

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

ОП.06 Электрические машины и аппараты

специальность

13.02.13

Эксплуатация и обслуживание электрического и
электромеханического оборудования (по отраслям)

уровень среднего
профессионального образования

Специалист среднего звена

квалификация

Техник

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

прототип и подготовить исходные данные;

- на основании исходных данных рассчитать моменты на валу двигателя при спуске и подъеме номинального груза и выбрать предварительно соответствующий электродвигатель;

- рассчитать и построить механические и электромеханические характеристики выбранного двигателя;

- рассчитать моменты, токи и время работы двигателя на отдельных этапах работы ГПМ и построить нагрузочные диаграммы;

- проверить выбранный электродвигатель на обеспечение заданной производительности ГПМ;

- проверить двигатель на нагрев.

1.3 Оформление курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из пояснительной записки объемом (35....45) страниц формата А4 и двух листов графического материала.

Пояснительная записка к курсовому проекту должна включать в себя в указанной ниже последовательности следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект;
- содержание;
- основную часть;
- список литературы;
- приложения.

Оформление проекта должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.105 ЕСКД, методических указаний по выполнению курсовых и дипломных проектов и требованиям настоящих методических указаний.

Текст пояснительной записки выполняется на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм) по ГОСТ 2.301-68 на формах (электронных шаблонах), установленных соответствующими стандартами Единой системы кон-

Инв. № подл.	Подп. и дата				МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист
	Взам. инв. №					4
	Инв. № дубл.					
	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

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				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист
	Взам. инв. №										5
	Инв. № дубл.										
	Подп. и дата										

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

Изм					Лист	
Изм					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

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

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

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

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, $s_{\text{кр}}$

Инв. № подл.	Подп. и дата				чет 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					
	$\omega_{\text{с}} = \frac{2\pi f}{p} \tag{11}$					
Взам. инв. №	$f = 50$ Гц - частота тока,					
	2.2.3 Номинальная частота вращения, $\omega_{\text{н}}$, рад/с,					
$\omega_{\text{н}} = 0,105 \cdot n_{\text{н}} \tag{12}$						
Подп. и дата	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, $s_{\text{кр}}$						
Инв. № подл.					МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист
						10
	Изм	Лист	№ докум.	Подп.		Дата

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

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

2.2.6 Ток холостого хода электродвигателя, I_0 , А,

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

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,

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

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					
нием скольжения, $M = \frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}}. \tag{17}$ Для скольжений больше критического расчет ведётся по уточненной формуле Клосса-Чекунова (18) $M = \sqrt{M_{\text{п}}^2 + \frac{0,93M_{\max}^2 - M_{\text{п}}^2}{(1 - 1,3s_{\text{кр}})^2} (1 - s)^2} \tag{18}$ 2.2.9 Для принятых значений скольжения рассчитывают ток статора, I, А, $I = \sqrt{\left(I_{\text{н}}^2 - I_0^2\right) \frac{sM}{s_{\text{н}}M_{\text{н}}} + I_0^2} \tag{19}$ Рассчитанные данные сводятся в таблицу предлагаемой формы (таблица 2) По данным таблицы 2 строят механическую и электромеханическую характеристики, приведенные в Приложении Б.						
					МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ	Лист
						11
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

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

$$M_{т.расч} = \frac{P_n \cdot \eta_n^2}{\omega_n} \quad (23)$$

2.3.1.6 Тормозной момент M_t , Н м

$$M_t = k \cdot M_{т.р} \quad (24)$$

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

2.3.1.7 Постоянные потери в электродвигателе, ΔP , кВт

$$\Delta P = \frac{P_n}{2} \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) \quad (25)$$

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

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

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. №										

2.3.1.9 Суммарный тормозной момент, $M_{1т}$, Н м	$M_{1т} = M_{1ст} + M_{т} + M_{т.дв}$	(27)
2.3.1.10 Время остановки поднимаемого груза при отключении электродвигателя $t_{1т}$, с	$t_{1т} = J_{пр} \frac{\omega_1}{M_{1т}}$	(28)
2.3.1.11 Установившаяся скорость при подъёме груза, V_1 , м/мин	$v_1 = \frac{30D_6\omega_1}{i}$	(29)
2.3.1.12 Путь пройденный грузом при разгоне и торможении, H_1 , м	$h_1 = \frac{v_1}{2}(t_{1п} + t_{1т})$	(30)
2.3.1.13 Время подъёма груза при установившемся режиме, $t_{1y,c}$		

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

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	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$t_{2п} = J_{пр} \frac{\omega_2}{M_{п} + M_{2ст}}$	(33)
					2.3.2.4 Тормозной момент при остановке, $M_{2т}$, Н м	
					$M_{2т} = M_{т} + M_{т,дв} - M_{2ст}$	(34)
					2.3.2.5 Время остановки опускаемого груза, $t_{2т}$, с	
					$t_{2т} = J_{пр} \frac{\omega_2}{M_{2т}}$	(35)
					2.3.2.6 Скорость опускаемого груза, v_2 , м/мин	
					$v_2 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_2}{i}$	(36)
					2.3.2.8 Путь, пройденный грузом при разгоне и торможении, H_2 , м	
					$h_2 = \frac{v_2}{2} (t_{2п} + t_{2т})$	(37)
					2.3.2.9 Время опускания груза при установившемся режиме t_{2y} , с	

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

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

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																			
$t_{3п} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_3}{M_{п} - M_{3ст}}$ (41)																			
2.3.3.5 Тормозной момент при отключении двигателя в конце подъёма гака, $M_{3т}$, Н м																			
$M_{3т} = M_{3ст} + M_{т} + M_{т.дв}$ (42)																			
2.3.3.6 Время остановки поднимаемого гака $t_{3т}$, с																			
$t_{3т} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_3}{M_{3т}}$ (43)																			
2.3.3.7 Скорость подъёма холостого гака, V_3 , м/мин																			

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

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

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

2.3.4.6 Скорость опускания холостого гака, V_4 , м/мин

$$v_4 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_4}{i} \tag{51}$$

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

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

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

$$t_{4у} = \frac{h - h_4}{v_4} \tag{53}$$

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

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

$$\Pi B\% = \frac{\sum t_{\text{пaб}}}{T} \cdot 100\% \quad (56)$$

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

2.5.2 Рассчитывается эквивалентный ток $I_{\text{э}}$, 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, $I_{\text{эн}}$, А

$$I_{\text{EH}} = I_{\text{E}} \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_{\text{H}}}} \quad (58)$$

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

2.5.4 Проверяется условие $I_{\text{эн}} \leq I_{\text{н}}$ 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	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	зования выбранного двигателя для лебедки с заданными параметрами без перегрева.					
					Пример расчета приведен в Приложении Д.					
					МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ					Лист
										19
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

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

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				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	
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.								
					МК XX.XX.XX.XX.XXX МУ			Лист
								22
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

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 полю- сов $2p$	Мощ- ность на валу, P , кВт	Режим работы ПВ %	Частота вращения, n , об/мин	Номи- нальный ток стато- ра, $I_{ном}$ А	$\cos\phi$	КПД, %	Макси- маль- ный мо- мент, M_{max} , Н·м	Пуско- вой мо- мент, $M_{п}$, Н·м	Пуско- вой ток, $I_{п}$, А	Сопро- тивле- ние фа- зы ста- тора, 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		

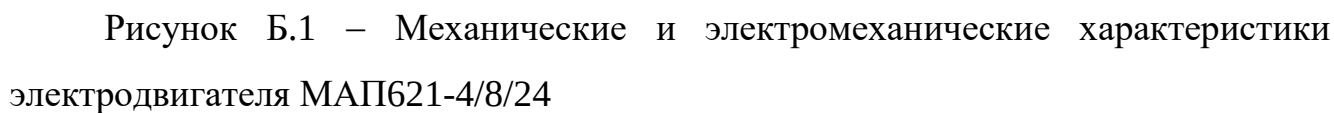
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.					
Лист					
№ докум.					
Подп.					
Дата					
МК XX.XX.XX.XX.XXX MY					
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	

Характеристики электродвигателя



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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

MK XX,XX,XX,XX MY

Лист

25

Приложение В

Зависимость КПД зубчатых передач от загрузки механизма

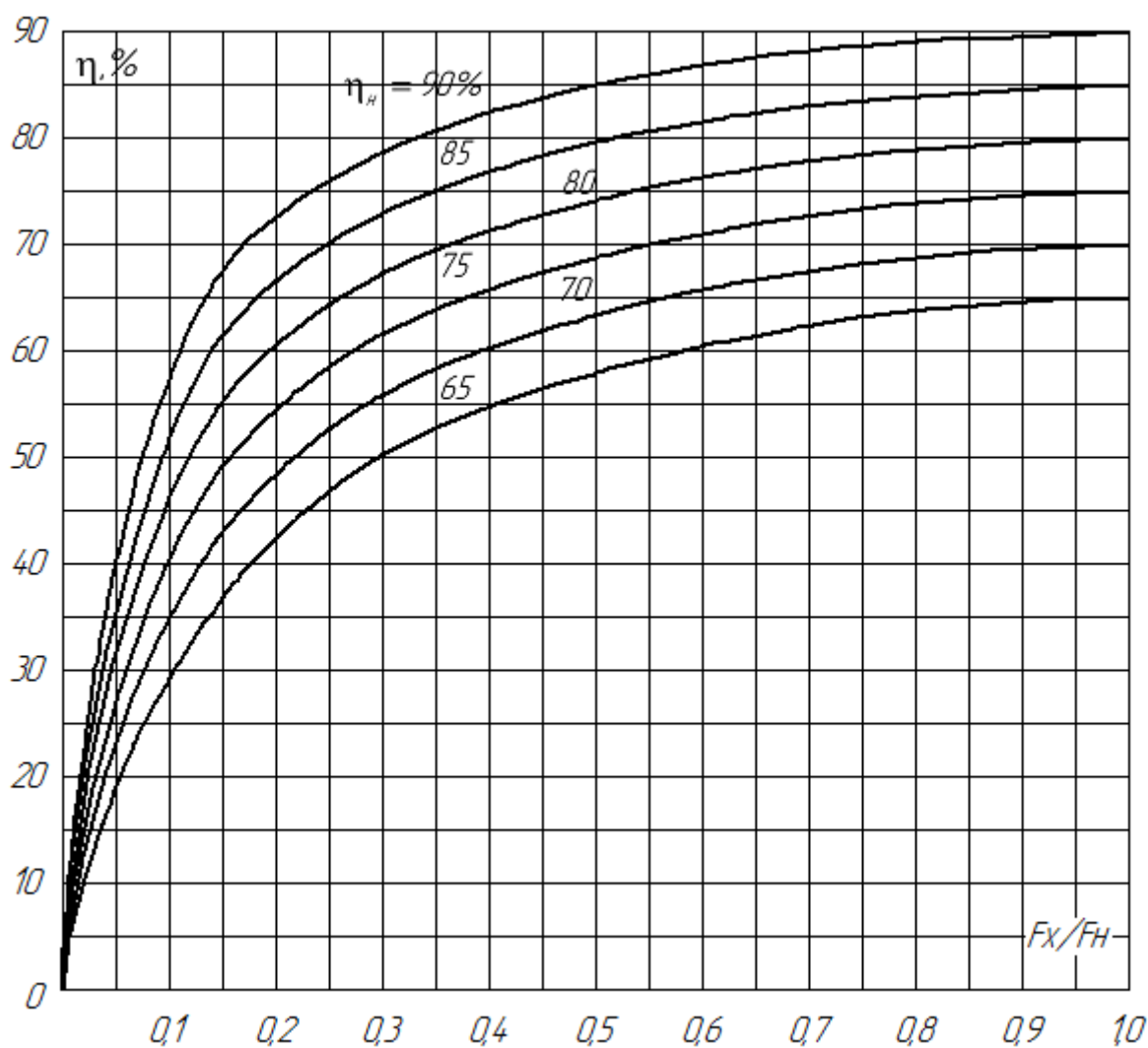


Рисунок В.1 – Зависимость КПД зубчатых передач от загрузки механизма

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 MV

Приложение Г

Нагрузочные диаграммы

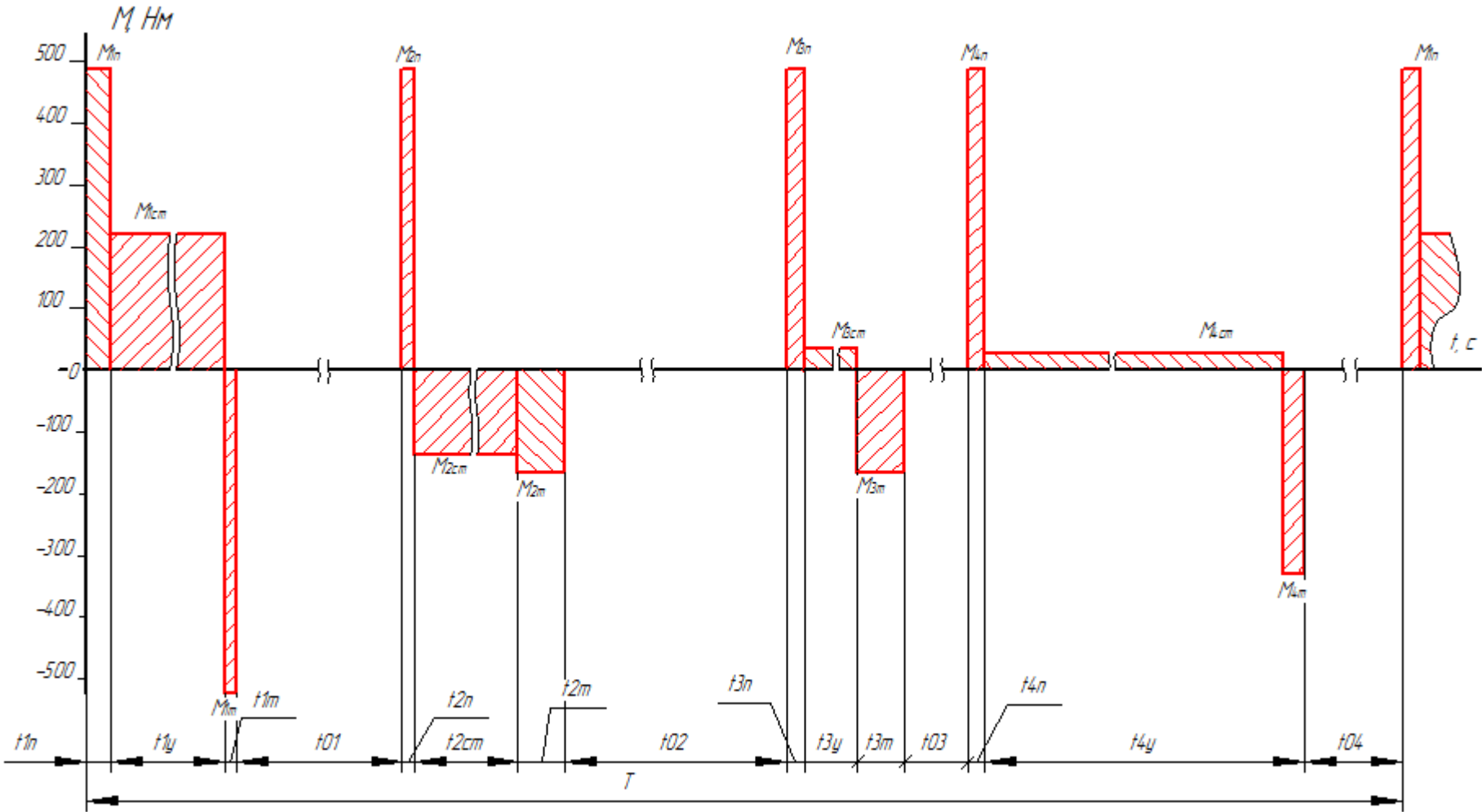


Рисунок Г.1 – Нагрузочная диаграмма $M = f(t)$

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

МК XX.XX.XX.XX.XXX MV

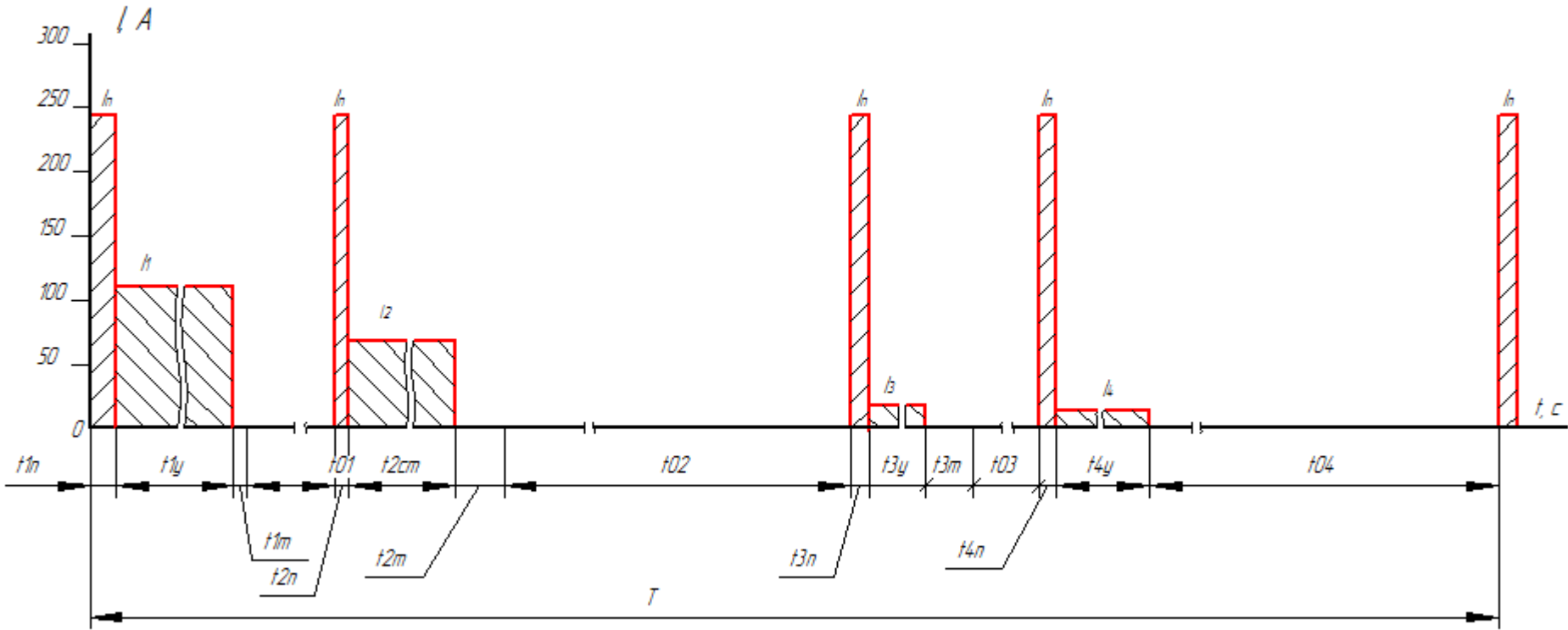


Рисунок Г.2 – Нагрузочная диаграмма $I = f(t)$

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
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											

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				
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

2.2.4 Номинальное скольжение, s_H

$$s_H = \frac{\omega_c - \omega_H}{\omega_c} \quad (13)$$

$$s_H = \frac{157 - 141,8}{157} = 0,097$$

2.2.5 Критическое скольжение $s_{кр}$

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

$$s_{кр} = 0,097 \cdot (2,32 + \sqrt{2,32^2 - 1}) = 0,428$$

где $k_m = \frac{M_{\max}}{M_H} = \frac{490}{212} = 2,32$ – кратность максимального момента.

2.2.6 Ток холостого хода электродвигателя, I_0 , А,

$$I_0 = I_H \left(\sin \varphi - \frac{s_H}{s_{кр}} \cdot \cos \varphi \right) \quad (15)$$

$$I_0 = 63 \cdot \left(0,368 - \frac{0,097}{0,428} \cdot 0,93 \right) = 9,9$$

где $\sin \varphi = 0,368$, соответствует $\cos \varphi = 0,93$.

2.2.7 Задаваясь значениями скольжения от $s=0$ до $s=1$ рассчитываем соответствующие скорости двигателя по принятым значениям, ω , рад/с, по зависимостям (16) – (19). В пунктах 2.2.7 – 2.2.9 приведен расчет только для $s = 0,2$ и четырех полюсов. Для прочих значений скольжения и чисел полюсов расчеты аналогичны, данные расчетов приведены в таблице 3.

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

$$\omega_8 = \omega_{c8} (1 - s) = 157 \cdot (1 - 0,2) = 125,6$$

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

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

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ				Лист
									34

$$M = \frac{2 \cdot 490}{\frac{0,2}{0,428} + \frac{0,428}{0,2}} = 376,1$$

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

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

Так, например, для $s = 0,5$

$$M = \sqrt{392,4^2 + \frac{0,93 \cdot 490^2 - 392,4^2}{(1 - 1,3 \cdot 0,428)^2} (1 - 0,5)^2} = 576$$

2.2.9 Рассчитываем ток статора, I , А,

$$I = \sqrt{\left(I_{\text{н}}^2 - I_0^2\right) \frac{sM}{s_{\text{н}}M_{\text{н}}} + I_0^2} \quad (19)$$

$$I = \sqrt{\left(63^2 - 9,9^2\right) \frac{0,2 \cdot 376}{0,097 \cdot 211,6} + 9,9^2} = 119$$

Таблица 3 – Данные для построения характеристик

Скольжение, s	Угловая скорость, ω , рад/с	Частота вращения, n , об/мин	Момент, M , Н·м	Ток, I , А
Значения параметров для $2p = 4$				
0,000	157,0	1500,0	0,0	9,9
0,012	155,1	1481,6	28,0	12,7
0,015	154,6	1477,1	35,0	14,1
0,060	147,6	1410,0	134,8	40,3
$s_{\text{н}} = 0,097$	141,8	1354,3	211,6	63,0
0,103	140,8	1345,2	223,4	66,6
0,200	125,6	1200,0	376,1	119,4
0,300	109,9	1050,0	461,0	161,7
$s_{\text{кр}} = 0,428$	89,8	857,7	490,5	199,1
0,600	62,8	600,0	459,1	229,2
0,800	31,4	300,0	410,1	248,2
1,000	0,0	857,7	392,4	304,1

Подп. и дата				
Инв. № дубл.				
Взам. инв. №				
Подп. и дата				
Инв. № подл.				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ				Лист
				35

Инв. № подл. Подп. и дата Инв. № дубл. Взам. инв. №	<table><tr><th>Скольжение, s</th><th>Угловая скорость, ω, рад/с</th><th>Частота вращения, n, об/мин</th><th>Момент, M, Н·м</th><th>Ток, I, А</th></tr><tr><td colspan="5">Значения параметров для $2p = 8$</td></tr><tr><td>0,000</td><td>78,5</td><td>750,0</td><td>0,000</td><td>21,0</td></tr><tr><td>0,050</td><td>74,6</td><td>712,5</td><td>137,4</td><td>30,7</td></tr><tr><td>0,065</td><td>73,4</td><td>701,3</td><td>176,6</td><td>35,7</td></tr><tr><td>$s_n = 0,077$</td><td>72,5</td><td>692,2</td><td>207,0</td><td>40,0</td></tr><tr><td>0,100</td><td>70,7</td><td>675,0</td><td>261,8</td><td>48,4</td></tr><tr><td>0,200</td><td>62,8</td><td>600,0</td><td>440,6</td><td>82,7</td></tr><tr><td>0,250</td><td>58,9</td><td>562,5</td><td>492,2</td><td>96,8</td></tr><tr><td>0,300</td><td>55,0</td><td>525,0</td><td>522,8</td><td>108,8</td></tr><tr><td>$s_{кр} = 0,386$</td><td>48,2</td><td>460,2</td><td>539,6</td><td>124,8</td></tr><tr><td>0,500</td><td>39,3</td><td>375,0</td><td>520,6</td><td>139,3</td></tr><tr><td>0,600</td><td>31,4</td><td>300,0</td><td>510,0</td><td>147,8</td></tr><tr><td>1,000</td><td>0,0</td><td>0,0</td><td>490,5</td><td>163,7</td></tr><tr><td colspan="5">Значения параметров для $2p = 24$</td></tr><tr><td>0,000</td><td>26,17</td><td>250,0</td><td>0,0</td><td>18,7</td></tr><tr><td>0,050</td><td>24,86</td><td>237,5</td><td>30,2</td><td>19,1</td></tr><tr><td>0,100</td><td>23,55</td><td>225,0</td><td>59,9</td><td>20,0</td></tr><tr><td>0,200</td><td>20,93</td><td>200,0</td><td>116,6</td><td>25,3</td></tr><tr><td>0,250</td><td>19,63</td><td>187,5</td><td>142,8</td><td>25,1</td></tr><tr><td>0,300</td><td>18,32</td><td>175,0</td><td>167,4</td><td>27,3</td></tr><tr><td>$s_n = 0,338$</td><td>17,33</td><td>165,5</td><td>184,7</td><td>29,0</td></tr><tr><td>0,600</td><td>10,47</td><td>100,0</td><td>271,9</td><td>40,4</td></tr><tr><td>0,700</td><td>7,85</td><td>75,0</td><td>291,0</td><td>44,2</td></tr><tr><td>0,800</td><td>5,23</td><td>50,0</td><td>303,5</td><td>47,5</td></tr><tr><td>0,900</td><td>2,62</td><td>25,0</td><td>310,7</td><td>50,5</td></tr><tr><td>1,000</td><td>0,00</td><td>0,0</td><td>313,7</td><td>53,0</td></tr></table>					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
	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 Подъём номинального груза																																																																																																																																												
2.3.1.1 Подъём номинального груза производится на высшей скорости. Ста-																																																																																																																																												
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ</td><td>Лист</td></tr><tr><td>Изм</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td>36</td></tr></table>										МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	36																																																																																																																											
					МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист																																																																																																																																						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		36																																																																																																																																						

тический момент, действующий на вал двигателя при подъеме $M_{1ст} = 223 \text{ Нм}$, определен в п. 2.1.1 Моменту $M_{1ст}$ 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)

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

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

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

$$M_{1дин} = M_n - M_{1ст} \tag{22}$$

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

$$M_{1дин} = 490 - 223 = 267$$

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

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

$$M_{1т} = 223 + 270 + 31 = 524$$

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

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

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				Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист
	Инв. № дубл.										
	Взам. инв. №										
	Подп. и дата										39
50,3 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 $\omega_2 = 147,6$ рад/с; $I_2 = 40,3$ 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											

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

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

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

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

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

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

2.3.4.4 Время остановки опускаемого гака, $t_{4т}$, с					
$t_{4т} = J_{0пр} \cdot \frac{\omega_4}{M_{4т}}$					(51)
$t_{4т} = 1,4 \cdot \frac{155}{329} = 0,7$					
2.3.4.5 Скорость опускания холостого гака, v_4 , м/мин					
$v_4 = \frac{30 \cdot D_6 \cdot \omega_4}{i}$					(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					
$h_4 = \frac{v_4}{2} (t_{4п} + t_{4т})$					(53)

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

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.	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

$$T = \sum t_{\text{раб}} + \sum t_0 \tag{55}$$

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

$$Z_{\text{расч}} = \frac{3600}{T} \tag{56}$$

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

Производительность лебедки удовлетворяет требованиям задания.

2.5 Проверка электродвигателя на нагрев

2.5.1 Расчетная продолжительность включений, ПВ, процент или ε

$$\text{ПВ}\% = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{T} \tag{57}$$

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

2.5.2 Эквивалентный ток I_{ε} , А

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	$Z_{\text{расч}} = \frac{3600}{T}$	(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						
					$\text{ПВ}\% = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{T}$	(57)
					$\text{ПВ}\% = \frac{65}{229} \cdot 100 = 28,5 \text{ \%};$	$\varepsilon = 0,285.$
2.5.2 Эквивалентный ток Iε, А						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ	Лист
						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				7. 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. 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. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подп. и дата				
	Изм. Лист				
МК XX.XX.XX.XX.XXX ПЗ					
Лист					
48					