

МЕХАНИЗМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА. САМОЗАПУСК ДВИГАТЕЛЕЙ С.Н.

**БЕЛОГЛАЗОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ,
к.т.н., доцент кафедры электрических станций (ЭлСт),**

ФЭН, II-212 (кафедра)

Лекции 4-6

Новосибирск, 2020 г.

ВОПРОСЫ КУРСА:

- Конструкции ТГ, ГГ, АД, СД, ДПТ;
- Физические основы преобразования энергии;
- Нормальные режимы работы генераторов в условиях отличных от номинальных;
- Системы, обеспечивающие нормальную работу генераторов;
- Анормальные режимы работы генераторов;
- Механизмы собственных нужд электрических станций;
- Самозапуск электродвигателей.



РАСХОД НА С.Н. ДЛЯ КЭС

- для станций, работающих на угле с электроприводом для всех механизмов — 6-7.5%
- для станций, работающих на мазуте и газе — 4.5-5.5%
- для станций, работающих на угле с паротурбинным приводом питательных насосов — 4-4.5%
- для тех же станций на мазуте и газе — 2.5-3%



МЕХАНИЗМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС:

- Рабочие машины, обслуживающие машинное отделение;
- Рабочие машины, обслуживающие котельное отделение;
- Общестанционные нагрузки.



КОТЕЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Ответственные
механизмы

```
graph TD; A[Ответственные механизмы] --- B[Дымососы]; A --- C[Дутьевые вентиляторы]; A --- D[Питатели пыли];
```

Дымососы

Дутьевые
вентиляторы

Питатели
пыли



КОТЕЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Неответственные
механизмы

```
graph TD; A[Неответственные механизмы] --- B[Смывные и багерные насосы]; A --- C[Системы гидрозолоудаления]; A --- D[Электрофилтры];
```

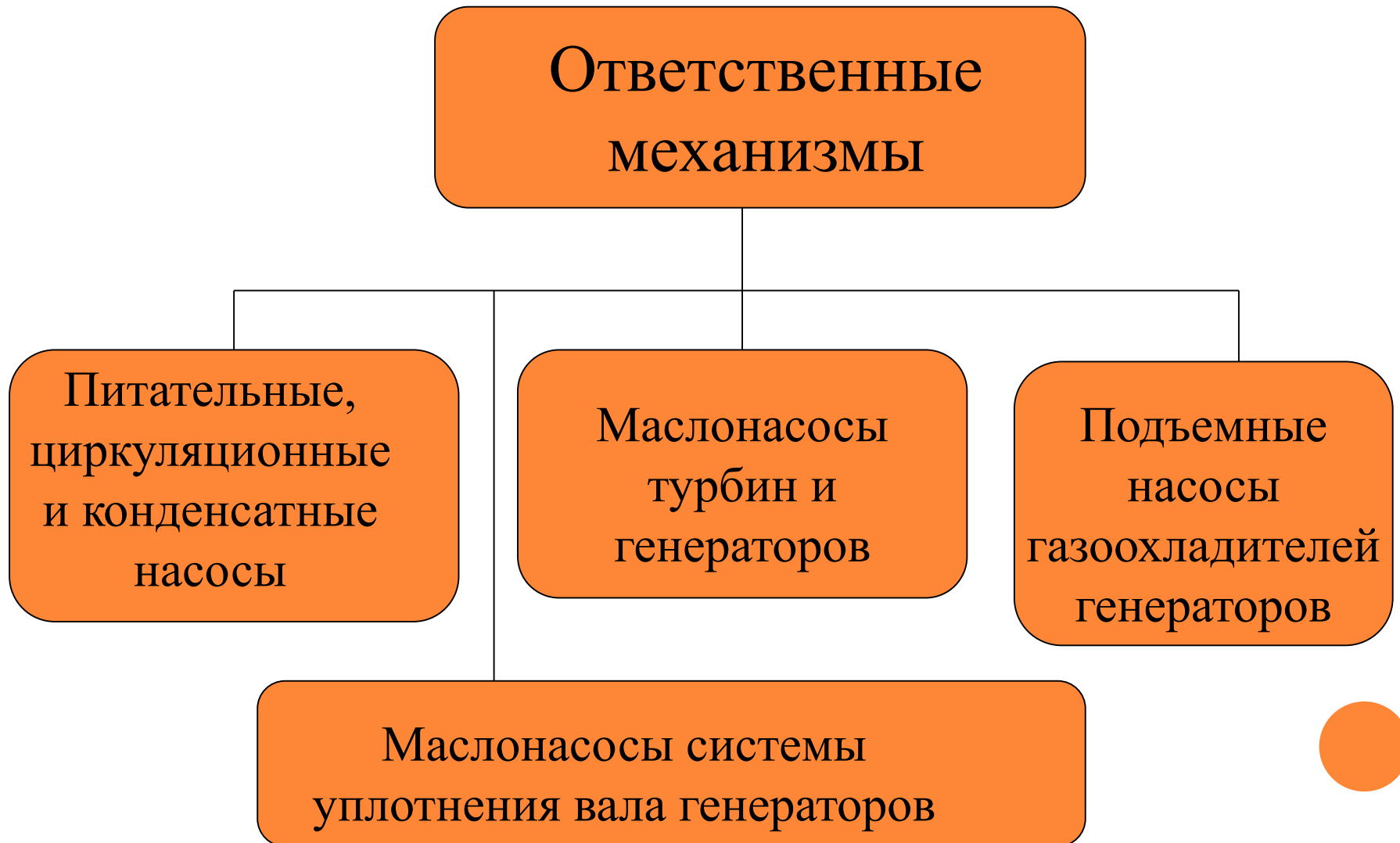
Смывные и
багерные насосы

Системы
гидрозолоудаления

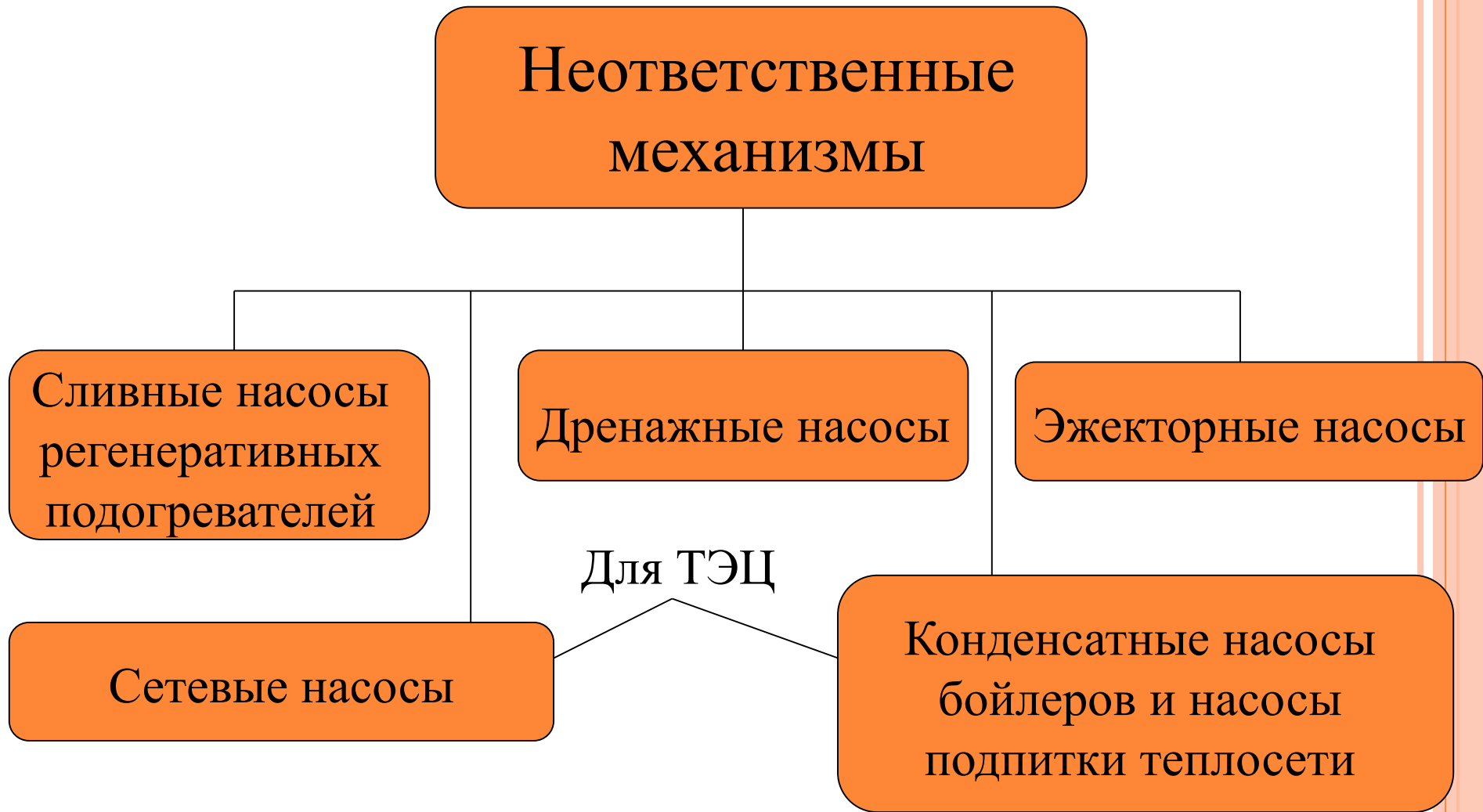
Электрофилтры



МАШИННОЕ ОТДЕЛЕНИЕ



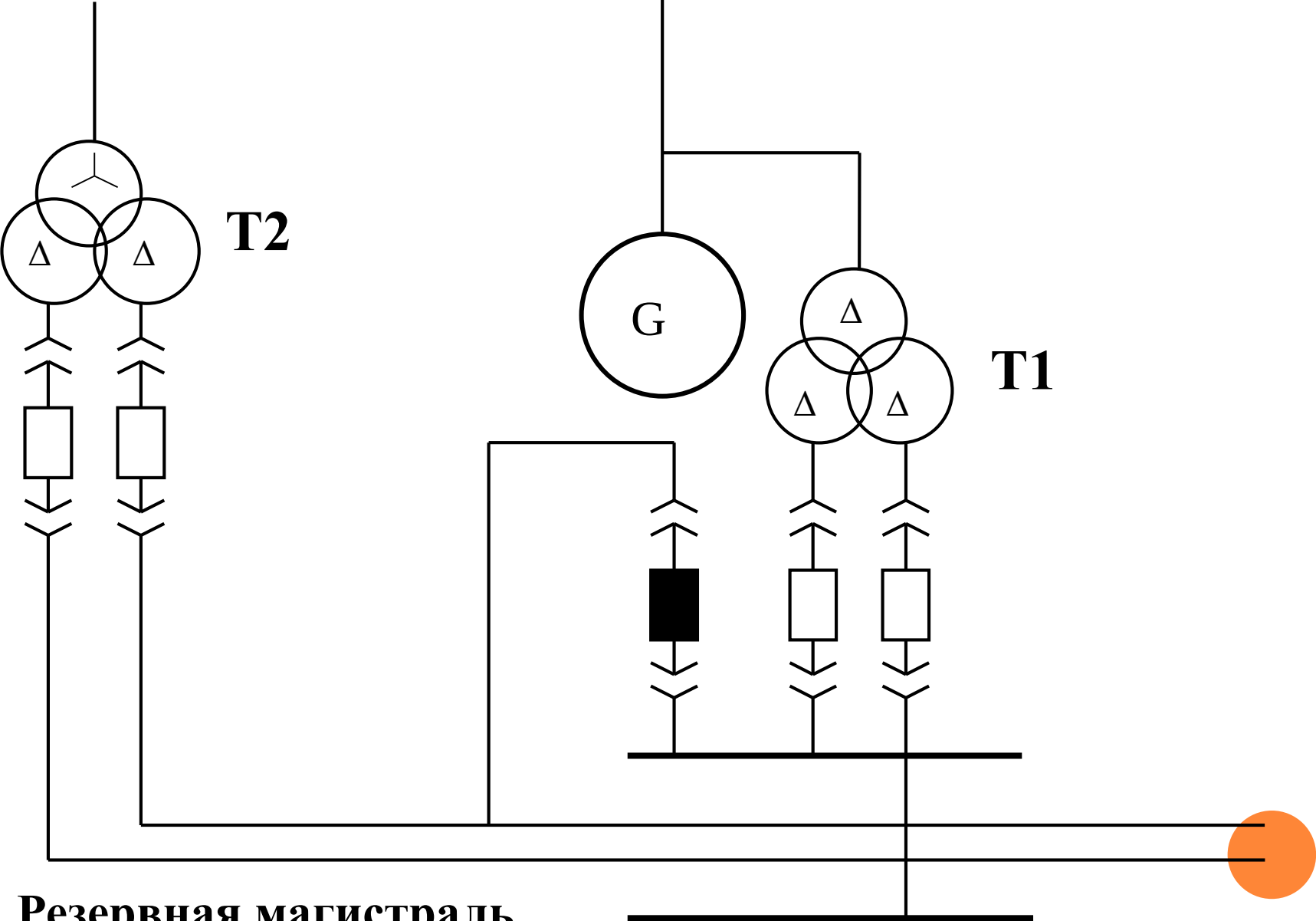
МАШИННОЕ ОТДЕЛЕНИЕ



САМОЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС



От шин СН



Резервная магистраль

ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИЯ ОТ ПУСКА:

1) $M_{вр.сзн} > M_{вр.п}$

2) Наличие остаточного
напряжения на отключившихся
шинах при их быстром
подключении к резервному
источнику;



- 3) Самозапуск происходит при нагруженном механизме;
- 4) В самозапуске участвуют одновременно значительная группа электродвигателей.



ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ:

- Сумма номинальных токов ЭД, участвующих в самозапуске, не должна превышать полуторакратного номинального тока РТСН;
- Длительность перерыва питания секции шин, от которых питаются ЭД, определяемая как $t_{рз.а} + t_{ком.ап}$, должна быть не более 2,5 с.



- ЭД несут нагрузку, близкую к номинальной, и нагреты до установившейся температуры;
- Снижение угловой скорости механизмов определяется для индивидуального и для группового выбегов ЭД;



○ Предельное время самозапуска ЭД ответственных механизмов с.н. по условиям сохранения технологического процесса составляет:

- для блочных ЭС высокого давления – **20 с.**

- для ЭС высокого давления с поперечными связями в тепловой части – **25 с.**

- для ЭС среднего давления – **35 с.**

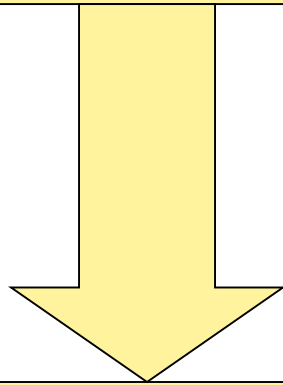


МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ НАЧАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ САМОЗАПУСКЕ:

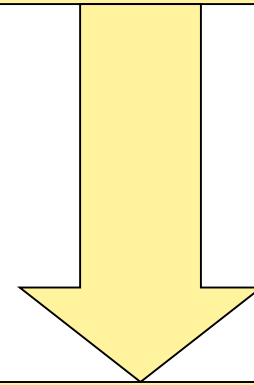
- Для ЭС среднего давления
– $0,55 U_{\text{ном.дв}}$
- Для ЭС высокого давления
неблочного и блочного
типов – $0,6 U_{\text{ном.дв}}$



Самозапуск делится
на два этапа:



Выбег
механизмов



Разгон



ВЫБЕГ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ

$$M_{изб}^* = -M_{c^*} = T_j \frac{dn_*}{dt} \quad (1)$$

$$t = -T_j \int_{n_H^*}^{n_*} \frac{dn_*}{M_{c^*}} \quad (2)$$



$$M_{c*} = k_3 n_*^p, \quad (3)$$

$$k_3 = \frac{M_{нм}}{M_{н.дв}}$$

$$t = T_j \frac{n_*^{1-p} + n_{н*}^{1-p}}{k_3 (1-p)} \quad (4)$$

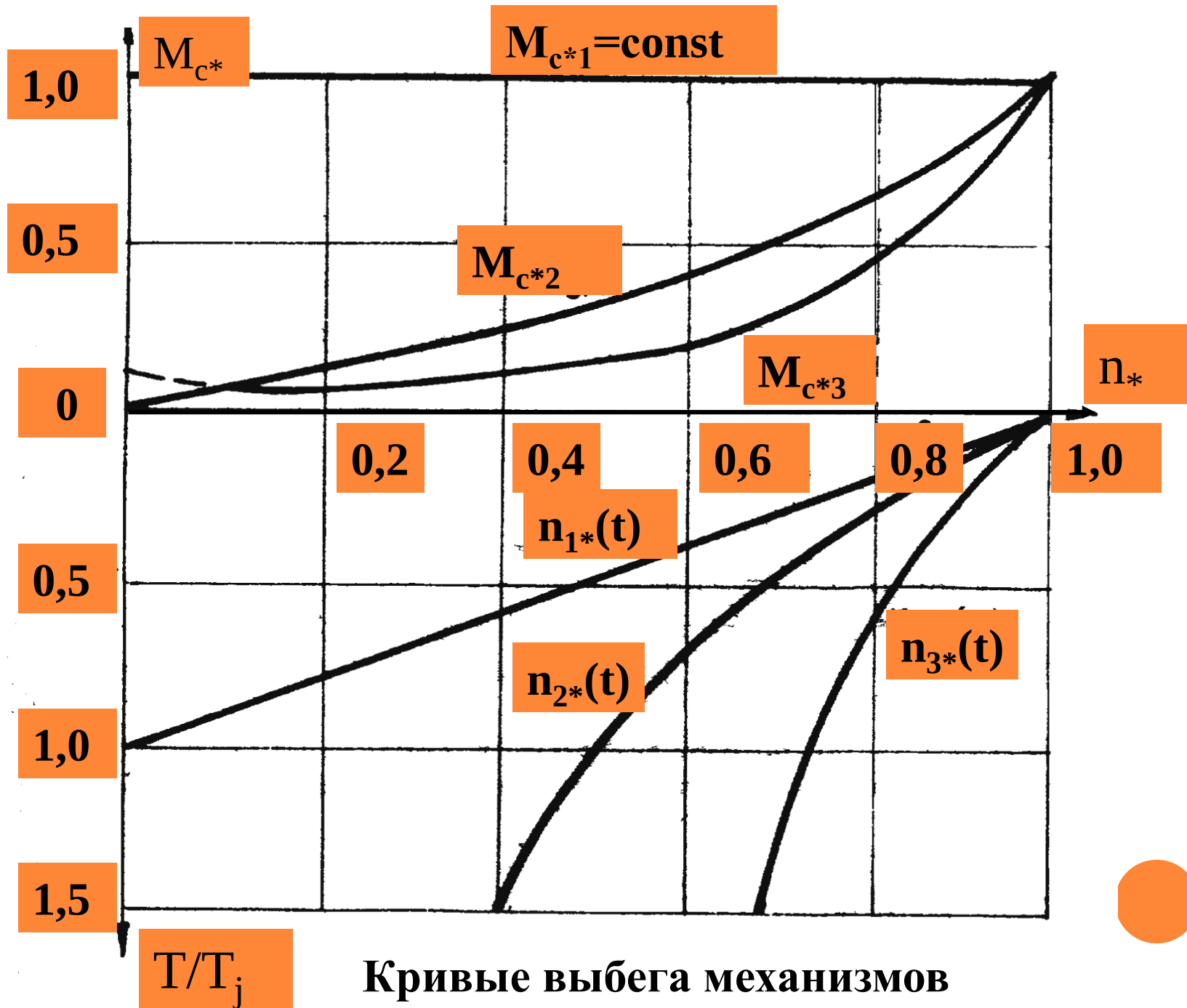


$$n_{*1} = n_{H^*} - \frac{t}{T_j} k_3 \quad (5)$$

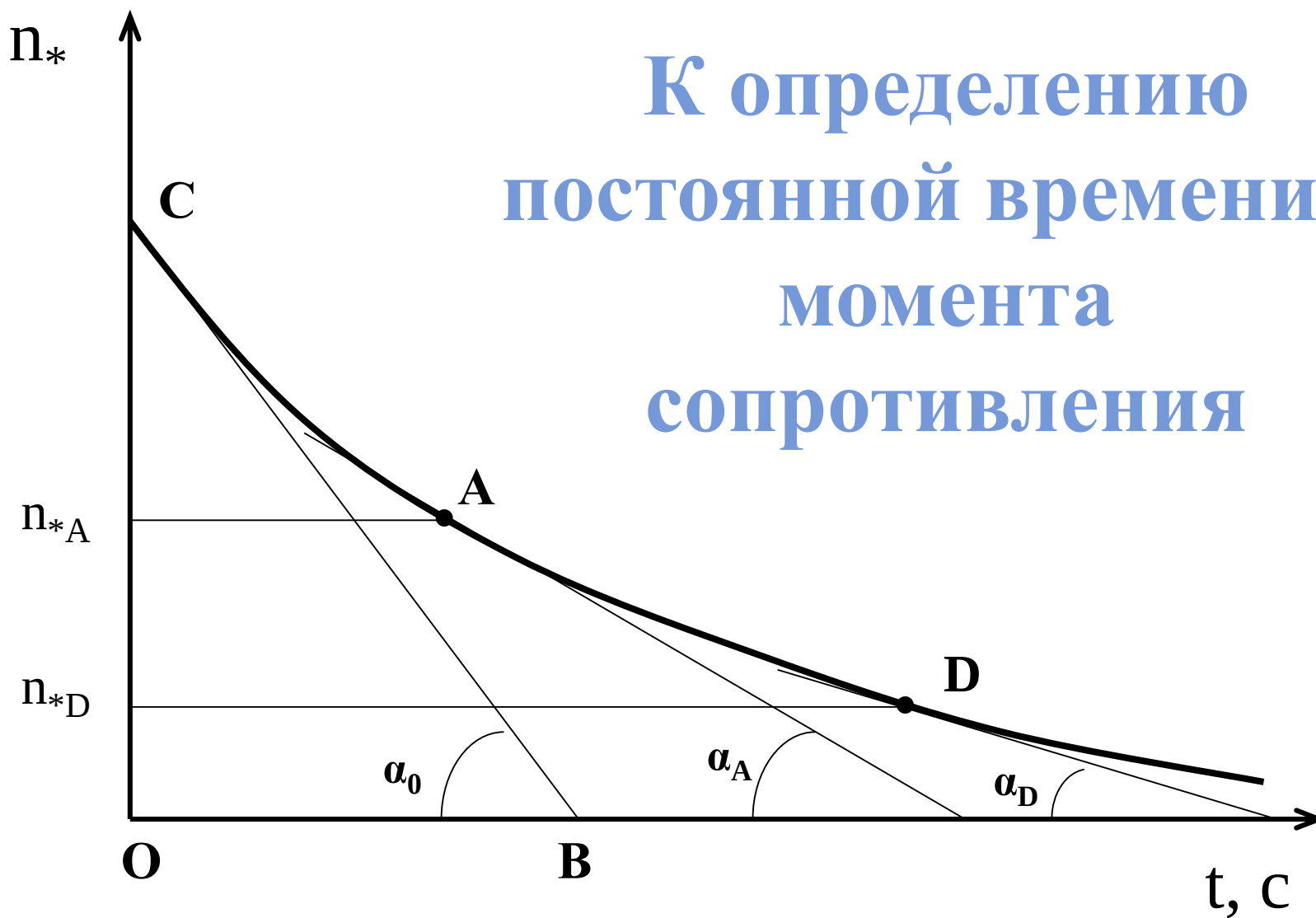
$$n_{*2} = \left[\frac{t}{T_j} k_3 + \frac{1}{n_{H^*}} \right]^{-1} \quad (6)$$

$$n_{*3} = \left[\frac{t}{T_j} k_3 + \frac{1}{n_{H^*}^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$





К определению постоянной времени и момента сопротивления



$$OB = OC \frac{1}{tg \alpha_0} \quad (8)$$

$$tg \alpha = \left| \frac{dn_*}{dt} \right| = \frac{M_{c^*}}{T_j} \quad (9)$$

$$T_j = \frac{OB}{OC} M_{c^*} \quad (10)$$

$$T_j = OB \cdot M_{c^*} \quad (11)$$



$$M_{c^*A} = T_j \left| \frac{dn_*}{dt} \right| = T_j \operatorname{tg} \alpha_A \quad (12)$$

$$M_{c^*} = f(n_*)$$

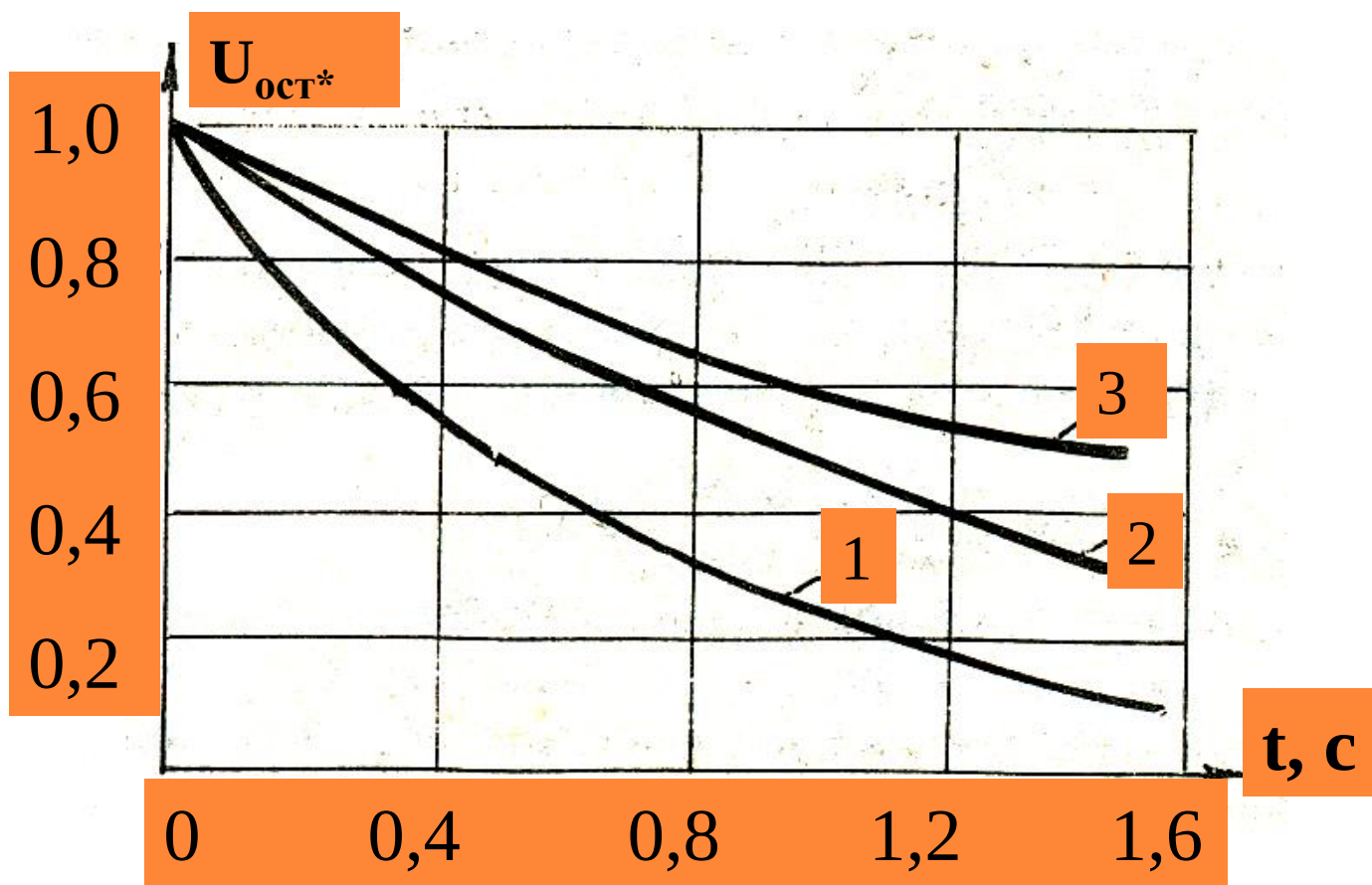


ГРУППОВОЙ ВЫБЕГ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

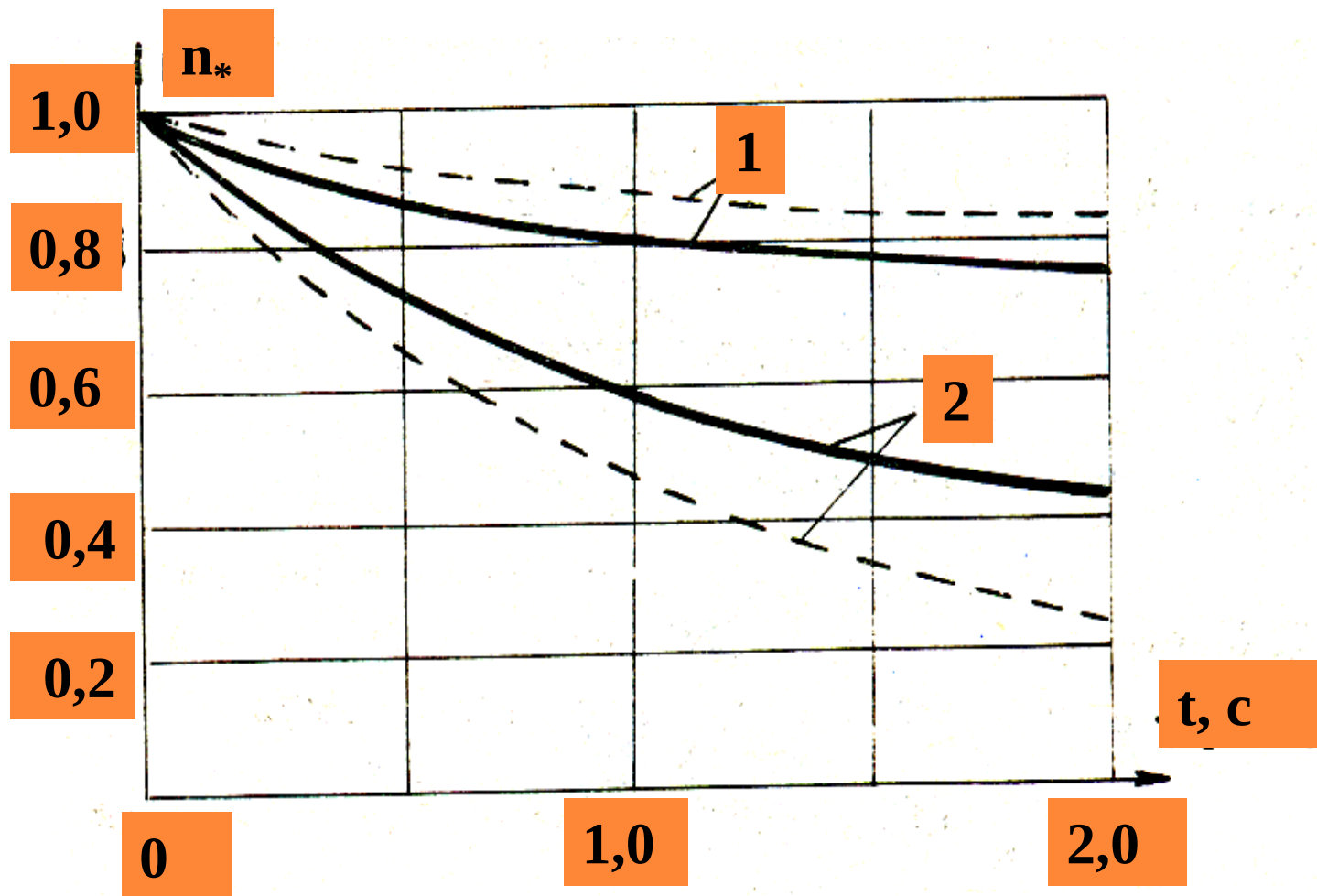
$$T_{jэ} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ji} \cdot P_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}} \quad (13)$$



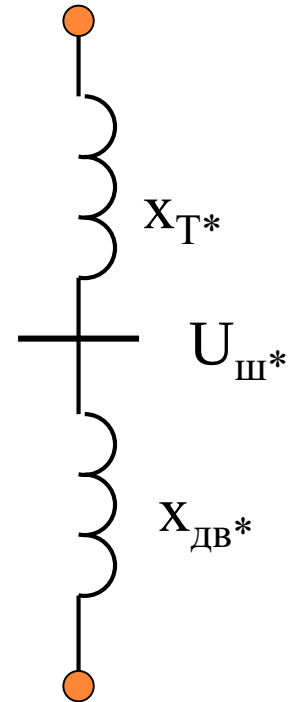
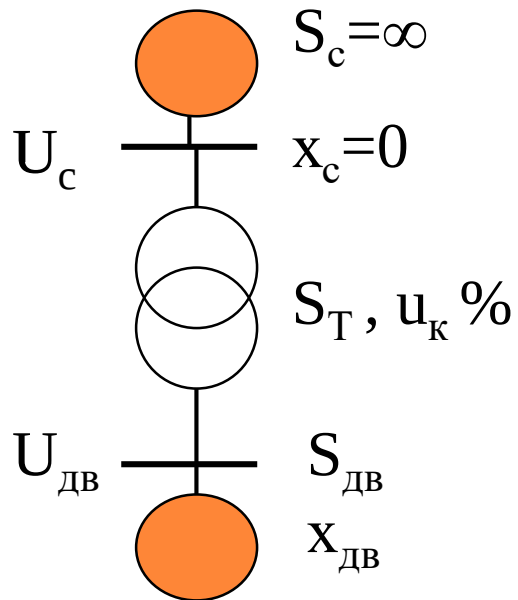
ИЗМЕНЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ



Кривые группового выбега механизмов



РАСЧЕТ ДОПУСТИМОЙ P_{Σ} НЕОТКЛЮЧАЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



$$x_{\partial\epsilon^*} = x_{\partial\epsilon.n^*} \frac{S_{mp} U_{\partial}^2}{S_{\partial\Sigma} U^2} = \frac{1}{I_{n^*}} \cdot \frac{S_{mp} U_{\partial}^2}{S_{\partial\Sigma} U^2} \quad (14)$$

$$U_{\text{ост}^*} = 1,05 U_{\text{ш}^*} = \frac{1,05 x_{\text{дв}^*}}{x_{\text{тр}^*} + x_{\text{дв}^*}} \quad (15)$$

$$U_{\text{ост}^*} = \frac{1,05}{x_{\text{тр}^*} I_{\text{п}^*} \frac{S_{\text{дв}\Sigma} U^2}{S_{\text{тр}} U_{\text{дв}}^2} + 1} \quad (16)$$

Подставляем: $S_{\text{дв}\Sigma} = \frac{P_{\text{дв}\Sigma}}{\eta \cos \varphi_{\text{дв}}}$



$$U_{ocm*} = \frac{1.05}{x_{T*} I_{n*} \frac{P_{\partial\theta\Sigma}}{S_T \eta_{\partial\theta} \cos \varphi_{\partial\theta}} \cdot \frac{U^2}{U_{\partial\theta}} + 1} \quad (17)$$

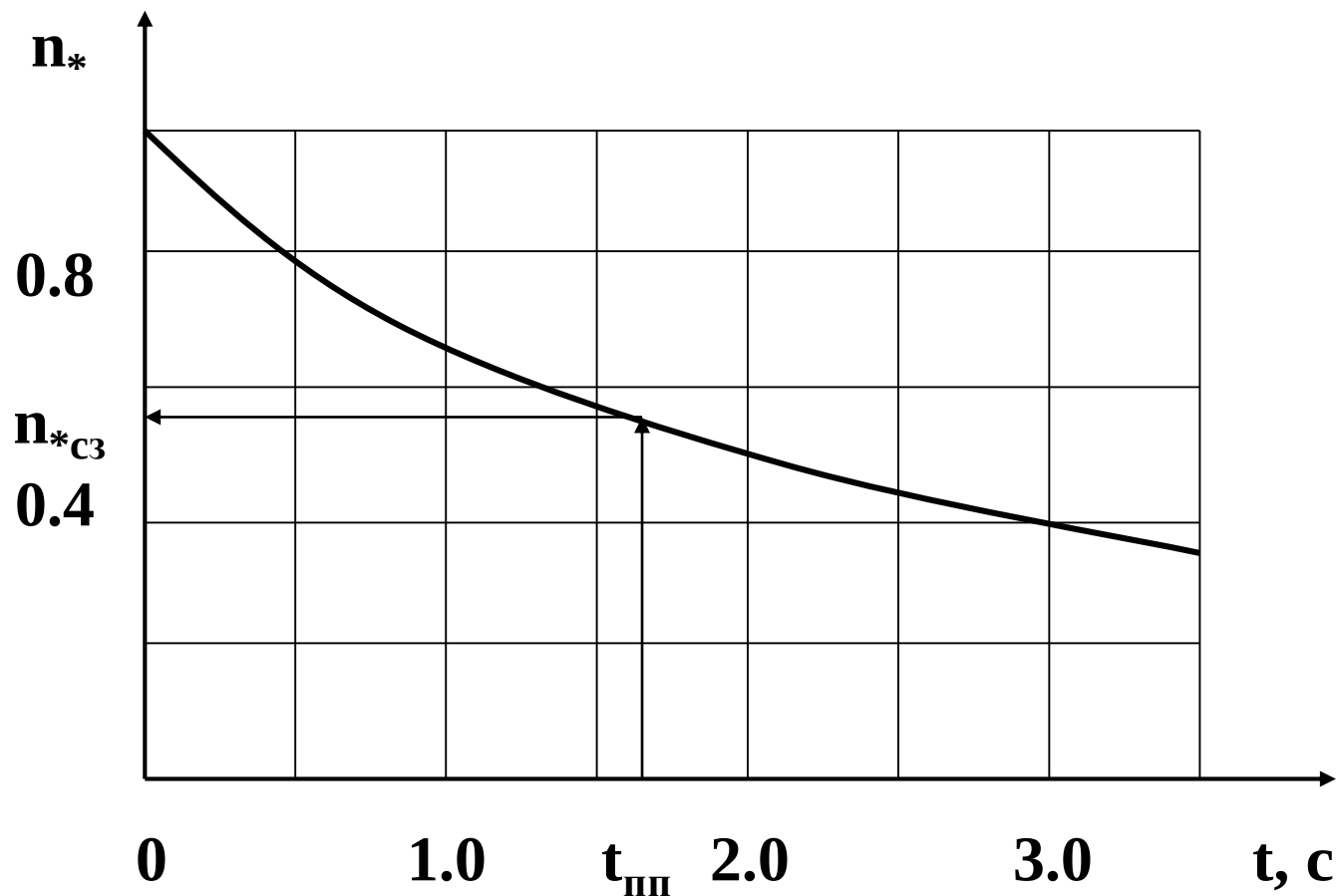
$$P_{\partial\theta\Sigma} = \frac{(1.05 - U_{ocm*}) \eta_{\partial\theta} \cos \varphi_{\partial\theta} \cdot \frac{U_{\partial\theta}^2}{U^2} S_T}{U_{ocm*} I_{n*} x_{T*}} \quad (18)$$



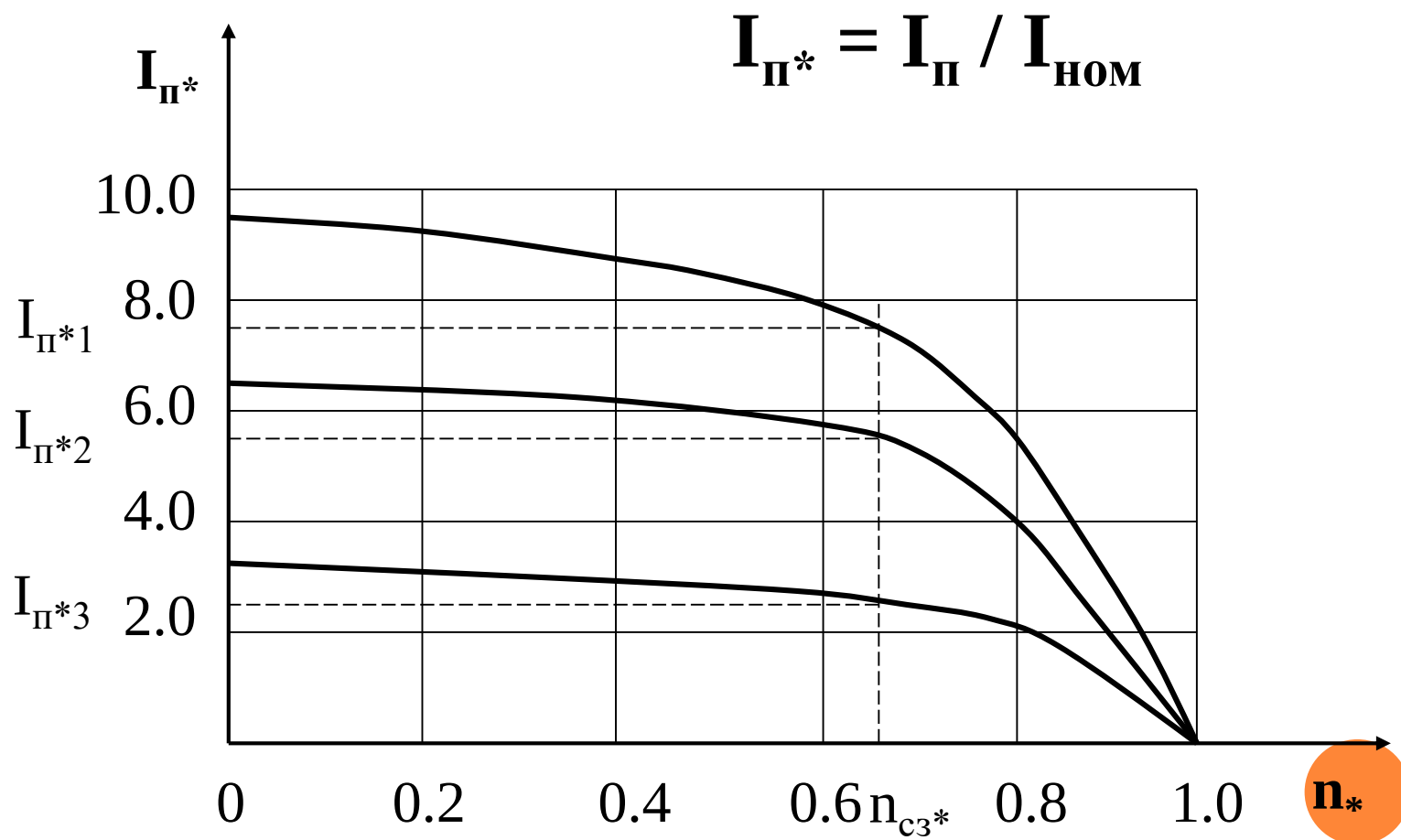
**ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ
МЕТОД РАСЧЕТА
САМОЗАПУСКА
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
СОБСТВЕННЫХ НУЖД**



К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ НАЧАЛА САМОЗАПУСКА



КРИВЫЕ КРАТНОСТИ ПУСКОВЫХ ТОКОВ



ПОРЯДОК РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

- 1) Построить зависимость вращающего момента двигателя от скольжения $M = f(s)$;
- 2) Построить моментную характеристику механизма заданного типа;
- 3) Построить кривую выбега механизма, из которой определить скорость двигателя в начале самозапуска;
- 4) Определить напряжение на шинах при самозапуске;
- 5) Построить моментную характеристику двигателя с учетом изменения напряжения



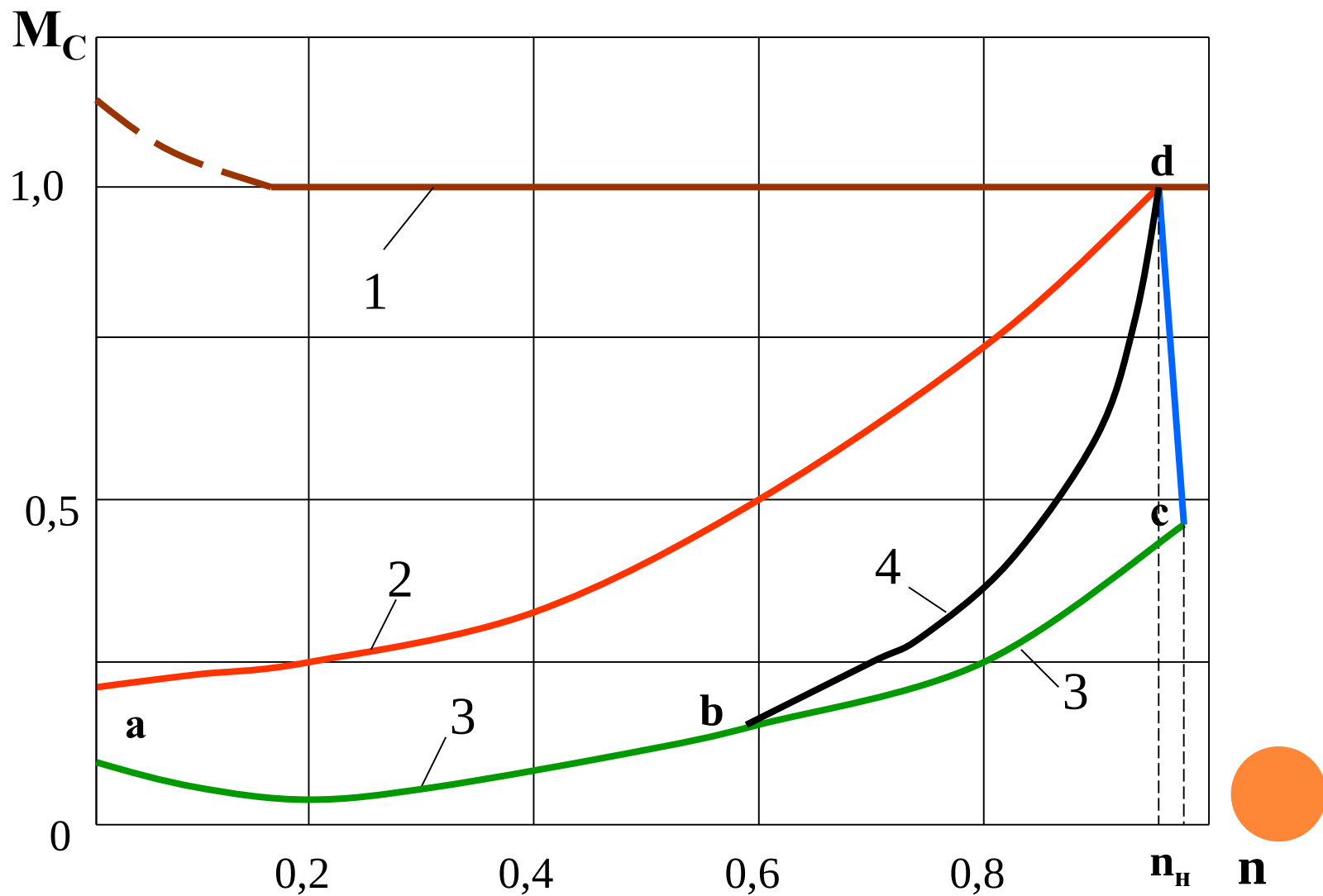
- 6) Из кривой выбега по заданному времени перерыва питания определить скольжение двигателя в начале самозапуска;
- 7) Построить кривую динамического момента двигателя;
- 8) Кривую динамического момента разбить на интервалы, начиная с величины скольжения $s_{сз}$ до $s_{ном}$. Полагая, что $M_{дин}$ остается неизменным за интервал времени изменения скольжения, определить время самозапуска;
- 9) Рассчитать температуру нагрева обмоток двигателя.



МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЗМОВ С.Н.



Механические характеристики



$$M_c = M_{тр} + (k_{зм} \cdot M_{ном.м} - M_{тр}) \cdot (\omega/\omega_1)^p$$

$M_{тр}$ — момент трогания с места;

$M_{ном.м}$ — номинальный момент механизма;

$k_{зм}$ — коэффициент загрузки.

$$\omega = \pi \cdot n / 30$$

$$s = (n_1 - n) / n_1 = 1 - n_*$$

$$n_* = 1 - s$$

$$M_{c*} = M_{Tp*} + (k_{3M} - M_{Tp*}) \cdot n_*^p$$



ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ МЕХАНИЗМОВ С.Н.

Асинхронные двигатели:

- конструктивно просты;
- надежны в эксплуатации;
- высокий КПД и коэффициент мощности.



ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ



УСЛОВИЯ ВЫБОРА АД:

- $P_{\text{ном.дв}} > P_{\text{ном.мех.}}$

- вращающий момент двигателя должен обеспечивать пуск и разворот механизма до номинальной частоты вращения;



- электродвигатели ответственных механизмов с.н. должны обеспечивать самозапуск при восстановлении напряжения после его кратковременного снижения или исчезновения;

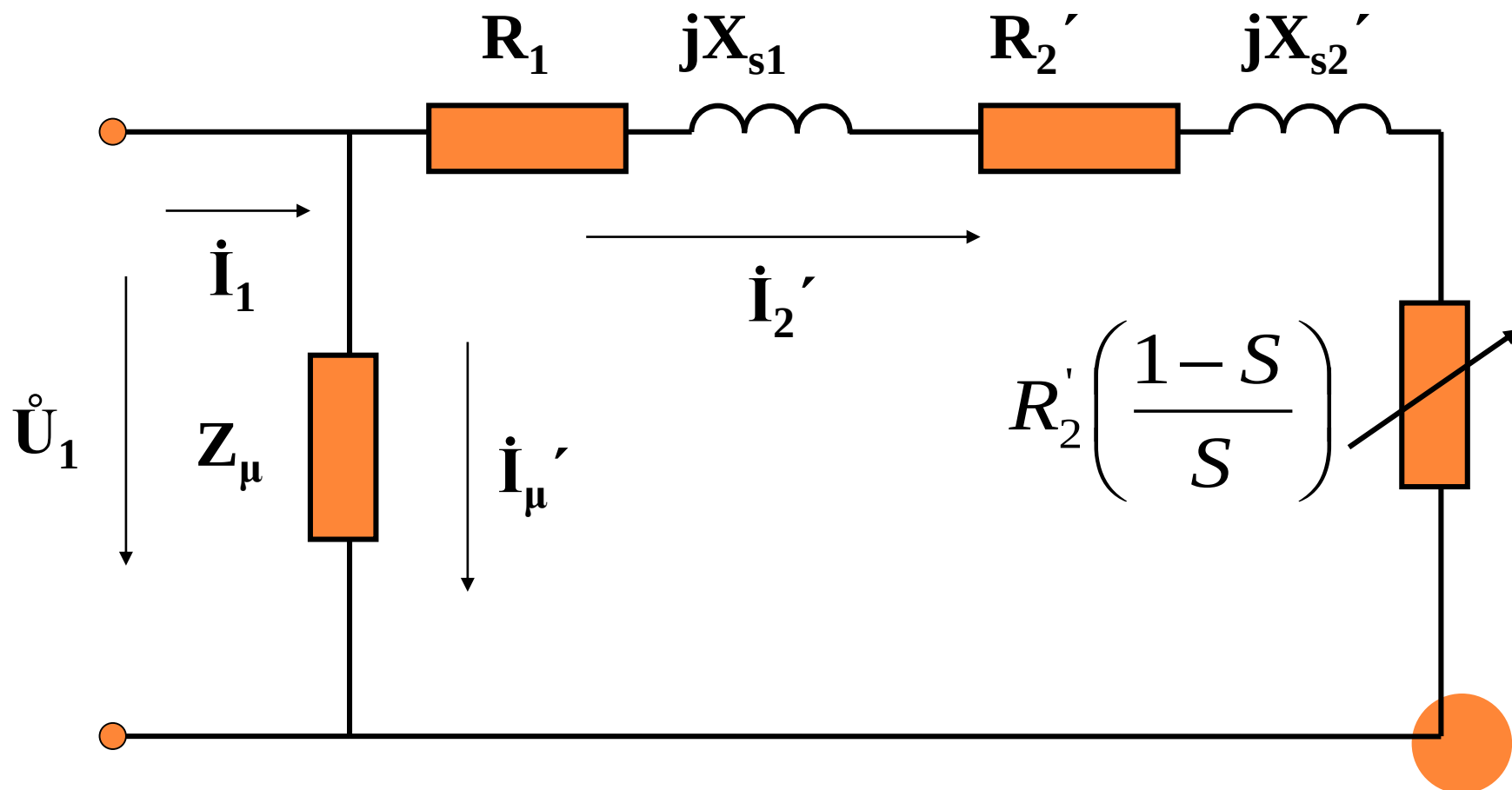
- электродвигатели при необходимости должны допускать регулирование производительности и частоты вращения механизмов в требуемых пределах.



СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ АД И ХАРАКТЕРИСТИКА ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА



Упрощенная Г-образная схема замещения АД



$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + R_2' + R_2' \frac{1-s}{s}\right)^2 + \left(X_{s1} + X_{s2}'\right)^2}} \quad (1)$$

$$P_B = 3(I_2')^2 \left(R_2' \frac{1-s}{s}\right) \quad (2)$$

$$M_{BP} = \frac{P_B}{\omega} \quad (3)$$


$$M_{BP} = \frac{3(I_2')^2 R_2' \frac{1-s}{s}}{\omega_c (1-s)} = \frac{3(I_2')^2 R_2'}{\omega_c s} \quad (4)$$

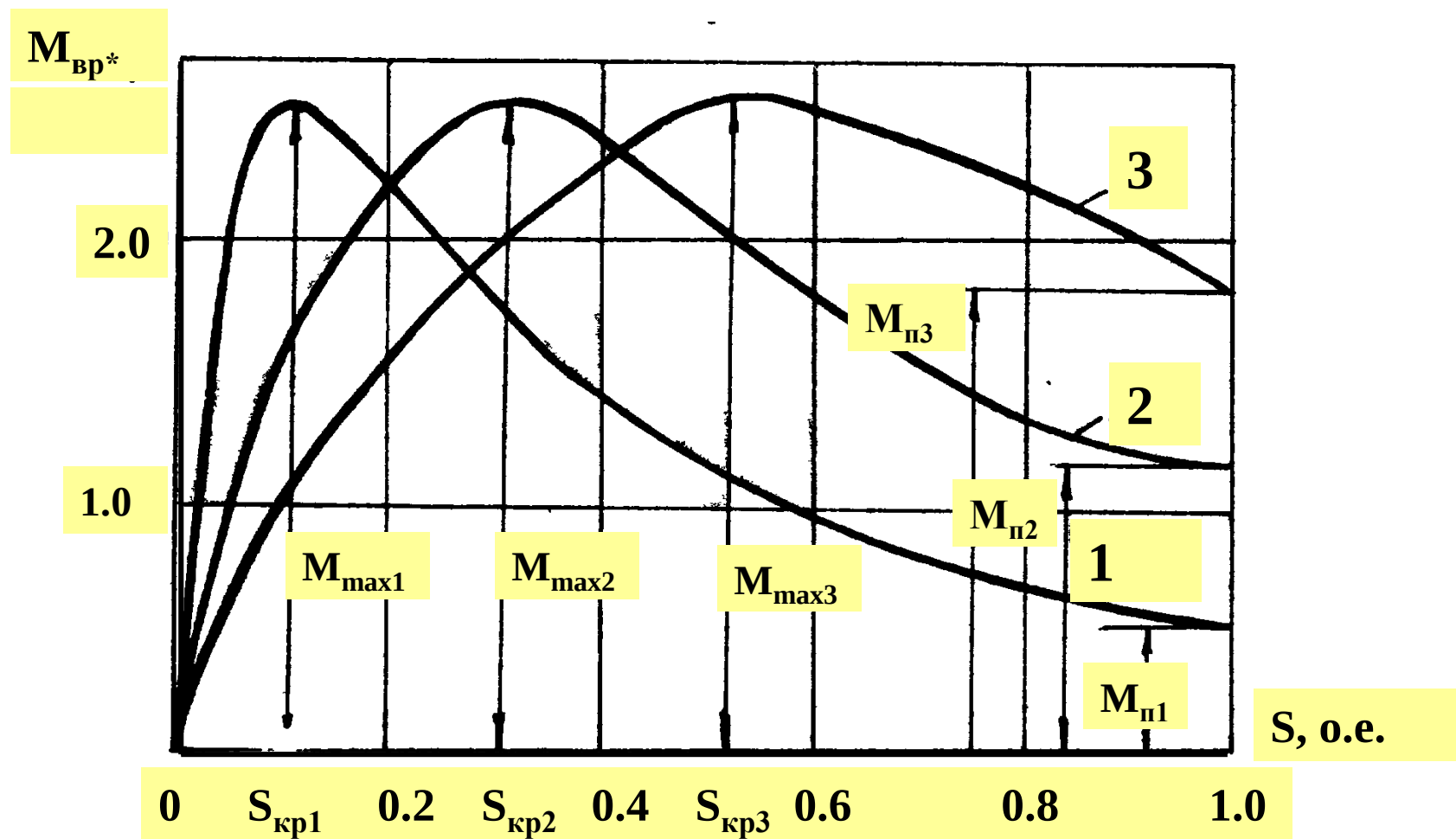
$$M_{BP} = \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_c s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_{s1} + X_{s2}' \right) \right]} \quad (5)$$



$$S_{KP} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_{s1} + X_{s2}')^2}} \quad (6)$$

$$M_{BPMAX} = \frac{3U_1^2}{\omega_c \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{s1} + X_{s2}')^2} \right]} \quad (7)$$





$$1 - R = 0; \quad 2 - R = 2R_2; \quad 3 - R = 4R_2$$

$$\frac{M_{BP}}{M_{BPMAX}} = \frac{2 + \delta}{\frac{S}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S} + \delta} \quad (8)$$

$$\delta = 2 \frac{R_1}{R_2'} S_{KP} \quad (9)$$

$$\frac{M_{BP}}{M_{BPMAX}} = \frac{2}{\frac{S}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S}} \quad (10)$$


$$M_{BP^*} = \frac{M_{BP}}{M_{BPHOM}} = \frac{M_{BP}}{M_{BPHOM}} \cdot \frac{M_{BPMAX}}{M_{BPMAX}} = k_m \cdot \frac{2}{\frac{S}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S}}$$

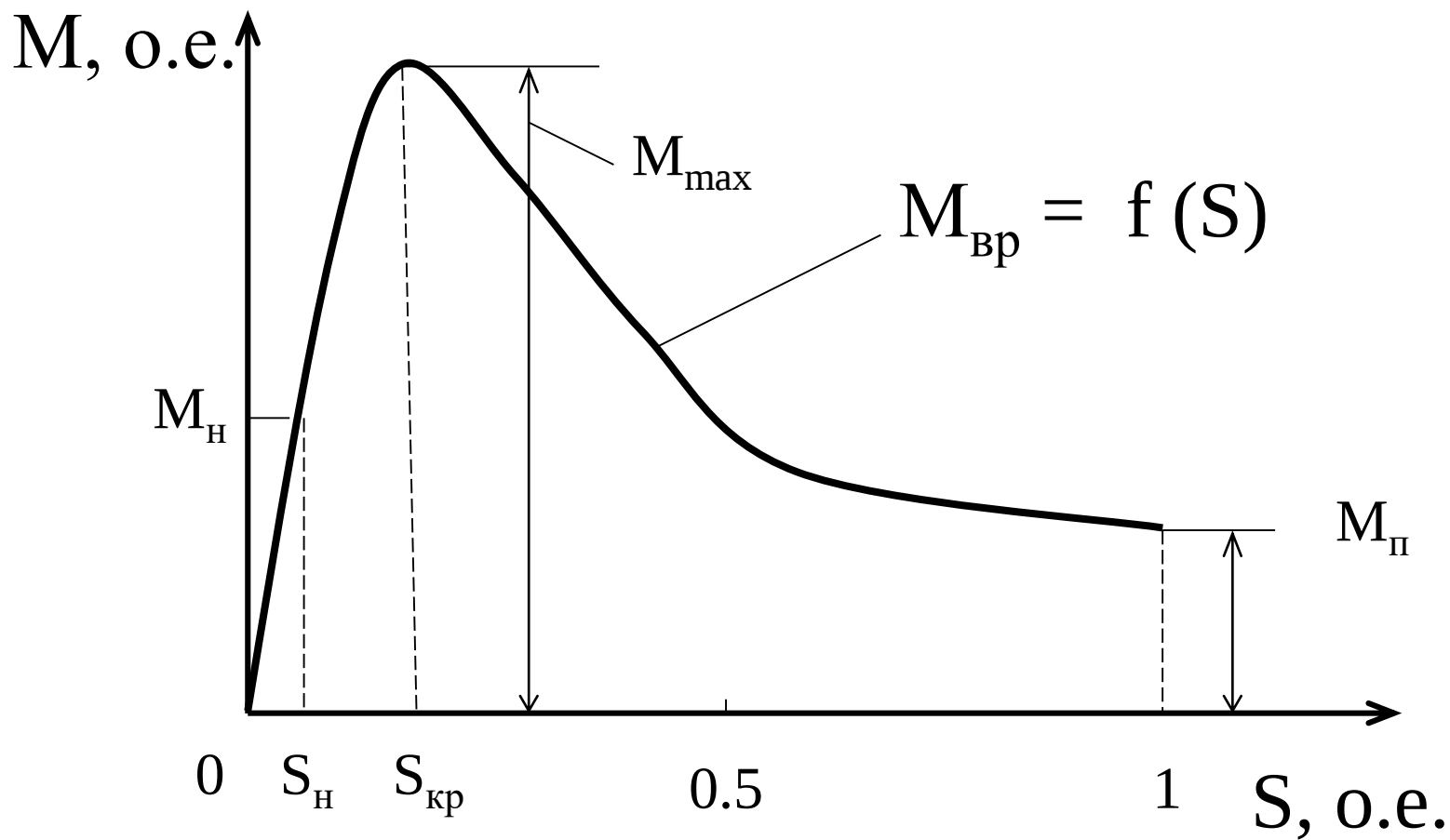
(11)

$$S_{KP} = \left(k_m + \sqrt{k_m^2 - 1} \right) \cdot S_H$$

(12)



МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АД



РАБОЧИЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

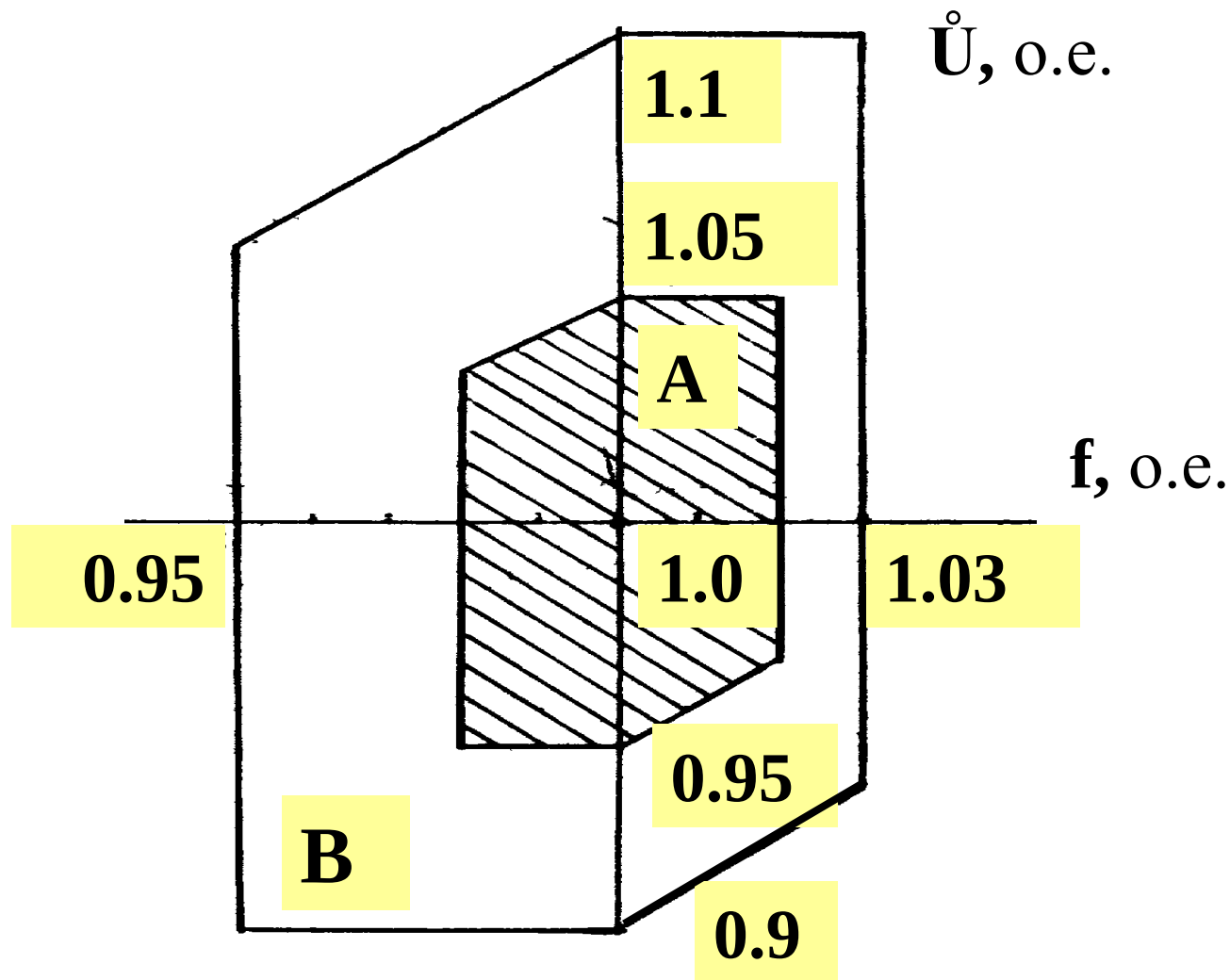


ДОПУСТИМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ

- Напряжения – $\pm 10\%$
от номинального;
- Частоты – $\pm 2,5\%$
от номинальной;
- Напряжения и частоты –
10%.



Диапазон допустимых изменений U и f на выводах электродвигателя



ПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ



$$M_{изб} = M_{вр} - M_c = J_{пр} \frac{d\omega}{dt} \quad (13)$$

$M_{вр}$ — момент вращения электродвигателя;

M_c — момент сопротивления механизма;

$J_{пр}$ — приведенный момент инерции агрегата;

$M_{изб}$ — избыточный момент.



$$J_{np} = J_{\partial v} + J_{mex} \quad (14)$$

Электромеханическая постоянная времени агрегата:

$$T_j = J_{np} \frac{\omega_1}{M_{ном}} = J_{np} \frac{\omega_1^2}{P_{ном}} \quad (15)$$

$$M_{изб}^* = M_{вр}^* - M_{с}^* = -T_j \frac{ds}{dt} \quad (16)$$


$$\frac{2k_m}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s}} = -T_j \frac{ds}{dt} \quad (17)$$

$$dt = -\frac{T_j}{2k_m} \left(\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s} \right) ds \quad (18)$$



$$t = \frac{T_j}{2k_m} \left(\frac{1-s^2}{2s_{kp}} + s_{kp} \ln \frac{1}{s} \right) \quad (19)$$

$$t_n = \frac{T_j}{2k_m} \left(\frac{1-0,05^2}{2s_{kp}} + s_{kp} \ln \frac{1}{0,05} \right) \cong$$

$$\cong \frac{T_j}{2k_m} \left(\frac{1}{2s_{kp}} + 3s_{kp} \right) \quad (20)$$


ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

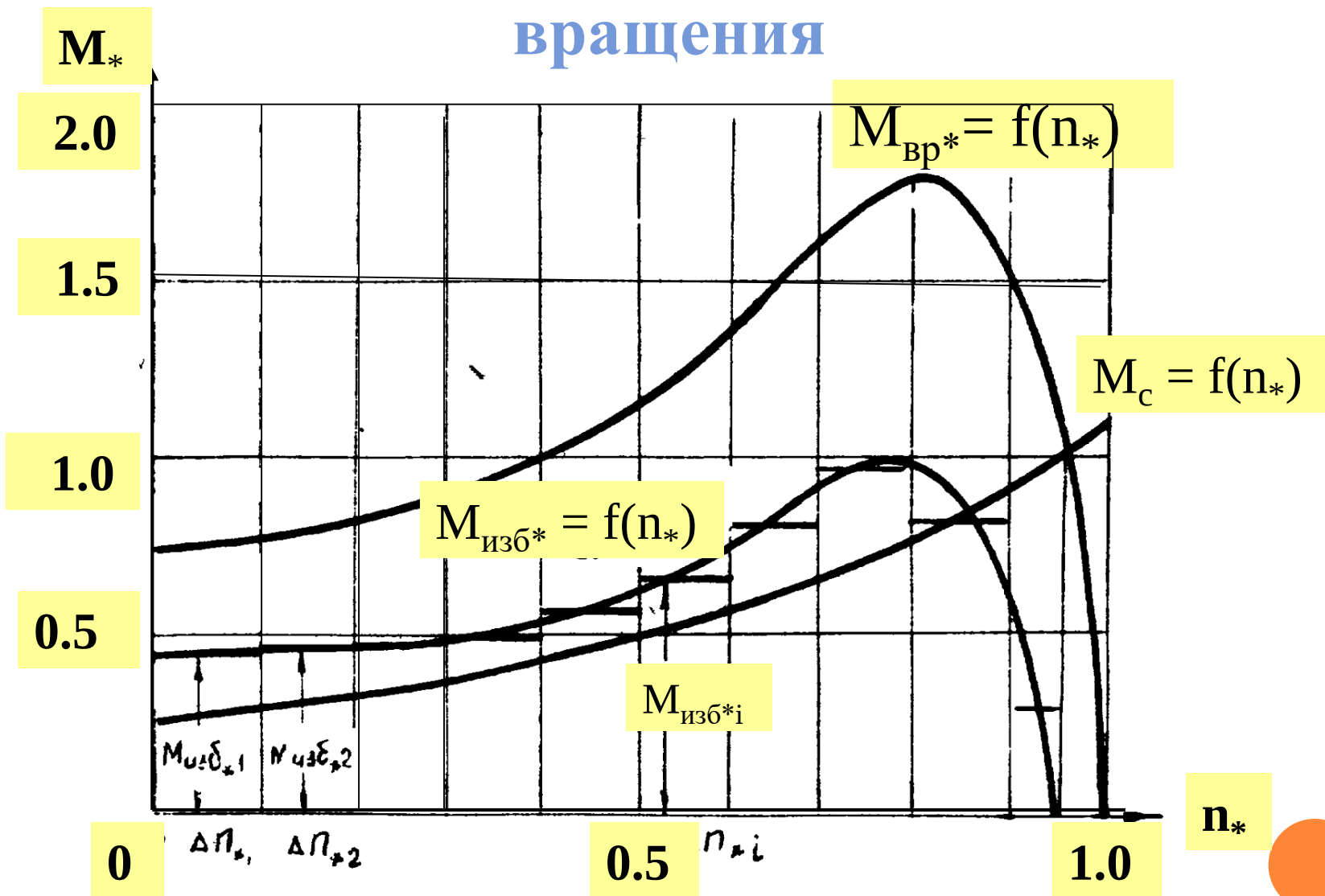
$$M_{изб.ср.i^*} = T_j \frac{\Delta n_{i^*}}{\Delta t_i} \quad (21)$$

Δn_{i^*} — конечное приращение скорости вращения;

Δt_i — приращение времени, за которое изменилась скорость вращения на Δn_{i^*}



Зависимости моментов от скорости вращения



$$\Delta t_i = T_j \frac{\Delta n_{*i}}{M_{u3\delta^{*i}}} \quad (22)$$

$$t_n = T_j \sum_{i=1}^{i=k} \frac{\Delta n_{*i}}{M_{u3\delta^{*i}}} \quad (23)$$



НАГРЕВ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПУСКЕ

$$P \cdot dt = cGd\Theta \quad (24)$$

где P – потери мощности в обмотке, кВт; c – удельная теплоемкость материала обмоток (Вт·с)/(г·°С);

G – вес обмотки, кг; Θ – превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды, °С.

$$I_{\text{ЭК}} = \sqrt{\frac{1}{t_n} \int_0^{t_n} I^2 dt} \quad (25)$$

$$P_1 = I_{1\text{ЭК}^*}^2 \cdot P_{1\text{НОМ}} \quad (26)$$

$$\Theta = \frac{P_{1\text{НОМ}}}{C_1 G_1} I_{1\text{ЭК}^*}^2 \cdot t_n \quad (27)$$


$$P_{1нoм} = I_{1нoм}^2 \frac{\rho_1 l_1 k_{\phi}}{q_1} \quad (28)$$

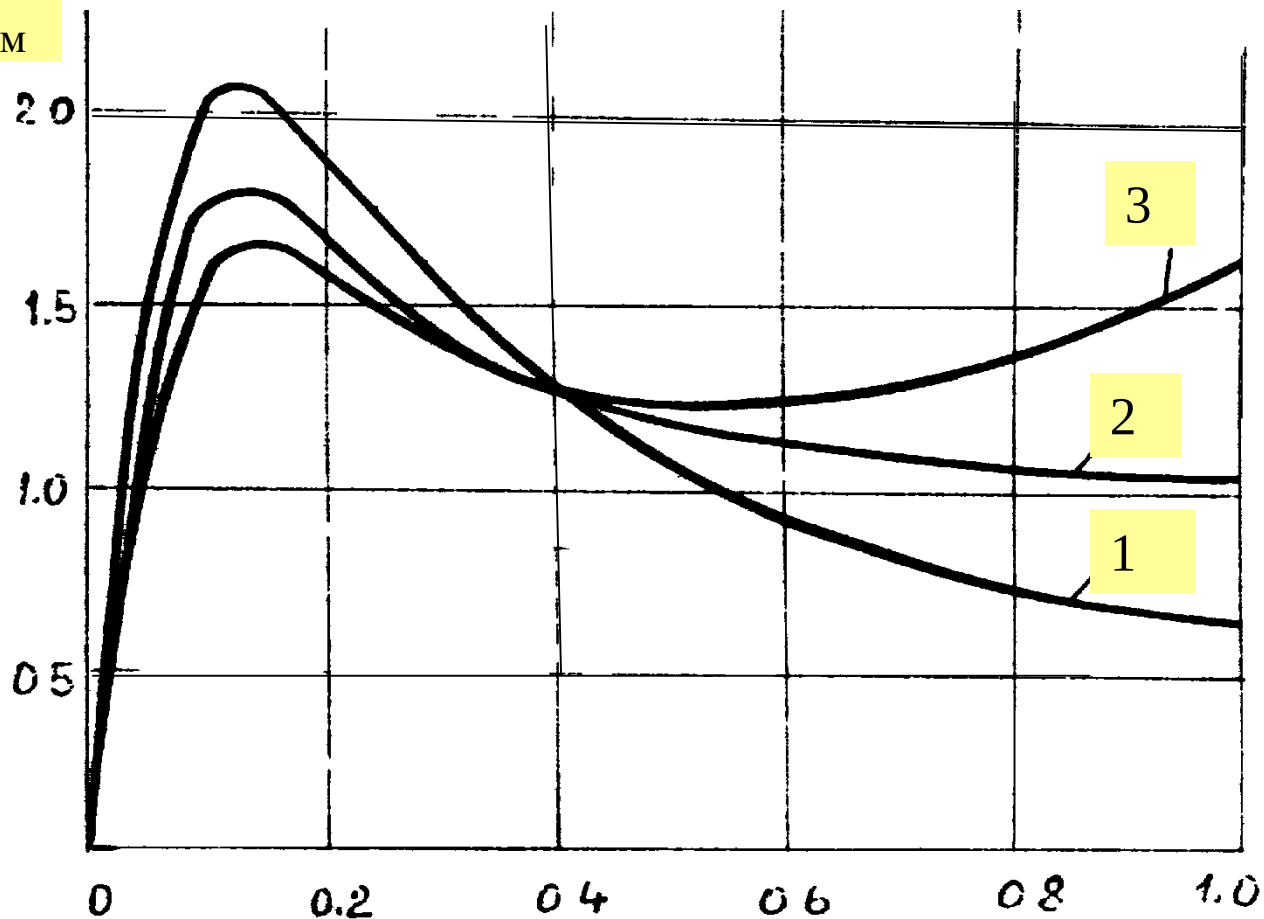
$$G = \gamma_1 l_1 q \quad (29)$$

$$\Theta = \frac{\rho_1 k_{\phi}}{C_1 \gamma_1} \left(j_{1нoм} \cdot I_{1\exists K^*} \right)^2 t_n \quad (30)$$



МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АД С УЛУЧШЕННЫМИ ПУСКОВЫМИ СВОЙСТВАМИ

$M/M_{\text{НОМ}}$



s , o.e.

Нормальные режимы работы электродвигателей

