

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор Морского колледжа



М.М. Майстришин

2024 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

МДК.01.01, Раздел 4. Эксплуатация, техническое обслуживание и
ремонт судовых электрических приводов

специальность

26.02.06

Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики

уровень среднего
профессионального образования

Специалист среднего звена

квалификация

Техник-электромеханик

Год приема

2024

Севастополь
2024

1 Общие вопросы курсового проекта

1.1 Подготовительная работа

Грузоподъемные механизмы (ГПМ) общего назначения на современных судах широко применяются для переработки различных грузов. Наибольшее распространение получили грузовые лебедки и краны.

По исполнению механической части грузовые лебедки и механизмы подъема крана могут иметь червячный или цилиндрический редуктор. Наибольшее распространение получили грузовые устройства с цилиндрическим редуктором, который по сравнению с червячным обеспечивает более высокий КПД механизма.

В данном курсовом проекте рассчитывается электрический привод грузоподъемного устройства на переменном токе.

Прежде чем начать работу по проектированию необходимо повторить соответствующие разделы судового электропривода, теории электропривода в части расчета мощности, выбора и проверке электродвигателей, электрических машин и аппаратуры управления.

Обучающийся должен ознакомиться с кинематической схемой грузоподъемного механизма. Знакомство можно провести по приведенным ниже литературным источникам и во время прохождения практики.

Курсовой проект рассчитан на (80...100) часов самостоятельной работы.

Тематику курсовых работ устанавливает цикловая комиссия электромеханических дисциплин.

1.2 План выполнения курсового проекта

Курсовой проект рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- на основании заданного варианта выбрать из Регистровой книги судно-

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					Лист
										3

структорской документации (ЕСКД), способом компьютерной верстки.

Основной шрифт – Times New Roman, размером 14 pt, через 1,5 интервала. В таблицах допускается применять размер шрифта меньший, чем в тексте, с одинарным междустрочным интервалом и без абзацного отступа.

Поля документа следует оформлять: левое – 0,94 см., переплет – 1,66 см; правое – 0,94 см.; верхнее – 1,2 см; нижнее – 3,38 см. Расстояние до верхнего колонтитула – 0,63 см, до нижнего – 2,4 см.

Примечание – Поля в электронных шаблонах текстовых документов, на которых рекомендуется выполнять пояснительную записку отформатированы в соответствии с требованиями ЕСКД.

Абзацы в тексте начинаются отступом, равным 1,25 см – установка по умолчанию в «Microsoft Word».

Для исключения чрезмерно больших пробелов между словами рекомендуется устанавливать автоматическую расстановку переносов при настройке программы Microsoft Word.

Основная часть пояснительной записки должна включать в себя следующие разделы:

1 Общий раздел. Состоит из следующих подразделов:

1.1 Краткая характеристика и тактико-технические характеристики судна

В этом подразделе необходимо описать назначение, особенности устройства и эксплуатации судна-прототипа, для которого проектируется электропривод, привести краткие сведения о судовой электроэнергетической системе судна и основные его тактико-технические характеристики. Тактико-технические данные берутся из Регистровой книги судов.

1.2 Назначение, классификация и устройство проектируемого электропривода

В этом подразделе необходимо указать назначение, условия эксплуатации и основные элементы проектируемого электропривода.

1.3 Требования нормативных документов и Правил Регистра к проектируе-

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Основная часть пояснительной записки должна включать в себя следующие разделы:	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист
						5

мому электроприводу

Обучающиеся должны изучить Правила Морского Регистра, других нормативных документов (ГОСТов) в отношении проектируемого электропривода.

1.4 Выбор и обоснование основных параметров электропривода

На основании подраздела 1.3 необходимо обосновать выбор рода тока, типа электродвигателя и т.п.

2 Расчетный раздел

На основании проведенных расчётов необходимо выбрать электродвигатель и проверить его на выполнение требований ГОСТов и Правил Регистра.

3 Технологический раздел

В этом разделе дается обоснование выбора электрической принципиальной схемы (ЭЗ) и описывается ее работа. В соответствии с заданием на курсовой проект в раздел также могут включаться вопросы выбора питающего кабеля, коммутационной и защитной аппаратуры и т.п., а также вопросы технической эксплуатации устройства, техники безопасности, охраны окружающей среды и т.п.

В пояснительной записке приводится список использованной литературы и прилагаются необходимые приложения.

Графическая часть курсового проекта выполняется на двух листах:

Лист 1 – Электропривод устройства. Чертеж общего вида. Формат А1;

Лист 2 – Электропривод устройства. Схема электрическая принципиальная. Формат А1.

Схема должна включать Перечень элементов. Если поле чертежа не позволяет разместить его на листе графической части, то допускается выполнить его отдельным документом и поместить в приложении к пояснительной записке.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					Лист
										6

2 Расчетный раздел

2.1 Предварительный выбор электродвигателя

При выборе электродвигателя исходят из следующих соображений.

Высокая производительность грузоподъемных устройств достигается применением ЭД с большим диапазоном изменения скоростей и уменьшенным временем переходных процессов при пусках и торможениях. Сокращение пускового времени достигается благодаря увеличенным пусковым моментам, уменьшению моментов инерции и использованию ЭД со сравнительно небольшой частотой вращения. В ЭП переменного тока повышенный пусковой момент обеспечивается применением АД с повышенным скольжением серии МАП для повторно-кратковременного режима работы.

Предварительный выбор двигателя производят в следующем порядке.

На основании заданных параметров механизма (таблица 1) определяют статическую мощность подъема номинального груза, по которой производят предварительный выбор исполнительного двигателя.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Наименование параметров		Значения
1. Номинальная грузоподъемность, m_n , т		
2. Масса холостого гака, m_0 , кг		
3. Расчетный диаметр грузового барабана, D_6 м		
4. Передаточное число, i		
5. КПД лебедки при работе с номинальным грузом, η , %		
6. Скорость подъема номинального груза, v , м/мин		
7. Скорость посадочная, $v_{\text{пос}}$, м/мин		
8. Высота подъема груза, h , м		
9 Число циклов в час, Z		
10. Напряжение судовой сети, U , В		

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Изм					Лист	
7					7	

МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ

2.1.1 Момент на валу электродвигателя при подъеме номинального груза $M_{1ст}$, Нм

$$M_{1ст} = \frac{(G_n + G_0) \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot \eta} \quad (1)$$

где $G_n = 9,81 \cdot m_n$ и $G_0 = 9,81 \cdot m_0$ – вес номинального груза и вес холостого гака соответственно, Н.

2.1.2 Момент на валу электродвигателя при спуске номинального груза $M_{2ст}$, Нм

$$M_{2ст} = \frac{(G_n + G_0) \cdot D_6}{2 \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta}\right) \quad (2)$$

Спуск груза происходит при тормозном режиме работы ЭД, поэтому знак момента принимают отрицательным.

2.1.3 Скорость вращения электродвигателя на быстроходной обмотке, необходимая для обеспечения заданной скорости подъема номинального груза, ω , рад/с

$$\omega = \frac{v \cdot i}{30 \cdot D_6} \quad (3)$$

или частота вращения, n , об/мин

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (4)$$

2.1.4 Скорость вращения двигателя на тихоходной обмотке, необходимая для обеспечения посадочной скорости груза, $\omega_{пос}$, рад/с

$$\omega_{пос} = \frac{v_{пос} \cdot i}{30 \cdot D_6} \quad (5)$$

или частота вращения $n_{пос}$, об/мин

$$n_{пос} = \frac{30 \cdot \omega_{пос}}{\pi} \quad (6)$$

2.1.5 Мощность двигателя при подъеме номинального груза на быстроходной обмотке, $P_{1ст}$, кВт

Инв. № подл.	Подп. и дата				МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист		
	Инв. № дубл.					8		
	Взам. инв. №							
Подп. и дата				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$P_{\text{лст}} = M_{\text{лст}} \cdot \omega \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

2.1.6 Мощность двигателя при посадке груза на тихоходной обмотке, , кВт

$$P_{\text{пос}} = M_{2\text{ст}} \cdot \omega_{\text{пос}} \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

На основании полученных данных из [15, §2.7], или из таблиц Приложения А, выбирается электродвигатель для повторно-кратковременного режима серии МАП (100... 700) и записываются все его параметры:

- тип двигателя;
- число полюсов, $2p$;
- номинальная мощность, P_n , кВт ;
- напряжение, U_n , В;
- режим работы (ПВ процент);
- номинальная частота вращения, n_n , об/мин;
- ток статора номинальный, пусковой и максимальный, А;
- моменты пусковой и максимальный, Нм;
- коэффициент мощности, $\cos \varphi$;
- коэффициент полезного действия, η_n , процент;
- момент инерции, $J_{\text{дв}}$, кг·м²;
- климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 и степень защиты в со-

ответствии с требованиями ГОСТ 14254-96.

При этом для грузовых лебедок, работающих в напряженном режиме, обычно выбирают двигатели с ПВ = 40 %, а для менее напряженного режима – с ПВ = 25 %.

Данные рекомендуется свести в таблицу.

К выбранному двигателю ГОСТ 12617-78 [5] предъявляет следующие требования:

Номинальный момент двигателя на обмотке максимальной скорости должен быть не менее статического момента при подъеме номинального груза.

Электродвигатель должен развивать на всех обмотках, кроме обмотки

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 9
	Взам. инв. №				
	Инв. № дубл.				
	Подп. и дата				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ

наименьшей скорости, расчетный пусковой момент (при номинальном напряжении), равный 1,5 – 2,5 момента, соответствующего номинальному тяговому усилию на барабане лебедки. На обмотке наименьшей скорости расчетный пусковой момент (при номинальном напряжении) должен быть не менее 1,3 номинального момента электродвигателя. Эти условия записываются в виде неравенств

$$\begin{aligned}
 M_{\text{н}} &= \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{н}}} \geq M_{\text{1ст}} \\
 M_{\text{п.высш}} &\geq (1,3 \div 2,5) \cdot \frac{M_{\text{1ст}}}{\eta} \\
 M_{\text{п.низш}} &\geq 1,3 \cdot M_{\text{н.низш}}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

2.2 Расчет и построение характеристик выбранного двигателя

Расчёт построение характеристик проводится для высшей и низшей рабочих скоростей электродвигателя. Характеристику для средней скорости трехскоростного двигателя можно не строить, так как она является промежуточной. Расчет проводится в следующей последовательности:

2.2.1 Номинальный момент двигателя, $M_{\text{н}}$, Н

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{н}}}
 \tag{10}$$

2.2.2 Синхронная частота вращения, $\omega_{\text{с}}$, рад/с

$$\omega_{\text{с}} = \frac{2\pi f}{p}
 \tag{11}$$

$f = 50$ Гц - частота тока,

2.2.3 Номинальная частота вращения, $\omega_{\text{н}}$, рад/с,

$$\omega_{\text{н}} = 0,105 \cdot n_{\text{н}}
 \tag{12}$$

2.2.4 Номинальное скольжение, $s_{\text{н}}$

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_{\text{с}} - \omega_{\text{н}}}{\omega_{\text{с}}}
 \tag{13}$$

2.2.5 Критическое скольжение, $s_{\text{кр}}$

$$s_{кр} = s_n (k_m + \sqrt{k_m^2 - 1}) \quad (14)$$

где $k_m = \frac{M_{max}}{M_n}$ – кратность максимального момента.

2.2.6 Ток холостого хода электродвигателя, I_0 , А,

$$I_0 = I_n (\sin \varphi - \frac{s_n}{s_{кр}} \cdot \cos \varphi) \quad (15)$$

где $\sin \varphi$ – соответствует номинальному значению $\cos \varphi$ для соответствующей обмотки.

2.2.7 Задаваясь значениями скольжения от $s=0$ до $s=1$ рассчитывают соответствующие скорости двигателя по принятым значениям, ω , рад/с, по зависимостям (16) – (19). Обязательно рассчитываются параметры для номинального и критического скольжений

$$\omega = \omega_c (1 - s) \quad (16)$$

2.2.8 Рассчитывают момент электродвигателя, M , Н·м, по принятым значениям скольжения,

$$M = \frac{2 \cdot M_{max}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} \quad (17)$$

Для скольжений больше критического расчет ведётся по уточненной формуле Клосса-Чекунова (18)

$$M = \sqrt{M_n^2 + \frac{0,93M_{max}^2 - M_n^2}{(1 - 1,3s_{кр})^2} (1 - s)^2} \quad (18)$$

2.2.9 Для принятых значений скольжения рассчитывают ток статора, I , А,

$$I = \sqrt{(I_n^2 - I_0^2) \frac{sM}{s_n M_n} + I_0^2} \quad (19)$$

Рассчитанные данные сводятся в таблицу предлагаемой формы (таблица 2)

По данным таблицы 2 строят механическую и электромеханическую характеристики, приведенные в Приложении Б.

Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подп. и дата				
Изм Лист № докум. Подп. Дата МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ Лист 11					

Таблица 2 – Данные для построения характеристик электродвигателя

Скольжение, s	Угловая скорость, ω , рад/с	Частота вращения, n , об/мин	Момент, M , Н·м	Ток, I , А
Значения параметров для $2p = \underline{\hspace{2cm}}$				
0,00				
0,05				
s_n				
0,1				
0,2				
$s_{кр}$				
0,5				
0,7				
и т.д.				
1,0				

2.3 Построение нагрузочной диаграммы

2.3.1 Подъём номинального груза

2.3.1.1 По характеристикам двигателя, построенным для высшей скорости, для рассчитанного в п. 2.1.1 значения статического момента $M_{1ст}$ определяются соответствующие значения угловой скорости ω_1 , рад/с, и тока статора, I_1 , А.

2.3.1.2 Приведенный к валу двигателя момент инерции электропривода при подъёме груза, $J_{пр}$, кг м²

$$J_{пр} = kJ_{дв} + (m_n + m_o) \cdot \left(\frac{v}{60 \cdot \omega_n} \right)^2 \quad (20)$$

где $k = 1,1 \div 1,3$ – коэффициент, учитывающий инерционность передачи и барабана.

2.3.1.3 Динамический момент при разгоне $M_{1дин}$, Нм

$$M_{1дин} = M_{п} - M_{1ст} \quad (21)$$

2.3.1.4 Время разгона, $t_{1п}$, с

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист
						12

$$t_{1п} = J_{пр} \frac{\omega_1}{M_{1д}} \quad (22)$$

2.3.1.5 Расчетный тормозной момент, $M_{т.расч}$, Н м

$$M_{т.расч} = \frac{P_{н} \cdot \eta_{н}^2}{\omega_{н}} \quad (23)$$

2.3.1.6 Тормозной момент $M_{т}$, Н м

$$M_{т} = k \cdot M_{т.р} \quad (24)$$

где k – коэффициент запаса, выбирается в пределах 1,5 – 2,0.

2.3.1.7 Постоянные потери в электродвигателе, ΔP , кВт

$$\Delta P = \frac{P_{н}}{2} \left(\frac{1}{\eta_{н}} - 1 \right) \quad (25)$$

2.3.1.8 Тормозной момент, обусловленный постоянными потерями в электродвигателе, $M_{т.дв}$, Н м

$$M_{т.дв} = \frac{\Delta P}{\omega_1} \quad (26)$$

2.3.1.9 Суммарный тормозной момент, $M_{1т}$, Н м

$$M_{1т} = M_{1ст} + M_{т} + M_{т.дв} \quad (27)$$

2.3.1.10 Время остановки поднимаемого груза при отключении электродвигателя $t_{1т}$, с

$$t_{1т} = J_{пр} \frac{\omega_1}{M_{1т}} \quad (28)$$

2.3.1.11 Установившаяся скорость при подъёме груза, V_1 , м/мин

$$v_1 = \frac{30 D_6 \omega_1}{i} \quad (29)$$

2.3.1.12 Путь пройденный грузом при разгоне и торможении, H_1 , м

$$h_1 = \frac{v_1}{2} (t_{1п} + t_{1т}) \quad (30)$$

2.3.1.13 Время подъёма груза при установившемся режиме, $t_{1y,c}$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист						
	Инв. № дубл.										13						
	Взам. инв. №																
	Подп. и дата																

$$t_{1y} = \frac{h - h_1}{v_1} \quad (31)$$

2.3.2 Тормозной спуск груза

2.3.2.1 Спуск номинального груза производится на низшей скорости. Статический момент, действующий на вал двигателя при подъеме, M_{2ct} , определен в п. 2.1.2. По характеристикам электродвигателя для низшей скорости определяют соответствующие моменту M_{2ct} угловая скорость и ток: ω_2 , рад/с; I_2 , А.

2.3.2.2 Поскольку в пределах допустимых нагрузок механическую характеристику для генераторного и двигательного режимов можно представить одной линией, скорость рекуперативного торможения, ω_2 , рад/с, можно определить по формуле (32)

$$\omega_2 = 2\omega_{cm} - \omega_{2m} \quad (32)$$

2.3.2.3 Время разгона двигателя при опускании груза, $t_{2п}$, с, с включённым двигателем

$$t_{2п} = J_{пр} \frac{\omega_2}{M_{п} + M_{2ct}} \quad (33)$$

2.3.2.4 Тормозной момент при остановке, $M_{2т}$, Н м

$$M_{2т} = M_{т} + M_{т.дв} - M_{2ct} \quad (34)$$

2.3.2.5 Время остановки опускаемого груза, $t_{2т}$, с

$$t_{2т} = J_{пр} \frac{\omega_2}{M_{2т}} \quad (35)$$

2.3.2.6 Скорость опускаемого груза, v_2 , м/мин

$$v_2 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_2}{i} \quad (36)$$

2.3.2.8 Путь, пройденный грузом при разгоне и торможении, H_2 , м

$$h_2 = \frac{v_2}{2}(t_{2п} + t_{2т}) \quad (37)$$

2.3.2.9 Время опускания груза при установившемся режиме t_{2y} , с

Инв. № подл.	Подп. и дата				МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					Лист					
	Инв. № дубл.									14					
	Взам. инв. №														
	Подп. и дата														
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата											

$$t_{2y} = \frac{h - h_2}{v_2} \quad (38)$$

2.3.3 Подъем холостого гака

Подъем холостого гака осуществляется на высшей скорости.

2.3.3.1 Момент на валу электродвигателя при подъёме холостого гака, $M_{3ст}$,

Н·м

$$M_{3ст} = \frac{G_0 \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot \eta_0} \quad (39)$$

где η_0 – КПД при $G_0 / G_n = 0,6 / 29,4 = 0,02$, определяется по [18], или по графику, приведенному на рисунке В.1 Приложения В.

2.3.3.2 По характеристикам двигателя определяются угловая скорость ω_3 , рад/с, и ток, I_3 , А, соответствующие моменту $M_{3ст}$.

2.3.3.3 Приведенный к валу двигательный момент инерции электропривода, $J_{0пр}$, кг м², без груза

$$J_{0пр} = kJ_{дв} \quad (40)$$

где k – коэффициент, учитывающий инерционность передачи и барабана, принят в п. 2.3.1.2.

2.3.3.4 Время разгона при подъёме холостого гака, $t_{3п}$, с

$$t_{3п} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_3}{M_{п} - M_{3ст}} \quad (41)$$

2.3.3.5 Тормозной момент при отключении двигателя в конце подъёма гака, $M_{3т}$, Н м

$$M_{3т} = M_{3ст} + M_{т} + M_{т.дв} \quad (42)$$

2.3.3.6 Время остановки поднимаемого гака $t_{3т}$, с

$$t_{3т} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_3}{M_{3т}} \quad (43)$$

2.3.3.7 Скорость подъёма холостого гака, V_3 , м/мин

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
					МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ				Лист
									15

$$v_3 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_3}{i} \quad (44)$$

2.3.3.8 Путь, пройденный гаком при разгоне и торможении, H_3 , м

$$h_3 = \frac{v_3}{2} \cdot (t_{3п} + t_{3т}) \quad (45)$$

2.3.3.9 Время установившегося режима при подъёме холостого гака $t_{3у}$, с

$$t_{3у} = \frac{h - h_3}{v_3} \quad (46)$$

2.3.4 Силовой пуск холостого гака

Силовой спуск холостого гака производится на высшей скорости.

2.3.4.1 Момент на валу электродвигателя при опускании холостого гака,

$M_{4ст}$, Н м

$$M_{4ст} = \frac{G_0 \cdot D_6}{2 \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_0} \right) \quad (47)$$

Как правило, момент на валу при опускании холостого гака получается отрицательным (со знаком «минус»), что свидетельствует о том, что действующего момента недостаточно для преодоления потерь в передаче и груз под действием только этого момента опускаться не будет. Поэтому для опускания груза двигатель должен работать в двигательном режиме с моментом равным $M_{4ст}$. На нагрузочной диаграмме этот момент отобразится в положительном направлении.

2.3.4.2 По характеристикам двигателя для высшей скорости определяются угловая скорость и ток, соответствующие моменту $M_{4ст}$: ω_4 , рад/с; I_4 , А.

2.3.4.3 Время разгона при опускании холостого гака, $t_{4п}$, с

$$t_{4п} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_4}{M_{п} - M_{4ст}} \quad (48)$$

2.3.4.4 Тормозной момент при отключении двигателя, $M_{4т}$, Н м

$$M_{4т} = M_{4ст} + M_{т} + M_{т,дв} \quad (49)$$

в эту формулу момент $M_{4ст}$ подставляется с положительным знаком, так как для

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					Лист
										16

рассматриваемого режима он является тормозным.

2.3.4.5 Время остановки опускаемого гака, $t_{4т}$, с

$$t_{4т} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_4}{M_{4т}} \quad (50)$$

2.3.4.6 Скорость опускания холостого гака, V_4 , м/мин

$$v_4 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_4}{i} \quad (51)$$

2.3.4.7 Путь, пройденный гакom при разгоне и торможении, H_4 , м

$$h_4 = \frac{v_4}{2} (t_{4п} + t_{4т}) \quad (52)$$

2.3.4.8 Время установившегося движения при опускании холостого гака, $t_{4у}$, с

$$t_{4у} = \frac{h - h_4}{v_4} \quad (53)$$

Расчетные данные пункта 2.3 сводятся в таблицу 3, предлагаемой формы, пользуясь которой строят нагрузочные диаграммы, рисунки Г.1 и Г.2, Приложение Г.

Таблица 3 - Данные для построения нагрузочной диаграммы

Режим работы	Ток, I, А		Время, t, с		Момент, M, Нм	
1. Подъем номинального груза	-	-	-	-	$M_{1ст}$	
- разгон	$I_{п}$		$t_{1п}$		$M_{1п}$	
- установившийся режим	I_1		$t_{1у}$		-	
- торможение	-	-	$t_{1т}$		$M_{1т}$	
2. Горизонтальное перемещение	-	-	t_{01}		-	-
3. Тормозной спуск груза	-	-	-	-	$M_{2ст}$	
- разгон	$I_{п}$		$t_{2п}$		$M_{2п}$	
- установившийся режим	I_2		$t_{2у}$		-	-
- торможение	-	-	$t_{2т}$		$M_{2т}$	
4. Расстроповка груза	-	-	t_{02}		-	
5. Подъем холостого гака	-	-	-		$M_{3ст}$	
- разгон	$I_{п}$		$t_{3п}$		$M_{3п}$	
- установившийся режим	I_3		$t_{3у}$		-	-

Инв. № подл.	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ Лист 17

Режим работы	Ток, I , А		Время, t , с		Момент, M , Нм	
- торможение	-	-	$t_{3т}$		$M_{3т}$	
6. Горизонтальное перемещение гака	-	-	t_{03}		-	-
7. Силовой спуск холостого гака	-	-	-	-	$M_{4ст}$	
- разгон	$I_{п}$		$t_{4п}$		$M_{4п}$	
- установившийся режим	I_4		$t_{4у}$		-	-
- торможение	-	-	$t_{4т}$		$M_{4т}$	
8. Застроповка груза	-	-	t_{04}		-	-

2.4 Проверка электродвигателя на обеспечение заданной производительности лебедки

2.4.1 Полная продолжительность цикла, T , с

$$T = \sum t_{\text{раб}} + \sum t_0 \quad (54)$$

где $\sum t_{\text{раб}}$ – рабочее время; $\sum t_0$ – время, когда лебедка не работает.

$$\sum t_{\text{раб}} = t_{1п} + t_{1уп} + t_{2п} + t_{1у} + t_{3п} + t_{3у} + t_{4п} + t_{4у}$$

$$\sum t_0 = t_{1т} + t_{01} + t_{2т} + t_{02} + t_{3т} + t_{03} + t_{4т} + t_{04}$$

2.4.2 Рассчитывается число циклов в час, $Z_{\text{расч}}$, сравнивается с заданным значением

$$Z_{\text{расч}} = \frac{3600}{T} \quad (55)$$

$$Z_{\text{расч}} \geq Z_3$$

и делается вывод о соответствии (не соответствии) производительности лебедки требованиям задания.

2.5 Проверка электродвигателя на нагрев

2.5.1 Расчетная продолжительность включений, ПВ, % или ε , в относительных единицах

Инв. № подл.	Подп. и дата					Лист	
	Инв. № дубл.						
	Взам. инв. №						
	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ		
						18	

$$\text{ПВ}\% = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{T} \cdot 100\% \quad (56)$$

$$\varepsilon = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{T}$$

2.5.2 Рассчитывается эквивалентный ток I_{ε} , А

$$I_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\left(\frac{I_n + I_1}{2}\right)^2 t_{1n} + I_1^2 t_{1y} + \left(\frac{I_n + I_2}{2}\right)^2 t_{2n} + I_2^2 t_{2y} + \left(\frac{I_n + I_3}{2}\right)^2 t_{3n} + I_3^2 t_{3y} + \left(\frac{I_n + I_4}{2}\right)^2 t_{4n} + I_4^2 t_{4y}}{\alpha(t_{1n} + t_{2n} + t_{3n} + t_{4n}) + t_{1y} + t_{2y} + t_{3y} + t_{4y}}} \quad (57)$$

2.5.3 Номинальный эквивалентный ток, соответствующий реальному значению продолжительности включения, I_{ε_n} , А

$$I_{\varepsilon_n} = I_{\varepsilon} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_n}} \quad (58)$$

где $\varepsilon_n - 0,15; 0,25; 0,40$ – номинальная продолжительность включения выбранного двигателя.

2.5.4 Проверяется условие $I_{\varepsilon_n} \leq I_n$ и делается вывод о возможности использования выбранного двигателя для лебедки с заданными параметрами без перегрева.

Пример расчета приведен в Приложении Д.

Инв. № подл.	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ				Лист
									19

3 Технологический раздел

3.1 Разработка схемы управления

После выполнения расчета необходимо разработать или выбрать схему управления электроприводом грузоподъемного механизма.

При разработке схемы управления следует руководствоваться следующими соображениями:

- при местном управлении и мощности электродвигателя до (10...15) кВт целесообразно применять контроллерную систему управления (контроллеры серий КВ 1000 и КВ 2000),

- при дистанционном управлении, что имеет очень редкое применение, и при мощности более (10...15) кВт следует применять контакторную систему управления (магнитные контроллеры постоянного тока типа БП и ВП и переменного тока типа БТ и ВТ).

Более подробно эти вопросы рассмотрены в [6] – [11], [14] – [20].

После разработки схемы следует составить краткую инструкцию по эксплуатации и техническому обслуживанию электропривода с приведением характерных неисправностей и методов их устранения, а также мер, направленных на безопасность обслуживания

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					Лист
										20

Список литературы

1. ГОСТ 2.710-84. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – М.: Стандартиформ, 2017.

2. ГОСТ 2.709-89. ЕСКД. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах. – М.: Стандартиформ, 2017.

3. ГОСТ 2.747-68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений. – М.: Стандартиформ, 2017.

4. ГОСТ 2.755-87. ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. – М.: Стандартиформ, 2017.

5. ГОСТ 12617-78. Лебедки судовые грузовые. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2017.

6. Аристов Ю.К. Судовые вспомогательные механизмы и системы. / Ю.К. Аристов. – М.: Транспорт, 1985, 288 с.

7. Головин Ю.К. Судовые электрические приводы: учеб. для мореход. училищ / Ю.К. Головин. – М.: Транспорт, 1984.

8. Гурович А.Н. Справочник по судовым устройствам. В 2-х т. Т. 1. Рулевые, якорные и швартовные устройства. – Л.: Судостроение, 1975.

9. Завиша В.В. Судовые вспомогательные механизмы / В.В. Завиша, Б.Г. Декин. – М.: Транспорт, 1974, 392 с.

10. Кацман М.М. Электрический привод: учебник / М.М. Кацман. – М.: Академия, 2014, – 384 с.

11. Колесников О.Г. Судовые вспомогательные механизмы и системы / О.Г. Колесников. – М.: Транспорт, 1977. – 464 с.

12. Правила классификации и постройки морских судов (редакция 2018 года). В 2-х томах. – [19 издание] : НД 2-020101-104. – СПб.: Морской Регистр, 2018.

Инв. № подл.	Подп. и дата				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист 21							
Инв. № дубл.	Подп. и дата				Взам. инв. №													
Инв. № инв.	Подп. и дата				Инв. № дубл.													
Подп. и дата	Подп. и дата				Взам. инв. №													
Подп. и дата	Подп. и дата				Инв. № дубл.													

13. Правила по грузоподъемным устройствам морских судов (редакция 2018 года) : НД 2-020101-106. – СПб.: Морской Регистр, 2018.

14. Справочник судового электротехника. В 3-х т. Т. 1. Судовые электро-энергетические системы и устройства / под ред. Г.И. Китаенко. Т. 1. Судовые электроэнергетические системы и устройства. – Л.: Судостроение, 1975. – 520 с.

15. Судовые электроприводы: Справочник. В 2-х т. Т. 1. / А.И. Богословский и др. Т. 1. – Л.: Судостроение, 1983.

16. Судовые электроприводы: Справочник. В 2-х т. Т. 2. / А.И. Богословский и др. Т. 2. – Л.: Судостроение, 1983.

17. Фесенко В.И. Автоматизированные судовые электроприводы / В.И. Фесенко. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.

18. Чекунов К.А. Судовые электроприводы и электродвижение судов: учеб. / К.А. Чекунов. – М.: Транспорт, 1986. – 352 с.

19. Судовые устройства: Справочник / под ред. М.Н. Александрова. – Л.: Судостроение, 1987. – 656 с.

20. Харин Б.Г. Судовые вспомогательные механизмы и системы: Учеб. для вузов / В.М. Харин, Б.Г. Декин, О.Н. Занько, В.Т. Писклов; под ред. В.М. Харина. – М.: Транспорт, 1982. – 319 с.

Инв. № подл.	Подп. и дата				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист							
											22							

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.					
Лист					
№ докум.					
Подп.					
Дата					
МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					
Лист					
23					

Приложение А

Параметры двигателей МАП

Таблица А.1 – Основные параметры двухскоростных двигателей серии МАП для повторно-кратковременного режима работы

Тип электро-двигателя	Число полюсов $2p$	Мощность на валу, P , кВт	Режим работы ПВ %	Частота вращения, n , об/мин	Номинальный ток статора, $I_{ном}$ А	$\cos\phi$	КПД, %	Максимальный момент, $M_{макс}$, Н·м	Пусковой момент, $M_{п}$, Н·м	Пусковой ток, $I_{п}$, А	Сопротивление фазы статора, Ом	Момент инерции ротора, J , кг·м ²
МАП121-4/8	4	1,3	40	1395	3,5	0,82	70,9	25,5	21,6	17	4,78	0,028
	8	0,8	15	635	3,5	0,73	43,9	23,5	21,6	8,4		
МАП122-4/12	4	2,2	40	1385	6,1	0,77	69,0	36,3	36,3	28	2,36	0,038
	12	0,7	15	400	5,1	0,56	35,2	35,3	35,3	8		
МАП221-4/12	4	3,6	40	1390	9,0	0,79	47,8	62,8	54,9	46	1,5	0,060
	12	1,3	15	405	7,6	0,54	30,5	67,7	67,7	16		
МАП421-4/12	4	6,0	40	1420	13,7	0,82	82,4	142,2	127,5	95	0,63	0,175
	12	3,5	15	400	19,5	0,62	53,7	166,8	161,9	33		
МАП421-6/12	6	5,5	25	935	16,6	0,63	80,5	152,1	137,3	80		0,175
	12	2,5	15	445	15,5	0,49	55,4	166,8	161,9	33		
МАП422-4/12	4	10,0	40	1410	21,6	0,86	82,7	235,4	196,2	145	0,46	0,250
	12	3,5	15	435	17,3	0,54	59,8	215,8	215,8	40		
МАП521-4/16	4	13	40	1370	25,3	0,92	79,6	245,3	225,6	130	0,90	0,375
	16	3,5	15	285	17,1	0,6	49,3	245,3	245,3	32		
МАП422-6/12	6	10,0	25	930	28,3	0,69	77,4	333,5	309,0	133	0,49	0,375
	12	3,5	15	445	17,3	0,54	92,1	215,8	215,8	40		
МАП422-4/16	4	13,0	40	1385	25,7	0,94	49,5	245,3	225,6	130	0,35	0,725
	16	3,5	15	285	15,5	0,66	28,8	230,5	230,5	23		
МАП521-8/16	8	13	25	700	34,0	0,71	63,3	510,1	510,1	150	0,33	0,725
	16	3,5	15	290	12,6	0,55	35,9	382,6	382,6	60		
МАП622-4/6	4	70	40	1420	3,5	0,93	84,8	902,5	559,2	650	0,04	1,500
	6	40	40	920	3,5	0,9	73,5	833,9	735,8	380		

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.					
Лист					
№ докум.					
Подп.					
Дата					
МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					
Лист					
24					

Таблица А.2 – Основные параметры трехскоростных двигателей серии МАП для повторно-кратковременного режима работы

Тип электро-двигателя	Число полюсов $2p$	Мощность на валу, P , кВт	Режим работы ПВ %	Частота вращения, n , об/мин	Номинальный ток статора, $I_{ном}$ А	$\cos\varphi$	КПД , %	Максимальный момент, M_{max} , Н·м	Пусковой момент, $M_{п}$, Н·м	Пусковой ток, $I_{п}$, А	Сопротивление фазы статора, Ом	Момент инерции ротора, J , кг·м ²
МАП621-4/8/24	4	30	40	1350	59,1	0,93	77,9	490,5	392,4	300	0,091	1,16
	8	15	40	690	38,5	0,74	77,1	539,6	490,5	175	0,195	
	24	3,2	15	165	26,3	0,56	30,0	313,9	313,9	42	1,140	
МАП622-6/12/24	6	32	40	900	70,0	0,88	79,0	833,9	716,1	340	0,127	1,50
	12	16	25	435	59,5	0,62	66,5	686,7	667,1	150	0,243	
	24	5	15	160	44,7	0,50	29,8	588,6	588,6	72	0,685	
МАП622-4/8/24	4	44	40	1350	79,1	0,94	89,0	588,6	569,0	410	0,091	1,50
	8	20	40	665	47,3	0,74	77,6	735,8	637,7	220	0,155	
	24	4,5	25	175	39,4	0,47	33,9	490,5	490,5	60	0,840	
МАП622-4/6/12	4	52	40	1360	101,3	0,93	83,4	882,9	784,8	550	0,061	1,50
	6	25	25	870	56,0	0,86	50,8	882,9	833,9	330	0,096	
	12	25	25	430	84,9	0,64	84,9	1275,3	1275,3	210	0,170	

Приложение Б

Характеристики электродвигателя

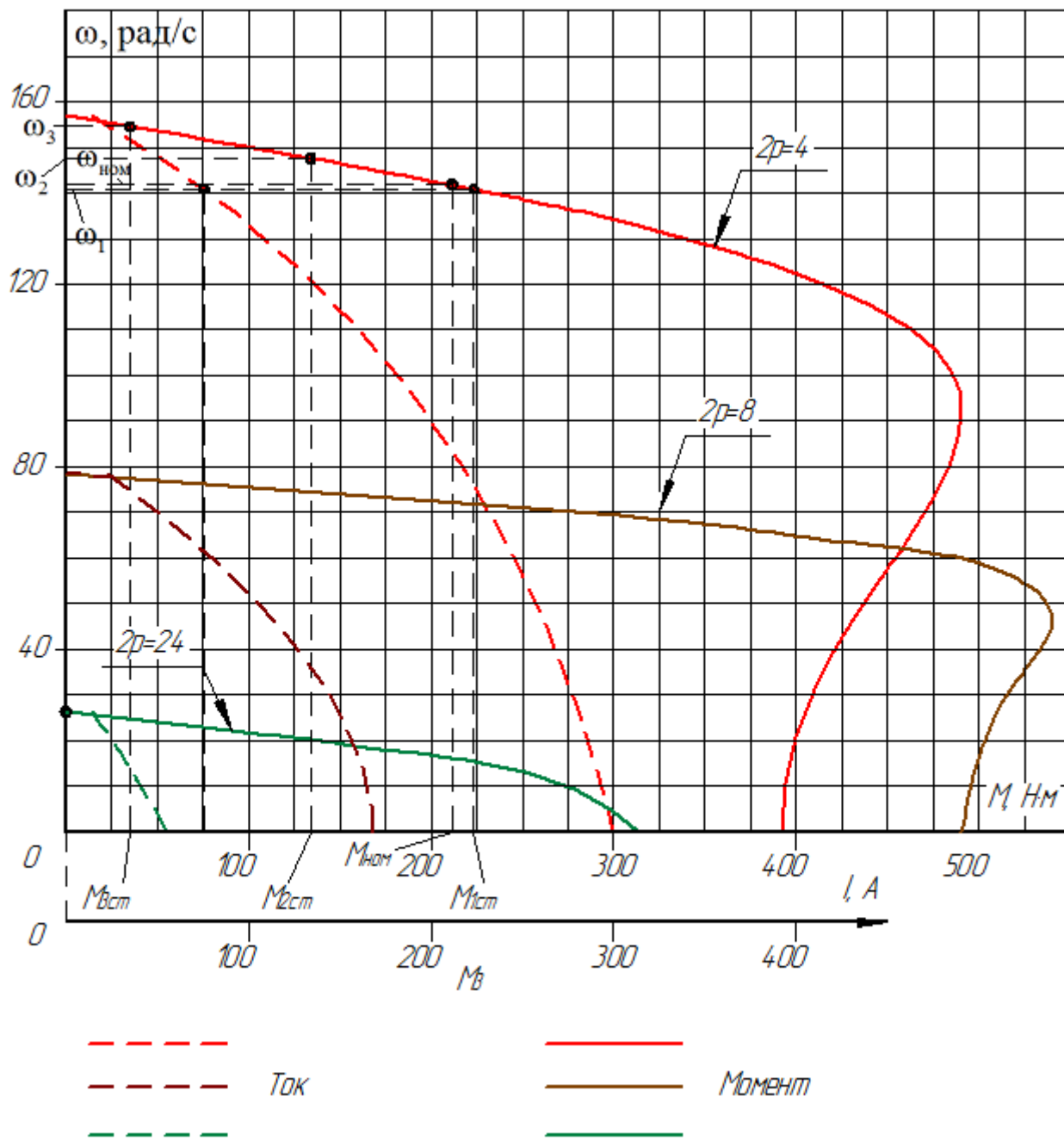


Рисунок Б.1 – Механические и электромеханические характеристики электродвигателя МАП621-4/8/24

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

МК XX,XX,XX,XX МУ

Лист
25

Формат А4

Приложение В

Зависимость КПД зубчатых передач от загрузки механизма

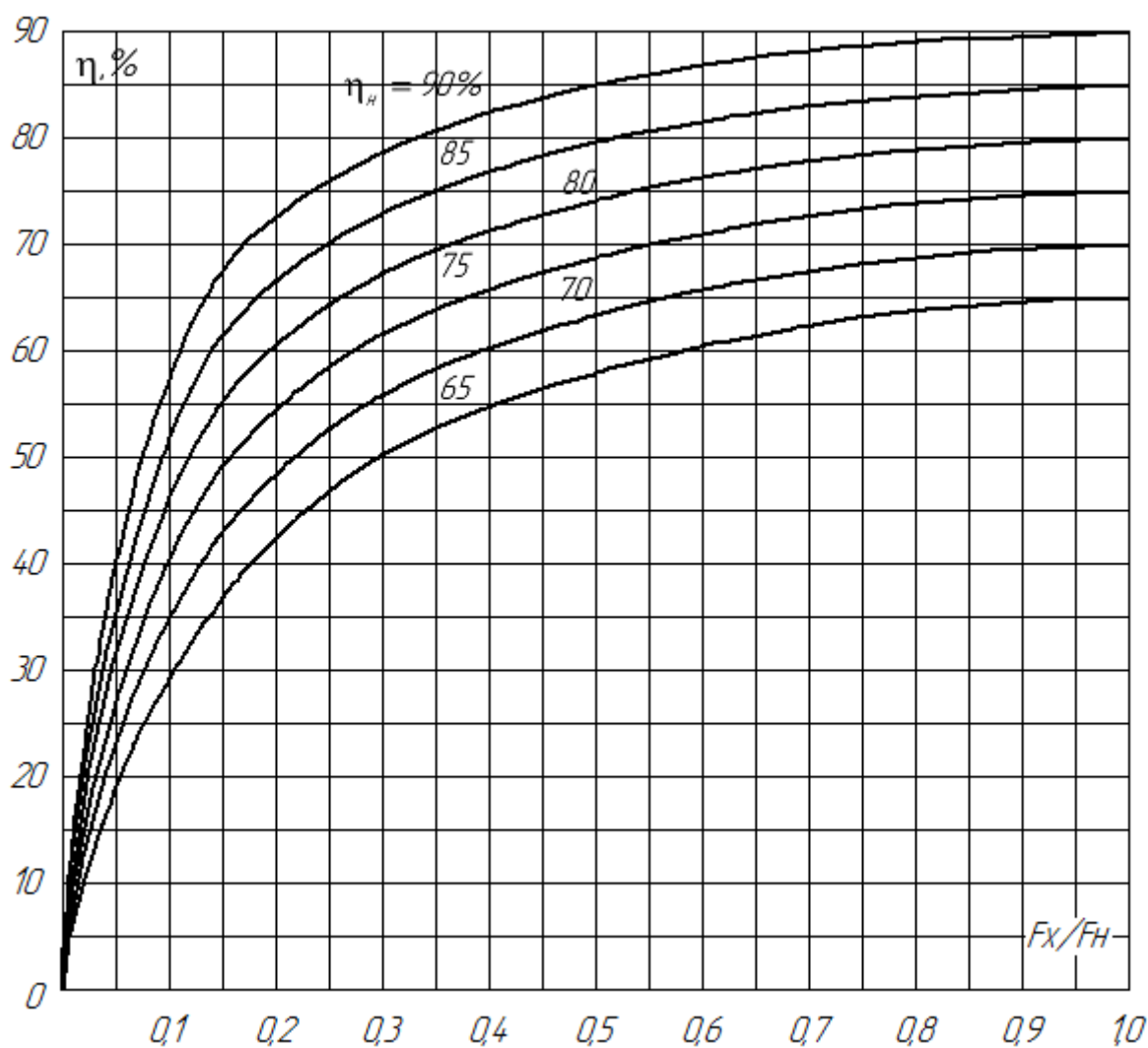


Рисунок В.1 – Зависимость КПД зубчатых передач от загрузки механизма

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК XX,XX,XX,XX МУ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК XX.XX.XX.XX.XXX MY

Приложение Г

Нагрузочные диаграммы

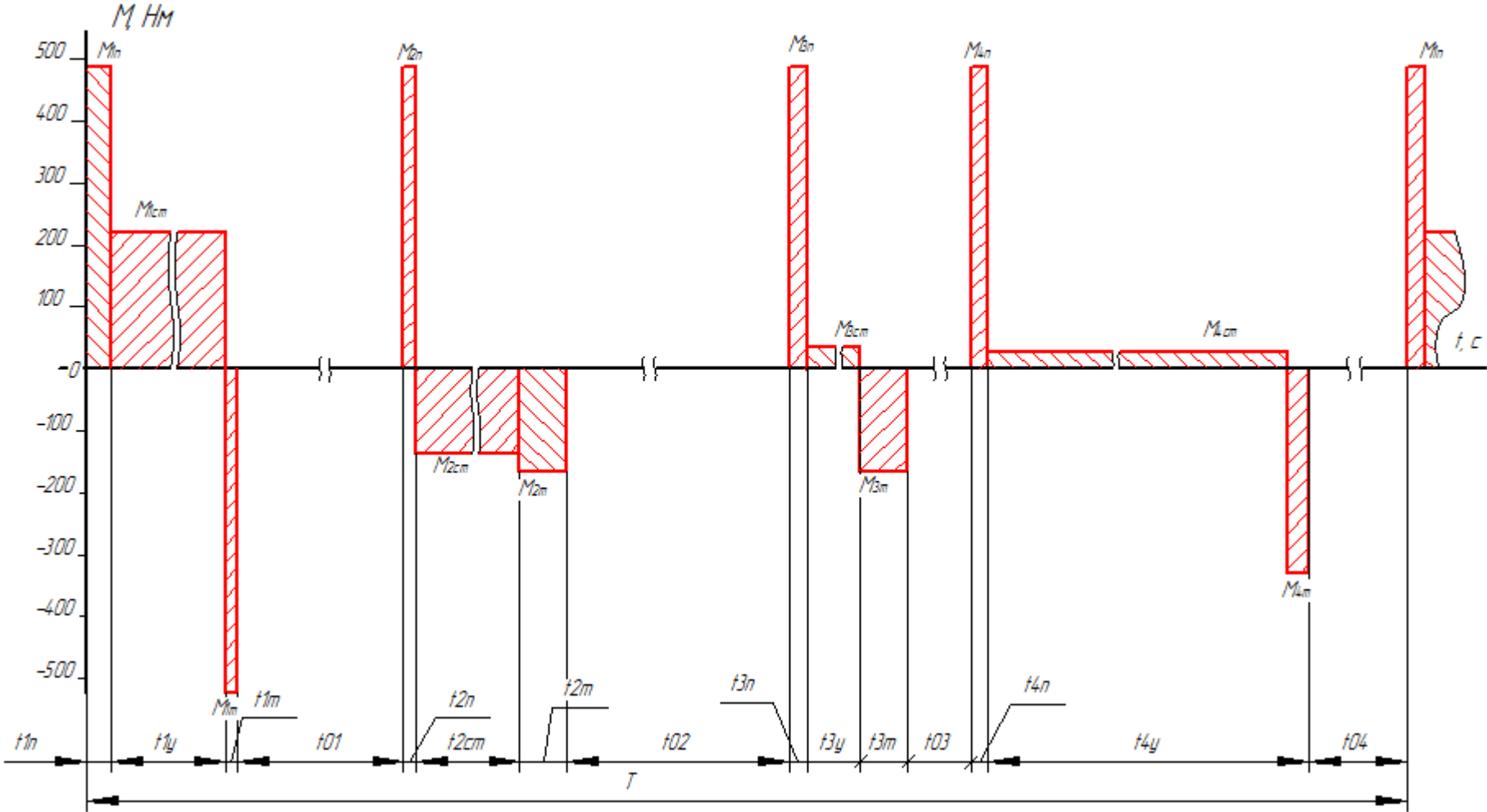


Рисунок Г.1 – Нагрузочная диаграмма $M = f(t)$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК XX.XX.XX.XX.XXX MY

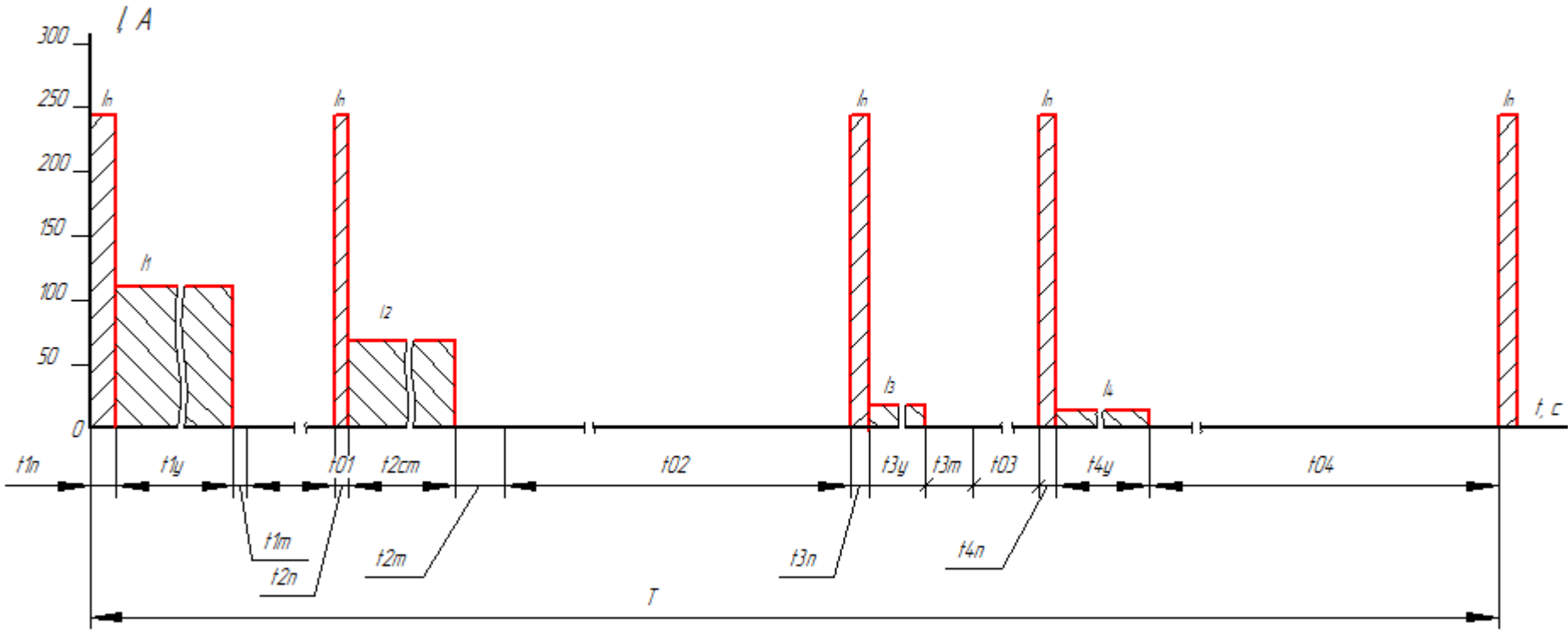


Рисунок Г.2 – Нагрузочная диаграмма $I = f(t)$

Приложение Д

Пример расчета

1 Общий раздел

1.1 Краткая характеристика и тактико-технические характеристики судна

Прототипом в данном курсовом проекте является судно со следующими данными:

Название – «Анатолий Карякин»

Порт приписки – Петропавловск-Камчатский

Символ класса РС – КМ(*) Ice2 R3

Тип судна – Накатное/генгруз

Год и страна постройки – 25.12.2010 г, Корея, НДР

Дедвейт – 870 т

Водоизмещение – 1488 т

Длина наибольшая: 56,46м

Ширина габаритная – 14,0 м

Высота борта – 6,20 м

Осадка – 2,8 м

Скорость – 11,0 уз

Напряжение сети, U: 380 В

Число водонепроницаемых переборок – 8 шт.

Марка главного двигателя – TBD604BL6

Число и мощность главных двигателей: 2×600 кВт

Тип движителя: винт фиксированного шага цельнолитой

Мощность судовых электростанций: Основной 2×75 кВт

Резервный 1×50 кВт

Инв. № подл.	Подп. и дата				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист							
	Инв. № дубл.																	
	Взам. инв. №																	
	Подп. и дата										29							

2 Расчетный раздел

2.1 Предварительный выбор электродвигателя

Исходные данные для расчета электродвигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Наименование параметров	Значения
1. Номинальная грузоподъемность, m_n , т	3
2. Масса холостого гака, m_0 , кг	60
3. Расчетный диаметр грузового барабана, D_6 м	0,5
4. Передаточное число, i	42
5. КПД лебедки при работе с номинальным грузом, η	0,8
6. Скорость подъема номинального груза, v , м/мин	50
7. Скорость посадочная, $v_{\text{пос}}$, м/мин	8
8. Высота подъема груза, h , м	15
9 Число циклов в час, Z	15
10. Напряжение судовой сети, U , В	380

2.1.1 Момент на валу электродвигателя при подъеме номинального груза

$M_{1\text{ст}}$, Нм

$$M_{1\text{ст}} = \frac{(G_n + G_0) \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot \eta} \quad (1)$$

где $G_n = 9,81 \cdot m_n = 9,81 \cdot 3000 = 29,4 \cdot 10^3$ и $G_0 = 9,81 \cdot m_0 = 9,81 \cdot 60 = 0,6 \cdot 10^3$ – вес номинального груза и вес холостого гака соответственно, Н.

$$M_{1\text{ст}} = \frac{(29,4 + 0,6) \cdot 10^3 \cdot 0,5}{2 \cdot 42 \cdot 0,8} = 223$$

2.1.2 Момент на валу электродвигателя при спускании номинального груза

$M_{2\text{ст}}$, Нм

$$M_{2\text{ст}} = \frac{(G_n + G_0) \cdot D_6}{2 \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta}\right) \quad (2)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	2.1.1 Момент на валу электродвигателя при подъеме номинального груза					
					$M_{1\text{ст}}$, Нм					
					$M_{1\text{ст}} = \frac{(G_n + G_0) \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot \eta} \quad (1)$					
					где $G_n = 9,81 \cdot m_n = 9,81 \cdot 3000 = 29,4 \cdot 10^3$ и $G_0 = 9,81 \cdot m_0 = 9,81 \cdot 60 = 0,6 \cdot 10^3$ – вес номинального груза и вес холостого гака соответственно, Н. $M_{1\text{ст}} = \frac{(29,4 + 0,6) \cdot 10^3 \cdot 0,5}{2 \cdot 42 \cdot 0,8} = 223$					
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	2.1.2 Момент на валу электродвигателя при спускании номинального груза					
					$M_{2\text{ст}}$, Нм					
					$M_{2\text{ст}} = \frac{(G_n + G_0) \cdot D_6}{2 \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta}\right) \quad (2)$					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ					Лист
										30

$$M_{2\text{ст}} = \frac{(29,4 + 5,9) \cdot 10^3 \cdot 0,55}{2 \cdot 42} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,8}\right) = 134$$

2.1.3 Скорость вращения электродвигателя на быстроходной обмотке, необходимая для обеспечения заданной скорости подъёма номинального груза, ω , рад/с

$$\omega = \frac{v \times i}{30 \cdot D_6} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{50 \cdot 42}{30 \cdot 0,5} = 140$$

или частота вращения, n , об/мин

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (4)$$

$$n = \frac{30 \cdot 140}{3,14} = 1340$$

2.1.4 Скорость вращения двигателя на тихоходной обмотке, необходимая для обеспечения посадочной скорости груза, $\omega_{\text{пос}}$, рад/с

$$\omega_{\text{пос}} = \frac{v_{\text{пос}} \cdot i}{30 D_6} \quad (5)$$

$$\omega_{\text{пос}} = \frac{4 \cdot 42}{30 \cdot 0,5} = 22,4$$

или частота вращения $n_{\text{пос}}$, об/мин

$$n_{\text{пос}} = \frac{30 \cdot \omega_{\text{пос}}}{\pi} \quad (6)$$

$$n_{\text{пос}} = \frac{30 \cdot 22,4}{3,14} = 214$$

2.1.5 Мощность двигателя при подъёме номинального груза на быстроходной обмотке, $P_{1\text{ст}}$, кВт

$$P_{1\text{ст}} = M_{1\text{ст}} \cdot \omega \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 31
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
Подп. и дата					Лист 31
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ

$$P_{1ct} = 223 \cdot 140 \cdot 10^{-3} = 31,3$$

2.1.6 Мощность двигателя при посадке груза на тихоходной обмотке, , кВт

$$P_{\text{пос}} = M_{2\text{ст}} \cdot \omega_{\text{пос}} \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

$$P_{\text{пос}} = 134 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} = 3,0$$

Предварительно из [16] выбираем электродвигатель типа МАП 621-4/8/24. Его технические данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические данные электродвигателя МАП 621-4/8/24

Наименование параметров	Значения		
1. Число полюсов, $2p$	4	8	24
2. Мощность P_n , кВт	30	15	3,2
3. Номинальная частота вращения, n_n , об/мин	1350	690	165
4. Номинальный ток, I_n , А	59,1	38,5	26,3
5. Пусковой ток, $I_{\text{п}}$, А	300	175	42
6. Момент максимальный, M_{max} , Нм	490,5	539,6	313,9
7. Момент пусковой, $M_{\text{п}}$, Нм	392,4	490,5	313,9
8. Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,93	0,74	0,56
9. Режим работы (ПВ, процент)	40	40	15
10. КПД, η_n , процент	78	77	30
11. Момент инерции, $J_{\text{дв}}$, кг·м ²	1,16		
12. Напряжение, U , В	380		
13. Исполнение	IP 56 (водозащищенное)		

Проверим условия выполнения требований ГОСТ 12617-78 [5] к выбранному двигателю.

$$M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n} \geq M_{1\text{ст}}$$

$$M_{\text{п.высш}} \geq (1,3 \div 2,5) \cdot \frac{M_{1\text{ст}}}{\eta} \quad (9)$$

$$M_{\text{п.низш}} \geq 1,3 \cdot M_{\text{н.низш}}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Проверим условия выполнения требований ГОСТ 12617-78 [5] к выбранному двигателю. $M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega_n} \geq M_{1\text{ст}}$ $M_{\text{п.высш}} \geq (1,3 \div 2,5) \cdot \frac{M_{1\text{ст}}}{\eta} \quad (9)$ $M_{\text{п.низш}} \geq 1,3 \cdot M_{\text{н.низш}}$	Лист 32					
							Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

					Скольжение, s	Угловая скорость, ω , рад/с	Частота вращения, n , об/мин	Момент, M , Н·м	Ток, I , А					
Значения параметров для $2p=8$														
					0,000	78,5	750,0	0,000	21,0					
					0,050	74,6	712,5	137,4	30,7					
					0,065	73,4	701,3	176,6	35,7					
					$s_n = 0,077$	72,5	692,2	207,0	40,0					
					0,100	70,7	675,0	261,8	48,4					
					0,200	62,8	600,0	440,6	82,7					
					0,250	58,9	562,5	492,2	96,8					
					0,300	55,0	525,0	522,8	108,8					
					$s_{кр} = 0,386$	48,2	460,2	539,6	124,8					
					0,500	39,3	375,0	520,6	139,3					
					0,600	31,4	300,0	510,0	147,8					
					1,000	0,0	0,0	490,5	163,7					
Значения параметров для $2p=24$														
					0,000	26,17	250,0	0,0	18,7					
					0,050	24,86	237,5	30,2	19,1					
					0,100	23,55	225,0	59,9	20,0					
					0,200	20,93	200,0	116,6	25,3					
					0,250	19,63	187,5	142,8	25,1					
					0,300	18,32	175,0	167,4	27,3					
					$s_n = 0,338$	17,33	165,5	184,7	29,0					
					0,600	10,47	100,0	271,9	40,4					
					0,700	7,85	75,0	291,0	44,2					
					0,800	5,23	50,0	303,5	47,5					
					0,900	2,62	25,0	310,7	50,5					
					1,000	0,00	0,0	313,7	53,0					
По данным таблицы 3 строим механическую и скоростную характеристики, приведенные в Приложении А.														
2.3 Построение нагрузочной диаграммы														
2.3.1 Подъем номинального груза														
2.3.1.1 Подъем номинального груза производится на высшей скорости. Ста-														
Инв. № подл.					МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ									
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата										

тический момент, действующий на вал двигателя при подъеме $M_{1ct} = 223 \text{ Нм}$, определен в п. 2.1.1 Моменту M_{1ct} соответствует угловая скорость и ток, определённые по характеристикам электродвигателя для высшей скорости

$$\omega_1 = 140,8 \text{ рад/с}; I_1 = 66,6 \text{ А}.$$

Ток, потребляемый двигателем, в пределах допустимых нагрузок пропорционален моменту на валу и может быть найден по формуле (20)

$$I_1 = I_n \cdot \frac{M_{1ct}}{M_n} \tag{20}$$

$$I_1 = 63 \cdot \frac{223,4}{212} = 66,5$$

2.3.1.2 Приведенный к валу двигателя момент инерции электропривода при подъёме груза, $J_{пр}$, кг м²

$$J_{пр} = kJ_{дв} + (m_n + m_o) \cdot \left(\frac{v}{60 \cdot \omega_n} \right)^2 \tag{21}$$

$$J_{пр} = 1,2 \cdot 1,16 + (3000 + 60) \cdot \left(\frac{50}{60 \cdot 141,8} \right)^2 = 1,5$$

где $k = 1,1 \div 1,3$ – коэффициент, учитывающий инерционность передачи и барабана, принимаем $k = 1,2$.

2.3.1.3 Динамический момент при разгоне $M_{1дин}$, Нм

$$M_{1дин} = M_{п} - M_{1ct} \tag{22}$$

где $M_{п}$ – пусковой момент на обмотке средней скорости, $M_{п} = 490 \text{ Нм}$.

$$M_{1дин} = 490 - 223 = 267$$

2.3.1.4 Время разгона, $t_{1п}$, с

$$t_{1п} = J_{пр} \frac{\omega_1}{M_{1д}} \tag{23}$$

$$t_{1п} = 1,5 \cdot \frac{140,8}{267} = 0,8$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист
						37

2.3.1.5 Расчетный тормозной момент $M_{т.расч}$, Н м

$$M_{т.расч} = \frac{P_H \cdot \eta^2}{\omega_H} \quad (24)$$

$$M_{т.расч} = \frac{30 \cdot 0,8^2}{141,8} \cdot 10^3 = 135$$

2.3.1.6 Требуемый тормозной момент электромагнитного тормоза M_T , Н м

$$M_T = k \cdot M_{т.р} \quad (25)$$

$$M_T = 2 \cdot 135 = 270$$

где k – коэффициент запаса, выбирается в пределах 1,5 – 2,0.

2.3.1.7 Постоянные потери в электродвигателе, ΔP , кВт

$$\Delta P = \frac{P_H}{2} \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) \quad (26)$$

$$\Delta P = \frac{30}{2} \left(\frac{1}{0,78} - 1 \right) = 4,3$$

2.3.1.8 Тормозной момент, обусловленный постоянными потерями в электродвигателе, $M_{т.дв}$, Н м

$$M_{т.дв} = \frac{\Delta P}{\omega_1} \quad (27)$$

$$M_{т.дв} = \frac{4,3 \cdot 10^3}{141} = 31$$

2.3.1.9 Суммарный тормозной момент, $M_{1т}$, Н м

$$M_{1т} = M_{1ст} + M_T + M_{т.дв} \quad (28)$$

$$M_{1т} = 223 + 270 + 31 = 524$$

2.3.1.10 Время остановки поднимаемого груза при отключении электродвигателя $t_{1т}$, с

$$t_{1т} = J_{пр} \frac{\omega_1}{M_{1т}} \quad (29)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 38
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подп. и дата				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ

$$t_{1r} = 1,5 \cdot \frac{141}{524} = 0,4$$

2.3.1.11 Установившаяся скорость при подъёме груза, V_1 , м/мин

$$v_1 = \frac{30D_6\omega_1}{i} \quad (30)$$

$$v_1 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot 141}{42} = 50,3$$

2.3.1.12 Путь пройденный грузом при разгоне и торможении, H_1 , м

$$h_1 = \frac{v_1}{2}(t_{1n} + t_{1r}) \quad (31)$$

$$h_1 = \frac{50,3}{2 \cdot 60} \cdot (0,8 + 0,4) = 0,5$$

2.3.1.13 Время подъёма груза при установившемся режиме, $t_{1y,c}$

$$t_{1y} = \frac{h - h_1}{v_1} \quad (32)$$

$$t_{1y} = \frac{15 - 0,5}{50,3} \cdot 60 = 17,3$$

2.3.2 Тормозной спуск груза

2.3.2.1 Статический момент, действующий на вал двигателя при спуске $M_{2ст} = 134$ Нм, определен в п. 2.1.2. Моменту $M_{2ст}$ соответствует угловая скорость и ток, определённые по характеристикам электродвигателя для низшей скорости

$$\omega_2 = 147,6 \text{ рад/с}; \quad I_2 = 40,3 \text{ А}$$

или по формуле (20)

$$I_2 = 63 \cdot \frac{223,4}{134} = 39,9$$

2.3.2.2 Поскольку в пределах допустимых нагрузок механическую характеристику для генераторного и двигательного режимов можно представить одной линией, скорость рекуперативного торможения, ω_2 , рад/с, определяется по формуле

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ				Лист
				39

$$\omega_2 = 2\omega_c - \omega_2 \quad (33)$$

$$\omega_2 = 2 \cdot 157,0 - 147,6 = 166,4$$

где $\omega_c = 157$ рад/с – синхронная угловая скорость на обмотке высшей скорости;

2.3.2.3 Время разгона двигателя при опускании груза, $t_{2п}$, с, с включённым двигателем

$$t_{2п} = J_{пр} \frac{\omega_2}{M_{п} + M_{2ст}} \quad (34)$$

$$t_{2п} = 1,5 \cdot \frac{166,4}{490,5 + 134} = 0,4$$

где $M_{п} = 490,5$ Нм – пусковой момент на обмотке средней скорости.

2.3.2.4 Тормозной момент при остановке, $M_{2т}$, Н м

$$M_{2т} = M_{т} + M_{т,дв} - M_{2ст} \quad (35)$$

$$M_{2т} = 270 + 31 - 134 = 167$$

2.3.2.5 Время остановки опускаемого груза, $t_{2т}$, с

$$t_{2т} = J_{пр} \frac{\omega_2}{M_{2т}} \quad (36)$$

$$t_{2т} = 1,5 \cdot \frac{166,4}{167} = 1,5$$

2.3.2.6 Скорость опускаемого груза, v_2 , м/мин

$$v_2 = \frac{30D_6\omega_2}{i} \quad (37)$$

$$v_2 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot 166,4}{42} = 59,4$$

2.3.2.7 Путь, пройденный грузом при разгоне и торможении, H_2 , м

$$h_2 = \frac{v_2}{2}(t_{2п} + t_{2т}) \quad (38)$$

$$h_2 = \frac{59,4}{2 \cdot 60}(0,4 + 1,5) = 0,9$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 40
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подп. и дата				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ

2.3.2.8 Время опускания груза при установившемся режиме t_{2y} , с

$$t_{2y} = \frac{h - h_2}{v_2} \quad (39)$$

$$t_{2y} = \frac{15 - 0,9}{59,4} \cdot 60 = 14,2$$

2.3.3 Подъем холостого гака

2.3.3.1 Момент на валу электродвигателя при подъёме холостого гака, $M_{3ст}$,

Н·м

$$M_{3ст} = \frac{G_0 \cdot D_6}{2 \cdot i \cdot \eta_0} \quad (40)$$

где $\eta_0 = 0,1$ – КПД при $G_0/G_H = 0,6/29,4 = 0,02$, определяется по [5]

$$M_{3ст} = \frac{0,6 \cdot 10^3 \cdot 0,5}{2 \cdot 42 \cdot 0,1} = 35$$

Моменту $M_{3ст}$ соответствует угловая скорость и ток (определены по характеристикам)

$$\omega_3 = 154,6 \text{ рад/с}; I_3 = 14,1 \text{ А}$$

2.3.3.2 Приведенный к валу двигательный момент инерции электропривода,

$J_{0пр}$, кг м², без груза

$$J_{0пр} = kJ_{дв} \quad (41)$$

где $k = 1,2$ – коэффициент, учитывающий инерционность передачи и барабана, принят в п. 2.3.1.2.

$$J_{0пр} = 1,2 \cdot 1,16 = 1,4$$

2.3.3.3 Время разгона при подъёме холостого гака, $t_{3п}$, с

$$t_{3п} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_3}{M_{п} - M_{3ст}} \quad (42)$$

$$t_{3п} = 1,4 \cdot \frac{154,5}{490,5 - 35} = 0,5$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ					Лист
										41

2.3.3.4 Тормозной момент при отключении двигателя в конце подъёма гака, $M_{3т}$, Н м

$$M_{3т} = M_{3ст} + M_{т} + M_{г.дв} \quad (43)$$

$$M_{3т} = 35 + 270 + 31 = 336$$

2.3.3.5 Время остановки поднимаемого гака $t_{3т}$, с

$$t_{3т} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_3}{M_{3т}} \quad (44)$$

$$t_{3т} = 1,4 \cdot \frac{154,5}{336} = 0,6$$

2.3.3.6 Скорость подъёма холостого гака, V_3 , м/мин

$$v_3 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_3}{i} \quad (45)$$

$$v_3 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot 154,5}{42} = 55,2$$

2.3.3.7 Путь, пройденный гаком при разгоне и торможении, h_3 , м

$$h_3 = \frac{v_3}{2} \cdot (t_{3п} + t_{3т}) \quad (46)$$

$$h_3 = \frac{55,2}{2 \cdot 60} (0,5 + 0,5) = 0,5$$

2.3.3.8 Время установившегося режима при подъёме холостого гака $t_{3у}$, с

$$t_{3у} = \frac{h - h_3}{v_3} \quad (47)$$

$$t_{3у} = \frac{15 - 0,5}{55,2} \cdot 60 = 15,8$$

2.3.4 Силовой пуск холостого гака

Силовой спуск холостого гака производится на высшей скорости

2.3.4.1 Момент на валу электродвигателя при опускании холостого гака,

$M_{4ст}$, Н м

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 42
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подп. и дата				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ

$$M_{4\text{ст}} = \frac{G_0 \cdot D_6}{2 \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_0} \right) \quad (48)$$

$$M_{4\text{ст}} = \frac{0,6 \cdot 10^3 \cdot 0,5}{2 \cdot 42} \cdot \left(2 - \frac{1}{0,1} \right) = -28,0$$

Моменту $M_{4\text{ст}}$ соответствует угловая скорость и ток (по характеристикам)

$$\omega_4 = 155,1 \text{ рад/с}; I_4 = 12,7 \text{ А}$$

2.3.4.2 Время разгона при опускании холостого гака, $t_{4\text{п}}$, с

$$t_{4\text{п}} = J_{0\text{пр}} \cdot \frac{\omega_4}{M_{\text{п}} - M_{4\text{ст}}} \quad (49)$$

$$t_{4\text{п}} = 1,4 \cdot \frac{155}{490,5 - 28,0} = 0,5$$

2.3.4.3 Тормозной момент при отключении двигателя, $M_{4\text{т}}$, Н м

$$M_{4\text{т}} = M_{4\text{ст}} + M_{\text{т}} + M_{\text{т.дв}} \quad (50)$$

$$M_{4\text{т}} = 28 + 270 + 31 = 329$$

2.3.4.4 Время остановки опускаемого гака, $t_{4\text{т}}$, с

$$t_{4\text{т}} = J_{0\text{пр}} \cdot \frac{\omega_4}{M_{4\text{т}}} \quad (51)$$

$$t_{4\text{т}} = 1,4 \cdot \frac{155}{329} = 0,7$$

2.3.4.5 Скорость опускания холостого гака, v_4 , м/мин

$$v_4 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_4}{i} \quad (52)$$

$$v_4 = \frac{30 \cdot 0,5 \cdot 155}{42} = 55,4$$

2.3.4.6 Путь, пройденный гакom при разгоне и торможении, H_4 , м

$$h_4 = \frac{v_4}{2} (t_{4\text{п}} + t_{4\text{т}}) \quad (53)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист	
	Инв. № дубл.					
	Взам. инв. №					
	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	43

$$h_4 = \frac{55,4}{2 \cdot 60} (0,6 + 0,7) = 0,6$$

2.3.4.7 Время установившегося движения при опускании холостого гака,

t_{4y} , с

$$t_{4y} = \frac{h - h_4}{v_4} \quad (54)$$

$$t_{4y} = \frac{15 - 0,6}{55,4} \cdot 60 = 15,6$$

Расчетные данные пункта 2.3 сводим в таблицу 4, пользуясь которой строим нагрузочные диаграммы (Приложение Б).

Таблица 4 - Данные для построения нагрузочной диаграммы

Режим работы		Ток, I, А		Время, t, с		Момент, M, Нм	
1. Подъем номинального груза		-	-	-	-	$M_{1ст}$	223,4
- разгон		$I_{п}$	175,0	$t_{1п}$	0,8	$M_{1п}$	490,5
- установившийся режим		I_1	66,6	t_{1y}	17,3	-	223,4
- торможение		-	-	$t_{1т}$	0,4	$M_{1т}$	524,0
2. Горизонтальное перемещение		-	-	t_{01}	20,0	-	-
3. Тормозной спуск груза		-	-	-	-	$M_{2ст}$	134,0
- разгон		$I_{п}$	175,0	$t_{2п}$	0,4	$M_{2п}$	313,9
- установившийся режим		I_2	24,5	t_{2y}	14,2	-	134,0
- торможение		-	-	$t_{2т}$	1,5	$M_{2т}$	167,0
4. Расстроповка груза		-	-	t_{02}	60,0	-	-
5. Подъем холостого гака		-	-	-	-	$M_{3ст}$	35,0
- разгон		$I_{п}$	175,0	$t_{3п}$	0,6	$M_{3п}$	490,5
- установившийся режим		I_3	14,1	t_{3y}	15,8	-	35,0
- торможение		-	-	$t_{3т}$	0,6	$M_{3т}$	336,0
6. Горизонтальное перемещение гака		-	-	t_{03}	20,0	-	-
7. Силовой спуск холостого гака		-	-	-	-	$M_{4ст}$	-28,0
- разгон		$I_{п}$	175	$t_{4п}$	0,5	$M_{4п}$	490,5
- установившийся режим		I_4	12,7	t_{4y}	15,6	-	28,0
- торможение		-	-	$t_{4т}$	0,7	$M_{4т}$	329,0
8. Застроповка груза		-	-	t_{04}	60,0	-	-

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист
						44

2.4 Проверка электродвигателя на обеспечение заданной производительности лебедки

2.4.1 Полная продолжительность цикла, T , с

$$T = \sum t_{\text{раб}} + \sum t_0 \quad (55)$$

где $\sum t_{\text{раб}}$ – рабочее время; $\sum t_0$ – время, когда лебедка не работает.

$$\sum t_{\text{раб}} = t_{1\text{п}} + t_{1\text{уп}} + t_{2\text{п}} + t_{1\text{у}} + t_{3\text{п}} + t_{3\text{у}} + t_{4\text{п}} + t_{4\text{у}}$$

$$\sum t_0 = t_{1\text{т}} + t_{01} + t_{2\text{т}} + t_{02} + t_{3\text{т}} + t_{03} + t_{4\text{т}} + t_{04}$$

$$\sum t_{\text{раб}} = 0,8 + 17,3 + 0,4 + 14,2 + 0,6 + 15,8 + 0,5 + 15,6 = 65$$

$$\sum t_0 = 0,4 + 20 + 1,5 + 60 + 0,6 + 20 + 0,7 + 60 = 163$$

$$T = 65 + 163 = 228$$

2.4.2 Число циклов в час, $Z_{\text{расч}}$, штук

$$Z_{\text{расч}} = \frac{3600}{T} \quad (56)$$

$$Z_{\text{расч}} = \frac{3600}{228} = 15,8 \geq Z_3 = 15,0$$

Производительность лебедки удовлетворяет требованиям задания.

2.5 Проверка электродвигателя на нагрев

2.5.1 Расчетная продолжительность включений, ПВ, процент или ε

$$\text{ПВ}\% = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{T} \quad (57)$$

$$\text{ПВ}\% = \frac{65}{229} \cdot 100 = 28,5 \%; \quad \varepsilon = 0,285.$$

2.5.2 Эквивалентный ток I_{ε} , А

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист	
	Инв. № дубл.					
	Взам. инв. №					
	Подп. и дата					
МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ Изм Лист № докум. Подп. Дата					45	

$$I_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\left(\frac{I_n + I_1}{2}\right)^2 t_{1n} + I_1^2 t_{1y} + \left(\frac{I_n + I_2}{2}\right)^2 t_{2n} + I_2^2 t_{2y} + \left(\frac{I_n + I_3}{2}\right)^2 t_{3n} + I_3^2 t_{3y} + \left(\frac{I_n + I_4}{2}\right)^2 t_{4n} + I_4^2 t_{4y}}{\alpha(t_{1n} + t_{2n} + t_{3n} + t_{4n}) + t_{1y} + t_{2y} + t_{3y} + t_{4y}}} \quad (58)$$

где $\alpha = \frac{1+\beta}{2}$, β – коэффициенты, учитывающие ухудшение охлаждения двигателя

при пониженных скоростях. Для закрытых обдуваемых двигателей

$$\beta = 0,3 \div 0,55. \text{ Принимаем } \beta = 0,4; \alpha = \frac{1+0,4}{2} = 0,7.$$

$$I_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\left(\frac{175+67}{2}\right)^2 \cdot 0,8 + 67^2 \cdot 17 + \left(\frac{175+40}{2}\right)^2 \cdot 0,4 + 40^2 \cdot 14,2 + \left(\frac{175+14}{2}\right)^2 \cdot 0,6 + 14^2 \cdot 16 + \left(\frac{175+13}{2}\right)^2 \cdot 0,5 + 13^2 \cdot 16}{0,7(0,8+0,4+0,6+0,5)+17+14+16+16}} = 49,4$$

2.5.3 Номинальный эквивалентный ток, $I_{\varepsilon H}$, А

$$I_{\varepsilon H} = I_{\varepsilon} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_H}} \quad (59)$$

$$I_{\varepsilon H} = 49,4 \sqrt{\frac{0,285}{0,4}} = 41,7$$

Таким образом, $I_{\varepsilon H} = 41,7 < I_H = 63$ [А], т.е. в заданном режиме двигатель перегреваться не будет.

2.6 Расчет и выбор питающего кабеля

Расчет и выбор кабеля от ГРЩ до электродвигателя производим по большему рабочему (номинальному) току двигателя и проверяем на потерю напряжения, которое согласно Правилам Регистра не должно превышать 6 %.

Для тока $I_H = 63$ А выбираем судовой кабель серии КНР 3×25 мм² и проверяем его на потерю напряжения ΔU для повторно-кратковременного режима работы, ПВ-40 %

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ				Лист
				46

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{\gamma S U_{\text{н}}^2} \cdot 100 \quad (58)$$

$$\Delta U = \frac{44 \cdot 10^3 \cdot 30}{48 \cdot 25 \cdot 380^2} \cdot 100 = 0,76\% \leq 6\%$$

где $\gamma = 48 \text{ м/}(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$ – удельная проводимость меди. Выбранный кабель удовлетворяет требованиям Правил Регистра.

Инв. № подл.	Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	
					Лист	
					47	

Список литературы

1. Головин Ю.К. Судовые электрические приводы: учеб. для мореход. училищ / Ю.К. Головин. – М.: Транспорт, 1984.

2. Гурович А.Н. Справочник по судовым устройствам. В 2-х т. Т. 1. Рулевые, якорные и швартовные устройства. – Л.: Судостроение, 1975.

3. Кацман М.М. Электрический привод: учебник / М.М. Кацман. – М.: Академия, 2014, – 384 с.

4. Правила классификации и постройки морских судов (редакция 2018 года). В 2-х томах. – [19 издание] : НД 2-020101-104. – СПб.: Морской Регистр, 2018.

5. Правила по грузоподъемным устройствам морских судов (редакция 2018 года): НД 2-020101-106. – СПб.: Морской Регистр, 2018.

6. Роджеро А.И. Справочник судового электромеханика и электрика / А.И. Роджеро. – М.: Транспорт, 1986.

7. Справочник судового электротехника. В 3-х т. Т. 1. Судовые электроэнергетические системы и устройства / под ред. Г.И. Китаенко. Т. 1. Судовые электроэнергетические системы и устройства. – Л.: Судостроение, 1975. – 520 с.

8. Судовые электроприводы: Справочник. В 2-х т. Т. 1. / А.И. Богословский и др. Т. 1. – Л.: Судостроение, 1983.

9. Судовые электроприводы: Справочник. В 2-х т. Т. 2. / А.И. Богословский и др. Т. 2. – Л.: Судостроение, 1983.

10. Чекунов К.А. Судовые электроприводы и электродвижение судов: учеб. / К.А. Чекунов. – М.: Транспорт, 1986. – 352 с.

11. Судовые устройства: Справочник / под ред. М.Н. Александрова. – Л.: Судостроение, 1987. – 656 с.

Инв. № подл.	Подп. и дата				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист							
											48							