

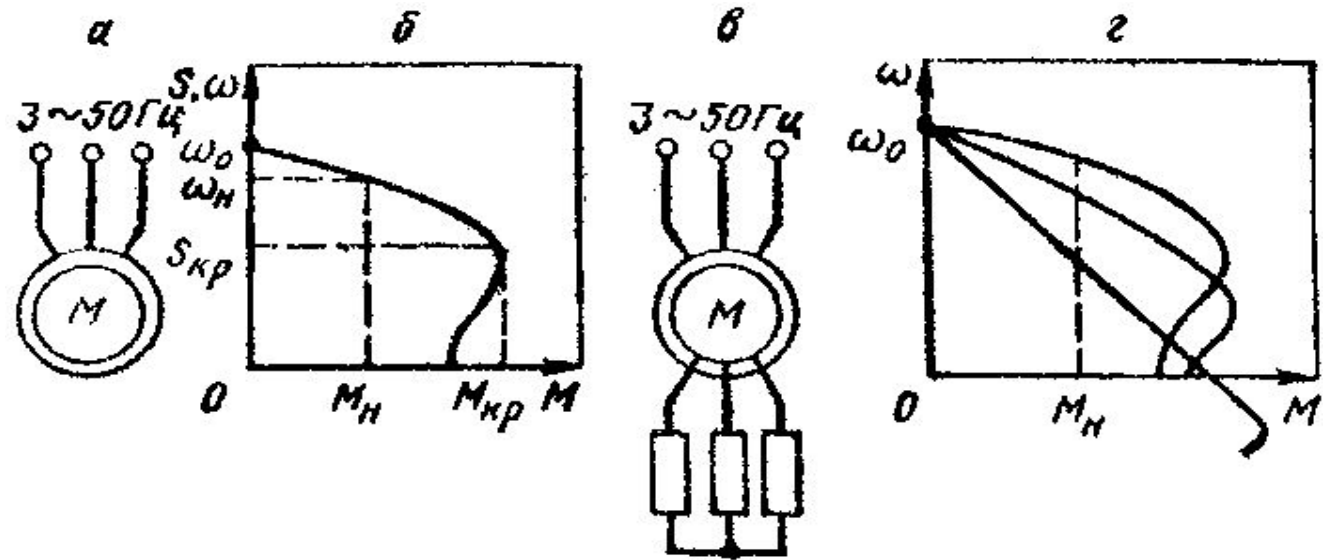
Лекция №13 по  
дисциплине  
«Электрический привод»

**Тема: «Механические характеристики АД»**

# Механические характеристики АДФ и АДК:

Асинхронные электродвигатели нашли широкое применение в промышленности благодаря простоте конструкции, надежности и экономичности в эксплуатации, минимальной стоимости и возможности питания от электрической сети переменного тока.

Схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором приведена на рис. а, с фазным ротором – на рис. в, а соответствующие им механические характеристики в двигательном режиме на рис. б и г.



# Особенности электромеханических процессов в АД:

Несмотря на простоту физических явлений полное математическое описание процессов в асинхронной машине весьма сложно. Эта сложность порождена несколькими причинами:

- все напряжения, токи, потокосцепления – переменные, т.е. характеризуются частотой, амплитудой, фазой или соответствующими векторными величинами;
- взаимодействуют движущиеся контуры, взаимное положение которых изменяется в пространстве;
- магнитный поток нелинейно связан с намагничивающим током (проявляется насыщение магнитной цепи), активные сопротивления роторных цепей зависят от частоты (проявляется эффект вытеснения тока), сопротивления всех цепей существенно зависят от температуры и т.п.

# Допущения при расчете механических характеристик АД:

Для расчета статической механической характеристики принимают следующие допущения:

- ЭДС, токи, потокосцепления – синусоидальны во времени и пространстве;
- проводимость намагничивающего контура постоянна (не учитывается кривая намагничивания);
- параметры цепей постоянны (активные сопротивления и индуктивности не зависят от частоты, насыщение не влияет на индуктивные сопротивления рассеяния  $x_1$  и  $x_2$ );
- не учитываем моменты, создаваемые высшими гармониками потока и тока, расчет ведем по первой гармонике;
- гистерезис и вихревые токи отсутствуют;
- механические потери на трение и вентиляцию отсутствуют (отнесены к статическому моменту).

# Π-образная схема замещения АД:

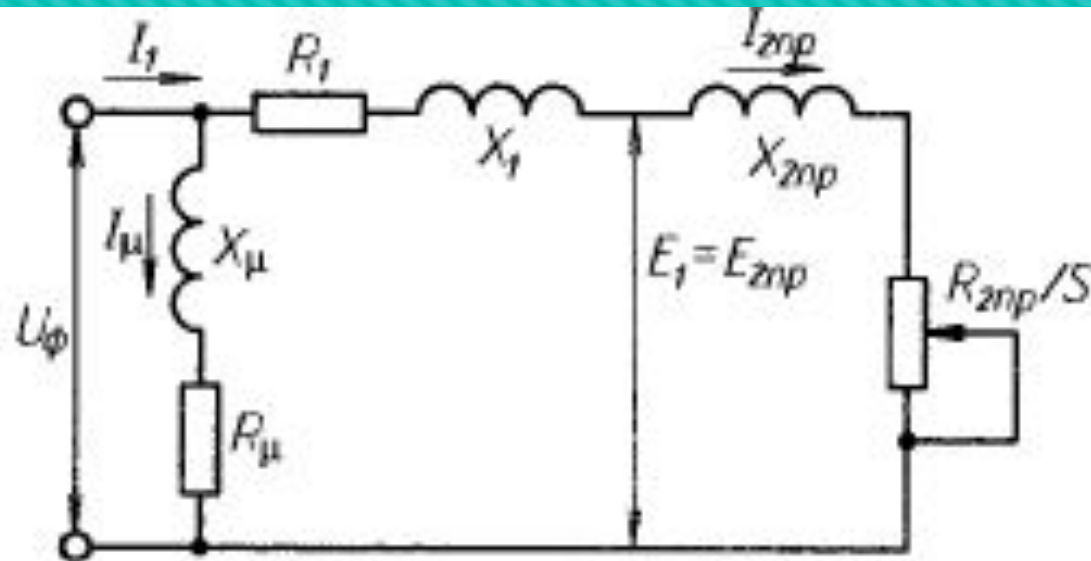


Схема замещения асинхронного электродвигателя:

$U_{\phi}$  — фазное напряжение;  $E_1$  — ЭДС обмотки статора;  $E_{2np}$  — ЭДС ротора, приведенная к цепи статора;  $R_1$  — активное сопротивление цепи статора;  $R_{2np}$  — активное сопротивление цепи ротора, приведенное к цепи статора;  $I_1$  — ток обмотки статора;  $I_{2np}$  — ток ротора, приведенный к цепи статора;  $I_{\mu}$  — ток намагничивания;  $X_{\mu}$ ,  $R_{\mu}$  — сопротивления цепи намагничивания;  $X_1$  — реактивное сопротивление цепи статора;  $X_{2np}$  — реактивное сопротивление цепи ротора, приведенное к цепи статора

# Математическое описание характеристик АД:

Для получения математического описания характеристик АД применяется его схема замещения, в которой цепи статора и ротора объединены электрически, хотя в действительности эти цепи связаны только электромагнитно. Получить такую схему замещения позволяет приведение параметров цепи ротора к цепи статора. Приведение (перерасчет) осуществляется с помощью коэффициента трансформации двигателя по ЭДС:

$$K = E_1 / E_{2к} \approx 0,95 U_{\text{фн}} / E_{2к},$$

где  $E_1$  и  $E_{2к}$  – фазные ЭДС статора и ротора при неподвижном роторе;  $U_{\text{фн}}$  – фазное напряжение сети.

# Математическое описание характеристик АД:

Формулы приведения:  $E_{2\text{пр}} = E_2 K = E_1; R_{2\text{пр}} = R_2 K^2;$   
 $I_{2\text{пр}} = I_2 / K; X_{2\text{пр}} = X_2 K^2,$

где приведенные значения имеют индекс «пр».

Зависимость приведенного тока ротора от скольжения  $I_{2\text{пр}}(s)$  описывается выражением, полученным на основании схемы замещения:

$$I_{2\text{пр}} = U_{\Phi} / \sqrt{(R_1 + R_{2\text{пр}}/s)^2 + X_K^2}$$

где  $X_K = X_1 + X_{2\text{пр}}$  – индуктивное сопротивление КЗ из схемы замещения АД

$$I_1 = I_2' + I_{\mu}.$$

# Электромеханическая характеристика АД:

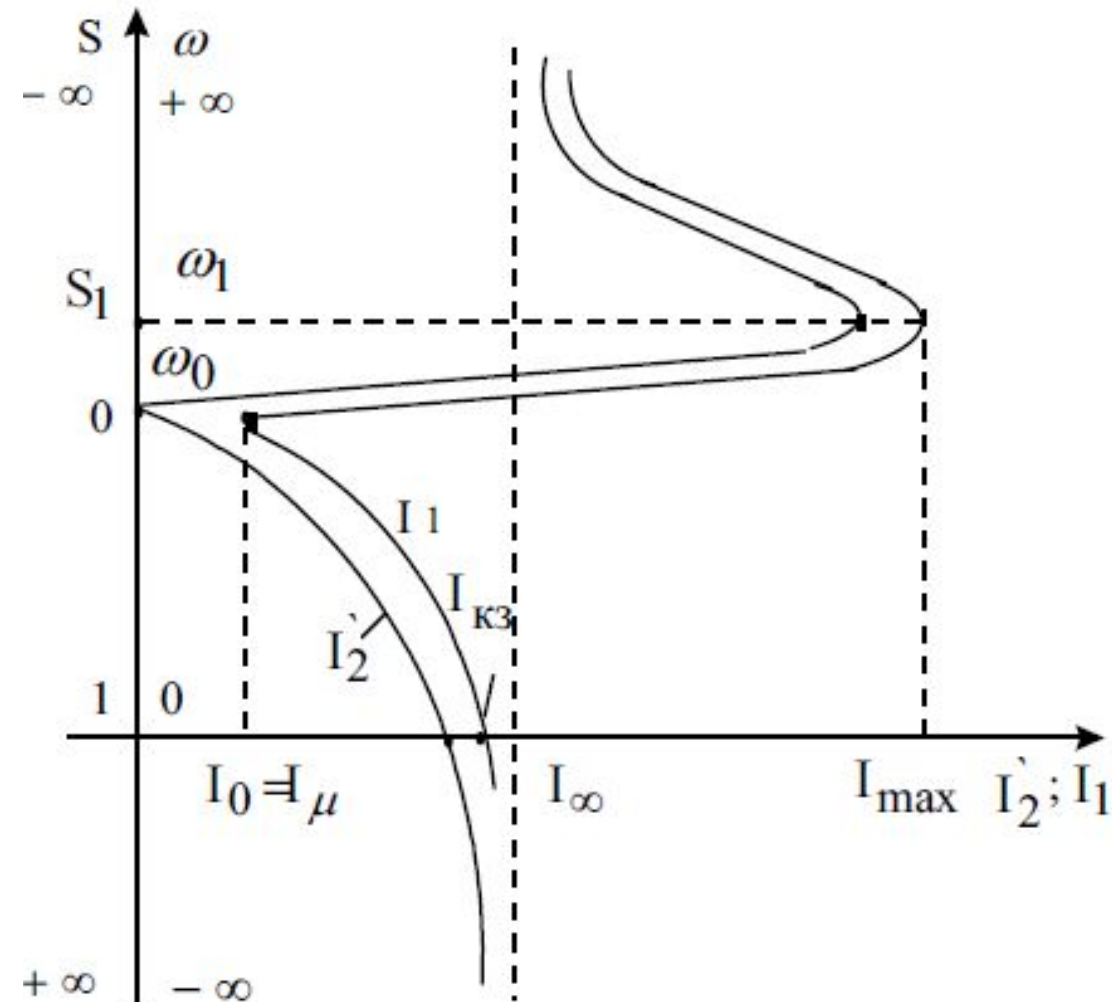
На рис. представлены электромеханические характеристики АД как зависимости  $\omega = f(I_1)$ ,  $\omega = f(I'_2)$ ,  $S = f(I'_2, I_1)$ .

Проведем анализ характеристик.

1. При  $S = 0$ ;  $\omega = \omega_0$ ;  $I'_2 = 0$ ;  $I_1 = I_0$  – точка идеального холостого хода.

2. При  $S = 1$ ;  $\omega = 0$ ;  $I_1 = I_{кз} = I_{пуск}$  – точка короткого замыкания.

3. При  $S = -R'_2/R_1$ ;  $\omega = \omega_0(1 - S_1)$ ;  $I'_2 = I_{max} = U_{\phi}/X_k$  – точка максимального тока ротора, лежащая в области отрицательных скольжений.

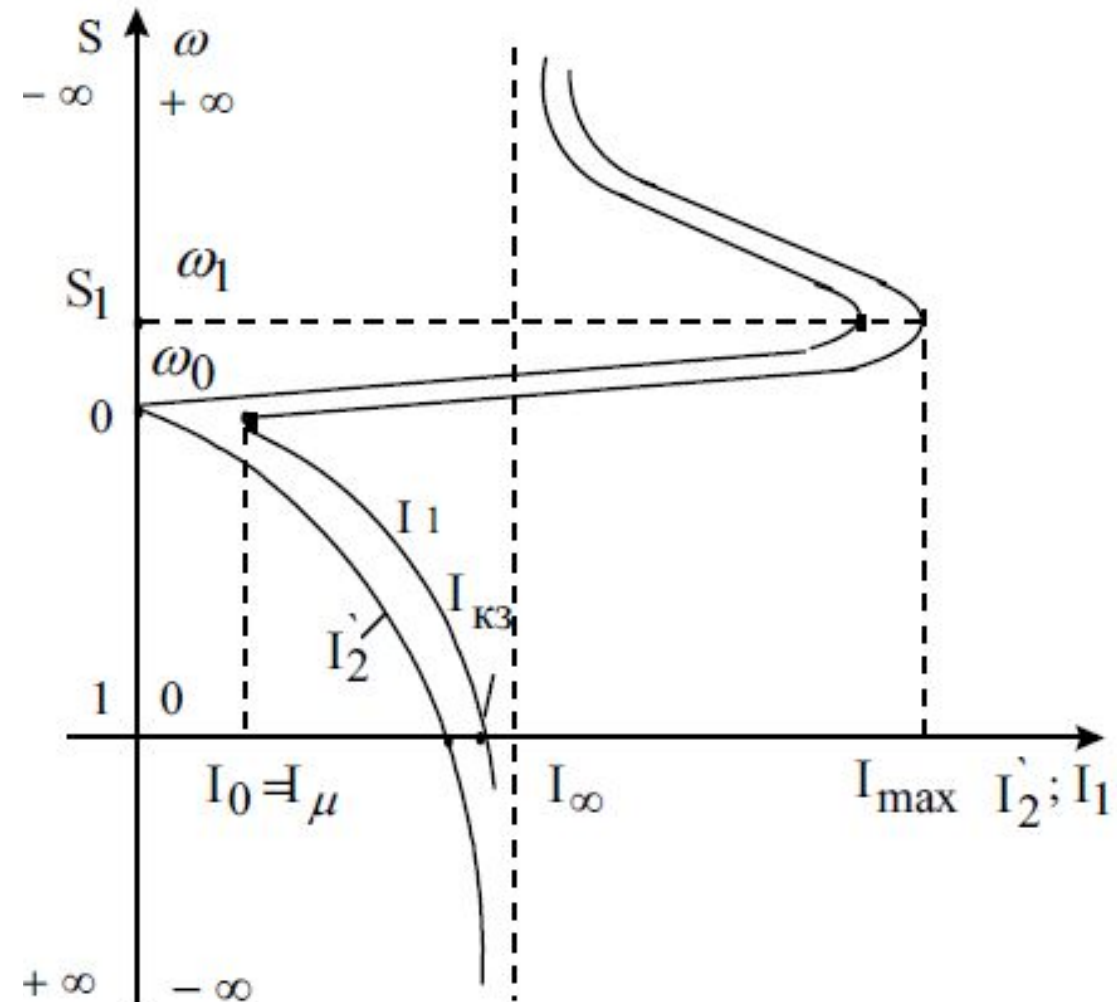




# Электромеханическая характеристика АД:

4. При

$$S_x \rightarrow \pm\infty, \quad \omega \rightarrow \mp\infty, \quad I_2' \rightarrow I_\infty = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}}.$$



# Механическая характеристика АД:

Для построения механической характеристики АД рассмотрим баланс мощности в цепи ротора.

Потери мощности в цепи ротора  $\Delta P_2 = P_{\text{эм}} - P_2 = M\omega_0 - M\omega = M\omega_0 S$ ,

где  $P_{\text{эм}}$  – электромагнитная мощность;  $P_2$  – полезная механическая мощность на валу.

Так как потери в роторе  $\Delta P_2$  зависят от  $S$ , их называют потерями скольжения. С другой стороны,  $\Delta P_2 = 3I_2'^2 R_2'$ , тогда  $M = (3I_2'^2 R_2') / (\omega_0 S)$ , подставив  $I_2'$ , получим уравнение механической характеристики АД:

$$M = \frac{3U_{\phi}^2 R_2'}{\omega_0 S \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + X_{\kappa}^2 \right]}.$$

# Механическая характеристика АД:

Если в выражении уточненной формулы Клосса принять  $R_1 = 0$  (для двигателей большой и средней мощности  $R_1 = 0,1 \dots 0,15 \cdot X_K$ ), тогда  $a = R_1 / R'_2 = 0$ , то мы получим **упрощенную формулу Клосса**

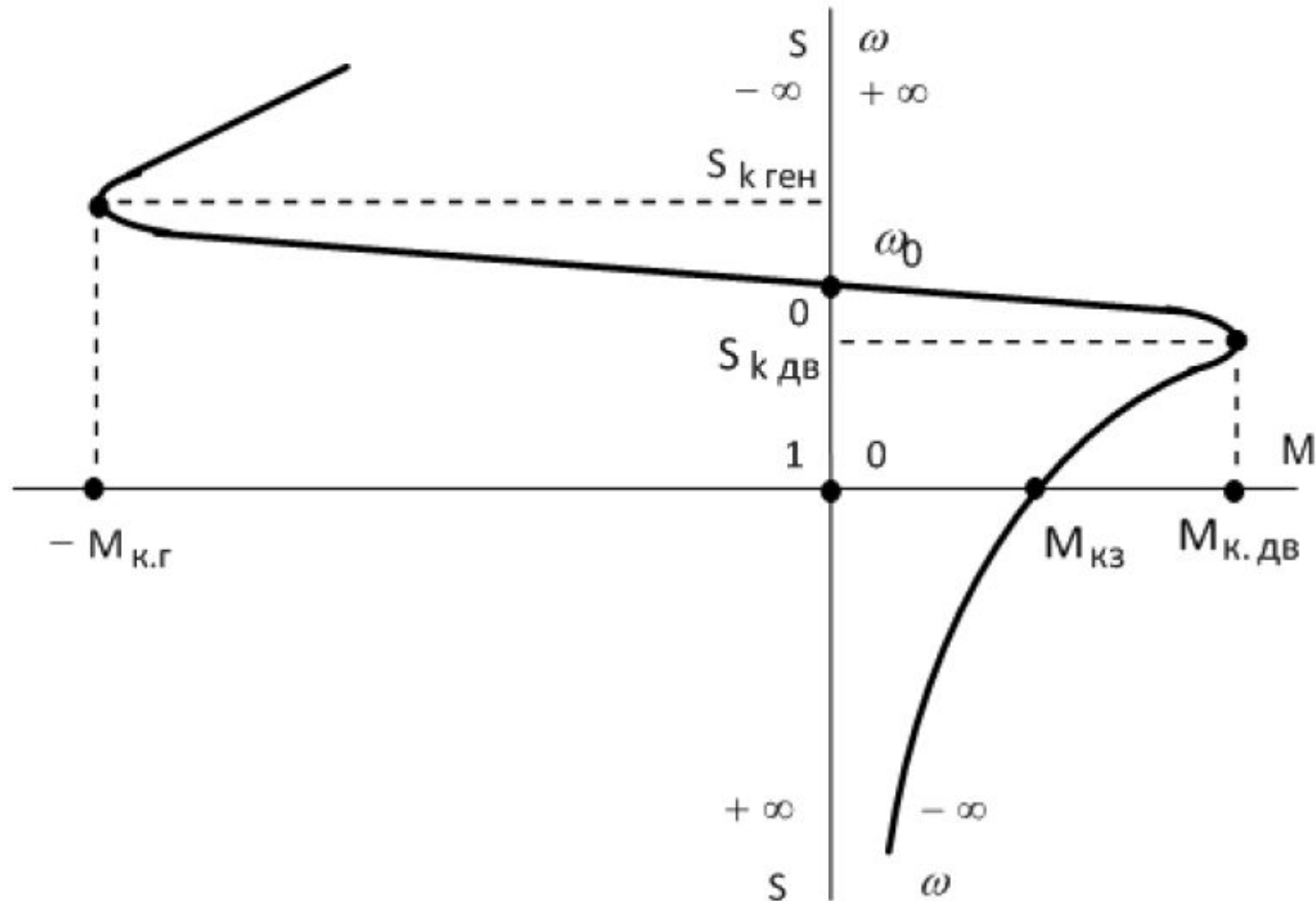
$$M = \frac{2M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}};$$

$$M_K = 3U_{\Phi}^2 / (2\omega_0 X_K);$$

$$S_K = \frac{R'_2}{X_K}.$$

Также критическое скольжение можно определить по формуле:  $S_K = S_H (\lambda_K + \sqrt{\lambda_K^2 - 1})$  где  $S_H$  – номинальное скольжение;  $\lambda_K$  – отношение критического момента к номинальному.

# Механическая характеристика АД:



На рис. представлена механическая характеристика АД в различных режимах работы.

Проведем анализ механической характеристики АД.

При  $S = 0$ ,  $\omega = \omega_0$ ,  $M = 0$  – точка идеального холостого хода АД.

При  $S = 1$ ,  $\omega = 0$ ,  $M = M_{кз} = M_{пуск}$  – точка короткого замыкания АД.

При  $S = S_{к(двиг)}$ ,  $M = M_{к(двиг)}$ ,  $S = -S_{к(ген)}$ ,  $M = M_{к(ген)}$  – точки экстремума (максимума  $M$ ).



# Задача. Решение:

1.  $M_H = P_H / \omega_H = P_H / (\pi n_H / 30) = 30000 / (\pi \cdot 1460 / 30) = 205 \text{ Н} \cdot \text{м};$

2.  $M_K = \lambda_K M_H = 2 \cdot 205 = 410 \text{ Н} \cdot \text{м};$

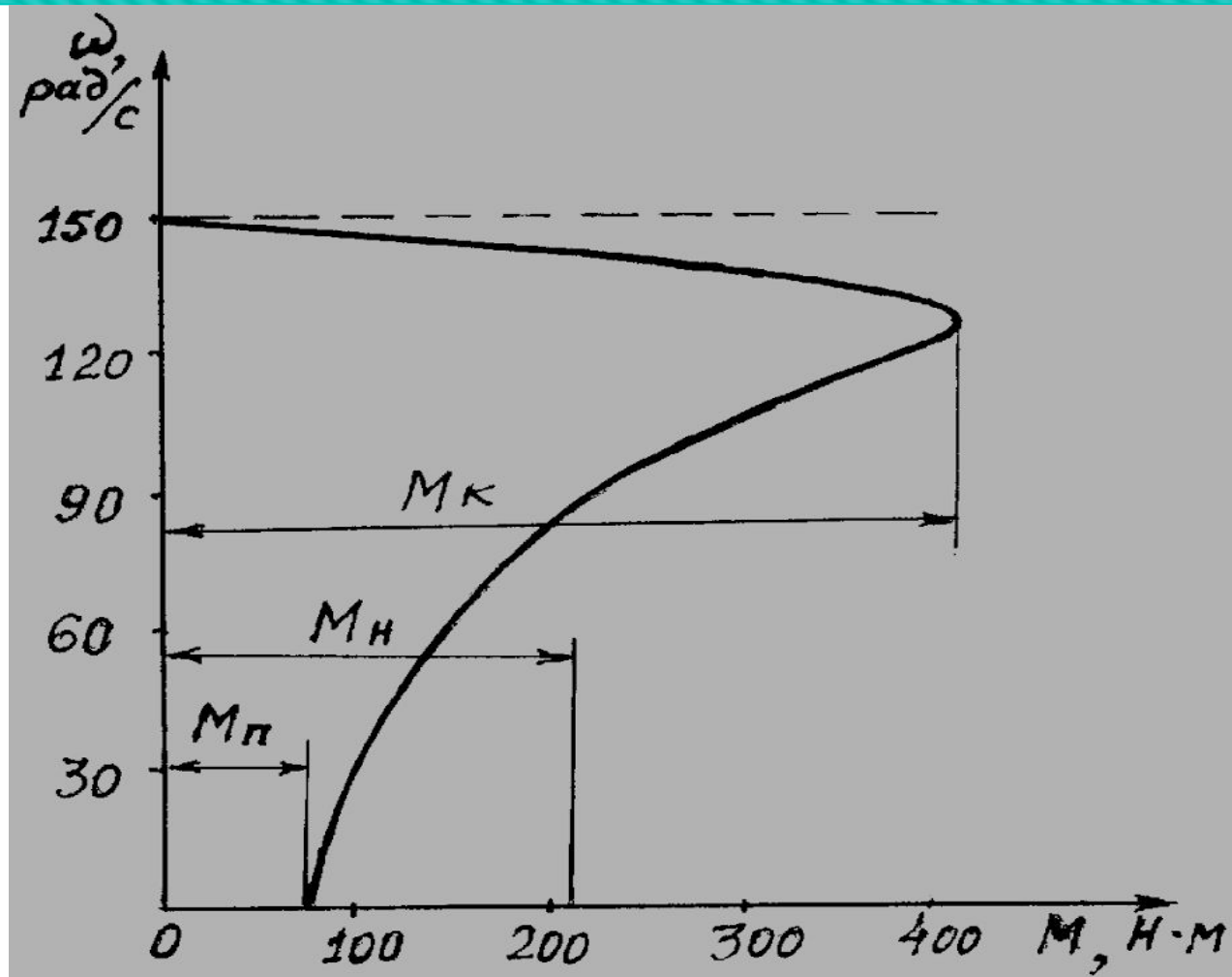
3.  $s_H = (n_0 - n_H) / n_0 = (1500 - 1460) / 1500 = 0,0266;$

4.  $S_K = S_H (\lambda_K + \sqrt{\lambda_K^2 - 1}) = 0,0266 (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,1$

5. Уравнение механической характеристики  $M = 820 / (s/0,1 + 0,1/s);$

<b>s</b>	<b>0</b>	<b>0,026</b>	<b>0,04</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>
<b>n, об/мин</b>	1500	1460	1440	1350	1200	900	600	300	<b>0</b>
<b>M, Н·м</b>	<b>0</b>	<b>205</b>	<b>324</b>	<b>410</b>	<b>328</b>	<b>206</b>	<b>138</b>	<b>106</b>	<b>82</b>

# Задача. Решение:



# Контрольные вопросы:

1. Что такое механическая и электромеханическая характеристика?
2. Объясните что значит «приведенные» параметры АД? Какие параметры АД могут быть приведены?
3. Какие существуют характерные точки электромеханической характеристики?
4. Какие существуют характерные точки механической характеристики?
5. Исходя из какого уравнения можно получить электромеханическую характеристику АД?
6. Какое допущение принимается в уточненной формуле Клосса?