

УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Расчет установившегося режима работы электропривода

Для расчета установившегося режима работы электропривода, на примере насосной водоотливной установки, необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Построить кинематическую схему электропривода;
2. Рассчитать и построить механическую характеристику асинхронного двигателя;
3. Рассчитать приведенный момент и момент инерции;
4. Рассчитать и построить механическую характеристику насоса;
5. Рассчитать установившийся режим работы (аналитическим и графическим способами);
6. Выводы.

Исходные данные для расчета установившегося режима работы электропривода:

– номинальная мощность двигателя	$P_{\text{ном}} = 17,5 \text{ кВт}$
– номинальная скорость двигателя	$n_{\text{ном}} = 1440 \text{ об/мин}$
– момент инерции двигателя	$J = 0,01 \text{ кгм}^2$
– перегрузочная способность	$\lambda = 2$
– номинальная мощность насоса	$N = 15 \text{ кВт}$
– номинальная скорость насоса	$n = 360 \text{ об/мин}$
– момент инерции насоса	$J_{\text{н}} = 0,1 \text{ кгм}^2$
– коэффициент полезного действия первой ступени	$\eta_1 = 0,99$
– коэффициент полезного действия второй ступени	$\eta_2 = 0,98$
– передаточное число первой ступени	$i_1 = 2$
– передаточное число второй ступени	$i_2 = 2$
– момент инерции первого вала	$J_1 = 0,01 \text{ кгм}^2$
– момент инерции второго вала	$J_2 = 0,02 \text{ кгм}^2$
– момент инерции третьего вала	$J_3 = 0,01 \text{ кгм}^2$

Функциональная схема автоматизированного электропривода насосной установки представлена на рис. 2.1.

1. Построение кинематической схемы электропривода насосной водоотливной установки

Для расчета системы двигатель – механизм электропривода водоотливной установки необходимо построить кинематическую схему

технологического комплекса насосной установки с обозначением всех координат (сил и моментов) и параметров (масс и моментов инерции). Кинематическая схема электропривода водоотливной установки представлена на рис. 2.2.

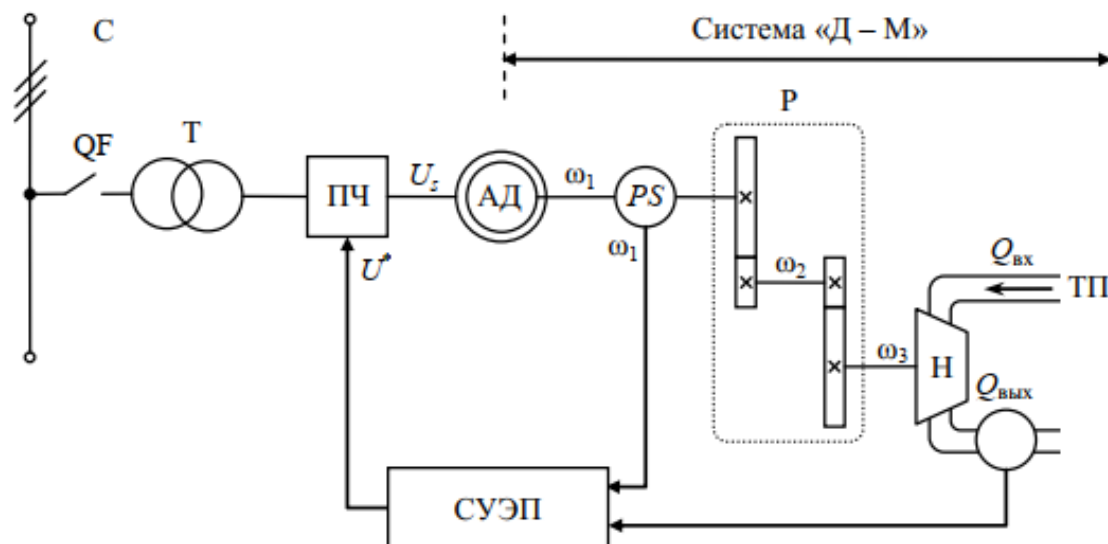


Рис. 2.1. Функциональная схема электропривода насоса водоотливной установки

(С – сеть; Т – трансформатор; ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель; PS – датчик частоты вращения; Р – редуктор; Н – насос; ТП – трубопровод; PP – датчик давления; СУЭП – система управления электроприводом)

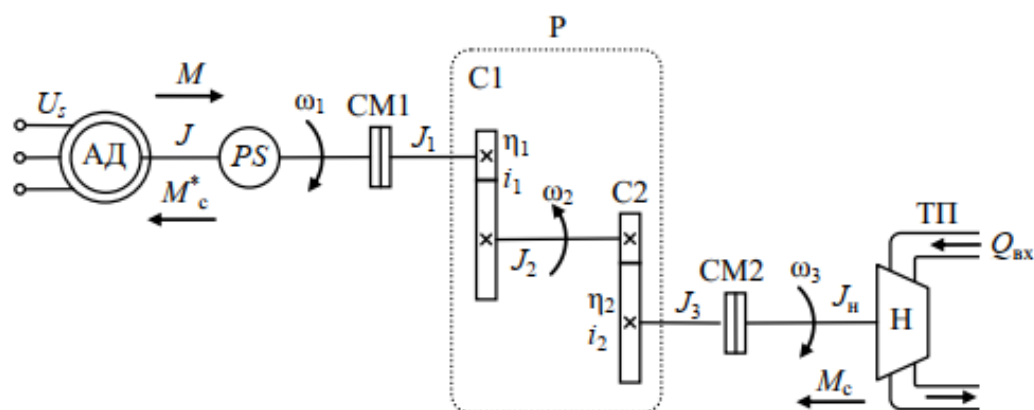


Рис. 2.2. Кинематическая схема электропривода насоса водоотливной установки

На рис. 2.2 приняты следующие обозначения:

- U_s – напряжение статора АД;
- M – момент АД;
- M_c – статический момент АД (момент сопротивления Н);
- $M_{c\text{ пр}}$ – приведенный статический момент АД;
- ω_1 – частота вращения вала асинхронного двигателя;
- ω_2 – частота вращения промежуточного вала редуктора;
- ω_3 – частота вращения насоса;
- J, J_1, J_2, J_3, J_n – момент инерции АД, валов Р и Н;
- $Q_{\text{вх}}$ – величина входного расхода Н;
- $Q_{\text{вых}}$ – величина выходного расхода Н.
- СМ (1 и 2) – соединительная муфта (1 и 2);
- С (1 и 2) – ступень Р (1 и 2).

2. Расчет и построение механической характеристики асинхронного двигателя

Определим номинальную частоту вращения двигателя

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi}{30} n_{\text{ном}} = \frac{\pi}{30} 1440 = 150,7 \text{ рад/с}$$

Определим синхронную частоту вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_0}{z} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с}$$

Определим номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{17,5 \cdot 10^3}{150,7} = 116 \text{ Нм}$$

Определим номинальное скольжение

$$s_{\text{ном}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{ном}}}{\omega_0} = \frac{157 - 150,7}{157} = 0,04$$

Определим критическое скольжение

$$s_k = s_{\text{ном}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,04 (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,15$$

Определим критический момент

$$M_k = \lambda M_{\text{ном}} = 2 \cdot 116 = 232 \text{ Нм}$$

Рассчитаем механическую характеристику асинхронного двигателя с использованием формулы Клосса

$$M(s) = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} = \frac{2 \cdot 232}{0,15 + \frac{0,15}{s}} = \frac{464}{0,15 + \frac{0,15}{s}}$$

Результаты расчета механической характеристики асинхронного двигателя приведены в табл. 2.1. Механическая характеристика асинхронного двигателя построена на рис. 2.3.

Таблица 2.1

Результаты расчета механической характеристики

s	0	$s_{\text{ном}}$	s_k	0,2	0,3	0,4
M , Нм	0	116	232	233	185	152
ω , рад/с	157	151	134	126	110	94

S	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
M , Нм	127	109	95	84	75	68
ω , рад/с	79	63	47	31	16	0

3. Расчет приведенного момента и момент инерции

Определим приведенный момент инерции насоса

$$J_s = J + J_1 + \frac{J_2}{i_1^2} + \frac{J_3 + J_n}{(i_1 i_2)^2} = 0,01 + 0,01 + \frac{0,02}{2^2} + \frac{0,01 + 0,1}{(2 \cdot 2)^2} =$$

$$= 0,0379 \text{ кгм}^2$$

Определим номинальную частоту вращения насоса

$$\omega_n^{\text{ном}} = \frac{\pi}{30} n = \frac{\pi}{30} 360 = 37,7 \text{ рад/с}$$

Определим номинальный момент нагрузки насоса

$$M_c^{\text{НОМ}} = \frac{N}{\omega_n^{\text{НОМ}}} = \frac{15 \cdot 10^3}{37,7} = 398 \text{ Нм}$$

Определим приведенное значение момента нагрузки насоса к частоте вращения вала асинхронного двигателя при работе первого в номинальном режиме

$$M_c^* = \frac{M_c^{\text{НОМ}}}{\eta_1 \eta_2 i_1 i_2} = \frac{398}{0,99 \cdot 0,98 \cdot 2 \cdot 2} = 102 \text{ Нм}$$

Определим частоту вращения асинхронного двигателя при работе насоса в номинальном режиме

$$\omega_n^* = \omega_n^{\text{НОМ}} i_1 i_2 = 37,7 \cdot 2 \cdot 2 = 150,7 \text{ рад/с}$$

4. Расчет и построение механической характеристики насоса

Определим конструктивный коэффициент насоса

$$k = \frac{M_c^{\text{НОМ}}}{(\omega_n^{\text{НОМ}})^2} = \frac{398}{37,7^2} = 0,28$$

Рассчитаем механическую характеристику насоса с использованием следующего выражения

$$M_c(\omega_n) = k \omega_n^2$$

Рассчитаем механическую характеристику насоса с использованием вентиляторного уравнения

$$M_c(\omega_n) = 0,28 \omega_n^2$$

Результаты расчета механической характеристики насоса приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты расчета механической характеристики насоса

ω_n , рад/с	0	2	4	6	11	15	19	23	26	30	34	38
M_c , Нм	0	1	5	10	34	63	101	148	189	252	324	405
ω_n^* , рад/с	0	8	16	24	44	60	76	92	104	120	136	152
M_c^* , Нм	0	0,3	1,15	2,6	8,7	16,3	26	38	49	65	84	104

Для построения механической характеристики насоса рассчитанные в табл. 2.2 значения частот вращения и моментов сопротивления насоса необходимо привести к частоте вращения асинхронного двигателя. Это можно сделать с помощью следующих выражений

$$\omega_n^* = i_1 i_2 \omega_n = 2 \cdot 2 \omega_n = 4 \omega_n$$

$$M_c^*(\omega_n^*) = \frac{k}{\eta_1 \eta_2 i_1 i_2} (\omega_n)^2 = \frac{0,28}{0,99 \cdot 0,98 \cdot 2 \cdot 2} (\omega_n)^2 = 0,072 (\omega_n)^2$$

Результаты расчета механической характеристики насоса с приведены в табл. 2.2. Используя данные результаты расчетов механическую характеристику насоса можно построить на одной координатной плоскости с механической характеристикой асинхронного двигателя. Механическая характеристика насоса представлена на рис. 2.3.

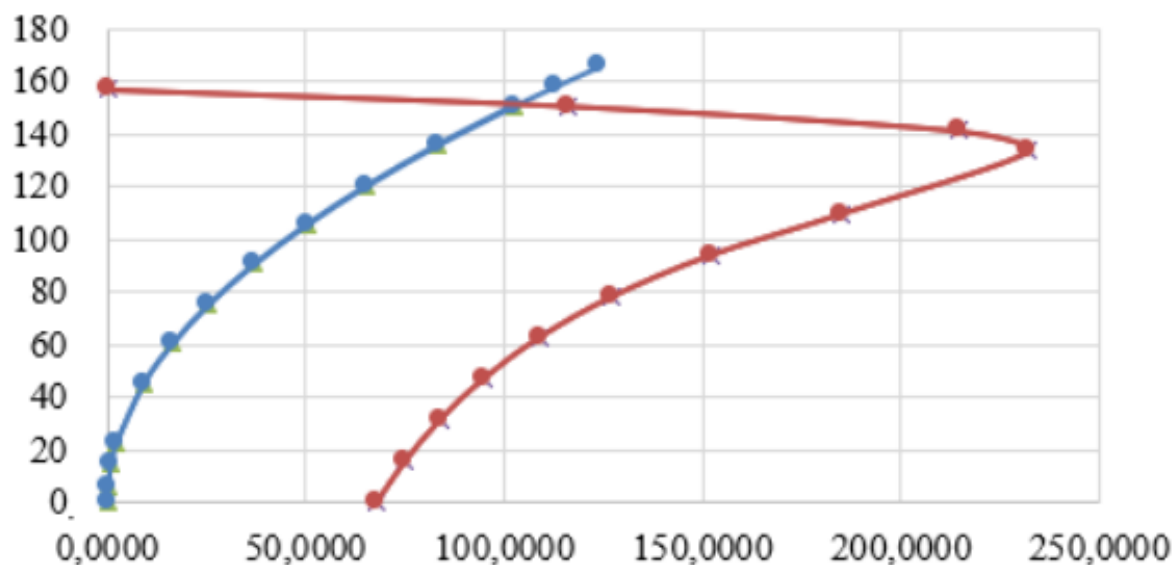


Рис. 2.3. Механические характеристики асинхронного двигателя и насоса

5. Расчет значения частоты вращения асинхронного двигателя при работе насоса в установившемся режиме

1. Определим (графически) частоту вращения и момент асинхронного двигателя при работе водоотливной насосной установки в установившемся номинальном режиме. Для этого воспользуемся механическими характеристиками асинхронного двигателя и насоса, построенными на рис. 2.3. Установившаяся частота вращения и момент имеют значения

$$\omega^{уст} = 37,7 \text{ рад/с.}$$

$$M^{уст} = 102 \text{ Нм}$$

2. Определим (аналитически) частоту вращения и момент асинхронного двигателя при работе насоса водоотливной установки в установившемся номинальном режиме. В этом случае должно выполняться следующее условие

$$\omega_n^{уст} = \omega^{ном} = 37,7 \text{ рад/с.}$$

Определим частоту вращения и скольжение асинхронного двигателя при работе насоса в установившемся режиме

$$\omega_{дв}^{уст} = \omega_n^{ном} i_1 i_2 = 37,7 \cdot 2 \cdot 2 = 150,7 \text{ рад/с}$$

$$s^{уст} = \frac{\omega_0 - \omega_{дв}^{уст}}{\omega_0} = \frac{157 - 150,7}{157} = 0,04$$

Определим момент сопротивления насоса

$$M_n^{уст} = \frac{k}{\eta_1 \eta_2 i_1 i_2} (\omega_n^{уст})^2 = \frac{0,28}{0,99 \cdot 0,98 \cdot 2 \cdot 2} 37,7^2 = 102 \text{ Нм}$$

Определим разницу между номинальным моментом асинхронного двигателя и установившемся моментом

$$\Delta M = \frac{2M_k}{\frac{s^{уст}}{s_k} + \frac{s_k}{s^{уст}}} - M_n^{уст} = \frac{2 \cdot 232}{\frac{0,04}{0,15} + \frac{0,15}{0,04}} - 102 = 14 \text{ Нм}$$

Определим момент асинхронного двигателя при работе насоса водоотливной установки в установившемся номинальном режиме

$$M_n^{уст} = \Delta M - M_{ном} = 14 - 116 = -102 \text{ Нм}$$

Как видно по результатам расчета и построения, при частоте вращения 150,7 Нм момент асинхронного двигателя водоотливной установки равен моменту нагрузки насоса. Причем установившаяся частота вращения равна номинальной частоте вращения асинхронного двигателя, а статический момент равен номинальному. Отсюда можно делать вывод, что мощность приводного двигателя выбрана правильно, энергопотребление будет находиться на удовлетворительном уровне.

6. Выводы

Выводы по результатам расчетов студентам необходимо выполнить самостоятельно.

2.2. Исходные данные для задачи

№	$P_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	J	λ	N	n	$J_{\text{н}}$	η_1	η_2	i_1	i_2	J_1	J_2	J_3
1.	15	1440	0.10	2,0	11	220	0.14	0.98	0.98	2	3	0.02	0.02	0.02
2.	18,5	1460	0.11	2,5	17	210	0.15	0.98	0.98	3	2	0.03	0.03	0.03
3.	22	1420	0.12	3,0	20	150	0.10	0.98	0.98	3	3	0.04	0.04	0.04
4.	30	1480	0.13	2,0	27	230	0.11	0.99	0.97	2	3	0.05	0.05	0.05
5.	45	1450	0.14	2,5	40	240	0.12	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
6.	55	1470	0.15	3,0	50	220	0.13	0.98	0.98	2	3	0.02	0.02	0.02
7.	75	1490	0.10	2,0	70	210	0.14	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
8.	90	1440	0.11	2,5	80	140	0.15	0.98	0.98	3	3	0.02	0.02	0.02
9.	110	1460	0.12	3,0	90	220	0.10	0.99	0.97	2	3	0.03	0.03	0.03
10.	15	1420	0.13	2,0	14	210	0.11	0.98	0.98	3	2	0.04	0.04	0.04
11.	18,5	1480	0.14	2,5	16	200	0.12	0.98	0.98	2	3	0.05	0.05	0.05
12.	22	1450	0.15	3,0	19	230	0.13	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
13.	30	1470	0.10	2,0	25	240	0.14	0.99	0.97	2	3	0.02	0.02	0.02
14.	45	1440	0.11	2,5	35	230	0.15	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
15.	55	1460	0.12	3,0	45	160	0.10	0.98	0.98	3	3	0.02	0.02	0.02
16.	75	1420	0.13	2,0	65	220	0.14	0.99	0.97	2	3	0.03	0.03	0.03
17.	90	1440	0.14	2,5	85	210	0.15	0.98	0.98	2	3	0.04	0.04	0.04
18.	110	1460	0.15	3,0	95	200	0.10	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
19.	15	1420	0.10	2,0	13	230	0.11	0.98	0.98	2	3	0.02	0.02	0.02
20.	18,5	1480	0.11	2,5	16	240	0.12	0.99	0.97	2	3	0.03	0.03	0.03
21.	22	1450	0.12	3,0	19	220	0.13	0.98	0.98	3	2	0.04	0.04	0.04
22.	30	1470	0.13	2,0	27	210	0.14	0.98	0.98	2	3	0.05	0.05	0.05

23.	45	1490	0.14	2,5	40	200	0.15	0.99	0.97	3	2	0.01	0.01	0.01
24.	55	1430	0.15	3,0	45	230	0.14	0.98	0.98	3	3	0.02	0.02	0.02
25.	75	1440	0.10	2,0	67	240	0.15	0.98	0.98	2	3	0.01	0.01	0.01