

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»

Факультет подготовки инженерных кадров

Кафедра Автоматизация производственных процессов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе

по дисциплине Автоматизированный электропривод

на тему Исследование и расчет автоматизированного электропривода.

Вариант 13

Студент _____
(фамилия, имя, отчество)

Группа _____

Руководитель работы _____
(подпись и дата подписания) (инициалы и фамилия)

Члены комиссии:

(подпись и дата подписания) (инициалы и фамилия)

(подпись и дата подписания) (инициалы и фамилия)

(подпись и дата подписания) (инициалы и фамилия)

Нормоконтролер _____
(подпись, дата подписания) (инициалы и фамилия)

Волгоград 2015 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»

Факультет подготовки инженерных кадров

Направление (специальность) _____

Кафедра Автоматизация производственных процессов

Дисциплина Автоматизированный электропривод

Утверждаю
Зав. кафедрой АПП, д.т.н.,
профессор Ю.П. Сердобинцев

« _____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ
на курсовую работу

Студент _____
(фамилия, имя, отчество)

Группа _____

1. Тема: Исследование и расчет автоматизированного электропривода.
Вариант 13

Утверждена приказом от « _____ » _____ 20__ г. № _____

2. Срок представления работы к защите « _____ » _____ 20__ г.

3. Содержание расчетно-пояснительной записки: Исходные данные, расчет и построение характеристик и диаграмм рабочей машины, выбор двигателя, расчет и построение характеристик и диаграмм двигателя, электрическая принципиальная схема силовой части и системы управления приводом, ее описание, список литературы

4. Перечень графического материала: _____

5. Дата выдачи задания « _____ » _____ 20__ г.

Руководитель работы _____
подпись, дата _____ инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению _____
подпись, дата _____ инициалы и фамилия

1. Согласно исходным данным (Таблица 1) строим тахограмму рабочей машины (рисунок 1).

Таблица 1

Номер варианта	Частота вращения, рад/с			Продолжительность работы и паузы, с			
	ω_1	ω_2	ω_3	t_1	t_2	t_3	t_{II}
3	50	15	-60	220	80	120	200

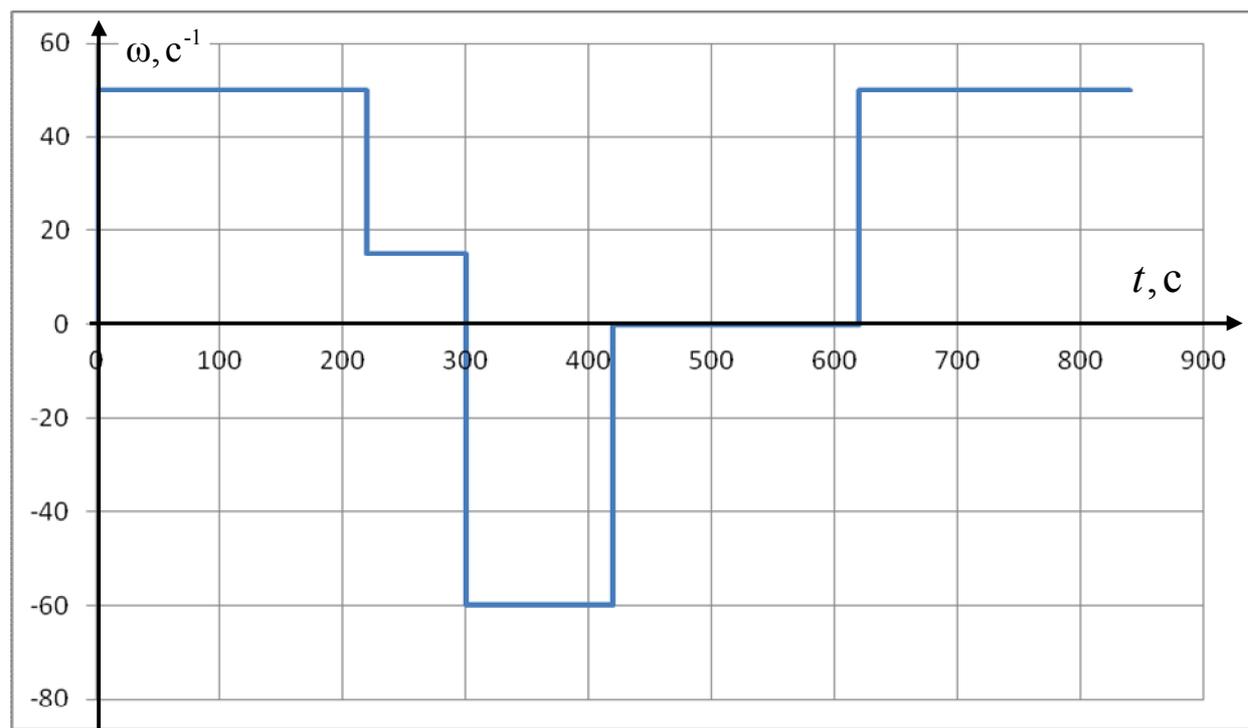


Рисунок 1 – Тахограмма рабочей машины

2. Согласно исходным данным (Таблица 2) строим механическую характеристику рабочей машины (рисунок 2). В третьем квадранте строим характеристику симметрично относительно начала координат.

Таблица 2

Номер варианта	Закон изменения момента статического сопротивления рабочей машины M_{cm} , Нм	К.П.Д. передачи η
1	$M_{cm} = 50\omega$	0,8

При $\omega=0$ $M_{cm} = 50\omega = 0$

При $\omega=100$ $M_{cm} = 50\omega = 5000$ Нм

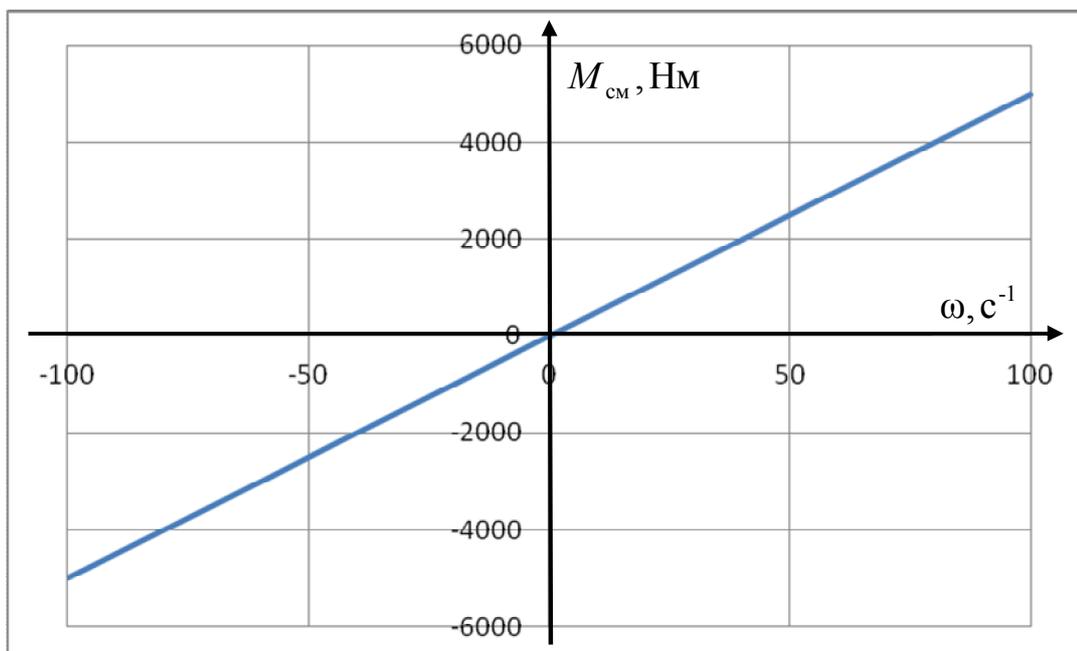


Рисунок 2 – Механическая характеристика рабочей машины

3. Согласно исходным данным рассчитываем и строим нагрузочную диаграмму рабочей машины (рисунок 3). Во время паузы момент статического сопротивления равен нулю.

При $t_1=220\text{с}$ $M_{cm} = 50\omega = 50 \cdot 50 = 2500 \text{ Нм}$

При $t_2=80\text{с}$ $M_{cm} = 50\omega = 50 \cdot 15 = 750 \text{ Нм}$

При $t_3=120\text{с}$ $M_{cm} = 50\omega = 50 \cdot (-60) = -3000 \text{ Нм}$

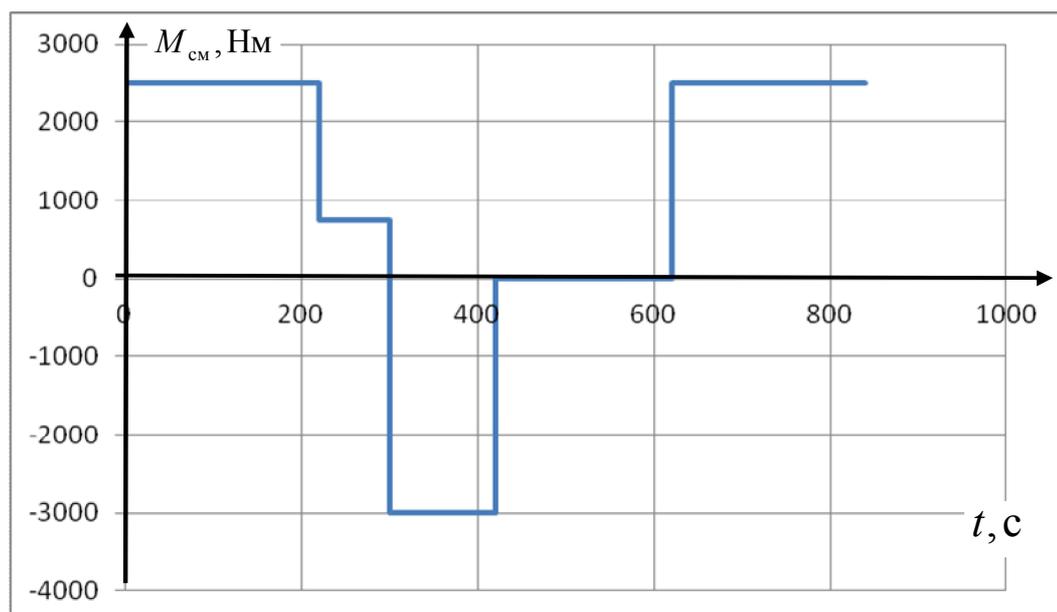


Рисунок 3 - Нагрузочная диаграмма рабочей машины

4. Выбираем двигатель постоянного тока, так как он имеет широкий диапазон регулирования скорости, относительную простоту регулирования и позволяет получать механические характеристики различной жесткости. Для выбора номинального режима работы двигателя рассчитаем продолжительность включения.

Длительность цикла рабочей машины:

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_{\text{п}} = 220 + 80 + 120 + 200 = 620 \text{ сек.}$$

Длительность рабочего режима

$$t_{\text{р}} = t_1 + t_2 + t_3 = 220 + 80 + 120 = 420 \text{ сек.}$$

Продолжительность включения:

$$\text{ПВ} = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{420}{620} * 100 = 68\%$$

Выбираем S_1 – продолжительный номинальный режим работы, так как продолжительность рабочего цикла ПВ выше 60%.

5. За основную скорость рабочей машины рекомендуется принимать скорость, при которой машина работает наибольший промежуток времени. В данном случае за основную рационально принять скорость $\omega_1 = 50 \text{ с}^{-1}$.

Или

$$n_1 = \frac{30 \cdot \omega_1}{\pi} = \frac{30 \cdot 50}{3,14} = 478 \text{ об/мин}$$

6. Рассчитываем номинальную мощность двигателя продолжительного номинального режима работы:

$$P_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i + \sum_{j=1}^k M_j^2 \cdot t_j \cdot \left(\frac{\omega_j}{\omega_{\text{осн}}}\right)^2}{t_{\text{ц}}}} \cdot \omega_{\text{осн}} \cdot K_3 = \sqrt{\frac{2500^2 \cdot 220 + 750^2 \cdot 80 + (-3000)^2 \cdot 120}{620}} \cdot 50 \cdot 1,2 = 120482 \text{ Вт} = 120,5 \text{ кВт}$$

Для выбора двигателя по справочнику необходимо полученное значение мощности двигателя с действительной продолжительностью включения ($\text{ПВ}_{\text{действ}}$) привести к ближайшему стандартному ($\text{ПВ}_{\text{ст}}$) по формуле:

$$P_3^{\text{ПВ}_{\text{ст}}} = P_3^{\text{ПВ}_{\text{действ}}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{действ}}}{\text{ПВ}_{\text{ст}}}} = 120,5 \cdot \sqrt{\frac{68}{60}} = 128 \text{ кВт}$$

7. По справочнику [1] выбираем двигатель постоянного тока серии 2П из условия $P_3^{\text{ПВ}_{\text{ст}}} \leq P_{\text{дв}}$.

Двигатель 2ПН315ЛУХЛ4

Номинальная мощность $P_{\text{н}} = 132 \text{ кВт}$,

Номинальная частота вращения $n_{\text{н}} = 1060 \text{ об/мин}$,

Максимальная частота вращения $n_{\text{мах}} = 2200 \text{ об/мин}$,

КПД $\eta = 90\%$,

Напряжение $U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$,

Напряжение обмотки возбуждения $U_{\text{в}} = 220 \text{ В}$,

Сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я}} = 0,0064 \text{ Ом}$,

Сопротивление добавочных полюсов $R_{\text{доб}} = 0,0043 \text{ Ом}$,

Сопротивление обмотки возбуждения $R_{\text{в}} = 21,1 \text{ Ом}$.

8. Так как номинальная частота вращения двигателя больше основной скорости рабочей машины, необходимо использовать редуктор. Ориентировочное передаточное значение редуктора:

$$i_{\text{ор}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n} = \frac{1060}{478} = 2,22$$

Выбираем цилиндрический одноступенчатый редуктор 1ЦУ-160 с фактическим передаточным отношением $i = 2$.

9. Тахограмма работы двигателя $\omega = f(t)$ строится с учетом передаточного числа редуктора (рисунок 4):

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_{\text{р.м.}} \cdot i.$$

При $\omega_1 = 50 \text{ рад/с}$, $\omega_{\text{дв1}} = 50 \cdot 2 = 100 \text{ рад/с}$,

При $\omega_2 = 15$, $\omega_{\text{дв2}} = 15 \cdot 2 = 30 \text{ рад/с}$,

При $\omega_3 = -60$, $\omega_{дв3} = (-60) \cdot 2 = -120$ рад/с.

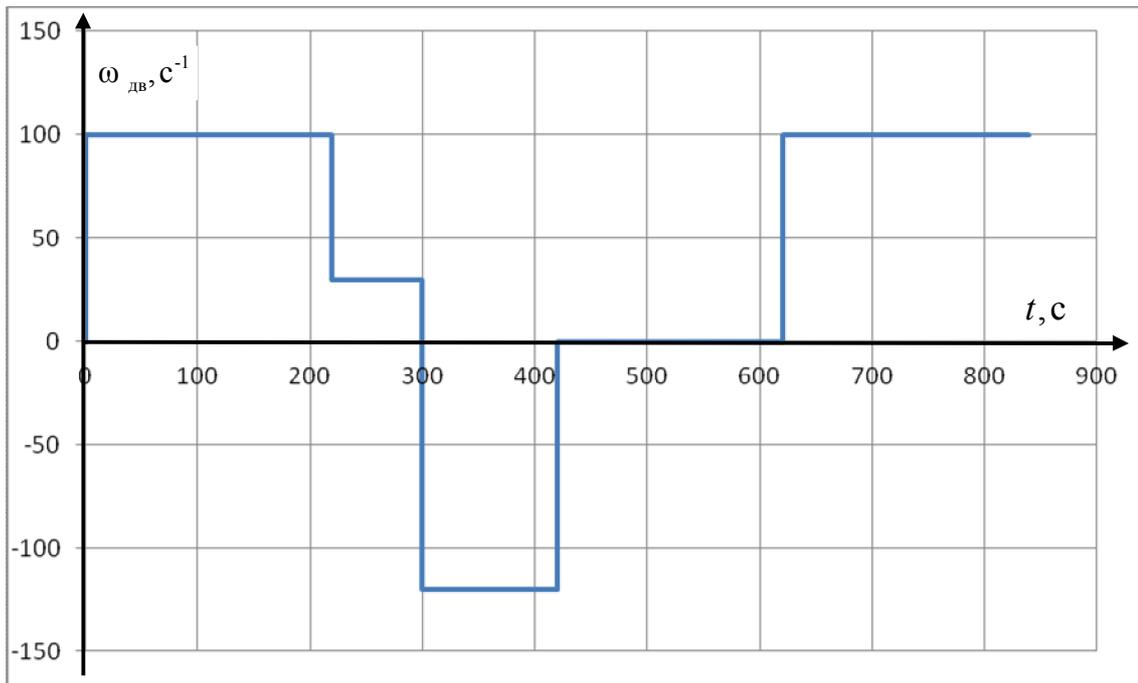


Рисунок 4 – Тахограмма работы двигателя

10. Момент рабочей машины, приведенный к валу двигателя $M_{с.п.}$, рассчитывается по формуле:

$$M_{с.п.} = \frac{M_c}{i \cdot \eta},$$

где $\eta = 0,8$ – КПД передачи.

При $\omega = 0$ $M_{с.п.} = 0$

$$\text{При } \omega = 100 \text{ } M_{с.п.} = \frac{50 \cdot 100}{2 \cdot 0,8} = 3125 \text{ Нм}$$

В третьем квадранте строим характеристику симметрично относительно начала координат (рисунок 5).

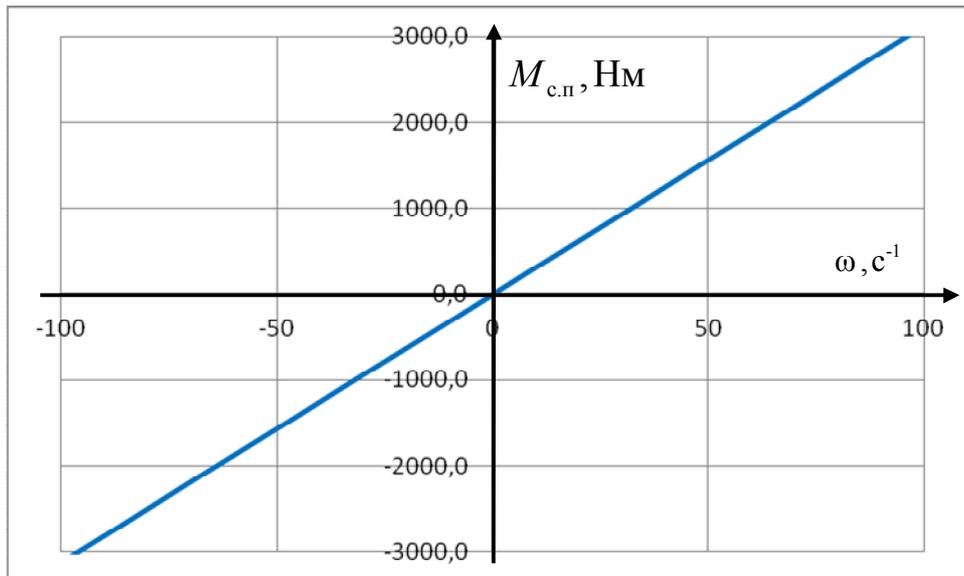


Рисунок 5 – Механическая характеристика рабочей машины, приведенная к валу двигателя

11. Построение нагрузочной диаграммы двигателя без учета динамических моментов выполняется по моменту $M_{с.п}$ для заданных продолжительностей работы машины и скоростей вращения. Во время паузы момент равен 0 (рисунок 6).

При $t_1=220\text{с}$ $M_{с.п1} = 1562,5 \text{ Нм}$, при $t_2=80\text{с}$ $M_{с.п2} = 468,75 \text{ Нм}$,

при $t_3=120\text{с}$ $M_{с.п3} = -1875\text{Нм}$.

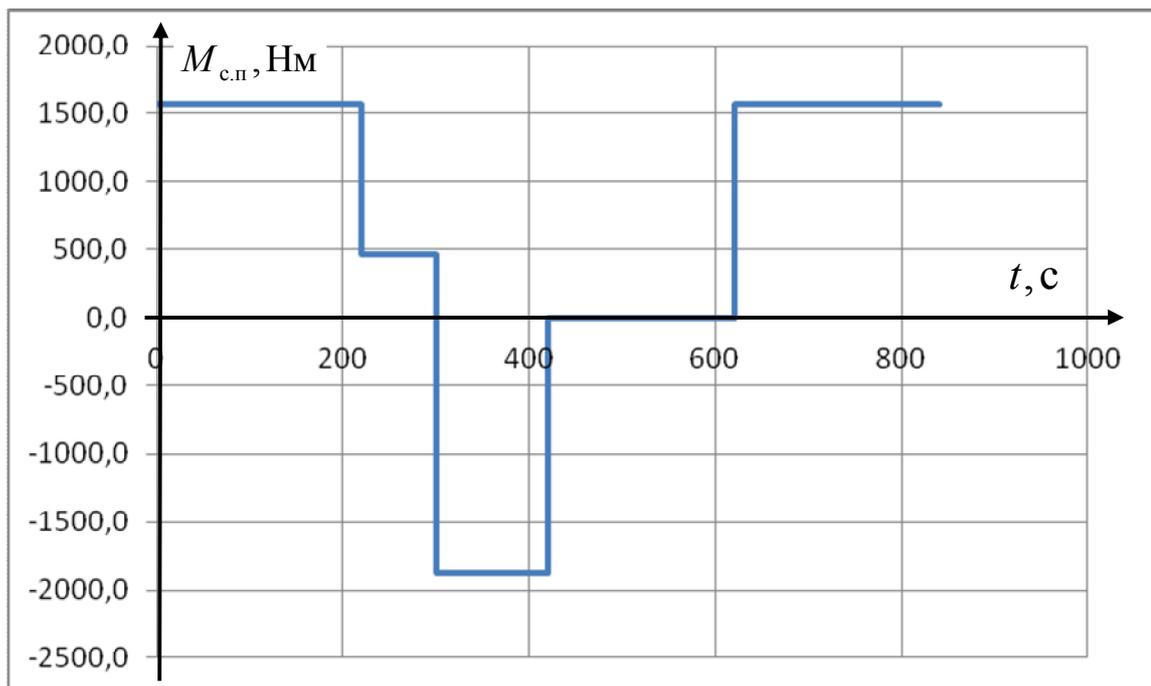


Рисунок 6 – Нагрузочная диаграмма двигателя без учета динамических моментов

12. Уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением имеет вид:

$$\omega = \frac{U}{C\Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{(C\Phi)^2} \cdot M,$$

где U – напряжение питания якорной обмотки;

Φ – магнитный поток возбуждения;

$R_{\text{я}}$ – активное сопротивление якорной обмотки;

M – крутящий момент электродвигателя;

C – конструктивная постоянная электродвигателя.

Номинальный ток якоря $I_{\text{ян}}$ электродвигателя равен:

$$I_{\text{ян}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{н}}}{U_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{1000 \cdot 132}{220 \cdot 0,9} = 666,7 \text{ А}$$

где $\eta_{\text{н}}$ – коэффициент полезного действия двигателя;

$U_{\text{н}}, P_{\text{н}}$ – номинальные значения напряжения и мощности электродвигателя.

Активное сопротивление якорной цепи двигателя равно:

$$R_{\text{я}} = 0,5 \cdot (1 - \eta_{\text{н}}) \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{ян}}} = 0,5 \cdot (1 - 0,9) \cdot \frac{220}{666,7} = 0,02 \text{ Ом}$$

Для построения механической характеристики $\omega = f(M)$ определяем ряд характерных точек:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi n_{\text{н}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1060}{30} = 110,95 \text{ об/мин}$$

$$C\Phi = \frac{(U_{\text{н}} - R_{\text{я}} I_{\text{ян}})}{\omega_{\text{н}}} = \frac{(220 - 0,02 \cdot 666,7)}{110,95} = 1,88$$

$$M_{\text{н}} = C\Phi I_{\text{ян}} = 1,88 \cdot 666,7 = 1255,86 \text{ Нм}$$

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{н}}}{C\Phi} = \frac{220}{1,88} = 116,8 \text{ об/мин}.$$

На рисунке 7 представлена естественная механическая характеристика двигателя.

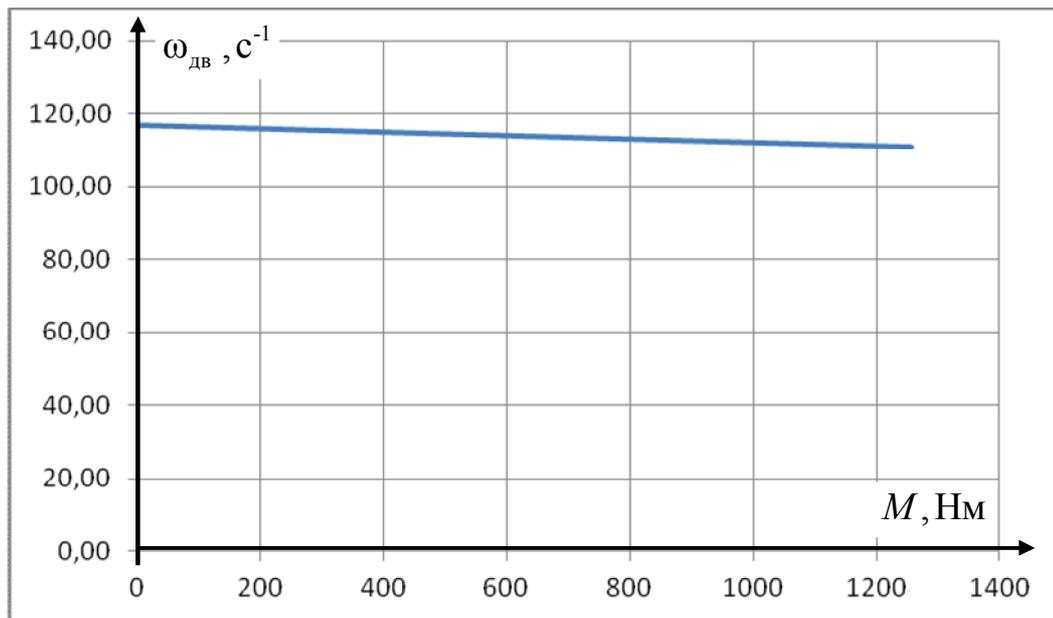


Рисунок 7 – Естественная механическая характеристика двигателя

13. Рассчитываем пусковые сопротивления и строим пусковую диаграмму при пуске рабочей машины до скорости $\omega_1 = 50$ рад/с.

Наибольший ток при пуске: $I_1 = 2,5 \cdot I_{ян} = 2,5 \cdot 666,7 = 1666,7 \text{ А}$

Ток переключения или минимальный пусковой ток:

$$I_2 = 1,2 \cdot I_{ян} = 1,2 \cdot 666,7 = 800 \text{ А}$$

Кратность пусковых токов:

$$K_{пт} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{1666,7}{800} = 2,08$$

Сопротивление R_m равно:

$$R_m = \frac{U}{I_1} = \frac{220}{1666,7} = 0,13 \text{ Ом}$$

Количество искусственных механических характеристик и вместе с тем число пусковых реостатов m равно:

$$m = \frac{\lg\left(\frac{R_m}{R_{я}}\right)}{\lg(K_{пт})} = \frac{\lg\left(\frac{0,13}{0,02}\right)}{\lg(2,08)} = 2,8.$$

Таким образом, пусковая диаграмма будет иметь 3 ступени.

Уточняем кратность пусковых токов:

$$K_{\text{пт}} = \sqrt[m]{\frac{R_m}{R_{\text{я}}}} = \sqrt{\frac{0,13}{0,02}} = 2,83$$

Сопротивления пусковых реостатов для каждой ступени:

$$R_1 = K_{\text{пт}} \cdot R_{\text{я}} = 2,83 \cdot 0,02 = 0,05 \text{ Ом};$$

$$R_2 = K_{\text{пт}} \cdot R_1 = K_{\text{пт}}^2 \cdot R_{\text{я}} = 2,83^2 \cdot 0,02 = 0,13 \text{ Ом};$$

$$R_3 = K_{\text{пт}} \cdot R_2 = K_{\text{пт}}^3 \cdot R_{\text{я}} = 2,83^3 \cdot 0,02 = 0,37 \text{ Ом};$$

Величины сопротивлений, включаемых на каждой ступени:

$$R_{1,\text{я}} = R_1 - R_{\text{я}} = R_{\text{я}} \cdot (K_{\text{пт}} - 1) = 0,03 \text{ Ом};$$

$$R_{2,1} = R_2 - R_1 = R_{\text{я}} \cdot K_{\text{пт}} \cdot (K_{\text{пт}} - 1) = 0,09 \text{ Ом};$$

$$R_{3,2} = R_3 - R_2 = R_{\text{я}} \cdot K_{\text{пт}}^2 \cdot (K_{\text{пт}} - 1) = 0,24 \text{ Ом};$$

По рассчитанным значениям строим электромеханические характеристики и пусковую диаграмму (рисунок 8).

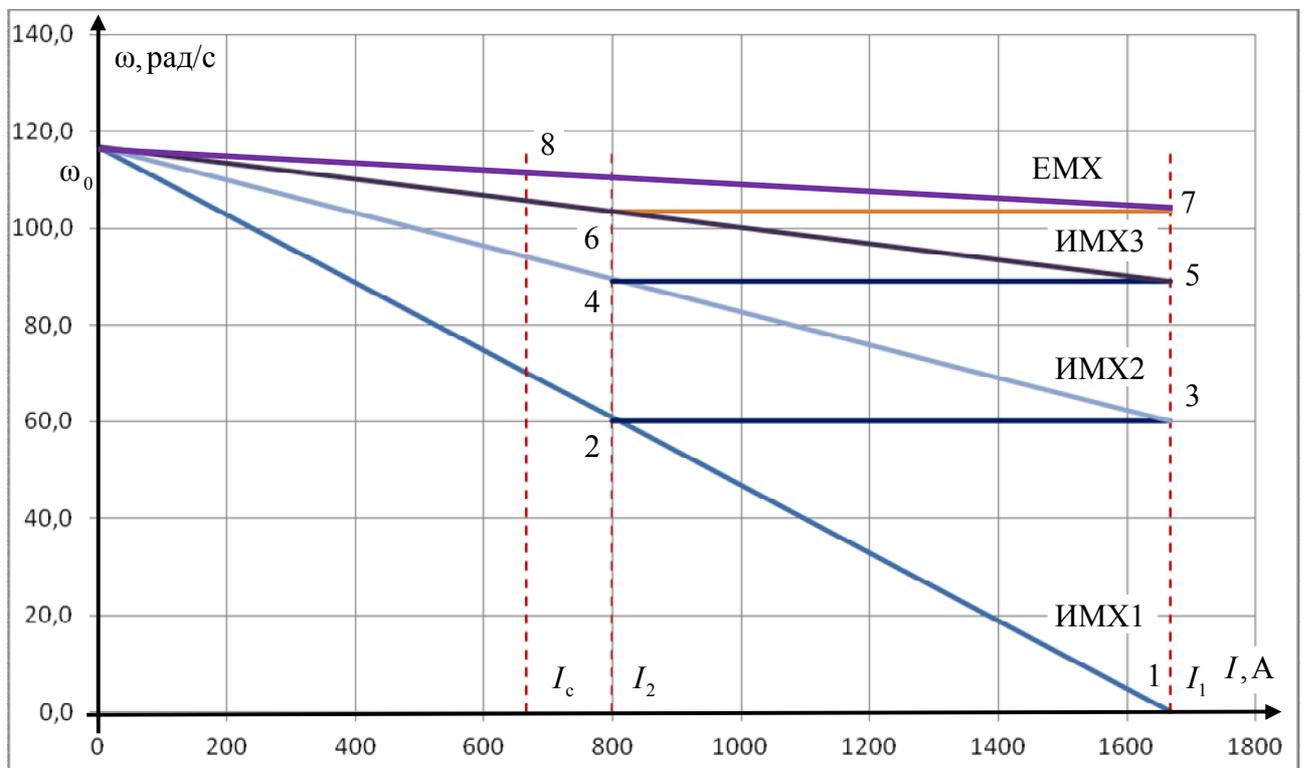


Рисунок 8 – Электромеханические характеристики и пусковая диаграмма

Пуск происходит при полностью включенном сопротивлении реостата в точке 1, выполняется разгон (точка 2) по первой искусственной характеристике. После этого двигатель переходит на вторую искусственную характеристику (точка 3, первая ступень) и разгоняется до точки 4. Затем двигатель переходит на третью искусственную характеристику (точка 5, вторая ступень) и разгоняется до точки 6. После двигатель переходит на естественную характеристику (точка 7, третья ступень) и разгоняется до скорости $\omega_{дв1} = 100$ рад/с.

14. Так как $\omega_2 = 15$ рад/с $<$ $\omega_1 = 50$ рад/с, рассчитаем регулировочные сопротивления и построим диаграмму перехода на установившуюся скорость ω_2 .

В течении второго отрезка времени $t_2=80$ сек, $\omega_{дв2}= 30$ рад/с.

Ток якоря при нагрузке $M_{с.п2}=468,75$ Нм равен:

$$I_{я2} = \frac{M_{с.п2}}{C\Phi} = \frac{468,75}{1,88} = 248,83\text{А}$$

Добавочное сопротивление в цепи якоря для получения скорости $\omega_{дв2}$:

$$\omega_{дв2} = \frac{U}{C\Phi} - \frac{R_{я} + R_{д}}{C\Phi} \cdot I_{я2}$$

$$R_{д2} = \frac{U - C\Phi \cdot \omega_{дв2}}{I_{я2}} - R_{я} = \frac{220 - 1,88 \cdot 30}{248,83} - 0,02 = 0,64\text{Ом}$$

Диаграмма перехода показана на рисунке 9.

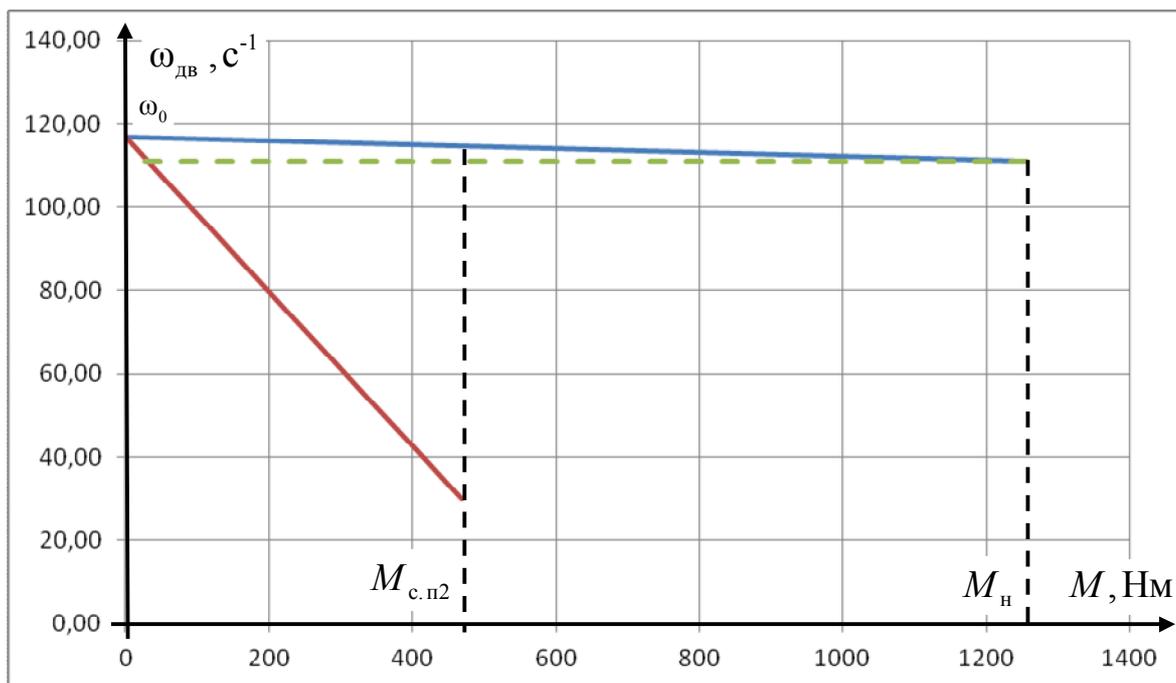


Рисунок 9 – Диаграмма перехода на вторую скорость

15. Для останова привода (переход от $\omega_3 = -60$ рад/с к нулю) принимаем режим динамического торможения с одной ступенью.

При динамическом торможении якорь двигателя отключается от сети и замыкается на тормозное сопротивление.

Для данного вида торможения создаются условия работы двигателя, когда механическая энергия, которой обладает якорь двигателя, преобразуется в электрическую и далее в механическую, в результате возникает тормозной момент M_T . Так как $U_{\Pi} = 0$, то:

$$\omega_0 = \frac{U_{\Pi}}{C\Phi} = 0,$$

$$\omega = -\frac{R_{\text{я}} + R_T}{C^2\Phi^2} M.$$

Отсюда:

$$R_T = \frac{\omega_{\text{дв3}} \cdot C^2\Phi^2}{M_{\text{с.п3}}} - R_{\text{я}} = \frac{-120 \cdot 1,88^2}{-1875} - 0,24 = 0,21 \text{ Ом}$$

16. Для реализации схемы управления двигателем по заданной тахограмме воспользуемся принципом управления по командам от конечных (путевых) выключателей, срабатывающих в определенный момент времени. При этом для ступенчатого пуска двигателя воспользуемся управлением в функции времени. На рисунке 10 представлена электрическая принципиальная схема силовой части привода и системы управления в релейно-контактном варианте.

В первоначальный момент времени контакт путевого выключателя SQ_1 замкнут, а SQ_2 , SQ_3 и SQ_4 – разомкнуты. Пуск производится нажатием на кнопку SB . Происходит подача тока на магнитный пускатель KM_1 , который подключает двигатель к источнику напряжения. Двигатель начинает разгоняться по искусственной характеристике. При этом срабатывает реле времени KT_1 , которое через определенное время замыкает свой контакт KT_1 . Срабатывает контактор K_1 , замыкая свой контакт он выключает сопротивление R_1 , двигатель переходит на вторую искусственную характеристику. При этом срабатывает реле времени KT_2 , которое через определенное время замыкает свой контакт KT_2 . Срабатывает контактор K_2 , замыкая свой контакт он выключает сопротивление R_2 , двигатель переходит на третью искусственную характеристику. При этом срабатывает реле времени KT_3 , которое через определенное время замыкает свой контакт KT_3 . Срабатывает контактор K_3 , замыкая свой контакт он выключает сопротивление R_3 , при этом двигатель выходит на естественную характеристику и работает на скорости $\omega_{дв1} = 100$ рад/с.

Через время $t_1=220$ с срабатывает конечный выключатель SQ_2 , который подключает магнитный пускатель KM_2 . Контакты KM_1 размыкаются, а контакты KM_2 замыкаются, выполняется переход двигателя на вторую скорость $\omega_{дв2} = 30$ рад/с с помощью ввода добавочного сопротивления $R_{д2}$ двигатель работает на этой скорости в течении $t_2=80$ с.

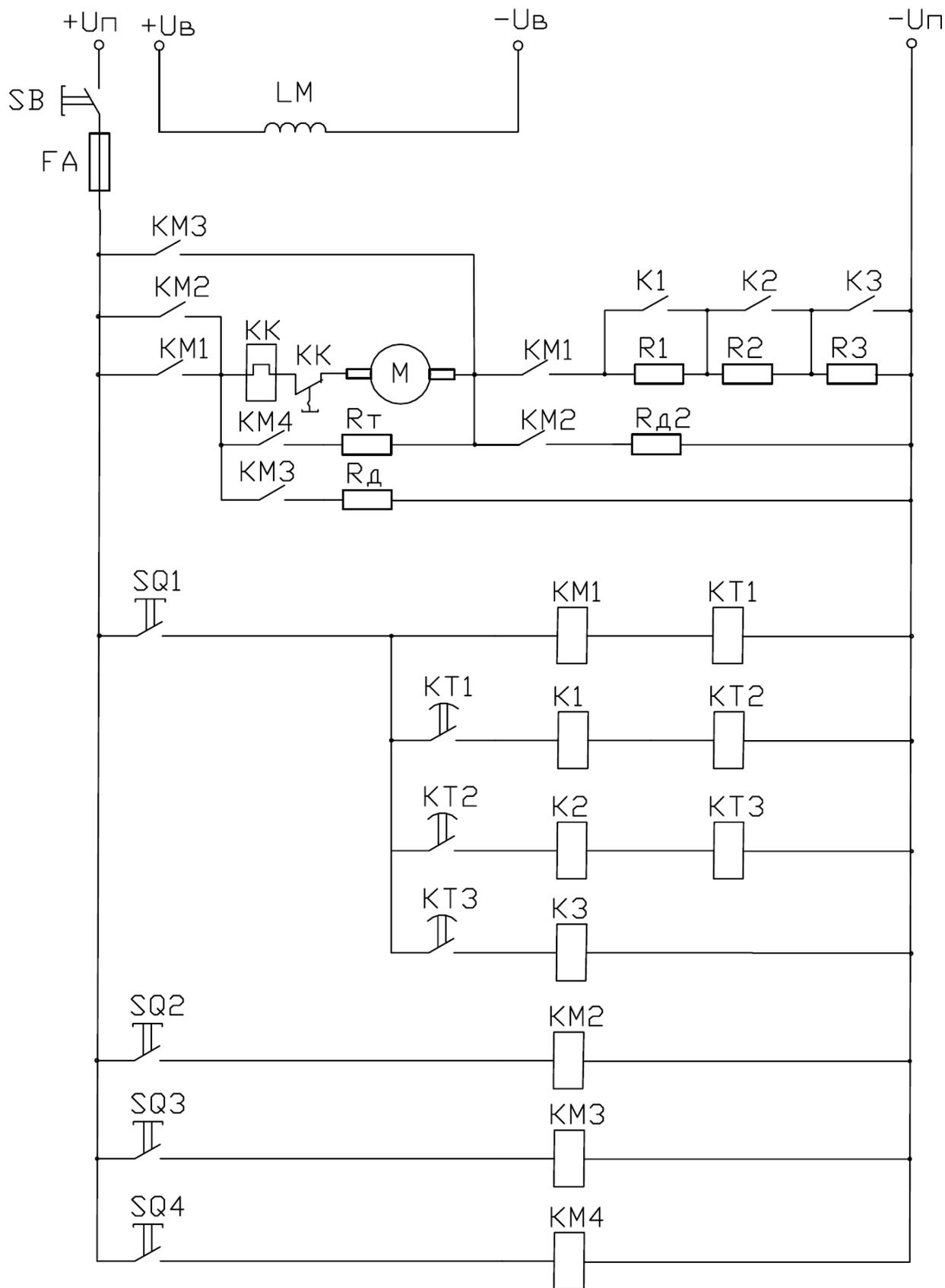


Рисунок 10 - Электрическая принципиальная схема силовой части электропривода и системы управления

После этого срабатывает конечный выключатель SQ_3 , который подключает магнитный пускатель KM_3 . Контакты KM_2 размыкаются, а контакты KM_3 замыкаются, двигатель реверсируется и разгоняется через сопротивление R_d до скорости $\omega_{дв3} = -120$ рад/с, на которой работает $t_3=120$ с.

После этого срабатывает конечный выключатель SQ_4 , который подключает магнитный пускатель KM_4 . Контакты KM_3 размыкаются, а контакты KM_4 включают двигатель на тормозной резистор R_t , осуществляется динамическое торможение. После паузы $t_{п}=200$ с цикл повторяется.

В схеме предусмотрена защита по току (FA) и защита от перегрузки двигателя (KK).

Выводы и результаты

В курсовой работе на основе исходных данных (тахограммы рабочей машины и закона изменения момента статического сопротивления рабочей машины) были рассчитаны и построены тахограмма, механическая характеристика и нагрузочная диаграмма рабочей машины. Для реализации тахограммы по справочнику согласно стандартному приведенному значению мощности $P_9^{пвст}$ выбран двигатель постоянного тока 2ПН315ЛУХЛ4 мощностью 132 кВт. Подобран редуктор, понижающий скорость вращения двигателя для рабочей машины. Построены тахограмма, механическая характеристика и нагрузочная диаграмма рабочей машины, приведенные к валу двигателя.

Рассчитана и построена механическая характеристика двигателя, пусковая диаграмма плавного пуска до первой скорости в две ступени, рассчитаны сопротивления для выполнения режимов противовключения при реверсе двигателя и динамического торможения при его остановке. Для реализации схемы управления двигателем по заданной тахограмме использован принцип управления по командам от конечных (путевых) выключателей.

Построена электрическая принципиальная схема силовой части привода и системы управления в релейно-контактном варианте.

Список литературы

- 1 Справочник по электрическим машинам / Под ред. И. П. Копылова, В. К. Ключева, т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с., т.2.,1989. – 688 с.
- 2 Москаленко, В. В. Электрический привод: учебник / В. В. Москаленко; М.: «Академия», 2007. –362 с.
- 3 Сергеев, А. С. Основы автоматизированного электропривода : учеб. пособ.(гриф). Доп. УМО вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) / А. С. Сергеев, А. М. Макаров, Ю. П. Сердобинцев; ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. - 114 с.
- 4 Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учеб. пособие / Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. – Издание 2-е переработ. и дополн.– Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007.– 152 с.
- 5 Исследование и расчет автоматизированного электропривода. Задание и методические указания по выполнению ОргСРС по дисциплине «Автоматизированный электропривод», ВолгГТУ, 2015.