

# ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

---

Раздел 2 Элементная база систем стабилизации

2.3 Исполнительные устройства

2.3.3 Энергетический расчет

# ЦЕЛЬ

На основе изучения динамических процессов управления и общетехнических требований:

- Расчет необходимых энергетических параметров
- Выбор типа привода
- Оценка массо-габаритных параметров привода, кинематической передачи, источника питания

# ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РМ

Требуемые максимальные:

- Скорости вращения вала (перемещения штока) РМ  $\omega_{\max} (x_{\max})$
- Движущий момент (усилие)  $M_{\text{дв max}} (P_{\text{дв max}})$
- Мощность на выходном валу  $N_{\max}$
- Ускорения  $\varepsilon_{\max} (x_{\max})$
- Углы поворота (перемещения)  $\delta_{\max} (x_{\max})$
- КПД  $\eta$

и др.

# ЭТАПЫ

1. Анализ нагрузки на выходном валу (штоке)  $M_H, (P_H)$
2. Расчет требуемых угла поворота, угловой скорости, угловых ускорений выходного вала РМ ( $\delta(t), \dot{\delta}(t), \ddot{\delta}(t), x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t)$ )
3. Оценка требуемой механической характеристики РМ, расчет основных энергетических параметров
4. Выбор типа РМ
5. Выбор и расчет кинематической передачи
6. Выбор и оценочный расчет источника питания РМ
7. Формирование структуры РП, оценка его динамических свойств
8. Составление ТЗ на РМ и РП

# АНАЛИЗ НАГРУЗКИ НА ВЫХОДНОМ ВАЛУ (ШТОКЕ)

## Типы моментов нагрузки

- Шарнирный момент  $M_{ш} = M_{ш}^{\delta} \delta$
- Реактивный момент  $M_p = k_p \delta$
- Момент из-за асимметрии тяги двигателя  $M_{ac} = P \cdot e$
- Инерционный момент  $M_{дин} = -J_{np} \delta$
- Момент сухого трения  $M_{см} = k_{см} \text{sign} \delta$
- Момент вязкого трения  $M_{вт} = k_{вт} \delta$

# АНАЛИЗ НАГРУЗКИ НА ВЫХОДНОМ ВАЛУ (ШТОКЕ)

Динамический момент: момент инерции всех подвижных частей РМ, приведенных к оси вращения руля:

Гидравлическая РМ: поршень+руль -  $J = mr^2 + J_p \approx J_p$

Электрическая РМ: двигатель+редуктор -  $J = J_{\text{я}} i^2 + J_p \approx J_{\text{я}} i^2$

Приведение усилия на штоке к моменту на оси вращения руля:

$$M_{\text{нприв}} \delta^{\text{ш}} = P_{\text{ш}} \eta_{\text{кп}}$$

$$M_{\text{нприв}} = P \frac{\delta^{\text{ш}}}{\delta} \eta_{\text{кп}} = \frac{P \eta_{\text{кп}}}{k_{\text{кп}}}$$

Приведение момента нагрузки в выходному валу электрической РМ:

$$M_{\text{нприв}} \omega_{\text{дв}} \eta_p = M_n \delta^{\text{ш}}$$

$$M_{\text{нприв}} = \frac{M_n k_p}{\eta_{\text{кп}}}$$

Максимальный момент:

(Можно сумму рассчитывать как среднеквадратичное)

$$M_{n \max} = k_k (M_{\text{ш} \max} + M_{\text{дин} \max}) + \sum_{i=1}^{i-2} M_{\text{Hi} \max}$$

$$k_k = 0.75$$

# АНАЛИЗ НАГРУЗКИ НА ВЫХОДНОМ ВАЛУ (ШТОКЕ)

Тип механической передачи	Рычажная, шатунно-кривошипная	Соединительные муфты	Подшипник и качения	Редукторы цилиндрические	Редукторы червячные
КПД $\eta$	0.7-0.98	0.96	0.99	0.91-0.98	0.7-0.9

# РАСЧЕТ ТРЕБУЕМЫХ УГЛА ПОВОРОТА, УГЛОВОЙ СКОРОСТИ, УГЛОВЫХ УСКОРЕНИЙ ВЫХОДНОГО ВАЛА РМ

- Необходимо определить:

$$\delta_{\max} \cdot \dot{\delta}_{\max}$$

$$\delta(t) = \delta_{\partial}(t) + \delta_{нв}(t) + \delta_{вз}(t)$$

$$\dot{\delta}(t) \approx \dot{\delta}_{\partial}(t)$$

$$\ddot{\delta}(t) \approx \ddot{\delta}_{\partial}(t)$$

⇒

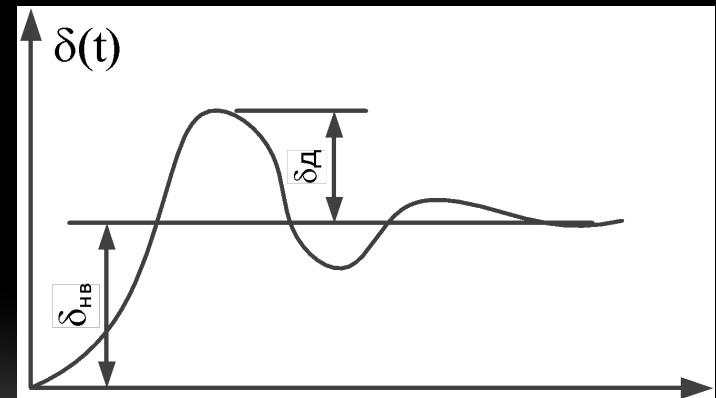
$$\delta_{\max} = \delta_{\partial \max} + \delta_{нв \max} + \delta_{вз \max}$$

$$\dot{\delta}_{\max} \approx \dot{\delta}_{\partial \max}(t)$$

$$\ddot{\delta}_{\max} \approx \ddot{\delta}_{\partial \max}(t)$$

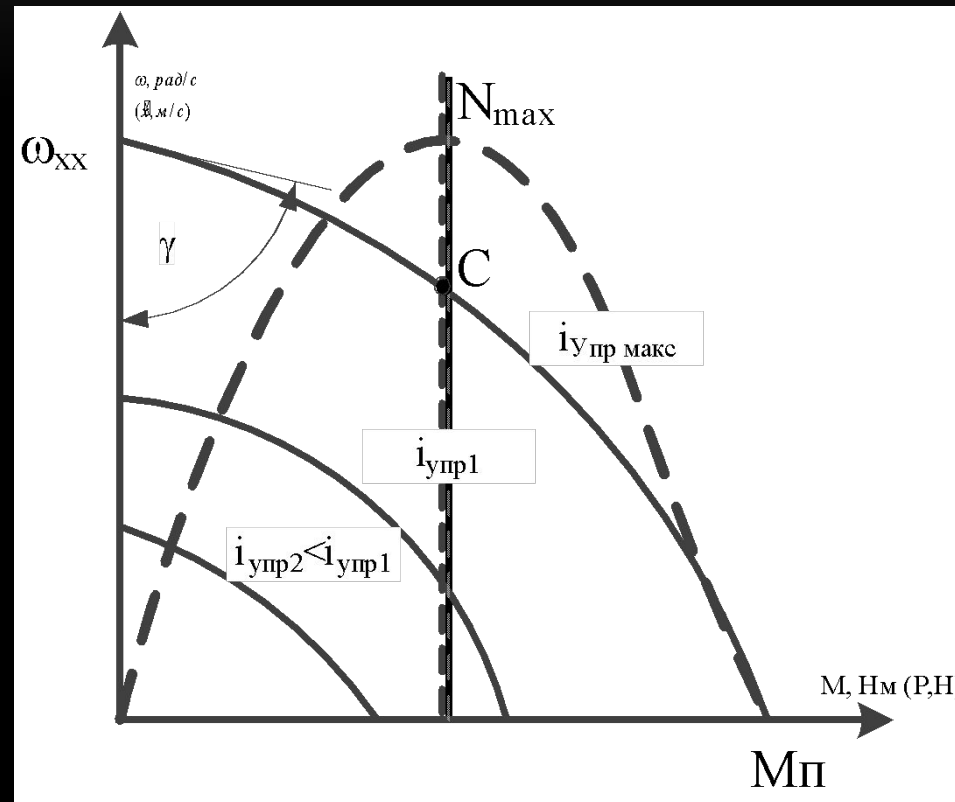
$$\delta_{нв \max} = \frac{k_{pn}}{1 + k_0} U_{н \max}$$

$$\delta_{вз \max} = \frac{k_0}{1 + k_0} \delta_{вз \ экв}$$

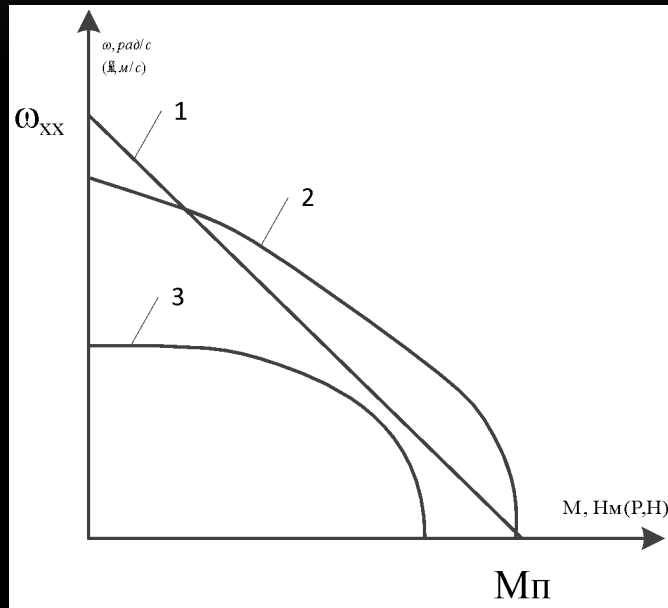




# ОЦЕНКА ТРЕБУЕМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РМ, РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

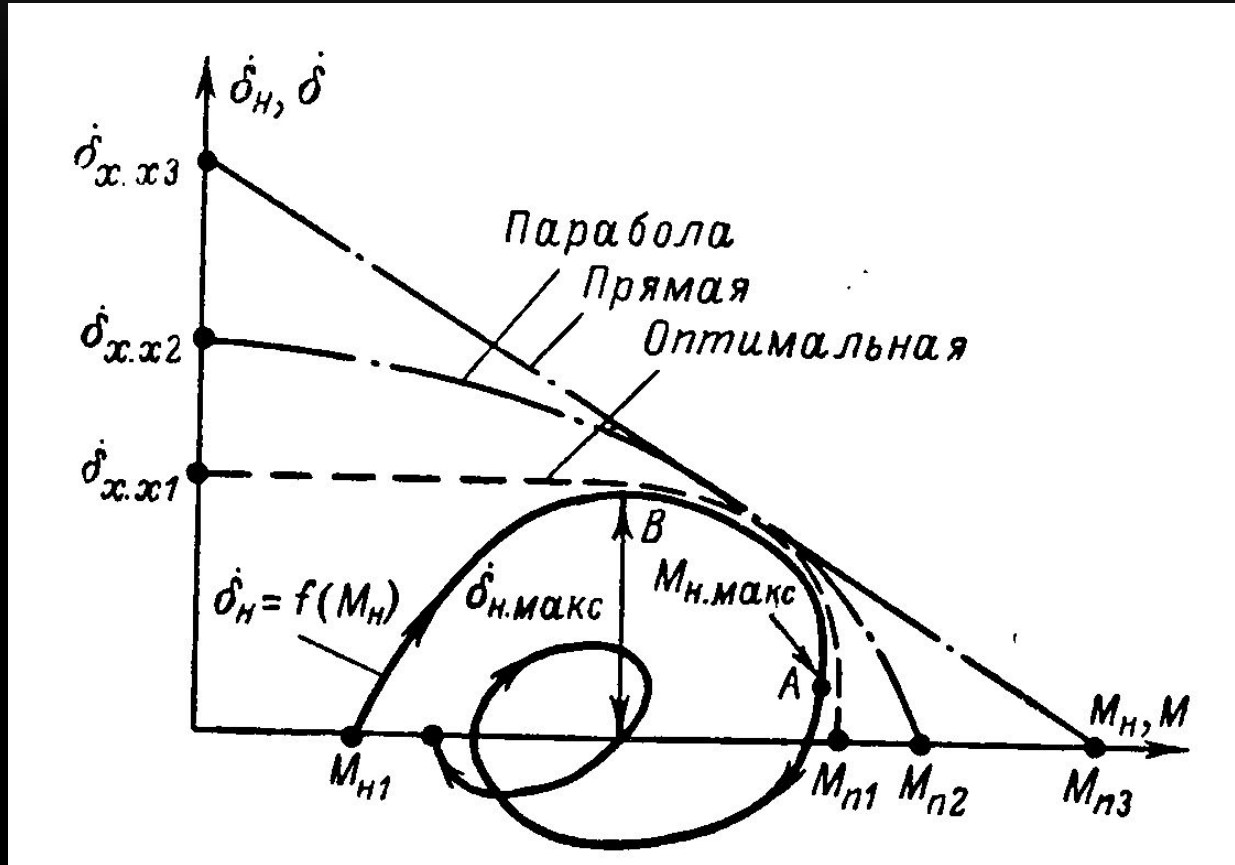


# ВИДЫ АППРОКСИМАЦИЙ МХ РМ

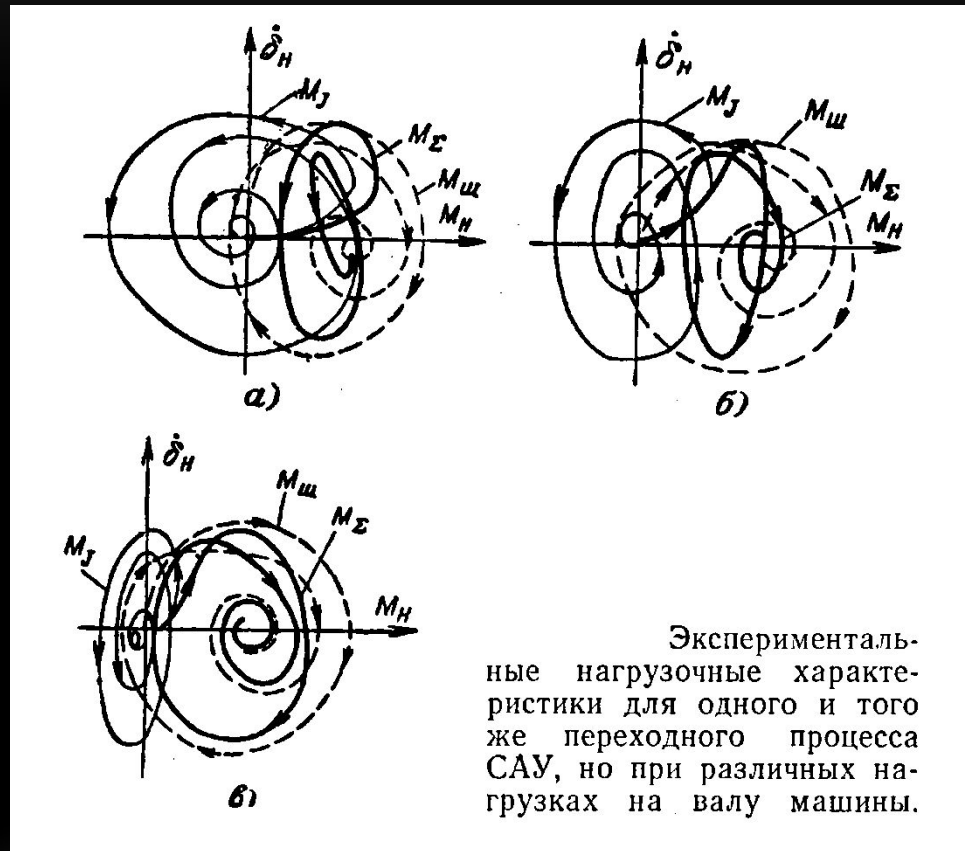


Вид МХ	1)Линейная	2)Парабола	3)Эллипс
Аппроксимация	$\omega = \omega_{xx} \left(1 - \frac{M}{M_n}\right)$	$\omega^2 = \omega_{xx}^2 \left(1 - \frac{M}{M_n}\right)$	$\omega^2 = \omega_{xx}^2 \left(1 - \frac{M^2}{M_n^2}\right)$
$M_{п} (P_{п})$	$2M_{n\max}$	$3/2M_{n\max}$	$\sqrt{2}M_{n\max}$
$\omega_{xx}(\omega_{xx})$	$2\omega_{\max}$	$\sqrt{3}\omega_{\max}$	$\sqrt{2}\omega_{\max}$
$N_{\max}$	$\frac{1}{4}M_n\omega_{xx}$ $\left(\frac{1}{4}P_n\omega_{xx}\right)$	$\frac{2\sqrt{3}}{9}M_n\omega_{xx}$ $\left(\frac{2\sqrt{3}}{9}P_n\omega_{xx}\right)$	$\frac{1}{2}M_n\omega_{xx}$ $\left(\frac{1}{2}P_n\omega_{xx}\right)$
Тип РМ	Электрич. постоянного Тока с независимым возбуждением	Гидравлич. С дроссельным регулированием; 2-х фазный асинхронный	пневматическая

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ НАГРУЗОЧНОЙ



# НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РМ



# СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И КОНСТРУКТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РМ

- Для гидравлических РМ:

$$M_{\Pi} = k_1 p_0 S, \omega_{xx} = k_2 \frac{Q_{\max}}{S}$$

- Для источников питания

в общем случае:

$$A_{un} = \frac{N_{pm} t_p \eta_{pm}}{\eta_{un}}$$

- Для аккумулятора сжатого газа:

(для справки:  $\eta_{ак} = 0.9$

$$\eta_{\Gamma} = 0.3$$

$$\eta_{r} = 0.7$$

$$\eta_{\text{э}} = 0.9)$$

$$\begin{aligned} V_{ак} p_0 \eta_{ак} &= N_{pm} t_p \eta_{pm} \\ V_{ак} &= \frac{N_{pm} t_p \eta_{pm}}{p_0 \eta_{ак}} \\ p_0 &= \frac{N_{pm} t_p \eta_{pm}}{V_{ак} \eta_{ак}} \end{aligned}$$

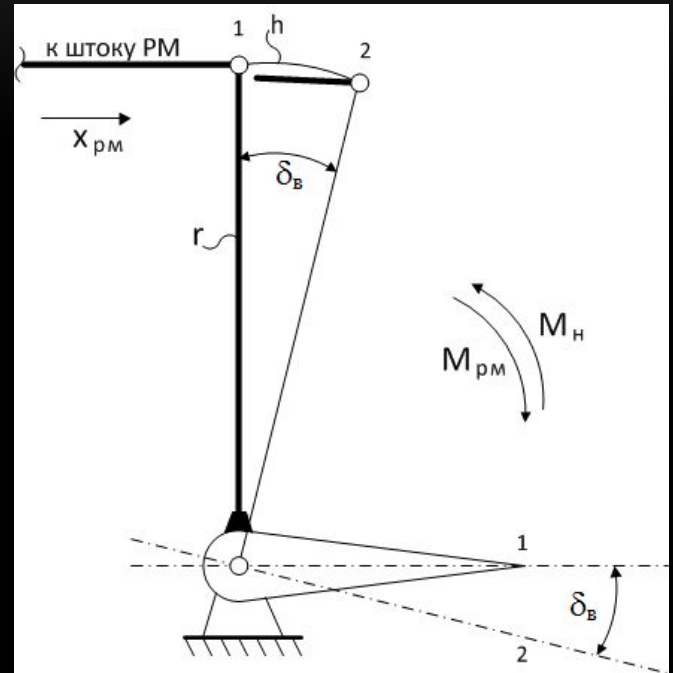
# ВЫБОР И РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

Длина рычага кинематической передачи  $r$  ( $k_{кп} = \frac{1}{r}$ , рад/м) :

$$r = \frac{h}{2 \sin 0.5 \delta_{в \max}} = \frac{x_{рм \max}}{2 \sin 0.5 \delta_{в \max}}$$

При  $\delta_{в} = \pm 15$  град. значение:  $x_{рм} = h$  (с ошибкой не хуже 0,27 %) и если:  $x_{рм \max} = \pm 15$  мм.

Получим:  $r = 0,575 \text{ м} = 57,5 \text{ мм}$ .



# ВЫБОР ТИПА РМ

Основные критерии:

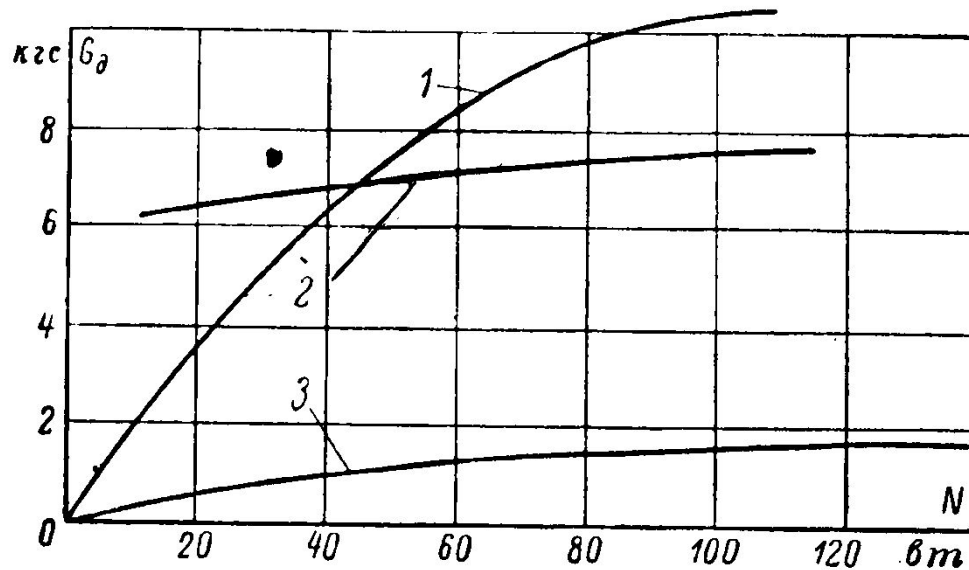
- Источник энергии
- Конструкция органа управления, характер движения и нагрузки
- Структура и тип ССт, требования к статическим и динамическим характеристикам
- Условия и время работы исполнительного двигателя (среда, вибрации, ускорения, температура, давление, влажность и др.
- Габаритные размеры и масса
- Требуемые энергетические характеристики
- Мощность, требуемую для управления двигателем
- Эксплуатационные требования: время готовности, безопасность, удобство в эксплуатации, обслуживании, ремонте, контроле и т.д.
- Наличие технологически отработанных образцов двигателей и их элементов
- Стоимость и экономичность
- Традиции и опыт организации, производственная база, связи с другими организациями

# СРАВНЕНИЕ РП РАЗНЫХ ТИПОВ

- См. [таблицу](#)



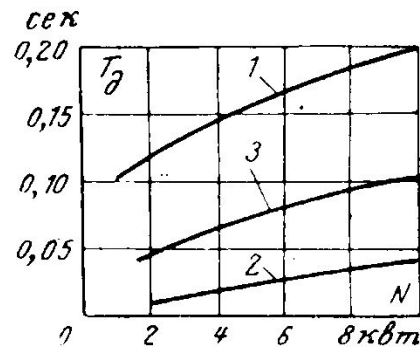
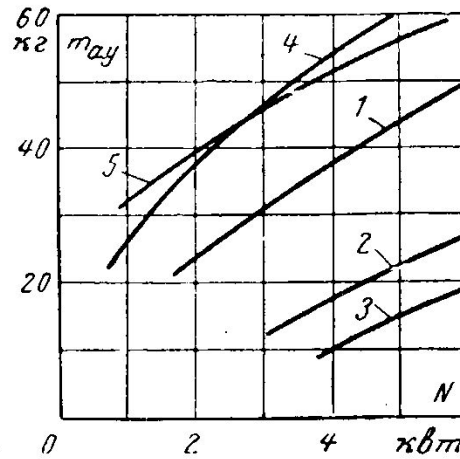
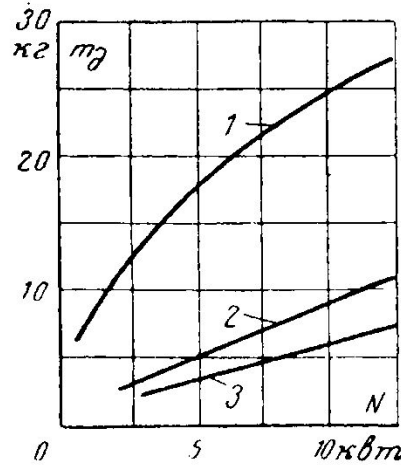
# СРАВНЕНИЕ РП РАЗНЫХ ТИПОВ



Зависимость веса  $G_d$  двигателей (машин)  
от мощности  $N$  на валу.

1 — электрических; 2 — гидравлических; 3 — пневматических.

# СРАВНЕНИЕ РП РАЗНЫХ ТИПОВ



Зависимость массы двигателей  $m_d$ , массы агрегатов управления  $m_{a.u}$  и постоянной времени  $T_d$  от выходной мощности  $N$  для различных типов двигателей (машин).

1 — электрических; 2 — гидравлических; 3 — пневматических; 4 — электрических с ЭМУ; 5 — пневматических с компрессором.

# СОСТАВЛЕНИЕ ТЗ НА РМ И РП