

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Судовое электрооборудование»

А. К. Пронина

О С Н О В Ы СУДОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Методические указания
к практическим работам по дисциплине
для студентов специальности
26.05.07 – «Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»
очной и заочной форм обучения

Севастополь
СевГУ
2021

УДК [629.5.03:621:313.13-83](076.5)
ББК 39.46:31.291-01я73
П81

Р е ц е н з е н т :

С.А. Конева – доцент кафедры «Судовое электрооборудование»,
канд. техн. наук, доцент

Пронина А.К.

П81 Основы судового электропривода: методические указания к практическим работам по дисциплине для студентов специальности 26.05.07 – «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» очной и заочной форм обучения / А.К. Пронина ; Севастопольский государственный университет, Морской институт, кафедра «Судовое электрооборудование». – Севастополь: СевГУ, 2021. – 27 с. – Текст : электронный.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, Морского института, специальности 26.05.07 — Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики, выполняющих практические работы по дисциплине «Основы судового электропривода».

УДК [629.5.03:621:313.13-83](076.5)
ББК 39.46:31.291-01я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Судовое электрооборудование» Морского института ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», протокол № 8 от 27 декабря 2020 г.

© Пронина А.К., 2021
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие № 1	4
Тема: Построение механических характеристик и расчет пусковых сопротивлений электродвигателей постоянного тока	4
Практическое занятие № 2	11
Тема: Построение механической характеристики асинхронного двигателя по четырем характерным точкам, используя каталожные данные	11
Практическое задание № 3	15
Тема: Выбор асинхронного двигателя повторно-кратковременного режима работы для электропривода механизма	15
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	27

Практическое занятие № 1

Тема: Построение механических характеристик и расчет пусковых сопротивлений электродвигателей постоянного тока

1.1. Расчет механической характеристики

Для построения механической характеристики ДПТ параллельного возбуждения (при $\Phi = \text{const}$). Достаточно знать две ее точки, поскольку все механические характеристики теоретически представляют собой прямые линии:

1 точка – точка идеального холостого хода ($\Omega = \Omega_0$; $M = 0$);

2 точка – точка номинальной нагрузки ($\Omega = \Omega_n$; $M = M_n$).

Номинальная скорость вращения двигателя берется из паспортных данных, задается в об/мин и ее необходимо перевести в системную единицу, т.е в рад/с.

$$\Omega_n = \frac{2\pi n}{60}, \quad \text{где } n \left(\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right); \quad \Omega \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right).$$

Номинальный момент, развиваемый на валу двигателя при номинальной мощности P_n [Вт], определяется по формуле

$$M_n = \frac{P_n}{\Omega_n} \quad (\text{Н} \times \text{м}).$$

Скорость идеального холостого хода находим из следующих известных соотношений

$$U_n = k\Phi\Omega_0; \quad E_n = k\Phi\Omega_n = U_n - I_n R_{\text{я}}.$$

После подстановки получаем:

$$\Omega_0 = \Omega_n \frac{U_n}{U_n - I_n R_{\text{я}}},$$

где $R_{\text{я}}$ – сопротивление цепи якоря (включает в себя сопротивление обмотки якоря, добавочных полюсов, серийной обмотки).

Если в паспортных данных не указано $R_{\text{я}}$, то его принимают исходя из соображений, что при номинальной нагрузке половину всех потерь в двигателе составляют потери в меди равные $(I_n)^2$

Отсюда сопротивление якоря:

$$R_{\text{я}} = \frac{U_n I_n - P_2}{2(I_n)^2}.$$

В числителе $U_n I_n - P_2 = P_1 - P_2 = \Sigma P$ – сумма всех потерь в двигателе.

Номинальный ток находим, используя формулу КПД

$$\eta_{\text{н}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1}; \quad P_1 = \frac{P_2}{\eta_{\text{н}}}; \quad \Delta P = P_2 \left(\frac{1}{\eta_{\text{н}}} - 1 \right);$$

$$I_{\text{н}} = \frac{P_1}{U_{\text{н}}} = \frac{P_2 \cdot U_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}},$$

где P_1 – электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети;

P_2 – механическая мощность на валу двигателя;

$\eta_{\text{н}}$ – номинальный КПД работы двигателя.

Используя естественную механическую характеристику (ЕМХ) легко построить искусственную механическую характеристику (ИМХ) при любом сопротивлении пускового реостата $R_{\text{р}}$, включенном последовательно в цепь якоря, то есть для $R = (R_{\text{я}} + R_{\text{р}})$. И строится ИМХ по двум точкам:

1 точка – скорость идеального холостого хода (Ω_0 ; 0);

2 точка – скорость, соответствующая номинальному моменту при заданном сопротивлении реостата $R_{\text{р}}$ ($\Omega_{\text{ном.р}}$; $M_{\text{н}}$).

Скорость $\Omega_{\text{нр}}$ определяется по формуле

$$\Omega_{\text{нр}} = \Omega_0 \left[1 - \frac{I_{\text{н}}(R_{\text{я}} + R_{\text{р}})}{U_{\text{н}}} \right].$$

ИМХ может быть построена и по точкам:

1 точка – точка идеального холостого хода;

2 точка – точка, соответствующая короткому замыканию (при стоянке двигателя под током) ($\Omega = 0$; $M = M_{\text{к}}$).

Момент короткого замыкания

$$M_{\text{к}} = M_{\text{н}} \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{н}}} = k\Phi I_{\text{к}},$$

где $I_{\text{к}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{р}}}$ – ток стоянки двигателя под током.

1.2. Расчет пусковых сопротивлений

ИМХ используется для расчета пусковых сопротивлений и построения кривых диаграмм.

Схема включения двигателя и пусковых сопротивлений с соответствующей нумерацией пусковых ступеней представлена на рис. 1.1.

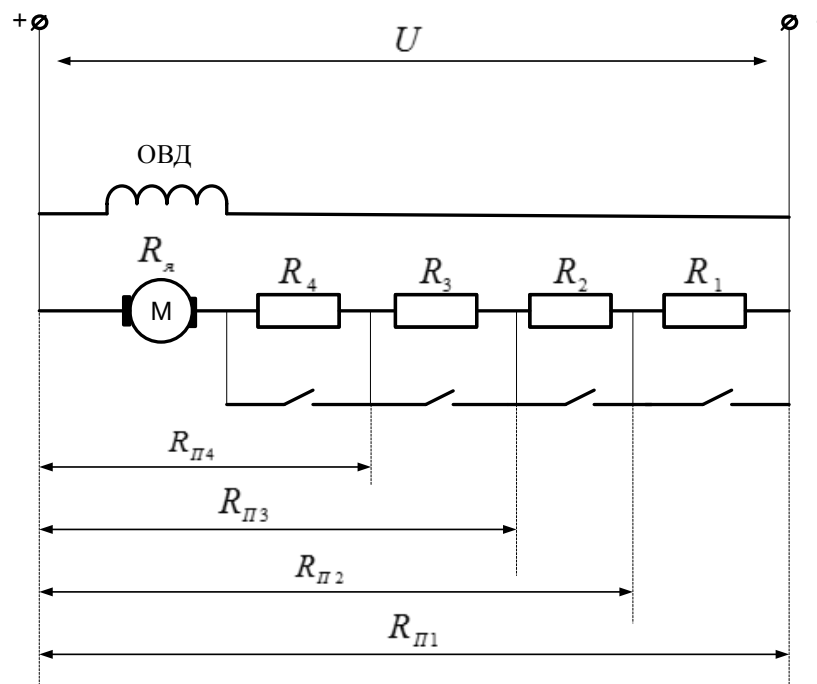


Рис.1.1 – Схема пуска ДПТ параллельного возбуждения с четырехступенчатым реостатом в цепи якоря

Имея в виду, что ДПТ параллельного возбуждения работает при постоянстве магнитного потока $\Phi = \text{const}$, вследствие чего $M \equiv I$ и при расчетах используют скоростную характеристику $\Omega = f(I_{\text{я}})$. В схеме рис. 1.1 используются четыре пусковых сопротивления $R_1 - R_4$, которые в порядке нумерации шунтируются по мере разгона двигателя при пуске. Все сопротивления различны по величине.

В начальный момент все сопротивления включаются последовательно в цепь якоря, при этом пусковой ток равен

$$I_1 = \frac{U - 0}{R_{\text{я}} + \Sigma R_{\text{п}}} \leq (2,5 \dots 3,0) I_{\text{ном}}.$$

Значение начального пускового тока I_1 ограничивается величиной начального пускового момента $M_1 = (2,5 \dots 3,0) M_{\text{ном}}$ и условиями допустимого искрения под щетками.

По мере разгона двигателя и увеличения скорости ток двигателя уменьшается в соответствии с формулой

$$I = \frac{U - k\Phi\Omega}{R_{\text{я}} + \Sigma R_{\text{п}}}.$$

При снижении тока до некоторого значения $I_2 = 1,2 I_{\text{ном}}$ контактом 1 шунтируется первая ступень пускового сопротивления $R_{\text{п1}}$, после чего ток скачком увеличивается до значения I_1 – называемый током включения, а ток

I_2 – ток переключения и на пусковой диаграмме соответствует точка «b» (рис. 1.2).

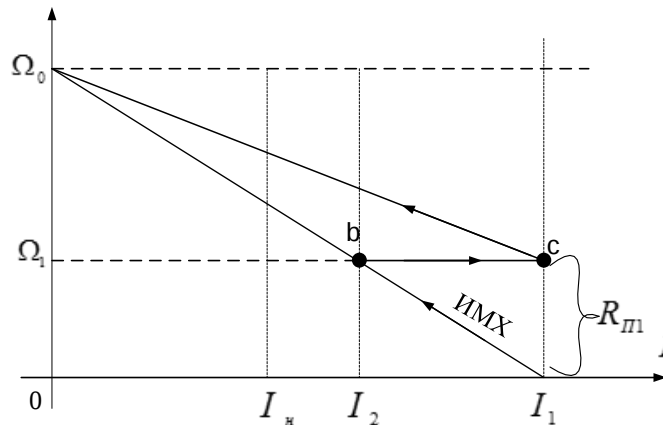


Рис. 1.2 – Пусковая диаграмма ДПТ

Далее шунтирование $R_{п1}$ должно производиться при скорости Ω_1 такой, чтобы второй бросок тока (точка «c») не превысил тока включения, при $R_{п1} \equiv \Omega_1$

$$I = I_1 = \frac{U - k\Phi\Omega_1}{R_{я} + (R_2 + R_3 + R_4)}.$$

Если в процессе пуска двигателя момент сопротивления и ток сопротивления соответственно равны: $M_c = M_n$; $I_c = I_n$ и постоянны, то броски тока и момента при шунтировании пусковых сопротивлений принимаются постоянными. Для этого сопротивления должны быть определенным образом рассчитаны. При этом график изменения тока при пуске принимает вид изображенный на рис.1.3 и называется пусковой диаграммой.

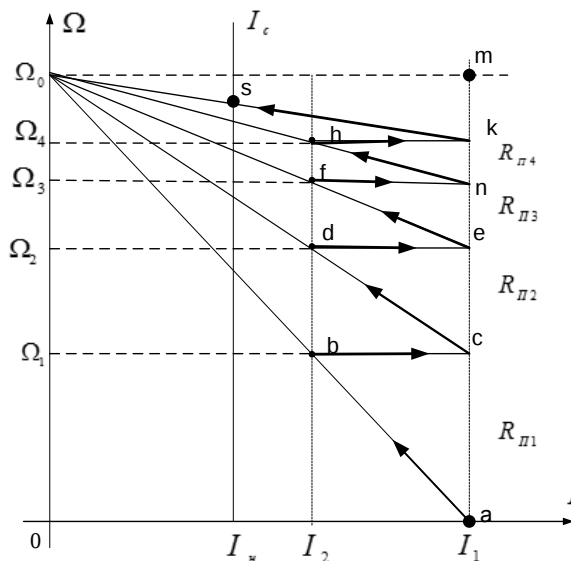


Рис.1.3 – Пусковая диаграмма четырехступенчатого пуска ДПТ

1.3. Порядок расчета

Для расчета пусковых сопротивлений используется графоаналитический метод, который заключается в следующем.

1. В зависимости от мощности ДПТ выбираем число пусковых ступеней z :

- для двигателей мощностью до 10кВт $z = 1-2$;
- для двигателей мощностью 10...30 кВт $z = 2-3$;
- для двигателей мощностью 30кВт и выше $z = 3-4$.

2. Предельно допустимый ток I_1 определяется условиями безыскровой коммутации и для ДПТ параллельного возбуждения принимается равным $I_1 = (2 \dots 2,5)I_{ном}$.

3. Ток переключения I_2 выбирают на 20...50 % больше тока статической нагрузки I_c . Токи I_1, I_2 и z связаны между собой зависимостью

$$I_1 = I_2^{z+1} \sqrt{\frac{U_n}{I_2 \cdot R_{я}}}.$$

Порядок расчета пусковых сопротивлений следующий:

1. Исходя из величины мощности ДПТ и условий его пуска выбираем необходимое число ступеней z ;

2. Задаемся величиной тока переключения из расчета

$$I_2 = (0,2 \dots 0,5)I_{ном} + I_{ном}.$$

3. Графически определяем сопротивление каждой ступени пускового устройства, для чего строим скоростную характеристику в осях (Ω, I) проводим ординаты через точки, соответствующие найденным значениям токов I_1 и I_2 . По оси ординат откладываем скорость в масштабе об/мин, учитывая что $\Omega \equiv n$, $\Omega = 2\pi n / 60$ и $n = 60\Omega / 2\pi$;

4. Выполняем графическое построение диаграммы. При правильно построенной ПД и подобранных пусковых сопротивлений выход на ЕМХ будет иметь место при токе I_1 . В случае, когда бросок тока при шунтировании последующей ступени пускового сопротивления не совпадает с I_1 , нужно сделать новое построение, изменив значение I_1 таким образом, чтобы последующий переход с ИМХ на ЕМХ произошел при токе I_1 ;

5. Отрезки ординат am , проведенные через точку I_1 и заключенные между реостатными характеристиками соответствуют в определенном масштабе ступенями пускового сопротивления в омах. Масштаб находится из условия, что ордината am соответствует полному сопротивлению $(R_{я} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$, отсюда находим МАСШТАБ

$$m_R = \frac{U_n}{I_1 \cdot am} \left(\frac{\text{Ом}}{\text{мм}} \right).$$

Используя масштаб, определяем пусковые сопротивления (Ом):

$$R_1 = m_R \cdot ac;$$

$$R_2 = m_R \cdot ce;$$

$$R_3 = m_R \cdot en;$$

$$R_4 = m_R \cdot nk.$$

При $R_{\text{я}} = m_R \cdot km.$

1.4. Задание для самостоятельной работы:

Таблица 1 – Основные технические данные электродвигателей постоянного тока серии ПР, напряжением 220 В

№ вар.	тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток, А	КПД
1.	ПР51М	2,6	1000	14,6	80,5
2.	ПР52М	5,1	1500	28,5	81
3.	ПР51М	7,3	3000	44	75
4.	ПР71М	8	1000	32	85
5.	ПР62М	9,5	1500	49,5	86,5
6.	ПР72М	11	1000	60	84,5
7.	ПР61М	12	3000	66,5	82
8.	ПР81М	13,5	1000	72,5	84,5
9.	ПР71М	16	1500	87,8	84
10.	ПР91М	19	1000	107	84,5
11.	ПР71М	27,5	3000	146	85,6
12.	ПР92М	25	1000	131	86,5
13.	ПР82М	30	1500	156	87,5
14.	ПР91М	33	1500	175	85,5
15.	ПР72М	34,5	3000	180	87,5
16.	ПР102М	41	1000	214	87
17.	ПР92М	45	1500	234	87,5
18.	ПР82М	52	3000	270	88
19.	ПР112М	65	1000	333	88,5
20.	ПР102М	69	1500	354	88,5
21.	ПР111М	80	1500	410	88,5
22.	ПР112М	100	1500	510	89,5

Контрольные вопросы

1. Маркировка концов обмоток, расположение выводов на клеммной плате коробки выводов ДПТ.
2. Расположение и назначение полюсных катушек и обмотки якоря ДПТ.
3. Назначение и расположение коллектора и щеточного устройства.
4. Изобразите цепь якоря для пуска двигателя в две ступени. Назначение пускового сопротивления.
5. Формула напряжения на зажимах ДПТ. Дать пояснение, ссылаясь на 2-й закон Кирхгофа.
6. Зависимость тока якоря от скорости вращения двигателя. Формула и ее расшифровка.
7. Изобразите цепь якоря ДПТ параллельного возбуждения с реверсивным мостиком.

Практическое занятие № 2

Тема: Построение механической характеристики асинхронного двигателя по четырем характерным точкам, используя каталожные данные

2.1. Механические характеристики в двигательном режиме работы

Механическая характеристика асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для двигательного режима работы может быть построена по каталожным данным. Обычно расчет характеристики проводится по упрощенной формуле Клосса:

$$M = \frac{2M_{\kappa}}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s}}, \quad (2.1)$$

Входящие в выражение (2.1) параметры определяются по исходным данным с использованием формул:

$$\left. \begin{aligned} M_{\kappa} &= \lambda \cdot M_{\text{н}} = \lambda \cdot \frac{P_{\text{н}}}{\Omega_{\text{н}}}; \\ s_{\kappa} &= s_{\text{н}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}); \\ s_{\text{н}} &= \frac{n_0 - n_{\text{н}}}{n_0} = \frac{\Omega_0 - \Omega_{\text{н}}}{\Omega_0}; \\ \Omega_{\text{н}} &= \frac{2\pi \cdot n_{\text{н}}}{60}; \quad \lambda = \frac{M_{\kappa}}{M_{\text{н}}}. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Следует иметь в виду, что расчет характеристик по формуле Клосса дает приемлемые результаты лишь в зоне рабочих скольжений от 0 до s_{κ} . При скольжении от s_{κ} до $s = 1$ и выше погрешность может достигать существенных значений, что объясняется зависимостью параметров асинхронного двигателя от частоты тока в роторе. Поэтому поступают следующим образом: аналитически рассчитывают рабочий участок характеристики от $s = 0$ до s_{κ} включительно по формуле (2.1).

Оставшуюся часть зависимости $\Omega = f(M)$ строят приближенно, соединяя плавной линией точки с координатами (M_{κ}, s_{κ}) и $(M_{\text{п}}, s = 1)$.

В каталожных данных задаются кратности:

- 1) кратность пускового тока ($k_{\text{п}}$ или $i_{\text{п}}$) $I_{\text{п}}/I_{\text{н}} = (5 \div 7)$;
- 2) пускового момента ($k_{\text{п}}$ или $\mu_{\text{п}}$, λ) $M_{\text{п}}/M_{\text{н}} = (0,8 \div 1,4)$;
- 3) максимального (критического) момента ($\mu_{\text{м}}$, $k_{\text{м}}$) $M_{\text{к}}/M_{\text{н}} = (1,8 \div 2,4)$.

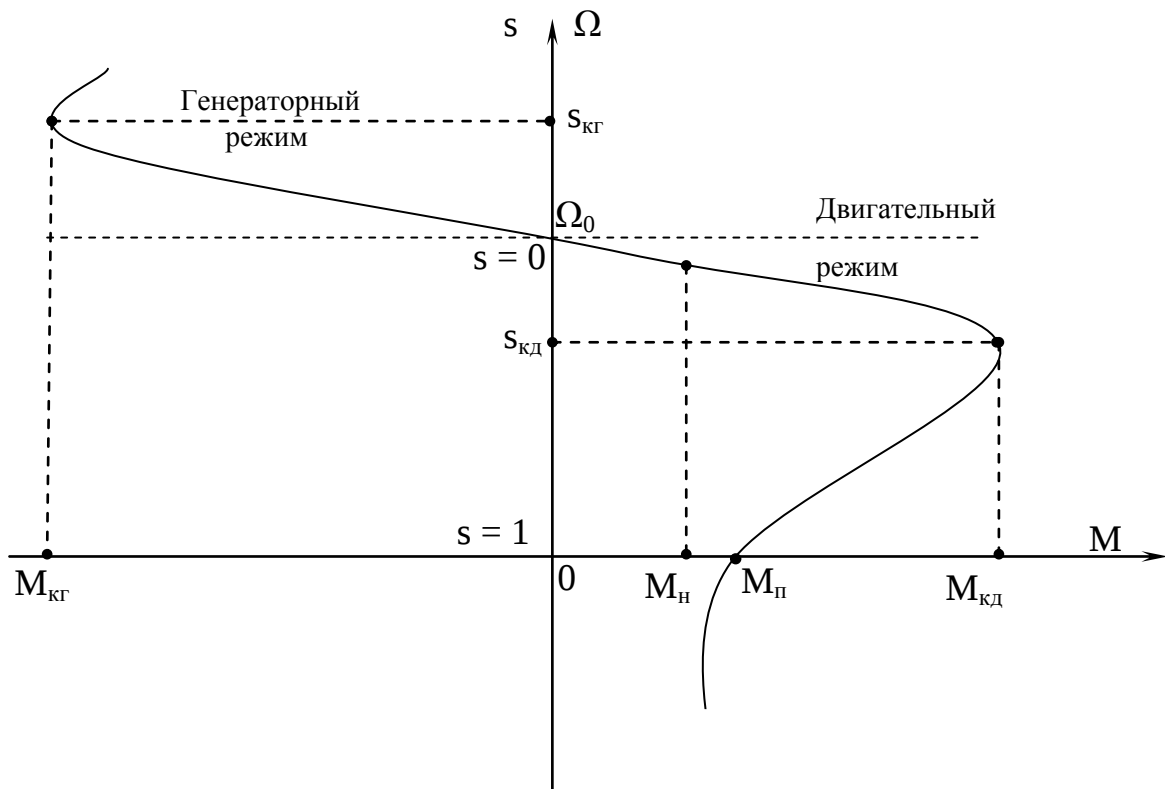


Рис. 2.1 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

2.2. Пример выполнения:

1. Для построения механической характеристики АД выбираем тип АД и выписываем его основные технические данные.

Например, тип АД МАП 721 4 двигатель морского исполнения асинхронный с хорошими пусковыми характеристиками, диаметр статора 721 мм, $2p=4$ полюсов (две пары полюсов $p=2$)

2. Выполним построение механической характеристики.

Данные двигателя:

$$p = 4, \quad P = 120 \text{ кВт}, \quad n = 1380 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, \quad U = 400 \text{ В}, \quad I = 230 \text{ А},$$

$$i_{\text{п}} = 5,6, \quad k_{\text{п}} = 1,4, \quad k_{\text{max}} = 3, \quad \cos \varphi = 0,89.$$

3. Определяем синхронную скорость вращения поля статора

$$n_0 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин}.$$

4. Точка пуска имеет координаты $(M_{\text{п}}; n_{\text{п}})$ (1162; 0).

В начальный момент пуска двигатель скорость не развивает $n_{\text{п}} = 0$.

$$M_{\text{п}} = k_{\text{п}} \cdot M_{\text{н}} = 1,4 \cdot 830 = 1162 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где

$$M_H = \frac{P_H}{\omega} = \frac{120000}{144,4} = 830 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{6,28 \cdot 1380}{60} = 144,4 \text{ рад/с.}$$

5. Точка критического (максимального) момента имеет координаты $(M_{max}; n_{max})$ (2490; 736)

$$M_{max} = k_{max} \cdot M_H = 3 \cdot 830 = 2490 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$n_{max} = n_H (1 - s_{max}) = 1380 (1 - 0,466) = 736 \text{ об/мин};$$

$$s_{max} = s_H \left(k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - 1} \right) = 0,08 \left(3 + \sqrt{3^2 - 1} \right) = 0,466;$$

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1380}{1500} = 0,08.$$

6. Точка номинального режима имеет координаты $(M_H; n_H)$ (830; 1380).

7. Точка синхронного вращения $(M_0; n_0)$ (0; 1500).

Строим механическую характеристику АД по расчетным точкам (рис. 2.2).

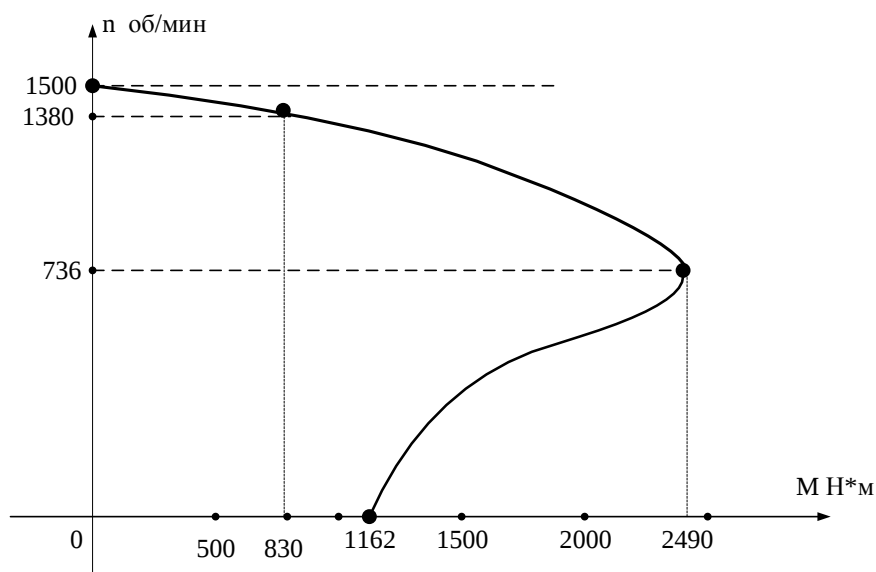


Рис. 2.2 - Механическая характеристика АД

Вывод: Закрепили знание расчетных формул основных параметров асинхронного двигателя и приобрели навык построения механической характеристики по каталожным данным

2.3. Задание для самостоятельной работы

Рассчитать и построить механическую характеристику асинхронного двигателя по его начальным техническим данным

Таблица 2.1 – Технические характеристики судовых асинхронных электродвигателей серии МАП

№ вар.	тип	Мощность	Частота вращения, об/мин	Ном. ток, А	Макс. момент, Н*м	Пуск. момент, Н*м	Пуск. ток, А	$\cos\varphi$	КПД
1.	МАП121-4	2,4	1425	5,3	4,3	3,2	26,5	0,86	80
2.	МАП122-4	4,4	1440	10,7	9,6	8,5	68	0,76	82
3.	МАП221-4	7	1440	16,5	18	14,5	95	0,75	85
4.	МАП421-4	10	1425	19,2	22	16	130	0,9	87
5.	МАП421-4	14	1425	28,5	32	26	184	0,87	85
6.	МАП422-4	20	1465	38,5	57	40	320	0,88	89
7.	МАП521-4	34	1465	61	90	50	550	0,92	91
8.	МАП621-4	67	1460	115	170	85	920	0,95	93
9.	МАП622-4	90	1465	160	250	150	1580	0,92	93
10.	МАП121-6	1,2	915	4,4	4,2	4,2	15,2	0,63	66
11.	МАП122-6	2,2	880	7,3	8,3	8,3	27	0,66	69
12.	МАП221-6	4	900	11,8	13	13	46	0,68	83
13.	МАП421-6	8	930	22,3	36	36	115	0,68	80
14.	МАП422-6	15	880	36	55	55	170	0,8	79
15.	МАП521-6	25	960	47	85	50	310	0,9	89
16.	МАП621-6	50	965	92	165	85	600	0,91	90
17.	МАП622-6	65	970	130	270	160	1000	0,85	89

Контрольные вопросы

1. Назвать основные точки (координаты) механической характеристики АД.
2. Определение номинальной угловой скорости, критического скольжения АД.
3. Что определяет полюсность (количество пар полюсов) АД.
4. Назвать основные кратности АД: пусковой и критический момент, пусковой ток.
5. Условие перехода АД из двигательного в генераторный режим.

Практическое задание № 3

Тема: Выбор асинхронного двигателя повторно-кратковременного режима работы для электропривода механизма

3.1. Нагрузочная диаграмма исполнительного механизма

Режим работы – повторно-кратковременный, скорость $\Omega_{\text{мех}} = \text{const}$ для всех нагрузок и не зависит от $M_{\text{дв}}$.

Асинхронный двигатель предназначен для привода механизма. Механизм задан нагрузочной диаграммой в виде зависимости $M_{\text{м}}(t)$ рис. 3.1

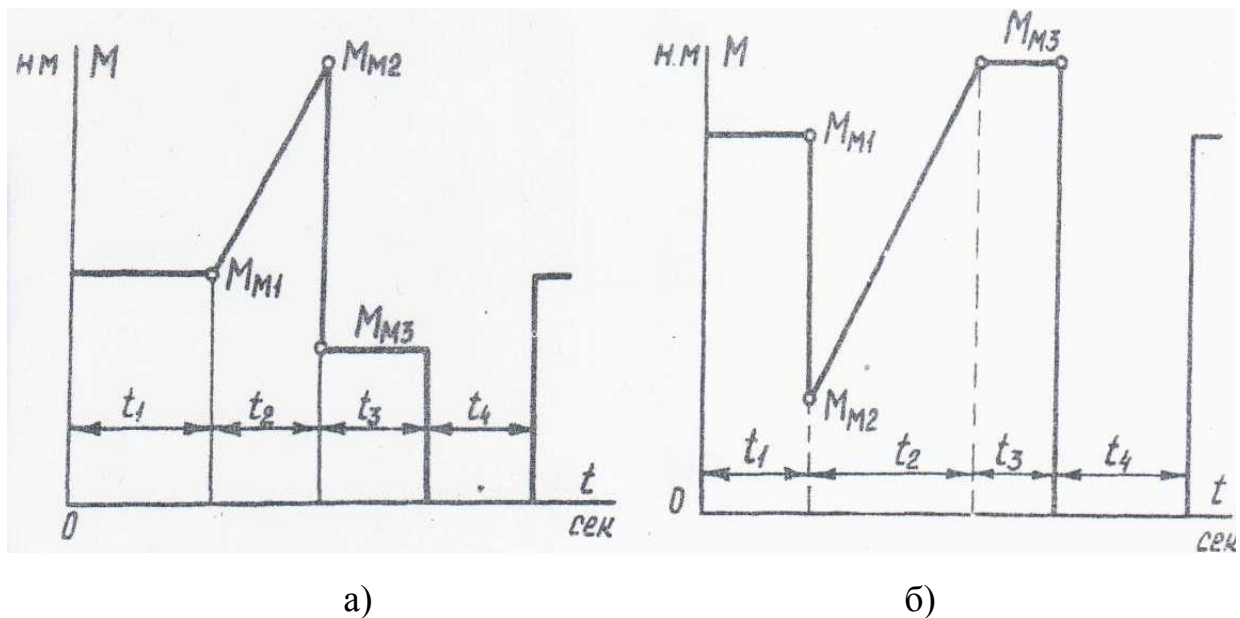


Рис. 3.1 - Нагрузочные диаграммы механизма при повторно-кратковременном режиме работы

Данные механизма со статическими моментами, не зависящие от скорости:

№	$M_{\text{м1}}$	$M_{\text{м2}}$	$M_{\text{м3}}$	t_1	t_2	t_3	t_4	$n_{\text{м}}$	$J_{\text{мех}}$
	$H^*_{\text{м}}$	$H^*_{\text{м}}$	$H^*_{\text{м}}$	с	с	с	с	об/мин	кг·м ²

Режим работы повторно-кратковременный, при этом время цикла:

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 < 10 \text{ мин.}$$

Относительная продолжительность включения:

$$\varepsilon = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}.$$

При $\varepsilon \geq 0,6$ можно выбирать двигатель для механизма с данными графика нагрузки из каталога двигателей продолжительного режима работы S1.

3.2. Предварительный выбор двигателя

Предварительный выбор мощности производим по перегрузочной способности ($P_{max} = P_2$)

$$P_{пер} = \frac{M_{м2} \cdot \Omega_{м}}{0,85\eta_{пер} \cdot \lambda},$$

где $\eta_{пер} \approx 0,8$ КПД передачи (редуктора); $0,85\eta_{пер}$ – запас на перегрузочную способность двигателя ($\lambda \approx 2,0$); 0,85- запас на возможное понижение напряжения, при котором перегрузочная способность уменьшается;

$$\Omega_{м} = \frac{2\pi \cdot n_{м}}{60}.$$

Предварительно определяем необходимую мощность двигателя (Вт) по среднему моменту механизма и его скорости

$$M_{ср.м} = \frac{M_{м1} \cdot t_1 + \frac{M_{м1} + M_{м2}}{2} \cdot t_2 + M_{м3} \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3} \text{ (Н * м)}$$

$$P_{ср} = \frac{M_{ср.м} \cdot \Omega_{м}}{\eta_{пер}}$$

Принимаем расчетную мощность двигателя равной

$$P_{ср} < P_{расч.дв} < P_{пер}.$$

Выписываем

$U_{н}$ (В), - номинальное напряжение; $n_0 \left(\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right)$ – синхронная скорость вращения поля статора

Приводим максимальный момент нагрузки к валу двигателя и находим максимальный момент двигателя, который определяет его перегрузочную способность

$$M_{м,дв} = M_{м2} \cdot \frac{n_{м}}{n_0} \text{ (Н * м)}.$$

Расчетное значение максимального момента двигателя, с учетом возможного падения напряжения до $0,9 U_{н}$ (коэффициент запаса $0,9^2 = 0,81$)

$$M_{м,расч} = \frac{M_{м,дв}}{0,9^2} \text{ (Н * м)}.$$

Выбираем двигатель

Выписываем технические параметры выбранного АД:

тип, P_n (кВт); $\frac{\sigma_b}{\sigma_{min}}$; U_n (В); $\cos \varphi_n$; $\eta(\%)$;

i_n ; k_n ; k_m – основные кратности; r_1, r_2', r_{2n}' – активные сопротивления ротора (Ом); $J_{дв} = GD^2/4$ – момент инерции двигателя (кг*м²).

3.3. Предварительная обработка данных двигателя для номинального режима

1) Потребляемая из сети мощность, кВА

$$S_{1n} = \frac{P_n}{\eta_n \cdot \cos \varphi_n}$$

2) Номинальный ток, А

$$I_n = \frac{S_{1n}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

3) Номинальная / синхронная скорость в системных единицах, рад/с

$$\Omega_n = \frac{2\pi \cdot n_n}{60}$$

$$\Omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60}$$

4) Номинальный момент, Н * м

$$M_n = \frac{P_n}{\Omega_n}$$

5) Момент пусковой, Н * м

$$M_n = k_n \cdot M_n$$

6) Момент максимальный, Н * м

$$M_m = k_m \cdot M_n$$

Сравниваем расчетный максимальный момент с фактическим максимальным моментом

$$M_{м.расч} < M_m$$

Если соблюдается данное сравнение, то делаем вывод, что выбранный двигатель подходит по перегрузочной способности. Если нет, выбираем двигатель большей мощности расчет повторяем.

3.4. Проверка выбранного двигателя на нагрев по методу средних потерь

1) Для каждого интервала графика нагрузки находим момент двигателя, Н*м

$$M_1 = \frac{M_{м1}}{\eta_{пер} \cdot i_{пер}},$$

где $i_{\text{пер}}$ – передаточное число редуктора $i_{\text{пер}} = n_{\text{н}}/n_{\text{м}}$;

$$M_2 = \frac{M_{\text{м1}} + M_{\text{м2}}}{2 \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot i_{\text{пер}}};$$

$$M_3 = \frac{M_{\text{м3}}}{\eta_{\text{пер}} \cdot i_{\text{пер}}}.$$

Мощность загрузки двигателя по рабочим i -интервалам (участкам графика нагрузки), Вт

$$P_i = M_i \cdot \Omega_{\text{н}}.$$

2) Находим потери мощности в двигателе на каждом установившемся участке работы двигателя, используя условие, что $\eta_{\text{н}} = \text{const}$

$$\Sigma \Delta P = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} - P_{\text{н}}.$$

Из этих потерь выделяем потери в обмотках статора и ротора (переменные потери):

$$\Delta P_{\text{н}} = 3I_{\text{н}}^2(r_1 + r_2').$$

Ток двигателя на i -участке нагрузочной диаграммы, считая $I_i \equiv P_i$, А

$$I_i = \frac{P_i}{P_{\text{н}}} \cdot I_{\text{н}}.$$

Потери мощности на i -участке нагрузочной диаграммы, Вт

$$\Delta P_i = 3I_i^2(r_1 + r_2').$$

3) Находим потери энергии в переходных режимах

Предварительно определяем суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя

$$J = J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{мех}}}{i_{\text{пер}}^2} \approx J_{\text{дв}} k_i$$

$k_i = 1,5 \dots 2,5$ принимаем $k_i = 2,0$

Время пуска находим по приближенным формулам

$$t_{\text{п}} = \frac{J \cdot \Omega_{\text{н}}}{M_{\text{п.ср}} - M_1} \quad (\text{с}),$$

где $M_{\text{п.ср}}$ – среднее значение пускового момента, Н*м

$$M_{\text{п.ср}} = \frac{M_{\text{м}} + M_{\text{п}}}{2} M_{\text{н}}.$$

4) Время торможения в режиме противовключения (ТПВ), с

$$t_{\text{т}} = \frac{J \cdot \Omega_{\text{н}}}{M_{\text{т}} - M_3}.$$

Тормозной момент, Н*м

$$M_{\text{т}} = 0,9 M_{\text{п}}.$$

Потери энергии за время пуска с моментом сопротивления (нагрузки) M_1 (Дж)

$$\Delta A_{\text{п}} = \frac{J \cdot \Omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right) + M_1 \cdot \frac{\Omega_0}{2} \cdot t_{\text{п}}.$$

5) Потери энергии в режиме торможения

$$\Delta A_{\text{т.пв}} = 3 \left[\frac{J \cdot \Omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right) \right] - M_3 \cdot \frac{\Omega_0}{2} \cdot t_{\text{т}}.$$

Записываем уравнение эквивалентных потерь мощности

$$\Delta P_{\text{экв}} = \frac{\Delta A_{\text{п}} + \Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3 + \Delta A_{\text{т.пв}}}{\beta_1 \cdot t_{\text{п}} + t_1 + t_2 + t_3 + \beta_1 \cdot t_{\text{т}} + \beta_0 \cdot t_0},$$

где β_0 – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения при стоянке ($\beta_0 = 0,3$); β_1 – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения в переходных режимах изменения скорости в пределах от $\Omega = 0$ до $\Omega = \Omega_{\text{н}}$:

$$\beta_1 = \frac{1 + \beta_0}{2} = \frac{1 + 0,3}{2} = 0,65.$$

6) Сравниваем эквивалентные потери $\Delta P_{\text{экв}}$ с потерями $\Delta P_{\text{н}}$ в номинальном режиме нагрузки выбранного двигателя:

$$\Delta P_{\text{н}} > \Delta P_{\text{экв}}.$$

Если сравнение соблюдается, то делаем вывод, что двигатель данной мощности выбран подходит по условиям перегрузочной способности и по условию нагрева.

3.5. Пример расчета

Согласно варианту выбираем график работы механизма, рис. 3.2.

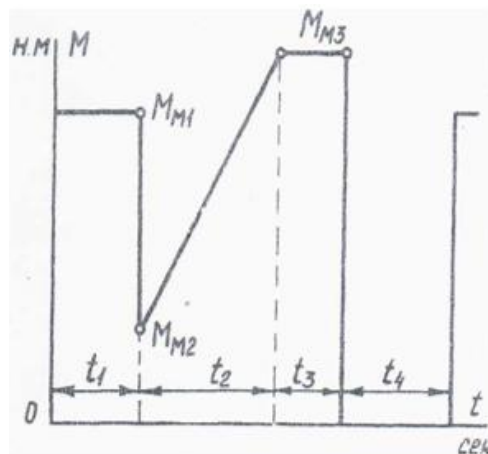


Рис. 3.2 – График работы механизма, согласно варианту

Данные механизма со статическими моментами, не зависящими от скорости, вносим в табл. 3.1

Таблица 3.1 - Исходные данные механизма

№	$M_{м1}$	$M_{м2}$	$M_{м3}$	t_1	t_2	t_3	t_4	n_M	$J_{мех}$
	$H^*_{м}$	$H^*_{м}$	$H^*_{м}$	с	с	с	с	об/мин	кг·м ²
1	460	840	820	30	20	70	100	250	10,23

Режим работы повторно-кратковременный, при этом время цикла

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 < 10 \text{ мин.}$$

Относительная продолжительность включения

$$\varepsilon = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} = 0,5455.$$

При $\varepsilon \geq 0,6$ можно выбрать двигатель для механизма с данными графика нагрузки из каталога двигателей продолжительного режима работы S1.

Предварительный выбор двигателя

Предварительный выбор мощности производим по перегрузочной способности ($P_{max} = P_2$)

$$P_{пер} = \frac{M_{м2} \cdot \Omega_M}{0,85 \eta_{пер} \cdot \lambda} = \frac{840 \cdot 26,2}{0,85 \cdot 0,8 \cdot 2,0} = 16\,182 \text{ Вт} \approx 16 \text{ кВт},$$

где $\eta_{пер} \approx 0,8$ КПД передачи (редуктора); $0,85 \eta_{пер}$ – запас на перегрузочную способность двигателя ($\lambda \approx 2,0$); 0,85 - запас на возможное понижение напряжения, при котором перегрузочная способность уменьшается;

$$\Omega_M = \frac{2\pi \cdot n_M}{60} = 26,2.$$

Предварительно определяем необходимую мощность двигателя по среднему моменту механизма и его скорости

$$\begin{aligned}
 M_{ср.м} &= \frac{M_{м1} \cdot t_1 + \frac{M_{м1} + M_{м2}}{2} \cdot t_2 + M_{м3} \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3} \\
 &= \frac{460 \cdot 30 + \frac{460 + 840}{2} \cdot 20 + 820 \cdot 70}{120} = 426,67 \text{ Н·м} \\
 P_{ср} &= \frac{M_{ср.м} \cdot \Omega_M}{\eta_{пер}} = \frac{426,67 \cdot 26,2}{0,8} \approx 14 \text{ кВт}.
 \end{aligned}$$

Принимаем расчетную мощность двигателя равной

$$14 \text{ кВт} < P_{\text{расч.дв}} < 16 \text{ кВт};$$

$$U_{\text{н}} = 380 \text{ В } n_0 = 1500 \text{ об/мин.}$$

Приводим максимальный момент нагрузки к валу двигателя и находим максимальный момент двигателя, который определяет его перегрузочную способность

$$M_{\text{м.дв}} = M_{\text{м2}} \cdot \frac{n_{\text{м}}}{n_0} = 840 \frac{250}{1500} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Расчетное значение максимального момента двигателя, с учетом возможного падения напряжения до $0,9 U_{\text{н}}$ (коэффициент запаса $0,9^2 = 0,81$):

$$M_{\text{м.расч}} = \frac{140}{0,9^2} = 175 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Выбираем двигатель

МАФ 83-64/4

$$P_{\text{н}} = 14,5 \text{ кВт}; 380 \text{ В}; 1460 \frac{\text{об}}{\text{мин}}; \cos \varphi_{\text{н}} = 0,9; \eta = 87,5\%; i_{\text{п}} = 6,0;$$

$$k_{\text{п}} = 1,3; k_{\text{м}} = 2,1; r_1 = 0,27; r_2' = 0,19 \text{ Ом}; r_{2\text{п}}' = 0,302;$$

$$GD = 1,18 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; (J_{\text{дв}} = GD^2/4 = 0,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2).$$

Предварительная обработка данных двигателя для номинального режима

1) Потребляемая из сети мощность

$$S_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}} = \frac{14,5}{0,875 \cdot 0,9} = 18,41 \text{ кВА.}$$

2) Номинальный ток

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{1\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{18410}{1,73 \cdot 380} = 28,1 \text{ А.}$$

3) Номинальная скорость в системных единицах (рад/с)

$$\Omega_{\text{н}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{н}}}{60} = \frac{6,28 \cdot 1460}{60} = 152,8 \text{ рад/с};$$

$$\Omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{6,28 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с.}$$

4) Номинальный момент

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\Omega_{\text{н}}} = \frac{14500}{152,8} = 94,89 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

5) Момент пусковой

$$M_{\text{п}} = 1,3 \cdot M_{\text{н}} = 123,35 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

6) Момент максимальный

$$M_{\text{м}} = 2,1 \cdot M_{\text{н}} = 199,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Сравниваем расчетный максимальный момент с фактическим максимальным моментом

$$M_{\text{м.расч}} = 175 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{м}} = 199 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вывод: выбранный двигатель подходит по перегрузочной способности.

Проверка выбранного двигателя на нагрев по методу средних потерь

1) Для каждого интервала графика нагрузки находим момент и мощность фактической загрузки двигателя

$$M_1 = \frac{M_{\text{м1}}}{\eta_{\text{пер}} \cdot i_{\text{пер}}} = \frac{460}{0,8 \cdot 5,84} = 98,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $i_{\text{пер}}$ – передаточное число редуктора $n_{\text{н}}/n_{\text{м}} = 1460/250 = 5,84$.

$$M_2 = \frac{M_{\text{м1}} + M_{\text{м2}}}{2 \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot i_{\text{пер}}} = \frac{650}{2 \cdot 0,8 \cdot 5,84} = 139,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{M_{\text{м3}}}{\eta_{\text{пер}} \cdot i_{\text{пер}}} = \frac{320}{0,8 \cdot 5,84} = 68,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность загрузки двигателя по рабочим интервалам (участкам графика нагрузки):

$$P_1 = M_1 \cdot \Omega_{\text{н}} = 98,5 \cdot 152,8 = 15,05 \text{ кВт};$$

$$P_2 = M_2 \cdot \Omega_{\text{н}} = 139,1 \cdot 152,8 = 21,25 \text{ кВт}$$

$$P_3 = M_3 \cdot \Omega_{\text{н}} = 68,5 \cdot 152,8 = 10,5 \text{ кВт}.$$

2) Находим потери мощности в двигателе на каждом установившемся участке работы двигателя, используя условие, что $\eta_{\text{н}} = \text{const}$

$$\Sigma \Delta P = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} - P_{\text{н}} = \frac{14,5}{0,875} - 14,5 = 2,07 \text{ кВт}.$$

Из этих потерь выделяем потери в обмотках статора и ротора (переменные потери):

$$\Delta P_{\text{н}} = 3I_{\text{н}}^2(r_1 + r_2') = 3(28,1^2)(0,27 + 0,19) = 1100 \text{ Вт}.$$

Ток двигателя на i -участке нагрузочной диаграммы, считая $I_i \equiv P_i$

$$I_1 = \frac{P_1}{P_{\text{н}}} \cdot I_{\text{н}} = \frac{15,05}{14,5} \cdot 28,1 = 29,17 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{P_2}{P_{\text{н}}} \cdot I_{\text{н}} = \frac{21,25}{14,5} \cdot 28,1 = 41,18 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{P_3}{P_{\text{н}}} \cdot I_{\text{н}} = \frac{10,5}{14,5} \cdot 28,1 = 20,35;$$

$$\Delta P_1 = 3I_1^2(r_1 + r_2') = 3 \cdot 29,17^2(0,27 + 0,19) = 1174 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_2 = 3I_2^2(r_1 + r_2') = 3 \cdot 41,18^2(0,27 + 0,19) = 1747 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_3 = 3I_3^2(r_1 + r_2') = 3 \cdot 20,35^2(0,27 + 0,19) = 571 \text{ Вт.}$$

3) Находим потери энергии в переходных режимах.

Предварительно определяем суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя:

$$\begin{aligned} J &= J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{мех}}}{i_{\text{пер}}^2} = 0,3 + \frac{10,23}{5,84^2} \approx J_{\text{дв}} k_i, \\ k_i &= 1,5 \dots 2,5 \text{ принимаем } k_i = 2,0; \\ J &= 0,3 \cdot 2,0 = 0,6 \text{ кг*м}^2. \end{aligned}$$

Время пуска находим по приближенным формулам

$$t_{\text{п}} = \frac{J \cdot \Omega_{\text{н}}}{M_{\text{п.ср}} - M_1} = \frac{0,6 \cdot 152,89}{161,33 - 98,5} = 1,46 \text{ с,}$$

где

$$M_{\text{п.ср}} = \frac{M_{\text{м}} + M_{\text{п}}}{2} = \frac{2,1 + 1,3}{2} M_{\text{н}} = 1,7 \cdot 94,9 = 161,33 \text{ Н*м.}$$

Время торможения в режиме противовключения (ТПВ)

$$t_{\text{т}} = \frac{J \cdot \Omega_{\text{н}}}{M_{\text{т}} - M_3} = \frac{0,6 \cdot 152,8}{111,2 + 68,5} = 0,51 \text{ с;}$$

$$M_{\text{т}} = 0,9 M_{\text{п}} = 0,9 \cdot 123,35 = 111,2 \text{ Н*м.}$$

Потери энергии за время пуска с моментом сопротивления (нагрузки) M_1

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{п}} &= \frac{J \cdot \Omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right) + M_1 \cdot \frac{\Omega_0}{2} \cdot t_{\text{п}} \\ &= \frac{0,6 \cdot 157^2}{2} \left(1 + \frac{0,27}{0,19} \right) + 98,5 \cdot \frac{157}{2} \cdot 1,46 = 21731 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Потери энергии в режиме торможения

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{т.пв}} &= 3 \left[\frac{J \cdot \Omega_0^2}{2} \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right) \right] - M_3 \cdot \frac{\Omega_0}{2} \cdot t_{\text{т}} = 31500 - 68,5 \cdot \frac{157}{2} \cdot 0,51 = \\ &= 28757,6 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

4) Записываем уравнение эквивалентных потерь мощности:

$$\Delta P_{\text{экр}} = \frac{\Delta A_{\text{п}} + \Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3 + \Delta A_{\text{т.пв}}}{\beta_1 \cdot t_{\text{п}} + t_1 + t_2 + t_3 + \beta_1 \cdot t_{\text{т}} + \beta_0 \cdot t_0},$$

где β_0 – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения при стоянке ($\beta_0 = 0,3$); β_1 – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения в переходных режимах изменения скорости в пределах от $\Omega = 0$ до $\Omega = \Omega_{\text{н}}$.

$$\beta_1 = \frac{1 + \beta_0}{2} = \frac{1 + 0,3}{2} = 0,65;$$

$$\Delta P_{\text{экв}} = \frac{21731 + 1174 \cdot 30 + 1747 \cdot 20 + 571 \cdot 70 + 28753}{0,65 \cdot 1,46 + 20 + 30 + 70 + 0,65 \cdot 0,51 + 0,3 \cdot 100} = 1095 \text{ Вт.}$$

5) Сравниваем эквивалентные потери $\Delta P_{\text{экв}}$ с потерями $\Delta P_{\text{н}}$ в номинальном режиме нагрузки выбранного двигателя:

$$\Delta P_{\text{н}} = 1100 \text{ Вт} > \Delta P_{\text{экв}} = 1095 \text{ Вт.}$$

Вывод: двигатель мощностью 14,5 кВт выбран по условиям перегрузочной способности подходит и по условию нагрева.

3.6. Задание для самостоятельной работы

Таблица 3.2 – Параметры исполнительного механизма

вариант	N	M	M	t	t	t	n	J _{мех}	η _{пер}
	Н·м	Н·м	Н·м	с	с	с	об/мин	кг·м ²	КПД
Нагрузочная диаграмма рисунок 1, а)									
	120	300	200	65	45	50	80	8,67	0,81
	125	325	225	75	40	65	120	10,2	0,75
	90	350	250	72	23	55	140	11,73	0,72
	175	415	375	25	10	35	95	10,45	0,78
	160	320	190	50	25	15	120	8,92	0,86
	240	400	300	130	35	45	130	9,69	0,83
	150	375	275	95	35	90	110	9,43	0,79
	210	450	300	90	28	63	140	10,2	0,87
Нагрузочная диаграмма рисунок 1, б)									
	530	250	790	60	55	40	105	170	8,41
	435	215	625	65	50	55	180	160	11,47
	340	130	550	82	25	45	70	180	11,98
	285	125	570	30	20	25	140	120	9,94
	565	325	810	60	30	15	150	210	9,18
	455	210	600	140	45	55	210	185	9,82
	465	170	670	95	45	90	90	180	9,56
Нагрузочная диаграмма рисунок 1, а)									
	320	520	230	60	30	80	130	250	10,45
	365	600	200	55	25	70	120	180	8,67
	425	735	325	65	40	85	150	150	10,2
	250	550	155	70	20	85	180	200	11,73
	375	615	275	30	20	45	160	180	10,71
Нагрузочная диаграмма рисунок 1, б)									
	560	220	820	50	15	25	150	200	8,92
	440	200	700	120	35	65	220	180	9,69
	430	275	645	95	35	90	240	170	9,43
	310	190	600	120	28	43	180	185	11,47
	520	340	800	65	50	40	320	250	8,67

Таблица 3.3 – Технические данные асинхронных двигателей

Тип АД	P_H , кВт	n_H , об/мин	$\cos\varphi$	КПД, %	$\frac{I_{\Pi}}{I_H}$ о.е.	$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$ о.е.	$\frac{M_{max}}{M_H}$ о.е.	r_1 , Ом	r'_{2H} , Ом	GD^2 , кг*м ²
АН101-4	70	1450	0,82	88	5,5	1,5	2,2	0,052	0,033	4,3
АН111-6	90	980	0,79	89	5,5	1,4	2,2	0,033	0,031	10,2
АМ102-4	95	1445	0,83	88	5,5	1,5	2,0	0,04	0,035	4,71
АМ101-2	100	2920	0,80	88	5,5	1,4	2,0	0,051	0,028	2,48
АМ111-4	115	1460	0,79	88,5	6,0	1,3	2,25	0,076	0,068	8,11
АН102-2	125	2925	0,83	88	5,2	1,4	2,0	0,094	0,061	2,83
АМ102-2	130	2925	0,84	87,6	5,0	1,4	2,0	0,087	0,069	2,85
АМ111-2	160	2940	0,84	88,5	5,7	1,2	2,0	0,061	0,057	4,69
АМ112-2	185	2940	0,83	89,0	6,0	1,6	2,2	0,042	0,042	5,31

Таблица 3.4 – Расчетные параметры асинхронных двигателей серии МАФ на 380 В для судового электропривода $U = 380$ В

Тип АД	P_H , кВт	n_H , об/мин	$\cos\varphi_H$	η_H	$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$	$\frac{M_m}{M_H}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_H}$	r_1 , Ом	r'_2 , Ом	GD^2 , кг*м ²
МАФ62/4	8,5	1455	0,89	0,835	1,25	2,0	5,5	0,594	0,35	0,55
МАФ63/4	11,5	1450	0,91	0,865	1,2	2,0	6,0	0,425	0,28	0,84
МАФ64/4	14,5	1460	0,9	0,875	1,3	2,1	6,0	0,27	0,19	1,18
МАФ72/4	17,5	1460	0,89	0,87	1,2	2,0	6,0	0,23	0,16	1,3
МАФ73/4	21,5	1460	0,9	0,885	1,3	2,0	6,0	0,168	0,123	1,5
МАФ74/4	25,0	1460	0,89	0,89	1,3	2,0	6,0	0,125	0,105	1,84
МАФ82/4	31,0	1460	0,865	0,865	1,5	2,1	6,5	0,084	0,078	2,8
МАФ83/4	41,0	1465	0,875	0,87	1,5	2,1	6,5	0,052	0,054	3,6
МАФ93/4	57,0	1483	0,855	0,89	1,5	2,1	6,5	0,028	0,027	6,7
МАФ94/4	75,0	1475	0,86	0,895	1,4	2,0	6,5	0,023	0,021	8,3
МАФ62/6	6,5	965	0,82	0,84	1,1	1,9	4,5	0,88	0,541	0,55
МАФ63/6	8,0	975	0,81	0,875	1,25	2,1	5,5	0,56	0,393	0,84
МАФ64/6	10,5	975	0,8	0,88	1,3	2,3	6,0	0,35	0,256	1,18
МАФ72/6	12,5	970	0,87	0,87	1,25	2,0	5,0	0,408	0,241	1,9
МАФ73/6	15,5	975	0,88	0,88	1,25	2,0	5,6	0,292	0,188	2,3
МАФ74/6	19,0	975	0,88	0,89	1,4	2,1	6,0	0,189	0,138	2,9
МАФ82/6	22,5	980	0,87	0,865	1,2	2,1	6,0	0,213	0,102	4,4

Тип АД	P_n кВт	n_n об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_m}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	r_1 Ом	r_2' Ом	GD^2 кг·м ²
МАФ83/6	37,0	980	0,88	0,88	1,2	2,0	6,0	0,134	0,072	5,7
МАФ93/6	43,0	985	0,89	0,885	1,5	2,3	6,5	0,064	0,039	10,4
МАФ94/6	58,0	985	0,88	0,905	1,5	2,1	6,0	0,04	0,029	13,2
МАФ83/8	24,5	735	0,8	0,87	1,3	2,2	5,5	0,18	0,09	5,7
МАФ93/8	31,5	740	0,8	0,885	1,3	2,2	6,5	0,08	0,05	10,4

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте повторно-кратковременный режим работы механизма.
2. Как определить мощность передачи механизма.
3. Дать последовательность определения предварительной мощности двигателя.
4. Для чего необходимо осуществлять проверку двигателя по перегрузочной способности и по нагреву.
5. Последовательность проверки двигателя на нагрев по методу средних потерь.
6. Дать определение моменту инерции двигателя.
7. Объяснить выбор режима торможения противовключением, его особенности.
8. Как определяются эквивалентные потери мощности двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский А.П. Судовые электроприводы: Справочник. В 2-х т. / А. П. Богословский, Е. М. Певзнер, И. Р. Фрейдзон, А. Г. Яуре. - Л.: Судостроение, 1983. – 352 с.
2. Важнов А.И. Электрические машины / А.И. Важнов. - Ленинград: Энергия, 1969. – 768 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк. , 2001. — 327 с: ил.
4. Морской Регистр судоходства. - Правила классификации и постройки морских судов. – Москва: Том 2. Часть XI Электрооборудование. Общие требования. п.2.1.3., п.2.2.1.3. Допустимые отклонения параметров питания, 2017. – 387 с.
5. Москаленко В.В. Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В.Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
6. Роджеро Н.И. Справочник судового электромеханика и электрика. Изд. второе, перераб. и доп. Изд-во «Транспорт», М.:1986. – 317 с.
7. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников: под ред. Л.Г. Мамиконянца.— 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.

Пронина Анна Константиновна

ОСНОВЫ СУДОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Методические указания
к выполнению практических работ*

В авторской редакции

Изд. № 106/2021. Объем 1,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»