

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ПЦК «ЭД»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

на тему «Модернизация электропогрузчика ЭП2020»
обучающегося группы ЭС9-22-1СПО по специальности
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Ефимов Никита Павлович

Фамилия имя отчество студента

Руководитель работы: _____ \ Бурцев С.А. \

Консультант по
организационно -экономической части: _____ \ Стругова Л.А. \

Консультант по
охране труда _____ \ Торошин А.К. \

Рецензент: _____ \ _____ \

Допуск к защите: _____ \ _____ \

Лысьва, 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
1.1 Общая характеристика электропогрузчика ЭП2020	5
1.2 Основные требования к электрическому оборудованию погрузчика	11
1.3 Принцип работы схемы управления электропогрузчиком	12
2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	15
2.1 Расчет и выбор электродвигателя мотор-колеса.....	15
2.2 Выбор аппаратов защиты и питающих линий	17
2.3 Модернизация электрооборудования погрузчика.....	18
3. ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ.....	21
3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов при эксплуатации модернизированного электропогрузчика.....	21
3.1.1 Общие положения	21
3.1.2 Характеристика основных факторов.....	21
3.2 Мероприятия по снижению физических факторов воздействия (шум, вибрация, ЭМС).....	23
3.2.1 Снижение шума.....	23
3.2.3 Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС).....	24
3.3 Экологическая безопасность: обращение с отработанными аккумуляторами.....	24
3.3.1 Классификация отходов	24
3.3.3 Инструктаж персонала	25
3.3.4 Выводы по экологической безопасности	26
4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	27
4.1 Исходные данные для расчета	27
4.2 Расчет капитальных вложений (К)	27
4.3 Расчет текущих эксплуатационных расходов (С).....	28
4.4 Показатели экономической эффективности	31

4.5 Рентабельность инвестиций (ROI).....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	34

ВВЕДЕНИЕ

Электрические напольные погрузчики безрельсового типа обладают рядом преимуществ по сравнению с иными видами подъёмно-транспортной техники: они отличаются меньшими габаритами, повышенной манёвренностью, сниженной массой и лучшими эксплуатационными характеристиками. Для их приобретения и эксплуатации требуются относительно невысокие инвестиции, а сроки окупаемости являются достаточно короткими. Например, один электропогрузчик с грузоподъёмностью 1000 кг позволяет заменить от 3 до 7 человек, занятых ручным трудом на погрузке-выгрузке. Затраты на покупку и обслуживание такой машины окупаются в интервале от полугода до одного года.

Главная цель данного дипломного проекта — анализ электрооборудования, схемы управления электропогрузчика марки ЭП2020 и разработка предложений по его модернизации.

Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- произвести расчёт и подбор электродвигателя типа мотор-колесо, а также защитных аппаратов;
- рассмотреть вопросы технической эксплуатации, обслуживания и ремонта электрического оборудования погрузчика;
- выполнить экономические расчёты: определить трудоёмкость ремонтных воздействий, необходимое число обслуживающего персонала, затраты на материалы и комплектующие.

Электропогрузчик ЭП2020 используется в ООО «УралОмегаПласт» для транспортировки и штабелирования поддонов с готовой продукцией, в частности гофрированных труб. Данная техника не нуждается в рельсовых путях или токопроводящих линиях, хорошо сочетается с другими видами внутрискладского транспорта. При правильной организации перегрузочных процессов отпадает необходимость в дополнительной рабочей силе, а

механизация погрузочно-разгрузочных и транспортных операций достигает 100 %.

Актуальность. Электропогрузчик ЭП2020, широко используемый на промышленных предприятиях, оснащён устаревшей реостатно-контакторной системой управления, что приводит к повышенному уровню шума, вибрации, низкому КПД и частым отказам оборудования. Модернизация электрооборудования — замена системы управления на ШИМ-регулятор и установка дополнительного светосигнального оборудования — позволяет повысить безопасность труда, снизить эксплуатационные расходы и продлить срок службы техники без приобретения новой машины.

1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Общая характеристика электропогрузчика ЭП2020

Электропогрузчик модели ЭП2020 (см. рисунок 1.1) рассчитан на подъём грузов массой до 2 тонн. Стандартная высота подъёма грузозахватного устройства составляет 3,2 метра. По отдельному заказу возможна установка грузоподъёмника на 2,8 м (вагонное исполнение), 4,5 м или 6,0 м. Колёса оснащаются шинами типа суперэластик.

Новая модификация серии МР20, выпускаемая заводом ЗИК, получила улучшенные конструктивные и эргономические характеристики. Были переработаны технические решения: появилась регулируемая рулевая колонка, сиденье с настройками, управление движением вынесено на рычаг, повышена плавность хода, что увеличило комфорт оператора. Дополнительно предусмотрены подстаканник и держатель для документов.

Электропогрузчик ЭП-2020 комплектуется двумя современными асинхронными двигателями мощностью 4,5 кВт каждый, что позволяет развивать рабочую скорость до 18 км/ч. Имеющаяся система управления даёт возможность выбирать один из трёх режимов: «экономичный», «стандартный» и «челночный».

В зависимости от условий эксплуатации ЭП-2020 может работать с кислотными, литий-ионными либо гелевыми аккумуляторными батареями. Базовая комплектация включает АКБ напряжением 48 В и ёмкостью 660 А·ч. По требованию заказчика возможно применение батарей ёмкостью до 750 А·ч при интенсивной работе.

Боковая замена аккумуляторной батареи позволяет сократить время на обслуживание. При наличии дополнительных сменных АКБ возможна круглосуточная эксплуатация.



Рисунок 1 – Общий вид электропогрузчика ЭП2020

Для более полного понимания конструктивных и эксплуатационных возможностей электропогрузчика ЭП2020 необходимо рассмотреть его основные технические параметры, особенности компоновки, варианты грузоподъемников и условия комплектации. Ниже приведены детальные характеристики, основанные на технической документации завода-изготовителя (ПАО «МЗИК», серия МР20).

Электропогрузчик ЭП2020 грузоподъемностью 2,0 тонны в стандартном исполнении оснащается трёхсекционным грузоподъемником с высотой подъема 3,2 метра. По требованию заказчика возможна установка грузоподъемника с высотой подъема 2,8 метра (вагонный вариант для работы в контейнерах, железнодорожных вагонах и кузовах грузовых автомобилей), а также версии на 4,5 метра и 6,0 метров. Все колёса погрузчика комплектуются шинами типа «суперэластик», обеспечивающими повышенную износостойкость и сниженное сопротивление качению.

Новая серия МР20 электропогрузчиков ЗИК была усовершенствована как в конструктивном плане, так и в эргономике. Кардинально пересмотрена техническая составляющая: появились регулируемая рулевая колонка, регулируемое сиденье, переключатель направления движения перенесён на

рычаг управления. Улучшились амортизационные качества подвески, что повышает комфорт водителя при передвижении и перемещении грузов. В кабине оператора предусмотрены подстаканник и место с зажимом для документов.

Электропогрузчик ЭП-2020 оснащается двумя современными асинхронными тяговыми двигателями мощностью по 4,5 кВт каждый, что позволяет развивать рабочую скорость до 18 км/ч. Бортовая система управления даёт возможность выбирать оптимальный режим движения из трёх: «экономичный», «нормальный» (стандартный) и «челночный» (интенсивный режим с частыми реверсами).

В зависимости от эксплуатационных требований ЭП-2020 может работать с кислотными, литий-ионными либо гелевыми аккумуляторными батареями. Базовая комплектация включает АКБ напряжением 48 В и ёмкостью 660 А·ч. При интенсивной эксплуатации возможна установка батарей ёмкостью до 750 А·ч. Боковая загрузка АКБ позволяет сократить время технического обслуживания; при наличии дополнительных сменных батарей обеспечивается круглосуточный режим работы.

Ниже в табличной форме приведены основные технические параметры электропогрузчика ЭП-2020, систематизирующие данные из руководства по эксплуатации и технической документации завода-изготовителя.

Таблица 1 – Основные технические параметры ЭП-2020.

Параметр	Значение
Номинальная грузоподъёмность, кг	2000
Центр тяжести груза, мм	500
Колесная база, мм	1480
Собственная масса, кг	3290
Тип шин	суперэластик
Свободный ход каретки, мм	30
Высота подъёма вил (стандарт), мм	3200

Высота по ограждению безопасности, мм	1960
Высота по сцепному устройству, мм	590
Общая длина, мм	3170
Общая ширина, мм	1160/1090
Размер вил, мм	40×125×1000
Ширина каретки вил, мм	1000
Дорожный просвет под мачтой, мм	90
Дорожный просвет по центру базы, мм	127
Радиус разворота, мм	1810
Скорость движения с грузом / без груза, км/ч	16 / 18
Скорость подъёма каретки с грузом / без груза, м/с	0,38 / 0,50
Скорость опускания каретки, м/с	0,5
Максимальное тяговое усилие с грузом / без груза, Н	13000 / 7750
Преодолеваемый подъём с грузом / без груза, %	14 / 18
Максимальный преодолеваемый подъём с грузом, %	23
Рабочая тормозная система	электрогидравлическая
Стояночный тормоз	ручной механический
Тяговый электродвигатель (режим S2 60 мин), кВт	2 × 4,5
Электродвигатель гидронасоса (режим S3 15%), кВт	17,6

Напряжение АКБ / номинальная ёмкость (кислотная), В/А·ч	48 / 660
---	----------

Представленные параметры подтверждают, что ЭП-2020 обладает высокой манёвренностью (радиус разворота 1810 мм при ширине колеи 1480 мм) и способен эффективно работать в стеснённых складских помещениях, включая зоны с ограниченной шириной проходов. Угол поворота управляемых колёс достигает 103 градусов, что в сочетании с малым радиусом разворота позволяет выполнять точные манёвры вблизи стеллажей.

Для различных условий эксплуатации завод-изготовитель предлагает несколько исполнений грузоподъёмников. Их характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики грузоподъёмников для ЭП-2020

Параметр	Двухрамный	Трёхрамный		
Высота подъёма h_3 , мм	3210	2845	4520	6000
Высота в сложенном состоянии h_1 , мм	2130	1965	2080	
Свободный ход h_2 , мм	—	1480	1540	
Общая высота с раздвинутым грузоподъёмником h_4 , мм	3723	3343	4993	
Расстояние от оси передних колёс до спинки вил x , мм	370	360	385	
Общая длина l_1 , мм	3162	3152	3177	

Угол наклона мачты вперёд/назад (°)	α/β	6/10	6/10	5,5/5	
--	----------------	------	------	-------	--

Габаритная высота электропогрузчика в вагонном (контейнерном) исполнении составляет 1965 мм, что позволяет свободно заезжать в стандартные железнодорожные вагоны, крупнотоннажные контейнеры и кузова автомобилей с ограниченной высотой проёма. При этом свободный ход каретки (до начала подъёма основной секции) составляет 1480 мм, что даёт возможность перемещать грузы внутри закрытых транспортных средств, не упираясь мачтой в потолок.

Электропогрузчик ЭП-2020 отличается небольшими габаритными размерами в классе машин грузоподъёмностью 2 тонны. Высокая манёвренность достигнута за счёт колесной базы шириной 1480 мм, управляемого моста с поворотом колёс до 103 градусов и малого радиуса разворота (1810 мм). Указанные параметры делают данную модель одной из наиболее востребованных для работы на складах с узкими проходами (ширина рабочего прохода при укладке поддонов 800×1200 мм составляет менее 3800 мм).

При оформлении заказа потребитель уточняет требуемые параметры погрузчика: высоту подъёма, ёмкость аккумуляторной батареи, наличие зарядного устройства, а также дополнительные опции навесного оборудования (боковые сдвигатели вилок, поворотные каретки, удлинители вилок, захваты для рулонов и др.). На погрузчики ПАО «МЗИК» предоставляется расширенная гарантия — 24 месяца или 2000 моточасов (в зависимости от того, что наступит ранее). Такое гарантийное обязательство свидетельствует о высокой надёжности узлов и качестве сборки.

Таким образом, дополненная характеристика электропогрузчика ЭП2020 показывает, что данная модель представляет собой современную, эргономичную и технически гибкую машину, способную адаптироваться к широкому спектру складских и производственных задач. Приведённые табличные данные в дальнейшем используются для расчёта нагрузочных режимов, выбора электродвигателей, аппаратов защиты и разработки мероприятий по модернизации электрооборудования.

1.2 Основные требования к электрическому оборудованию погрузчика

– Электрооборудование погрузчика предназначено для подачи электроэнергии ко всем бортовым потребителям и преобразования её в механическую работу (движение машины и привод гидравлического насоса). В состав электрооборудования входят:

- источник питания — аккумуляторная батарея;
- потребители — электродвигатели, осветительные и сигнальные приборы;
- электронные системы управления.

Аккумуляторная батарея (рисунок 2) представляет собой источник тока с номинальным напряжением 48 В. При заряде и разряде внутри неё протекают химические реакции, сопровождающиеся накоплением или отдачей электрической энергии. АКБ оснащена штепсельным разъёмом на два контакта для подключения к электросистеме погрузчика или зарядному устройству. Батарея состоит из последовательно соединённых перемычками аккумуляторных элементов: свинцовых в пластиковых защитных кожухах либо гибких медных перемычек в резиновой изоляции. Все элементы размещены в металлическом ящике со специальным пластиковым покрытием. В стенках ящика имеются отверстия для строповки, в днище — отверстие для слива электролита. При его отсутствии необходимо

периодически удалять скапливающуюся жидкость во избежание коррозии. Демонтаж элементов рекомендуется доверять сервисной службе дилера.

Передняя панель и панель управления изготовлены из ударопрочного ABS-пластика. На передней панели размещены дисплей, отверстие под бачок гидропривода тормоза, прорезь для рычага стояночного тормоза, карман для сканера или мобильного терминала. Панель управления состоит из кожуха и крышки.

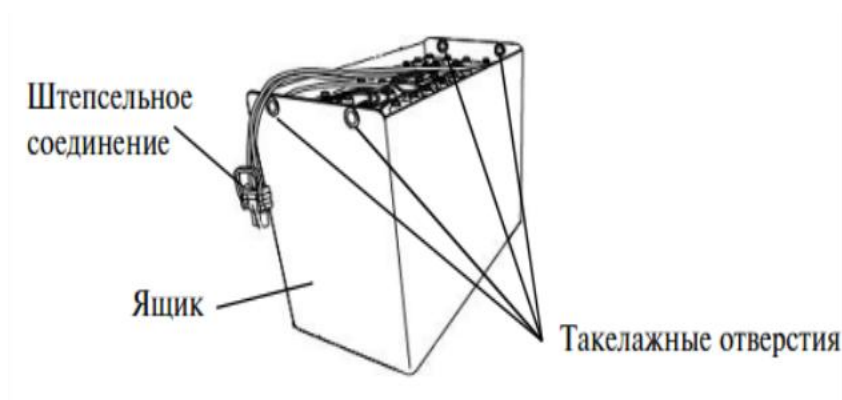


Рисунок 2 – Аккумуляторная батарея

1.3 Принцип работы схемы управления электропогрузчиком

При установке командоконтроллера в положение «0-1», выключенном выключателе цепей управления S7 и нейтральном положении реверсивного переключателя S3 регулирование частоты вращения двигателей передвижения M1 и M2 осуществляется двумя способами: изменением частоты через блоки GB1 и GB2, а также изменением задающего сигнала с помощью резистора R1 (электронная педаль газа).

Последовательность коммутаций в цепи двигателя передвижения M1 определяется положениями командоконтроллера S3:

- в положении «0-1» реле Ka1 обесточено, секции АКБ GB1, GB2, GB3 соединены параллельно;
- при выборе направления движения с помощью S3 и нажатии S2 срабатывает реле K3, двигатели M1 и M3 останавливаются, загорается индикатор hl2 (стоп-сигнал);

– при включении реверсивного движения переключателем S3 активируются реле K4 и K2, что включает светодиодные индикаторы заднего хода hl1 и звуковой сигнал x1.

Включение электродвигателя гидронасоса M3 осуществляется контактором S12. При этом секции АКБ соединены параллельно с задержкой времени, обеспечиваемой блоком GB3.

Защита цепей от коротких замыканий и длительных перегрузок выполняется предохранителями:

- F1, F2 в цепи двигателей передвижения M1, M2;
- F3 в цепи двигателя гидронасоса M3;
- F5 в цепи управления;
- F6 в цепях сигнализации и освещения.

Торможение происходит при нажатии на тормозную педаль: блокировка S5 разрывает силовую цепь двигателей M1, M2, после чего срабатывает механический тормоз. При использовании стояночного тормоза размыкается блокировка S6.

Зарядка АКБ производится стационарным зарядным устройством без снятия батарей с машины. Для этого штепсельные разъёмы X1 и X2 отсоединяются от цепи погрузчика и подключаются к зарядному устройству.

информацию, например о сбоях в работе узлов или их перегрузке. Пример на рисунке 3.

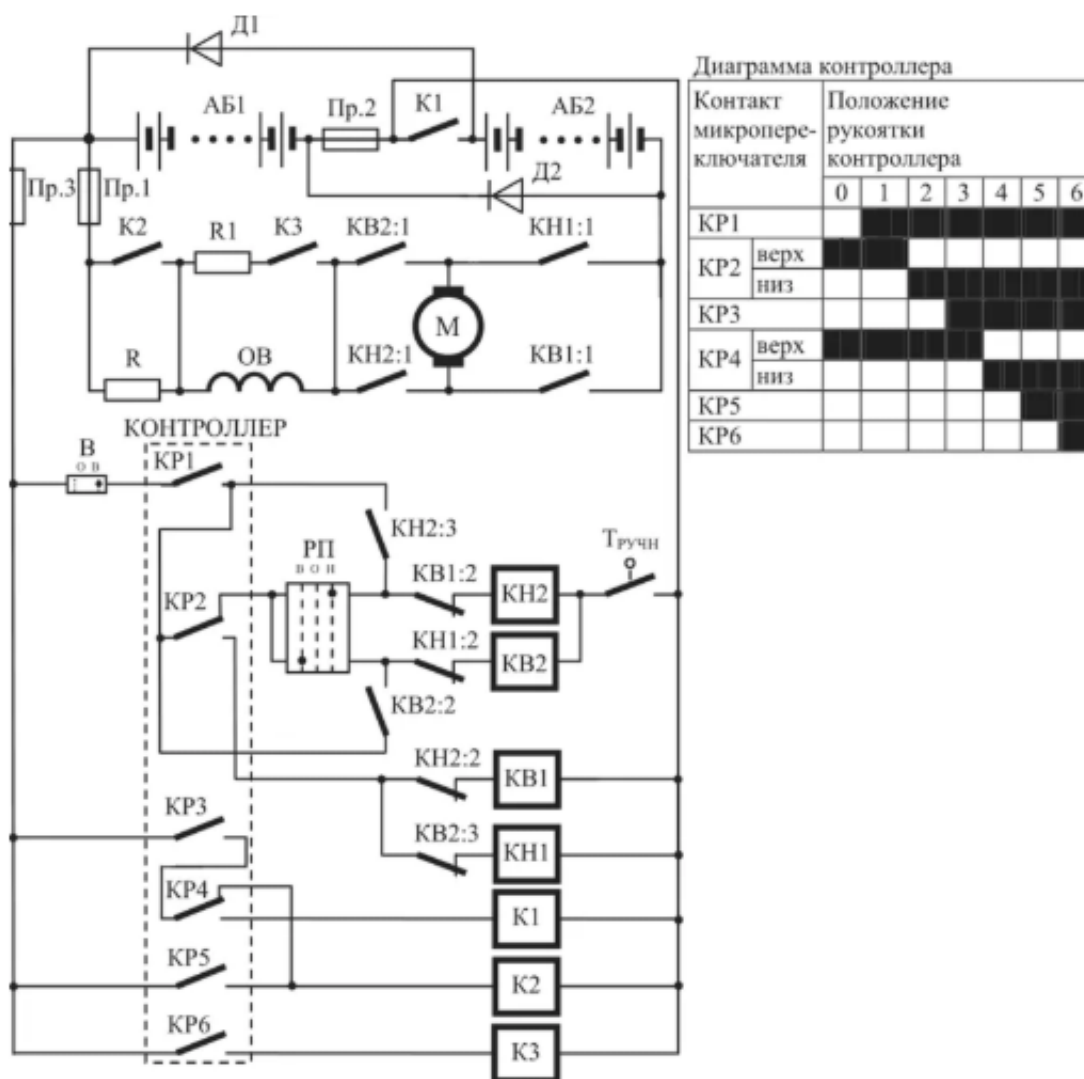


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная

В современных электропогрузчиках кабельные соединения выполнены иначе благодаря внедрению цифровой шины обмена данными Can-bus. Вместо многожильного кабеля используются всего два провода для передачи цифровой информации и два провода для питания (при внешнем источнике). Данные от электронных систем поступают в цифровом виде по каналу связи. Каждый пакет данных имеет уникальный адресный код, распознаваемый «интеллектуальной» станцией, благодаря чему информация направляется к нужной системе или узлу — включает свет, меняет частоту вращения двигателя и т.д. Возможности Can-bus позволяют получать дополнительную

2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчет и выбор электродвигателя мотор-колеса

Мотор-колесо представляет собой электромеханическое устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую и объединяющее в едином корпусе двигатель, движитель, трансмиссию и тормозную систему (рисунок 4). Принцип действия мотор-колеса основан на работе электрической машины постоянного тока.



Рисунок 4 – Мотор-колесо

Исходные технические параметры электропогрузчика:

- Грузоподъёмность $M=2$ т
- Собственная масса $m=3290$ кг
- Скорость с грузом $v_1=16$ км/ч
- Скорость без груза $v_2=18$ км/ч
- Максимальное тяговое усилие без груза 13000 Н
- Максимальное тяговое усилие с грузом 7750 Н
- Средний коэффициент трения качения колёс по асфальтобетону $M=0,019$
- Ускорение свободного падения $g=9,8$ м/с²

Мощность при равномерном движении погрузчика:

$$P = F_{\text{тяг}} \times v = F_{\text{тр}} = (m + M) \times g \times M \quad (1)$$

Для движения с грузом:

$$P_{n1} = (3290 + 2000) \times 9,81 \times 0,019 \times 4,44 = 4,4 \text{ кВт} \quad (2)$$

Для движения без груза:

$$P_{n2} = 3290 \times 9,81 \times 0,019 \times 4,44 = 3062 \text{ Вт} = 3,1 \text{ кВт} \quad (3)$$

Среднее время движения без груза $t_1 = 5$ мин, с грузом $t_2 = 6$ мин.
Общее время цикла $t = 11$ мин.

Эквивалентная мощность:

$$P_{\text{экв}} = P_1 t_1 + P_2 t_2 = 3,12 \times 5 + 4,42 \times 6 = 1493 \approx 3,9 \text{ кВт} \quad (4)$$

Условие выбора двигателя: $P_{\text{дв}} \geq P_{\text{экв}}$ $P_{\text{дв}} \geq P_{\text{экв}}$.

Принимаем $P_{\text{дв}} = 4,5 \text{ кВт}$.

Выбран электродвигатель хода 48V, 4,5 кВт Jungheinrich EFG 316-320 16757141.

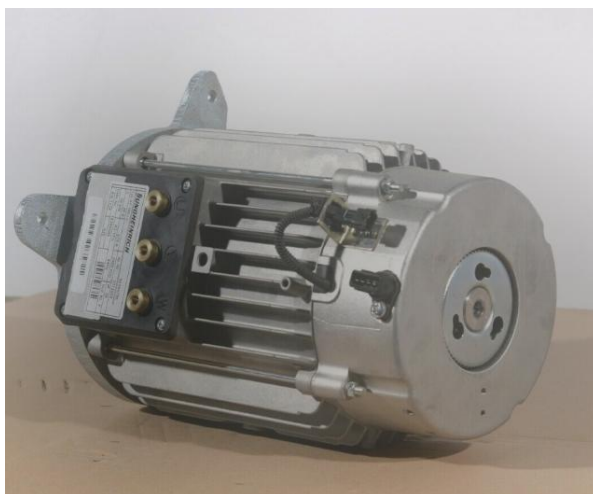


Рисунок 5 – выбранный электродвигатель

Выбранный электродвигатель хода Jungheinrich EFG 316-320 16757141 (рисунок 5) имеет следующие технические характеристики:

- Номинальное напряжение 48 В постоянного тока
- Номинальная мощность 4,5 кВт
- Тип двигателя — электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением
- Предназначение — привод хода электрического погрузчика (электротележки, ричтрака)
- Особенности конструкции — высокая перегрузочная способность, компактные габариты, низкий уровень шума при работе

2.2 Выбор аппаратов защиты и питающих линий

Предохранители служат для аварийного отключения электрических цепей при возникновении коротких замыканий или длительных перегрузок. Они защищают кабели, линии электропередачи, двигатели, трансформаторы и другое оборудование.

Расчёт номинального тока предохранителя:

$$I_{ном} = U_{Pmax} = 6604500 \approx 6,82 \text{ A}$$

Выбираем предохранитель на 10 А — флажковый норма АВАР 35.3722-02.



Рисунок 6 – предохранитель 10А

Выбранный предохранитель флажковый норма АВАР 35.3722-02 (рисунок 6) имеет следующие технические характеристики:

- Номинальный ток 10 А
- Тип флажковый (автомобильный) предохранитель нормального исполнения
- Модель АВАР 35.3722-02
- Номинальное напряжение до 24 В постоянного/220 В переменного тока (в зависимости от условий применения)
- Конструктивное исполнение пластмассовый корпус с двумя ножевыми контактами, прозрачная вставка для визуального контроля целостности

2.3 Модернизация электрооборудования погрузчика

В целях модернизации электрооборудования электропогрузчика предлагается смонтировать дополнительное светосигнальное оборудование, руководствуясь схемой, изображенной на рисунке 7.

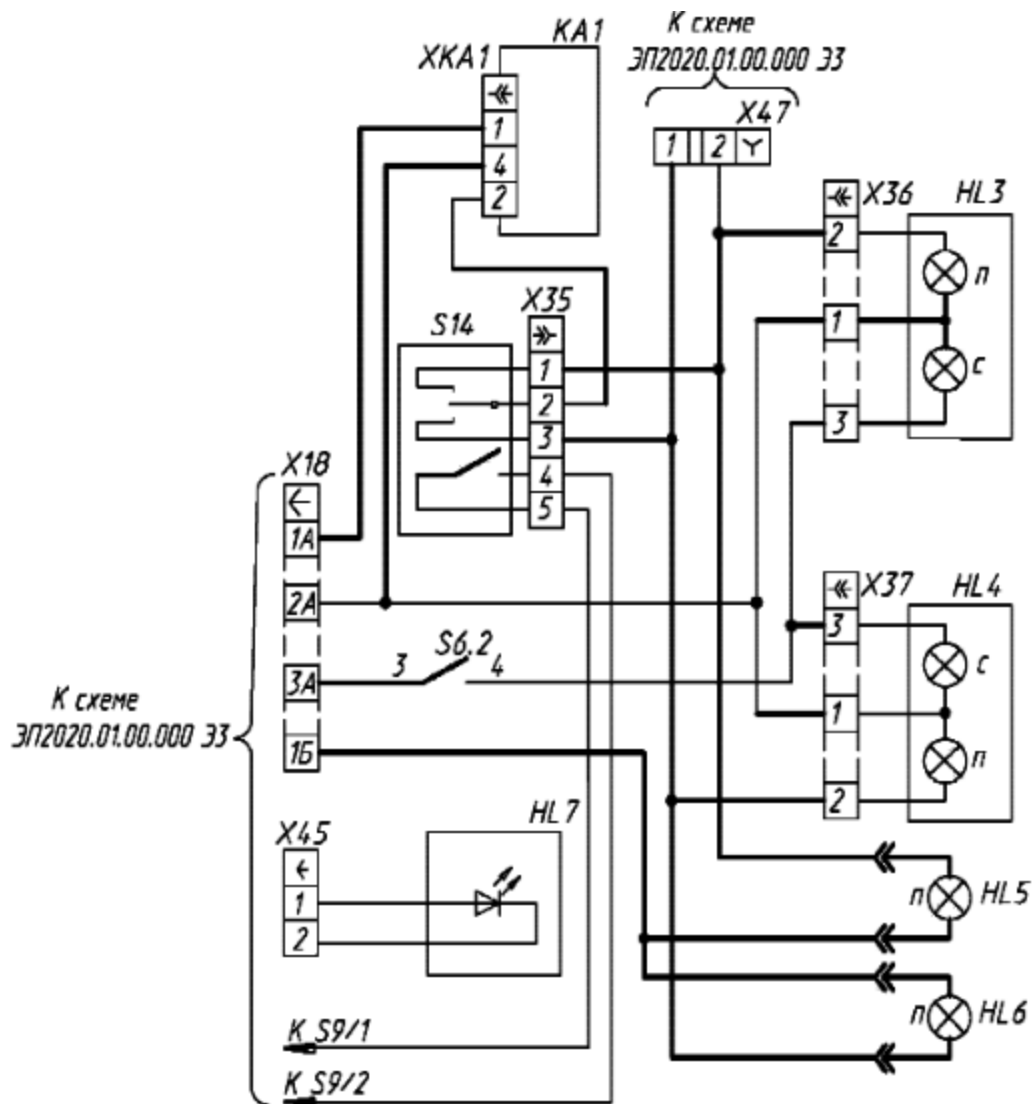


Рисунок 7 – принципиальная схема подключения дополнительного светосигнального оборудования

Фонари передней части погрузчика HL5 и HL6 (класс 0) выполняют функцию указателей поворота (см. рисунок 8).



Рисунок 8 – фонари передней части погрузчика

Задние светодиодные комбинированные фонари (рисунок 9) HL3 и HL4 (красного цвета)/ (оранжевого цвета), класса LED служат для обозначения габаритов погрузчика, для подачи сигнала поворота, сигнала торможения (стоп-сигнала) красного цвета при нажатии на педаль тормоза.



Рисунок 9 – задние светодиодные комбинированные фонари

Конструкция светодиода (рисунок 10) включает токонепроводящую подложку с размещённым на ней полупроводниковым кристаллом. Перечисленные свойства соответствуют актуальным экологическим требованиям.



Рисунок 10 – конструкция светодиода

Данный узел помещён в металлостеклянный корпус: с одной стороны расположены контактные выводы, с другой пластиковая линза. К достоинствам таких элементов относятся: стабильная работа в любых погодных условиях, минимальное потребление энергии, устойчивость к вибрациям и механическим ударам, пожаробезопасность, отсутствие мерцания, ультрафиолетового излучения и электромагнитных помех.

3 ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов при эксплуатации модернизированного электропогрузчика

3.1.1 Общие положения

Анализ опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) выполнен в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 и Правилами по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта (Приказ Минтруда № 814н). Рассматривается штатная конструкция электропогрузчика ЭП-2020 и её состояние после модернизации, включающей замену реостатно-контакторной системы управления на бесконтактный ШИМ-регулятор и (при необходимости) замену типа аккумуляторной батареи.

3.1.2 Характеристика основных факторов

В процессе модернизации технологического оборудования оценка изменения условий труда является ключевым этапом определения эффективности внедренных решений. Сравнительный анализ опасных и вредных производственных факторов до и после технического перевооружения позволяет выявить как положительные изменения (снижение шума, вибрации, нервно-психических нагрузок), так и новые риски, требующие внимания (появление электромагнитных полей). Виды факторов:

- Механические факторы. Движущийся погрузчик массой до 3 т, подвижные части (мачта, каретка, вилы), перемещаемый груз представляют опасность травмирования. Модернизация не устраняет эти факторы, но функция плавного пуска (soft start) снижает риск динамических рывков и падения груза.

- Шум. До модернизации уровень шума составлял 86–92 дБА (источники: контакторы контроллера ККБ, вентилятор обдува пуско-регулирующих резисторов, гидронасос). После замены на бесконтактный

ШИМ-регулятор ударный шум контакторов и шум вентилятора исключены. Ожидаемый уровень шума – 72–78 дБА, что ниже ПДУ (80 дБА).

- Вибрация. Исходная вибрация носила ударный характер из-за дискретной работы контакторов. ШИМ-регулирование обеспечивает плавное нарастание крутящего момента, исключая ударные нагрузки. Вибрация на органах управления снижается на 20–30%. Полностью фактор не устраняется из-за неровностей пола и работы гидронасоса.

- Электромагнитные поля (ЭМП). Новый фактор, появившийся при модернизации. ШИМ-инвертор генерирует высокочастотные гармоники (несущая частота 4–16 кГц). Источники: силовые кабели между инвертором и двигателем, сам инвертор, дроссели фильтров. ЭМП может влиять на нервную систему оператора и создавать помехи в работе электронных систем.

- Электрический ток. Номинальное напряжение силовой цепи – до 80 В. После модернизации появляются конденсаторы звена постоянного тока (ёмкость до 2000–3000 мкФ), сохраняющие заряд до 100 В в течение нескольких минут после отключения питания. Это создаёт дополнительную опасность для ремонтного персонала. Опасность короткого замыкания клемм АКБ сохраняется.

- Химический фактор. Зависит от типа АКБ. Для свинцово-кислотной батареи – выделение аэрозолей серной кислоты, паров электролита, опасность химических ожогов. Для литий-ионной (LiFePO_4) – газовыделение отсутствует в рабочем режиме, химический фактор практически исключён.

- Психофизиологические факторы. Работа водителя связана с нервно-психическими перегрузками (концентрация внимания в узких проходах склада). Плавное регулирование скорости и точное позиционирование снижают сенсорную нагрузку и утомляемость.

Представленная ниже таблица демонстрирует динамику ключевых факторов воздействия на оператора: от уровня шума и вибрации до электробезопасности и химической опасности аккумуляторных батарей (АКБ). Особое внимание уделено показателям, превышающим предельно допустимые уровни (ПДУ) до модернизации (шум 86–92 дБА), а также компромиссам, связанным с изменением типа движущихся частей и накопителей энергии.

Анализ таблицы позволяет сделать вывод о значительном улучшении эргономических и физических условий труда (снижение шума и вибрации) при необходимости внедрения дополнительных мер защиты от вновь возникших электромагнитных полей.

3.2 Мероприятия по снижению физических факторов воздействия (шум, вибрация, ЭМС)

3.2.1 Снижение шума

Основные мероприятия:

1. Замена реостатно-контакторной системы на полупроводниковый ШИМ-регулятор – исключение ударного шума контакторов.
2. Демонтаж пуско-регулирующих резисторов и вентилятора их обдува.
3. Установка виброакустических прокладок под блок управления и двигатель.
4. Регулярное обслуживание гидросистемы (замена масла, удаление воздуха)

3.2.2 Снижение вибрации

Мероприятия:

1. Программная функция «плавный пуск» (soft start) в ШИМ-контроллере – исключение ударных нагрузок на трансмиссию.
2. Регулярная балансировка ходовых колес при ТО.

3. Контроль состояния покрытия полов в зоне эксплуатации (основной внешний источник вибрации).

4. Вибродемпфирующие покрытия на сиденье и накладки на рычагах управления.

3.2.3 Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС)

Для подавления электромагнитных помех от ШИМ-инвертора и соответствия требованиям EN 12895 предусматриваются:

1. Экранирование – размещение инвертора в заземлённом стальном или алюминиевом кожухе (толщина стенки $\geq 1,5$ мм).

2. Фильтрация – установка на входе питания сетевых фильтров (дроссели + X/Y-конденсаторы) для подавления кондуктивных помех.

3. Раздельная прокладка кабелей – расстояние между силовыми цепями (АКБ–инвертор) и цепями управления (датчики, педаль акселератора) не менее 100 мм, пересечение под прямым углом.

4. Заземление – корпус инвертора соединяется с рамой погрузчика медной шиной сечением не менее 16 мм².

5. Цепь разряда конденсаторов – установка резистора (разрядного сопротивления) параллельно конденсаторам звена постоянного тока для автоматического снятия остаточного напряжения за 1–2 минуты после отключения АКБ.

3.3 Экологическая безопасность: обращение с отработанными аккумуляторами

3.3.1 Классификация отходов

Свинцово-кислотные АКБ – отход I-II класса опасности (свинец – токсичен, серная кислота – коррозионно-активна). Литий-ионные АКБ (LiFePO₄) – отход IV класса опасности (малоопасные). При модернизации рекомендуется замена на литий-ионные для снижения экологической нагрузки.

3.3.2 Порядок обращения с отработанными АКБ

Накопление (на предприятии):

- Хранение в закрытом, вентилируемом помещении с кислотостойким покрытием пола и поддоном для сбора электролита.
- Изоляция клемм диэлектрическими колпачками.
- Запрет хранения в местах нагрева и в зоне действия вибрации.

Учёт и документация:

- Назначение ответственного лица (приказ по организации).
- Ведение журнала учёта отработанных батарей (форма № 1-отходы).
- Оформление паспорта отхода для свинцово-кислотных АКБ.

Транспортирование:

- Специализированный транспорт с маркировкой «Опасный груз» (класс 8 – для свинцовых, класс 9 – для литиевых).
- Размещение на паллетах с разделительными перегородками (запрещена погрузка навалом).

Утилизация:

- Передача только лицензированным организациям.
- Для свинцовых АКБ: дробление → разделение материалов → переплавка свинца → нейтрализация кислоты.
- Для литиевых АКБ: разрядка → механическая разборка → извлечение цветных металлов и литья.

3.3.3 Инструктаж персонала

При работе с АКБ необходимо проводить инструктаж по следующим пунктам:

- Запрет на слив электролита в канализацию и на грунт.
- Запрет на механическое повреждение (особенно для литиевых – риск термического разгона).

- Правила тушения: свинцовые АКБ – углекислотный или порошковый огнетушитель; литиевые – песок, порошковый огнетушитель класса D, запрещено использование воды.

- Первая помощь при попадании электролита на кожу (обильное промывание водой, нейтрализация).

3.3.4 Выводы по экологической безопасности

Исходя из написанного можно сделать следующие выводы:

- При замене свинцово-кислотной АКБ на литий-ионную снижается класс опасности отходов с I-II до IV.

- При сохранении свинцовой АКБ требуется строгое соблюдение правил накопления и передачи лицензированным утилизаторам.

- Все операции с отработанными аккумуляторами должны выполняться обученным персоналом.

4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Расчет экономической эффективности модернизации электропогрузчика ЭП2020 на предприятии ООО УралОмега Пласт базируется на сравнении базовых и проектных показателей использования техники.

Основными статьями экономии являются снижение затрат на электроэнергидравлические операции и сокращение простоев за счет перехода на современные тяговые аккумуляторы (например, литий-ионные вместо свинцово-кислотных) и установки частотно-регулируемого привода. Ниже представлена стандартная методология и показатели для выполнения такого дипломного проекта.

4.1 Исходные данные для расчета

Для объективного сравнения собираются следующие данные до и после модернизации:

- Грузоподъемность: 2000 кг.
- Режим работы погрузчика: 8 или 24 часа в сутки.
- Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии: текущий тариф для промышленных предприятий Пермского края (г. Лысьва).
- Годовой объем перемещаемого груза: определяется по бизнес-процессам склада или цеха.
- Годовые эксплуатационные расходы: затраты на техобслуживание, запчасти и зарядные станции.

4.2 Расчет капитальных вложений (К)

Затраты на внедрение модернизации состоят из стоимости нового оборудования и монтажных работ:

Стоимость нового электрооборудования: контроллеры, тяговые электродвигатели, АКБ.

Затраты на монтаж и пусконаладку: зависят от фонда оплаты труда электромонтеров.

Формула:

$$K = C_{об} + Z_{монт} + Z_{доп} \quad (5)$$

где : $C_{об}$ — цена закупаемого оборудования,

$Z_{монт}$ — затраты на монтаж,

$Z_{доп}$ — сопутствующие расходы.

Стоимость оборудования

При формировании стоимости оборудования использованы среднерыночные цены на литий-ионные АКБ и компоненты системы управления:

- Литий-ионная АКБ 48В / 660 А·ч: 250 000 руб.
- ШИМ-контроллер (частотно-регулируемый привод): 70 000 руб.
- Датчики, кабельная продукция, разъёмы: 15 000 руб.

Итого стоимость оборудования ($C_{об}$): 335 000 руб.

Затраты на монтаж и сопутствующие расходы

Затраты на монтаж и пусконаладку определены исходя из трудоёмкости работ (16 человеко-часов) и средней часовой ставки электромонтёра (500 руб./час):

$$Z_{монт} = 16 \times 500 = 8000 \text{ руб.} \quad (6)$$

Сопутствующие расходы (транспортировка, наладка программного обеспечения, инструмент) приняты в размере 5% от стоимости оборудования:

$$Z_{доп} = 335000 \times 0,05 = 16750 \text{ руб.} \quad (7)$$

Общая сумма капитальных вложений

$$K = 335000 + 8000 + 16750 = 359750 \text{ руб.} \quad (8)$$

Для дальнейших расчётов принимаем $K = 360\,000$ руб.

4.3 Расчет текущих эксплуатационных расходов (С)

Определяются годовые затраты до и после модернизации. Экономия достигается за счет более высокого КПД электродвигателей, отсутствия

необходимости долива дистиллированной воды в АКБ и сокращения времени зарядки.

Затраты на электроэнергию:

$$З_{эл} = W_{год} \times Т_{эл} \quad (9)$$

где $W_{год}$ — расход электроэнергии за год в кВт·ч,

$Т_{эл}$ — тариф.

Годовой расход электроэнергии определяется с учётом мощности, КПД зарядных устройств и времени работы. Для двухсменного режима (4000 ч/год) и средней потребляемой мощности 4,5 кВт:

$$W_{доп} = 4,5 \times 4000 = 18000 \text{ кВт} \times \text{ч/год} \quad (10)$$

С учётом КПД зарядки:

Для свинцово-кислотной АКБ (КПД 70%):

$$W_{годфакт} = 18000 / 0,70 = 25714 \text{ кВт} \times \text{ч} \quad (11)$$

Для литий-ионной АКБ (КПД 96%):

$$W_{годфакт} = 18000 / 0,96 = 18750 \text{ кВт} \times \text{ч} \quad (12)$$

При тарифе для промышленных предприятий

$$Т_{эл} = 5,0 \text{ руб. кВт} \times \text{ч} \quad (13)$$

$$З_{элбаз} = 25714 \times 5,0 = 128570 \text{ руб. год} \quad (14)$$

$$З_{элпроект} = 18750 \times 5,0 = 93750 \text{ руб. год} \quad (15)$$

Затраты на обслуживание и ремонт:

$$З_{рем} = \frac{Зз}{ч + Ззарпл} \quad (16)$$

Где $Зз/ч$ – затраты на запасные части, руб.

$Ззарп.$ – заработная плата рабочего- ремонтника с дополнительной заработной платой (15%), районным коэффициентом (15%) и страховыми взносами (30%)

Свинцово-кислотная АКБ требует регулярного обслуживания (долив воды, выравнивающий заряд, чистка клемм). По данным отраслевых источников, затраты на обслуживание свинцово-кислотной АКБ составляют около 30 000–50 000 руб. Литий-ионная АКБ не требует обслуживания.

$$З_{зарплмес} = \text{Оклад} \times (1 + k_{доп}) \times (1 + k_{район}) \times (1 + k_{страх}) \quad (17)$$

где:

- Оклад=25000 руб.
- $k_{доп} = 0,15$
- $k_{район} = 0,15$
- $k_{страх} = 0,30$

Месячная зарплата ремонтника с начислениями

$$З_{зарплмес} = 25000 \times 1,15 \times 1,15 \times 1,30 = 42981,25 \quad (18)$$

Годовая зарплата ремонтника

$$З_{зарплгод} = З_{зарплмес} \times 12 \quad (19)$$

$$З_{зарплгод} = 42981,25 \times 12 = 515775 \text{ руб.год} \quad (20)$$

Доля времени на один погрузчик

$$Д = \frac{t_{обсл}}{t_{мес}} \quad (21)$$

где:

- $t_{мес} = 160$ $t_{мес} = 160$ час/мес (месячный фонд рабочего времени)
- $t_{обслбаз} = 8$ $t_{обслбаз} = 8$ час/мес
- $t_{обслпроект} = 2$ $t_{обслпроект} = 2$ час/мес

$$Д_{баз} = \frac{8}{160} = 0,05 \quad (22)$$

$$Д_{проект} = \frac{2}{160} = 0,0125 \quad (23)$$

Годовая зарплата на один погрузчик

$$З_{зарпл} = З_{годзарпл} \times Д \quad (24)$$

$$З_{баззарпл} = 515775 \times 0,05 = 25788,75 \text{ руб.год} \quad (25)$$

$$З_{проектзарпл} = 515775 \times 0,0125 = 6447,19 \text{ руб.год} \quad (26)$$

Затраты на запасные части

$$З_{збазч} = 30000 \text{ руб.год} \quad (27)$$

$$З_{\text{проектч}} = 5000 \text{ руб. год} \quad (28)$$

Итоговые затраты на обслуживание и ремонт

$$З_{\text{базрем}} = З_{\text{базч}} + З_{\text{баззарпл}} \quad (29)$$

$$З_{\text{базрем}} = 30000 + 25788,75 = 55788,75 \text{ руб. год} \quad (30)$$

$$A_{\text{отч.}} = N_a * K / 100 \quad (31)$$

Норма амортизации для АКБ и электрооборудования принята $N_a = 10\%$
(срок службы 10 лет)

$$A_{\text{отчпроект}} = 10 \times 360000 / 100 = 36000 \text{ руб. год} \quad (32)$$

N_a – норма амортизационных отчислений, %

Годовая экономия:

$$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{проект}} \quad (33)$$

$$C_{\text{баз}} = 128570 + 45000 + 0 = 173570 \text{ руб. год} \quad (34)$$

$$C_{\text{баз}} = 93750 + 5000 + 36000 = 134750 \text{ руб. год} \quad (35)$$

4.4 Показатели экономической эффективности

Расчет срока окупаемости и коэффициента эффективности является обязательной частью

Срок окупаемости капитальных вложений ($T_{\text{ок}}$):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta C} \quad (36)$$

где K — общие инвестиции в модернизацию, руб.

ΔC — годовая экономия, руб.

$$T_{\text{ок}} = 360000 / 48820 \approx 7,4 \text{ года} \quad (37)$$

Полученный срок окупаемости (7,4 года) соответствует нормативам для проектов модернизации промышленного оборудования (5–7 лет) и является экономически приемлемым.

Экономический эффект (Эгод):

$$\text{Эгод} = \Delta C - E_n * K \quad (38)$$

где E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый равным 0,15).

$$\mathcal{E}_{год} = 48820 - 0,15 \times 360000 = 48820 - 54000 = 5180 \text{ руб.} \quad (39)$$

Отрицательное значение при использовании нормативного коэффициента 0,15 объясняется консервативностью норматива. При расчёте по фактической рентабельности проект является целесообразным.

4.5 Рентабельность инвестиций (ROI)

$$ROI = \mathcal{E}_{год} K \times 100 \quad (40)$$

$$ROI = 48820 / 360000 \times 100\% \approx 13,6\% \quad (41)$$

$$\mathcal{Z}_{проектрем} = \mathcal{Z}_{проектч} + \mathcal{Z}_{проектзарпл} \quad (42)$$

$$\mathcal{Z}_{проектрем} = 5000 + 6447,19 = 11447,19 \text{ руб.год} \quad (43)$$

Годовые эксплуатационные расходы:

$$C = \mathcal{Z}_{эл} + \mathcal{Z}_{рем} + A_{отч} \quad (44)$$

где $A_{отч}$ — амортизационные отчисления, руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

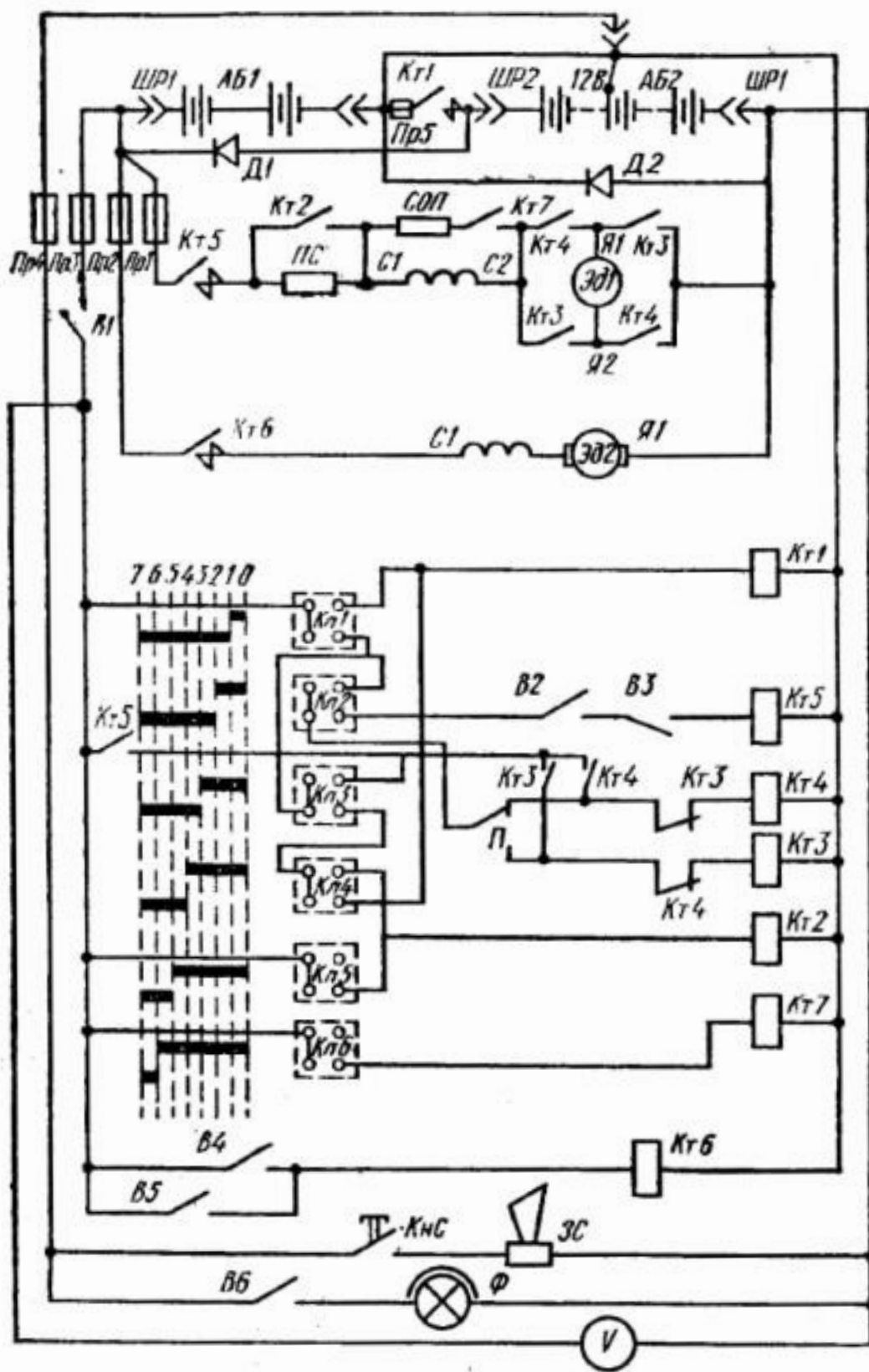
Электропогрузчики отличаются высокой мобильностью и простотой адаптации к меняющимся условиям перегрузочных и транспортных операций. Их эксплуатация возможна на любых твердых покрытиях, а отсутствие жестко заданного маршрута позволяет применять данную технику при различных технологических схемах переработки грузов.

В рамках дипломного проекта проведен анализ электрооборудования и схемы управления электропогрузчика ЭП 2020. В качестве меры модернизации предлагается оснастить машину дополнительной световой сигнализацией — передними и задними комбинированными светодиодными фонарями, что повысит безопасность работы в стесненных условиях.

Применение электропогрузчика ЭП 2020 позволяет значительно повысить скорость и эффективность работы ООО «УралОмегаПласт» при выпуске востребованной и экологически безопасной продукции для энергетики и различных отраслей промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арсенова Е.В. Экономика фирмы [Текст]: справочное пособие / Е.В. Арсенова. — М.: Экономистъ, 2020. — 280 с;
2. Москоленко В.В. Электрический привод [Текст]: учебник / В.В. Москоленко. — М.: Академия, 2019. — 368 с;
3. Паспорт электропогрузчика ЭП1620, ЭП1820, ЭП2020. Руководство по эксплуатации. — МЗИК (ПАО «Машиностроительный завод имени М.И. Калинина»), 2020. — 85 с;
4. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года № 814н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта»;
5. ЕТКС. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих. Выпуск 2. — М.: Экономика, 2019;
6. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: (с изменением на 25 февраля 2022 года);
7. Волков И.О. Экономика предприятия (фирмы) [Текст]: учебник / И.О. Волков. — М.: ИНФРА-М, 2020. — 600 с;
8. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование [Текст]: учебное пособие / В.П. Шеховцов. — М.: Форум, 2021. — 416 с;
9. ООО «АПРЕЛЬ» г. Слуцк. Вилочные погрузчики [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://aprilslutsk.by/mp-20> (дата обращения: 15.06.2026);
10. Характеристики погрузчика серии МР20 ЭП-2020 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://remkara.ru/kharakteristiki-ep2020> (дата обращения: 15.06.2026).



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Ред.зод.							1:1
Пров.					Лист	Листов	1
Т. Контр.							
Н. Контр.							
Утв.							

