуатации на обслуживающий персонал обеспечивают безопасное состояние грузоподъемной машины.

На рисунке 4.1 представлена функциональная схема крана.

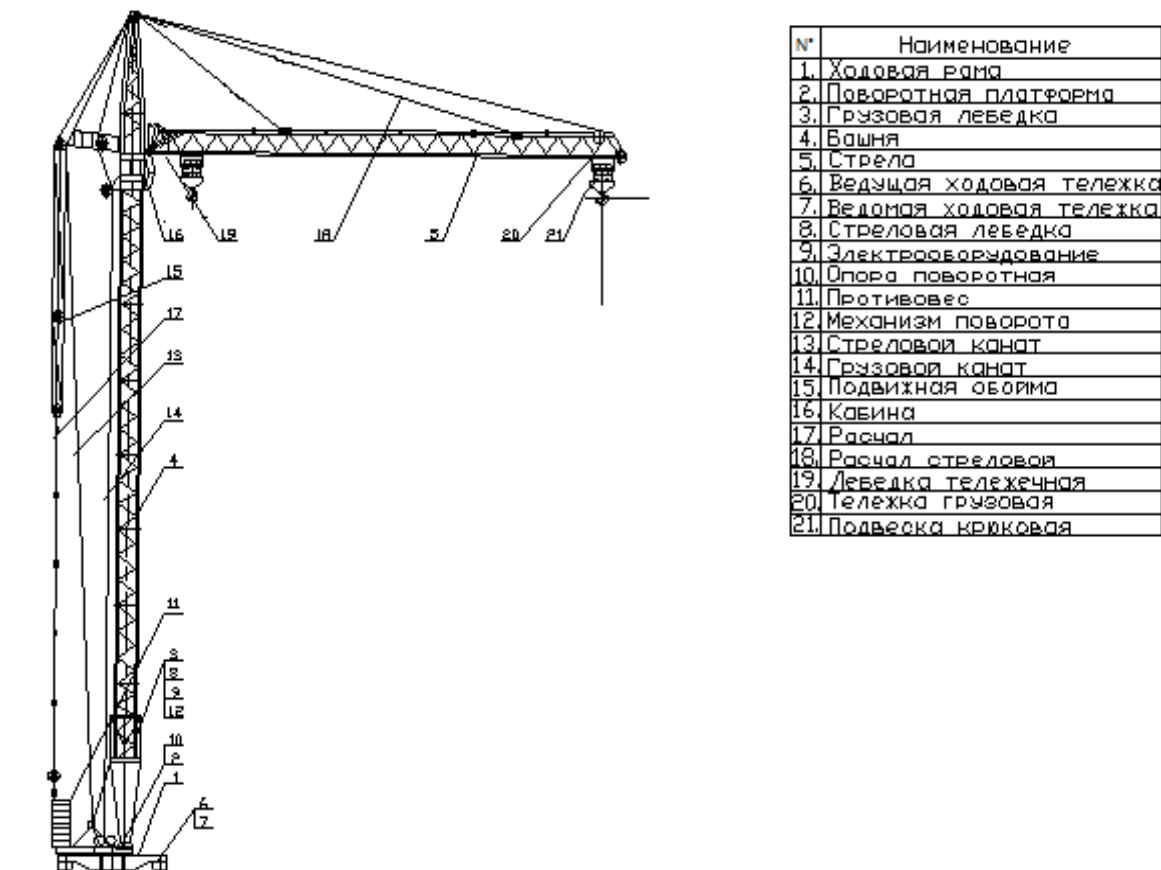


Рисунок 4.1 – Функциональная схема крана

Устройства безопасности грузоподъемной машины выбираются в зависимости от условий эксплуатации и ее конструкции. Они делятся на устройства:

- ограничения грузоподъемности
- защиты оператора;
- ограничения перемещения;
- ограничения скорости.

Приборы и устройства безопасности используются для обеспечения безаварийной работы, а также в качестве средств индивидуальной и коллективной защиты обслуживающего персонала.

На основе вредных и опасных производственных факторов, имеющих место при протекании технологического процесса перемещения груза грузоподъемными машинами, осуществляется выбор технических средств обеспечения безопасности труда.

По положениям ГОСТ 12.0.003-74 вредные и опасные производственные факторы делятся на химические, физические, психофизиологические и биологические.

Вредные и опасные физические факторы, возникающие при эксплуатации грузоподъемных машин:

- незащищенные подвижные элементы механизмов;
- движущиеся механизмы и машины;
- перемещаемые грузы;
- высокий уровень шума на рабочем месте;
- разрушающиеся конструкции;
- нахождение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;
- высокое напряжение в электрической сети, замыкание которой может произойти через тело человека;
- заусенцы, острые кромки и шероховатость поверхностей оборудования и изделий;
- отсутствие естественного освещения или его недостаточность.

Вредные и опасные химические производственные факторы связаны с окружающими грузоподъемную машину условиями, а не с эксплуатацией машины. Исключениями является машины с электроприводом на основе двигателя внутреннего сгорания.

Вредные и опасные биологические производственные факторы при работе грузоподъемных машин отсутствуют.

Вредные и опасные психофизиологические производственные факторы классифицируются на нервно-психологические и физические нагрузки. К нервно-психологическим нагрузкам относятся перенапряжение анализаторов, умственное перенапряжение и монотонность труда. Физические нагрузки делятся на динамические и статические.

К незащищенным движущимся машинам и механизмам относятся:

- крюковая подвеска;
- грузовая тележка;
- поворотная платформа;
- зубчатые колеса;
- барабаны;
- валы редукторов и электродвигателей.

Чтобы исключить контакт людей с опасной зоной используются такие оградительные средства защиты как, щиты, кожухи, решетки, корпуса редукторов и электродвигателей, сетки на жестком каркасе, указывающие и предупреждающие плакаты и знаки.

Высокий уровень шума, возникающий при работе подшипников качения и зубчатых передач, а также вращении неуравновешенных деталей машины, ослабляет внимание, ухудшает слух и замедляет психические реакции персонала и вызывает утомление. Своевременная замена изношенных деталей, балансировка вращающихся элементов, применение принудительной

смазки, использование звукоизолирующих экранов, кожухов, кабин, совершенствование технологических процессов изготовления деталей являются способами уменьшения уровня шума. Согласно ГОСТ 12.1.003-83 на рабочем месте при умеренно напряженном труде и легкой категории работ уровень звукового давления не должен превышать 70 дБА.

Высокое напряжение в электрической сети является одним из опасных производственных факторов. Опасность заключается в возможности возникновения через тело человека замыкания при случайном прикосновении к неизолированным проводам или токоведущим частям. Это приводит к общим (электрические удары) и местным электрическим травмам (механические повреждения, электрические ожоги, электрическая офтальмия). Ограждение неизолированных токоведущих частей, зануление, защитное отключение, двойная изоляция, защитное заземление, применение запрещающих и предупреждающих знаков и плакатов являются способами защиты от повреждения электрическим током.

Недостаточность освещения на рабочем месте является причиной снижения степени безопасности работ и ухудшения зрения персонала. При недостаточном освещении используются источники искусственного освещения: специальные осветительные установки, прожектора и лампы. Согласно положениям ГОСТ 12.1.046-85 «ССБТ. Строительство. Нормы освещения строительных площадок» на грузозахватном приспособлении на любом уровне его подъема и горизонтального перемещения, а также на погрузочно-разгрузочных площадках в пределах территории работы крана освещенность не должна быть меньше чем $E_n = 10$ лк от внешней осветительной установки. Освещенность от наружных осветительных установок равна $0.9 \cdot (E_n \cdot K)$, где K – коэффициент запаса.

Нервно-психологические и физические нагрузки являются причиной быстрого утомления, замедления реакции и ослабления внимания. Для уменьшения этих нагрузок следует применять вентиляцию и кондиционирование, повышать комфортность на рабочих местах. Освещенность на рычагах и пультах управления не должна быть меньше чем 20 лк. [18]

4.2 Расчет устойчивости башенного крана против опрокидывания

Устойчивость против опрокидывания рассчитывается для свободностоящих башенных кранов при следующих условиях:

- при наличии груза (грузовая устойчивость);
- при отсутствии груза (собственная устойчивость);
- при внезапном снятии нагрузки на крюке;
- при монтаже или демонтаже.

Для обеспечения устойчивости должно выполняться неравенство:

$$K \cdot M_H \leq m_o \cdot M_{\text{вос}}, \quad (4.1)$$

где K – коэффициент, учитывающий неблагоприятное изменение нагрузок;

M_H – момент от нормативных составляющих нагрузок;

m_o – коэффициент условий работы;

$M_{\text{вос}}$ – восстанавливающий момент от действующих нагрузок;

4.2.1 Расчет грузовой устойчивости башенного крана. На рисунке 4.2 представлена схема грузовой устойчивости башенного крана.

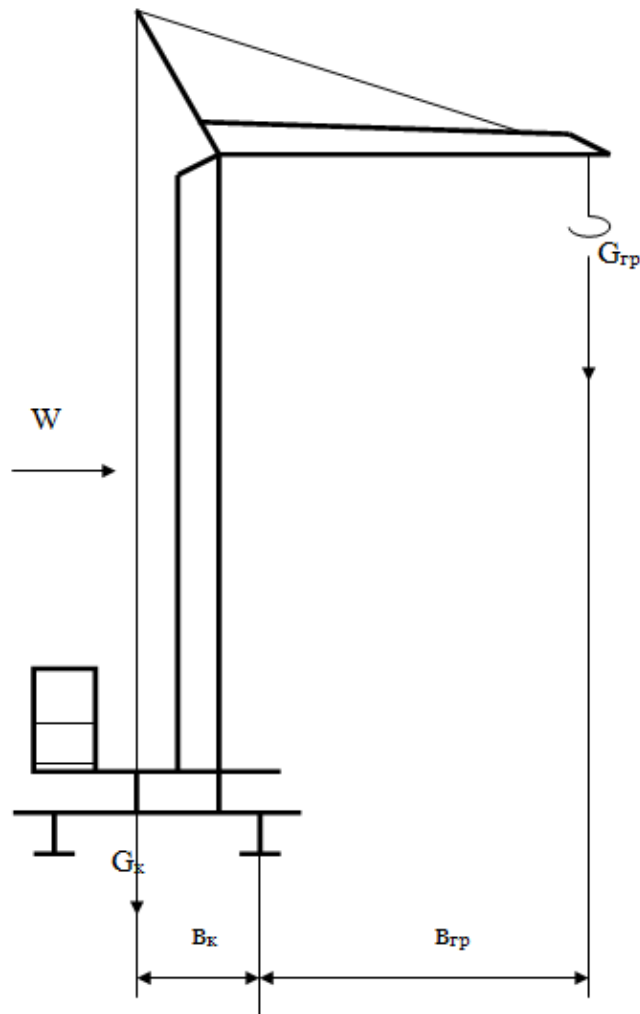


Рисунок 4.2 – Схема грузовой устойчивости

Восстанавливающий момент от действующих нагрузок рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{вос}} = G_k \cdot v_k = 112500 \cdot 2.9 = 326250 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.2)$$

где G_k – вес крана, Н;

v_k – расстояние от центра масс крана до ребра опрокидывания, м;

Опрокидывающий момент от нормативных составляющих нагрузок:

$$M_{\text{опр}} = G_{\text{гр}} \cdot V_{\text{гр}} + M_w = 25000 \cdot 8.2 + 3600 = 208600 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (4.3)$$

где $G_{\text{гр}}$ – вес груза, Н;
 $V_{\text{гр}}$ – расстояние от точки подвеса груза до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, м;
 M_w – момент относительно ребра опрокидывания от ветровой нагрузки рабочего состояния, Н·м:

$$M_w = F \cdot (h_k / 2) = 600 \cdot (12 / 2) = 3600 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (4.4)$$

где h_k – высота крана, м;
 F – статическая составляющая ветровой нагрузки:

$$F = g \cdot k \cdot c \cdot n \cdot A = 125 \cdot 1.0 \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 4 = 600 \text{ Н}, \quad (4.5)$$

где $g = 125 \text{ Па}$ – динамическое давление ветра;
 $k = 1.0$ – коэффициент изменения давления по высоте;
 $c = 1.2$ – коэффициент аэродинамической силы;
 $A = 4 \text{ м}^2$ – площадь груза, м^2 .

Коэффициент изменчивости нагрузок:

$$K_2 = \sqrt{M_{\text{Грп}}^2 + M_{\text{Фк}}^2 + M_{\text{Фгр}}^2 + M_g^2} / M_{\text{опр}}^2, \quad (4.6)$$

где $M_{\text{Грп}}^2$, $M_{\text{Фк}}^2$, $M_{\text{Фгр}}^2$, M_g^2 – моменты относительно ребра опрокидывания от среднеквадратичного отклонения случайной составляющей соответственно: вес груза, ветровой нагрузки на кран, ветровой нагрузки на груз, нагрузок, вызванных работой механизма подъема, Н·м:

$$M_{\text{Грп}} = k_3 \cdot G_{\text{гр}} \cdot V_{\text{гр}} = 0.05 \cdot 25000 \cdot 8.2 = 10250 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (4.7)$$

где $k_3 = 0.05$ – коэффициент отклонения составляющей веса груза;

$$M_{\text{Фк}} = m_n \cdot \zeta \cdot M_w = 0.12 \cdot 9.1 \cdot 3600 = 3931 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (4.8)$$

где $m_n = 0.12$ – коэффициент пульсации скорости ветра;
 $\zeta = 9.1$ – коэффициент динамичности;

$$M_{\text{Фгр}} = 0.1 \cdot M_w = 0.1 \cdot 3600 = 360 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (4.9)$$

$$M_g = 0.02 \cdot (G_k \cdot h_k + G_{гр} \cdot h_{гр}) / (G_k \cdot B_k - G_{гр} \cdot B_{гр}) \cdot G_{гр} \cdot v_n^2, \quad (4.10)$$

где v_n – скорость подъема груза, м/с;
 h_k – высота расположения центра крана над плоскостью опорного контура, м;
 $h_{гр}$ – высота точки подвеса грузового полиспаста над плоскостью опорного контура, м;

$$M_g = 0.02 \cdot (112500 \cdot 0.8 + 25000 \cdot 10) / (112500 \cdot 2.9 - 25000 \cdot 8.2) \cdot 25000 \cdot 0.3^2 = 390 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$K_2 = \sqrt{102502 + 39312 + 3602 + 3902 / 2086002} = 0.1.$$

Проверка грузовой устойчивости производится согласно неравенству:

$$K_2 \cdot M_{опр} = 0.1 \cdot 208600 = 20860 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{вос} = 326250 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Грузовая устойчивость крана обеспечена.

4.2.2 Расчет собственной устойчивости башенного крана. На рисунке 4.3 представлена схема собственной устойчивости башенного крана.

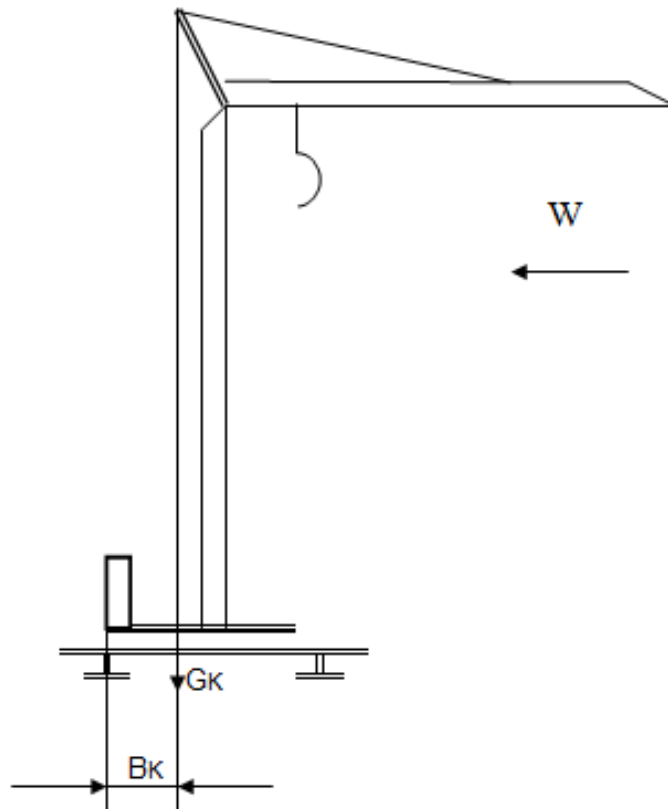


Рисунок 4.3 – Схема собственной устойчивости

Восстанавливающий момент от действующих нагрузок:

$$M_{\text{вос}} = G_{\text{к}} \cdot v_{\text{к}} = 112500 \cdot 0.3 = 33750 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Опрокидывающий момент от нормативных составляющих нагрузок равен моменту относительно ребра опрокидывания от ветровой нагрузки рабочего состояния:

$$M_{\text{опр}} = M_{\text{w}} = F \cdot (h_{\text{к}}/2) = 3240 \cdot 12 / 2 = 19440 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где F – статистическая составляющая ветровой нагрузки нерабочего состояния, Н.

Коэффициент изменчивости ветровой нагрузки:

$$K_2 = m_n \cdot \zeta = 0.12 \cdot 9.1 = 1.1, \quad (4.11)$$

где $m_n = 0.12$ – коэффициент пульсации скорости ветра;
 $\zeta = 9.1$ – коэффициент динамичности.

Проверка собственной устойчивости производится согласно неравенству (4.1):

$$K_2 \cdot M_{\text{опр}} = 1.1 \cdot 19440 = 21384 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{вос}} = 33750 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Собственная устойчивость крана обеспечена.

4.2.3 Расчет устойчивости башенного крана при внезапном снятии нагрузки на крюке и при монтаже. Опрокидывающий момент при внезапном снятии нагрузки на крюке:

$$M_{\text{опр}} = 0.3 \cdot G_{\text{с}} \cdot l + M_{\text{w}} = 0.3 \cdot 3000 \cdot 6.5 + 3600 = 9450 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.12)$$

где $G_{\text{с}}$ – вес стрелы, м;
 l – расстояние от центра масс стрелы до вертикальной плоскости, проходящей через ребро опрокидывания, м;
 M_{w} – момент относительно ребра опрокидывания, Н·м;

Коэффициент изменчивости нагрузок:

$$K_2 = (M_{\text{Фк}}^2 + M_{\text{г}}^2) / M_{\text{Фк}}^2 = (39312 + 3902) / 36002 = 1.2, \quad (4.13)$$

где M_{Fk}^2 , M_g^2 – моменты относительно ребра опрокидывания от среднеквадратичного отклонения случайной составляющей соответственно: ветровой нагрузки на кран и нагрузку, вызванных работой механизма подъема, Н·м.

Восстанавливающий момент от действующих нагрузок:

$$M_{\text{вос}} = G_k \cdot B_k = 112500 \cdot 0.3 = 33750 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверка устойчивости при внезапном снятии нагрузок производится согласно неравенству (4.1):

$$K_2 \cdot M_{\text{опр}} = 1.2 \cdot 9450 = 11340 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{вос}} = 33750 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Устойчивость крана при внезапном снятии нагрузки на крюке обеспечена.

При монтаже крана на каждом этапе центр масс его находится в пределах опорного контура. Таким образом, устойчивость крана при монтаже обеспечивается без дополнительных приспособлений.

4.3 Приборы безопасности

На кране установлен ограничитель нагрузки башенного крана ОНК-160Б со встроенным регистратором параметров и концевые выключатели, обеспечивающие безопасную работу и отключающие механизмы при достижении опасных режимов.

Ограничитель нагрузки башенного крана служит для защиты крана от перегрузок и опрокидывания при подъеме груза, защиты рабочего оборудования от повреждения при работе в стесненных условиях (координатная защита). Отображает цифровую информацию о фактической массе поднимаемого груза, предельной грузоподъемности, степени загрузки крана, величине вылета, высоте подъема груза, величине пройденного пути и скорости ветра с двухминутным осреднением.

Ограничитель нагрузки является универсальным устройством, предназначенным для башенных кранов различных типов, поэтому в его конструкции предусмотрена возможность настройки на любую грузовую характеристику применительно к данному крану.

4.4 Зануление и заземление

В качестве защитной меры от поражения обслуживающего персонала электрическим током на кране применено зануление электрооборудования, т.е. соединение с нулевым защитным проводником питающего кабеля

металлических нетоковедущих частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции токоведущих его элементов.

В этом случае повреждение изоляции приводит к возникновению тока короткого замыкания, вызывающего срабатывание устройств защиты (автоматического выключателя или ближайшего предохранителя).

Зануление выполняется путем соединения нулевой жилы питающего кабеля с металлоконструкцией крана на корпусе вводного рубильника, куда также подключается нулевая жила кабеля, соединяющего вводной рубильник с панелью управления.

Для обеспечения надежности зануления корпуса электрооборудования должны иметь хороший электрический контакт с металлоконструкцией крана, для чего их опорные поверхности должны быть зачищены и покрыты антикоррозийной смазкой, например, техническим вазелином.

Зануление должно сочетаться с повторным заземлением. Повторное заземление обеспечивается созданием по концам кранового пути очагов заземления, выполняемых забивкой в грунт нескольких вертикальных электродов из стальных труб, или уголковой стали, верхние концы которых соединены стальной полосой или круглой сталью с помощью сварки.

Очаги заземления соединяются с рельсами кранового пути заземляющими проводниками; их соединение также выполняется сваркой, причем для создания непрерывной цепи заземления рельсы кранового пути на стыках соединяются перемычками. Размеры электродов заземления, глубина их забивки, сечение заземляющих проводников и междурельсовых перемычек определяются проектом по устройству путей.

Для определения технического состояния заземляющего устройства должны периодически проводиться измерения величины сопротивления растеканию тока. Сопротивление заземляющего устройства, используемого для заземления электрооборудования, должно быть не более 4 Ом.

4.5 Расчет защитного заземления

Согласно СНИП РК 1.03-39-2006 металлические части кранового пути, которые не находятся под электрическим напряжением, но могут оказаться под таковым вследствие нарушения изоляции, подлежат заземлению для обеспечения безопасности людей. Поэтому все башенные краны, работающие при напряжении 380/220 В, должны быть заземлены.

Заземление заключается в присоединении крана через рельсовые пути к естественным или искусственным очагам заземления. Для этого необходимо обеспечить надежное соединение корпусов электродвигателей и аппаратов с металлическими конструкциями, на которых они смонтированы.

Соединение производится в основном с помощью крепежных болтов, а также специальных перемычек. Электрический контакт между отдельными частями конструкций крана и крана с рельсовыми путями достигается

посредством тщательной зачистки от ржавчины и краски стыков секций башни и ходовой тележки.

Напряжение питания максимальное – 380 В, ток замыкания – 75 А.

Корпус крана, аппаратуры, схема управления и другие металлические, металловедущие части могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции проводов, корпуса.

При случайном прикосновении человека к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением, но заземленным, потенциал поражения понизится до безопасной величины.

Предполагаются сооружения заземлителя с внешней стороны с расположением вертикальных электродов по контуру. В качестве вертикальных заземлителей принимаем стальные стержни диаметром 15 мм и длиной 3 м; верхние концы электродов на глубине 0.7 м, к ним привариваются горизонтальные электроды стержневого типа из той же стали. Решение сводится к следующему:

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) сопротивления заземляющего устройства $R_3 = 4$ Ом, за расчетное принимаем $R_3 = 3$ Ом. Предварительное расстояние между вертикальными электродами – 3 м. Сопротивление искусственного заземления при отсутствии естественного $R_{И} = R_3 = 3$ Ом. Расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатических коэффициентов для горизонтальных и вертикальных электродов соответственно: $\rho_{гг} = 273$ Ом·м, $\rho_{вв} = 105$ Ом·м.

Сопротивление растекания одного вертикального электрода стержневого типа определяется по формуле:

$$R_{ОВЭ} = \frac{\rho_{ВВ}}{2 \cdot \pi \cdot l_B} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_B}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t_B + l_B}{4 \cdot t_B - l_B} \right), \quad (4.14)$$

где $l_B = 3$ м – длина одного электрода (вертикального), м;
 $t_B = h + 0.5 \cdot l = 0.7 + 1.5 = 2.2$ м – глубина заполнения электрода, м;
 $d = 15$ мм – диаметр стержня, мм;

$$R_{ОВЭ} = \frac{105}{2 \cdot 3.14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{15 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2.2 + 3}{4 \cdot 2.2 - 3} \right) = 35.35 \text{ Ом.}$$

Предварительное число вертикальных заземлителей:

$$N = \frac{R_{ОВЭ}}{\eta_B \cdot R_{И}}, \quad (4.15)$$

где $\eta_B = 0.73$ – коэффициент использования заземлителей при отношении l_B к расстоянию между ними, равным единице.

$$N = \frac{35.35}{0.73 \cdot 3} = 16.14 \approx 16.$$

Расчётное сопротивление растекания горизонтальных электродов определяется по формуле:

$$R_{PГЭ} = \frac{\rho_{PГ}}{\eta_{Г} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l_{Г}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_{Г}^2}{d \cdot t_{Г}}, \quad (4.16)$$

где $\eta_{Г} = 0.77$ – коэффициент использования для горизонтальных электродов;

$l_{Г} = 4 \cdot 3 = 12$ м – предварительная длина горизонтальных электродов;

$t_{Г} = 0.7$ м – глубина заполнения, м;

$d = 15$ мм – диаметр электродов, мм;

$$R_{PГЭ} = \frac{273}{0.77 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 12} \cdot \ln \frac{2 \cdot 12^2}{15 \cdot 10^{-3} \cdot 0.7} = 4.48 \text{ Ом.}$$

Окончательное число вертикальных электродов:

$$N = \frac{R_{OBЭ} \cdot (R_{PГЭ} - R_{II})}{\eta_{B} \cdot R_{PГЭ} \cdot R_{II}} = \frac{35.35 \cdot (4.48 - 3)}{0.73 \cdot 4.48 \cdot 3} = 15.1 \approx 16. \quad (4.17)$$

Определяется сопротивление группового заземлителя:

$$R_{zp} = \frac{R_{pээ} \cdot R_{pгэ}}{R_{pээ} \cdot \eta_{B} + R_{pгэ} \cdot \eta_{г} \cdot n} = \frac{35.35 \cdot 4.48}{35.35 \cdot 0.77 + 4.48 \cdot 0.73 \cdot 16} = 2 \text{ Ом.} \quad (4.18)$$

Принимаем окончательное число вертикальных электродов равное 16 штук. На рисунке 4.4 представлена схема защитного заземления.

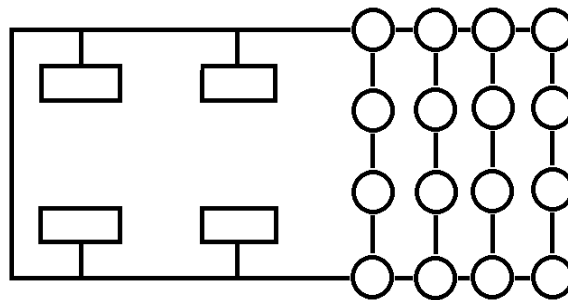


Рисунок 4.4 - Схема защитного заземления

Полученное сопротивление меньше требуемого: $R < R_{игр} = 2 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$.

Как видно из расчетов сопротивление группового заземлителя равно 2 Ом, что соответствует нормам ПУЭ. Система заземления состоит из 16 заземлительных электродов диаметром 15 мм имеющих длину 3м.

Очаг заземления соединяется с рельсами кранового пути заземляющими проводниками; их соединение также выполняется сваркой, причем для создания непрерывной цепи заземления рельсы кранового пути на стыках соединяются перемычками.

Для определения технического состояния заземляющего устройства должны периодически проводиться измерения величины сопротивления растеканию тока. Измерение сопротивления заземляющих устройств должно проводиться после монтажа, переустройства и капитального ремонта этих устройств. Измерения должны выполняться в периоды наибольшего высыхания грунта.

5 Экономическая часть

5.1 Технико-экономическое обоснование внедрения системы управления ПЧ-АД

В настоящее время в большей части крановых электроприводов используются асинхронные двигатели переменного тока с фазным ротором. Управление осуществляется низковольтными комплектными устройствами или силовыми контроллерами. Такой электропривод прост в управлении, обладает ремонтпригодностью и низкой стоимостью.

К недостаткам такого вида управления относятся:

- колебания и резкие рывки крана при остановке и начале движения крана;
- электрические и механические перегрузки электропривода при остановке и начале движения, что является причиной обрывов тросов, поломок редукторов и износа тормозных колодок.
- сложность в точном прекращении и остановки движения в нужном месте;
- переключить механизм с прямого хода на обратный возможно только при полной остановке этого механизма, что является причиной аварий крана и поломок механизма.

Подведя итоги, можно сделать вывод, что электроприводы кранов на сегодняшний день не отвечают современным требованиям.

Таким образом, электроприводы с такой системой управления не отвечают современным требованиям.

Модернизация крановых электроприводов зачастую обусловлена необходимостью выполнения требований, предъявляемых к современным кранам. На данном этапе развития управления электроприводами оптимально

использовать частотно-регулируемый асинхронный электропривод при модернизации или выпуске новых приводов.

Целью данного дипломного проекта является разработка системы управления электроприводом башенного крана грузоподъемностью 5 тонн по схеме ПЧ-АД. Данный кран представляет собой комплекс, используемый в первую очередь в строительстве. В данной части проекта приведен сравнительный анализ двух вариантов системы управления электропривода:

- 1) Релейно-контакторная система;
- 2) Посредством частотного преобразователя.

В первом варианте применен крановый асинхронный электродвигатель с фазным ротором марки МТ 51-8 производства «Сибэлектромотор» с номинальной мощностью $P_n = 22$ кВт и коэффициентом полезного действия $\eta = 0.83$. Управление осуществляется с помощью контакторов, реле времени и пускорегулирующих сопротивлений (резисторов). Во втором варианте используется крановый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором марки МТКФ 412-8 производства «Сибэлектромотор» с номинальной мощностью $P_n = 22$ кВт и коэффициентом полезного действия $\eta = 0.83$. Управление осуществляется с помощью частотного преобразователя марки ATV 71HD30N4 производства «Shneider Electric».

Приведен расчет капитальных затрат и определена экономическая эффективность проекта.

Отличительной особенностью современного этапа развития крановых электроприводов является значительное расширение применения частотно-регулируемого привода. Крановый привод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором при питании от преобразователя частоты (ПЧ) имеет высокие энергетические и эксплуатационные показатели благодаря:

- улучшенным динамическим характеристикам посредством плавного пуска и остановки механизмов;
- большому диапазону регулирования и высокой точности поддержания скорости путём адаптации ПЧ к характеристикам двигателя и совершенным алгоритмам векторного управления, позволяющим реализовывать как разомкнутые, так и замкнутые системы регулирования скорости крановых механизмов;
- увеличению срока службы посредством уменьшения динамических нагрузок на металлоконструкцию и механизмы подъёмного крана и сокращению эксплуатационных расходов;
- существенному сокращению потребляемой электроэнергии из-за отсутствия пусковых бросков тока, исключению реостатов при регулировании скорости, снижению потребляемой из сети реактивной мощности и возможности возврата энергии в питающую сеть с помощью рекуператоров;
- повышению надёжности крановых приводов посредством исключения быстро изнашивающейся релейно-контакторной аппаратуры;
- увеличению производительности крановых механизмов посредством оптимизации циклограммы работы.

Все вышеперечисленные пункты говорят об эффективности моего внедрения, в том числе и с экономической точки зрения.

В крановых приводах успешно используются ПЧ семейства Altivar ATV71 – для двигателей мощностью до 630 кВт. Они обладают такими прикладными функциями для крановых применений, как:

- управление тормозом, адаптированное для приводов перемещения и подъема, и контроль состояния тормоза;
- управление окончанием хода по конечным выключателям;
- обеспечение высокоскоростной работы с пустым крюком или при небольшой нагрузке;
- выбор слабины грузовых канатов;
- выравнивание нагрузки, схема «ведущий–ведомый», управление моментом;
- функция мультидвигатель/мультikonфигурация для применения одного ПЧ в многодвигательных крановых приводах;
- контроль превышения заданной скорости, вращения в обратном направлении, перегрузки. [19]

5.2 Расчет капитальных вложений и эксплуатационных расходов по I-му варианту

Капитальные вложения рассчитываются как сумма затрат на покупку электрооборудования, на его транспортировку и монтаж. Затраты на монтаж составляют 10 % от стоимости оборудования, а затраты на транспортировку – 7% от стоимости оборудования. [20] Капитальные вложения варианта с релейно-контакторной системой управления электроприводом механизма подъема башенного крана приведены в нижеследующей таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Капитальные вложения

Наименование основного электрооборудования	Количество, штук	Стоимость, тыс. тенге	Общая стоимость, тыс. тенге	Транспортные монтажные расходы, тыс. тенге	Капитальные вложения, тыс. тенге
Электродвигатель	1	450	450	76.5	526.5
Контакты	8	30	240	40.8	280.8
Командоконтроллер	1	35	35	5.95	40.95
Реле времени	3	2	6	1.02	7.02
Промежуточное реле	1	1.5	1.5	0.26	1.76
Резисторы	8	2	16	2.72	18.72
Реле напряжения	1	20	20	3.4	23.4
Итого			768.5		899.15

Эксплуатационные издержки рассчитываются как сумма затрат на амортизацию, расходов на потребляемую электроприводом электроэнергию, затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, а также накладных расходов за год эксплуатации:

$$И = И_a + И_э + И_n + И_p, \quad (5.1)$$

где $И_a$ – отчисления на амортизацию оборудования (нормы амортизационных отчислений от 5% до 10%);

$И_э$ – затраты на потребляемую электроприводом электроэнергию;

$И_n$ – накладные расходы, также их называют косвенными расходами, включают в себя хозяйственные и управленческие затраты на обучение кадров и затраты на перевозку. Они составляют от 12% до 15% от суммы всех оставшихся издержек.

$И_p$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования.

Отчисления на амортизацию вычисляются как:

$$И_a = (Н_a \cdot К) / 100\% = (8\% \cdot 899150) / 100\% = 71932 \text{ тенге}, \quad (5.2)$$

где $К$ – капитальные вложения;

$Н_a$ – средняя годовая норма амортизации (8%).

Расходы на потребляемую электроэнергию при учете потерь определяются:

$$И_э = W \cdot У_э \cdot N, \quad (5.3)$$

где W – потребление электрической энергии за год;

N – количество электродвигателей ($N = 1$);

$У_э = 16.02$ тенге/кВт·ч – текущий тариф на электрическую энергию.

Полные потери электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta P_c \cdot T_r = 2.75 \cdot 1404 = 3861 \text{ кВт·ч/год}, \quad (5.4)$$

где T_r – годовое время работы;

ΔP_c – средние потери активной мощности электродвигателя.

$$T_r = T_m - 10\% \cdot T_m = 1560 - 0.1 \cdot 1560 = 1374 \text{ ч/год}, \quad (5.5)$$

где T_M – число часов использования при максимальной нагрузке за год (6 часов в день, 5 раз в неделю, 52 недели):

$$T_M = 5 \cdot 6 \cdot 52 = 1560 \text{ ч/год.}$$

Средние потери активной мощности электродвигателя равны:

$$\Delta P_c = \Delta P_M \cdot \tau = 3.52 \cdot 0.78 = 2.75 \text{ кВт}, \quad (5.6)$$

где τ – относительное время использования при максимальных потерях;

ΔP_M – максимум потерь активной мощности.

$$\Delta P_M = \Delta P_{x.x} + \Delta P_{нн} + K_3^2 = 1.98 + 2.41 + 0.8^2 = 3.52 \text{ кВт}, \quad (5.7)$$

Относительное время использования при максимальных потерях равно:

$$\tau = 0.7 \cdot (T_M / T_r) = 0.7 \cdot (1560 / 1404) = 0.78. \quad (5.8)$$

где $K_3 = 0.8$ – коэффициент загрузки двигателя;

$\Delta P_{x.x}$ – потери холостого хода равны:

$$\Delta P_{x.x} = 0.55 \cdot \Delta P_n = 0.55 \cdot 3.6 = 1.98 \text{ кВт}; \quad (5.9)$$

$\Delta P_{нн}$ – загрузочные номинальные потери равны:

$$\Delta P_{нн} = 0.67 \cdot \Delta P_n = 0.67 \cdot 3.6 = 2.41 \text{ кВт}. \quad (5.10)$$

$$\Delta P_n = P_n \cdot (1 - \eta) / \eta \cdot K_3 = 22 \cdot (1 - 0.83) / 0.83 \cdot 0.8 = 3.6 \text{ кВт}, \quad (5.11)$$

где $\eta = 0.83$ – КПД двигателя;

$P_n = 22$ кВт – номинальная мощность электродвигателя.

Потребление электрической энергии за год:

$$W = T_M \cdot P_n = 1560 \cdot 22 = 34320 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Сумма потребленной электроэнергии и полных потерь:

$$\Delta W_{\Pi} = W + \Delta W = 34320 + 3861 = 38181 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}. \quad (5.12)$$

Рассчитаем затраты на электроэнергию за год:

$$I_{\text{э}} = 38181 \cdot 16.02 \cdot 1 = 611659 \text{ тенге/год.}$$

Оборудование обоих вариантов электропривода обладает ремонтпригодностью. Также электрооборудованию необходимо регулярное определенное техническое обслуживание, которое требует также затрат. Следовательно, расходы на ремонт и техническое обслуживание электрооборудования можно представить как суммарные затраты на заработную плату ремонтного персонала и стоимости материалов, требуемых для обслуживания и ремонта.

Для определения затрат на зарплату ремонтного персонала требуется определить количество ремонтных рабочих, которое зависит от трудоемкости ремонтных работ того или иного оборудования. Для определения трудоемкости ремонтных работ оборудования необходимо составить график ремонтосложности работ, основываясь на положения о планово-предупредительных ремонтах (ППР). График ремонтосложности работ представлены в таблице 5.2, где указаны нормы трудоемкости капитального и текущего ремонтов.

Таблица 5.2 – График ремонтосложности работ

Наименование оборудования	Количество, штук	Трудоемкость капитального ремонта чел.-час	Трудоемкость текущего ремонта чел.-час
Электродвигатель	1	$32 \cdot 1.3 = 41.6$	$7 \cdot 1.3 = 9.1$
Контакты	8	12	4
Командоконтроллер	1	15	5
Реле времени	3	5	1.3
Промежуточное реле	1	4.5	1
Резисторы	8	18	6
Реле напряжения	1	5	1.5
Общая трудоемкость		321.1	100.5

Пр и м е ч а н и е – Принятые величины трудоемкости приняты из учебных справочников

Зарботную плату определим через трудоемкость ремонтов и тарифную часовую ставку ремонтного рабочего IV разряда:

Определим тарифную заработную плату исходя из трудоемкости ремонтных работ и тарифной ставки ремонтных рабочих IV разряда:

$$C = T \cdot S, \quad (5.13)$$

где $S = 500$ тенге/ час – часовая тарифная ставка.

T – трудоемкость ремонта электрооборудования;

$$C_{зп,р2} = 500 \cdot 421.6 = 210800 \text{ тенге.}$$

Полная сумма выплат ремонтным рабочим, помимо рассчитанной тарифной заработной платы, включает в себя:

- премии (около 20% от тарифной заработной платы);
- другие доплаты (около 10% от тарифной заработной платы).

Следовательно, все доплаты рассчитываются как 30% от тарифной заработной платы.

Полная сумма выплат ремонтному персоналу равна:

$$C_{зп1} = C_{зп.р1} \cdot 1.3 = 210800 \cdot 1.3 = 274040 \text{ тенге.}$$

Принимаем стоимость материалов на ремонт и техническое обслуживание электрооборудования равной 100% от тарифной заработной платы ремонтного персонала:

$$C_{\text{мат}} = S \cdot T = 500 \cdot 421.6 = 200800 \text{ тенге.}$$

В целом затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования составляют:

$$I_p = C_{зп} + C_{\text{мат}} = 274040 + 200800 = 474840 \text{ тенге.}$$

Накладные расходы равны 12% от суммы всех издержек:

$$I_{\text{пр}} = 0.12 (71932 + 611659 + 474840) = 139012 \text{ тенге.}$$

Таким образом рассчитаем годовые эксплуатационные издержки по I варианту:

$$I = 71932 + 611659 + 474840 + 139012 = 1297083 \text{ тенге.}$$

По результатам вышеприведенных расчетов составляем смету затрат в виде таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Смета годовых эксплуатационных затрат

Виды затрат	Затраты, тенге
1. Амортизационные отчисления	71932
2. Стоимость потребляемой энергии	611659
3. Расходы ремонт и техническое обслуживание	474840
4. Накладные расходы	139012
Итого	1297083

5.3 Расчет капитальных вложений и эксплуатационных расходов по II варианту

Капитальные вложения рассчитываются как сумма затрат на покупку электрооборудования, на его транспортировку и монтаж. Затраты на монтаж

составляют 10 % от стоимости оборудования, а затраты на транспортировку – 7% от стоимости оборудования

Капитальные вложения варианта с частотно-регулируемым электроприводом башенного крана приведены в нижеследующей таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет капитальных вложений

Наименование оборудования	Количество, штук	Стоимость тыс. тенге	Общая стоимость, тыс. тенге	Транспортные и монтажные расходы, тыс. тенге	Капитальные вложения, тыс. тенге
Электродвигатель	1	350	350	59.5	409.5
Преобразователь частоты	1	500	500	85	585
Микроконтроллер	1	50	50	8.5	58.5
Итого			900		1053

Эксплуатационные издержки рассчитываются как сумма затрат на амортизацию, расходов на потребляемую электроприводом электроэнергию, затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, а также накладных расходов за год эксплуатации:

$$И = И_a + И_э + И_p + И_n.$$

Отчисления на амортизацию вычисляются как:

$$И_a = (Н_a \cdot К) / 100\% = (8\% \cdot 1053000) / 100\% = 84240 \text{ тенге},$$

где $К$ – капитальные вложения;

$Н_a$ – средняя годовая норма амортизации (8%).

Расходы на потребляемую электроэнергию при учете потерь определяются:

$$И_{э(б)} = W \cdot И_{у.э} \cdot N = 38181 \cdot 16.02 \cdot 1 = 611659 \text{ тенге},$$

где W – потребление электрической энергии за год;

N – количество электродвигателей ($N = 1$);

$У_э = 16.02$ тенге/кВт·ч – текущий тариф на электрическую энергию.

Применение ПЧ в системе электропривода механизма подъема башенного крана с микропроцессорным управлением позволяет снизить расходы на электроэнергию до 20%

Отсюда рассчитаем экономию денежных средств на электроэнергии при применении электропривода башенного крана с системой ПЧ-АД и микропроцессорным управлением:

$$\Delta I_3 = 0.20 I_3 = 0.20 \cdot 611659 = 122332 \text{ тенге.}$$

Следовательно, годовые затраты на электроэнергию в данном варианте равны:

$$I_{3(II)} = I_{3(I)} - \Delta I_3 = 611659 - 91750 = 489327 \text{ тенге.}$$

Графики ремонтосложности работ за год по I I варианту представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – График ремонтосложности работ базового варианта

Наименование оборудования	Количество, штук	Трудоемкость, капитального ремонта чел.- час	Трудоемкость, текущего ремонта чел.- час
Электродвигатель	1	32	7
Преобразователь частоты	1	50	15
Командоконтроллер	1	15	5
Общая трудоемкость		97	27
Примечание – Принятые величины трудоемкости использованы из учебных справочников			

Заработную плату определим через трудоемкость ремонтов и тарифную часовую ставку ремонтного рабочего IV разряда, которая составляет 500 тенге/час, по формуле:

$$C = T \cdot S.$$

Тарифная заработная плата ремонтного персонала:

$$C_{зп.p2} = 500 \cdot 124 = 62000 \text{ тенге.}$$

Полная сумма выплат ремонтным рабочим, помимо рассчитанной тарифной заработной платы, включает в себя:

- премии (около 20% от тарифной заработной платы);
- другие доплаты (около 10% от тарифной заработной платы).

Следовательно, все доплаты рассчитываются как 30% от тарифной заработной платы.

Полная сумма выплат ремонтному персоналу равна:

$$C_{зп} = C_{зп.р2} \cdot 1.3 = 62000 \cdot 1.3 = 80600 \text{ тенге.}$$

Принимаем стоимость материалов на ремонт и техническое обслуживание электрооборудования равной 100% от тарифной заработной платы ремонтного персонала:

$$C_{\text{мат}} = S \cdot T = 500 \cdot 124000 = 62000 \text{ тенге.}$$

В целом затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования составляют:

$$I_p = C_{зп} + C_{\text{мат}} = 80600 + 62000 = 142600 \text{ тенге.}$$

Накладные расходы равны 12% от суммы всех издержек:

$$I_{\text{пр}} = 0.12 (84240 + 489327 + 142600) = 85940 \text{ тенге.}$$

Таким образом рассчитаем годовые эксплуатационные издержки по I варианту:

$$И = 84240 + 489327 + 85940 + 142600 = 802107 \text{ тенге.}$$

По результатам вышеприведенных расчетов составляем смету затрат, которая приведена в виде таблицы 5.6.

Таблица 5.6 – Смета затрат годовых эксплуатационных издержек

Элементы затрат	Сумма затрат, тенге
1. Амортизационные отчисления	84240
2. Стоимость потребляемой энергии	489327
3. Расходы ремонт и техническое обслуживание	142600
5. Накладные расходы	85940
Итого	802107

5.4 Расчет экономической эффективности внедрения частотно-регулируемого электропривода с микропроцессорным управлением

Капитальные вложения на приобретение, транспортировку и монтаж электрооборудования в первом варианте составляют 899150 тенге, во втором варианте – 1053000 тенге. Годовые эксплуатационные затраты на оборудование в первом варианте равны 1297083 тенге, во втором варианте они равны 802107 тенге. Экономия эксплуатационных издержек в год во втором варианте складывается из экономии затрат на электрическую энергию, затрат на ремонт и техническое обслуживание электрооборудования и на

накладные расходы. Суммарная экономия эксплуатационных расходов равняется 494976 тенге в год.

Для проведения сравнительного анализа используем метод минимума приведенных затрат. Расчет приведенных затрат осуществляется по формуле:

$$ПЗ = C + E_n \cdot K, \quad (5.14)$$

где K – капитальные вложения;
 $E_n = 0.15$ – нормативный коэффициент сравнения экономической эффективности капиталовложений;
 C – ежегодные эксплуатационные издержки.

$$ПЗ_I = 1297083 + (0.15 \cdot 899150) = 1431957 \text{ тенге};$$

$$ПЗ_{II} = 802107 + (0.15 \cdot 1053000) = 960057 \text{ тенге}.$$

Согласно расчетам большей экономической эффективностью обладает второй вариант системы электропривода с микропроцессорным управлением по схеме ПЧ-АД. Экономический эффект рассчитывается при сравнении приведенных затрат обоих вариантов:

$$\Delta = ПЗ_I - ПЗ_{II} = 1431957 - 960057 = 471900 \text{ тенге}. \quad (5.15)$$

Для определения абсолютной экономической эффективности внедрения системы ПЧ-АД рассчитаем такой показатель, как срок (период) окупаемости, т.е. срок возвратности капиталовложений:

$$T_{ок} = K_{II} / (I_I - I_{II}), \quad (5.16)$$

$$T_{ок} = 1053000 / (1297083 - 802107) = 2.13 \text{ лет}.$$

Таким образом, срок окупаемости внедрения системы управления преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель составляет 2.13 лет при капитальных вложениях 1053000 тенге.

Приложение А
Текст программы управления

```
SIMVOLL      EQU H'0046`
SIM          EQU H'0047`
;=====
ORG          000H
NOP
GOTO        START
ORG          100H
;=====
START
    CLRF     STATUS
CLRF        INTCON
CLRF        PORTB
CLRF        PORTC
CLRF        PORTD
    BSF      STATUS, RP0
    CLRF     TRISC
    MOVLW   B`11111111`
    MOVLW   TRISD
    BCF     STATUS, RP0
    CLRF     PORTC
    BSF     PORTA, 0
;=====
B1
    BTFSS   PORTD, 0
    GOTO   B2
    BSF    PORTC, 0
D1u
    BTFSC  PORTD, 0
    GOTO  D1U
    BCF   PORTC, 0
B2
    BTFSS  PORTD, 1
    GOTO  B3
    BSF   PORTC, 1
D1d
    BTFSC  PORTD, 1
    GOTO  D1d
    BCF   PORTC, 1
B3
    BTFSS  PORTD, 2
    GOTO  B4
    BSF   PORTC, 2
```

D2u	BTFSC	PORTD, 2
	GOTO	D2U
	BCF	PORTC, 2
B4	BTFSS	PORTD, 3
	GOTO	B5
	BSF	PORTC, 3
D2d	BTFSC	PORTD, 3
	GOTO	D2d
	BCF	PORTC, 3
B5	BTFSS	PORTD, 4
	GOTO	B6
	BSF	PORTC, 4
D3u	BTFSC	PORTD, 4
	GOTO	D3U
	BCF	PORTC, 4
B6	BTFSS	PORTD, 5
	GOTO	B7
	BSF	PORTC, 5
D3d	BTFSC	PORTD, 5
	GOTO	D3d
	BCF	PORTC, 5
B7	BTFSS	PORTD, 6
	GOTO	B8
	BSF	PORTC, 6
D4u	BTFSC	PORTD, 6
	GOTO	D4u
	BCF	PORTC, 6
B8	BTFSS	PORTD, 7
	GOTO	B1
	BSF	PORTC, 7
D4d	BTFSC	PORTD, 7
	GOTO	D4d
	BCF	PORTC, 7
END		

Заключение

В современном мире техники значительное распространение получили частотно – регулируемые асинхронные электроприводы с автоматическими системами управления типа ПЧ – АД. Системы управления данного вида позволяют решить не только технологические задачи, но и проблему энергосбережения.

Поэтому в данном дипломном проекте для электропривода механизма подъема башенного крана была разработана и исследована система управления частотно-регулируемого электропривода с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Разработанная система управления позволит улучшить динамические характеристики, увеличить диапазон регулирования и точность поддержания скорости, значительно увеличить срок службы электрооборудования, сократить эксплуатационные затраты, существенно сократить потребляемую электрическую энергию, повысить надежность электропривода, а также повысить производительность кранового механизма.

В данном дипломном проекте был выполнен следующий объем работы:

- в первом разделе были рассмотрены вопросы технологии, приведена функциональная схема крана, особенности применения и классификация кранов различной грузоподъемности, монтаж крана, а также особенности и требования к крановым электроприводам;

- во втором разделе были произведена разработка электропривода механизма подъема башенного крана, в частности был рассчитан и выбран редуктор марки Ц2У-400КМ, был рассчитан, выбран и проверен по перегреву и перегрузочной способности крановый электродвигатель марки МТКФ 412-8, был выбран преобразователь частоты марки ATV71HD30N4, приведены технические данные выбранного электрооборудования и описана система тормозов;

- третий раздел посвящен исследованию схемы управления электропривода с асинхронным электродвигателем на основе преобразователя частоты в программной среде MatLab, которая дала возможность построить структурную и виртуальную модель электропривода и изучить его переходные процессы;

- в четвертом разделе были рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности при монтаже и при эксплуатации крана, а также рассчитана устойчивость башенного крана при различных условиях, и произведен расчет заземления;

- в пятом раздела произведен сравнительный анализ двух вариантов систем управления электроприводом, расчет капитальных вложений и эксплуатационных издержек, рассчитан срок окупаемости наиболее экономически эффективного варианта.

В заключении можно отметить, поставленная цель в разработке новой системы управления для башенного крана достигнута.

Список литературы

1. Невзоров Л.А., Пазельский Г.Н., Романюха В.А. Башенные краны. – М.: Высшая школа, 1980
2. Крановое электрооборудование: Справочник / Под ред. А.А. Рабиновича. М.: Энергия, 1979. – 238 с.
3. Справочник по кранам. Т. 1 и 2 / Под ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение, 1988. Т. 1. 536 с. Т. 2. 560 с.
4. Строительные машины. Т. 1 и 2 /Т. 1 под ред. Э.Н. Кузина и т.2 под ред. М.Н. Горобца. М.: Машиностроение, 1991.
5. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановые электроприводы: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988. 344 с.
6. Ланин В.А., Кукин П.П., Понамарев Н.Л., Безопасности технологических процессов и производств: Учебник. М.: Высш. школа 2001. – 306 с.
7. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. 1975. – 421 с.
8. Строительные машины. Т. 1 и 2 /Т. 1 под ред. Э.Н. Кузина и т.2 под ред. М.Н. Горобца. М.: Машиностроение, 1991.
9. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Учебник для ВУЗов. – М.: Изд. Центр «Академия», 2006
10. Анхимюк В.Л. Теория автоматического управления. – Мн.: Дизайн ПРО, 2002. – 352 с.
11. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановые электроприводы: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988. 344 с.
12. Навроцкий Д.И. Расчет сварных соединений с учетом концентрации напряжений. – Л.: Машиностроение, 1968. – 170 с.
13. Силовые преобразовательные устройства: Учебное пособие/С.Б. Алексеев.- Алматы, 2006 г.
14. Казначеев В. Микросхемы для управления электродвигателями. – М.: Додэка, 1999. – 288 с.
15. Корнеев В. Микропроцессоры. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 448 с.
16. Олсон Г. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский диалект, 2001. – 540 с.
17. Дьяконов В. VisSim + Mathcad + MATLAB Визуальное математическое моделирование. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004. – 384 с.
18. М.К. Дюсебаев, Ж.С. Абдимуратов.: Производственная санитария «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды». – Алматы 2012г.
19. Шенфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы. Пер. с нем./ Под ред. Борцова Ю.А. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.
20. Бекишева А.И.: Экономика и организация производства. – Алматы: 2012г.