

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Э.Л. Греков, А.А. Кувшинов, А.А. Гусаров

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по направлению подготовки 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»

Оренбург
2012

УДК 681.5 (076.5)
ББК 32.965 я 73
Г 80

Рецензент – доцент, кандидат технических наук В. Л. Хрипко

Греков, Э. Л.
Г 80 Автоматизированный электропривод пассажирского лифта: методические указания к курсовой работе / Э. Л. Греков, А. А. Кувшинов, А. А. Гусаров; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 82 с.

Методические указания содержат методику расчета требуемой мощности двигателя, построения статических и динамических характеристик электропривода пассажирского лифта.

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы студентами специальности 140604 - Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов очной и заочной формы обучения и бакалаврами по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника», изучающих дисциплину «Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов».

УДК 681.5 (076.5)
ББК 32.965 я 73

© Греков Э.Л.,
Кувшинов А.А.
Гусаров А.А.
© ОГУ, 2012

Содержание

Введение.....	5
1 Организация работы по выполнению курсового проекта.....	6
1.1 Основные положения	6
1.2 Содержание и объем курсовой работы	7
2 Расчет требуемой мощности двигателя	8
2.1 Общие сведения	8
2.2 Исходные данные.....	11
2.3 Построение кинематической схемы лифта	12
2.4 Построение диаграммы неуравновешенности.....	13
2.5 Расчет времени кругового рейса лифта по ГОСТ 52941-2008	17
2.6 Предварительный расчет нагрузочной диаграммы.....	18
2.7 Выбор передаточного числа редуктора	24
2.8 Проверка двигателя на перегрузочную способность.....	25
2.9 Проверка электропривода на максимально-допустимое ускорение.....	25
2.10 Проверка двигателя методом средних потерь	27
2.11 Расчет и выбор тормозного устройства	32
2.12 Расчет точности остановки.....	33
2.13 Выбор коммутирующей аппаратуры	36
2.14 Схема электрическая принципиальная электропривода пассажирского лифта.....	37
3 Пример выполнения контрольной работы	39
3.1 Задание на проектирование	39
3.2 Построение кинематической схемы лифта	39
3.3 Построение диаграммы неуравновешенности.....	41
3.4 Предварительный расчет мощности двигателя.....	45
3.5 Выбор редуктора	55
3.6 Проверка электродвигателя на перегрузочную способность	56
3.7 Проверка электропривода на максимально-допустимое ускорение.....	56
3.8 Проверка выбранного двигателя методом средних потерь	59
3.9 Расчет и выбор тормозного устройства	66
3.10 Расчет точности остановки.....	67
3.11 Выбор коммутирующей аппаратуры	70

3.12 Схема электрическая принципиальная электропривода пассажирского лифта.....	71
Список использованных источников.....	72
Приложение А Варианты заданий.....	73
Приложение Б Технические данные лифтовых двигателей.....	74
Приложение В Технические данные колодочных тормозов ТКП.....	77
Приложение Г Технические данные магнитных пускателей ПМЛ.....	79
Приложение Д Технические данные автоматических выключателей ВА03-31.....	81

Введение

Целью данных методических указаний является обеспечение самостоятельной работы студентов при выполнении курсовой работы по дисциплине «Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов».

В указаниях приводятся варианты технического задания на курсовое проектирование, требования к оформлению и защите проекта, его содержание и объем, а также теоретические обоснования выполнения технического задания в разных вариантах. В заключение приводятся список используемой литературы и технические данные различных компонентов электропривода, которые могут быть использованы при выполнении курсовой работы.

1 Организация работы по выполнению курсового проекта

1.1 Основные положения

Целью курсовой работы является систематизация и закрепление знаний по дисциплине «Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов» и развитие практических навыков самостоятельного решения технических задач, использования технической и справочной литературы.

Задание на проектирование (приложение А) выдается на 8 неделе семестра. В задании приводятся кинематические схемы и все необходимые технические данные для выполнения курсовой работы. Там же приводится перечень вопросов, подлежащих разработке.

Методы решения задач, возникающих по ходу проектирования, рассматриваются на практических занятиях и еженедельных консультациях, проводимых руководителем курсовой работы.

Курсовая работа состоит из пояснительной записки, которая должна быть оформлена в соответствии с требованиями ЕСКД и стандарта организации по оформлению студенческих работ, действующего на данный момент.

Выполненная студентом курсовая работа после проверки руководителем и исправления указанных ошибок и недостатков должна быть защищена в комиссии, состоящей из преподавателей кафедры.

Доклад при защите работы должен быть рассчитан на 5-6 мин. Оценка курсовой работы комиссией должна учитывать правильность и обоснованность принятых решений и проведенных расчетов, качество оформления проекта и качество ответов исполнителя на вопросы членов комиссии.

1.2 Содержание и объем курсовой работы

Как было указано выше, курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка должна включать в себя следующие разделы:

1. Введение.
2. Кинематическая схема производственного механизма и описание ее работы.
3. Расчет нагрузочной диаграммы механизма и необходимой мощности электродвигателя.
4. Выбор электродвигателя и его проверка по нагреву и перегрузочной способности.
5. Расчет технических и энергетических параметров электропривода, необходимых для выбора принципа управления электроприводом и конструирование его принципиальной схемы.
6. Разработка принципиальной схемы электропривода.
7. Заключение.
8. Список использованных источников.

В пояснительной записке обязательно должны быть представлены:

1. Кинематическая схема и нагрузочная диаграмма механизма.
2. Статические характеристики электропривода.
3. Энергетические характеристики электропривода.
4. Принципиальная схема управления электроприводом.

В случае необходимости (участие студента в проводимых на кафедре исследований, реальных разработках и т.п.) содержание и объем пояснительной записки и графической части работы по согласованию с руководителем могут быть изменены.

2 Расчет требуемой мощности двигателя

2.1 Общие сведения

Пассажирские лифты относятся к группе механизмов циклического действия. Основные требования к электроприводу лифтов следующие:

- надежность и обеспечение безопасности в работе;
- удобство и простота в эксплуатации;
- малошумность (соответствующая механическая часть и специальные электродвигатели);
- ограничение ускорений кабины на уровне комфортности пассажиров и отсутствия проскальзывания каната на канатоведущем шкиве;
- обеспечение плавных переходных процессов пуска и торможения при изменении нагрузки в широких пределах (ограничение рывка);
- наличие пониженной скорости дотягивания для лифтов с основной рейсовой скоростью более 0.71 м/с;
- обеспечение точности остановки кабины на этажной площадке (± 10 мм для больничных лифтов и ± 35 мм для остальных лифтов);
- оборудование лифтовой лебедки автоматически действующим тормозом нормально замкнутого типа.

Для лифтов применяется электроприводы переменного тока с односкоростными и двухскоростными короткозамкнутыми асинхронными двигателями и электроприводы по системе тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока, генератор - двигатель и преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Электроприводы переменного тока с односкоростными асинхронными двигателями применяются для низкоскоростных (до 0.7 м/с) лифтов. Ограничение ускорений в этом случае происходит за счет применения специальных лифтовых электродвигателей с повышенным моментом инерции и дополнительных маховиков, устанавливаемых на валу двигателя. Скорость в таких электроприводах не регулируется.

Для лифтов со скоростью движения кабины не выше 1.6 м/с наиболее распространенным является электропривод с двухскоростным асинхронным

двигателем и релейно-контакторным управлением. Ограничение ускорений в переходных процессах здесь производится также как и в предыдущем случае. Диапазон регулирования скорости $D=3-4$.

При более высоких скоростях движения кабины для питания обмоток двухскоростного двигателя рекомендуется применять тиристорные преобразователи напряжения или электропривод постоянного тока по системе Г-Д или ТП-Д. В последнее время для высокоскоростных лифтов все более широко применяются электроприводы переменного тока с асинхронными короткозамкнутыми двигателями и частотным управлением. Диапазон регулирования скорости таких электроприводов равен 10.

Проблема точности остановки кабины лифта на этажной площадке решается в зависимости от диапазона регулирования скорости и сложности электропривода разными способами.

В тихоходных и быстроходных лифтах с нерегулируемым электроприводом эта проблема решается установкой датчика точной остановки в расчетной точке, положение которой корректируется при наладке электропривода.

При скоростях движения кабины выше 0.7 м/с электропривод должен иметь пониженную, так называемую ревизионную скорость для обеспечения требуемой точности остановки. Величина этой пониженной скорости должна быть меньше 0.36 м/с и определяется величинами максимальных отклонений от средних значений параметров – скорости дотягивания v_0 , времени срабатывания релейно-контакторной аппаратуры $t_{a,cp}$, момента инерции $J_{\Sigma cp}$, тормозного момента $M_{m,cp}$, пути $S_{0,cp}$ и ускорения a_{cp} электропривода при дотягивании. Естественно, что на величину скорости дотягивания влияют и средние значения этих параметров [1]. Датчик положения, отключающий электропривод, устанавливается в зоне дотягивания.

В тех случаях, когда применяется двухскоростной асинхронный двигатель, скорость дотягивания вполне определенная. Тогда необходимо определить максимальную неточность останова ΔS_{max} и в случае недопустимой ее величины ($\Delta S_{max} > \Delta S_{don}$) постараться ее уменьшить изменением остальных параметров и их отклонений.

В электроприводах скоростных лифтов со скоростью движения кабины до 2 м/с ограничение ускорений и рывков осуществляется в одноконтурной замкнутой системе регулирования скорости двигателя постоянного или перемен-

ного тока путем формирования оптимальной тахограммы движения. Проблема же точного останова решается аналогично предыдущему случаю снижением скорости дотягивания до необходимой величины.

При скорости движения кабины более 2 м/с в электроприводах постоянного и переменного тока со статическими преобразователями (по системе Г-Д, ТП-Д, ПЧ-АД) помимо контура регулирования скорости имеются контуры регулирования тока. Точность останова кабины обеспечивается третьим контуром положения, который включается при подходе кабины к зоне останова.

Из теории электропривода известно, что используемые при расчете необходимой мощности двигателя методы средних потерь и эквивалентных величин носят поверочный характер, определяя нагрев предварительно выбранного двигателя. Для общепромышленных механизмов циклического действия, к которым относятся пассажирские лифты, можно указать три наиболее характерных случая предварительного выбора двигателя:

1) цикл работы механизма известен, а динамические нагрузки незначительны и не оказывают существенного влияния на нагрев двигателя;

2) цикл работы механизма известен, но динамические нагрузки значительны и соизмеримы по времени со статическими;

3) цикл работы механизма заданием не определен, а динамические нагрузки в зависимости от конкретных условий могут быть как существенными так и несущественными по сравнению со статическими.

Предварительный выбор двигателя для пассажирского лифта соответствует третьему случаю. Цикл работы лифта носит случайный характер, а динамические нагрузки зависят от количества остановок на этажах и числа пассажиров в кабине. Поэтому основой для предварительного выбора двигателя в подобных случаях должен служить расчетный рабочий цикл, составленный на основе статистических данных и опыта работы.

Поскольку при выборе электрического двигателя определяющим является его нагрев, который напрямую влияет на срок службы двигателя, расчетный рабочий цикл должен быть составлен для случая наиболее интенсивной работы лифта (начало-конец рабочего дня, обеденный перерыв и т.п.).

Одним из вариантов расчетного рабочего цикла для данного курсовой работы может быть следующий. Движение вверх начинается с первого этажа при полностью загруженной кабине. Лифт останавливается либо на каждом этаже, либо на некоторых этажах с последней остановкой на верхнем эта-

же. На каждой остановке часть пассажиров выходит. Движение вниз начинается с последнего этажа при полностью пустой кабине с попутными остановками, при котором кабина постепенно заполняется до номинальной грузоподъемности.

По ГОСТ 5746-2003 [6] рекомендуемые значения номинальных грузоподъемностей пассажирских лифтов соответствуют ряду 320, 400, 630, 800, 1000, 1275, 1600, 1800, 2000, 2500 кг. Причем для жилых зданий рекомендуемая грузоподъемность ограничивается 1000 кг, для пассажирских лифтов большой этажности и (или) с интенсивными пассажиропотоками – 2000 кг. Лифты с грузоподъемностью от 1275 до 2500 кг рекомендуется использовать для лечебно-профилактических учреждений.

Рекомендуемые значения номинальных скоростей движения кабин пассажирских лифтов соответствуют ряду: 0.4, 0.63, 0.71, 1.0, 1.4, 1.6, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0, 6.0 м/с. Для 9-ти этажных жилых зданий рекомендуемые скорости движения – 0.4 - 1.0 м/с, 16-ти этажных – 1.0 м/с, 25-ти этажных – 1.6 м/с.

2.2 Исходные данные

Для расчета электропривода пассажирского лифта необходимы следующие исходные данные (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Обозначение
Грузоподъемность, кг	m_n
Вместимость, чел	E
Максимальная высота подъема, м	H
Количество этажей	N
Скорость подъема, м/с	$v_{ном}$
Количество несущих канатов	$N_{кан}$
Количество подвесных кабелей	$N_{каб}$
Масса кабины, кг	m_0
Масса 1000 м несущего каната, кг	$q_{кан}$
Масса 1000 м кабеля, кг	$q_{каб}$
Диаметр канатоведущего шкива, м	$D_{ш}$
Момент инерции шкива, кг·м ²	$J_{ш}$

2.3 Построение кинематической схемы лифта

Кинематическая схема пассажирского лифта приведена на рисунке 2.1.

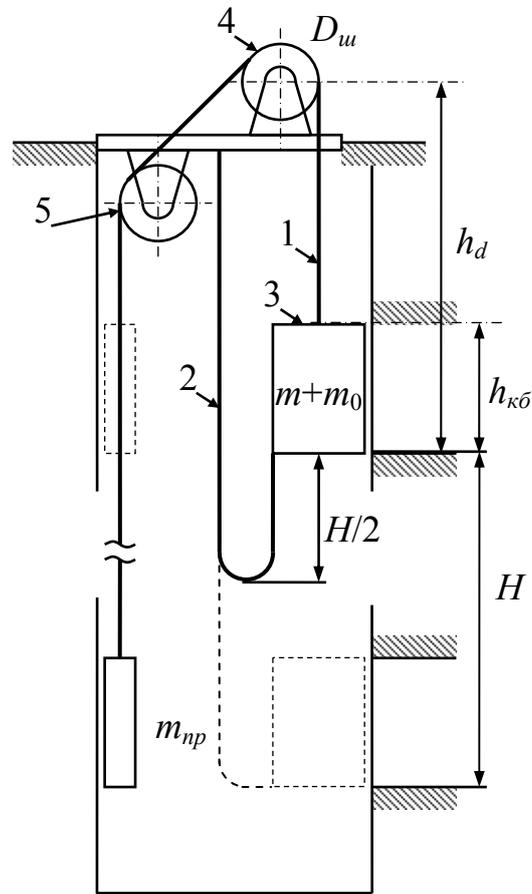


Рисунок 2.1 - Кинематическая схема пассажирского лифта

На несущем канате 1 подвешены кабина 3 с собственной массой m_0 и противовес с собственной массой m_{np} :

$$m_{np} = m_0 + \alpha \cdot m_n, \quad (2.1)$$

где α - коэффициент уравновешивания,

m_n - номинальная грузоподъемность установки.

К кабине также подвешена часть кабелей 2, осуществляющих подключение органов управления, находящихся в кабине, к системе управления лифтом. Канатоведущий шкив 4 с диаметром D_u приводит в движение кабину и противовес. Отводной шкив 5 разводит кабину и противовес в шахте лифта.

При проектировании кинематической схемы необходимо учесть следующее:

- а) принять отводной шкив таким же, как канатоведущий;

б) ось вращения тянущего шкива расположена от пола верхнего этажа на высоте $h_d = 4500 \dots 5000$ мм, высота кабины $h_{кб} = 2200-2400$ мм.

По кинематической схеме необходимо определить суммарные длины несущих канатов (h_{np} – длина каната над противовесом, h_k – длина каната над кабиной) и кабеля $h_{каб}$, а также длины их участков над противовесом и над кабиной при расположении кабины на верхнем этаже h_{np1} , h_{k1} , $h_{каб1}$, и при расположении на нижнем h_{np2} , h_{k2} , $h_{каб2}$:

$$\begin{aligned}
 h_{k1} &= h_d - h_{кб}, \\
 h_{k2} &= h_d - h_{кб} + H, \\
 h_{np1} &= h_d - h_{кб} + H, \\
 h_{np2} &= h_d - h_{кб}, \\
 h_{каб1} &= H / 2, \\
 h_{каб2} &= 0 \text{ м.}
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

2.4 Построение диаграммы неуравновешенности

Диаграмма неуравновешенности представляет собой зависимость усилия на канатоведущем шкиве от положения кабины в шахте лифта. В общем случае данное усилие будет состоять из весов кабины, противовеса, кабелей и несущих канатов. Вес кабелей и несущих канатов будет изменяться в зависимости от положения кабины, что **необходимо учесть** при расчете сил. Искомое усилие будет равно:

$$F = G_0 + G_H - G_{np} + G_{кан.к} - G_{кан.пр} + G_{каб}, \tag{2.3}$$

где G_0 – вес кабины:

$$G_0 = m_0 \cdot g, \tag{2.4}$$

где $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

G_H – номинальный вес поднимаемого груза:

$$G_H = m_H \cdot g, \quad (2.5)$$

G_{np} – вес противовеса:

$$G_{np} = m_{np} \cdot g = (m_0 + \alpha \cdot m_H) \cdot g, \quad (2.6)$$

где α – коэффициент уравнивания (предварительно $\alpha = 0.5$);

$G_{кан.к}$ – вес каната, висящего над кабиной:

$$G_{кан.к} = g \cdot h_k \cdot N_{кан} \cdot q_{кан}, \quad (2.7)$$

$G_{кан.пр}$ – вес каната, висящего над противовесом:

$$G_{кан.пр} = g \cdot h_{пр} \cdot N_{кан} \cdot q_{кан}, \quad (2.8)$$

$G_{каб}$ – вес кабеля, прикрепленного к кабине:

$$G_{каб} = g \cdot h_{каб} \cdot N_{каб} \cdot q_{каб}. \quad (2.9)$$

Для построения диаграммы неуровненности необходимо рассчитать усилие на канатопроводящем шкиве для 4 случаев:

1) F_1 - номинальный груз, кабина находится вверху. Длина каната, находящегося над противовесом, максимальна, а над кабиной – минимальна. Длина кабеля, висящего под кабиной равна половине высоты подъема (см. рисунок 2.1);

2) F_2 - номинальный груз, кабина находится внизу. Длина каната, находящегося над противовесом, минимальна, а над кабиной – максимальна. Длину кабеля, висящего под кабиной, в этом случае принимается равной нулю;

3) F_3 - пустая кабина находится вверху. Длины кабелей и канатов – такие же, как в первом случае;

4) F_4 - пустая кабина находится внизу. Длины кабелей и канатов – такие же, как во втором случае.

Пример диаграммы неуровненности показан на рисунке 2.2. По оси x откладывается глубина кабины в шахте лифта, отсчитываемая сверху. То есть в верхнем положении кабины $x=0$, а в нижнем $x=H$. Возможны два варианта диаграммы неуровненности (рисунок 2.2). Диаграмма (а) – при слабой не-

уравновешенности (режим работы двигателя не меняется при движении кабины в шахте лифта), а диаграмма (б) – при сильной неуравновешенности, обычно при большой высоте подъема (режим работы двигателя меняется).

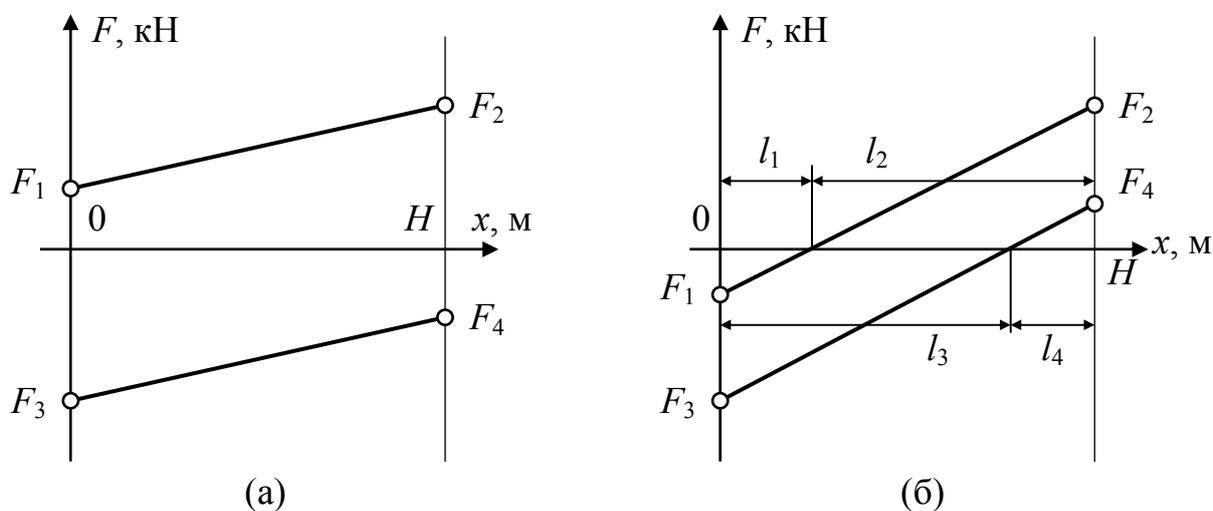


Рисунок 2.2 - Диаграммы неуравновешенности

При сильной неуравновешенности для предотвращения значительного завышения мощности двигателя устанавливают уравнивающий канат, который частично, либо полностью компенсирует изменение весов канатов. Диаграмму неуравновешенности в этом случае необходимо заново пересчитать, при этом в формуле (2.3) необходимо учесть вес уравнивающего каната под кабиной и под противовесом.

По построенной диаграмме неуравновешенности рассчитывается средневзвешенная неуравновешенность, которая будет равна для первой диаграммы (рисунок 2.2а):

$$F_{срв} = \frac{\frac{|F_2 + F_1|}{2} \cdot H + \frac{|F_4 + F_3|}{2} \cdot H}{2 \cdot H}, \quad (2.10)$$

для второй диаграммы:

$$F_{срв} = \frac{\frac{|F_1|}{2} \cdot l_1 + \frac{|F_2|}{2} \cdot l_2 + \frac{|F_3|}{2} \cdot l_3 + \frac{|F_4|}{2} \cdot l_4}{2 \cdot H}. \quad (2.11)$$

По рассчитанным данным строится уточненная диаграмма неуравновешенности с учетом сил трения. Потери на трение будут составлять:

$$\Delta F = F_{срв} \cdot (1 - \eta), \quad (2.12)$$

где η - общий механический КПД.

Предварительно можно принять КПД механической передачи исходя из КПД его элементов: каната со шкивом $\eta_k = 0.94 \dots 0.95$, трение кабины и противовеса о направляющие $\eta_{nn} = 0.85 \dots 0.9$, червячной передачи $\eta_p = 0.65 \dots 0.70$ и одной цилиндрической пары $\eta_{p1} = 0.90 \dots 0.98$ (в случае выбора редуктора с цилиндрическими шестернями принять трехступенчатый редуктор). **Трехступенчатый цилиндрический редуктор выбрать предпочтительней.** Тогда:

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_{nn} \cdot (\eta_{p1})^3. \quad (2.13)$$

С учетом механических потерь диаграмма неуравновешенности примет вид, изображенный на рисунке 2.3. При подъеме кабины механические потери ΔF складываются с суммарными усилиями (F'_1, F'_2, F''_3, F''_4). При спуске кабины потери ΔF вычитаются из суммарных усилий (F''_1, F''_2, F'_3, F'_4).

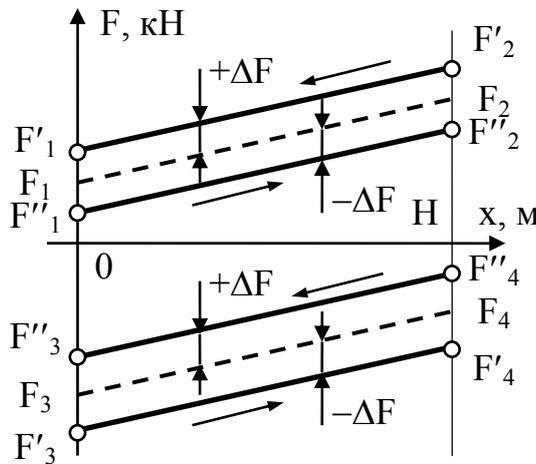


Рисунок 2.3 - Диаграмма неуравновешенности с учетом механических потерь

Для наиболее нагруженного цикла (подъем номинального груза и спуск пустой кабины) рассчитывается уточненная средневзвешенная неуравновешенность:

$$F_{срв.ут} = \frac{\frac{|F'_2 + F'_1|}{2} \cdot H + \frac{|F'_4 + F'_3|}{2} \cdot H}{2 \cdot H}. \quad (2.14)$$

2.5 Расчет времени кругового рейса лифта по ГОСТ 52941-2008

Основные понятия, применяемые при расчете вертикального транспорта [7]:

а) круговой рейс – движение лифта от основного посадочного этажа до возвращения на этот этаж;

б) время кругового рейса – время, затрачиваемое лифтом на совершение кругового рейса, включающее в себя затраты времени на разгон и торможение, движение на номинальной скорости, открывание и закрывание дверей, вход и выход пассажиров;

в) число возможных остановок – число обслуживаемых лифтом этажей, на которых он может остановиться;

г) число вероятных остановок – число остановок лифта, определяемое с учетом числа находящихся в кабине лифта пассажиров и числа возможных остановок;

д) коэффициент заполнения кабины лифта – отношение числа находящихся в кабине пассажиров к номинальной вместимости кабины.

Согласно ГОСТ 52941-2008 [7] время кругового рейса пассажирского лифта при двухстороннем пассажиропотоке вычисляется по формуле:

$$T = \frac{2k_n H - h_p (N_n + N_c + 1)}{v_{ном}} + k_t [(t_1 + t_2 + t_3)(N_n + N_c + 1) + t_{4n} + t_{5n} + t_{4c} + t_{5c}], \quad (2.15)$$

где $k_t = 1.05 - 1.1$ – коэффициент неучтенного времени переходных режимов и пауз (задержка при входе и выходе пассажиров, регулирование скорости движения дверей и т.п.). Необходимо выбирать этот коэффициент тем больше, чем больше грузоподъемность кабины и больше скорость движения кабины (выбирать 1,05 для минимального количества пассажиров – 4 чел., и 1,1 для максимального – 12 чел.);

$k_n = 0.7 - 0.9$ – вероятностный коэффициент средней высоты подъема;

h_p - высота, пройденная кабиной за время разгона (торможения):

$$h_p = \frac{(v_{ном} - v'_0)^2}{2a_{max}} + \frac{a_{max} v_{ном}}{2\rho} + \frac{v_n^2}{2a_{max}}, \quad (2.16)$$

$v'_0 = 16-33\%$ от v_n – скорость подхода кабины к этажу. Зависит от типа электропривода. Предварительно можно принять равной $0,25 \cdot v_n$ для соотношения числа пар полюсов двухскоростного двигателя 1:4;

$a_{\max} = 1.0-2 \text{ м/с}^2$ – максимальное допустимое ускорение кабины (в зависимости от скорости движения кабины принимать ускорение 1 м/с^2 при скорости $0,4 \text{ м/с}$ и 2 м/с^2 при скорости $1,6 \text{ м/с}$);

$\rho = 3-5 \text{ м/с}^3$ – рывок (в зависимости от скорости движения кабины принимать рывок 3 м/с^3 при скорости $0,4 \text{ м/с}$ и 5 м/с^3 при скорости $1,6 \text{ м/с}$);

N_n, N_c – вероятные количества остановок при подъеме и спуске кабины:

$$N_n = N - N \left(\frac{N-1}{N} \right)^{\gamma_n E}, \quad N_c = N - N \left(\frac{N-1}{N} \right)^{\gamma_c E}; \quad (2.17)$$

$\gamma_n = 0.8, \gamma_c = 0.4$ – вероятные коэффициенты заполнения кабины при подъеме и при спуске для жилых зданий;

$t_1+t_2+t_3$ – сумма затрат времен на ускорение и замедление лифта, на пуск лифта пассажиром и на открывание и закрывание дверей соответственно. Эти времена в значительной степени зависят от системы управления электроприводом и от конструкции самого лифта. Предварительно можно выбирать из диапазона $10-15 \text{ с}$, тем больше, чем больше грузоподъемность лифта и скорость движения кабины (например, для скорости 1.6 м/с и грузоподъемности 12 чел – 15 с , для $0,4 \text{ м/с}$ и 4 чел – 10 с .);

$t_{4n}+t_{5n} = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_n \cdot E$ – сумма времен входа и выхода пассажиров при подъеме соответственно;

$t_{4c}+t_{5c} = 2 \cdot \Delta t \cdot \gamma_c \cdot E$ – сумма времен входа и выхода пассажиров при спуске соответственно;

$\Delta t = 1.5-2 \text{ с}$ – время входа или выхода одного пассажира для ширины дверного приема менее 1000 мм .

2.6 Предварительный расчет нагрузочной диаграммы

При подъеме и спуске кабина лифта делает N_n и N_c попутных остановок. Для предварительного расчета нагрузочной диаграммы принимается следующий расчетный цикл:

а) на нижнем посадочном этаже в кабину входит E чел.;

б) постепенно на N_n остановках при движении вверх количество людей в кабине уменьшается до 0;

в) при движении вниз кабина постепенно заполняется людьми до номинальной грузоподъемности.

Пример расчетного цикла показан в главе 3.

Так как режим работы электропривода лифта является повторно-кратковременным с частными пусками и электрическим торможением, что эквивалентно частым реверсам (режим S5), то даже на предварительном этапе расчета требуемой мощности необходимо учитывать влияние переходных процессов.

Для каждого i -го этапа расчетного цикла необходимо рассчитать статические силы на канатопроводящем шкиве вначале $F_{ст.нач.i}$ и в конце участка $F_{ст.кон.i}$, а также при пуске и торможении $F_{пуск.i}$ и $F_{торм.i}$:

$$F_{ст.нач.i} = G_0 + m_1 \cdot \mathcal{U}_i \cdot g - G_{пр} + g \cdot (2 \cdot x_{нач.i} - H) \cdot N_{кан} \cdot q_{кан} + 0.5 \cdot g \cdot (H - x_{нач.i}) \cdot N_{каб} \cdot q_{каб} + F_{тр.i}, \quad (2.18)$$

$$F_{ст.кон.i} = G_0 + m_1 \cdot \mathcal{U}_i \cdot g - G_{пр} + g \cdot (2 \cdot x_{кон.i} - H) \cdot N_{кан} \cdot q_{кан} + 0.5 \cdot g \cdot (H - x_{кон.i}) \cdot N_{каб} \cdot q_{каб} + F_{тр.i}, \quad (2.19)$$

где $m_1 = \frac{m_n}{E}$ - средняя масса, приходящаяся на одного пассажира;

\mathcal{U}_i - количество человек в кабине на i -том участке;

$x_{нач.i}$, $x_{кон.i}$ - начальное и конечное положение кабины относительно верхнего этажа

$$x_{нач.i} = (N - \mathcal{E}_{нач.i}) \cdot h_1, \quad (2.20)$$

$$x_{кон.i} = (N - \mathcal{E}_{кон.i}) \cdot h_1, \quad (2.21)$$

$\mathcal{E}_{нач.i}$, $\mathcal{E}_{кон.i}$ - номер этажа в начале и в конце текущего участка;

$F_{тр.i}$ - усилие трения:

$$F_{тр.ш} = \pm \Delta F, \quad (2.22)$$

где знак «+» при подъеме кабины, а знак «-» при опускании.

Максимальный момент при пуске асинхронных двигателей для электропривода лифтов составляет в среднем 3 (см. приложение Б и рисунок 2.5б). В

режиме генераторного торможения максимальный тормозной момент также составляет в среднем 3. Поэтому предварительно можно принять усилие на канатопроводящем шкиве при пуске и торможении:

$$\begin{aligned} F_{\text{пуск}} &= \pm 3 \cdot F_{\text{срв.ут}} ; \\ F_{\text{торм}} &= \mp 3 \cdot F_{\text{срв.ут}} \end{aligned} \quad (2.23)$$

где знак «+» при пуске и «-» при торможении при движении кабины вверх;

знак «-» при пуске и «+» при торможении при движении кабины вниз.

Для составления нагрузочной диаграммы необходимо рассчитать времена пуска, торможения и установившегося движения.

Время разгона кабины:

$$t_{\text{пуск.}i} = \frac{m_{\Sigma.i} \cdot v_{\text{ном}}}{|F_{\text{пуск.}i} - F_{\text{ст.нач.}i}|} ; \quad (2.24)$$

$m_{\Sigma.i}$ - суммарная масса поступательно движущихся масс на i -м участке:

$$m_{\Sigma.i} = m_0 + m_{\text{пр}} + m_1 \cdot \psi_i + \frac{q_{\text{кан}} \cdot N_{\text{кан}}}{1000} (h_{\text{к1}} + h_{\text{пр1}}) + \frac{q_{\text{каб}} \cdot N_{\text{каб}}}{1000} \frac{H}{2} + J_{\text{ш}} \frac{4}{D_{\text{ш}}^2} . \quad (2.25)$$

Время торможения кабины:

$$t_{\text{торм.}i} = \frac{m_{\Sigma.i} \cdot v_{\text{ном}}}{|F_{\text{торм.}i} - F_{\text{ст.кон.}i}|} . \quad (2.26)$$

Путь, который проходит кабина, при пуске:

$$h_{\text{пуск.}i} = \frac{v_{\text{ном}} \cdot t_{\text{пуск.}i}}{2} . \quad (2.27)$$

Путь, который проходит кабина, при торможении:

$$h_{\text{торм.}i} = \frac{v_{\text{ном}} \cdot t_{\text{торм.}i}}{2} . \quad (2.28)$$

Путь, который проходит кабина в установившемся режиме при номинальной скорости:

$$h_{уст.i} = |\mathcal{E}_{кон.i} - \mathcal{E}_{нач.i}| \cdot h_1 - h_{пуск.i} - h_{торм.i}, \quad (2.29)$$

где $h_1 = \frac{H}{N-1}$ - высота одного этажа.

Время установившегося движения кабины:

$$t_{уст} = \frac{h_{уст}}{v_{ном}}. \quad (2.30)$$

Среднеквадратичное усилие на канатопроводящем шкиве за время расчетного цикла, состоящего из n этапов (ПВ=100%):

$$F_{скв100} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F^2 \cdot t)_i}{T_{эkv}}}, \quad (2.31)$$

где выражение $F^2 \cdot t$ для каждого i -го участка:

$$F^2 \cdot t_i = F_{пуск.i}^2 \cdot t_{пуск.i} + F_{торм.i}^2 \cdot t_{торм.i} + \frac{F_{ст.нач.i}^2 + F_{ст.нач.i} \cdot F_{ст.кон.i} + F_{ст.кон.i}^2}{3} \cdot t_{уст.i}. \quad (2.32)$$

$T_{эkv}$ – эквивалентное время цикла с учетом ухудшения теплоотдачи при изменении скорости вращения двигателя:

$$T_{эkv} = \sum_{i=1}^n (\beta_{ут.пуск} \cdot t_{пуск.i} + t_{уст.i} + \beta_{ут.торм} \cdot t_{торм.i}) + \beta_{ут.0} \cdot t_n, \quad (2.33)$$

где $\beta_{ут.пуск}$, $\beta_{ут.торм}$, $\beta_{ут.н}$ – коэффициент ухудшения теплоотдачи при пуске, торможении и неподвижном роторе. Для двигателя с самовентиляцией [3] предварительно $\beta_{ут.пуск} = \beta_{ут.торм} = 0.75$, $\beta_{ут.0} = 0.5$, с принудительной вентиляцией все β равны 1. Для скоростей движения кабины выше 1 м/с желательно выбирать двигатели с принудительной вентиляцией, с более низкой скоростью – с самовентиляцией;

t_n – время паузы (открывания и закрывания дверей, выхода и входа пассажиров). Рассчитывается исходя из времени кругового рейса пассажирского лифта:

$$t_n = T - t_{p.\Sigma} = T - \sum_{i=1}^n (t_{уст.i} + t_{пуск.i} + t_{торм.i}), \quad (2.34)$$

$t_{p.\Sigma}$ - суммарное время работы.

Пример нагрузочной диаграммы в режиме подъема кабины с номинальным грузом приведен на рисунке 2.3.

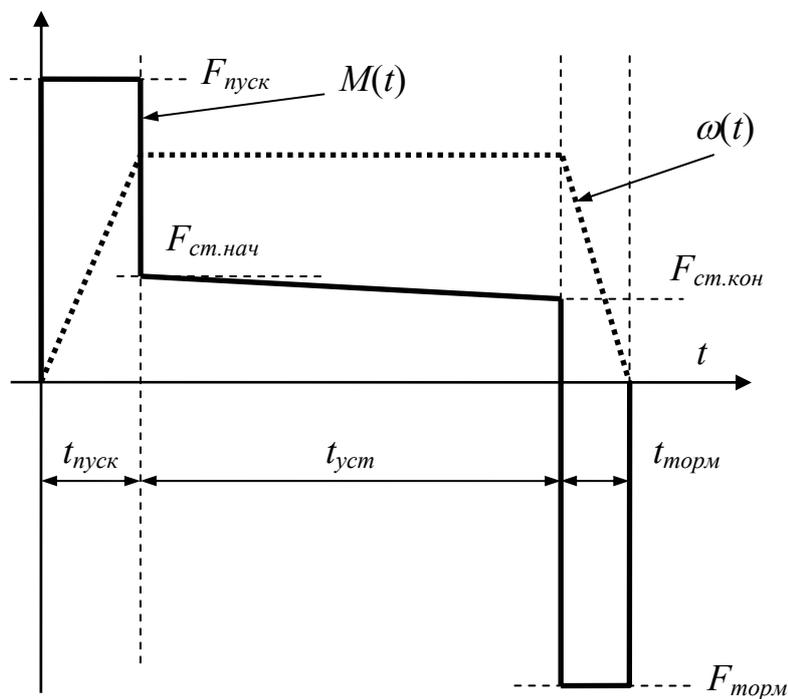


Рисунок 2.3 – Пример нагрузочной диаграммы

Для сокращения числа расчетов можно рассчитать нагрузочную диаграмму только для самого нагруженного режима (подъем с первого этажа полностью загруженной кабины) и самого легкого (подъем кабины с **половинной загрузкой** на участке в районе **середины** шахты лифта – в этом случае статическое усилие будет находиться около нуля). Пример упрощенного расчета приведен в главе 3.

Так как параметры двигателей в приложении Б приведены к $ПВ = 40-60\%$, необходимо пересчитать среднеквадратичное усилие к $ПВ_n = 60\%$:

$$F_{скв60} = F_{скв100} \sqrt{\frac{100}{60}}. \quad (2.35)$$

Требуемая мощность двигателя:

$$P_{дв.тр} = K_з \cdot F_{скв60} \cdot v_{ном}, \quad (2.36)$$

где $K_з=1,1 - 1,2$ – коэффициент запаса, учитывающий дополнительные потери в двигателе в переходных режимах. Большие значения $K_з$ соответствуют большим скоростям движения кабины.

Для нерегулируемых электроприводов промышленностью выпускаются специальные лифтовые двухскоростные асинхронные двигатели. Технические параметры некоторых приведены в приложении Б. Следует обратить внимание, что некоторые из двигателей могут комплектоваться принудительным охлаждением.

Для выбранного двигателя необходимо определить следующие значения 2.2.

Таблица 2.2 – Необходимые технические параметры двигателя

Параметр	Обозначение
Номинальная мощность	$P_{ном}$
Синхронная скорость большой скор.	$n_{01} (\omega_{01})$
Синхронная скорость малой скор.	$n_{02} (\omega_{02})$
Номинальная скорость большой скор.	$n_{н1} (\omega_{н1})$
Номинальная скорость малой скор.	$n_{н2} (\omega_{н2})$
Номинальный КПД	η_n
Номинальный	$\cos \varphi_n$
Номинальный ток на большой скорости	$I_{н1}$
Номинальный ток на малой скорости	$I_{н2}$

Продолжение таблицы 2.2

Параметр	Обозначение
Номинальный момент	M_n
Кратность пускового момента	$\lambda_{M,n}$
Пусковой момент	$M_{пуск}$
Кратность пускового тока	$\lambda_{I,n}$
Кратность максимального момента	$\lambda_{M,max}$
Максимальный момент	M_{max}
Кратность макс. торм. момента	$\lambda_{M,торм,max}$
Тормозной момент	$M_{торм}$
Момент инерции ротора	J_p
Предельный коэффициент инерции системы	$\gamma_{пред}$
Отношение потерь ХХ к потерям при нагрузке	K_0
Коэфф. уменьшения теплоотдачи при неподвижном роторе	β_0

2.7 Выбор передаточного числа редуктора

Так как рабочими режимами двигателя могут быть как двигательный, так и генераторный режимы, то требуемое передаточное число редуктора выбирается исходя из синхронной скорости вращения двигателя на большой скорости ω_{01} :

$$i_{p,mp} = \frac{\omega_{01}}{2 \cdot v_n} D_{ш} \cdot \quad (2.37)$$

Передаточное число редуктора i_p согласно ГОСТ 2185-66 [8] выбирается из ближайших чисел рядов в таблице 2.3. Ряд 1 является предпочтительным. Для получения передаточных чисел больших, чем в таблице 2.3, необходимо умножить значения численных рядов на 10, 100 и т.д.

Таблица 2.3

Ряд 1	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10
Ряд 2	1,12	1,4	1,8	2,24	2,8	3,55	4,5	5,6	7,1	9,0	11,2

2.8 Проверка двигателя на перегрузочную способность

Выбранный электродвигатель должен иметь пусковой момент, больший, чем максимальный статический момент механизма. По расчетам в п.2.6 или по уточненной диаграмме неуравновешенности выбирается максимальное статическое усилие $F_{ст.маx}$. Затем рассчитывается момент на валу двигателя:

$$M_{ст.маx} = \frac{F_{ст.маx} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_p}. \quad (2.38)$$

Пусковой момент двигателя должен быть больше чем максимальный статический с учетом возможного уменьшения напряжения на 10% (момент двигателя при этом уменьшается на 19%):

$$M_{ст.маx} < 0.81 \cdot M_{пуск}. \quad (2.39)$$

В противном случае необходимо увеличивать мощность установленного двигателя, или применять уравнивающий канат.

2.9 Проверка электропривода на максимально-допустимое ускорение

Для пассажирских лифтов максимальное допустимое ускорение при эксплуатации не должно превышать 2 м/с^2 . Следует проверить динамические режимы пуска и торможения при движении кабины с одним пассажиром.

Суммарная инерционная масса механизма вместе с моментами инерции двигателя и канатопроводящего шкива, приведенными к поступательному движению кабины, составит (согласно формуле (2.25) при $\psi=1$):

$$m_{\Sigma 1} = m_0 + m_{np} + m_1 \cdot \psi + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{np1}) + J_{ш} \frac{4}{D_{ш}^2} + J_p \cdot i_p^2 \cdot \frac{4}{D_{ш}^2}, \quad (2.40)$$

где m_1 – средняя масса, приходящаяся на одного пассажира.

Наиболее интенсивными будут динамические режимы, в которых момент на валу двигателя и статический момент будут разными по знаку. По диа-

грамме неуравновешенности при движении кабины с одним пассажиром статические усилия на канатоведущем шкиве будут отрицательными. Максимальное по модулю отрицательное усилие будет при верхнем положении кабины. В соответствии с (2.18) оно будет равно:

$$F_{cm1.в} = G_0 + m_1 \cdot g - G_{np} - g \cdot H \cdot N_{кан} \cdot q_{кан} + 0.5 \cdot g \cdot H \cdot N_{каб} \cdot q_{каб}. \quad (2.41)$$

Ускорение кабины при пуске **на подъем** с учетом силы трения ΔF :

$$a_{пуск1} = \frac{F_{дин1.пуск}}{m_{\Sigma 1}} = \frac{\frac{2 \cdot M_{макс} \cdot i_p}{D_{ш}} - (F_{cm1.в} + \Delta F)}{m_{\Sigma 1}}. \quad (2.42)$$

Ускорение кабины при торможении на скорость дотяжки v_0 **на спуске** с учетом силы трения:

$$a_{торм1} = \frac{F_{дин2.пуск}}{m_{\Sigma 1}} = \frac{\frac{2 \cdot M_{торм} \cdot i_p}{D_{ш}} - (F_{cm1.в} - \Delta F)}{m_{\Sigma 1}}. \quad (2.43)$$

Ускорение при торможении можно ограничить путем кратковременного ввода добавочного сопротивления в цепь статора [1]. Поэтому достаточно проверить допустимое ускорение при пуске. В случае, когда рассчитанное ускорение больше допустимого (2 м/с^2) необходимо рассчитать момент инерции дополнительного маховика на вал двигателя ($\mathcal{U}=1$):

$$J_{доп} = \frac{m'_{\Sigma 1} - \left(m_0 + m_{np} + m_1 \cdot \mathcal{U} + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{np1}) + J_{ш} \frac{4}{D_{ш}^2} \right)}{i_p^2 \cdot \frac{4}{D_{ш}^2}} - J_p, \quad (2.44)$$

где $m'_{\Sigma 1}$ - суммарная инерционная масса механизма, при которой ускорение кабины при пуске равно предельному:

$$m'_{\Sigma 1} = \frac{\frac{2 \cdot M_{макс} \cdot i_p}{D_{ш}} - (F_{cm1.в} + \Delta F)}{a_{дон}}. \quad (2.45)$$

В случае применения дополнительного маховика необходимо рассчитать коэффициент инерции электромеханической системы:

$$\gamma = \frac{m'_{\Sigma 1} \frac{D_{ш}^2}{4 \cdot i_p^2}}{J_p}, \quad (2.46)$$

и сравнить его с предельно допустимым для выбранного лифтового двигателя.

2.10 Проверка двигателя методом средних потерь

Согласно методу средних потерь средняя температура двигателя при работе по фактическому графику нагрузки не будет превышать допустимую в том случае, если средние потери за цикл работы с фактической мощностью $P_{нк.ф}$ при $PВ_{ф}$ не будут превышать потери мощности за тот же цикл с номинальной мощностью $P_{нк.н}$ при номинальной $PВ_{н}$. Следовательно, условие проверки двигателя:

$$\Delta P_{нк.н} \geq \Delta P_{нк.ф} \frac{PВ_{ф}}{PВ_{н}}. \quad (2.47)$$

Мощность суммарных номинальных потерь в двигателе определяется по паспортным данным:

$$\Delta P_{ном\Sigma} = P_{ном} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}. \quad (2.48)$$

Для расчета зависимости потерь двигателя при работе с нагрузкой, отличной от номинальной необходим график зависимости КПД от нагрузки, который может приводиться в паспортных данных. При его отсутствии потери можно оценить следующим образом.

Суммарные потери разделяются на постоянные и переменные. При этом постоянные потери равны:

$$\Delta P_c = K_0 \cdot \Delta P_{ном\Sigma}, \quad (2.49)$$

где K_0 – доля постоянных потерь в суммарных номинальных. Берется из паспортных данных, либо приблизительно $K_0 = 0.5$.

Так как переменные потери обусловлены протеканием токов по сопротивлениям двигателя и зависят от нагрузки, то их мощность можно оценить по формуле:

$$\Delta P_v = \Delta P_{ном\Sigma} \cdot (1 - K_0) \cdot \left(\frac{M}{M_H} \right)^2. \quad (2.50)$$

где M и M_H – текущий момент и номинальный на валу двигателя.

Тогда потери в двигателе за время установившегося режима $t_{уст}$:

$$\Delta A_{уст} = (\Delta P_c + \Delta P_v) \cdot t_{уст} = \left(\Delta P_c + \Delta P_{ном\Sigma} \cdot (1 - K_0) \cdot \left(\frac{M_{см.ср}}{M_H} \right)^2 \right) \cdot t_{уст}, \quad (2.51)$$

где $M_{см.ср}$ – средний за установившийся режим статический момент.

Суммарные потери в двигателе при пуске, согласно [3]:

$$\Delta A_{n\Sigma} = \frac{J_\Sigma \cdot \omega_{01}^2}{2} \cdot (s_{нач.n}^2 - s_{кон.n}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R'_2} \right) \cdot \frac{t_{пуск}}{t_{пуск0}} + \Delta P_c \cdot t_{пуск}, \quad (2.52)$$

где $\frac{t_{пуск}}{t_{пуск0}} = \frac{M_{дв.n}}{M_{дв.n} - M_{см.n}}$ – отношение времени пуска со статической

нагрузкой и на холостом ходу;

J_Σ – суммарный момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя:

$$J_\Sigma = J_{дон} + J_p + \frac{J_{ш}}{i_p^2} + \left[m_0 + m_{нр} + m_1 \cdot \zeta + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{нр1}) \right] \cdot \frac{D_{ш}^2}{4 \cdot i_p^2}; \quad (2.53)$$

$s_{нач.n} = 1$ – начальное скольжение при пуске двигателя;

$s_{кон.n} = 0$ – конечное скольжение при пуске двигателя;

R_1, R'_2 – активные сопротивления соответственно статорной и приведенной к статору роторной обмотки;

$M_{\text{дв.н}}$ – средний момент на валу двигателя при пуске («+» при пуске вверх, «-» при пуске вниз):

$$M_{\text{дв.н}} = \pm \frac{M_{\text{макс}} + M_{\text{пуск}}}{2}; \quad (2.54)$$

$M_{\text{макс}}$ – максимальный момент (критический) на валу двигателя;

$M_{\text{пуск}}$ – пусковой момент двигателя;

$M_{\text{ст.н}}$ – статический момент нагрузки:

$$M_{\text{ст.н}} = \frac{F_{\text{ст.нач}} \cdot D_{\text{ш}}}{2 \cdot i_p}; \quad (2.55)$$

$t_{\text{пуск}}$ – время пуска:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{01}}{|M_{\text{дв.н}} - M_{\text{ст.н}}|}. \quad (2.56)$$

Значения $F_{\text{ст.нач}}$ берутся из расчетов п.2.6.

В динамических режимах сопротивление R'_2 существенно увеличивается (около 2-х раз) за счет эффекта вытеснения тока ротора при скольжениях, больших, чем критическое. Поэтому можно принять $R'_2=2 \cdot R_1$, следовательно, соотношение:

$$\left(1 + \frac{R_1}{R'_2}\right) = 1,5.$$

Суммарные потери в двигателе при торможении до скорости дотяжки:

$$\Delta A_{m\Sigma} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{02}^2}{2} \cdot (s_{\text{нач.т}}^2 - s_{\text{кон.т}}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R'_2}\right) \cdot \frac{t_{\text{торм}}}{t_{\text{торм0}}} + \Delta P_c \cdot t_{\text{торм}}, \quad (2.57)$$

где $\frac{t_{\text{торм}}}{t_{\text{торм0}}} = \frac{M_{\text{дв.т}}}{M_{\text{дв.т}} - M_{\text{ст.т}}}$ - отношение времени торможения со статической нагрузкой и на холостом ходу;

$s_{нач.т}$ – начальное скольжение при торможении двигателя:

$$s_{нач.т} = \frac{\omega_{02} - \omega_{01}}{\omega_{02}}; \quad (2.58)$$

ω_{01} – синхронная скорость вращения на большой скорости;

ω_{02} – синхронная скорость вращения на малой скорости;

$s_{кон.т} = 0$ – конечное скольжение при торможении двигателя;

$M_{дв.т} = \pm M_{торм}$ - средний момент на валу двигателя в тормозном режиме («-» при торможении вверх, «+» при торможении вниз);

$M_{ст.т}$ – статический момент нагрузки на текущем участке при торможении:

$$M_{ст.т} = \frac{F_{ст.кон} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_p}; \quad (2.59)$$

$t_{торм}$ – время торможения:

$$t_{торм} = \frac{J_{\Sigma} \cdot (\omega_{01} - \omega_{02})}{|M_{дв.т} - M_{ст.т}|}. \quad (2.60)$$

Пути, пройденные кабиной при пуске и торможении, рассчитываются с учетом принятого передаточного числа редуктора:

$$h_{пуск} = \frac{\omega_{01} \cdot D_{ш} \cdot t_{пуск}}{4 \cdot i_p}; \quad (2.61)$$

$$h_{торм} = \frac{(\omega_{01} - \omega_{02}) \cdot D_{ш} \cdot t_{торм}}{4 \cdot i_p}. \quad (2.62)$$

Путь, который проходит кабина в установившемся режиме при номинальной скорости:

$$h_{уст} = |\mathcal{E}_{кон} - \mathcal{E}_{нач}| \cdot h_1 - h_{пуск} - h_{дом0}, \quad (2.63)$$

где $h_{дом0}$ – расстояние, на котором располагается датчик переключения на малую скорость. Принимается большим, чем максимальное рас-

стояние при торможении $h_{\text{торм.макс}}$ на всех участках расчетного цикла, рассчитанных по (2.65). **Предварительно можно принять $h_{\text{дом0}}=1$ м.**

Время установившегося движения кабины:

$$t_{\text{уст}} = \frac{h_{\text{уст}} \cdot 2 \cdot i_p}{\omega_{01} \cdot D_{\text{ш}}} \quad (2.64)$$

Время установившегося движения кабины со скоростью дотяжки рассчитывается исходя из пути при торможении $h_{\text{торм}}$ и расстояния $h_{\text{дом0}}$, которое проходит кабина в режиме дотяжки до необходимого этажа:

$$t_{\text{уст0}} = \frac{(h_{\text{дом0}} - h_{\text{торм}}) \cdot 2 \cdot i_p}{\omega_{02} \cdot D_{\text{ш}}} \quad (2.65)$$

Необходимо рассчитать отдельно потери за время установившегося режима на большой скорости $t_{\text{уст}}$ и на скорости дотяжки $t_{\text{уст0}}$ по формуле (2.51).

Расчет потерь на каждом участке цикла необходимо произвести по каждому расчетному этапу. Расчетные данные оформить в виде таблицы.

Далее необходимо уточнить время цикла, приняв суммарное время пауз, равным как для предварительного расчета (2.34).

По формуле, аналогичной (2.33), рассчитывается эквивалентное по теплоотдаче время цикла. При этом коэффициент β_0 принимается из паспортных данных, либо как в предварительном расчете мощности. В первом случае коэффициенты ухудшения теплоотдачи при пуске и торможении рассчитывается следующим образом:

$$\beta_{\text{пуск}} = \beta_{\text{торм}} = \frac{1 + \beta_0}{2} \quad (2.66)$$

Ухудшение теплоотдачи при работе на скорости дотяжки можно оценить по формуле:

$$\beta_2 = \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_{02}}{\omega_{01}} \quad (2.67)$$

В случае принудительной вентиляции все коэффициенты β равны 1.

Средние потери за цикл работы:

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Sigma \Delta A}{T_{ц.э.кв}}. \quad (2.68)$$

где $\Sigma \Delta A$ – сумма всех потерь на каждом i -м участке, включая потери в установившемся режиме движения с номинальной скоростью и со скоростью дотяжки, а также при пуске и торможении.

Средние потери рассчитаны для $ПВ_{\phi}=100\%$, поэтому их необходимо привести по формуле (2.47) к стандартной $ПВ_n$:

$$ПВ_n = ПВ_{n,1} + ПВ_{n,2}, \quad (2.69)$$

где $ПВ_{n,1}$ и $ПВ_{n,2}$ – номинальная продолжительность включения обмотки большой и малой скорости соответственно.

Если при расчете приведенные фактические средние потери будут больше номинальных необходимо:

1) выбрать более мощный двигатель. Однако в этом случае повышается дополнительный момент инерции $J_{дон}$ для ограничения допустимого ускорения. Следовательно, в этом случае потери при пуске и торможении могут существенно возрасти, что не решит проблему перегрева двигателя;

2) применить устройства плавного пуска с контролем скорости во время разгона и торможения. В этом случае исключается дополнительный момент инерции $J_{дон}$, что уменьшит потери при пуске и торможении. Следовательно последующая проверка по нагреву может показать отсутствие перегрева;

3) применить систему электропривода «управляемый преобразователь - двигатель», что существенно снизит потери при пуске и торможении [3].

2.11 Расчет и выбор тормозного устройства

Тормозное устройство состоит из тормозного шкива (барабана) и тормозных колодок. Пренебрегая потерями, рассчитывается необходимый тормозной момент при наибольшем неуравновешенном состоянии системы F_{max} :

$$M_{m.треб} = k_m \frac{|F_{max}| \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_p}, \quad (2.70)$$

где $k_m=1.65\dots 1.85$ - коэффициент запаса.

Максимальное усилие на канатоведущем шкиве выбирается по диаграмме неуравновешенности.

По полученному моменту выбирается колодочный тормоз из приложения В, чтобы тормозной момент M_m при ПВ=40% было бы больше требуемого.

2.12 Расчет точности остановки

Остановка подъемно-транспортных машин в общем случае может происходить двумя способами:

а) самый простой – при поступлении сигнала с датчика точной остановки ДТО двигатель отключается от напряжения питания и затормаживается механическим тормозом. При этом точность остановки будет зависеть от многих факторов (скорость движения, масса полезного груза, времени срабатывания узлов управления, жесткости механической характеристики электропривода и т.д.);

б) наиболее трудоемкий и дорогостоящий – полный контроль за положением кабины в шахте лифта с помощью датчиков положения и построение системы управления, замкнутой по положению. При этом точность остановки будет зависеть только от типа регулятора положения и его параметров.

В данных методических указаниях рассмотрен вопрос определения точности остановки по первому способу.

При срабатывании ДТО кабина не останавливается мгновенно. В общем случае остановка кабины осуществляется при некотором расстоянии S_0 от ДТО (см. рисунок 2.4). Длина S_0 будет зависеть от многих факторов (загрузки кабины, запаздывания системы управления и т.д.), которые могут в свою очередь изменяться (например, нагрузка кабины). Следовательно, меняться будет и путь, пройденный кабиной от S_{0min} до S_{0max} (ошибка ΔS на рисунке 2.4б,в,г).

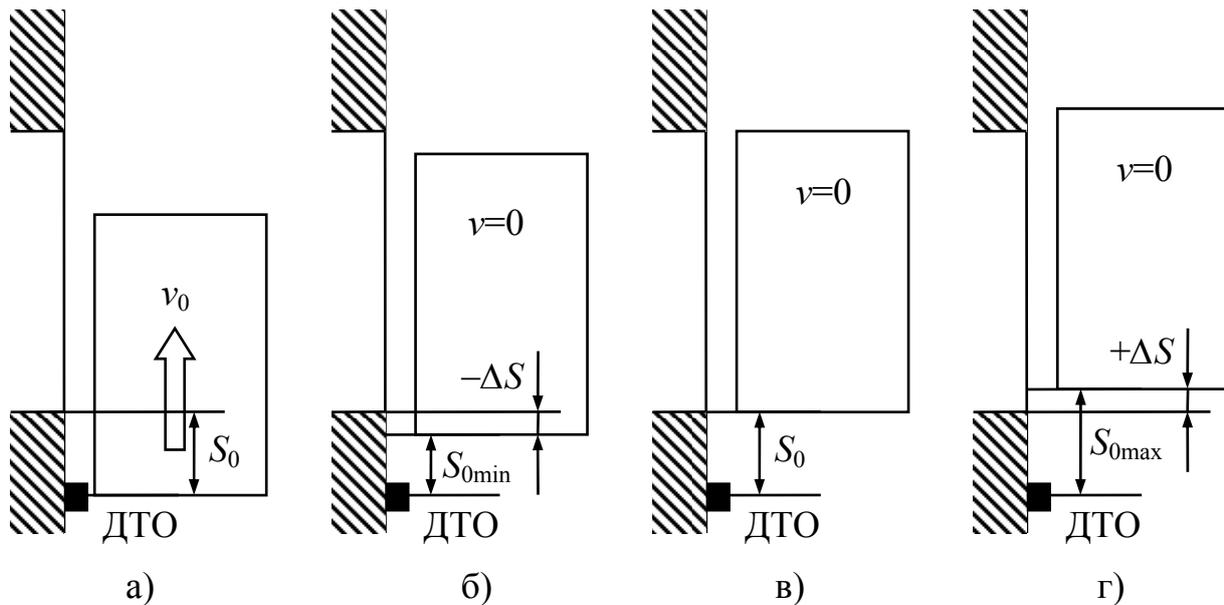


Рисунок 2.4 – Остановка кабины

Весь процесс остановки можно разделить на два этапа:

1) запаздывание срабатывания коммутационной аппаратуры t_a по отношению к срабатыванию ДТО. Таким образом, в это время лифт движется с той же скоростью v_0 (скорость дотяжки), с какой он подошел к ДТО. За это время лифт пройдет путь:

$$S'_0 = v_0 \cdot t_a; \quad (2.71)$$

2) при отключении двигателя и накладывания тормоза наступает второй этап. При этом запасенная кинетическая энергия расходуется на преодоление статических сопротивлений тормозного устройства F_m и нагрузки F_{cm} . При этом лифт проходит путь:

$$S''_0 = \frac{m_\Sigma \cdot v_0^2}{2 \cdot (F_m + F_{cm})}, \quad (2.72)$$

где

$$m_\Sigma = m_0 + \frac{m_n}{2} + m_{np} + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{np1}) + (J_p + J_{дон}) \frac{4 \cdot i_p^2}{D_{ш}^2} + J_{ш} \cdot \frac{4}{D_{ш}^2}; \quad (2.73)$$

- суммарная масса движущихся частей установки, приведенная к поступательному движению кабины лифта. Она состоит из посту-

пательно движущихся частей - кабины, **половины** груза, противовеса, каната и кабеля, момента инерции двигателя J_p , дополнительного маховика $J_{дон}$, и приведенного момента инерции шкива $J_{ш}$.

Среднее усилие механизма рассчитывается следующим образом:

$$F_{cp} = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}, \quad (2.74)$$

где F_{max} и F_{min} – максимальное и минимальное усилие на канатопроводящем шкиве, определяемые по диаграмме неуравновешенности.

Усилие F_m , развиваемое тормозным устройством, рассчитывается исходя из тормозного момента M_m :

$$F_m = \frac{2 \cdot i_p \cdot M_m}{D_{ш}}. \quad (2.75)$$

В общем случае пройденный путь не остается постоянным в процессе работы лифта, а будет зависеть от изменения входящих в него величин. Выражая абсолютные изменения средних величин v_0 , t_a , m_Σ , F_Σ , через Δv , Δt , Δm , ΔF , определяется абсолютное изменение пути ΔS движения (неточность остановки) кабины лифта при остановке:

$$\Delta S \approx S'_0 \cdot \left(\frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta t}{t_a} \right) + S''_0 \cdot \left(2 \frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta m}{m_\Sigma} + \frac{\Delta F}{F_m + F_{cp}} \right). \quad (2.76)$$

Для расчетов можно принять $\Delta t / t_a = 0.15$. Изменение массы движущихся частей будет равно половине номинальной загрузки $\Delta m = m_n / 2$. Согласно диаграмме неуравновешенности изменение статического усилия определяется:

$$\Delta F = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}. \quad (2.77)$$

Отклонение скорости под действием отклонения статического усилия можно рассчитать, линеаризовав рабочий участок механической характеристики на малой скорости:

$$\Delta v = \Delta F \cdot \frac{\omega_{c2} - \omega_{н2}}{M_n} \cdot \left(\frac{D_{ш}}{2 \cdot i_p} \right)^2. \quad (2.78)$$

Рассчитанная по (2.78) неточность остановки должна быть не более чем максимально допустимое значение по ГОСТ 22011-95 [9] для нерегулируемых приводов ± 35 мм. Для увеличения точности необходимо:

- 1) уменьшить скорость дотяжки v_0 , применив двигатель с большим диапазоном изменения числа пар полюсов;
- 2) установить уравнивающий канат, тем самым уменьшить изменение силы ΔF и увеличить суммарную массу поступательно движущихся частей m_{Σ} ;
- 3) уменьшить время и разброс времени срабатывания коммутационной аппаратуры, применив более быстродействующие реле или программируемый контроллер.

2.13 Выбор коммутирующей аппаратуры

Коммутирующая аппаратура, работающая в электроприводе пассажирского лифта, должна работать в категории применения АС-3 [10], что подразумевает включение пусковых токов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и отключение двигателя, работающего в номинальном режиме.

Контакты выбираются по номинальному току двигателя и ударному пусковому. Определяется пусковой ток двигателя:

$$I_{n1} = I_{н1} \cdot \lambda_{L.n}. \quad (2.79)$$

Ударный пусковой ток:

$$I_{y\delta.n1} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n1}. \quad (2.80)$$

По номинальному току двигателя выбирается контакторы по техническим каталогам производителей:

$$I_{ном.к} \geq I_{н.дв}, \quad (2.81)$$

где $I_{ном.к}$, $I_{н.дв}$ – номинальные токи контактора и двигателя соответственно.

Технические данные магнитных пускателей типа ПМЛ приведены в приложении Г.

Выбранные контакторы проверяются по максимальному коммутируемому току для категории применения АС-3 в нормальном режиме коммутации:

$$6 \cdot I_{ном.к} \geq I_{н1}, \quad (2.82)$$

и для режима редких коммутаций:

$$10 \cdot I_{ном.к} \geq I_{уд.н1}. \quad (2.83)$$

Номинальный ток автоматического выключателя выбирается большим чем максимальный статический ток двигателя при движении загруженной кабины. Из расчетов в п.2.9 выбирается максимальный статический момент $M_{max.ст}$ и оценивается ток двигателя. Соответственно номинальный ток выключателя:

$$I_{ном.в} \geq I_{н2} \cdot (M_{max.ст} / M_n). \quad (2.84)$$

Номинальная отсечка электромагнитного расцепителя:

$$I_{ном.о} \geq 1,2 \cdot I_{уд.н1}. \quad (2.85)$$

Для выбранного автоматического выключателя по времятоковой характеристике проверяется время срабатывания теплового расцепителя при протекании пускового тока двигателя $I_{н1}$, которое должно быть больше максимального времени пуска, рассчитанного в п.2.9.

2.14 Схема электрическая принципиальная электропривода пассажирского лифта

Пример схемы электрической принципиальной электропривода пассажирского лифта приведен на рисунке 2.5а. На рисунке 2.5б показан вид меха-

нических характеристик электропривода, построенных на основе типовых характеристик, приведенных в паспортных данных.

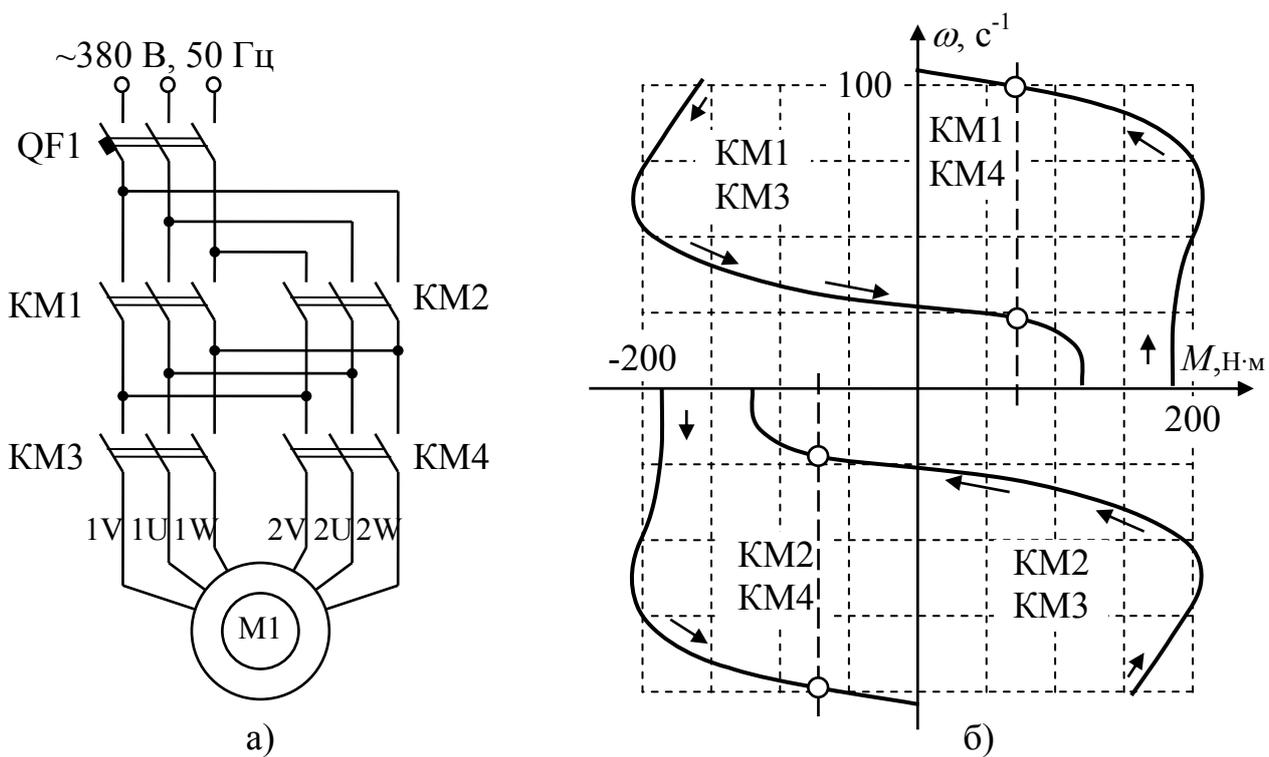


Рисунок 2.5 – Схема электрическая принципиальная включения двигателя (а) и механические характеристики электропривода (б)

3 Пример выполнения контрольной работы

3.1 Задание на проектирование

Грузоподъемность $m_n=500$ кг;

Вместимость $E=6$ человек;

Максимальная высота подъема $H=50$ м;

Количество этажей $N=17$;

Скорость подъема $v_{ном}=1,6$ м/с;

Количество несущих канатов $N_{кан}=5$ шт;

Количество подвесных кабелей $N_{каб}=1$ шт;

Масса кабины $m_0=800$ кг;

Масса 1000 м несущего каната $q_{кан}=550$ кг;

Масса 1000 м кабеля $q_{каб}=517$ кг;

Диаметр канатопроводящего шкива $D_{ш}=930$ мм;

Момент инерции шкива $J_{ш}=18$ кг·м²;

3.2 Построение кинематической схемы лифта

Кинематическая схема пассажирского лифта приведена на рисунке 3.1. На несущем канате 1 подвешены кабина 3 с собственной массой m_0 и противовес с собственной массой $m_{пр}$. К кабине также подвешена часть кабелей 2, осуществляющих подключение органов управления, находящихся в кабине, к системе управления лифтом. Канатопроводящий шкив 4 с диаметром $D_{ш}$ приводит в движение кабину и противовес. Отводной шкив 5 разводит кабину и противовес в шахте лифта.

Примем:

а) высота кабины $h_{каб}=2300$ мм;

б) высота оси вращения канатопроводящего шкива от пола верхнего этажа $h_d=4700$ мм.

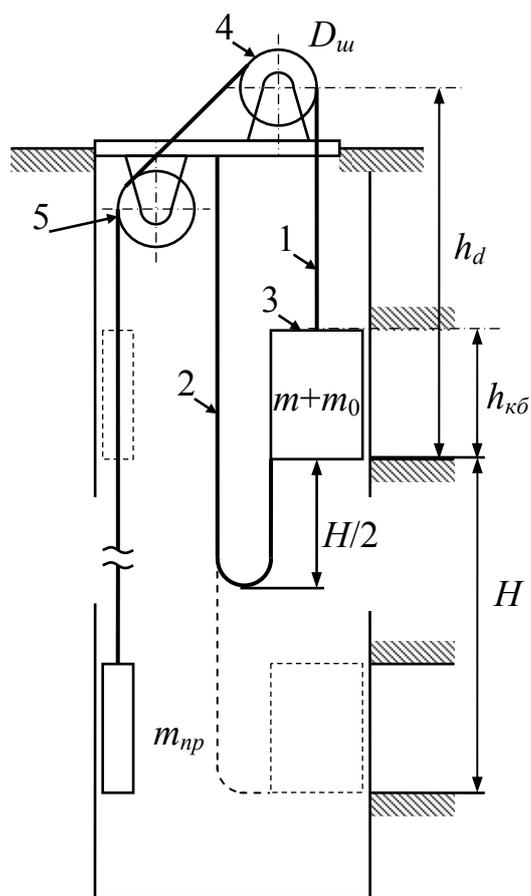


Рисунок 3.1 - Кинематическая схема пассажирского лифта

Длины несущих канатов и кабеля над кабиной и над противовесом при различных положениях кабины приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Длины подвесных канатов и кабелей

Параметр	Обозначение	Расположение кабины	
		Верхнее	Нижнее
Длина каната над кабиной	$h_{к}$, м	$h_{к1} = h_d - h_{кб}$, $h_{к1} = 4,7 - 2,3 =$ $= 2,4$ м	$h_{к2} = h_d - h_{кб} + H$, $h_{к2} = 4,7 - 2,3 + 50 =$ $= 52,4$ м
Длина каната над противовесом	h_{np} , м	$h_{np1} = h_d - h_{кб} + H$, $h_{np1} = 4,7 - 2,3 + 50 =$ $= 52,4$ м	$h_{np2} = h_d - h_{кб}$, $h_{np2} = 4,7 - 2,3 =$ $= 2,4$ м
Длина кабеля под кабиной	$h_{каб}$, м	$h_{каб1} = H / 2$, $h_{каб1} = 50 / 2 =$ $= 25$ м	$h_{каб2} = 0$ м

3.3 Построение диаграммы неуравновешенности

Диаграмма неуравновешенности представляет собой зависимость суммарного усилия на канатопроводящем шкиве от положения кабины в шахте лифта. В общем случае данное усилие будет состоять из весов кабины, противовеса, кабелей и несущих канатов. Вес кабелей и канатов будет изменяться в зависимости от положения кабины. Рассматриваемое усилие будет равно:

$$F=G_0+G_H-G_{np}+G_{кан.к}-G_{кан.пр}+G_{каб}, \quad (3.1)$$

где G_0 – вес кабины:

$$G_0=m_0 \cdot g, \quad (3.2)$$

где $g=9.81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

G_H – номинальный вес поднимаемого груза:

$$G_H=m_H \cdot g, \quad (3.3)$$

G_{np} – вес противовеса:

$$G_{np}=m_{np} \cdot g=(m_0+\alpha \cdot m_H) \cdot g, \quad (3.4)$$

где α – коэффициент уравнивания (предварительно примем $\alpha=0.5$);

$G_{кан.к}$ – вес каната, висящего над кабиной:

$$G_{кан.к}=g \cdot h_k \cdot N_{кан} \cdot q_{кан}, \quad (3.5)$$

где h_k – длина каната, висящего над кабиной;

$G_{кан.пр}$ – вес каната, висящего над противовесом:

$$G_{кан.пр}=g \cdot h_{np} \cdot N_{кан} \cdot q_{кан}, \quad (3.6)$$

где h_{np} – длина каната, висящего над противовесом;

$G_{каб}$ – вес кабеля, прикрепленного к кабине:

$$G_{каб}=g \cdot h_{каб} \cdot N_{каб} \cdot q_{каб}, \quad (3.7)$$

где $h_{каб}$ – длина части кабеля, которая висит под кабиной.

Для построения диаграммы неуравновешенности необходимо рассмотреть 4 случая:

1) номинальный груз, кабина находится вверху.

$$F_1 = G_0 + G_H - G_{np} + G_{кан.к.1} - G_{кан.пр.1} + G_{каб.1},$$

где $G_0 = 800 \cdot 9,81 = 7848$ Н;

$G_H = 500 \cdot 9,81 = 4905$ Н;

$G_{np} = (800 + 0,5 \cdot 500) \cdot 9,81 = 10301$ Н;

$G_{кан.к.1}(h_k = h_{к1}) = 9,81 \cdot 2,4 \cdot 5 \cdot 550 / 1000 = 65$ Н;

$G_{кан.пр.1}(h_{np} = h_{np1}) = 9,81 \cdot 52,4 \cdot 5 \cdot 550 / 1000 = 1414$ Н;

$G_{каб.1}(h_{каб} = h_{каб1}) = 9,81 \cdot 25 \cdot 1 \cdot 517 / 1000 = 127$ Н.

$$F_1 = 7848 + 4905 - 10301 + 65 - 1414 + 127 = 1230 \text{ Н},$$

2) номинальный груз, кабина находится внизу:

$$F_2 = G_0 + G_H - G_{np} + G_{кан.к.2} - G_{кан.пр.2} + G_{каб.2},$$

где $G_{кан.к.2}(h_k = h_{к2}) = 9,81 \cdot 52,4 \cdot 5 \cdot 550 / 1000 = 1414$ Н;

$G_{кан.пр.2}(h_{np} = h_{np2}) = 9,81 \cdot 2,4 \cdot 5 \cdot 550 / 1000 = 65$ Н;

$G_{каб.2}(h_{каб} = h_{каб2}) = 9,81 \cdot 0 \cdot 1 \cdot 517 / 1000 = 0$ Н;

$$F_2 = 7848 + 4905 - 10301 + 1414 - 65 + 0 = 3801 \text{ Н};$$

3) пустая кабина находится вверху:

$$F_3 = G_0 - G_{np} + G_{кан.к.1} - G_{кан.пр.1} + G_{каб.1},$$

$$F_3 = 7848 - 10301 + 65 - 1414 + 127 = -3675 \text{ Н};$$

4) пустая кабина находится внизу:

$$F_4 = G_0 + G_H - G_{np} + G_{кан.к.2} - G_{кан.пр.2} + G_{каб.2},$$

$$F_4 = 7848 - 10301 + 1414 - 65 + 0 = -1104 \text{ Н}.$$

Диаграмма неуровновешенности показана на рисунке 3.2. По оси x откладывается положение кабины в шахте лифта, отсчитываемое сверху. То есть в верхнем положении кабины $x=0$, а в нижнем $x=H$.

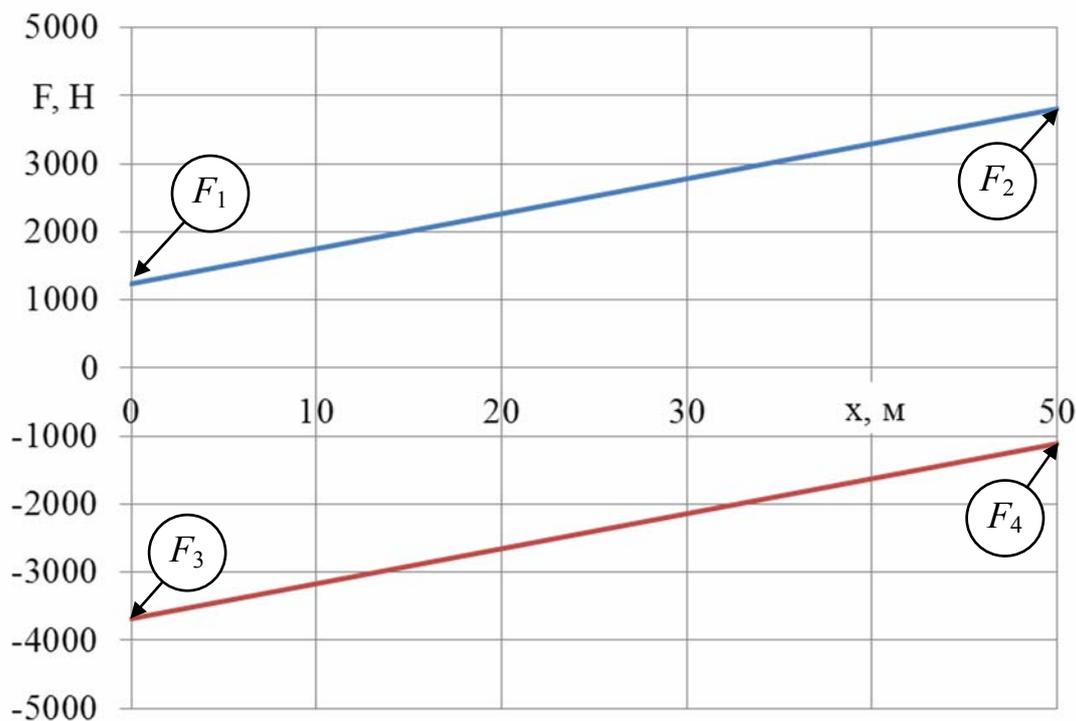


Рисунок 3.2 – Диаграмма неуровновешенности

По построенной диаграмме неуровновешенности рассчитывается средневзвешенная неуровновешенность:

$$F_{срв} = \frac{\frac{|F_2 + F_1|}{2} H + \frac{|F_4 + F_3|}{2} H}{2H}, \quad (3.8)$$

$$F_{срв} = \frac{\frac{|3801 + 1230|}{2} 50 + \frac{|-1104 - 3675|}{2} 50}{2 \cdot 50} = 2453 \text{ Н}.$$

По рассчитанным данным строится уточненная диаграмма неуровновешенности с учетом сил трения. Потери на трение составляют:

$$\Delta F = F_{срв} \cdot (1 - \eta), \quad (3.9)$$

где η - общий механический КПД:

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_{nn} \cdot (\eta_{p1})^3, \quad (3.10)$$

где η_k – КПД каната со шкивом ($\eta_k = 0,94$);

η_{nn} – КПД, учитывающий трение кабины и противовеса о направляющие ($\eta_{nn} = 0,87$);

η_{p1} – КПД одной цилиндрической пары трехступенчатого редуктора ($\eta_{p1} = 0,95$).

$$\eta = 0,94 \cdot 0,87 \cdot (0,95)^3 = 0,7;$$

$$\Delta F = 2453 \cdot (1 - 0,7) = 736 \text{ Н.}$$

С учетом механических потерь статические усилия на канатоведущем шкиве при движении кабины:

1) кабина с номинальным грузом при движении снизу вверх:

$$F_2' = F_2 + \Delta F = 3801 + 736 = 4537 \text{ Н;}$$

$$F_1' = F_1 + \Delta F = 1230 + 736 = 1966 \text{ Н;}$$

2) пустая кабина при движении сверху вниз:

$$F_3' = F_3 - \Delta F = -3675 - 736 = -4411 \text{ Н;}$$

$$F_4' = F_4 - \Delta F = -1104 - 736 = -1840 \text{ Н;}$$

3) кабина с номинальным грузом при движении сверху вниз:

$$F_2'' = F_2 - \Delta F = 3801 - 736 = 3065 \text{ Н;}$$

$$F_1'' = F_1 - \Delta F = 1230 - 736 = 494 \text{ Н;}$$

4) пустая кабина при движении снизу вверх:

$$F_3'' = F_3 + \Delta F = -3675 + 736 = -2939 \text{ Н;}$$

$$F_4'' = F_4 + \Delta F = -1104 + 736 = -368 \text{ Н.}$$

Уточненная диаграмма неуравновешенности приведена на рисунке 3.3.

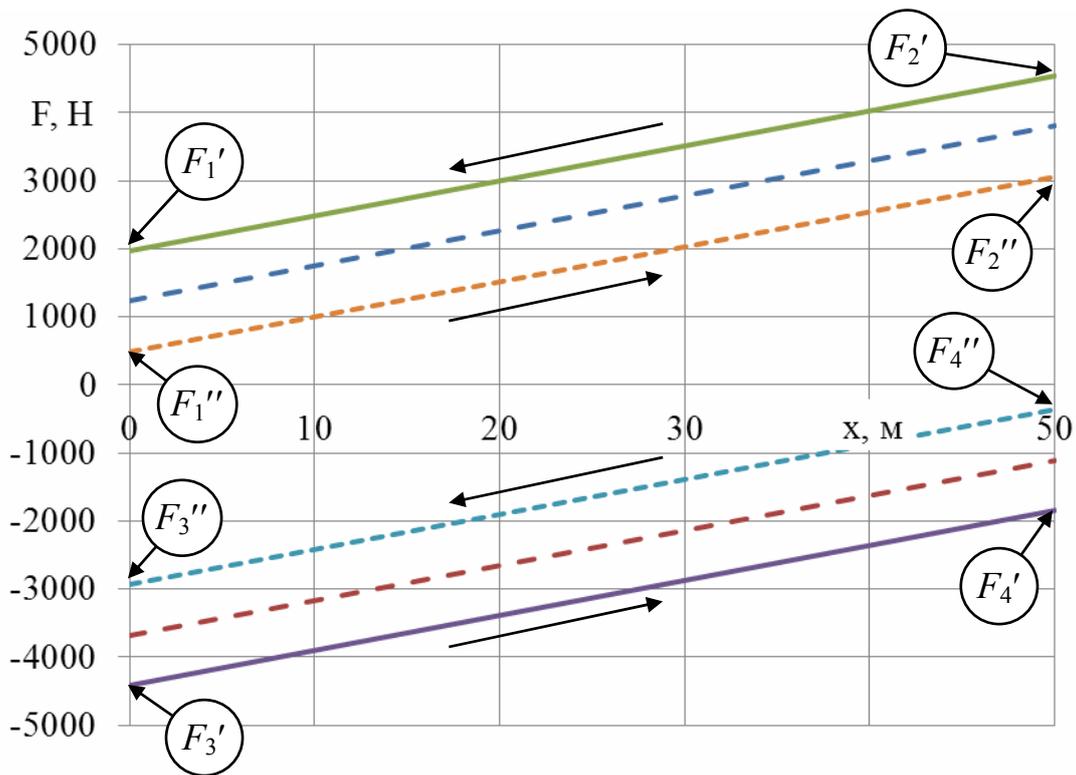


Рисунок 3.3 - Диаграмма неуравновешенности с учетом механических потерь

Уточненная средневзвешенная неуравновешенность для цикла, состоящего из подъема номинального груза и спуска пустой кабины:

$$F_{срв.ут} = \frac{\frac{|F_2' + F_1'|}{2} H + \frac{|F_4' + F_3'|}{2} H}{2H}, \quad (3.11)$$

$$F_{срв.ут} = \frac{\frac{|4537 + 1966|}{2} 50 + \frac{|-1840 - 4411|}{2} 50}{2 \cdot 50} = 3189 \text{ Н}.$$

3.4 Предварительный расчет мощности двигателя

Так как данный механизм предполагает частые пуски и торможения двигателем, то расчет эквивалентной мощности только по статическим усилиям может давать большие погрешности. Поэтому построим нагрузочную диаграмму работы лифта с учетом динамических сил.

3.4.1 Расчет времени кругового рейса лифта

Согласно ГОСТ 52941-2008 время кругового рейса пассажирского лифта при двухстороннем пассажиропотоке вычисляется по формуле:

$$T = \frac{2k_n H - h_p (N_n + N_c + 1)}{v_{ном}} + k_t [(t_1 + t_2 + t_3)(N_n + N_c + 1) + t_{4n} + t_{5n} + t_{4c} + t_{5c}], \quad (3.12)$$

где $k_t = 1.1$ – коэффициент неучтенного времени переходных режимов и пауз;

$k_n = 0.8$ – вероятностный коэффициент средней высоты подъема;

h_p – высота, пройденная кабиной за время разгона (торможения):

$$h_p = \frac{(v_{ном} - v'_0)^2}{2a_{max}} + \frac{a_{max} v_{ном}}{2\rho} + \frac{v_n^2}{2a_{max}}, \quad (3.13)$$

$v'_0 = 0,25 \cdot 1,6 = 0,4$ м/с – скорость подхода кабины к этажу (предварительно выбранная);

a_{max} – максимальное допустимое ускорение кабины (в зависимости от скорости движения кабины). Принимаем $a_{max} = 2$ м/с²;

ρ – рывок. Принимаем $\rho = 5$ м/с³;

$$h_p = \frac{(1.6 - 0.4)^2}{2 \cdot 2} + \frac{2 \cdot 1.6}{2 \cdot 5} + \frac{1.6^2}{2 \cdot 2} = 1,32 \text{ м},$$

N_n, N_c – вероятные количества остановок при подъеме и спуске кабины:

$$N_n = N - N \left(\frac{N-1}{N} \right)^{\gamma_n E}, \quad N_c = N - N \left(\frac{N-1}{N} \right)^{\gamma_c E}; \quad (3.14)$$

$\gamma_n = 0.8, \gamma_c = 0.4$ – вероятные коэффициенты заполнения кабины при подъеме и при спуске;

$$N_n = 17 - 17 \left(\frac{17-1}{17} \right)^{0.8 \cdot 6} = 4, \quad N_c = 17 - 17 \left(\frac{17-1}{17} \right)^{0.4 \cdot 6} = 2;$$

$t_1+t_2+t_3$ – сумма времен ускорения, замедления, открывания и закрывания дверей соответственно. Принимаем $t_1+t_2+t_3=14$ с;

$t_{4n}+t_{5n}=2\Delta t \cdot \gamma_n \cdot E$ – сумма времен входа и выхода пассажиров при подъеме соответственно;

$$t_{4n}+t_{5n}=2 \cdot 2 \cdot 0.8 \cdot 6=19.2 \text{ с.}$$

$t_{4c}+t_{5c}=2\Delta t \cdot \gamma_c \cdot E$ – сумма времен входа и выхода пассажиров при спуске соответственно;

$$t_{4c}+t_{5c}=2 \cdot 2 \cdot 0.4 \cdot 6=9.6 \text{ с.}$$

Δt – время входа или выхода одного пассажира. Принимаем $\Delta t=2$ с.

$$T = \frac{2 \cdot 0.8 \cdot 50 - 1.32 \cdot (4 + 2 + 1)}{1.6} + 1.1 \cdot [14 \cdot (4 + 2 + 1) + 19.2 + 9.6] = 183.7 \text{ с.}$$

3.4.2 Расчет нагрузочной диаграммы

Согласно расчету при подъеме кабина лифта делает $N_n=4$ попутных остановки, а при спуске $N_c=2$ остановки. Примем, что в начале расчетного цикла загрузка кабины была максимальна ($E=6$ чел.), а выход и заход пассажиров распределен примерно равномерно. Тогда расчетный цикл будет состоять из 6 этапов, приведенных в таблице 3.2. Схематичное изображение расчетного цикла приведено на рисунке 3.4.

Рассчитаем усилие на канатопроводящем шкиве на 1-м этапе, как наиболее нагруженном, и на 3-м, как наименее нагруженном (кабина ближе к центру шахты лифта и количество пассажиров близко к половине вместимости, соответственно усилие на канатопроводящем шкиве будет минимальным).

Расчет приведен в таблице 3.3.

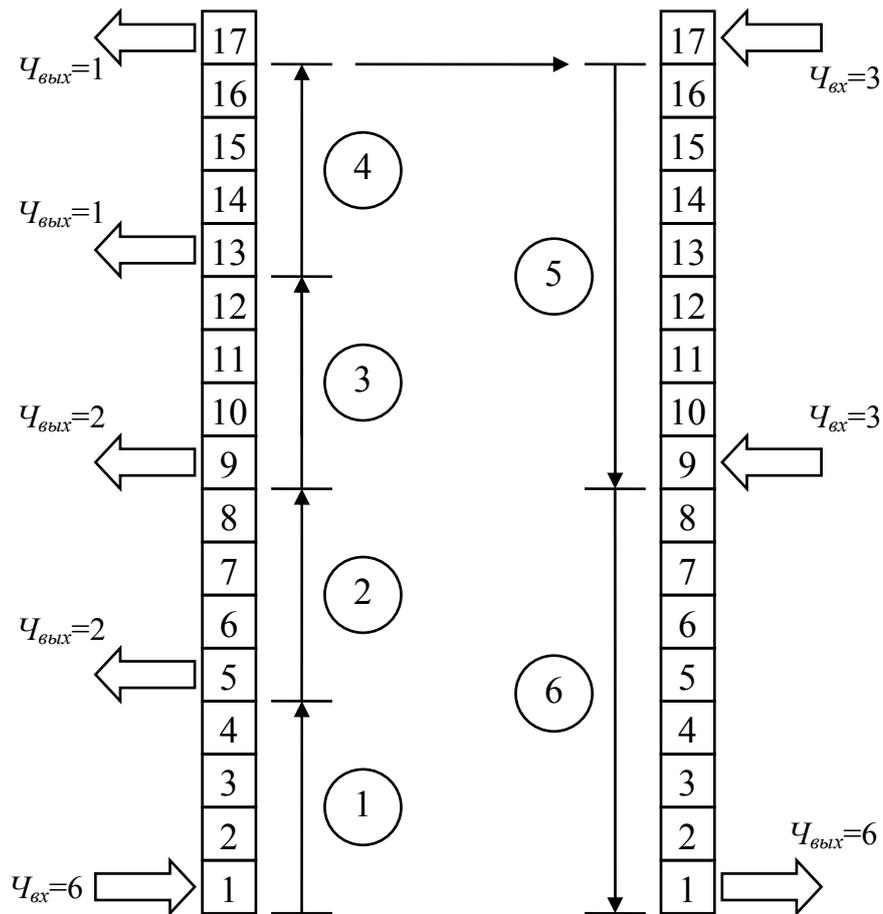


Рисунок 3.4 – Расчетный цикл

Таблица 3.2 – Расчетный цикл

	Ед.изм.	Этапы					
		1	2	3	4	5	6
		Вверх	Вверх	Вверх	Вверх	Вниз	Вниз
$\mathcal{E}_{нач}$	-	1	5	9	13	17	9
$\mathcal{E}_{кон}$	-	5	9	13	17	9	1
$\mathcal{C}_{вх}$	чел	6				3	3
$\mathcal{C}_{вых}$	чел		2	2	1	1	
\mathcal{C}	чел	6	4	2	1	3	6

В таблице 3.2 приведено:

$\mathcal{E}_{нач}$ – начальный этаж;

$\mathcal{E}_{кон}$ – конечный этаж;

$\mathcal{C}_{вх}$ – количество входящих людей;

$\mathcal{C}_{вых}$ – количество выходящих людей;

\mathcal{C} – количество людей в лифте;

Таблица 3.3

	Ед.изм.	Этапы	
		1	3
		Вверх	Вверх
$\mathcal{E}_{нач}$	-	1	9
$\mathcal{E}_{кон}$	-	5	13
$Ч$	чел	6	2
$x_{нач}$	м	50	25
$x_{кон}$	м	37,5	12,5
$F_{пуск}$	Н	9567	9567
$F_{торм}$	Н	-9567	-9567
$F_{тр}$	Н	736	736
$F_{ст.нач}$	Н	4535	-19
$F_{ст.кон}$	Н	3892	-662
m_{Σ}	кг	2596,6	2263,4
$t_{пуск}$	с	0,83	0,38
$t_{торм}$	с	0,31	0,41
$h_{пуск}$	м	0,66	0,30
$h_{торм}$	м	0,25	0,33
$h_{уст}$	м	11,59	11,87
$t_{уст}$	с	7,24	7,42
$F^2 \cdot t$	Н ² с	$2,33 \cdot 10^8$	$7,34 \cdot 10^7$

В таблице 3.3 приведено:

$x_{нач}$ – начальное положение кабины относительно последнего этажа:

$$x_{нач} = (N - \mathcal{E}_{нач}) \cdot h_1, \quad (3.15)$$

$x_{кон}$ – конечное положение кабины относительно последнего этажа:

$$x_{кон} = (N - \mathcal{E}_{кон}) \cdot h_1, \quad (3.16)$$

$F_{пуск}, F_{торм}$ – усилия на канатоповодящем шкиве при пуске и торможении.

Так как в качестве электропривода для пассажирского лифта будет использоваться двухскоростной двигатель, у которого кратности максимального и тормозного момента примерно равны 3-м (рисунок 3.5б), то принимаем $F_{пуск}, F_{торм}$ равными по величине и противоположными по знаку, причем на подъеме усилие $F_{пуск}$ положительное, а при спуске отрицательное:

$$\begin{aligned} F_{пуск} &= \pm 3 \cdot F_{срв.ут} \\ F_{торм} &= \mp 3 \cdot F_{срв.ут} \end{aligned} \quad (3.17)$$

$F_{тр}$ – усилие трения:

$$F_{тр} = \pm \Delta F, \quad (3.18)$$

где знак «+» при подъеме кабины, а знак «-» при опускании;

$F_{ст.нач}$ – статическое усилие на канатоведущем шкиве в начальном положении кабины (согласно формуле (3.1)):

$$F_{ст.нач} = G_0 + m_1 \cdot \Psi \cdot g - G_{пр} + g \cdot (2 \cdot x_{нач} - H) \cdot N_{кан} \cdot q_{кан} + 0.5 \cdot g \cdot (H - x_{нач}) \cdot N_{каб} \cdot q_{каб} + F_{тр}; \quad (3.19)$$

$F_{ст.кон}$ – статическое усилие на канатоведущем шкиве в конечном положении кабины:

$$F_{ст.кон} = G_0 + m_1 \cdot \Psi \cdot g - G_{пр} + g \cdot (2 \cdot x_{кон} - H) \cdot N_{кан} \cdot q_{кан} + 0.5 \cdot g \cdot (H - x_{кон}) \cdot N_{каб} \cdot q_{каб} + F_{тр}; \quad (3.20)$$

m_{Σ} - суммарная масса поступательно движущихся масс:

$$m_{\Sigma} = m_0 + m_{пр} + m_1 \cdot \Psi + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{пр1}) + \frac{q_{каб} \cdot N_{каб}}{1000} \frac{H}{2} + J_{ш} \frac{4}{D_{ш}^2}, \quad (3.21)$$

где $m_1 = \frac{m_H}{E}$ - средняя масса, приходящаяся на одного пассажира;

$t_{пуск}$ – время разгона кабины:

$$t_{пуск} = \frac{m_{\Sigma} \cdot v_{ном}}{|F_{пуск} - F_{ст.нач}|}; \quad (3.22)$$

$t_{торм}$ – время торможения кабины:

$$t_{торм} = \frac{m_{\Sigma} \cdot v_{ном}}{|F_{торм} - F_{ст.кон}|}; \quad (3.23)$$

$h_{пуск}$ – путь, который проходит кабина, при пуске:

$$h_{пуск} = \frac{v_{ном} \cdot t_{пуск}}{2}; \quad (3.24)$$

$h_{торм}$ – путь, который проходит кабина, при торможении:

$$h_{\text{торм}} = \frac{v_{\text{ном}} \cdot t_{\text{торм}}}{2}; \quad (3.25)$$

$h_{\text{уст}}$ – путь, который проходит кабина в установившемся режиме при номинальной скорости:

$$h_{\text{уст}} = |\mathcal{E}_{\text{кон}} - \mathcal{E}_{\text{нач}}| \cdot h_1 - h_{\text{пуск}} - h_{\text{торм}}, \quad (3.26)$$

где $h_1 = \frac{H}{N-1}$ – высота одного этажа;

$t_{\text{уст}}$ – время установившегося движения кабины:

$$t_{\text{уст}} = \frac{h_{\text{уст}}}{v_{\text{ном}}}. \quad (3.27)$$

Сумма произведений квадратов усилий на время (для расчета эквивалентного усилия на канатопроводящем шкиве), с учетом линейного изменения статического усилия при установившемся движении кабины:

$$F^2 \cdot t = F_{\text{пуск}}^2 \cdot t_{\text{пуск}} + F_{\text{торм}}^2 \cdot t_{\text{торм}} + \frac{F_{\text{ст.нач}}^2 + F_{\text{ст.нач}} \cdot F_{\text{ст.кон}} + F_{\text{ст.кон}}^2}{3} \cdot t_{\text{уст}}. \quad (3.28)$$

Пример расчета для 1-го этапа:

$$\mathcal{E}_{\text{нач.1}}=1; \mathcal{E}_{\text{кон.1}}=5; \mathcal{C}_{\text{вх.1}}=6; \mathcal{C}_{\text{вых.1}}=0; \mathcal{C}=6;$$

$$x_{\text{нач.1}} = (17 - 1) \cdot 3.125 = 50 \text{ м};$$

$$x_{\text{кон.1}} = (17 - 5) \cdot 3.125 = 37,5 \text{ м};$$

$$F_{\text{пуск.1}} = +3 \cdot 3189 = 9567 \text{ Н};$$

$$F_{\text{торм.1}} = -3 \cdot 3189 = -9567 \text{ Н};$$

$$F_{\text{тр.1}} = 736 \text{ Н};$$

$$F_{\text{ст.нач.1}} = 7848 + 83.3 \cdot 6 \cdot 9.81 - 10301 + 9.81 \cdot (2 \cdot 50 - 50) \cdot 5 \cdot 550 / 1000 +$$

$$+0.5 \cdot 9.81 \cdot (50 - 50) \cdot 1 \cdot 517 / 1000 + 736 = 4535 \text{ Н};$$

$$F_{\text{ст.конт.1}} = 7848 + 83.3 \cdot 6 \cdot 9.81 - 10301 + 9.81 \cdot (2 \cdot 40,625 - 50) \cdot 5 \cdot 550 / 1000 +$$

$$+0.5 \cdot 9.81 \cdot (50 - 40.625) \cdot 1 \cdot 517 / 1000 + 736 = 3892 \text{ Н};$$

$$m_1 = \frac{500}{6} = 83.3 \text{ кг};$$

$$m_{\Sigma,1} = 800 + 1050 + 83.3 \cdot 6 + \frac{550 \cdot 5}{1000} (2.4 + 52.4) + \frac{517 \cdot 1}{1000} \cdot \frac{50}{2} + 18 \frac{4}{0.93^2} = 2596.6 \text{ кг};$$

$$t_{\text{нук.1}} = \frac{2596.6 \cdot 1.6}{|9567 - 4535|} = 0.83 \text{ с};$$

$$t_{\text{торм.1}} = \frac{2596.6 \cdot 1.6}{|-9567 - 4053|} = 0.31 \text{ с};$$

$$h_{\text{нук.1}} = \frac{1,6 \cdot 0,83}{2} = 0,66 \text{ м};$$

$$h_{\text{торм.1}} = \frac{1,6 \cdot 0,31}{2} = 0,25 \text{ м};$$

$$h_{\text{узм.1}} = |5 - 1| \cdot 3.125 - 0,66 - 0,25 = 11,59 \text{ м},$$

$$t_{\text{узм.1}} = \frac{11,59}{1,6} = 7,24 \text{ с};$$

$$\begin{aligned} (F^2 \cdot t)_1 &= 9567^2 \cdot 0,83 + (-9567)^2 \cdot 0,31 + \frac{4535^2 + 4535 \cdot 3892 + 3892^2}{3} \cdot 7,24 = \\ &= 2.33 \cdot 10^8 \text{ Н}^2 \text{ с}. \end{aligned}$$

Среднее значение выражения $F^2 \cdot t$ на основании расчетных данных 1-го и 3-го этапов составляет:

$$(F^2 \cdot t)_{\text{ср}} = \frac{(F^2 \cdot t)_1 + (F^2 \cdot t)_3}{2}, \quad (3.29)$$

$$(F^2 \cdot t)_{cp} = \frac{2,33 \cdot 10^8 + 7,334 \cdot 10^7}{2} = 1,53 \cdot 10^8.$$

Эквивалентное (среднеквадратичное) усилие на канатоведущем шкиве на всем цикле, состоящем из 6-ти этапов (приведенное к $ПВ=100\%$):

$$F_{ск6100} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (F^2 \cdot t)_i}{T_{экв}}} \approx \sqrt{\frac{6 \cdot (F^2 \cdot t)_{cp}}{T_{экв}}}, \quad (3.30)$$

где $T_{экв}$ – эквивалентное время цикла с учетом ухудшения теплоотдачи при изменении скорости вращения двигателя:

$$T_{экв} = \beta_{ут.пуск} \cdot (t_{пуск} + t_{торм}) + t_{уст} + \beta_{ут.0} \cdot t_n, \quad (3.31)$$

где $\beta_{ут.пуск}$, $\beta_{ут.торм}$, $\beta_{ут.n}$ – коэффициенты ухудшения теплоотдачи при пуске, торможении и неподвижном роторе. Предварительно примем двигатель с принудительной вентиляцией ($\beta_{ут.пуск} = \beta_{ут.торм} = \beta_{ут.n} = 1$); $t_{пуск} + t_{торм}$ – суммарное время пуска и торможения. Из (3.12) получаем:

$$t_{пуск} + t_{торм} = \frac{h_p (N_n + N_c + 1)}{v_{ном}}, \quad (3.32)$$

t_n – время паузы (открывания и закрывания дверей, выхода и входа пассажиров). Из (3.12) получаем:

$$t_n = k_t [(t_1 + t_2 + t_3)(N_n + N_c + 1) + t_{4n} + t_{5n} + t_{4c} + t_{5c}], \quad (3.33)$$

$t_{уст}$ – время установившегося движения кабины лифта:

$$t_{уст} = T - (t_{пуск} + t_{торм}) - t_n, \quad (3.34)$$

Подставляя значения имеем:

$$t_{пуск} + t_{торм} = \frac{1,32 \cdot (4 + 2 + 1)}{1,6} = 5,8 \text{ с},$$

$$t_n = 1.1 \cdot [14 \cdot (4 + 2 + 1) + 19.2 + 9.6] = 139,5 \text{ с},$$

$$t_{yctm} = 183,7 - 5,8 - 139,5 = 38,4 \text{ с}.$$

$$T_{экв} = 1 \cdot 5,8 + 1 \cdot 38,4 + 38,4 = 183,7 \text{ с}.$$

$$F_{скв100} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1,53 \cdot 10^8}{183,7}} = 2235 \text{ Н}.$$

Так как параметры двигателей в приложении Б приведены к $PB=40-60\%$, пересчитаем среднеквадратичное усилие к $PB_n=60\%$:

$$F_{скв60} = F_{скв100} \sqrt{\frac{100}{60}} = 2885 \text{ Н}.$$

Требуемая мощность двигателя:

$$P_{дв.тр} = K_з \cdot F_{скв60} \cdot v_{ном}, \quad (3.35)$$

где $K_з$ – коэффициент запаса, учитывающий дополнительные потери в двигателе в переходных режимах. Примем $K_з=1.2$.

$$P_{дв.тр} = 1,2 \cdot 2885 \cdot 1,6 = 5539 \text{ Вт}.$$

Из приложения Б выбираем двигатель 5АФ200МА6/24 с принудительной вентиляцией, технические характеристики которого приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Технические характеристики двигателя 5АФ200МА6/24

Параметр	Ед. изм.	Значение
Номинальная мощность, $P_{ном}$	кВт	6,5
Синхронная скорость большой скор., n_{01}	об/мин	1000
Синхронная скорость малой скор., n_{02}	об/мин	250
Номинальная скорость большой скор., $n_{н1}$	об/мин	940
Номинальная скорость малой скор., $n_{н2}$	об/мин	220
Номинальный КПД, η_n	%	83,5
Номинальный $\cos \varphi_n$		0,78

Продолжение таблицы 3.4

Параметр	Ед. изм.	Значение
Номинальный ток на большой скорости, I_{H1}	А	15,1
Номинальный ток на малой скорости, I_{H2}	А	21
Номинальный момент, M_H	Н·м	66
Кратность пускового момента, $\lambda_{M.n}$		2,7
Кратность пускового тока, $\lambda_{I.n}$		6
Кратность максимального момента, $\lambda_{M.max}$		3,1
Кратность макс. торм. момента, $\lambda_{M.торм.max}$		3,1
Момент инерции ротора, J_p	кг·м ²	0,55
Предельный коэффициент инерции системы, $\gamma_{пред}$		4
Отношение потерь ХХ к потерям при нагрузке, K_0		0,23
Кoeff. уменьшения теплоотдачи, β_0		1

Расчетные параметры двигателя, согласно данным по таблице 3.4, представлены в таблице 3.5, где:

$$\omega_{01} = n_{01} \cdot \frac{\pi}{30}; \quad \omega_{02} = n_{02} \cdot \frac{\pi}{30}; \quad \omega_{H1} = n_{H1} \cdot \frac{\pi}{30}; \quad \omega_{H2} = n_{H2} \cdot \frac{\pi}{30}; \quad (3.36)$$

$$M_{пуск} = \lambda_{M.n} \cdot M_H; \quad M_{макс} = \lambda_{M.max} \cdot M_H; \quad M_{торм} = \lambda_{M.торм.max} \cdot M_H \cdot (3.37)$$

Таблица 3.5

Параметр	Ед. изм.	Значение
Синхронная скорость большой скор., ω_{01}	об/мин	104,7
Синхронная скорость малой скор., ω_{02}	об/мин	26,2
Номинальная скорость большой скор., ω_{H1}	об/мин	98,4
Номинальная скорость малой скор., ω_{H2}	об/мин	23,0
Пусковой момент, $M_{пуск}$	Н·м	178,2
Максимальный момент, $M_{макс}$	Н·м	204,6
Максимальный тормозной момент, $M_{торм}$	Н·м	204,6

3.5 Выбор редуктора

Так как рабочими режимами двигателя могут быть как двигательный, так и генераторный режимы, то необходимое передаточное число редуктора выбирается, исходя из синхронной скорости вращения двигателя на большой скорости:

$$i_p = \frac{\omega_{01}}{2 \cdot v_n} D_{ш}; \quad (3.38)$$

$$i_p = \frac{104,7}{2 \cdot 1,6} \cdot 0,93 = 30,4.$$

Выбираем из стандартного ряда $i_p=31,5$.

3.6 Проверка электродвигателя на перегрузочную способность

Выбранный электродвигатель должен иметь пусковой момент, больший, чем максимальный статический момент механизма. По таблице 3.3 максимальный статическое усилие равно $F_{ст.макс}=4535$ Н·м.

При этом максимальный статический момент на валу двигателя:

$$M_{ст.макс} = \frac{F_{ст.макс} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_p}. \quad (3.39)$$

$$M_{ст.макс} = \frac{4535 \cdot 0,93}{2 \cdot 31,5} = 67 \text{ Н·м.}$$

Выбранный двигатель проходит проверку по перегрузочной способности с учетом падения напряжения на 10%, так как $M_{ст.макс} < 0,81 \cdot M_{пуск} = 0,81 \cdot 178 = 144$ Н·м.

3.7 Проверка электропривода на максимально-допустимое ускорение

Рассмотрим динамические режимы пуска и торможения при движении кабины с одним пассажиром. Тогда суммарная инерционная масса механизма вместе с моментом инерции двигателя, приведенным к поступательному движению кабины, составит (согласно формуле (3.21)):

$$m_{\Sigma 1} = m_0 + m_{np} + m_1 + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{np1}) + J_{ш} \frac{4}{D_{ш}^2} + J_p \cdot i_p^2 \cdot \frac{4}{D_{ш}^2}; \quad (3.40)$$

$$m_{\Sigma 1} = 800 + 1050 + 83.3 + \frac{550 \cdot 5}{1000} (2.4 + 52.4) + 18 \frac{4}{0.93^2} + 0.55 \cdot 31.5^2 \frac{4}{0.93^2} = 4691,2 \text{ кг}.$$

Наиболее интенсивными будут динамические режимы, в которых момент на валу двигателя и статический момент будут разными по знаку. По диаграмме неуравновешенности (рисунок 3.3) в случае одного пассажира статические усилия на канатоведущем шкиве будут отрицательными. Максимальное по модулю отрицательное усилие будет при верхнем положении кабины. Соответственно, согласно формуле (3.19):

$$F_{cm1.в} = G_0 + m_1 \cdot g - G_{np} - g \cdot (H) \cdot N_{кан} \cdot q_{кан} + 0.5 \cdot g \cdot (H) \cdot N_{каб} \cdot q_{каб}; \quad (3.41)$$

$$F_{cm1.в} = 7848 + 83,3 \cdot 9,81 - 10301 - 9,81 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 550 / 1000 + \\ + 0.5 \cdot 9,81 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 517 / 1000 = -2858 \text{ Н}.$$

Ускорение кабины при пуске **на подъем**:

$$a_{пуск1} = \frac{F_{дин1.пуск}}{m_{\Sigma 1}} = \frac{2 \cdot M_{макс} \cdot i_p}{D_{ш}} - (F_{cm1.в} + \Delta F) \quad (3.42)$$

$$a_{пуск1} = \frac{2 \cdot 204,6 \cdot 31,5}{0,93} - (-2858 + 736) \\ 4691,2 = 3,4 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение кабины при торможении на скорость дотяжки **на спуске**:

$$a_{торм1} = \frac{F_{дин2.пуск}}{m_{\Sigma 1}} = \frac{2 \cdot M_{торм} \cdot i_p}{D_{ш}} - (F_{cm1.в} - \Delta F); \quad (3.43)$$

$$a_{торм1} = \frac{2 \cdot 204,6 \cdot 31,5}{0,93} - (-2858 - 736) \\ 4691,2 = 3,7 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение при торможении можно ограничить путем кратковременного ввода добавочного сопротивления в цепь статора [1]. Ускорение при пуске больше, чем предельно допустимое для пассажирских лифтов ($a_{\text{дон}}=2 \text{ м/с}^2$). Суммарная инерционная масса механизма, при которой ускорение кабины равно предельному, согласно формуле (3.43):

$$m'_{\Sigma 1} = \frac{\frac{2 \cdot M_{\text{макс}} \cdot i_p}{D_{\text{ш}}} - (F_{\text{см1.б}} + \Delta F)}{a_{\text{дон}}}; \quad (3.44)$$

$$m'_{\Sigma 1} = \frac{\frac{2 \cdot 204,6 \cdot 31,5}{0,93} - (-2858 + 736)}{2} = 7991 \text{ кг}.$$

Полный момент инерции двигателя с дополнительным маховиком в этом случае составит (согласно (3.40)):

$$J'_p = \frac{m'_{\Sigma 1} - \left(m_0 + m_{\text{нр}} + m_1 + \frac{q_{\text{кан}} \cdot N_{\text{кан}}}{1000} (h_{\text{к1}} + h_{\text{нр1}}) + J_{\text{ш}} \frac{4}{D_{\text{ш}}^2} \right)}{i_p^2 \cdot \frac{4}{D_{\text{ш}}^2}}; \quad (3.45)$$

$$J'_p = \frac{7991 - \left(800 + 1050 + 83,3 + \frac{550 \cdot 5}{1000} (2,4 + 52,4) + 18 \frac{4}{0,93^2} \right)}{31,5^2 \cdot \frac{4}{0,93^2}} = 1,27 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции дополнительного маховика:

$$J_{\text{дон}} = J'_p - J_p = 1,27 - 0,55 = 0,72 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Коэффициент инерции системы при этом составит:

$$\gamma = \frac{m'_{\Sigma 1} \frac{D_{\text{ш}}^2}{4 \cdot i_p^2}}{J_p} = \frac{7991 \frac{0,93^2}{4 \cdot 31,5^2}}{0,55} = 3,17 \leq \gamma_{\text{пред}},$$

что меньше, чем предельно допустимый коэффициент инерции системы для выбранного двигателя.

3.8 Проверка выбранного двигателя методом средних потерь

Мощность суммарных номинальных потерь в двигателе при работе на большой скорости:

$$\Delta P_{\text{ном}\Sigma} = P_{\text{ном}} \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}; \quad (3.46)$$

$$\Delta P_{\text{ном}\Sigma} = 6500 \frac{1 - 0,835}{0,835} = 1284 \text{ Вт}.$$

Суммарные потери разделяются на постоянные и переменные:

$$\Delta P_c = K_0 \cdot \Delta P_{\text{дв}\Sigma} = 0,23 \cdot 1284 = 295,3 \text{ Вт}.$$

Так как переменные потери обусловлены протеканием токов по сопротивлениям двигателя и зависят от нагрузки, то их мощность можно оценить по формуле:

$$\Delta P_v = \Delta P_{\text{дв}\Sigma} \cdot (1 - K_0) \cdot \left(\frac{M}{M_{\text{н}}} \right)^2. \quad (3.47)$$

Тогда потери в двигателе в установившемся режиме:

$$\Delta A_{\text{уст}} = (\Delta P_c + \Delta P_v) \cdot t_{\text{уст}} = \left(\Delta P_c + \Delta P_{\text{дв}\Sigma} \cdot (1 - K_0) \cdot \left(\frac{M_{\text{ст.ср}}}{M_{\text{н}}} \right)^2 \right) \cdot t_{\text{уст}}, \quad (3.48)$$

где $M_{\text{ст.ср}}$ – средний за установившийся режим статический момент:

Потери в двигателе при пуске, согласно [3]:

$$\Delta A_n = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{01}^2}{2} \cdot (s_{\text{нач.н}}^2 - s_{\text{кон.н}}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) \cdot \frac{M_{\text{дв.н}}}{M_{\text{дв.н}} - M_{\text{ст.н}}}, \quad (3.49)$$

где J_{Σ} - суммарный момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = J'_p + \frac{J_{ш}}{i_p^2} + \left[m_0 + m_{np} + m_1 \cdot \psi + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{np1}) \right] \cdot \frac{D_{ш}^2}{4 \cdot i_p^2}; \quad (3.50)$$

$s_{нач.n} = 1$ – начальное скольжение при пуске двигателя;

$s_{кон.n} = 0$ – конечное скольжение при пуске двигателя;

R_1, R'_2 – активные сопротивления соответственно статорной и приведенной к статору роторной обмотки;

$M_{дв.n}$ – средний момент на валу двигателя при пуске («+» при пуске вверх, «-» при пуске вниз):

$$M_{дв.n} = \pm \frac{M_{макс} + M_{пуск}}{2}; \quad (3.51)$$

$M_{ст.n}$ – статический момент нагрузки на текущем участке:

$$M_{ст.n} = \frac{F_{ст.нач} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_p}. \quad (3.52)$$

Значения $F_{ст.нач}$ берутся из таблицы 3.2.

В динамических режимах сопротивление R'_2 существенно увеличивается (около 2-х раз) за счет эффекта вытеснения тока при скольжениях, больших критического. Поэтому примем $R'_2 = 2 \cdot R_1$, следовательно, соотношение:

$$\left(1 + \frac{R_1}{R'_2} \right) = 1,5.$$

Потери в двигателе при торможении до скорости дотяжки:

$$\Delta A_m = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{02}^2}{2} \cdot (s_{нач.m}^2 - s_{кон.m}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R'_2} \right) \cdot \frac{M_{дв.m}}{M_{дв.m} - M_{ст.m}}, \quad (3.53)$$

где $s_{нач.m}$ – начальное скольжение при торможении двигателя:

$$s_{нач.м} = \frac{\omega_{02} - \omega_{01}}{\omega_{02}}; \quad (3.54)$$

$s_{кон.м} = 0$ – конечное скольжение при торможении двигателя;
 $M_{дв.м} = \pm M_{торм}$ - средний момент на валу двигателя в тормозном режиме («-» при торможении вверх, «+» при торможении вниз);
 $M_{ст.м}$ – статический момент нагрузки на текущем участке при торможении:

$$M_{ст.м} = \frac{F_{ст.кон} \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_p}. \quad (3.55)$$

Полные потери при пуске и торможении находятся как сумма потерь по формулам (3.49) и (3.53) и постоянных потерь:

$$\Delta A_{n\Sigma} = \Delta A_n + \Delta P_c \cdot t_{пуск},$$

где $t_{пуск}$ – время пуска:

$$t_{пуск} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_{01}}{|M_{дв.н} - M_{ст}|}; \quad (3.56)$$

$$\Delta A_{m\Sigma} = \Delta A_m + \Delta P_c \cdot t_{торм};$$

где $t_{торм}$ – время торможения:

$$t_{торм} = \frac{J_{\Sigma} \cdot (\omega_{01} - \omega_{02})}{|M_{дв.м} - M_{ст}|}; \quad (3.57)$$

Пути, пройденные кабиной при пуске и торможении, рассчитываются с учетом принятого передаточного числа редуктора:

$$h_{пуск} = \frac{\omega_{01} \cdot D_{ш} \cdot t_{пуск}}{4 \cdot i_p}; \quad (3.58)$$

$$h_{торм} = \frac{(\omega_{01} - \omega_{02}) \cdot D_{ш} \cdot t_{торм}}{4 \cdot i_p}. \quad (3.59)$$

Путь, который проходит кабина в установившемся режиме при номинальной скорости:

$$h_{уст} = |\mathcal{E}_{кон} - \mathcal{E}_{нач}| \cdot h_1 - h_{пуск} - h_{дот0}, \quad (3.60)$$

где $h_{дот0}$ – расстояние, на котором располагается датчик переключения на малую скорость. Принимается равным 1 м.

Время установившегося движения кабины:

$$t_{уст} = \frac{h_{уст} \cdot 2 \cdot i_p}{\omega_{01} \cdot D_{и}}. \quad (3.61)$$

Время установившегося движения кабины со скоростью дотяжки рассчитывается исходя из пути при торможении $h_{торм}$ и расстояния $h_{дот0}$:

$$t_{уст0} = \frac{(h_{дот0} - h_{торм}) \cdot 2 \cdot i_p}{\omega_{02} \cdot D_{и}}. \quad (3.62)$$

Расчет потерь на 1-м и 3-м участках цикла представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Расчет потерь

	Ед.изм.	Этапы	
		1	3
J_{Σ}	кг·м ²	1,83	1,76
$M_{ст.н}$	Н·м	66,95	-0,28
$M_{ст.м}$	Н·м	57,45	-9,77
$M_{дв.н}$	Н·м	191,40	191,40
$M_{дв.м}$	Н·м	-204,60	-204,60
$t_{пуск}$	с	1,54	0,96
$t_{торм}$	с	0,55	0,71
$h_{пуск}$	м	1,19	0,74
$h_{торм}$	м	0,32	0,41
$h_{уст}$	м	10,31	10,76
$t_{уст}$	с	6,67	6,96
$t_{уст0}$	с	1,76	1,53
$\Delta A_{уст}$	Дж	7826,8	2095,2
$\Delta A_{уст0}$	Дж	1838,2	485,0
$\Delta A_{n\Sigma}$	Дж	23594,2	14732,3
$\Delta A_{m\Sigma}$	Дж	6765,9	8751,7
ΔA_{Σ}	Дж	40025	26100

Пример расчета значений для 1-го участка цикла.

$$J_{\Sigma.1} = 1,27 + \frac{18}{31,5^2} + \left[800 + 1050 + 83,3 \cdot 6 + \frac{550 \cdot 5}{1000} (2,4 + 52,4) \right] \frac{0,93^2}{4 \cdot 31,5^2} = 1,83 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$M_{cm.n.1} = \frac{4535 \cdot 0,93}{2 \cdot 31,5} = 66,95 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{cm.m.1} = \frac{4053 \cdot 0,93}{2 \cdot 31,5} = 57,45 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\partialв.n.1} = + \frac{178,2 + 204,6}{2} = 191,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\partialв.m.1} = -204,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$t_{\text{нук.1}} = \frac{1,83 \cdot 104,7}{|191,4 - 66,95|} = 1,54 \text{ с};$$

$$t_{\text{мор.1}} = \frac{1,83 \cdot (104,7 - 26,2)}{|-204,6 - 57,45|} = 0,55 \text{ с}.$$

$$h_{\text{нук.1}} = \frac{104,7 \cdot 0,93 \cdot 1,54}{4 \cdot 31,5} = 1,19 \text{ м};$$

$$h_{\text{мор.1}} = \frac{(104,7 - 26,2) \cdot 0,93 \cdot 0,55}{4 \cdot 31,5} = 0,32 \text{ м};$$

Принимаем $h_{\text{дом0}} = 1 \text{ м}$.

$$h_{\text{усм.1}} = |5 - 1| \cdot 3,125 - 1,19 - 1 = 10,31 \text{ м};$$

$$t_{\text{усм.1}} = \frac{10,31 \cdot 2 \cdot 31,5}{104,7 \cdot 0,93} = 6,67 \text{ с};$$

$$t_{\text{усм0.1}} = \frac{(1 - 0,32) \cdot 2 \cdot 31,5}{26,2 \cdot 0,93} = 1,76 \text{ с}.$$

Определяем средний за установившийся режим движения с большой скоростью статический момент, равный:

$$M_{cm.cp.1} = \frac{M_{cm.n.1} + M_{cm.m.1}}{2} = \frac{66,95 + 57,45}{2} = 62,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Тогда } \Delta A_{yсм.1} = \left(295,3 + 1284 \cdot (1 - 0,23) \cdot \left(\frac{62,2}{66} \right)^2 \right) \cdot 6,67 = 7826,8 \text{ Дж}.$$

Средний статический момент за установившееся движение со скоростью дотяжки $M_{cm.cp.01} = M_{cm.m.1} = 57,45 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Тогда:

$$\Delta A_{yсм0.1} = \left(295,3 + 1284 \cdot (1 - 0,23) \cdot \left(\frac{57,45}{66} \right)^2 \right) \cdot 1,76 = 1838,2 \text{ Дж};$$

$$\Delta A_{n\Sigma.1} = \frac{1,83 \cdot 104,7^2}{2} \cdot (1^2 - 0^2) \cdot 1,5 \cdot \frac{191,4}{191,4 - 66,95} + 295,3 \cdot 1,54 = 23594,2 \text{ Дж};$$

$$s_{нач.m.1} = \frac{104,7 - 26,2}{26,2} = 3;$$

$$\Delta A_{m\Sigma.1} = \frac{1,83 \cdot 26,2^2}{2} \cdot (3^2 - 0^2) \cdot 1,5 \cdot \frac{-204,6}{-204,6 - 57,45} + 295,3 \cdot 0,55 = 6765,9 \text{ Дж}.$$

Суммарные потери для 1-го этапа:

$$\Delta A_{\Sigma.1} = 23594,2 + 6765,9 + 7826,8 + 1838,2 = 40025 \text{ Дж}.$$

Среднее значение потерь на основании расчетных данных 1-го и 3-го этапов составляет:

$$\Delta A_{\Sigma cp} = \frac{\Delta A_{\Sigma.1} + \Delta A_{\Sigma.3}}{2}, \quad (3.63)$$

$$\Delta A_{\Sigma cp} = \frac{40025 + 26100}{2} = 33063 \text{ Дж}.$$

Средние значения времени пуска и торможения, установившегося движения с большой и с малой скоростью на основании расчетных данных 1-го и 3-го этапов составляет:

$$t_{\text{пуск.ср}} = \frac{t_{\text{пуск.1}} + t_{\text{пуск.3}}}{2} = \frac{1,54 + 1,19}{2} = 1,37 \text{ с},$$

$$t_{\text{торм.ср}} = \frac{t_{\text{торм.1}} + t_{\text{торм.3}}}{2} = \frac{0,32 + 0,36}{2} = 0,34 \text{ с},$$

$$t_{\text{усм.ср}} = \frac{t_{\text{усм.1}} + t_{\text{усм.3}}}{2} = \frac{6,67 + 6,85}{2} = 6,76 \text{ с},$$

$$t_{\text{усм0.ср}} = \frac{t_{\text{усм0.1}} + t_{\text{усм0.3}}}{2} = \frac{1,76 + 1,65}{2} = 1,71 \text{ с}.$$

Суммарные потери за цикл работы:

$$\Sigma \Delta A = \sum_{i=1}^6 (\Delta A_{\text{усм.}i} + \Delta A_{\text{усм0.}i} + \Delta A_{\text{н}\Sigma.i} + \Delta A_{\text{м}\Sigma.i}) \approx 6 \cdot \Delta A_{\Sigma \text{ср}}. \quad (3.64)$$

$$\Sigma \Delta A = 6 \cdot 33063 = 198375 \text{ Дж}.$$

Уточненное время цикла при суммарном времени паузы, рассчитанном по (3.33), составляет:

$$\begin{aligned} T_{\text{ц.ут}} &\approx t_n + \sum_{i=1}^6 (t_{\text{усм.}i} + t_{\text{усм0.}i} + t_{\text{пуск.}i} + t_{\text{торм.}i}) \approx \\ &\approx t_n + 6 \cdot (t_{\text{усм.ср}} + t_{\text{усм0.ср}} + t_{\text{пуск.ср}} + t_{\text{торм.ср}}) = \\ &= 139,5 + 6 \cdot (6,76 + 1,71 + 1,37 + 0,34) = 200,6 \text{ с}. \end{aligned}$$

Так как выбран двигатель с принудительной вентиляцией, то эквивалентное по теплоотдаче время цикла равно уточненному времени цикла $T_{\text{ц.экв}} = T_{\text{ц.ут}}$.

Средняя мощность потерь за цикл работы:

$$\Delta P_{\text{ср}} = \frac{\Sigma \Delta A}{T_{\text{ц.экв}}}. \quad (3.65)$$

$$\Delta P_{cp} = \frac{198375}{200,6} = 989 \text{ Дж.}$$

Приведенные к номинальной ПВ двигателя при работе на большой скорости ($PB_{н1}=60\%$) и на малой скорости ($PB_{н2}=15\%$) средние потери за цикл:

$$\Delta P_{cp.н} = \Delta P_{cp} \frac{100}{60 + 15} = 989 \cdot \frac{100}{75} = 1319 \text{ Дж.}$$

Средние потери за цикл немного больше (2,7%), чем номинальные потери (1319 Дж > 1284 Дж). Следовательно, при работе пассажирского лифта с расчетным циклом двигатель может перегреться. В реальности же цикл работы по длительности больше, чем 200,6 с за счет неучтенных пауз простоя. Для исключения выхода из строя двигателя при работе в предельных циклах необходимо предусмотреть защиту электропривода по температуре двигателя, блокирующую работу при перегреве.

3.9 Расчет и выбор тормозного устройства

Тормозное устройство состоит из тормозного шкива (барабана) и тормозных колодок. Пренебрегая потерями, рассчитываем необходимый тормозной момент при наибольшем неуравновешенном состоянии системы F_{max} :

$$M_{m.треб} = k_m \frac{|F_{max}| \cdot D_{ш}}{2 \cdot i_p}, \quad (3.66)$$

где k_m - коэффициент запаса. Принимаем $k_m=1.75$.

По неуточненной диаграмме неуравновешенности $F_{max}=F_2$. Поэтому:

$$M_{m.треб} = 1,75 \cdot \frac{|4537| \cdot 0,93}{2 \cdot 31,5} = 117,2 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

По полученному моменту выбираем колодочный тормоз типа ТКП-200 с тормозным моментом $M_m=123 \text{ Н}\cdot\text{м}$ при ПВ=40% с техническими параметрами, приведенными в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Технические параметры ТКП-200

Диаметр шкива, мм	Тип электромагнита	Род тока	Рабочее напряжение, В	Максимальный тормозной момент, Н·м			Масса, кг, не более
				ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=100%	
200	МПТ-212	Постоянный	110; 220	157	123	53	37

3.10 Расчет точности остановки

Весь процесс остановки можно разделить на два этапа:

1) запаздывание срабатывания коммутационной аппаратуры t_a по отношению к срабатыванию датчика точной остановки (ДТО). В это время лифт движется с той же скоростью v_0 (скорость дотяжки), с какой он подошел к ДТО. За это время лифт пройдет путь:

$$S'_0 = v_0 \cdot t_a, \quad (3.67)$$

$$\text{где } v_0 = \frac{\omega_{02}}{2 \cdot i_p} D_{ш} = \frac{26.2}{2 \cdot 31.5} \cdot 0.93 = 0.387 \text{ м/с;}$$

примем $t_a = 0.25$ с.

$$S'_0 = 0,387 \cdot 0,25 = 0,097 \text{ м,}$$

2) при отключении двигателя и накладывании тормоза наступает второй этап. При этом запасенная кинетическая энергия расходуется на преодоление статических сопротивлений тормозного устройства F_m и средней нагрузки F_{cp} . При этом лифт проходит путь:

$$S''_0 = \frac{m_{\Sigma} \cdot v_0^2}{2 \cdot (F_m + F_{cp})}, \quad (3.68)$$

где m_{Σ} - средняя суммарная масса движущихся частей установки, приведенная к поступательному движению кабины лифта. Она состоит из масс поступательно движущихся частей (кабины, **половины груза**, противовеса, каната и кабеля) и момента инерции двигателя $J'_{\partial в}$ и приведенного момента инерции шкива $J_{ш}$:

$$m_{\Sigma} = m_0 + \frac{m_n}{2} + m_{np} + \frac{q_{кан} \cdot N_{кан}}{1000} (h_{к1} + h_{np1}) + J'_p \frac{4 \cdot i_p^2}{D_{uu}^2} + J_{ш} \cdot \frac{4}{D_{uu}^2}, \quad (3.69)$$

$$m_{\Sigma} = 800 + \frac{500}{2} + 1050 + \frac{550 \cdot 5}{1000} (2,4 + 52,4) + 1,27 \frac{4 \cdot 31,5^2}{0,93^2} + 18 \frac{4}{0,93^2} = 8162 \text{ кг.}$$

Среднее усилие механизма рассчитывается следующим образом:

$$F_{cp} = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}, \quad (3.70)$$

где F_{\max} согласно диаграмме неуравновешенности равно $F_2=3801$ Н;

F_{\min} согласно диаграмме неуравновешенности равно $F_3=-3675$ Н.

$$F_{cp} = \frac{3801 - 3675}{2} = 63 \text{ Н.}$$

Усилие F_m , развиваемое тормозным устройством, рассчитывается исходя из тормозного момента M_m :

$$F_m = \frac{2 \cdot i_p \cdot M_m}{D_{uu}}. \quad (3.71)$$

$$F_m = \frac{2 \cdot 31,5 \cdot 123}{0,93} = 8383 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$S_0'' = \frac{8162 \cdot 0,387^2}{2 \cdot (8383 + 63)} = 0,073 \text{ м.}$$

В общем случае пройденный путь не остается постоянным в процессе работы лифта, а будет зависеть от изменения входящих в него величин. Выражая абсолютные изменения средних величин v_0 , t_a , m_{Σ} , F_{Σ} , через Δv , Δt , Δm , ΔF , определим абсолютное изменение пути ΔS движения кабины лифта при остановке:

$$\Delta S \approx S_0' \cdot \left(\frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta t}{t_a} \right) + S_0'' \cdot \left(2 \frac{\Delta v}{v_0} + \frac{\Delta m}{m_{\Sigma}} + \frac{\Delta F}{F_m + F_{cp}} \right), \quad (3.72)$$

Примем $\Delta t / t_a = 0.15$. Изменение массы движущихся частей будет равно половине номинальной загрузки $\Delta m = m_n / 2 = 250$ кг. Согласно диаграмме неуравновешенности изменение статического усилия будет равно:

$$\Delta F = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2}, \quad (3.73)$$

$$\Delta F = \frac{3801 - (-3675)}{2} = 3738 \text{ Н.}$$

Отклонение скорости под действием отклонения статического усилия можно рассчитать, линеаризовав рабочий участок механической характеристики на малой скорости:

$$\Delta v = \Delta F \cdot \frac{\omega_{c2} - \omega_{н2}}{M_n} \cdot \left(\frac{D_{ш}}{2 \cdot i_p} \right)^2. \quad (3.74)$$

$$\Delta v = 3738 \cdot \frac{26,2 - 23,0}{66} \cdot \left(\frac{0,93}{2 \cdot 31,5} \right)^2 = 0,039 \text{ м/с.}$$

Тогда максимальное отклонение кабины от этажного положения площадки ΔS , которая определяет точность остановки, будет равна:

$$\Delta S \approx 0,097 \cdot \left(\frac{0,039}{0,387} + 0,15 \right) + 0,073 \cdot \left(2 \frac{0,039}{0,387} + \frac{250}{8162} + \frac{3738}{8332 + 63} \right) = 0,073 \text{ м,}$$

Рассчитанная неточность остановки значительно больше, чем максимально допустимое значение по ГОСТ 22011-95 для нерегулируемых приводов ± 35 мм. Для уменьшения ΔS необходимо:

1) уменьшить скорость дотяжки v_0 , применив двигатель с большим диапазоном изменения числа пар полюсов;

2) установить уравновешивающий канат, тем самым уменьшить изменение силы ΔF и увеличить суммарную массу поступательно движущихся частей m_Σ ;

3) уменьшить время и точность срабатывания коммутационной аппаратуры, применив более быстродействующие реле или программируемый контроллер.

3.11 Выбор коммутирующей аппаратуры

Номинальный ток двигателя (согласно таблице 3.4) $I_{n1}=15,1$ А.

Пусковой ток двигателя:

$$I_{n1}=I_{n1} \cdot \lambda_{L,n}=15,1 \cdot 6 = 90,6 \text{ А.} \quad (3.75)$$

Ударный пусковой ток:

$$I_{yд.n1}=1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n1}=1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 90,6 = 179,4 \text{ А.} \quad (3.76)$$

По номинальному току выбираем пускатель ПМЛ без теплового реле типа ПМЛ–2100–25 УХЛ4 с техническими параметрами, приведенными в таблице 3.8.

Таблица 3.8

Параметр	Величина
Номинальный коммутируемый ток, А	25
Ударный ток ($t < 1$ с), А	450
Напряжение катушек управления, В	230
Максимальный коммутируемый ток для категории применения АС-3 в нормальном режиме коммутации, А	$6 \cdot 25 = 150 \text{ А } (> I_{n1})$
Максимальный коммутируемый ток для категории применения АС-3 в режиме редких коммутаций, А	$10 \cdot 25 = 250 \text{ А } (> I_{yд.n1})$

Номинальный ток автоматического выключателя выбирается большим чем максимальный статический ток двигателя при движении загруженной кабины. Из таблицы 3.6 $M_{max.cm}=M_{cm.n1}=66,95$ Н·м, соответственно:

$$I_{ном.в} \geq I_{н2} \cdot (M_{max.cm} / M_n) = 21 \cdot (66,95/66) = 21,3 \text{ А.} \quad (3.77)$$

Номинальная отсечка электромагнитного расцепителя:

$$I_{ном.о} \geq 1,2 \cdot I_{yд.n1} = 1,2 \cdot 179,4 = 215,3 \text{ А.} \quad (3.78)$$

Выбираем автоматический выключатель типа ВА04-31Про-32 с техническими параметрами, приведенными в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Параметр	Величина
Номинальная уставка тока теплового расцепителя I_r , А	32
Номинальная уставка тока электромагнитного расцепителя $I_{ном.о}$, А	400

По времятоковым характеристикам отключения автоматического выключателя (Приложение Д методических указаний) минимальное время срабатывания при протекании пускового тока ($I / I_r = 90.6 / 32 = 2,83$) составляет 1.8 с., что больше чем максимальное расчетное время пуска двигателя, составляющее 1,54 с. (таблица 3.6).

3.12 Схема электрическая принципиальная электропривода пассажирского лифта

Схема электрическая принципиальная электропривода пассажирского лифта приведена на рисунке 3.5а. На рисунке 3.5б показан вид механических характеристик двигателя, построенные на основе типовых характеристик, приведенных в паспортных данных.

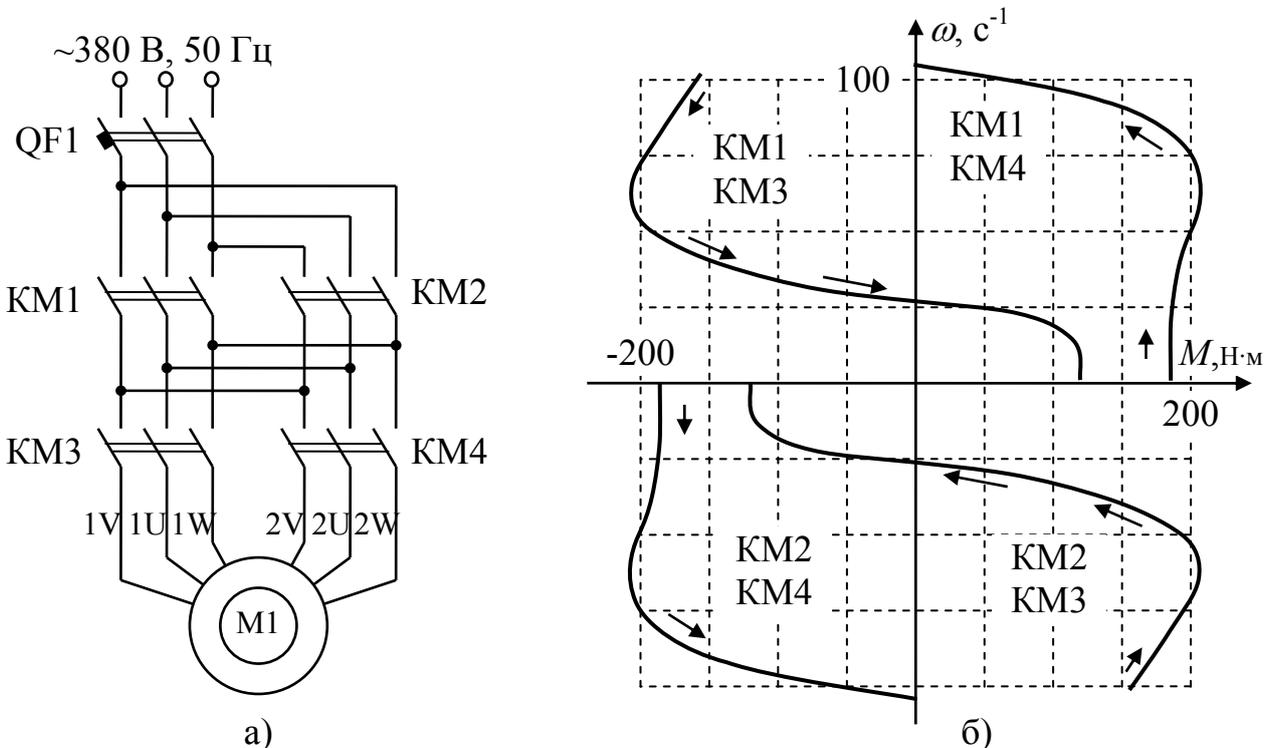


Рисунок 3.5 – Схема электрическая принципиальная включения двигателя (а) и механические характеристики электропривода (б)

Список использованных источников

1. Ключев, В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов : учебник для вузов / В. И. Ключев, В. М. Терехов . - М. : Энергия, 1980. - 360 с. : ил.
2. Белов, М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учеб. для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. - М. : Академия, 2004. - 576 с.
3. Кувшинов, А. А. Теория электропривода : конспект лекций / А. А. Кувшинов, Э. Л. Греков ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009.
4. Вешеневский, С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе [Текст] / С. Н. Вешеневский.- 6-е изд., испр. - М. : Энергия, 1977. - 432 с.
5. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова . - М. : Энергоатомиздат, 1988-1989.
6. ГОСТ 5746-2003. Лифты пассажирские. Основные параметры и размеры. Введ. 22.05.2003. – М.: Стандартиформ, 2003. – 25 с.
7. ГОСТ 52941-2008. Лифты пассажирские. Проектирование систем вертикального транспорта в жилых зданиях. Введ. 07.01.2009. – М.: Стандартиформ, 2009. – 15 с.
8. ГОСТ 2185-66. Передачи зубчатые цилиндрические. Основные параметры. Введ. 01.01.1968. – М.: Стандартиформ, 1968. – 4 с.
9. ГОСТ 22011-95. Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия. Введ. 01.01.1997. – М.: Стандартиформ, 1997. – 28 с.
10. Акимов, Е.Г. Выбор и применение низковольтных электрических аппаратов распределения, управления и автоматики / Е.Г. Акимов, Ю.С. Коробков, В.П. Соколов, Е.В. Таланов. – М.: МЭИ, 2009. – 344 с.
11. Кувшинов, А. А. Теория электропривода: учебное пособие по курсовому проектированию/ А.А. Кувшинов. В.М. Вакулюк, В.Б. Фатеев. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 123 с.

Приложение А

(обязательное)

Варианты заданий

Вариант	Грузоподъемность m_n , кг	Вместимость E , чел	Максимальная высота подъема H , м	Скорость подъема $V_{ном}$, м/с	Количество несущих канатов $N_{кан.}$, шт.	Количество подвесных кабелей $N_{каб.}$, шт.	Количество этажей N	Мас-	1000 м несущего каната, $Q_{кан}$	1000 м кабеля, $Q_{каб}$	Диаметр канатопроводящего шкива $D_{ш.}$, мм	Момент инерции шкива $J_{ш.}$, кг*м ²
								са, кг кабины m_0				
1	320	4	12	0,4	3	1	5	650	430	354	770	14
1	320	4	12	0,63	3	1	5	650	430	354	770	14
2	320	4	24	0,71	3	1	9	650	430	392	770	14
3	320	4	27	1,0	3	1	10	650	450	392	770	14
4	320	4	45	1,4	4	1	16	650	450	392	770	14
5	400	5	72	1,6	4	1	25	650	450	392	770	14
6	400	5	12	0,4	4	1	5	650	500	415	770	14
7	400	5	24	0,63	4	1	9	650	500	415	770	14
8	400	5	27	0,71	4	1	10	800	530	517	600	12
9	400	5	27	1,0	4	1	10	800	530	517	930	18
10	630	8	45	1,4	4	1	16	800	530	517	930	18
11	630	8	87	1,6	5	1	30	800	550	517	930	18
12	630	8	18	0,4	5	1	7	800	550	517	930	18
13	630	8	12	0,63	5	1	5	800	550	517	930	18
14	630	8	24	0,71	5	1	9	800	580	550	930	18
15	800	10	27	1,0	5	1	10	800	580	490	930	18
16	800	10	72	1,4	5	1	25	800	580	490	930	18
17	800	10	72	1,6	5	1	25	1700	600	400	950	20
18	800	10	12	0,4	5	1	5	1700	600	450	950	20
19	800	10	24	0,63	5	1	9	1700	600	500	950	20
20	1000	12	27	0,71	6	1	10	1700	530	517	950	20
21	1000	12	27	1,0	6	1	10	1700	530	517	950	20
22	1000	12	72	1,4	6	2	25	1700	530	334	950	20
23	1000	12	87	1,6	6	2	30	1700	530	354	950	20
24	1000	12	18	0,4	7	2	7	1700	550	384	950	20
25	1000	12	24	0,63	8	2	9	1700	530	384	950	20

Приложение Б

(справочное)

Технические данные лифтовых двигателей

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	Отношение пускового момента к номинальному моменту	Отношение пускового тока к номинальному току	Отношение максимального момента к номинальному моменту	Отношение максимального тормозного момента к номинальному моменту	Допустимое число пусков в час	Динамический момент инерции ротора, кг*м ²	Предельный коэффициент инерции системы	Масса, кг
2p=4/16, 1500/375 об/мин														
5АН160S4/16	3,55	1425	80	0,68	10,0	24	2,7 - 3,3	6,5	3,1 - 3,9	-	150	0,06	8,5	110
	-	325	-	-	8,0	-	≥ 1,9	2	≥ 1,9	2,7 - 3,5				
5АН180S4/16	5,0	1445	83	0,79	11,6	33	2,8 - 3,8	6,5	3,6 - 4,2	-	180	0,165	5,5	165
	-	345	-	-	13,0	-	≥ 2,2	2	≥ 2,2	3,6 - 4,2				
2p=4/24, 1500/250 об/мин														
5АН(Ф)200МА4/24	8,0	1410	85	0,89	16,0	54	2,4 - 3,0	6,5	2,6 - 3,1	-	150*	0,55	3,0	258*
	-	215	-	-	12,0	-	≥ 1,9	-	≥ 1,9	2,6 - 3,1	200			270
5АН200МВ4/24	10,0	1395	85	0,87	20,5	68,5	2,6 - 3,0	6,0	2,9 - 3,3	-	150	0,55	3,0	258
	-	200	-	-	22,7	-	≥ 2,0	-	≥ 2,0	2,6 - 3,0				
5АФ200МВ4/24	12,0	1380	82,5	0,91	24,2	88	2,4 - 2,8	6,5	2,5 - 3,0	-	200	0,55	3,0	270
	-	215	-	-	19,4	-	≥ 1,9	-	≥ 1,9	2,6 - 3,1				
2p=6/18, 1000/333 об/мин														
5АН160S6/18	3,0	950	70	0,54	12,0	30	2,7 - 3,2	4,6	3,0 - 3,7	-	120	0,12	5,2	110
	-	285	-	-	13,0	-	≥ 2,1	-	≥ 2,1	2,8 - 3,5				
2p=6/24, 1000/250 об/мин														
АНП180SА6/24	3,0	940	78,5	0,65	9,0	30,5	2,3 - 2,8	5	2,6 - 3,1	-	120	0,156	7,0	130
	-	205	-	-	14,5	-	≥ 1,8	-	≥ 1,8	2,3 - 2,8				
АНП180SВ6/24	3,55	945	77	0,62	11,3	36,0	2,5 - 2,9	5	2,9 - 3,5	-	150	0,156	8,3	130
	-	213	-	-	17,0	-	≥ 1,8	-	≥ 1,8	2,2 - 2,6				
5АН180S6/24	3,55	920	83	0,70	9,3	37,0	2,3 - 2,8	5,5	2,7 - 3,2	-	120	0,165	6,0	160
	-	205	-	-	18,6	-	≥ 1,9	-	≥ 1,9	2,6 - 3,1				
5АН180М6/24	4,5	910	81	0,75	11,3	47,0	2,6 - 3,0	5	2,8 - 3,2	-	150	0,21	6,0	182
	-	205	-	-	19,9	-	≥ 1,8	-	≥ 1,8	2,6 - 3,0				
5АН200S6/24	5,6	920	83	0,76	13,5	60,0	2,3 - 2,8	5,5	2,6 - 3,0	-	180	0,46	3,5	215
	-	210	-	-	18,8	-	≥ 1,8	-	≥ 1,8	2,3 - 2,8				
5АН(Ф)200МА6/24	6,5	940	83,5	0,78	15,1	66,0	2,6 - 2,9	6	3,0 - 3,3	-	150*	0,55	4,0	258*
	-	220	-	-	21,0	-	≥ 2,3	-	≥ 2,3	2,9 - 3,4	200			270
5АН(Ф)200МВ6/24	7,5	940	84,5	0,80	16,8	76,0	2,6 - 3,0	6	2,7 - 3,3	-	120*	0,55	4,0	258*
	-	220	-	-	23,0	-	≥ 2,1	-	≥ 2,1	2,6 - 3,0	200			270
5АН(Ф)225МА6/24	9,0	940	84,5	0,83	19,4	91,5	2,8 - 3,4	6,5	2,9 - 3,7	-	90*	1,00	1,6	385*
	-	220	-	-	22,5	-	≥ 2,0	-	≥ 2,0	2,6 - 3,7	200			398
5АН(Ф)225МВ6/24	13,0	940	84,0	0,83	28,0	132	2,2 - 2,7	6,5	2,4 - 2,9	-	90*	1,15	2,0	405*
	-	220	-	-	31,5	-	≥ 1,8	-	≥ 1,8	2,5 - 3,0	180			418
5АН(Ф)225L6/24	17,5	940	84,5	0,87	36,1	178	2,2 - 2,7	6,5	2,4 - 2,9	-	90*	1,32	3,5	439*
	-	220	-	-	35,0	-	≥ 1,6	-	≥ 1,6	2,2 - 2,7	180			452

Примечания:

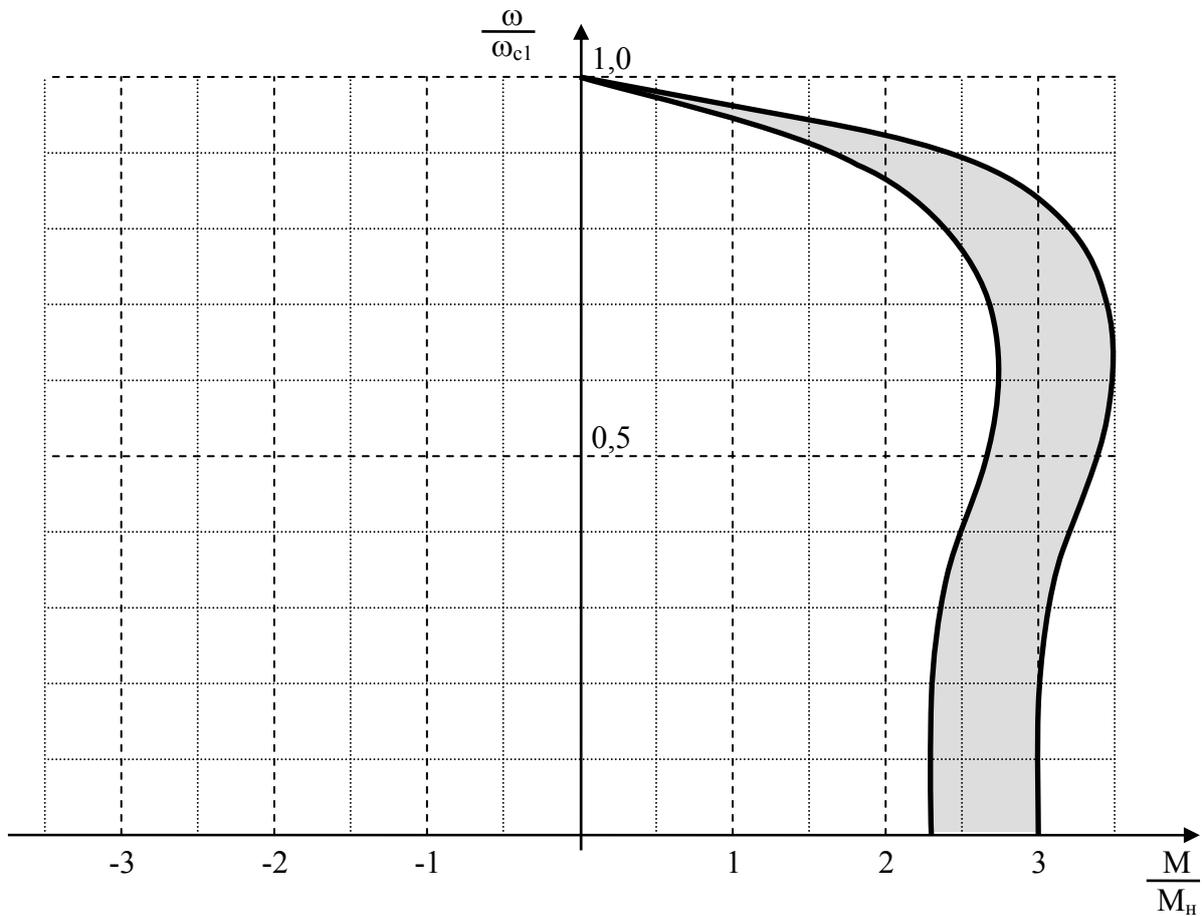
1 В числителе приведены данные двигателей 5АН (исполнение с самовентиляцией), в знаменателе двигателей 5АФ (исполнение с принудительной вентиляцией).

2 Отношение потерь ХХ к потерям при нагрузке для 2p=4 K₀=0.14, для 2p=6 K₀=0.23.

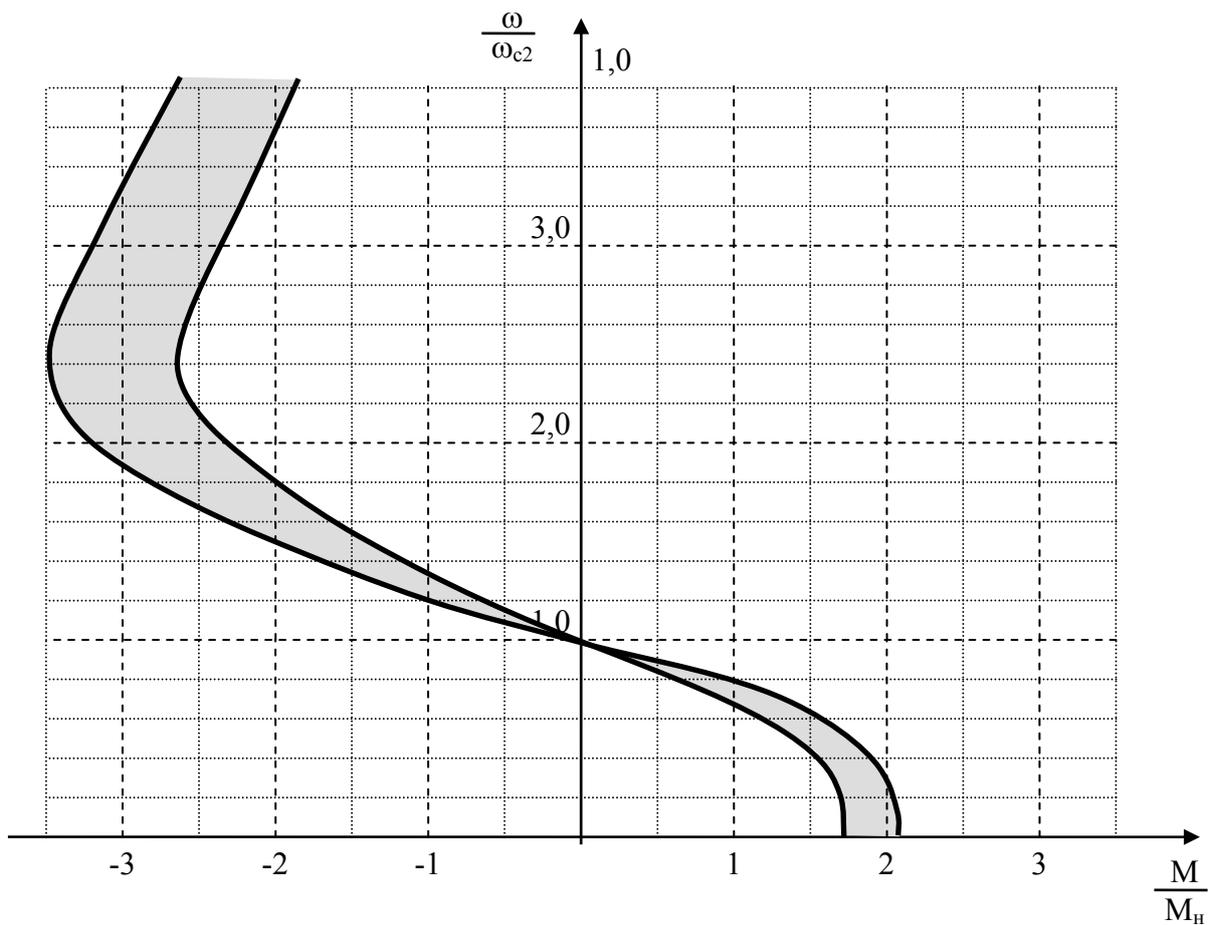
3 ПВ для высокой скорости 40-60%, ПВ для низкой 12-15%.

Зависимость коэффициента ухудшения теплоотдачи β_0 при заторможенном роторе от высоты оси вращения двигателя и числа пар полюсов.

Высота оси вращения мм	Коэффициент β_0			
	$2p=2$	$2p=4$	$2p=6$	$2p=8$
80	0,55	0,60	0,55	0,60
112	0,35	0,40	0,50	0,50
132	0,35	0,35	0,40	0,40
160-180	0,30	0,35	0,35	0,35
200-250	0,30	0,30	0,30	0,30
280-315	0,30	0,30	0,30	0,30



Типовая механическая характеристика двигателя для привода лифтов
(большая скорость)



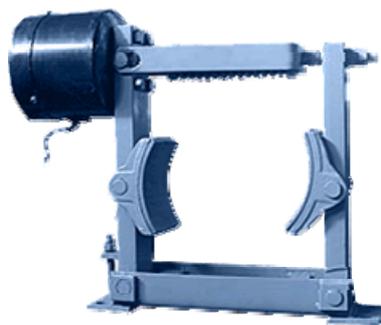
Типовая механическая характеристика двигателя для привода лифтов
(малая скорость)

Приложение В

(справочное)

Технические данные колодочных тормозов ТКП

Колодочные тормоза общего назначения типа ТКП с электромагнитом постоянного тока для шкивов диаметрами от 100 до 300 мм.



Тормоза предназначены для затормаживания и растормаживания механизма, которому придан тормоз, в разных условиях работы. Тормоза ТКП 100–300 приводятся в действие посредством короткоходового электромагнита постоянного тока МП. Работа тормоза: при затормаживании ток отключен, электромагнит не работает, шкив заторможен (принцип "fail-safe"). Под действием сжатой пружины рычаги поворачиваются на пальцах и прижимают колодки к поверхности тормозного шкива. При включении электромагнита главная пружина тормоза сжимается, и рычаги, освободившись от пружины, расходятся, растормаживая шкив.

СТРУКТУРНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ТК x - x -(1)- x 2:

ТК - тормоз колодочный

x - вид привода

Т - с электромагнитом МО переменного тока

МП, П, ПМ - с электромагнитом МП, МПТ, ТКП постоянного тока;

Г, ТГ - с электрогидравлическим толкателем ТЭ.

x - диаметр тормозного шкива, мм

РВ - взрывозащитное исполнение

1 - порядковый номер модификации

x 2 - климатическое исполнение (У, УХЛ, Т) и категория размещения по ГОСТ 15150 69.

Таблица В.1 - Технические характеристики. Тормоза колодочные ТКП.

Типоразмер тормоза	Диаметр шкива, мм	Тип электромагнита	Род тока	Рабочее напряжение, В	Максимальный тормозной момент, Н·м			Масса, кг, не более
					ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=100%	
ТКП-100	100	МПТ-108, МП-101	Постоянный	110; 220	20	16	8	16
ТКП-200/100	200				39	31	16	30
ТКП-200		МПТ-212, МП-201			157	123	53	37
ТКП-300/200	300				235	186	78	75
ТКП-300					МП-301, МПТ-317	490	412	167
ТКМП-400	400	Электромагнит постоянного тока		110; (220; 440)*	1400	1100	530	196
ТКМП-500	500				2400	1700	820	305
ТКМП-600	600				4800	3400	1500	460

* Пояснения, касающиеся только тормозов типа ТКМП-400 (500; 600), см. таблицу ниже

Таблица В.2 - Значения дополнительного сопротивления

Тип тормоза	Напряжение постоянного тока, В	Режим работы (ПВ), %	Добавочное сопротивление, Ом	Ток добавочного сопротивления, А
ТКМП-400 (ТКП-400)	110	40	6	4,6
	110	100	20	3
	220	25	20,7	6
	220	40	30	4,6
	220	100	60	3
ТКМП-500 (ТКП-500)	110	40	5	5
	110	100	18	3,2
	220	25	17,6	7
	220	40	30	5
	220	100	55	3,2
ТКМП-600 (ТКП-600)	110	40	4	7
	110	100	14	4,5
	220	25	13,6	9
	220	40	20,2	7
	220	100	40,5	4,5

Приложение Г

(справочное)

Технические данные магнитных пускателей ПМЛ

Обозначение магнитных пускателей ПМЛ

ПМЛ	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄ –X ₅	УХЛ4
Контакторы (пускатели) малогабаритные					
Величина (габарит) 1,2,3,4,5					
Вид исполнения: 1 – нереверсивный без теплового реле; 2 – нереверсивный с тепловым реле; 5 – реверсивный без реле с мех. блокировкой; 6 – реверсивный с реле с мех. блокировкой					
Исполнение по степени защиты или в составе магнитного пускателя 0 – открытое IP00 1 – без кнопок или с кнопкой «Возврат» реле; 2 – нереверсивный с реле и кнопками «Пуск-Стоп», степень защиты IP54; 3 – нереверсивный с реле, кнопками «Пуск-Стоп» и сигнальной лампой					
Число и вид свободных контактов 0 – 1з (9÷32А) – 1з+1р (40÷95А) 1 – 1р (9÷32А)					
Номинальный коммутируемый ток, А					
Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69					

Таблица Г.1 - Технические параметры магнитных пускателей ПМЛ

Параметры	Тип исполнения ПМЛ (ПМЛН)				
	1100-09; 110Н-09; 1100-12; 1100Н-12; 1160ДМ-18	2100-18; 2100-25; 2100Н-25	3100-32; 3100Н-32; 3100-40	4100-50; 4100Н-50; 4100-65; 4100Н-65; 4160ДМ-80	5100-80; 5100Н-80; 5100-95; 5100Н-95
Номинальное рабочее напряжение U_e , В	230, 400				
Напряжение изоляции U_i , В	660				
Импульсное напряжение U_{imp} , кВ	8				
Номинальный коммутируемый ток I_e , А	9; 12	18; 25	32; 40	50; 50; 65	80; 95
Максимальный ток (АС-1) I_{th} , А	25; 25	32; 40	50; 60	80; 80; 80	125; 125
Мощность нагрузки, кВт при 230В 400В	2,2; 3,0 4,0; 5,5	4,0; 5,5 7,5; 11	7,5; 11,0 15; 18,5	5; 15; 18,5 22; 22; 30	22; 25 37; 45
Ударный ток ($t < 1с$), А	162; 216	324; 450	576; 720	900; 1170	1430; 1700
Условный ток К.З. I_{nc} , А	3000; 3000	3000; 3000	3000; 3000	3000; 3000; 3000	5000; 5000; 5000
Тепловые потери на контактах при I_e , Вт/полюс в режиме: АС-3 АС-1	0,2; 0,36 1,56; 1,56	0,8; 1,25 2,5; 3,2	2,0; 2,4 5,0; 5,5	3,7; 3,7; 4,3 6,4; 6,4; 9,8	5,1; 7,3 12,5; 12,5
Защита предохранителем gG, А	10; 2	25; 40	50; 50	63; 63; 80	100; 100
Напряжение катушек управления U_c , В включение отключение	24, 36, 42, 110, 230, 400 (0,8...1,1) U_c (0,3...0,6) U_c				
Мощность, ВА при U_c : включение отключение	60; 60 7,0; 7,0	60; 90 7,0; 7,5	90; 200 7,5; 20	200; 200; 200	200; 200; 200
Время, мс: включения отключения	12..22; 12..22 4..20; 4..20	12..22; 5..25 4..20; 5..19	5..25; 20..27 5..19; 8..15	20..27; 8..15; 8..16	6..20; 6..20
Износостойчивость, циклов В/О, млн: электрическая АС-3 АС-1 механическая	1,2; 1,2 0,6; 0,7 12; 12	1,1; 1,1 0,9; 0,9 12; 10	1,0; 1,0 0,9; 1,2 10; 10	0,9; 0,7 1,2; 1,3 10; 8,0	0,5; 0,5 1,3; 1,3 7,5; 7,0

Приложение Д (справочное)

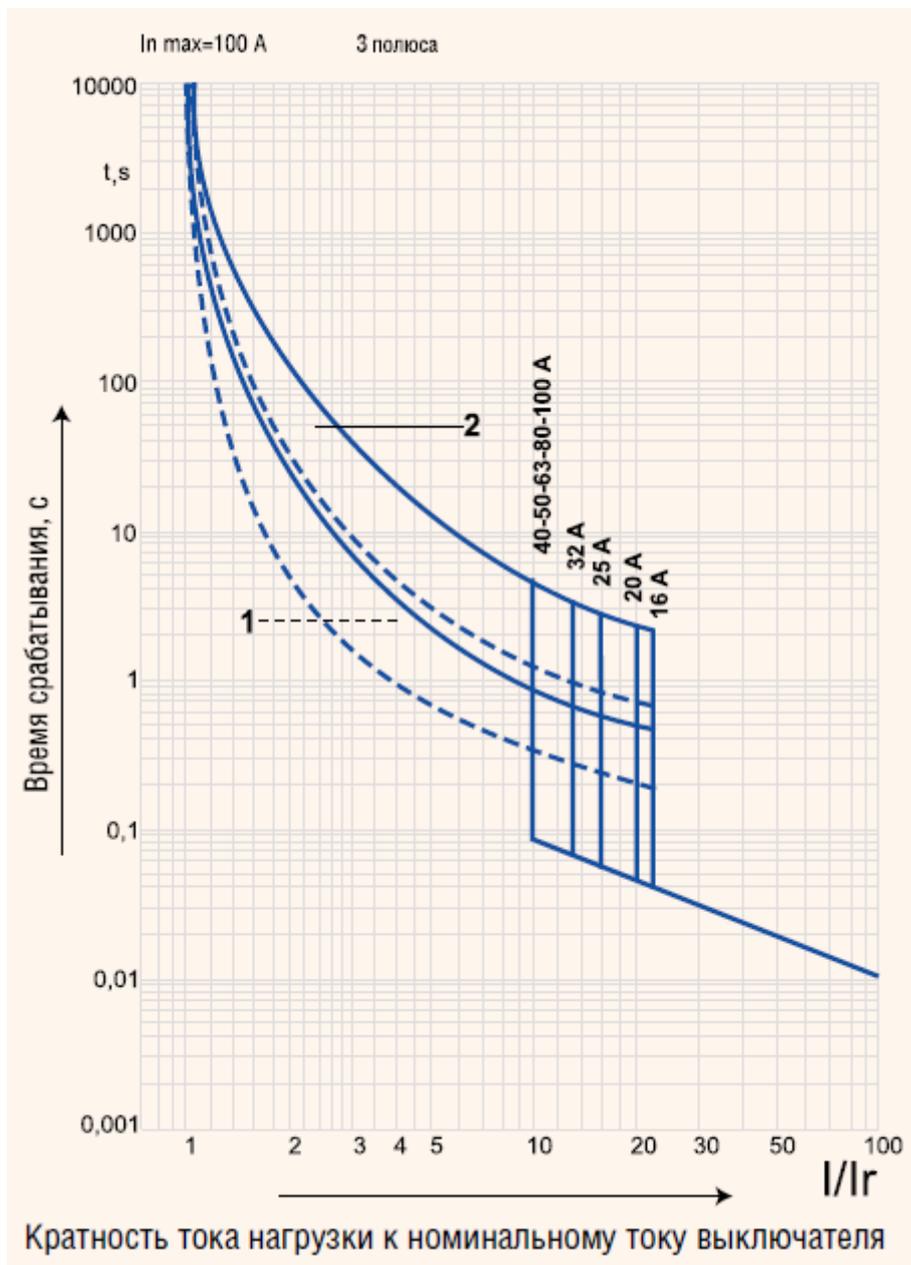
Технические данные автоматических выключателей ВА04-31Про

ВА04-31Про		С	П	В
Тип по коммутационной способности		3	3	3
Количество полюсов		3	3	3
Номинальный ток выключателя I_n , А		16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100		
Номинальное рабочее напряжение U_e , В	~50 Гц	600	600	600
Номинальное напряжение изоляции U_i , В		690	690	690
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение U_{imp} , кВ		6	6	6
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность I_{cs} , кА	~110/130 В	50	75	100
	~220/240 В	25	40	100
	~380/415 В	10	20	35
	~440 В	10	15	30
	~460 В	10	15	30
	~480/500 В	7,5	10	20
	~550 В	7,5	10	20
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность I_{cs} в % к I_{cs}	~600 В	5	5	10
	~600 В	50	50	50
Износостойкость, циклов ВО (включения/отключения)	механическая	25 000	25 000	25 000
	электрическая при $I=I_n$	8 000	8 000	8 000
	электрическая при $I=0,5 \times I_n$	10 000	10 000	10 000
Тип максимального расцепителя	тепловой	+	+	+
	электромагнитный	+	+	+
Температура окружающей среды, °С		-25...+70	-25...+70	-25...+70
Исполнение		стационарное		
Присоединение внешних проводников	переднее	+	+	+
	шина	+	+	+
Способ монтажа	кабель без кабельного наконечника	+	+	+
	кабель с кабельным наконечником	+	+	+
Вид привода	ручной	+	+	+
Пригодность для разъединения		+	+	+
Категория использования (EN 60947-2)		А	А	А
Габаритные размеры, мм	ширина	75	75	75
	высота	130	130	130
	глубина	60	60	60
Объем, дм ³		0,585	0,585	0,585
Масса, кг		0,8	0,8	0,8

Значения уставок электромагнитного расцепителя в зависимости от номинального тока

I_n , А	16	20	25	32	40	50	63	80	100
I_m/I_n	21,9	20	16	12,5	10	10	10	10	10
I_m , А	350	400	400	400	400	500	630	800	1000

Времятоковые характеристики автоматических выключателей ВА04-31Про



Примечания:

1 Зона работы от «горячего» состояния теплового расцепителя (в рабочем состоянии).

2 Зона работы от «холодного» состояния теплового расцепителя.