

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Калининградский государственный технический университет»

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

А.А. Топчий

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ

Методические указания
по выполнению курсовой работы
для курсантов специальности 26.05.07
«Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»

Калининград
Издательство БГАРФ
2018

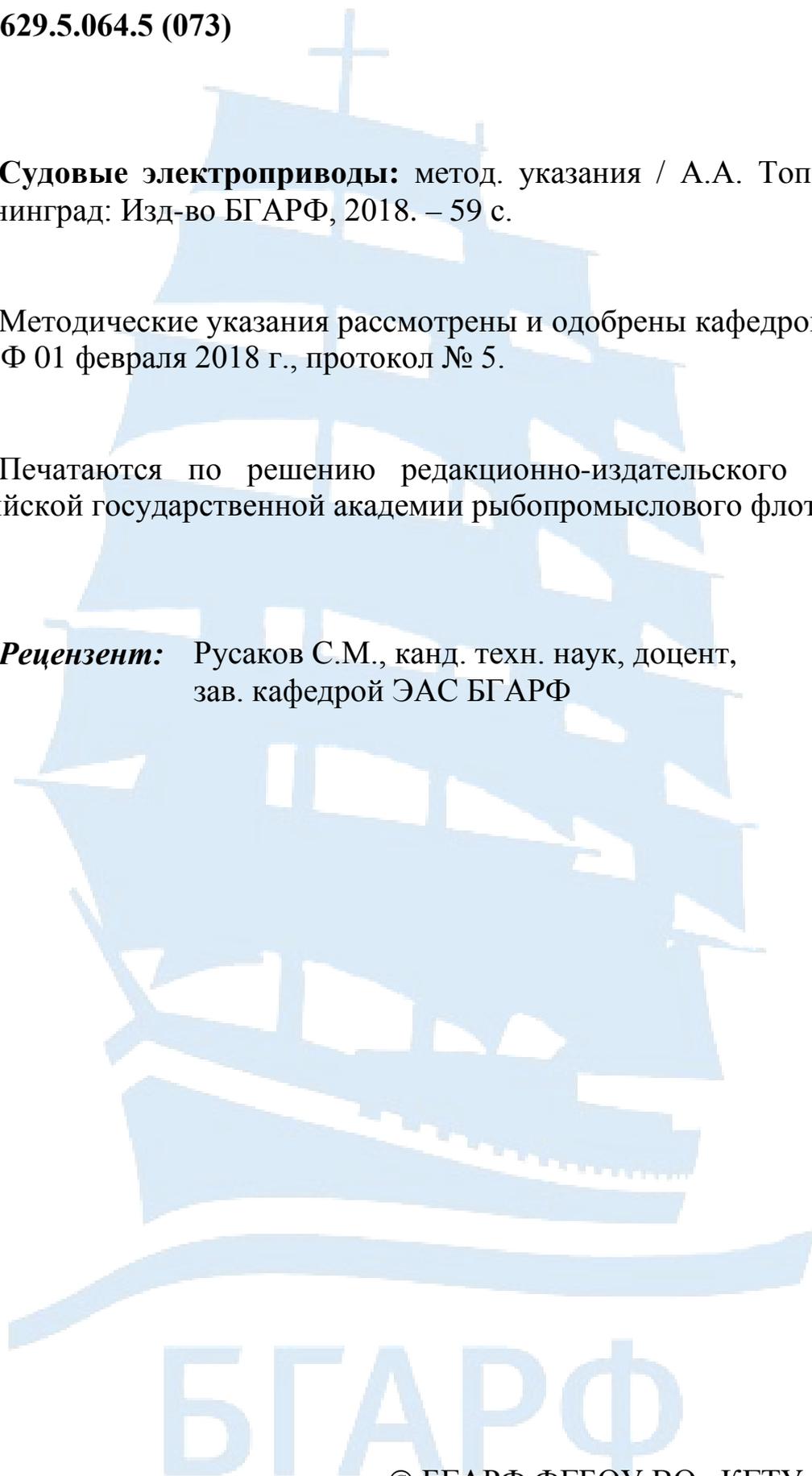
УДК 629.5.064.5 (073)

Судовые электроприводы: метод. указания / А.А. Топчий. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2018. – 59 с.

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой ЭАС БГАРФ 01 февраля 2018 г., протокол № 5.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота.

Рецензент: Русаков С.М., канд. техн. наук, доцент,
зав. кафедрой ЭАС БГАРФ



© БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цель и задачи курсовой работы	4
Содержание курсовой работы и требования к оформлению	4
1. Назначение, динамика электропривода и этапы расчёта	8
2. Электропривод якорно-швартовного устройства	11
2.1. Назначение, требования Правил Регистра РФ, параметры расчёта	11
2.2. Физика процесса и методика расчёта электропривода	12
2.3. Усилие натяжения якорной цепи	13
2.4. Выбор мощности асинхронного двигателя	21
2.5. Расчёт электродвигателя брашпиля на постоянном токе	22
2.6. Расчёт электропривода брашпиля по работе	27
3. Расчёт электропривода судовой грузовой лебёдки	37
3.1. Данные для расчёта	37
3.2. Динамика процесса и методика расчёта электропривода	37
3.3. Расчёт мощности электродвигателя судовой грузовой лебёдки	41
3.4. Проверка выбранного электродвигателя по заданному режиму работы	50
Список рекомендуемой литературы.....	52
Приложение 1. Пример оформления титульного листа	53
Приложение 2. Задания на курсовую работу	54
Приложение 3. Исходные данные для выполнения курсовой работы	56
Приложение 4. Пояснительная записка.....	59

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Задачей курсовой работы является закрепление теоретических знаний путём привития практических навыков расчётов характеристик рабочих механизмов и электропривода, разработка схемы автоматизации, выбора элементов, а также составление инструкции по эксплуатации. Объём и содержание курсовой работы могут быть изменены в зависимости от индивидуальных способностей учащегося за счёт добавления разделов научно-исследовательского характера.

Выдача заданий на курсовую работу и рассмотрение основных этапов работы производится на практических занятиях.

Работа должна вестись поэтапно в соответствии с календарным графиком. В указанные сроки учащиеся должны предоставить выполненные разделы курсовой работы на проверку руководителю.

К защите курсовой работы допускаются курсанты, выполнившие все разделы задания в соответствии с требованиями настоящих методических указаний. Завершённая курсовая работа представляется руководителю не позднее, чем за две недели до начала экзаменационной сессии.

В процессе защиты учащийся обязан продемонстрировать понимание существа задач, решаемых в работе; дать чёткие ответы на вопросы, касающиеся теоретических и практических сторон курсовой работы.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Курсовая работа должна состоять из пояснительной записки (ПЗ) объёмом не менее 20-25 страниц формата А4 и материалов графической части (ГЧ).

Пояснительная записка включает:

1. Титульный лист (Приложение 1).
2. Задание на курсовую работу (Приложение 2).
3. Содержание.

4. Введение.
5. Материалы основных разделов курсовой работы.
6. Выводы.
7. Список используемой литературы.

Графическая часть выполняется на миллиметровой бумаге формата А2.

Требования к оформлению. Текст должен быть оформлен на стандартных листах формата А4 (210×297 мм) при соблюдении следующих размеров полей: левое – 20 мм, нижнее и верхнее – 15-20 мм, правое – 10 мм.

В работе должны быть чёткие линии, буквы, цифры и другие знаки. Все – одинакового цвета.

Страницы пояснительной записки курсовой работы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту работы. Номер страницы проставляется в правом верхнем углу без точки в конце.

Титульный лист включают в общую нумерацию страниц пояснительной записки. Пример оформления титульного листа представлен в Приложении 1. Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных страницах, включают в общую нумерацию страниц документа.

Структурные элементы пояснительной записки: «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ» не нумеруют, а их наименование служит заголовками структурных элементов.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки структурных элементов работы и заголовки разделов следует располагать по центру строки и выполнять прописными буквами без точки в конце, не подчёркивая.

Заголовки подразделов, пунктов и подпунктов работы следует начинать с абзацного отступа и выполнять строчными буквами (кроме первой прописной), не подчёркивая, без точки в конце.

Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту и равным 1 см.

Переносы слов в заголовке раздела не допускаются.

Расстояние между заголовком и последующим или предыдущим текстом должно быть не менее двух строк. Расстояние между основаниями строк заголовка, а также между двумя заголовками принимают таким же, как в тексте.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего документа.

Подразделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого раздела.

Номер подраздела состоит из номера раздела и порядкового номера подраздела, разделённых точкой.

Например: 2.1. Теоретическая часть, т. е. первый подраздел второго раздела.

Иллюстрации (чертежи, рисунки, графики, схемы, диаграммы) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые или на следующей странице. Чертежи, рисунки, графики, схемы, диаграммы должны соответствовать требованиям стандартов ЕСКД и ЕСПД. ГОСТ 2.105-95 «ЕСКД. Общие требования к текстовым документам».

Цифровой материал рекомендуется оформлять в виде таблиц. Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице. Нумерация таблиц осуществляется арабскими цифрами в пределах каждого раздела за исключением таблиц, приводимых в Приложениях.

Например: Таблица 1.3 – третья таблица первого раздела.

Формулы и уравнения располагают непосредственно после текста, в котором они упоминаются, посередине страницы. Нумеровать следует наиболее важные формулы и уравнения порядковой нумерацией в пределах раздела. Номер формулы или уравнения указывают на уровне формулы или уравнения в круглых скобках в крайнем правом положении на строке.

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу или уравнение, следует приводить непосредственно под формулой в той последовательности, в которой они даны в формуле или уравнении.

Пример:

Известно, что

$$z = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}, \quad (3.1)$$

где M_1, M_2 – математические ожидания;

σ_1, σ_2 – среднеквадратическое отклонение прочности и нагрузки.

При ссылках на разделы, подразделы, пункты, подпункты, иллюстрации, таблицы, формулы, уравнения и Приложения указывают их номера. При ссылке на формулу её порядковый номер указывается в круглых скобках без сокращения в слове, *например*: «... расчёт выполняется по формуле (3.2.1), полученной из ...».

При ссылке в тексте на информацию из использованного источника следует указать его порядковый номер в приведённом списке литературы, заключённый в квадратные скобки, *например*: «... как показано в [4] ...».

Список использованной литературы включает полное библиографическое описание использованных источников и помещается после основной части работы перед Приложениями. Оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2008 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».



1. НАЗНАЧЕНИЕ, ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ЭТАПЫ РАСЧЁТА

Приводом называется совокупность двигателя, его системы управления и передаточного устройства.

Развитие теории электропривода и автоматического регулирования создало условия для широкого внедрения на судах современных систем электроприводов. В настоящее время автоматизированный привод предусматривает использование электрических машин как постоянного, так и переменного тока. В системах с машинами постоянного тока сравнительно простыми способами осуществляется плавное и широкое регулирование частоты вращения, получаются требуемые механические характеристики и обеспечиваются наивыгоднейшие переходные процессы. Создание автоматических систем с двигателями переменного тока осложняется тем, что использование двигателей переменного тока в их обычном исполнении часто не обеспечивает необходимой плавности и диапазона регулирования частоты вращения. В целом же на судах флота рыбной промышленности нашли применение электродвигатели как переменного, так и постоянного тока.

Учитывая специфику работы электроприводов, их можно разделить на три группы:

- электроприводы механизмов, устанавливаемых на открытых палубах;
- электроприводы механизмов, располагаемых в общесудовых помещениях;
- электроприводы механизмов производственных цехов.

К первой группе относятся электроприводы брашпильей, шпильей различного назначения, грузовых, промысловых, буксирных и других лебёдок, кранов, рулевых устройств и лифтов (хотя последние и устанавливаются в закрытых помещениях).

Ко второй группе относятся электроприводы вспомогательных механизмов машинно-котельных отделений (насосов, компрессоров, вентиляторов ...), а также механизмов помещений бытового назначения (камбуза, прачечной, сушилки ...).

К третьей группе относятся электроприводы механизмов производственных цехов [1; 2; 4; 7; 8; 9].

Для электроприводов первой группы характерным является кратковременный или повторно-кратковременный режим работы

с частыми реверсами и регулированием частоты вращения – им свойственны переменная нагрузка и перегрузки.

Электроприводы второй группы работают с постоянной или мало изменяющейся нагрузкой. Механизмы этой группы в большинстве случаев не требуют регулирования частоты вращения и реверсирования.

Электроприводы третьей группы по режиму работы относятся ко второй, а по конструктивному исполнению к первой группе.

Электроприводы каждой группы разделяют по роду тока. На современных промышленных судах преимущественное распространение получили электроприводы переменного тока, за исключением механизмов, работающих в тяжёлых режимах и требующих регулирования частоты вращения в широких пределах.

При выборе электропривода необходимо пересчитать моменты и силы сопротивления, действующие на рабочее звено привода, и привести их к валу электродвигателя. Знание этих величин позволяет рассматривать переходные режимы работы двигателя и привода в целом.

Вращающий момент двигателя M_B идёт на преодоление момента сопротивления на его валу M_C , определяемого рабочим механизмом. В общем случае при установившемся движении

$$M_B = M_C + M_M,$$

где M_M – момент сопротивления механизма, преодолевая который двигатель совершает полезную работу.

Всякий раз, когда двигатель изменяет скорость вращения, например, при изменении нагрузки на валу, из-за инерции движущихся масс возникает динамический момент M'_D на валу двигателя. Динамический момент может быть ускоряющим и тормозящим. Поэтому уравнение равновесия моментов при вращательном движении в нестационарном режиме для электропривода имеет вид

$$M_B = M_C \pm M'_D = M_C + J \frac{d\omega}{dt},$$

где M_B, M_C, M_D – моменты, $Нм$;

J – момент инерции относительно оси вращения, $кгм^2$;

ω – угловая скорость вращения, $рад/с$.

Момент инерции может быть выражен через маховой момент GD^2

$$J = \frac{GD^2}{4g},$$

где G – вес тела, кг;

D – диаметр инерции, м;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Вращающий момент в двигателях постоянного тока

$$M_B = G_D I_{я} \Phi.$$

В асинхронных двигателях момент вращения

$$M_B = C \Phi I_{2s} \cos \varphi_{2s}.$$

Расчёт электропривода состоит из следующих этапов [2; 4; 8]:

1. Определение момента и сил сопротивления, действующих на рабочее звено привода.
2. Построение нагрузочных диаграмм и отнесение их к валу электродвигателя.
3. Выбор характеристик электрооборудования. В частности, определение зависимости между моментом на валу электродвигателя и скоростью его вращения – механическая характеристика $n = f(M)$.
4. Установление типа и конструкции электрических машин и остальных элементов электрооборудования.
5. Разработка и выбор электрических схем соединений, обеспечивающих включение, разгон, работу и торможение электродвигателя.

БГАРФ

2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ЯКОРНО-ШВАРТОВНОГО УСТРОЙСТВА

2.1. Назначение, требования Правил Регистра РФ, параметры расчёта

Основным назначением якорно-швартовного устройства является обеспечение надёжной стоянки судна на якорю и выполнение операций по швартовке его у причалов или на рейде.

В соответствии с Правилами Регистра РФ [9] мощность электропривода якорного механизма должна обеспечивать выбирание любой из якорных цепей со скоростью не менее 10 м/мин при тяговом усилии на звёздочке $F = 1,13(qH + G)$, где q – масса одного погонного метра якорной цепи; H – глубина стоянки; G – вес якоря, и в течение времени не менее 30 мин (без перерыва), а также спуск якоря на условную глубину якорной стоянки.

При подходе якоря к клюзу скорость выбирания цепи не более 10 м/мин, а рекомендуемая скорость втягивания якоря в клюз не более 7 м/мин.

Электропривод швартовного механизма должен обеспечить непрерывное выбирание швартовного троса при номинальном тяговом усилии с номинальной скоростью в течение времени не менее 30 мин, а скорость выбирания швартовного троса не должна превышать 18 м/мин.

На промышленных судах наибольшее распространение получили контроллерные и релейно-контроллерные схемы управления якорно-швартовными устройствами. При применении исполнительных электродвигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором электропривод якорных механизмов после 30-ти минутной работы при номинальной нагрузке должен обеспечивать возможность стоянки под током электродвигателя при номинальном напряжении в течение времени не менее 30 с, а электропривод швартовного механизма – не менее 15 с.

Расчёт электропривода якорно-швартовного устройства следует выполнять по методике, изложенной в [4; 5; 6]. Количество, тип, вес

якорей, длина и калибр цепей, глубина стоянки определяются по табл. 8.3 [3] в соответствии с нормой якорного снабжения судна N_c

$$N_c = \Delta^{2/3} + 2BH + 0,1A,$$

где Δ – водоизмещение судна;

B – ширина судна;

H – условная высота от ватерлинии до верхней кромки настила палубы у борта самой высокой рубки;

A – площадь парусности в пределах длины судна.

Парусящую поверхность и условную высоту можно определить согласно главным размерениям судна по данным [2; 9].

После определения номинальных значений момента, скорости и выбора исполнительного электродвигателя по справочникам [3; 7] выполняется расчёт его механических и электромеханических характеристик для каждого значения его числа пар полюсов.

При расчёте нагрузочной диаграммы электропривода следует определить результирующую внешнюю силу, действующую на судно при стоянке на якорю, рассчитать длину провисающей части цепи, определить моменты сопротивления на каждой из стадий съёмки с якоря. В заключении выполняется проверочный расчёт в переходном режиме и приводится уточнённая нагрузочная диаграмма электропривода.

При разработке принципиальной схемы электропривода якорно-швартовного устройства необходимо использовать [3; 4], где приводятся типовые схемы управления 2-х и 3-х скоростными асинхронными двигателями, выбрать основные элементы из [3] и составить спецификацию с перечнем элементов.

Размещение электрооборудования должно быть выполнено с учётом степени защищённости, а также удобства обслуживания и эксплуатации [6].

2.2. Физика процесса и методика расчёта электропривода

Работа брашпиля при подъёме якоря может быть разбита на следующие периоды:

I – выборание якорной цепи, лежащей на грунте, при постоянном тяговом усилии F_1 ;

II – выборание якорной цепи со спрямлением цепной линии при переменном тяговом усилии F_2 ;

III – отрыв якоря от грунта при постоянном тяговом усилии F_3 ;

IV – подъём якоря при переменном тяговом усилии F_4 .

Изменение вращающего момента брашпиля в различные периоды его работы представлено на диаграмме (рис. 1) [3; 4].

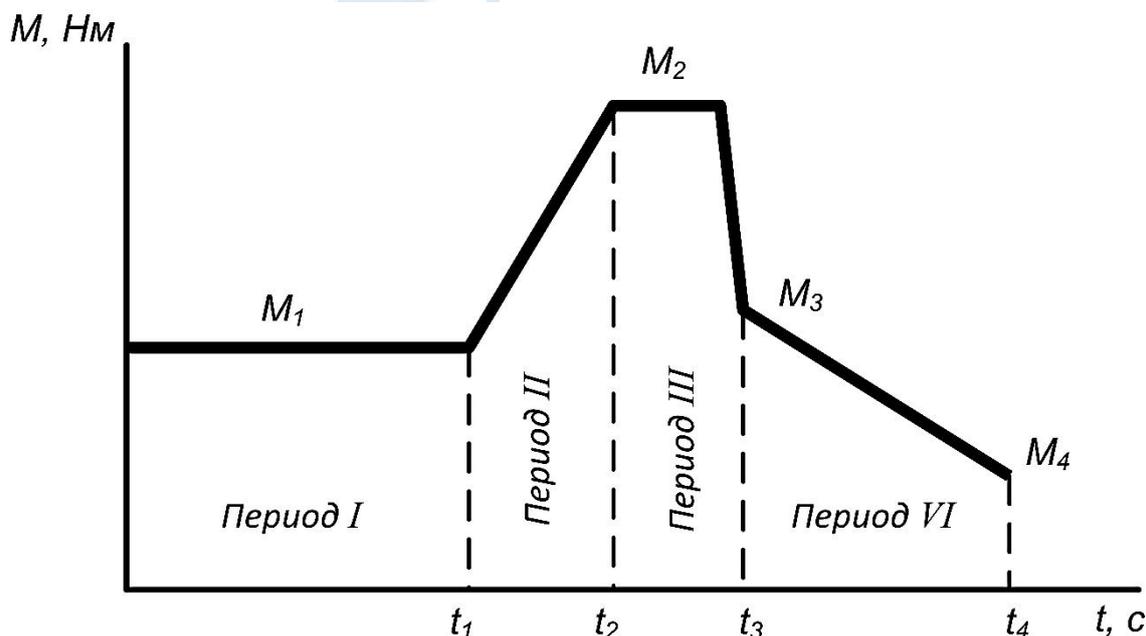


Рис. 1. Диаграмма изменения момента на валу электродвигателя брашпиля

Данные для расчёта:

Главные размерения судна: длина L , м; ширина B , м; осадка T , м.

Площадь надводной части основного корпуса S_1 , м².

Площадь надстройки, проецируемой на мидель-шпангоут S_2 , м².

Глубина стоянки H , м.

Скорость ветра v_B , м/с.

Скорость течения $v_{\text{теч}}$, м/с.

Количество якорей, шт.

Масса одного якоря Q , кг.

Масса одного погонного метра якорной цепи q , кг.

Радиус звёздочки брашпиля $R_{\text{зв}}$, м.

Общее передаточное число брашпиля i .

Коэффициент полезного действия брашпиля $\eta_{\text{бр}}$.

2.3. Усилие натяжения якорной цепи

$$F_1 = f_{\text{кл}}(k\tau H + R_c), \quad (2.1)$$

где $f_{\text{кл}} = 1,28 \div 1,35$ – коэффициент трения цепи в клюзе;

k – коэффициент, равный 0,9 для пресной воды и 0,87 для морской воды;

τ – сила тяжести от одного погонного метра цепи, H

$$\tau = gq = 9,81q;$$

R_c – нагрузка на судно от действия ветра R_B и течения воды $R_{\text{теч}}$,

$$R_c = R_B + R_{\text{теч}}. \quad (2.2)$$

Нагрузка (H) на судно от действия ветра

$$R_B = k_B(\varepsilon S_1 + S_2)v_B^2, \quad (2.3)$$

где $k_B = 0,175 \div 0,22$ – коэффициент ветрового давления, Hc^2/m^4 ;
 $\varepsilon = 0,26 \div 0,31$ – коэффициент, учитывающий обтекаемость корпуса судна.

Нагрузка (H) на судно от действия течения

$$R_{\text{теч}} = f_T \cdot S_{\text{п}} \cdot v^{1,83}, \quad (2.4)$$

где $f_T = 1,4 \div 1,7$ – коэффициент трения;
 $S_{\text{п}}$ – площадь смоченной, т.е. подводной поверхности судна, m^2 ;
 v – скорость, полученная от сложения скоростей течения $v_{\text{теч}}$ и выбирания якоря $v_{\text{выб}}$, m/c

$$v = v_{\text{теч}} + v_{\text{выб}}. \quad (2.5)$$

Скорость выбирания якоря принимают от 0,1 до 0,2 m/c .

Площадь (m^2) смоченной поверхности судна

$$S_{\text{п}} = [2T + 1,37(\delta - 0,274)B]L, \quad (2.6)$$

где T – осадка судна, m ;

$\delta = 0,6 \div 0,75$ – коэффициент полноты водоизмещения.

2.3.1. Период I – выбирание якорной цепи, лежащей на грунте

Момент сопротивления (Hm), отнесённый к валу электродвигателя,

$$M_1 = \frac{F_1 R_{3B}}{i \eta_{\text{бр}}}. \quad (2.7)$$

Длина провисающей цепи, m

$$l_2 = \sqrt{\frac{2F_1 H}{\tau} + H^2}. \quad (2.8)$$

Полная длина l вытравленной за борт якорной цепи зависит от глубины стоянки. Судоводительская практика рекомендует прини-

мать $l = (2 \div 4)H$, где верхний предел относится к малым глубинам стоянки судна.

Длина цепи, лежащей на грунте и выбираемой брашпилем, за период I

$$l_1 = l - l_2.$$

Для приблизительных расчётов можно принять $l_1 = 1,5H$, м.

Выборание якорной цепи в течение периода I происходит при постоянном моменте, а, следовательно, и при постоянной угловой скорости вращения электродвигателя, т. е. (м)

$$l_1 = v_1 t_1 = \frac{\omega_1 R_{зв} t_1}{i},$$

откуда время (с) выбирания якоря при периоде I

$$t_1 = \frac{i l_1}{\omega_1 R_{зв}}. \quad (2.9)$$

2.3.2. Период II – выбирание провисающей цепи до момента отрыва якоря от грунта

Усилие (H) в якорной цепи возрастает по линейному закону и в конце периода II достигает своего максимума. Определяется по эмпирической формуле

$$F_2 = f_{кл}[k(T_я + \tau H) + 2T_я], \quad (2.10)$$

где $T_я$ – усилие от веса якоря (сила тяжести)

$$T_я = gQ = 9,81Q. \quad (2.11)$$

Момент ($Hм$) на валу электродвигателя в конце периода II

$$M_2 = \frac{F_2 R_{зв}}{i \eta_{бр}} \quad (2.12)$$

Момент ($Hм$) на валу электродвигателя в течение периода II будет изменяться также по линейному закону

$$M = M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l'_2} l, \quad (2.13)$$

где M_1 – момент на валу электродвигателя в начале периода II, $Hм$;
 M_2 – момент на валу электродвигателя в конце периода II, $Hм$;
 l – длина выбранной якорной цепи за любую часть времени, м;
 l'_2 – длина выбранной якорной цепи за период II, м

$$l'_2 = l_2 - H \approx 0,5H.$$

Для электропривода брашпильей на постоянном токе чаще всего применяют электродвигатели с последовательным возбуждением, имеющие наибольший момент в заторможенном состоянии и необходимую мягкую механическую характеристику. При этом делается допущение, что магнитный поток ($B\delta$) двигателя находится в квадратичной зависимости от ампер-витков обмотки последовательного возбуждения, пропорциональных, в свою очередь, току главной цепи

$$\Phi^2 = k_1 A \omega = k_2 I, \quad (2.14)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности между потоком и ампер-витками;

k_2 – коэффициент пропорциональности между ампер-витками обмотки последовательного возбуждения и током якоря двигателя;

$A\omega$ – ампер-витки обмотки возбуждения, A ;

I – ток в якоре электродвигателя, A .

Подставляя значение тока якоря, полученного из выражения (2.14), находим

$$M_{\text{дв}} = k\Phi \frac{\Phi^2}{k_2} = \frac{k}{k_2} \Phi^3. \quad (2.15)$$

Подставив в формулу (2.15) значение потока, в котором э.д.с. приравниваем к подводимому к электродвигателю напряжению питающей сети и условно принимаем, что внутреннее сопротивление электродвигателя равно нулю, получим

$$M_{\text{дв}} = \frac{kU^3}{k_2 k^3 \omega^3} = \frac{U^3}{k_2 k^2 \omega^3}. \quad (2.16)$$

Обозначим $U^3 / k_2 k^2 = C$, тогда механическая характеристика электродвигателя постоянного тока с последовательным возбуждением примет вид

$$M_{\text{дв}} = C / \omega^3 \quad \text{или} \quad M_{\text{дв}} \omega^3 = C. \quad (2.17)$$

Вращающий момент и скорость вращения электродвигателя в период II будет зависеть от момента M_1 , сопротивления на валу электродвигателя, который изменяется в этом периоде от M_1 до M_2

$$M_{\text{дв}} \omega^3 = M_1 \omega_1^3.$$

Откуда

$$M_{\text{дв}} = M_1 \frac{\omega_1^3}{\omega^3}. \quad (2.18)$$

Так как момент сопротивления на валу электродвигателя (2.13) будет равен моменту, развиваемому двигателем, то можно написать уравнение

$$M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l'_2} l = M_1 \frac{\omega_1^3}{\omega^3}. \quad (2.19)$$

Решая уравнение (2.19) по отношению к угловой скорости электродвигателя в любой момент времени, получим

$$\omega = \omega_1^3 \sqrt{\frac{M_1}{M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l'_2} l}} = \omega_1^3 \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{M_2 - M_1}{M_1 l'_2} l}}. \quad (2.20)$$

Угловая скорость вращения электродвигателя может быть определена в зависимости от поступательной скорости $v_{\text{выб}}$ выбирания якорной цепи, т. е.

$$\omega R_{\text{зв}} = i v_{\text{выб}} = i \frac{dl}{dt}, \quad (2.21)$$

откуда

$$dt = \frac{idl}{\omega_1 R_{\text{зв}}} = \frac{i}{\omega_1 R_{\text{зв}}} \sqrt{1 + \frac{M_2 - M_1}{M_1 l'_2} l} dl.$$

Проинтегрировав это выражение в пределах периода Π от $t = 0$ до $t = t_2$ и от $l = 0$ до $l = l'_2$, и заменив $l'_2 = 0,5H$, получим формулу для определения времени (c) выбирания якоря в периоде Π

$$t_2 = \frac{0,75iM_1H}{\omega_1 R_{\text{зв}}(M_2 - M_1)} \left(\frac{M_2}{M_1} \sqrt{\frac{M_2}{M_1} - 1} \right). \quad (2.22)$$

2.3.3. Период III – отрыв якоря от грунта и начало подъёма

Усилие (H) отрыва якоря от грунта

$$F_3' = F_2 = f_{\text{кл}}[k(T_{\text{я}} + \tau H) + 2T_{\text{я}}].$$

Принимают время отрыва якоря от грунта $t_3 = 1 \div 2$ мин.

Процесс выбирания якоря при этом прекращается, $l_3 = 0$ и момент на валу электродвигателя будет

$$M_3' = M_2 = \frac{F_2 R_{\text{зв}}}{i \eta_{\text{бр}}} = \text{Const.}$$

Усилие (H) на звёздочке брашпиля изменяется по линейному закону, в начале процесса

$$F_3 = f_{\text{кл}} k (T_{\text{я}} + \tau H). \quad (2.23)$$

В конце периода, когда якорь вышел из воды и подходит к клюзу, усилие (H)

$$F_4 = f_{\text{кл}} T_{\text{я}}.$$

Момент (Hm) на валу электродвигателя при оторванном якоря в начале периода IV

$$M_3 = \frac{F_3 R_{\text{зв}}}{i \eta_{\text{бр}}}.$$

Момент (Hm) на валу электродвигателя в конце периода IV

$$M_4 = \frac{F_4 R_{\text{зв}}}{i \eta_{\text{бр}}}. \quad (2.24)$$

Длина выбранной якорной цепи за период IV будет равна глубине стоянки судна.

Момент (Hm) на валу электродвигателя в течение периода IV изменяется по линейному закону

$$M_4 = M_3 - \frac{M_3 - M_4}{l_4} l. \quad (2.25)$$

В периоде IV, как и в периоде II, момент изменяется от M_3 до M_4 по линейному закону

$$M_c = M_3 - \frac{M_3 - M_4}{l_4} l;$$

$$M_{\text{дв}} = M_1 \frac{\omega_1^3}{\omega^3}.$$

Так как $M_{дв} = M_c$, составим уравнение из правых частей формул

$$M_3 - \frac{M_3 - M_4}{l_4} l = M_1 \frac{\omega_1^3}{\omega^3}.$$

Производя те же математические преобразования и вычисления, что и для периода II, получим

$$t_4 = \frac{1,5iM_1l_4}{\omega_1 R_{зв} (M_3 - M_4)} \left(\frac{M_3}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_3}{M_1}} - \frac{M_4}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_4}{M_1}} \right). \quad (2.26)$$

Время выбирания якоря за периоды I, II и IV будет

$$T' = \frac{i}{\omega_1 R_{зв}} \left\{ 2l_1 + \frac{1,5M_1l_2}{(M_2 - M_1)} \left(\frac{M_2}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_2}{M_1}} - 1 \right) + \frac{1,5M_1l_4}{(M_3 - M_4)} \left(\frac{M_3}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_3}{M_1}} - \frac{M_4}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_4}{M_1}} \right) \right\}.$$

Из этого выражения найдём угловую скорость

$$\omega_1 = \frac{i}{R_{зв} T'} \left\{ 2l_1 + \frac{1,5M_1l_2}{(M_2 - M_1)} \left(\frac{M_2}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_2}{M_1}} - 1 \right) + \frac{1,5M_1l_4}{(M_3 - M_4)} \left(\frac{M_3}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_3}{M_1}} - \frac{M_4}{M_1} \sqrt[3]{\frac{M_4}{M_1}} \right) \right\}. \quad (2.27)$$

2.3.4. Определение времени выбирания якоря и мощности электродвигателя

Полное время (c) выбирания якоря складывается из продолжительности четырёх периодов

$$T_{выб} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (2.28)$$

- где t_1 – время выбирания якоря в периоде I, c ;
 t_2 – время выбирания якоря в периоде II, c ;
 t_3 – время отрыва якоря от грунта (период III), равное $60 \div 120$ c ;
 t_4 – время выбирания якоря в периоде IV, c .

Время выбирания якоря зависит от длины вытравленной якорной цепи и средней скорости её выбирания

$$T = T_{\text{выб}} - t_3 = l_{\text{выб}} / v_{\text{ср}},$$

где $l_{\text{выб}}$ – длина вытравленной цепи, м;

$v_{\text{ср}}$ – средняя скорость выбирания, м/с.

Время выбирания якоря обычно задаётся правилами Регистра. Зная угловую скорость вращения электродвигателя и момент, который он развивает при этой скорости, можно построить механическую характеристику электродвигателя

$$M_{\text{дв}} \omega^3 = M_1 \omega_1^3 = M_1 \omega_1^3 = \dots = k.$$

По этой характеристике определяют угловые скорости ω_2 и ω_3 и моменты M_2 и M_3 электропривода.

Эквивалентную мощность электродвигателя определяют по кратковременному получасовому или часовому режиму

$$P_{\text{ЭКВ}} = M_{\text{ЭКВ}} \cdot \omega_{\text{ЭКВ}}.$$

Эквивалентный момент (Hm) для всех периодов работы брашпиля

$$M_{\text{ЭКВ}} = \left[\frac{M_1 t_1 \sqrt[3]{M_1} + \frac{1}{3} (M_1 \sqrt[3]{M_1} + \sqrt[3]{M_1^2 \cdot M_2^2 + M_2^3 \sqrt{M_2}}) t_2 + (M_2 \sqrt[3]{M_2}) t_3 + \frac{1}{3} (M_3 \sqrt[3]{M_3} + \sqrt[3]{M_3^2 \cdot M_4^2 + M_4^3 \sqrt{M_4}}) t_4}{T} \right]^{3/2}, \quad (2.29)$$

где M_1, M_2, M_3, M_4 – моменты на валу электродвигателя, соответствующие режимам работы брашпиля, Hm ;

$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ – полное время работы брашпиля, с.

Эквивалентная скорость $\omega_{\text{ЭКВ}}$ ($рад/с$) электродвигателя определяется из уравнения механической характеристики

$$M_{\text{ЭКВ}} \cdot \omega_{\text{ЭКВ}}^3 = M_1 \omega_1^3,$$

откуда

$$\omega_{\text{ЭКВ}} = \omega_1 \sqrt[3]{\frac{M_1}{M_{\text{ЭКВ}}}}. \quad (2.30)$$

2.4. Выбор мощности асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели имеют жёсткую механическую характеристику. Скорость их вращения мало изменяется при изменении момента на валу

$$\omega_2 = \frac{2\pi f}{p} (1 - s). \quad (2.31)$$

Скорость вращения асинхронного двигателя для привода брашпиля можно принять постоянной и равной средней (рад/с)

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{il}{R_{\text{ЗВ}} T_{\text{выб}}}.$$

Продолжительность (c) отдельных периодов можно определить по формуле

$$t_i = \frac{il_i}{\omega_{\text{ср}} R_{\text{ЗВ}}}, \quad (2.32)$$

где l_i – длина цепи, выбранной за данный период, m .

Мощность (Bm), потребляемая электродвигателем в отдельные периоды

$$P_i = M_i \cdot \omega_{\text{ср}},$$

где M_i – момент на валу электродвигателя в отдельные периоды, Hm .

Выбор мощности производится по среднеквадратичному моменту. Зная среднеквадратичный момент и среднюю скорость, определяют требуемую мощность (Bm) электродвигателя

$$P_{\text{НОМ}} = M_{\text{ЭКВ}} \cdot \omega_{\text{ср}}. \quad (2.33)$$

Выбранный двигатель необходимо проверить на допустимую перегрузку по моменту

$$M_{\text{max}} / M_{\text{НОМ}} \leq \delta, \quad (2.34)$$

где $\delta = 1,6 \div 2$.

БГАРФ

2.5. Расчёт электродвигателя брашпиля на постоянном токе

Исходные данные:

Площадь смоченной поверхности корпуса судна $S_{\text{п}} = 700 \text{ м}^2$

Площадь надводной части судна, проецируемой на мидель-шпангоут $S_1 + S_2 = 45 \text{ м}^2$, где $S_1 = 20 \text{ м}^2$, $S_2 = 25 \text{ м}^2$

Глубина стоянки судна $H = 40 \text{ м}$

Скорость ветра $v_{\text{в}} = 12 \text{ м/с}$

Скорость течения воды $v_{\text{теч}} = 0,9 \text{ м/с}$

Скорость выбирания якорной цепи $v_{\text{выб}} = 0,17 \text{ м/с}$

Масса одного якоря $Q = 600 \text{ кг}$

Сила тяжести одного якоря $T_{\text{я}} = gQ = 9,81 \cdot 600 = 5900 \text{ Н}$

Количество якорей – 2 шт.

Масса одного погонного метра якорной цепи калибра $d = 28 \text{ мм}$
 $q = 17 \text{ кг}$

Сила тяжести одного погонного метра якорной цепи калибра $d = 28 \text{ мм}$ $\tau = 167 \text{ Н}$

Радиус звёздочки брашпиля $R_{\text{зв}} = 0,18 \text{ м}$

Общее передаточное число брашпиля $i = 150$

Коэффициент полезного действия брашпиля $\eta_{\text{бр}} = 0,45$

Коэффициент полезного действия клюза $\eta_{\text{кл}} = 0,7$

Напряжение судовой сети постоянного тока $U = 220 \text{ В}$

При расчёте принять случай, когда поднимаются два якоря одновременно, причём один из них отрывается от грунта раньше, чем другой.

Решение:

Максимальное усилие на звёздочке брашпиля при выбирании двух якорей с отрывом одного из них от грунта

$$F_{\text{max}} = f_{\text{кл}}[k(T_{\text{я}} + 2\tau H) + 2T_{\text{я}}].$$

Принимаем $f_{\text{кл}} = 1,3$ – коэффициент трения цепи в клюзе; коэффициент потери веса в пресной воде $k = 0,9$. Тогда

$$F_{\text{max}} = 1,3[0,9(5900 + 2 \cdot 167 \cdot 40) + 2 \cdot 5900] = 37800 \text{ (Н)}.$$

Принимаем коэффициент перегрузки двигателя $\gamma = 2$. Тогда расчётное максимальное усилие на звёздочке брашпиля будет

$$F_{зв} = 37800/2 = 18900 \text{ (Н)}.$$

Ориентировочная мощность электродвигателя, выбранного по максимальному моменту и номинальной скорости выбирания якорной цепи,

$$P = \frac{F_{зв} v_{выб}}{\eta_{бр}} = \frac{18900 \cdot 0,17}{0,45} = 7150 = 7,15 \text{ (кВт)}.$$

Скорость вращения звёздочки

$$\omega_{зв} = U_{выб}/R_{зв} = 0,17/0,18 = 0,95 \text{ (рад/с)}.$$

Номинальная скорость вращения двигателя

$$\omega_{ном} = \omega_{зв} \cdot i = 0,95 \cdot 150 = 142 \text{ (рад/с)} = 1350 \text{ (об/мин)}.$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_{ном} = P/\omega = 7150/142 \approx 51 \text{ (Нм)}.$$

Выбираем по каталогу электродвигатель с часовой мощностью $P_{ном} = 11 \text{ кВт}$, $I_{ном} = 58 \text{ А}$, $n_{ном} = 1320 \text{ об/мин}$ (138 рад/с), 220 В , со смешанным возбуждением.

Номинальный момент на валу выбранного электродвигателя

$$M_{ном} = P_{ном}/\omega_{ном} = 11000/138 = 80 \text{ (Нм)}.$$

Максимальный момент на валу электродвигателя при подъёме двух якорей с отрывом одного из якорей от грунта

$$M_{max} = \frac{F_{max} R_{зв}}{i \eta_{бр} \eta_{кл}} = \frac{37800 \cdot 0,18}{150 \cdot 0,45 \cdot 0,7} = 144 \text{ (Нм)}.$$

Коэффициент загрузки двигателя

$$\gamma = M_{max}/M_{ном} = 144/80 = 1,8.$$

Механическая характеристика $\omega=f(M)$ дана на рис. 2.

БГАРФ

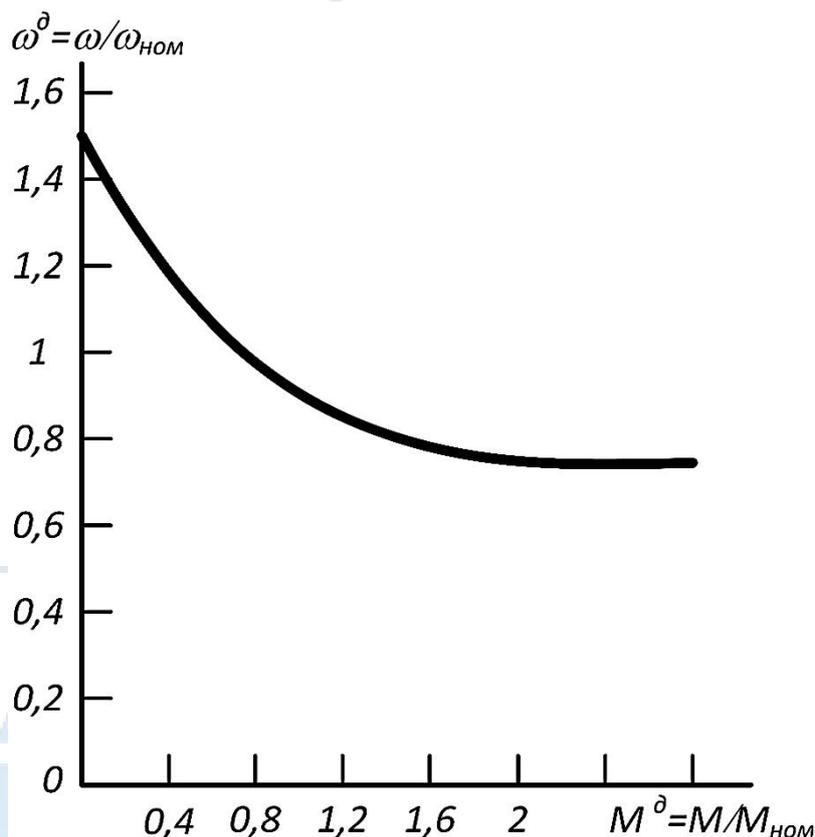


Рис. 2. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока типа КПДМ-3Ш в долях единиц

Скорость вращения электродвигателя при максимальном моменте по характеристике двигателя будет $\omega = \omega^d$,

$$\omega_{ном} = 0,17 \cdot 138 = 18 \text{ (рад/с)}.$$

Проверяем выбранный электродвигатель по периодам работы брашпиля.

Период I – усилие от напряжения двух якорных цепей при подтягивании судна к якорю без учёта сопротивления в клюзе

$$F_1 = 2 \cdot 0,9 \tau H + R,$$

где $R = R_B + R_{теч}$.

Сопротивление, создаваемое ветром,

$$R_B = k_B (\epsilon S_1 + S_2) v_B^2 = 0,2 (0,3 \cdot 20 + 25) 12^2 = 6,2 \cdot 144 \approx 900 \text{ (H)}.$$

Сопротивление, создаваемое течением воды,

$$R_{теч} = f_T \cdot S_{п} \cdot (v_{теч} + v_{выб})^{1,83} = 1,5 \cdot 700 (0,9 + 0,17)^{1,83} = 1100 \text{ (H)}.$$

Сопротивление от действия на судно воды и ветра

$$R = 900 + 1100 = 2000 \text{ (H)}.$$

Сила натяжения якорной цепи

$$F_1 = 2 \cdot 0,9 \cdot 167 \cdot 40 + 2000 = 12000 + 2000 = 14000 \text{ (H)}.$$

Момент на валу электродвигателя

$$M_1 = \frac{F_1 R_{3B}}{i \eta_{бр} \eta_{кл}} = \frac{14000 \cdot 0,18}{150 \cdot 0,45 \cdot 0,7} = 53,5 \text{ (Hм)}.$$

$$M_{1^д} = M_1 / M_{ном} = 53,5 / 80 = 0,67.$$

Соответствующая скорость вращения по механической характеристике электродвигателя будет $\omega^д = 1,07$, тогда скорость вращения в периоде I

$$\omega_1 = \omega^д \cdot \omega_{ном} = 1,07 \cdot 138 = 148 \text{ (рад/с)}.$$

Длина провисающей части цепи

$$l_1 = \sqrt{\frac{2F_{3B}H}{\tau} + H^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 18900 \cdot 40}{167} + 40^2} = 106 \text{ (м)}.$$

Время

$$t_1 = \frac{il_1}{\omega_1 R_{3B}} = \frac{150 \cdot 106}{148 \cdot 0,18} = 600 \text{ (с)} = 10 \text{ (мин)}.$$

Средняя скорость выбирания за период I

$$v_1 = l_1 / t_1 = 106 / 600 = 0,17 \text{ (м/с)}.$$

Период II – выбирание якорей при переменном тяговом усилии:

а) начальный момент $M_1 = 53,5 \text{ Hм}$;

б) начальная скорость электродвигателя по его механической характеристике $\omega_1 = f(M) = 148 \text{ рад/с}$;

в) конечный момент при отрыве одного из якорей от грунта $M_2 = M_{max} = 144 \text{ Hм}$; $M_{2^д} = 1,8$;

г) скорость вращения электродвигателя при моменте M_2 принимается по механической характеристике (рис. 2.2) $\omega^д = 0,95$, тогда $\omega_2 = 132 \text{ рад/с}$.

Длина цепи, выбранной в периоде II, $l_2 = 0,5H = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ (м)}$.

Время

$$t_2 = \frac{il_2}{R_{3B} \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right)} = \frac{20 \cdot 150}{0,18 \left(\frac{148 + 132}{2} \right)} = 115 \text{ (с)} \approx 2 \text{ мин}.$$

Средняя скорость выбирания

$$v_2 = l_2/t_2 = 20/115 = 0,165 \text{ (м/с)}.$$

Период III – отрыв якоря от грунта.

Момент при отрыве якоря $M_2 = M_{\max} = 144 \text{ Нм}$.

Принимаем время стоянки электродвигателя под током $t_3 = 60 \text{ с} = 1 \text{ мин}$.

Период IV – подъём двух якорей с глубины $H = 40 \text{ м}$.

Усилие на звёздочке брашпиля

$$F_3' = f_{\text{кл}}k(T_{\text{я}} + \tau H) = 1,3 \cdot 0,9(5900 + 167 \cdot 40) = 15000 \text{ (Н)}.$$

Усилие на двух звёздочках брашпиля

$$F_3 = 2F_3' = 2 \cdot 15000 = 30000 \text{ (Н)}.$$

Момент на валу электродвигателя в начале подъёма двух якорей

$$M_3 = \frac{F_3 R_{\text{ЗВ}}}{i \eta_{\text{бр}}} = \frac{30000 \cdot 0,18}{150 \cdot 0,45} = 80 \text{ (Нм)}.$$

Скорость вращения электродвигателя будет равна номинальной, так как $M_3 = M_{\text{НОМ}} \cdot M_{3^{\text{д}}} = 1$

$$\omega_3 = \omega_3^{\text{д}} \cdot \omega_{\text{НОМ}}.$$

Усилие на звёздочках от веса двух якорей в конце подъёма

$$F_4 = 2f_{\text{кл}}T_{\text{я}} = 2 \cdot 1,3 \cdot 5900 = 17500 \text{ (Н)}.$$

Момент на валу электродвигателя в конце подъёма двух якорей

$$M_4 = \frac{F_4 R_{\text{ЗВ}}}{i \eta_{\text{бр}}} = \frac{17500 \cdot 0,18}{150 \cdot 0,45} \approx 41 \text{ (Нм)}.$$

$$M_{4^{\text{д}}} = M_4/M_{\text{НОМ}} = 41/80 = 0,51.$$

По универсальной характеристике электродвигателя определяем долевую скорость вращения электродвигателя $\omega^{\text{д}} = 1,18$ при найденном долевым моменте, а по доленой скорости – скорость в конце подъёма двух якорей

$$\omega_4 = \omega^{\text{д}} \cdot \omega_{\text{НОМ}} = 1,18 \cdot 138 = 164 \text{ (рад/с)}.$$

Время подъёма двух якорей с глубины $H = 40 \text{ м}$

$$t_4 = \frac{iH}{R_{\text{ЗВ}} \left(\frac{\omega_3 + \omega_4}{2} \right)} = \frac{150 \cdot 40}{0,18 \left(\frac{138 + 164}{2} \right)} = 222 \text{ (с)}.$$

Средняя скорость выбирания якорей за период IV

$$v_4 = H/t_4 = 40/222 = 0,18 \text{ (м/с)}.$$

Полное время выбирания двух якорей за весь цикл

$$T_{\Pi} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 10+2+1+3,7 \approx 17 \text{ (мин)}.$$

Средняя скорость выбирания двух якорей

$$v_{\text{ср}} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{T_{\Pi}} = \frac{106 + 20 + 40}{17} \approx 10 \text{ (м/мин)}.$$

Строят диаграмму нагрузки электродвигателя $M=f(t)$, а затем по формуле (2.9) вычисляют среднеквадратичный момент

$$\begin{aligned} M_{\text{экв}} &= \sqrt{\frac{M_1 t_1 \sqrt[3]{M_1} + \frac{1}{3} (M_1 \sqrt[3]{M_1} + \sqrt[3]{M_1^2} \cdot \sqrt[3]{M_2^2} + M_2 \sqrt[3]{M_2}) t_2 + (M_2 \sqrt[3]{M_2}) t_3 + \frac{1}{3} (M_3 \sqrt[3]{M_3} + \sqrt[3]{M_3^2} \cdot \sqrt[3]{M_4^2} + M_4 \sqrt[3]{M_4}) t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}^{3/2} = \\ &= \sqrt{\frac{53,5 \cdot 600 \cdot 3,8 + 38(53,5 \cdot 3,8 + 14 \cdot 27 + 144 \cdot 5,2) + 144 \cdot 60 \cdot 5,2 + 74(80 \cdot 4,3 + 18,5 \cdot 11,8 + 41 \cdot 3,45)}{600 + 115 + 60 + 222}}^{3/2} = \\ &= \left(\frac{121000 + 48500 + 45400 + 56500}{1000} \right)^{3/2} = (\sqrt{242})^{3/2} = 61 \text{ (Нм)}. \end{aligned}$$

Из расчёта следует, что выбранный электродвигатель обеспечивает работу брашпиля, так как эквивалентный момент меньше номинального момента двигателя

$$M_{\text{экв}} = 61 \text{ Нм} < M_{\text{дв}} = 80 \text{ Нм}.$$

2.6. Расчёт электропривода брашпиля по работе

При выбирании якоря производится работа (Дж)

$$A = Fl, \tag{2.35}$$

где F – сила, Н;

l – путь, м.

Путь l определится длиной вытравленной цепи. Сила F меняется в процессе выбирания якоря: её величина зависит от периода выбирания якоря.

На звёздочке брашпиля работа поступательного движения по выбору якоря преобразуется в работу вращательного движения, сохраняя свою величину без изменения

$$A = M\alpha = FR_{зв} \cdot \alpha, \quad (2.36)$$

где $R_{зв}$ – радиус звёздочки брашпиля, м;
 α – угол поворота звёздочки брашпиля, рад;
 F – сила, Н.

По полученным данным изменение силы F на протяжении пути l (длина цепи) строим график $F = f(l)$ (рис. 3), площадь которого будет отражать работу, затраченную при подъёме якорей.

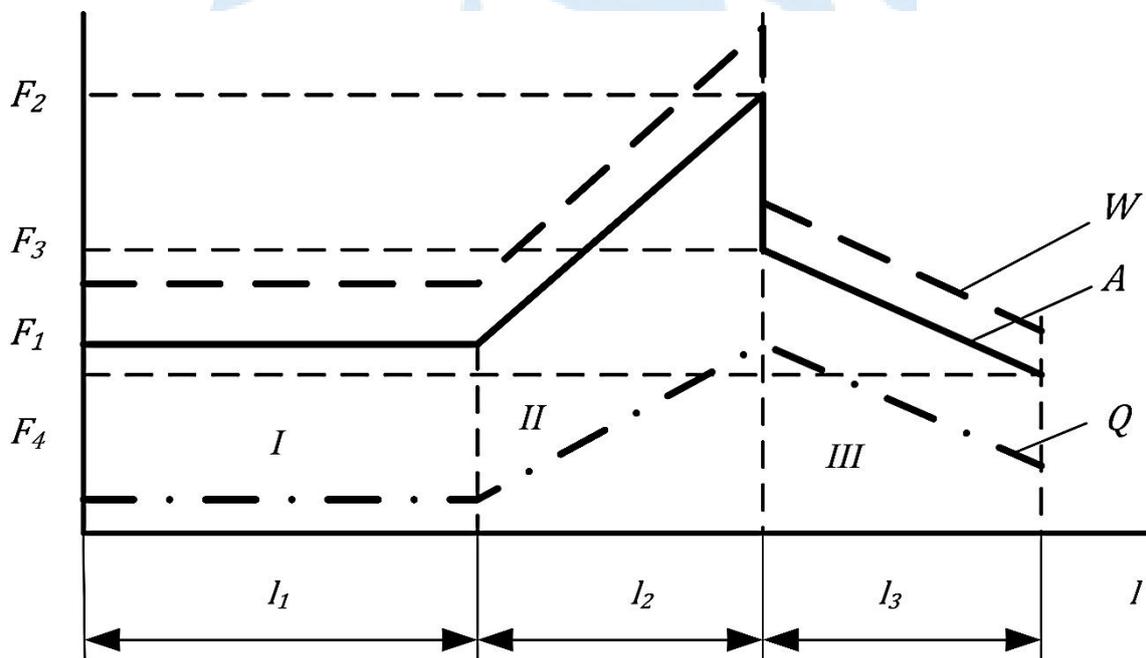


Рис. 3. График зависимости силы натяжения якорной цепи от длины цепи при выборе якоря:

F_1, F_2, F_3 и F_4 – силы натяжения якорной цепи в различные периоды выбора якоря; l_1, l_2 и l_3 – длина якорной цепи, выбираемой брашпилем в различные периоды работы; A – работа, совершённая при подъёме якорной цепи; W – энергия, затраченная на совершение работы по подниманию якоря; Q – количество теплоты, выделенной в электродвигателе за время выбора якоря

Работа (Дж) периода I

$$A_1 = F_1 l_1, \quad (2.37)$$

периода II

$$A_2 = F_1 l_2 + \frac{F_2 - F_1}{2} l_2 = l_2 \left(F_1 + \frac{F_2 - F_1}{2} \right) = l_2 \left(\frac{F_1 + F_2}{2} \right), \quad (2.38)$$

периода III

$$A_3 = F_4 l_3 + \frac{F_3 - F_4}{2} l_3 = l_3 \left(F_4 + \frac{F_3 - F_4}{2} \right) = l_3 \left(\frac{F_3 + F_4}{2} \right). \quad (2.39)$$

Полная работа по выбиранию якоря

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4. \quad (2.40)$$

Определение сил и пути выполняются по формулам и методике предыдущего примера.

Период I. Сила, действующая на звёздочку брашпиля (H)

$$F_1 = f_{\text{кл}}(k\tau H + R_c). \quad (2.41)$$

Путь (m)

$$l_1 = l - l_2,$$

где l – длина вытравленной цепи m , обычно принимают $l = (2 \div 4)H$, где верхний предел относится к малым глубинам стоянки судна; l_2 – длина провисающей части цепи m :

$$l_2 = \sqrt{2RH/\tau + H^2}.$$

Период II. Сила спрямления якорной цепи (H)

$$F_2 = f_{\text{кл}}[k(T_{\text{я}} + \varepsilon H) + 2T_{\text{я}}]. \quad (2.42)$$

Период III. Сила отрыва якоря от грунта (H)

$$F_3 = F_{\text{max}}; \quad t_3 = 0, \quad A_3 = 0.$$

Период IV. Сила подъёма якорной цепи (H)

$$F_4 = f_{\text{кл}}k(T_{\text{я}} + \tau H). \quad (2.43)$$

В период III имеет место отрыв якоря от грунта, когда выбирание цепи прекращается, брашпиль останавливается, а потому никакой работы не производится:

$$A_3 = 0, \quad \text{так как} \quad l = 0.$$

Определённая по формуле (2.40) работа является реальной. Механическая энергия ($Dж$), которая будет затрачена на выполнение этой работы,

$$W_m = A/\eta_{\text{бр}}.$$

Эта энергия поступает к брашпилю от вала электродвигателя, а потому, чтобы узнать мощность (W_m) электродвигателя, следует разделить её величину на время

$$P_{\text{дв}} = W_m/t. \quad (2.44)$$

Электрическая энергия ($Дж$)

$$W_m = A/\eta_{\text{бр}} \cdot \eta_m = A/\eta_{\text{эп}}. \quad (2.45)$$

Общая электрическая энергия ($Дж$)

$$W = UIt. \quad (2.46)$$

Работа, энергия и количество теплоты в системе СИ измеряются в джоулях, поэтому они могут быть изображены на одном графике (рис. 3).

В периоде III, когда происходит отрыв якоря от грунта, можно считать, что электродвигатель останавливается, не будучи в состоянии преодолеть момент на валу, вызванный силой отрыва якоря.

Отрыв якоря происходит за счёт инерции движущегося судна. Когда силы инерции недостаточно, дополнительно включаются гребные винты судна.

Так как двигатель не вращается, то ток (A), проходящий по нему

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\sum R}, \quad (2.47)$$

где $\sum R$ – сумма сопротивлений всех элементов главной цепи двигателя, $Ом$;

U – напряжение сети, B .

Тепло ($Дж$), выделяемое обмотками электродвигателя за этот период,

$$Q = I_{\text{кз}}^2 \sum R t_3. \quad (2.48)$$

где $\sum R = R_{\text{я}} + R_{\text{пос}} + R_{\text{дп}}$;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки якоря, $Ом$;

$R_{\text{пос}}$ – сопротивление последовательной обмотки, $Ом$;

$R_{\text{дп}}$ – сопротивление дополнительных полюсов, $Ом$;

t_3 – время отрыва якоря от грунта, принимают равным $60 \div 120$ с.

При значительном удалении электропривода брашпиля от ГРЩ к сумме $\sum R$ сопротивлений следует добавить сопротивление R_c кабеля, питающего электродвигатель брашпиля, так как его обычно рас-

считывают на номинальный ток, а не на ток стоянки, равный току (A) короткого замыкания

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\sum R + R_c}$$

Для остальных режимов будут справедливы следующие рассуждения. Механическая работа ($Дж$), выполненная при выбирании якоря, численно равна электроэнергии ($Дж$), затраченной на её выполнение $A = W$, где $A = Fl$; $W = UIt$. Сделав подстановку, получим

$$Fl = UIt. \quad (2.49)$$

Разделив обе части на время t , определим $Fl/t = UI$, но $l/t = v$ – скорость выбирания якоря, ($м/с$). Тогда $Fv = UI$, откуда $I = Fv/U$. Если принять $v/U = k_a$, то $I = k_a F$, где k_a – коэффициент, размерность которого

$$k_a = \frac{LT^{-1}}{L^2MT^{-2}I^{-1}} = \frac{1}{LMT^{-1}I^{-1}} = ITM^{-1}L^{-1}$$

или $k_a = (A \cdot c) / (кг \cdot м)$.

При постоянных значениях v и U , т. е. когда электродвигатель имеет жёсткую характеристику и напряжение сети не изменяется, коэффициент k_a – постоянная величина (асинхронный двигатель или двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением). Следовательно, ток (A) будет пропорционален силе и величина его может быть определена по формуле:

– для периода I

$$I_1 = k_a F_1, \quad (2.50)$$

– для периода II

$$I_2 = k_a \left(\frac{F_1 + F_2}{2} \right), \quad (2.51)$$

– для периода III

$$I_3 = k_a \left(\frac{F_3 + F_4}{2} \right), \quad (2.52)$$

где I_1 , I_2 и I_3 – средний эквивалентный ток в соответствующих периодах работы брашпиля.

Определив время для каждого периода по формуле $t = l/v$ и приняв время периода III равным t_3 , можно найти эквивалентный ток (А)

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + (I_1^2 + I_2^2 + I_1 I_2) \frac{t_2}{3} + I_3^2 t_3 + (I_2^2 + I_4^2 + I_2 I_4) \frac{t_4}{3}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}. \quad (2.53)$$

Зная эквивалентный ток и напряжение питающей сети, подводимые к двигателю, можно оценить потребляемую мощность (Вт) брашпиля

$$P_{\text{бр}} = UI_{\text{экв}}. \quad (2.54)$$

Мощность $P_{\text{бр}}$ является реальной мощностью, потребляемой от электростанции с учётом загрузки механизма ($k_{\text{зм}}$) и электродвигателя ($k_{\text{эдв}}$).

Пример расчёта электропривода брашпиля на постоянном токе

Максимальное усилие на звёздочке брашпиля принимается для случая выбора двух якорей с отрывом одного из них от грунта

$$F_{\text{max}} = f_{\text{кл}} [k(T_{\text{я}} + 2\tau H) + 2T_{\text{я}}].$$

Эта формула является эмпирической, так как определить усилие отрыва якоря от грунта теоретическим путём невозможно. В формуле это условие принимают условно равным $2T_{\text{я}}$ – двойной силе тяжести якоря.

Решение:

Максимальное усилие на звёздочках барабана следует принимать, исходя из критических условий, когда вся якорная цепь вытравлена, а якоря не достигли дна. В этом случае формула для определения максимального усилия на звёздочку якоря примет вид

$$F_{\text{max}} = 2F_{\text{зв max}}, \quad (2.55)$$

где $F_{\text{зв max}} = kf_{\text{кл}}(T_{\text{я}} + \tau l)$;

l – общая длина якорной цепи (166 м).

$$F_{\text{зв max}} = 0,9 \cdot 1,3(5900 + 167 \cdot 166) = 39500 \text{ (Н)}.$$

Максимальное усилие на звёздочке брашпиля от выбора 2-х якорей

$$F_{\text{max}} = 2 \cdot 39500 = 79000 \text{ (Н)}.$$

Работа периода I

$$A_1 = F_1 l_1 = 14000 \cdot 100 = 14800000 \text{ (Дж)} = 1480 \text{ (кДж)}.$$

Работа периода II

$$A_2 = l_2 \left(\frac{F_1 + F_2}{2} \right) = 20 \left(\frac{14000 + 79000}{2} \right) = 930 \text{ (кДж)}.$$

Работа периода III равна 0, так как электродвигатель заторможен. В электроприводе проходит ток короткого замыкания, который нагревает обмотку.

Работа периода IV

$$A_4 = l_3 \left(\frac{F_3 + F_4}{2} \right) = 40 \left(\frac{79000 + 17000}{2} \right) = 1920 \text{ (кДж)}.$$

Общая работа

$$A = A_1 + A_2 + A_4 = 1480 + 930 + 1920 = 4330 \text{ (кДж)}.$$

Механическая энергия, которая должна быть подведена к брашпилю для совершения этой работы,

$$W_M = A/\eta_{бр} = 4300/0,45 = 9600 \text{ (кДж)}.$$

Зная энергию, которая должна быть затрачена на подъём 2-х якорей, можно определить мощность электродвигателя, если известно время или скорость выбирания якорей. Принимая время выбирания якорей равным 16 мин 40 с из предыдущего примера, т. е. 16·60+40=1000 (с), тогда мощность электродвигателя должна быть

$$P = W_M/t = 9600/1000 = 9,6 \text{ (кВт)}.$$

Если же учесть, что во время подъёма включено и время периода III, равное 1 мин, когда двигатель заторможен и работа равна 0, то мощность

$$P_4 = W_M/t_1 = 9600/1060 = 9,1 \text{ (кВт)}.$$

По скорости подъёма якоря может быть определено время подъёма, когда известна длина якорной цепи: $t = l/v$, откуда

$$v = l/t = 166/1000 \approx 0,17 \text{ (м/с)}.$$

Зная скорость выбирания якорей, диаметр звёздочки и передаточное число лебёдки брашпиля, узнаем скорость вращения электродвигателя. Скорость вращения звёздочки может быть определена из формулы $v = \omega_{зв} \cdot R_{зв}$, откуда

$$\omega_{зв} = v/R_{зв} = 0,17/0,18 = 0,95 \text{ (рад/с)}.$$

Скорость вращения электродвигателя

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_{\text{зв}} i = 0,95 \cdot 150 = 142 \text{ (рад/с)}$$

или

$$n = \frac{60\omega_{\text{дв}}}{2\pi} = \frac{60 \cdot 142}{6,28} = 1360 \text{ (об/мин.)}$$

По мощности $P = 9,1 \text{ кВт}$ и скорости вращения $n = 1360 \text{ об/мин}$ выбираем по каталогу электродвигатель постоянного тока КПДМ-3Ш с часовой мощностью 11 кВт , $I_{\text{ном}} = 58 \text{ А}$ и $n_{\text{ном}} = 1380 \text{ об/мин}$ (130 рад/с), 220 В со смешанным возбуждением.

Выбранный электродвигатель удовлетворяет работе в электроприводе брашпиля по мощности и скорости вращения.

Проверим электродвигатель по максимальному моменту, который обязан развивать двигатель для преодоления максимального усилия от двух свободно висящих якорей на полностью вытравленных цепях,

$$M_{\text{дв.мах}} \geq \frac{F_{\text{мах}} P_{\text{зв}}}{i \eta_{\text{бр}}} = \frac{79000 \cdot 0,18}{150 \cdot 0,45} = 210 \text{ (Нм)}.$$

Номинальный момент электродвигателя

$$M_{\text{ном}} = P/n = 11000/130 = 85 \text{ (Нм)}.$$

Максимальный момент электродвигателя постоянного тока

$$M_{\text{дв.мах}} = (2,5 \div 3) M_{\text{ном}} = 212 \div 225 \text{ (Нм)} > 210 \text{ (Нм)}.$$

Электродвигатель удовлетворяет условиям работы электропривода при подъёме 2-х якорей с полностью вытравленными цепями. При отрыве от грунта одного из якорей сила, действующая на звёздочку брашпиля, значительно превосходит расчётное максимальное усилие и двигатель останавливается, противо-ЭДС его становится равной 0, и по обмотке якоря течёт ток короткого замыкания в течение 1 мин . Он нагревает двигатель, что требует проверки на нагрев по эквивалентному току. С этой целью определяются токи электродвигателя во всех режимах работы брашпиля.

Ток периода I

$$I_1 = k_a F_1 = 78 \cdot 10^{-5} \cdot 14 \cdot 10^3 = 11 \text{ (А)}.$$

Ток периода II

$$I_2 = k_a \left(\frac{F_1 + F_2}{2} \right) = 78 \cdot 10^{-5} \left(\frac{14000 + 79000}{2} \right) = 36 \text{ (А)}.$$

Ток периода III. В этом периоде электродвигатель заторможен и по его обмотке течёт ток короткого замыкания, равный напряжению на зажимах двигателя, делённому на сопротивление r обмотки якоря. Сопротивление обмотки якоря определяется кривой 3 (рис.4) через долевое сопротивление, которое для двигателя мощностью 11 кВт будет [4]

$$\eta_{\text{НОМ}}^{\text{д}} = r/R_{\text{НОМ}} = 0,09.$$

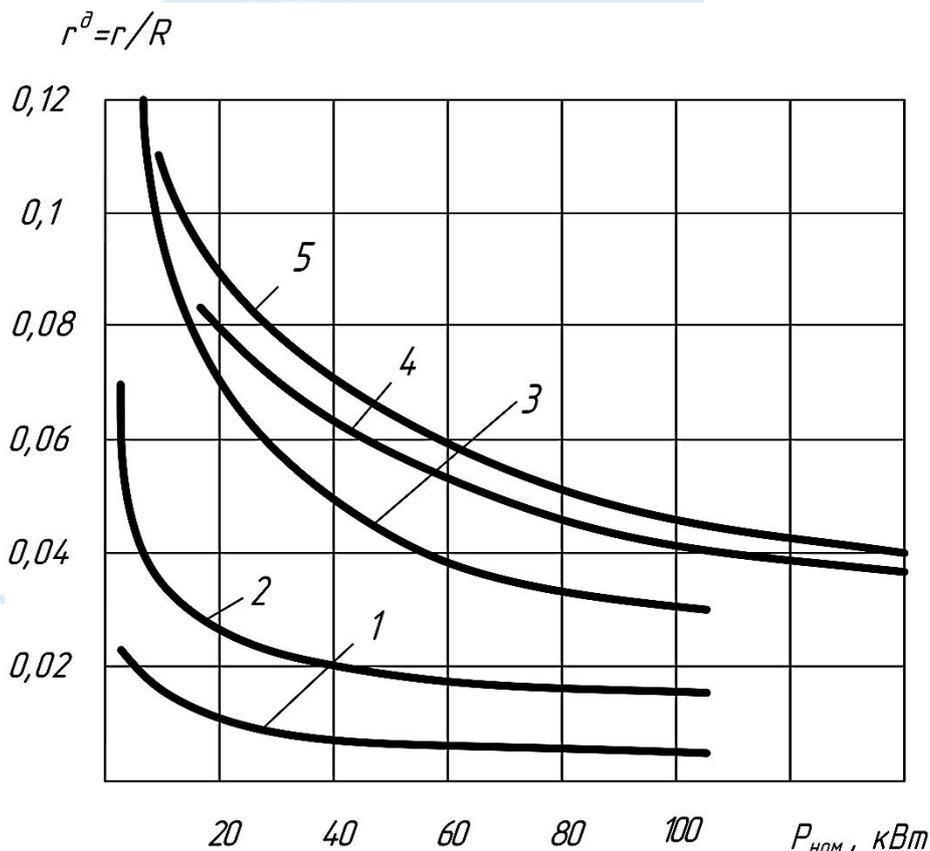


Рис. 4. Внутреннее сопротивление цепи якоря и последовательной обмотки возбуждения в долях единицы для двигателей (при температуре 60° С) в зависимости от номинальной мощности электродвигателя:
 1 – долевое сопротивление последовательной обмотки $r_{\text{пос}}$ в крановых двигателях смешанного возбуждения; 2 – долевое сопротивление последовательной обмотки $r_{\text{пос}}$ в крановых двигателях последовательного возбуждения; 3 – долевое сопротивление обмотки якоря $r_{\text{я}}$ в крановых двигателях параллельного, последовательного и смешанного возбуждения; 4 – долевое сопротивление обмотки якоря $r_{\text{я}}$ в двигателях длительного режима работы параллельного возбуждения; 5 – долевое сопротивление обмоток якоря и последовательной $r_{\text{я}} + r_{\text{пос}}$ в двигателях длительного режима работы параллельного возбуждения

Сопротивление обмотки якоря

$$r = \eta_{\text{НОМ}}^{\text{Д}} \cdot R_{\text{НОМ}} = 0,09 \cdot 3,8 = 0,34 \text{ (Ом)},$$

где $R_{\text{НОМ}}$ – номинальное сопротивление электродвигателя.

Ток периода III

$$I_3 = U_{\text{НОМ}}/r = 220/0,34 = 650 \text{ (А)}.$$

Ток периода IV

$$I_4 = k \left(\frac{F_3 + F_4}{2} \right) = 78 \cdot 10^{-5} \left(\frac{79000 + 17500}{2} \right) = 37 \text{ (А)}.$$

Эквивалентный ток

$$I_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + (I_1^2 + I_2^2 + I_1 I_2) \frac{t_2}{2} + I_3^2 t_3 + (I_2^2 + I_4^2 + I_2 I_4) \frac{t_4}{3}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} =$$

$$= \sqrt{\frac{11^2 \cdot 600 + (11^2 + 36^2 + 11 \cdot 36) \cdot 62 + 650^2 \cdot 60 + (36^2 + 37^2 + 36 \cdot 37) \cdot 66}{600 + 185 + 60 + 222}} = 51 \text{ (А)}.$$

Таким образом, и условие по нагреву электродвигателя выдержано

$$I_{\text{ЭКВ}} = 51 \text{ А} \leq I_{\text{НОМ}} = 58 \text{ А}.$$

БГАРФ

3. РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СУДОВОЙ ГРУЗОВОЙ ЛЕБЁДКИ

3.1. Данные для расчёта

Грузоподъёмность Q , t (при расчёте переводят в силу, соответствующую заданной грузоподъёмности $F = 9810 H$).

Масса гака и стропов m , $кг$ (при расчёте переводят в силу тяжести $F_0 = 9,81m H = 9,81m^{-3} кН$).

Скорость подъёма и опускания груза v , $м/с$.

Скорость подъёма и опускания гака v_0 , $м/с$.

Высота подъёма груза H_1 , $м$.

Высота опускания груза H_2 , $м$.

Передаточное число редуктора лебёдки i .

Коэффициент полезного действия механических передач η_m .

Радиус барабана лебёдки $R_б$, $м$.

Род тока и напряжение судовой сети.

3.2. Динамика процесса и методика расчёта электропривода

Момент, создаваемый на барабане лебёдки, ($Нм$)

$$M_б = (F + F_0)R_б.$$

Момент, создаваемый на валу электродвигателя при подъёме груза Q , ($Нм$)

$$M_{1ст} = \frac{M_б}{i\eta_m} = \frac{(F + F_0)R_б}{i\eta_m}.$$

Момент на валу электродвигателя при подъёме груза Q без учёта потерь в передачах ($Нм$)

$$M'_{дв} = \frac{M_б}{i} = \frac{(F + F_0)R_б}{i}.$$

Отсюда момент на валу электродвигателя, затрачиваемый на преодоление потерь в механических передачах лебёдки при подъёме груза Q , ($Нм$)

$$M_{пот} = M_{1ст} - M'_{дв} = \frac{(F + F_0)R_б}{i} \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right).$$

При спуске груза механические потери в передачах уменьшают момент на валу электродвигателя, необходимый для поддержания груза. Следовательно,

$$M_{2\text{ст}} = M'_{\text{дв}} - M_{\text{пот}} = \frac{(F + F_0)R_6}{i} \left(2 - \frac{1}{\eta_m}\right).$$

Из выражения для КПД механических передач лебёдки при спуске груза $\eta'_m = \left(2 - \frac{1}{\eta_m}\right)$ очевидно, что:

а) когда $\eta_m > 0,5$, то $\eta'_m > 0$ и $M_{\text{сп}} > 0$ – спуск груза происходит под действием собственной силы тяжести и двигатель должен развивать тормозной момент (тормозной спуск);

б) когда $\eta_m < 0,5$, то $\eta'_m < 0$ и $M_{\text{сп}} < 0$ – спуск груза происходит под действием момента, развиваемого двигателем (силовой спуск), что имеет место при самотормозящейся передаче червячным редуктором.

Скорость вращения электродвигателя (рад/с) при установившемся движении

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{vi}{R_6}.$$

По моменту скорости определяют статическую мощность электродвигателя (Вт)

$$P_{\text{ст}} = M_{\text{ст}} \cdot \omega_{\text{ст}}.$$

Проведённые расчёты дают возможность для выбора необходимого двигателя по каталогу. Выбранный двигатель необходимо проверить во всех режимах работы электропривода лебёдки путём расчёта и построения нагрузочной диаграммы и определения статических и динамических параметров.

1. Номинальный момент, развиваемый электродвигателем,

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}.$$

2. Вращающий момент на валу электродвигателя определяется из отношения максимального момента M_{max} к номинальному $M_{\text{ном}}$, которое даётся в каталоге. Для двигателей постоянного тока это отношение равно $2 \div 3$, для двигателей переменного тока $1,5 \div 2,5$.

3. Избыточный динамический момент при разгоне электропривода при подъёме груза Q

$$M_{1\text{дин}} = M_{\text{max}} - M_{1\text{ст}}.$$

4. Приведённый момент инерции к валу электродвигателя определяется по методике, изложенной ранее. При отсутствии кинематической схемы и чертежей механической части лебёдки момент инерции определяют приблизительно

$$J = \sigma J_{\text{дв}},$$

где $\sigma = 1,1 \div 3$ – коэффициент, учитывающий механические передачи и груз.

5. Время работы электропривода определяется по приведённому моменту инерции и избыточному моменту электродвигателя, действующему в период подъёма груза

$$t_{\text{гр}} = J \frac{\omega_{\text{дв}} - 0}{M_{\text{max}} - M_{1\text{ст}}} = J \frac{\omega_{\text{дв}}}{M_{1\text{дин}}}.$$

6. Остановка поднимаемого груза происходит под действием сил тяжести груза при выключенном электродвигателе. Тормозной момент, приведённый к валу электродвигателя, от сил тяжести груза

$$M' = \frac{(F + F_0)R_6}{i} \eta_{\text{м}}.$$

7. Потери в электродвигателе представляют собой сумму постоянных $P_{\text{пот1}}$ и переменных $P_{\text{пот2}}$ потерь

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{пот1}} + P_{\text{пот2}}.$$

Для двигателей средней мощности постоянные потери, создающие дополнительный тормозной момент, принимаются равными переменным потерям

$$P_{\text{пот1}} = P_{\text{пот2}} = P_{\text{пот}} / 2.$$

Сумма постоянных и переменных потерь в электродвигателе

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{ном}} (1/\eta_{\text{дв}} - 1).$$

8. При отключённом электродвигателе переменные потери $P_{\text{пот2}} = 0$. Тормозной момент, вызываемый постоянными потерями в электродвигателе,

$$M''_{1\text{т}} = P_{\text{пот1}} / \omega_{\text{ном}}.$$

9. Время остановки поднимаемого груза

$$t_{1\text{т}} = J \frac{\omega_{\text{ном}}}{M'_{1\text{т}} + M''_{1\text{т}}}.$$

10. Путь, пройденный грузом при его разгоне и остановке во время разгона,

$$H'_1 = \frac{v}{2}(t_{1p} + t_{1т}).$$

11. Время подъёма груза при установившемся режиме

$$t_{1ст} = (H_1 - H'_1)/v.$$

12. Статический момент, приведенный к валу двигателя, и создаваемый силой тяжести спускаемого груза,

$$M_{2ст} = \frac{(F + F_0)R_6}{i} \left(2 - \frac{1}{\eta_M}\right).$$

Проверку моментов на валу электродвигателя, время разгона установившегося движения и остановки производят для всех режимов работы лебёдки: подъём с полным грузом, поворот стрелы, тормозной спуск с грузом, силовой спуск холостого гака.

Полученные данные сводят в таблицу, по которой строят диаграмму моментов за один цикл работы лебёдки. Диаграмма моментов содержит все необходимые данные для проверки выбранного электродвигателя по продолжительности одного цикла работы лебёдки, действительному коэффициенту продолжительности включения (ПВ) электродвигателя и его эквивалентному моменту.

Продолжительность одного цикла (c)

$$T = \sum t_k,$$

где t_k – рабочее время.

Действительный ПВ электродвигателя (%)

$$\text{ПВ} = \frac{T - \sum t_{ст}}{T} \times 100\%,$$

где $t_{ст}$ – время стоянки электродвигателя.

Эквивалентный момент электродвигателя (H_m)

$$M_{эkv} = \sqrt{\frac{\sum M_k^2 t_k}{T}}.$$

3.3. Расчёт мощности электродвигателя судовой грузовой лебёдки

Данные для расчёта:

Грузоподъёмность $Q = 3 \text{ т}$ (усилие подъёма $F = 29 \text{ кН}$).

Масса гака и стропов $Q_0 = 60 \text{ кг}$ (сила тяжести $F = 0,59 \text{ кН}$).

Скорость подъёма и спуска груза $v = 0,6 \text{ м/с}$.

Скорость подъёма и опускания гака $v = 1 \text{ м/с}$.

Высота подъёма груза и трюма судна $H_1 = 10 \text{ м}$.

Высота опускания груза $H_2 = 6,5 \text{ м}$.

Передаточное число редуктора $i = 21$.

КПД механических передач $\eta_m = 0,75$.

Радиус барабана лебёдки $R_б = 0,225 \text{ м}$.

Напряжение судовой сети $U = 220 \text{ В}$.

Род тока – постоянный.

Дополнительные условия: торможение при остановке механическое; опускание груза производится под действием силы собственного веса и гака на механическом тормозе при включённом электродвигателе; опускание холостого гака производится работающим электродвигателем (силовой спуск).

Решение:

Выбираем мощность электродвигателя по максимальным параметрам (подъём номинального груза).

1. Вращающий момент на валу электродвигателя – постоянный

$$M_{1\text{ст}} = \frac{(F + F_0)R_б}{i\eta_m} = \frac{(29000 + 590) \cdot 0,225}{21 \cdot 0,75} = 430 \text{ (Нм)}.$$

2. Скорость вращения электродвигателя при установившемся движении

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{vi}{R_б} = \frac{0,6 \cdot 21}{0,225} = 56 \text{ (рад/с)}.$$

3. Статическая мощность на валу электродвигателя при подъёме полного груза

$$P_1 = M_{1\text{ст}} \cdot \omega_{\text{дв}} = 430 \cdot 56 = 24000 \text{ (Вт)} = 24 \text{ (кВт)}.$$

4. Выбираем по каталогу электродвигатель постоянного тока смешанного возбуждения, напряжением 220 В , типа МП-51: мощность $P_{\text{ном}} = 24 \text{ кВт}$ при ПВ = 25 %; номинальная скорость вращения $n_{\text{ном}} = 580 \text{ об/мин}$ ($\omega_{\text{ном}} = 61 \text{ рад/с}$); КПД = 0,85; $GD_{\text{дв}}^2 = 9,4 \text{ кгм}^2$

($J_{дв} = 2,35 \text{ кгм}^2$), водозащищённого исполнения. Характеристические кривые электродвигателя даны на рис. 5 и 6 [3; 4; 5].

5. Номинальный момент на валу выбранного двигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{24000}{61} = 395 \text{ (Нм)}.$$

Строим нагрузочную диаграмму электропривода лебёдки.

Период I – подъём с грузом

1. Вращающий момент на валу электродвигателя в период разгона

$$M_{1\text{max}} = 2M_{\text{ном}} = 2 \times 395 = 790 \text{ (Нм)}.$$

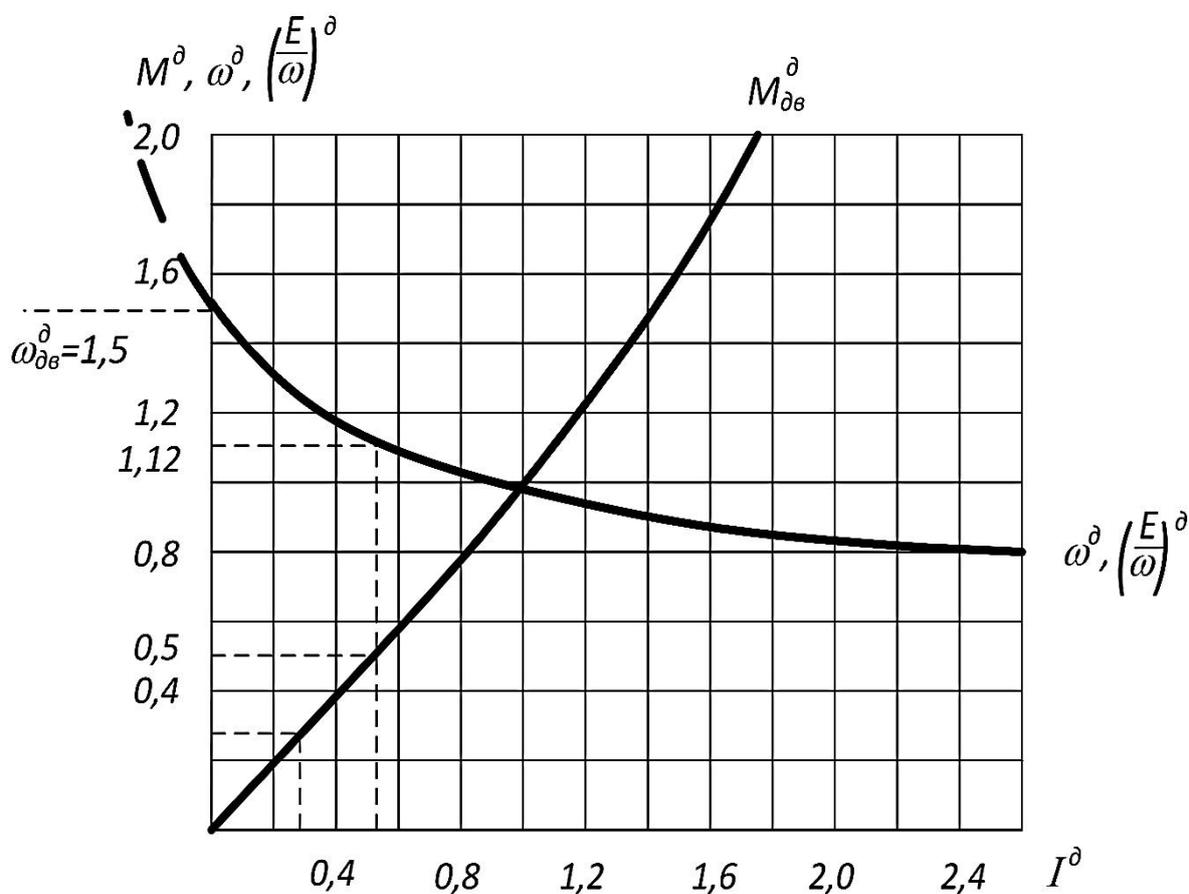


Рис. 5. Универсальные характеристики для двигателя постоянного тока смешанного возбуждения типа МП при номинальном токе в параллельной обмотке возбуждения

БГАРФ

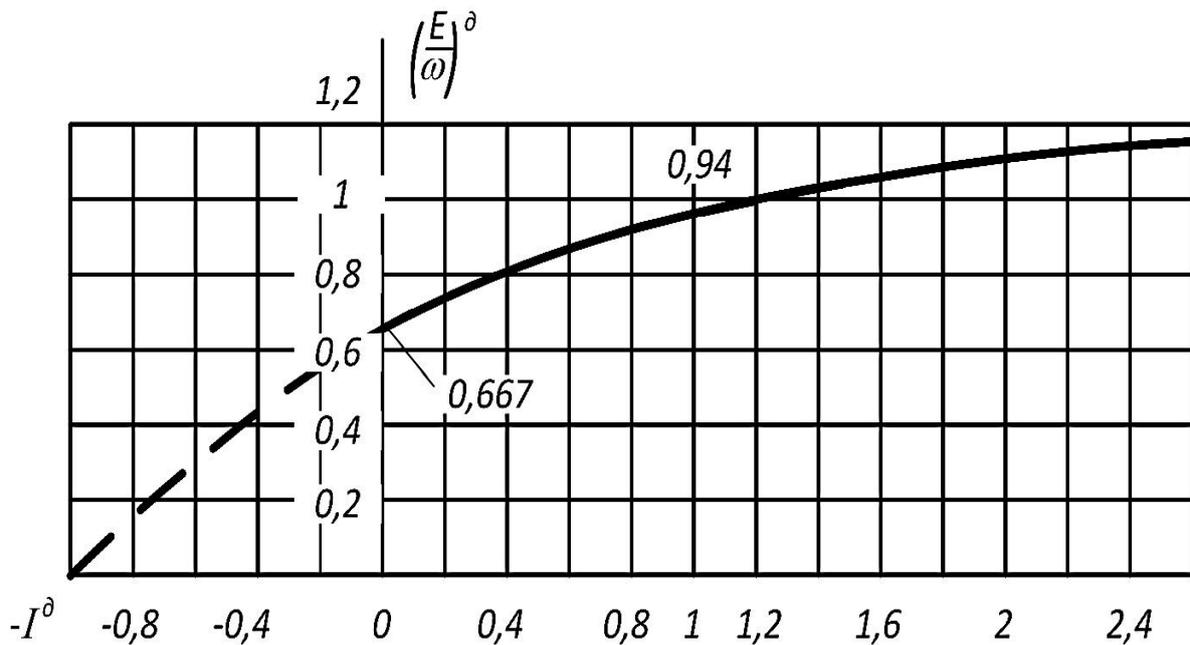


Рис. 6. Универсальная кривая намагничивания электродвигателей постоянного тока смешанного возбуждения типа МП при номинальном токе в параллельной обмотке возбуждения

Коэффициент 2 принимаем из условия, что у двигателей постоянного тока

$$M_{\max}/M_{\text{ном}} = 2 \div 3.$$

2. Динамический (избыточный) момент при разгоне

$$M_{1\text{дин}} = M_{\max} - M_{1\text{ст}} = 790 - 430 = 360 \text{ (Нм)}.$$

3. Приведённый момент инерции к валу электродвигателя с учётом моментов инерции механических передач и груза

$$J = \sigma J_{\text{дв}} = 1,3 \cdot 2,35 = 3,05 \text{ (кгм}^2\text{)},$$

где σ – коэффициент, учитывающий механические передачи и груз, принимается равным 1.3.

4. Время разгона электродвигателя

$$t_{1\text{р}} = J \frac{\omega_1 - 0}{M_{\max} - M_{1\text{ст}}} = J \frac{\omega_1}{M_{1\text{дин}}} = 3,05 \cdot \frac{56}{360} = 0,47 \text{ (с)}.$$

Остановка поднимаемого груза происходит при выключенном электродвигателе под действием сил тяжести груза.

5. Тормозной момент, приведённый к валу электродвигателя, от силы тяжести груза

$$M'_{1T} = \frac{(F + F_0)R_6}{i} \eta_M = \frac{(29000 + 590) \cdot 0,225 \cdot 0,75}{21} = 242 \text{ (Нм)}.$$

6. Потери в электродвигателе

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{ном}} (1/\eta_{\text{дв}} - 1) = 24(1/0,85 - 1) = 4,24 \text{ (кВт)}.$$

Для двигателей средней мощности постоянные потери $P_{\text{пот1}}$, создающие дополнительный тормозной момент, принимаются равными переменным потерям $P_{\text{пот2}}$, т. е.

$$P_{\text{пот}} = P_{\text{пот1}} + P_{\text{пот2}},$$

где $P_{\text{пот1}} = P_{\text{пот2}} = P_{\text{пот}} / 2 = 4,24/2 = 2,12 \text{ (кВт)}$.

7. Тормозной момент в электродвигателе, вызываемый постоянными потерями,

$$M''_{1T} = P_{\text{пот1}} / \omega_{\text{ном}} = \frac{2120}{61} = 34,8 \text{ (Нм)}.$$

8. Время остановки поднимаемого груза

$$t_{1T} = J \frac{\omega_{\text{ном}}}{M'_{1T} + M''_{1T}} = 3,05 \cdot \frac{61}{242 + 34,8} = 0,67 \text{ (с)}.$$

9. Путь, пройденный грузом при его разгоне и остановке во время подъёма,

$$H'_1 = \frac{v}{2} (t_{1p} + t_{1T}) = \frac{0,6}{2} (0,47 + 0,67) = 0,34 \text{ (м)}.$$

10. Время подъёма груза при установившемся режиме

$$t_{1\text{ст}} = (H_1 - H'_1) / v = (10 - 0,34) / 0,6 = 6,1 \text{ (с)}.$$

Период II – тормозной спуск с грузом

Разгон груза в начале спуска производится за счёт его силы тяжести.

1. Статический момент, создаваемый силой тяжести груза при спуске и приведённый к валу электродвигателя,

$$M_{2\text{ст}} = \frac{(F + F_0)R_6}{i} \left(2 - \frac{1}{\eta_M}\right) = \frac{(29000 + 590) \cdot 0,225}{21} \left(2 - \frac{1}{0,75}\right) = 214 \text{ (Нм)}.$$

2. Тормозной момент от постоянных потерь в электродвигателе, противодействующий опусканию груза,

$$M'_{2Т} = M''_{1Т} = 34,8 \text{ (Нм)}.$$

3. Время разгона груза при тормозном спуске с полным грузом

$$t_{2р} = J \frac{\omega_{ном}}{M_{2ст} - M_{2Т}} = 3,05 \cdot \frac{61}{214 - 34,8} = 1,03 \text{ (с)}.$$

Остановка груза при спуске производится динамическим торможением электродвигателя, тормозной момент которого зависит от величины вводимого в цепь якоря сопротивления. Примем тормозной момент, создаваемый электродвигателем,

$$M_{2Т} = 2M_{ном} = 2 \cdot 395 = 790 \text{ (Нм)}.$$

4. Динамический момент торможения

$$M_{2дин} = M_{2Т} - M_{2ст} = 790 - 214 = 576 \text{ (Нм)}.$$

5. Время остановки спускаемого груза

$$t_{2Т} = J \frac{\omega_{ном}}{M_{2дин}} = 3,05 \cdot \frac{61}{576} = 0,32 \text{ (с)}.$$

6. Путь, пройденный грузом за время его разгона и остановки,

$$H'_2 = \frac{v}{2} (t_{2р} + t_{2Т}) = \frac{0,6}{2} (1,03 + 0,32) = 0,4 \text{ (м)}.$$

7. Время установившегося движения груза при тормозном спуске последнего

$$t_{2ст} = \frac{H_2 - H'_2}{v} = \frac{6,5 - 0,4}{0,6} = 10 \text{ (с)}.$$

Период III – подъём холостого гака

1. Статический момент сопротивления при подъёме гака, приведённый к валу электродвигателя,

$$M_{3ст} = F_0 \frac{R_6}{i\eta'_м} = \frac{590 \cdot 0,225}{21 \cdot 0,07} = 90 \text{ (Нм)}.$$

где $\eta'_м = 0,07$ – КПД механической передачи при холостом ходе, определяется по кривым (рис. 7).

БГАРФ

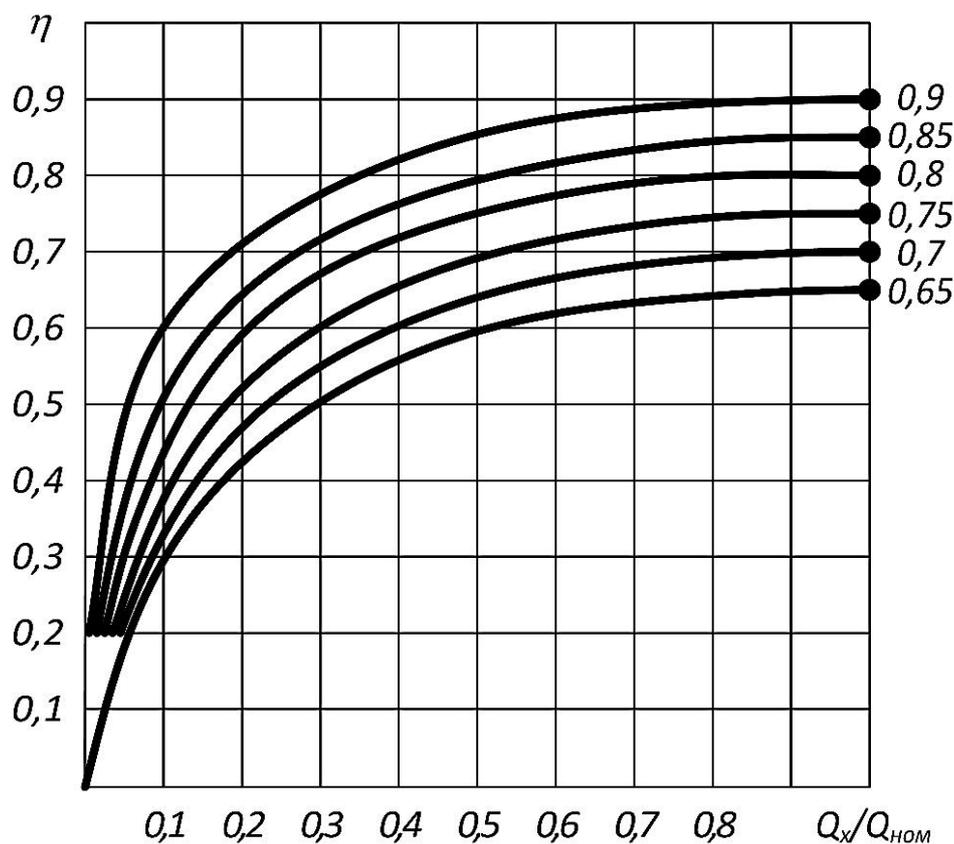


Рис. 7. Зависимость КПД механизма от загрузки:
 Q_x – действительная и $Q_{ном}$ – номинальная загрузки механизма

2. Вращающий момент на валу электродвигателя при разгоне гака так же, как и при подъёме груза, будет

$$M_{зр} = 2M_{ном} = 2 \cdot 395 = 790 \text{ (Нм)}.$$

3. Динамический момент в период разгона гака

$$M_{здин} = M_{зр} - M_{зст} = 790 - 90 = 700 \text{ (Нм)}.$$

По характеристикам выбранного электродвигателя (рис. 8) определяем скорость вращения электродвигателя, соответствующую моменту на валу при подъёме холостого гака,

$$M_{зст} = 90 \text{ Нм}; \quad M_3^д = M_{зст}/M_{ном} = 90/395 = 0,23;$$

$$\omega_3^д = 1,28; \quad \omega_3 = \omega_3^д \cdot \omega_{ном} = 1,28 \cdot 61 = 78 \text{ (рад/с)}.$$

БГАРФ

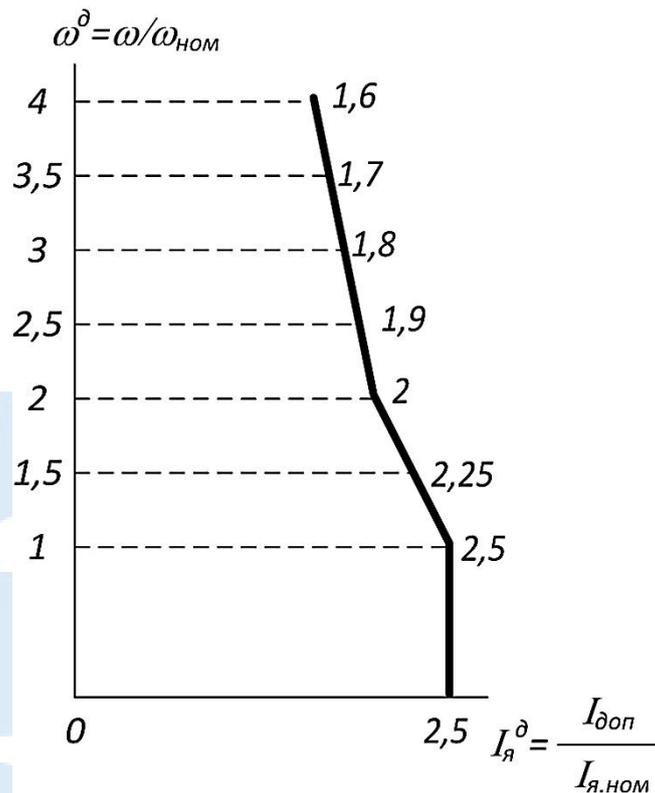


Рис. 8. Ориентировочная диаграмма допустимых пиков тока якоря для двигателей постоянного тока в зависимости от скорости вращения, выраженной в долях единицах

4. Время разгона

$$t_{зр} = J \frac{\omega_3}{M_{здин}} = 3,05 \cdot \frac{78}{700} = 0,34 \text{ (с)}.$$

Остановка холостого гака при подъёме производится при отключённом электродвигателе за счёт тормозящего действия от постоянных потерь в двигателе и механической передаче, работы механического тормоза и противодействующего момента, создаваемого силой тяжести гака.

5. Примем время, необходимое для остановки холостого гака, $t_{зт} = 1$ с, тогда суммарный тормозной момент

$$M_{зт} = J \frac{\omega_3}{t_{зт}} = 3,05 \cdot \frac{78}{1} = 240 \text{ (Нм)}.$$

6. Скорость подъёма холостого гака при $\omega_3 = 78 \text{ рад/с}$

$$v_3 = v \frac{\omega_3}{\omega_{НОМ}} = 0,6 \cdot \frac{78}{61} = 0,78 \text{ (м/с)}.$$

7. Путь, пройденный холостым гаком за время его разгона и остановки,

$$H'_3 = \frac{v_3}{2} (t_{3p} + t_{3т}) = \frac{0,78}{2} (0,34 + 1) = 0,52(м).$$

8. Время установившегося движения при подъёме холостого гака

$$t_{3ст} = (H_2 - H'_3)/v_3 = (6,5 - 0,52)/0,78 = 7,7 (с).$$

Период IV – силовой спуск холостого гака

1. Статический момент сопротивления при силовом спуске холостого гака

$$M_{4ст} = \frac{F_0 R_6}{i} \left(2 - \frac{1}{\eta'_M} \right) = \frac{590 \cdot 0,225}{21} \left(2 - \frac{1}{0,07} \right) = -70 (Нм).$$

2. Вращающий момент электродвигателя при разгоне холостого гака на спуске принимаем равным $2M_{ном}$, т. е.

$$M_{4р} = 2M_{ном} = 2 \cdot 395 = 790 (Нм).$$

3. Динамический момент в период разгона

$$M_{4дин} = M_{4р} - M_{4ст} = 790 - 70 = 720 (Нм).$$

4. Скорость вращения электродвигателя в конце разгона при установившейся скорости спуска холостого гака находим по характеристическим кривым (рис. 5) для статического момента сопротивления

$$M_{4ст} = -70 Нм; \quad M_4^Д = M_{4ст}/M_{ном} = 70/395 = 0,178;$$

$$\omega_4^Д = 1,3; \quad \omega_4 = \omega_4^Д \cdot \omega_{ном} = 1,3 \cdot 61 = 79 (рад/с).$$

5. Время разгона

$$t_{4р} = J \frac{\omega_4}{M_{4дин}} = 3,05 \cdot \frac{79}{720} = 0,33 (с).$$

6. Остановку холостого гака при спуске принимаем аналогично остановке его при подъёме, т. е. $t_{4т} = 1$ с, тогда

$$M_{4т} = M_{3т} = 240 (Нм).$$

7. Скорость спуска холостого гака практически будет равна скорости его подъёма, т. е.

$$v_4 = v_3 = 0,78 (м/с).$$

8. Путь, пройденный холостым гаком за время его разгона и остановки,

$$H'_4 = \frac{v_4}{2} (t_{4p} + t_{4т}) = \frac{0,78}{2} (0,33 + 1) = 0,52(\text{м}).$$

9. Время установившегося движения при спуске гака

$$t_{4ст} = (H_1 - H'_4)/v_4 = (10 - 0,52)/0,78 = 12,1(\text{с}).$$

Принимая время погрузки и разгрузки по 60 с, а время поворота стрелы 10 с, строим нагрузочную диаграмму лебёдки (рис. 9).

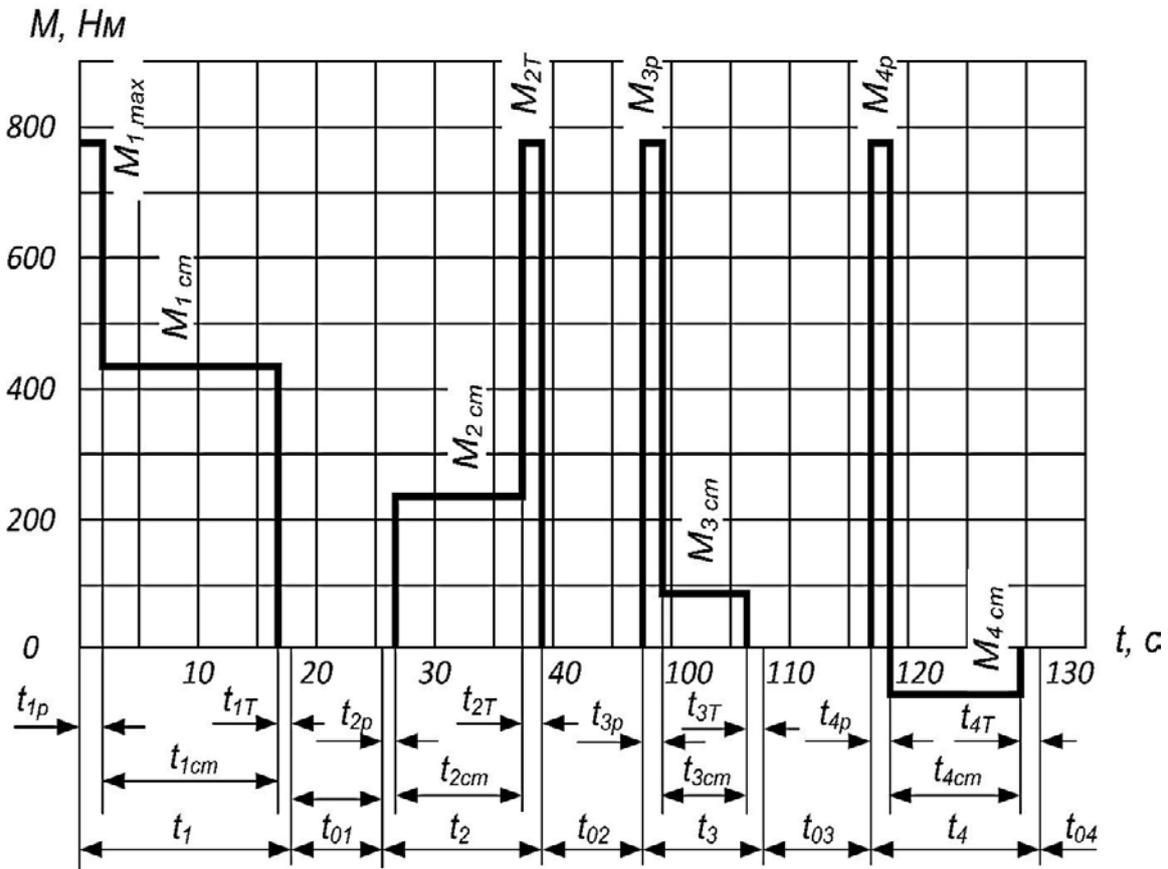


Рис. 9. Диаграмма моментов за один цикл работы грузовой лебёдки:

t_1 – время подъёма гака с грузом; t_{01} – время поворота стрелы с грузом;
 t_2 – время тормозного спуска груза; t_{02} – время разгрузки; t_3 – время подъёма
холостого гака; t_{03} – время поворота стрелы без груза; t_4 – время силового
спуска холостого гака; t_{02} – время погрузки

3.4. Проверка выбранного электродвигателя по заданному режиму работы

1. Продолжительность одного цикла работы лебёдки

$$T = t_{1p} + t_{1ct} + t_{1т} + t_{01} + t_{2p} + t_{2ct} + t_{2т} + t_{02} + t_{3p} + t_{3ct} + t_{3т} + t_{03} + t_{4p} + t_{4ct} + t_{4т} + t_{04} = 0,47 + 16,1 + 0,67 + 10 + 1,03 + 10 + 0,32 + 60 + 0,34 + 7,7 + 1 + 10 + 0,33 + 12,1 + 1 + 60 = 191,06 \text{ (с)}.$$

2. Действительный ПВ электродвигателя

$$ПВ = \frac{(T - \sum t_{ct})}{T} \cdot 100 = \frac{191,06 - 140}{191,06} \cdot 100 = 21,5 \text{ (\%)},$$

где $\sum t_{ct} = t_{01} + t_{02} + t_{03} + t_{04} = 10 + 60 + 10 + 60 = 140 \text{ (с)}$.

3. Среднеквадратический (эквивалентный момент электродвигателя)

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum M_K^2 t_K}{T_1}},$$

где $\sum M_K^2 t_K = M_{1ct}^2 t_{1p} + M_{1ct}^2 t_{1ct} + M_{2c}^2 t_{2ct} + M_{2т}^2 t_{2т} + M_3^2 t_{3p} + M_{3ct}^2 t_{3ct} + M_4^2 t_4 + M_{4ct}^2 t_{4ct} = 790^2 \cdot 0,47 + 430^2 \cdot 16,1 + 214^2 \cdot 10 + 790^2 \cdot 0,32 + 790^2 \cdot 0,34 + 90^2 \cdot 7,7 + 790^2 \cdot 0,33 + 70^2 \cdot 1 = 4374400$;

$$T_1 = t_{1ct} + t_{2ct} + t_{3ct} + t_{4ct} + 0,75(t_1 + t_{1т} + t_2 + t_{2т} + t_3 + t_{3т} + t_4 + t_{4т}) + 0,5(t_{01} + t_{02} + t_{03} + t_{04}) = 16,1 + 10 + 7,7 + 12,1 + 0,75(0,47 + 0,67 + 1,03 + 0,32 + 0,34 + 1 + 0,33 + 1) + 0,5(10 + 60 + 10 + 60) = 45,9 + 0,75 \cdot 5,16 + 0,5 \cdot 140 = 119,7 \text{ (с)}.$$

Тогда

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{4374400}{119,7}} = 192 \text{ (Нм)}.$$

Коэффициент 0,75 и 0,5 в знаменателе подкоренного выражения учитывают ухудшение условий охлаждения электродвигателя при разгоне и торможении (0,75) и остановки (0,5), когда навешенный на вал двигателя вентилятор вращается с меньшей скоростью и не подаёт необходимого количества охлаждающего воздуха на обмотки машины. Для электродвигателей с независимым охлаждением от вентилятора, приводимого вспомогательным электродвигателем, указанные коэффициенты вводить в формулу не следует.

Учитывая, что при опускании груза и торможении холостого гака, электродвигатель отключается от сети, в числителе подкоренного выражения члены $M_{2Т}^2 t_{2Т}$, $M_{2СТ}^2 t_{2СТ}$, $M_{3Т}^2 t_{3Т}$, $M_{4Т}^2 t_{4Т}$ должны быть исключены, так как эта операция выполняется механическим тормозом.

Номинальный момент выбранного электродвигателя более чем в 2 раза превышает полученный расчётом эквивалентный момент $M_{НОМ}/M_{ЭКВ} = 390/192 = 2,03$, что при соответствии принятой расчётной продолжительности включения ПВ свидетельствует о необходимости выбрать электродвигатель меньшей мощности.

Ближайшим по каталогу является электродвигатель типа МП-42 смешанного возбуждения мощностью 16 кВт, 700 об/мин (73,5 рад/с), ПВ = 25 %, напряжением 220 В постоянного тока.

Проверка правильности выбранного двигателя по моменту

1. Номинальный момент нового электродвигателя

$$M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}} = \frac{16000}{73,5} = 218 \text{ (Нм)},$$

что больше эквивалентного момента.

2. Максимальный момент электродвигателя следует уточнить по каталогу, но даже при его значении $M_{МАХ} = 2M_{НОМ}$ он будет больше максимального момента, необходимого для подъёма груза. Максимальный момент электродвигателя влияет на время разгона и остановки электропривода, поэтому после уточнения его величины по каталогу необходимо произвести повторный расчёт для определения времени переходных процессов электропривода лебёдки и корректировки действительного ПВ механизма.

3. Несоответствие скорости вращения электродвигателя требуемой скорости вращения механизма может быть устранено путём изменения передаточного числа редуктора или включением в цепь якоря электродвигателя постоянного сопротивления, либо, наконец, незначительной корректировкой задания на проектирование.

4. После уточнения мощности электродвигателя следует определить число пусковых ступеней и величину их сопротивлений.

5. Зная мощность электродвигателя и число пусковых ступеней, выбирают контроллер или командоконтроллер с магнитным контроллером. Кулачковые контроллеры применяют для судовых лебёдок, мощность электродвигателей которых не превышает 10-15 кВт. Для более мощных электродвигателей применяют магнитные контроллеры с управлением при помощи командоконтроллеров.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. – М.: Энергия, 1981. – 756 с.
2. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы. – Л.: Судостроение, 1988. – 472 с.
3. Судовые электроприводы: справочник в 2-х томах / под ред. И.Р. Фрейдзона. – Л.: Судостроение, 1983.
4. Соломатин В.М. Курсовое проектирование судового электропривода. – М.: Высшая школа, 1972. – 207 с.
5. Шабалин Л.Д., Волков В.Е. Основы судового электропривода: метод. указания к курсовой работе. – Калининград: КГТУ, 2011.
6. Шабалин Л.Д. Судовые автоматизированные электроприводы: методические указания к выполнению курсового проекта. – Калининград: КГТУ, 2007.
7. Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
8. Чиликин М.Г. Теория автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1979.
9. Правила классификации и постройки морских судов. Том 3. – СПб.: Российский морской Регистр судоходства, 2012. – 79 с.
10. Справочник судового электротехника / под ред. Г.И. Китаенко в 3-х томах. – Л.: Судостроение, 1980.
11. Электротехнический справочник / под общ. ред. профессоров МЭИ в 3-х томах. – Т. 3. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

БГАРФ

Пример оформления титульного листа

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
Кафедра «Электрооборудование и автоматика судов»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Судовые электроприводы»

тема «СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ»

курсанта ____ курса гр. _____

Специальность 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»

Ф.И.О. _____

Руководитель _____

(должность, уч. зван., научн. степень, Ф.И.О.)

Оценка _____

БГАРФ

Задания на курсовую работу

Задание № 1

к теме «Расчёт электропривода якорного устройства»
на курсовую работу

Курсанту _____

Срок сдачи курсовой работы _____

Рассчитать электродвигатель брашпиля на постоянном токе

Исходные данные:

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Площадь смоченной поверхности корпуса судна, m^2 | $S_{\Pi} =$ |
| 2. Площадь надводной части судна, проецируемой на мидель-шпангоут, m^2 | $S_1 + S_2 =$ |
| 3. Глубина стоянки судна, m | $H =$ |
| 4. Скорость ветра, m/c | $v_{\text{в}} =$ |
| 5. Скорость течения воды, m/c | $v_{\text{теч}} =$ |
| 6. Скорость выбирания якорной цепи, m/c | $v_{\text{выб}} =$ |
| 7. Масса одного якоря, kg | $Q = 600 \text{ кг}$ |
| 8. Сила тяжести одного якоря, H | $T_{\text{я}} = 5900 \text{ Н}$ |
| 9. Количество якорей | 2 шт. |
| 10. Масса одного погонного метра якорной цепи калибра $d = 28 \text{ мм}$, kg | $q = 17 \text{ кг}$ |
| 11. Сила тяжести одного погонного метра якорной цепи калибра $d = 28 \text{ мм}$ | $\tau = 167 \text{ Н}$ |
| 12. Радиус звёздочки брашпиля, m | $R_{\text{зв}} = 0,18 \text{ м}$ |
| 13. Общее передаточное число брашпиля | $i = 150$ |
| 14. Коэффициент полезного действия брашпиля | $\eta_{\text{бр}} = 0,45$ |
| 15. Коэффициент полезного действия клюза | $\eta_{\text{кл}} = 0,7$ |
| 16. Напряжение судовой сети постоянного тока, V | $U = 220 \text{ В}$ |

При расчёте принять случай, когда поднимаются два якоря одновременно, причём один из них отрывается от грунта раньше, чем другой.

Дата выдачи задания _____

Руководитель _____

(подпись)

(Ф.И.О)

Задание получил _____

(подпись)

(Ф.И.О)

Задание № 2

к теме «Расчёт электропривода судовой грузовой лебёдки»
на курсовую работу

Курсанту _____

Срок сдачи курсовой работы _____

Рассчитать мощность электродвигателя судовой грузовой лебёдки

Исходные данные:

1. Грузоподъёмность $Q = 3 \text{ т}$ (усилие подъёма $F = 29 \text{ кН}$)
2. Масса гака и стропов $Q_0 = 60 \text{ кг}$ (сила тяжести $F_0 = 0,59 \text{ кН}$)
3. Скорость подъёма и опускания груза $v_0 = 1 \text{ м/с}$
4. Высота подъёма груза из трюма судна $H_1 = 10 \text{ м}$
5. Высота опускания груза $H_2 = 6,5 \text{ м}$
6. Передаточное число редуктора лебёдки $i = 21$
7. К.п.д. механических передач $\eta_m = 0,75$
8. Радиус барабана лебёдки $R_б = 0,225 \text{ м}$
9. Напряжение судовой сети $U = 220 \text{ В}$
10. Род тока – постоянный.

Дополнительные условия:

- торможение при остановке – механическое;
- опускание груза производится под действием сил собственного веса и гака на механическом тормозе при включённом электродвигателе;
- опускание холостого гака производится работающим электродвигателем (силовой спуск).

Дата выдачи задания _____

Руководитель _____
(подпись) (Ф.И.О)

Задание получил _____
(подпись) (Ф.И.О)

БГАРФ

Исходные данные для выполнения курсовой работы

№ вар.	Тип АД	P_{H^*} кВт	I_{H^*} , А	n_{H^*} об/мин	η_{H^*} , %	$\cos \varphi_H$	$R_{1(20^{\circ}C)}$ Ом	I_{0^*} , А	P_{0^*} кВт	$P_{к^*}$ кВт	$U_{кп^*}$ В	μ_{max}	$\mu_{п}$	μ_{min}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	АИР56В2У3	0,25	0,7	2730	69,0	0,79	38,7	0,50	0,040	0,108	190	2,2	1,2	1,0
2	АИР63В2У3	0,55	1,31	2730	75,0	0,85	16,6	0,86	0,068	0,154	122	2,2	1,4	1,0
3	АИР63А2У3	0,37	0,91	2730	72,0	0,86	26,2	0,67	0,053	0,148	175	2,2	1,4	1,0
4	АИР71А2У3	0,75	1,7	2820	78,5	0,83	12,1	0,95	0,075	0,22	150	2,2	1,3	1,0
5	АИР71В2У3	1,1	2,55	2800	79,0	0,83	8,35	1,34	0,106	0,328	145	2,2	1,2	1,0
6	АИР80А2У3	1,5	3,31	2850	81,0	0,85	4,11	1,48	0,117	0,286	112	2,2	1,2	1,0
7	АИР80В2У3	2,2	4,63	2850	83,0	0,87	3,0	1,9	0,15	0,3	83	2,2	1,4	1,0
8	АИР90L2У3	3,0	6,13	2850	84,5	0,88	1,96	2,32	0,183	0,48	70	2,2	1,4	1,0
9	АИР100S2У3	4,0	7,94	2850	87,0	0,88	1,19	2,63	0,208	0,476	81	2,2	1,3	1,0
10	АИР112M2У3	7,5	14,8	2900	87,5	0,88	0,53	4,52	0,357	0,75	67	2,2	1,2	1,0
11	АИР132M2У3	11,0	21,1	2910	88,0	0,90	0,54	6,33	0,5	0,953	67	2,2	1,2	1,0
12	АИР160S2У3	15,0	28,5	2910	90,0	0,89	0,3	8,63	0,682	1,7	84	2,7	1,4	1,0
13	АИР160M2У3	18,5	34,51	2910	90,5	0,90	0,226	9,64	0,762	1,959	86	2,7	1,4	1,0

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	АИР180S2У3	22,0	41,5	2920	90,5	0,89	0,151	10,9	0,86	1,83	70	2,7	1,3	1,0
15	АИР180М2У3	30,0	55,5	2925	91,5	0,90	0,087	11,3	0,893	1,9	61	3,0	1,2	1,0
16	АИР200М2У3	37,0	86,5	2940	92,0	0,88	0,065	15,4	1,22	2,312	58	2,8	1,2	1,0
17	АИР200L2У3	45,0	84,4	2940	91,0	0,89	0,051	18,8	1,483	2,564	53	2,8	1,4	1,0
18	АИР225М2У3	55,0	99,3	2940	92,5	0,91	0,042	22,95	1,813	3,2	52	2,6	1,4	1,0
19	АИР250S2У3	75,0	136	2940	93,0	0,90	0,023	31,3	2,473	3,79	49	3,0	1,3	1,0
20	АИР100L2У3	5,5	10,7	2850	88,0	0,89	0,812	3,32	0,262	0,57	70	2,2	1,2	1,0
21	АИР63В4У3	0,37	1,18	1320	68,0	0,70	21,6	0,73	0,058	0,197	220	2,2	1,2	1,0
22	АИР71АВ4У3	0,55	1,69	1360	70,5	0,70	12,3	0,97	0,077	0,227	159	2,2	1,2	1,0
23	АИР71В4У3	0,57	2,14	1350	73,0	0,73	9,41	1,23	0,097	0,3	164	2,2	1,4	1,0
24	АИР80А4У3	1,1	2,75	1395	75,0	0,81	7,15	1,54	0,122	0,344	133	2,2	1,4	1,0
25	АИР80В4У3	1,5	3,52	1395	78,0	0,83	5,3	1,89	0,149	0,439	126	2,2	1,3	1,0
26	АИР90L4У3	2,2	5,0	1400	81,0	0,83	3,11	2,32	0,183	0,298	121	2,2	1,2	1,0
27	АИР100S4У3	3,0	6,7	1410	82,0	0,83	1,9	2,78	0,22	0,58	100	2,2	1,2	1,0
28	АИР100L4У3	4,0	8,5	1410	85,0	0,84	1,27	3,22	0,254	0,6	87	2,2	1,4	1,0

Окончание приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
29	АИР112М4У3	5,5	11,4	1430	85,5	0,86	0,995	3,94	0,311	0,84	100	2,2	1,4	1,0
30	АИР132S4У3	7,5	15,1	1440	87,5	0,86	0,572	4,52	0,357	0,82	76	2,2	1,3	1,0
31	АИР132М4У3	11,0	22,0	1450	87,5	0,87	0,346	6,63	0,524	1,074	68	2,2	1,2	1,0
32	АИР160S4У3	15,0	28,5	1455	90,0	0,89	0,27	7,82	0,618	1,48	74	2,9	1,2	1,0
33	АИР160М4У3	18,5	34,9	1455	90,5	0,89	0,197	8,67	0,685	1,639	82	2,9	1,4	1,0
34	АИР180S4У3	22,0	42,5	1460	90,5	0,87	0,161	9,75	0,77	2,066	71	2,4	1,4	1,0
35	АИР180М4У3	30,0	56,9	1470	92,0	0,87	0,099	12,52	0,989	2,087	59	2,7	1,3	1,0
36	АИР200М4У3	37,0	68,3	1470	92,5	0,89	0,09	14,51	1,146	3,0	56	2,7	1,2	1,0
37	АИР200L4У3	45,0	83,0	1470	92,5	0,89	0,069	16,51	1,304	3,2	54	2,7	1,2	1,0
38	АИР225М4У3	55,0	101	1470	93,0	0,89	0,049	18,81	1,486	3,7	48	2,6	1,4	1,0
39	АИР250S4У3	75,0	138	1470	94,0	0,88	0,028	23,82	1,882	4,0	50	2,5	1,4	1,0
40	АИР250М4У3	90,0	164	1470	94,0	0,89	0,025	28,58	2,258	4,9	51	2,5	1,3	1,0
41	АИР71А6У3	0,37	1,31	915	65,0	0,65	21,1	0,86	0,068	0,2	180	2,2	1,2	1,0
42	АИР71В6У3	0,55	1,74	915	68,5	0,70	14,4	1,01	0,088	0,252	170	2,2	1,2	1,0
43	АИР80А6У3	0,75	2,26	920	70,0	0,72	10,9	1,42	0,112	0,33	153	2,2	1,2	1,0

Пояснительная записка

Введение. Значение электропривода в судовом электрооборудовании и его механика.

1. Судовые электроприводы

- 1.1. Определение и классификация электроприводов.
- 1.2. Динамика и схема расчётов электроприводов.

2. Расчёт электропривода якорного устройства

- 2.1. Данные для расчёта.
- 2.2. Усилие натяжения якорной цепи.
- 2.3. Определение времени выбирания якоря.
- 2.4. Тип и мощность электродвигателя постоянного тока.
- 2.5. Эквивалентный момент и момент вращения электродвигателя.
- 2.6. Выбор мощности асинхронного двигателя.

3. Расчёт электродвигателя брашпиля на постоянном токе

- 3.1. Исходные данные.
- 3.2. Методика расчёта.
- 3.3. Методика расчёта электропривода брашпиля по работе.
- 3.4. Расчёт электропривода брашпиля по исходным данным.

4. Расчёт электропривода судовой грузовой лебёдки

- 4.1. Исходные данные.
- 4.2. Динамика электропривода.
- 4.3. Расчёт мощности электродвигателя судовой грузовой лебёдки.
 - 4.3.1. Данные для расчёта.
 - 4.3.2. Методика расчёта электропривода судовой грузовой лебёдки с двигателем постоянного тока.

5. Схемы управления электроприводами

- 5.1. Составление схемы пуска, реверса.
- 5.2. Составление схемы торможения и остановки.

БГАРФ



978210001715

Александр Андреевич Топчий

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ

Методические указания
по выполнению курсовой работы
для курсантов специальности 26.05.07
«Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»

*Ведущий редактор О.В. Напалкова
Младший редактор Г.В. Деркач*

Лицензия № 021350 от 28.06.99.

*Компьютерное редактирование
И.В. Леонова*

Печать офсетная.

*Подписано в печать 13.04.2018 г.
Усл. печ. л. 3,75. Уч.-изд. л. 5,6.*

Формат 60 x 90 1/16.

Заказ № 1337. Тираж 36 экз.

Доступ к архиву публикации и условия доступа к нему:
<http://bgarf.ru/academy/biblioteka/elektronnyj-katalog/>

БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»

*Издательство БГАРФ,
член Издательско-полиграфической ассоциации высших учебных заведений
236029, Калининград, ул. Молодежная, 6.*