

Задача 5.24

Для графика работы, представленного таблицей, построить нагрузочную диаграмму и выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ для сети с напряжением $U = 380 \text{ В}$ (таблица 5.1).

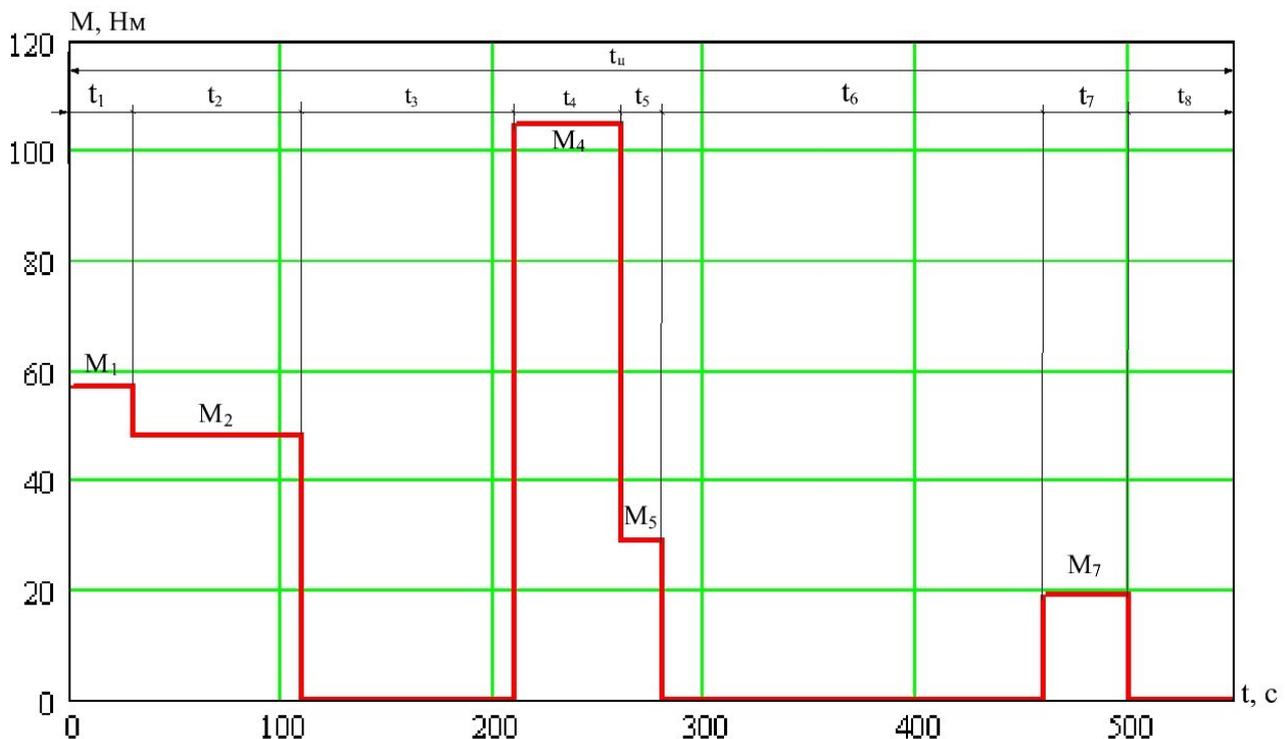
Участки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t, \text{ с}$	30	80	100	50	70	180	40	50
$M, \text{ Н}\cdot\text{м}$	57	48	–	105	29	–	19	–

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев.

Рассчитать и построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя в процессе работы, если коэффициент потерь $a = 0,55$, постоянная времени нагрева $T_n = 23 \text{ с}$, коэффициент ухудшения охлаждения $\beta_0 = 0,4$, а допустимая температура нагрева при номинальной нагрузке соответствует изоляции обмотки класса F .

Решение

График нагрузочной диаграммы имеет вид:



По максимальному моменту статической нагрузки M_4 предварительно выберем двигатель с $P_{вст} = 40\%$ со следующими техническими данными:

Тип	Число полюсов	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	$\cos \varphi$	Ток ротора, А	$\eta, \%$	M_{max}/M_H
МТФ112-6	6	5	950	13,2	0,62	13	74	2,4

Проверку двигателя по нагреву осуществим методом эквивалентного момента. Эквивалентный момент определяется согласно выражению:

$$M_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \sum_{k=1}^n M_k^2 \Delta t_k} = \sqrt{\frac{57^2 \cdot 30 + 48^2 \cdot 80 + 105^2 \cdot 50 + 29^2 \cdot 70 + 19^2 \cdot 40}{30 + 80 + 50 + 70 + 40}} = 57,94 \text{ Нм.}$$

где n – число интервалов нагружения двигателя.

Расчетная продолжительность включения двигателя:

$$ПВ'_p = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100\% = \frac{270}{270 + 100 + 180 + 50} \cdot 100\% = 45\%.$$

Эквивалентный момент при стандартной продолжительности включения и известном коэффициенте потерь равен:

$$M'_{\text{Э}} = M_{\text{Э}} \sqrt{\frac{ПВ_p}{a(ПВ_{ct} - ПВ_p) + ПВ_{ct}}} = 57,94 \sqrt{\frac{45}{0,55(40 - 45) + 40}} = 63,68 \text{ Нм.}$$

Номинальный момент на валу двигателя:

$$M_H = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_H}{n_H} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{5000}{950} = 50,26 \text{ Нм.}$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\text{max}} = 2,4 M_H = 2,4 \cdot 50,26 = 120,62 \text{ Нм.}$$

Как видим эквивалентный момент нагрузки двигателя не превышает его максимальный момент 120,62 Нм. Таким образом выбранный двигатель проходит по нагрузке.

Выполним проверку двигателя на нагрев. Для этого определим следующие величины:

- номинальная мощность потерь:

$$\Delta P_{\text{ном}} = k + V_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = 5000 \cdot \left(\frac{1}{0,74} - 1 \right) = 1756,76 \text{ Вт};$$

- мощность постоянных потерь:

$$k = \frac{a}{1+a} \cdot \Delta P_{\text{ном}} = \frac{0,55}{1+0,55} \cdot 1756,76 = 623,4 \text{ Вт};$$

- номинальная мощность переменных потерь:

$$V_{\text{ном}} = \frac{\Delta P_{\text{ном}}}{1+a} = \frac{1756,76}{1+0,55} = 1133,4 \text{ Вт};$$

- мощность потерь на участках:

$$\Delta P_i = k + V_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{P_i}{P_{\text{ном}}} \right),$$

где:

$$P_i = P_{\text{ном}} \cdot \frac{n_0 - n_i}{n_0 - n_{\text{ном}}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{n_0 - \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_i}{M_i}}{n_0 - n_{\text{ном}}} = \frac{P_{\text{ном}} n_0}{n_0 - n_{\text{ном}}} - P_i \cdot \frac{30 P_{\text{ном}}}{\pi M_i (n_0 - n_{\text{ном}})} \rightarrow$$

$$P_i = \frac{\frac{P_{\text{ном}} n_0}{n_0 - n_{\text{ном}}}}{1 + \frac{30 P_{\text{ном}}}{\pi M_i (n_0 - n_{\text{ном}})}} = \frac{\pi M_i P_{\text{ном}} n_0}{\pi M_i (n_0 - n_{\text{ном}}) + 30 P_{\text{ном}}},$$

- мощность нагружения на i -м участке нагрузочной диаграммы, определяемая из допущения линейности рабочего участка механической характеристики двигателя;

таким образом:

$$\Delta P_1 = 623,4 + 1133,4 \cdot \left(\frac{5632,8}{5000} \right) = 1900,2 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_2 = 623,4 + 1133,4 \cdot \left(\frac{4785,98}{5000} \right) = 1708,24 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_4 = 623,4 + 1133,4 \cdot \left(\frac{9906,3}{5000} \right) = 2868,9 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_5 = 623,4 + 1133,4 \cdot \left(\frac{2947,4}{5000} \right) = 1291,5 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_7 = 623,4 + 1133,4 \cdot \left(\frac{1950,86}{5000} \right) = 1065,6 \text{ Вт}.$$

- мощность средних потерь:

$$\Delta P'_{cp} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_4 \cdot t_4 + \Delta P_5 \cdot t_5 + \Delta P_7 \cdot t_7}{t_1 + t_2 + t_4 + t_5 + t_7} =$$

$$= \frac{1900,2 \cdot 30 + 1708,24 \cdot 80 + 2868,9 \cdot 50 + 1291,5 \cdot 70 + 1065,5 \cdot 40}{270} = 1741,25 \text{ Вт}.$$

- мощность средних потерь, приведенная к стандартной продолжительности включения:

$$\Delta P_{cp} = \Delta P'_{cp} \cdot \frac{ПВ_p}{ПВ_c} = 1741,25 \cdot \frac{45}{40} = 1958,9 \text{ Вт}.$$

Поскольку расчетная мощность средних потерь превышает номинальную для выбранного двигателя $\Delta P_{cp} = 1958,9 \text{ Вт} > \Delta P_n = 1756,76 \text{ Вт}$, то последний будет перегреваться.

Для того же значения стандартной продолжительности включения в 40% подберем больший по мощности двигатель:

Тип	Число полюсов	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	cos φ	Ток ротора, А	η, %	M _{max} /M _n
МТФ211-6	6	7,5	945	18,5	0,63	15,5	78	2,1

Для повторно выбранного двигателя производим аналогичные проверки на перегрузочную способность и нагрев.

Номинальный момент на валу двигателя:

$$M_n = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_n}{n_n} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{7500}{945} = 75,8 \text{ Нм}.$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{max} = 2,1 M_n = 2,1 \cdot 75,62 = 159,15 \text{ Нм}.$$

Как видим эквивалентный момент нагрузки двигателя не превышает его максимальный момент 159,15 Нм. Таким образом выбранный двигатель проходит по нагрузке.

Выполним проверку двигателя на нагрев. Для этого определим следующие величины:

- номинальная мощность потерь:

$$\Delta P_{ном} = k + V_{ном} = P_{ном} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = 7500 \cdot \left(\frac{1}{0,78} - 1 \right) = 2115,38 \text{ Вт};$$

- мощность постоянных потерь:

$$k = \frac{a}{1+a} \cdot \Delta P_{ном} = \frac{0,55}{1+0,55} \cdot 2115,38 = 750,62 \text{ Вт};$$

- номинальная мощность переменных потерь:

$$V_{ном} = \frac{\Delta P_{ном}}{1+a} = \frac{2115,38}{1+0,55} = 1364,76 \text{ Вт};$$

- мощность потерь на участках:

$$\Delta P_1 = 750,62 + 1364,76 \cdot \left(\frac{5718,7}{7500} \right) = 1791,24 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_2 = 750,62 + 1364,76 \cdot \left(\frac{4847,85}{7500} \right) = 1632,78 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_4 = 750,62 + 1364,76 \cdot \left(\frac{10175,11}{7500} \right) = 2602,17 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_5 = 750,62 + 1364,76 \cdot \left(\frac{2970,7}{7500} \right) = 1291,2 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_7 = 750,62 + 1364,76 \cdot \left(\frac{1961,06}{7500} \right) = 1107,47 \text{ Вт}.$$

- мощность средних потерь:

$$\begin{aligned} \Delta P'_{cp} &= \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_4 \cdot t_4 + \Delta P_5 \cdot t_5 + \Delta P_7 \cdot t_7}{t_1 + t_2 + t_4 + t_5 + t_7} = \\ &= \frac{1791,24 \cdot 30 + 1632,78 \cdot 80 + 2602,17 \cdot 50 + 1291,2 \cdot 70 + 1107,47 \cdot 40}{270} = 1663,5 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

- мощность средних потерь, приведенная к стандартной продолжительности включения:

$$\Delta P_{cp} = \Delta P'_{cp} \cdot \frac{ПВ_p}{ПВ_c} = 1663,5 \cdot \frac{45}{40} = 1871,46 \text{ Вт}.$$

Очевидно, что двигатель проходит по нагреву, поскольку

$$\Delta P_{cp} = 1871,46 \text{ Вт} < \Delta P_n = 2115,38 \text{ Вт}.$$

Допустимая температура нагрева изоляции класса F равна 155°. Допустимое превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды вокруг машины:

$$\tau_{уст} = \theta_d - \theta_{oc} = 155 - 40 = 115^\circ.$$

Постоянная времени охлаждения двигателя:

$$T_0 = T_n / \beta_0 = 23 / 0,4 = 57,5 \text{ с}.$$

Функции нагрева и охлаждения двигателя:

$$\tau_n(t, \tau_0) = \tau_{уст} - (\tau_0 + \tau_{уст}) \cdot e^{-t/T_n};$$

$$\tau_o(t) = \tau_{уст} \cdot e^{-t/T_0}.$$

Графики функций нагрева и охлаждения двигателя:

