

	Тема 1.5. Электрический привод. Механика электропривода
80	Структурная схема электропривода. Основные типы электропривода
81	Основное уравнение системы. Момент инерции вращающегося тела
82	Механические характеристики двигателей и механизмов.
	Основное уравнение динамики электропривода

80. Структурная схема электропривода. Основные типы электропривода

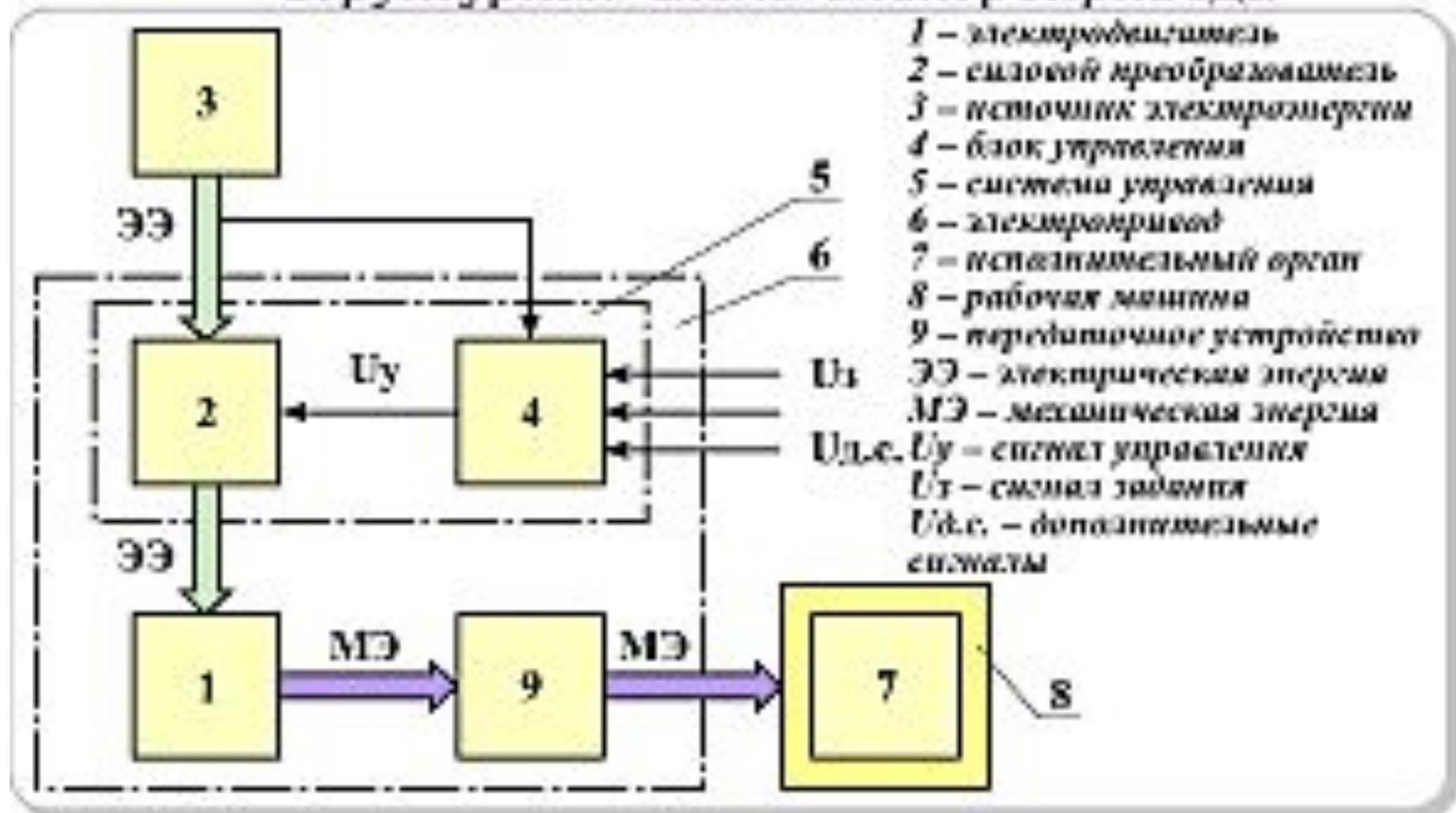
Электрическим приводом (ЭП)

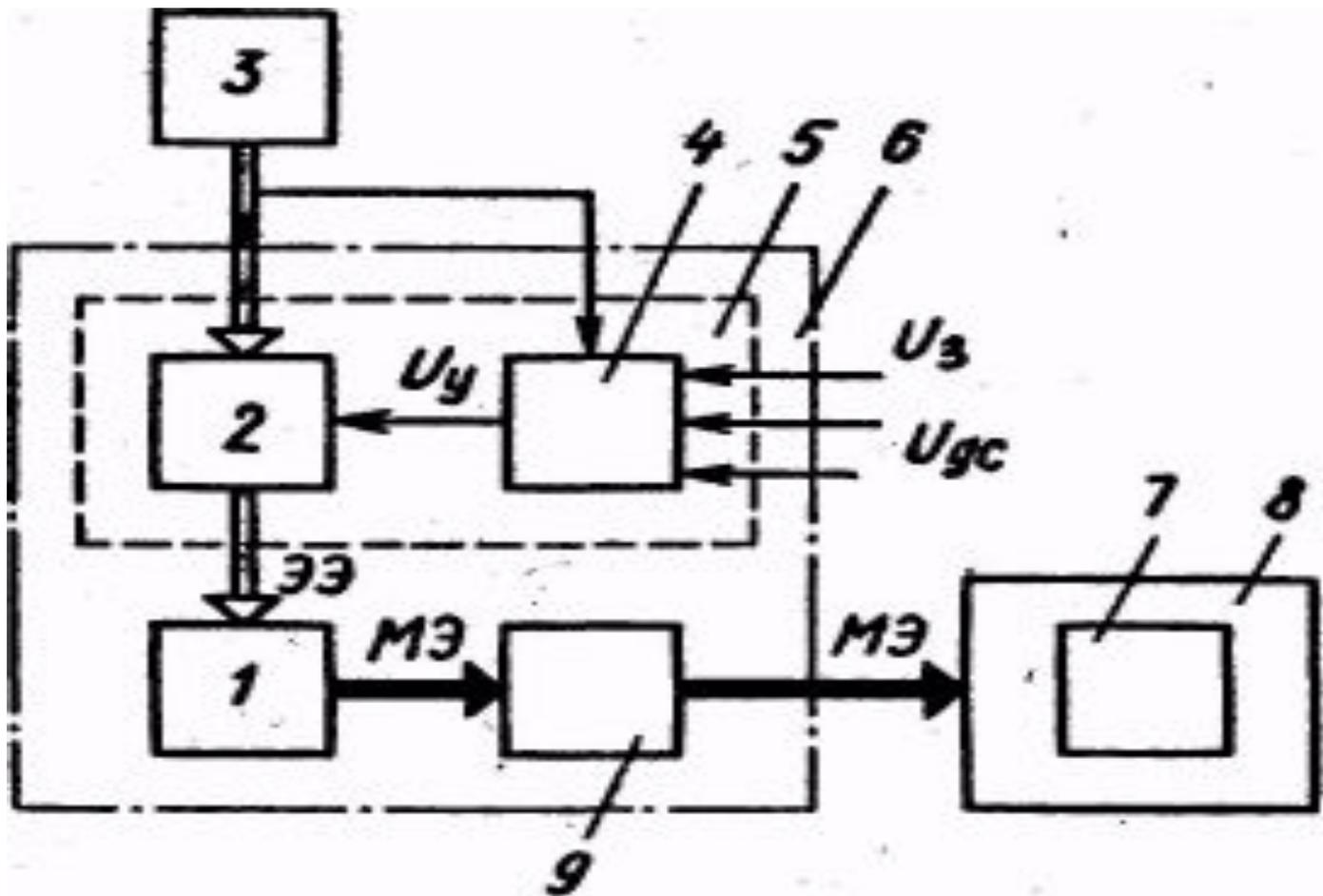
называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением

ЭП включает в себя ряд электротехнических, электронных и механических устройств, в результате чего он представляет собой электромеханическую систему.

Общая структурная схема ЭП приведена на рисунке, где утолщенными линиями показаны силовые каналы энергии, а тонкими линиями - маломощные и информационные цепи.

Структурная схема электропривода





- 6- электропривод
- 1- электрический двигатель ;
- 9- передаточное устройство ;
- 7- исполнительный орган ;
- 8- рабочая машина
- 3- источник электроэнергии ;
- 2- силовой преобразователь ;
- 4- блок управления ;
- 5- система управления

Структурная схема электрического привода

Элементами электропривода 6 являются:

электрический двигатель 1;

передаточное устройство 9;

исполнительный орган 7; рабочая

машина 8

источник электроэнергии 3;

силовой преобразователь 2;

блок управления 4;

система управления 5

Электропривод

```
graph TD; A[Электропривод] --> B[Силовой канал]; A --> C[Информационный канал]; B --> D["Электрическая часть:  
-элементы, передающие электрическую энергию от источника питания;  
-электродвигатель"]; B --> E["Механическая часть:  
-механическая передача;  
-исполнительный орган установки"]; C --> F["Система управления,  
содержащая командные органы и устройства защиты"];
```

Силовой канал

Электрическая часть:
-элементы, передающие электрическую энергию от источника питания;
-электродвигатель

Механическая часть:
-механическая передача;
-исполнительный орган установки

Информационный канал

Система управления,
содержащая командные органы и устройства защиты

В электрическую часть силового канала входят устройства ЭП, передающие электрическую энергию от источника питания (шин промышленной электрической сети, автономного электрического генератора, и т.п.) к электромеханическому преобразователю ЭМП и обратно и осуществляющие, если это нужно, преобразование электрической энергии.

Механическая часть состоит из подвижного органа электромеханического преобразователя, механических передач и исполнительного органа установки, в котором полезно реализуется механическая энергия.

Электропривод взаимодействует с источником электрической энергии, с одной стороны, с технологической установкой или машиной, с другой стороны, и наконец, через информационный преобразователь ИП с информационной системой.

Электроприводы классифицируются по основным характерным признакам

- по наличию механического передаточного устройства

- по роду тока электродвигательного устройства

- по принципам управления скоростью и положением исполнительного органа

нерегулируемый

регулируемый

грамно-управляемый

позиционный

следающий

адаптивный

По способу передачи механической энергии исполнительному органу электроприводы подразделяют на групповой, индивидуальный и взаимосвязанный.

- **Групповой электропривод** характеризуется тем, что одним двигателем приводится в движение несколько исполнительных органов одной или ряда рабочих машин.
- **Индивидуальный электропривод** – это такой электропривод, при котором каждый исполнительный орган рабочей машины приводится в движение отдельным двигателем.
- **Взаимосвязанный электропривод** содержит два или несколько электроприводов, связанных между собой электрически или механически и при работе, которых поддерживается необходимое соотношение их скоростей и нагрузок.

По принципам управления скоростью и положением исполнительного органа различают нерегулируемый, регулируемый, позиционный, следящий, программно-управляемый, адаптивный.

- **Нерегулируемый электропривод** – это электропривод, в котором исполнительный орган приводится в движение с неизменной скоростью.
- **Регулируемый электропривод** – электропривод, в котором исполнительный орган приводится в движение с изменяемой скоростью в соответствии с требованиями технологического процесса.
- **Позиционный электропривод** – электропривод, который регулирует необходимое положение исполнительного органа в соответствии с технологическим процессом.

- **Следящий** – привод, в котором исполнительный орган воспроизводит перемещение, произвольно задаваемое управляющим органом.
- **Программно-управляемый** – электропривод, в котором перемещение исполнительного органа осуществляется по заданной программе.
- **Адаптивный** – электропривод, в котором автоматически обеспечивается оптимальный режим движения исполнительного органа при изменяющихся условиях работы.

Механическая часть электропривода

Вал двигателя

J, W, M

Преобразовательный механизм

K передачи, J , трение

Исполнительный орган

J, M, F



81. Основное уравнение системы. Момент инерции вращающегося тела

В механическом движении участвуют подвижная часть электродвигателя (ротор или якорь), элементы механического передаточного устройства и исполнительный орган. Совокупность этих элементов называют **кинематической схемой** или механической частью ЭП.

Движение любого элемента механической части ЭП подчиняется известным из курса физики законам механики. Вращательное движение элемента описывается соответственно следующим уравнением:

$$\sum M = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt};$$

где $\sum M$ - совокупность моментов,
действующих на элемент;

J - момент инерции элемента;

t - время.

ω – угловая скорость

Уравнения движения по своему характеру являются дифференциальными, поскольку содержат производные скорости, массы и момента инерции.

В большинстве случаев масса и момент инерции элементов при движении не изменяются, их производные оказываются равными нулю и уравнение имеет вид:

$$\sum M = Jd\omega/dt = J\varepsilon$$

где $\varepsilon = d\omega/dt$ - ускорение при вращательном движении.

Если $d\omega/dt = 0$, то

$$\sum M = 0$$

Другими словами, элемент будет двигаться с неизменной скоростью или находиться в состоянии покоя, если сумма сил или моментов, к нему приложенных, будет равна нулю.

Такое движение называют **установившимся**

При $\Sigma M > 0$ элемент будет двигаться с **ускорением**.

При $\Sigma M < 0$ - с **замедлением**.

В общем случае моменты двигателя M и сопротивления M_c могут иметь как положительные, так и отрицательные знаки

$$\pm M \pm M_c = J d\omega / dt$$

Правило, по которому определяются эти знаки, следующее: если направление действия момента совпадает с направлением скорости, то такой момент считается положительным и наоборот.

Разность моментов двигателя и нагрузки получила название динамического момента.

$$M_{дин} = M - M_c$$

$$M_{дин} = Jd / \dots =$$

Момент инерции — это мера инертных свойств твердого тела при вращательном движении, зависящая от распределения массы относительно оси вращения. Иными словами, момент инерции зависит от массы, формы, размеров тела и положения оси вращения.

Момент инерции бесконечно плоского диска радиуса R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска:

$$J = \frac{1}{2}mR^2.$$

Момент инерции шара радиуса R :

$$J = \frac{2}{5}mR^2.$$

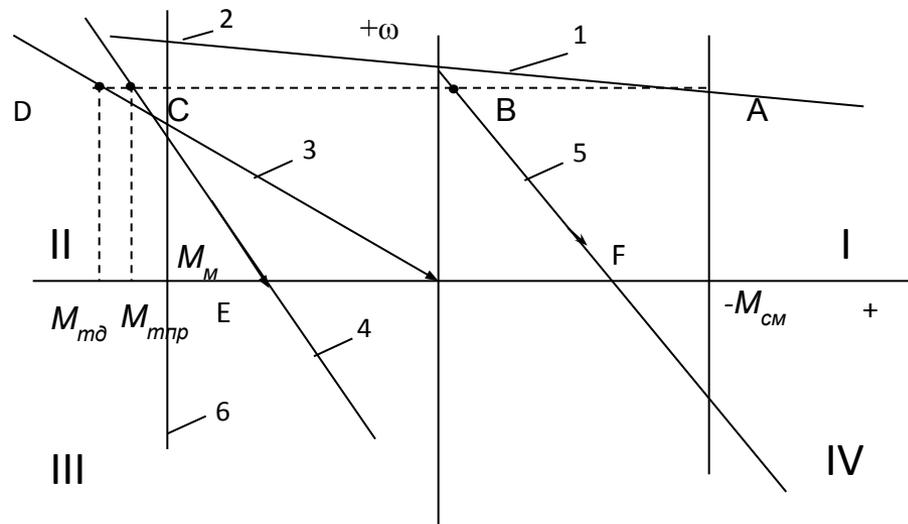
82. Механические характеристики двигателей и механизмов.

Основное уравнение динамики электропривода

Моменты M (двигателя) и M_M M_c (рабочей машины) могут зависеть от времени, от положения, от угловой скорости ω .

Зависимости $\omega = f(M)$ и $\omega = f(M_c)$ называют механическими характеристиками соответственно двигателя и нагрузки (механизма).

Поскольку как моменты, так и скорость могут иметь различные знаки, механические характеристики могут располагаться в четырех квадрантах плоскости $\omega - M$.



1 - механическая характеристика ДПТ в двигательном режиме; 2 – механическая характеристика при рекуперативном торможении; 3 – механическая характеристика при динамическом торможении; 4 – противовключение сменой полярности; 5 – противовключение введением $R_{пр}$; 6 – механическая характеристика рабочей машины.

Примеры механических характеристик

Моменты, направленные по движению (движущие), имеют знак, совпадающий со знаком скорости;

моменты, направленные против движения (тормозящие), имеют знак, противоположный знаку скорости.

Моменты принято делить на *активные и реактивные (пассивные)*.

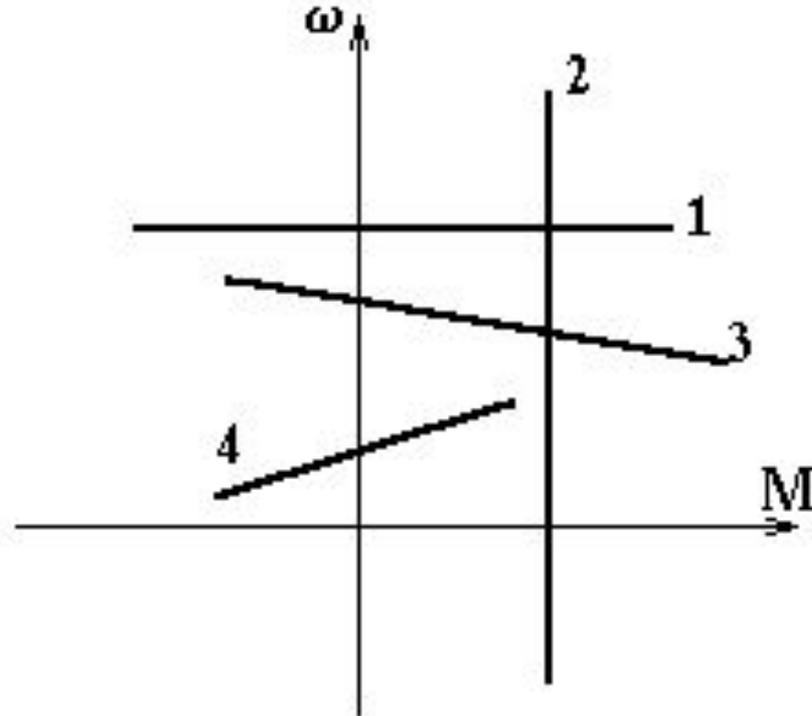
Активные моменты могут быть как движущими, так и тормозящими, их направление не зависит от направления движения (момент, созданный электрической машиной, момент, созданный грузом).

Реактивные моменты - реакция на движение, они всегда направлены против движения, т.е. всегда тормозящие (момент от сил трения, момент M_M).

При изменении направления движения изменяется и направление (знак) реактивного момента.

Механические характеристики принято оценивать их **жесткостью**

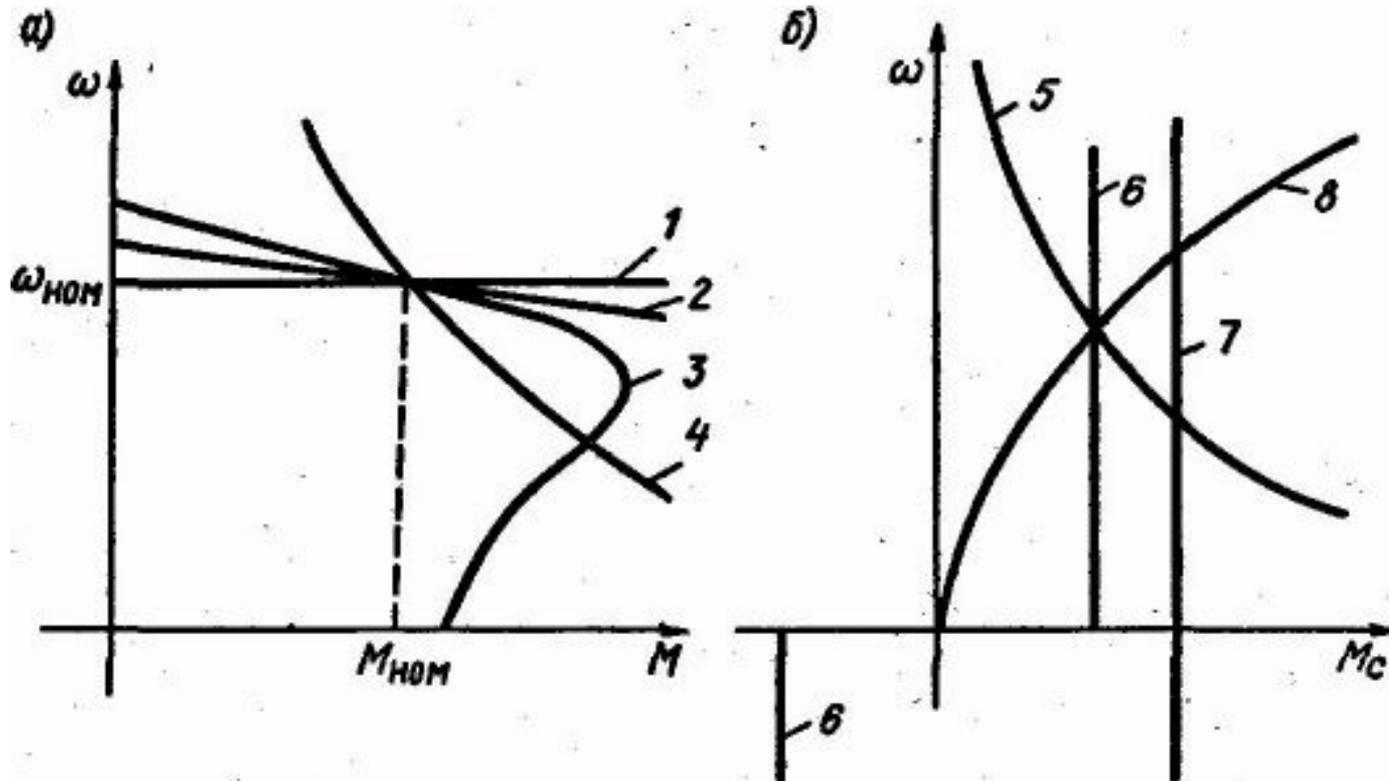
$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}$$



- 1 – характеристика абсолютно жесткая $\beta = \infty$;
- 2 – характеристика абсолютно мягкая $\beta = 0$;
- 3 – с отрицательной жесткостью;
- 4 – с положительной жесткостью.

- **Абсолютно жесткая** механическая характеристика свойственна синхронному электродвигателю;
- **жесткая (с отрицательной жесткостью)** - электродвигателю постоянного тока независимого возбуждения и асинхронному двигателю общего назначения в рабочей части механической характеристики;
- **мягкая (с отрицательной жесткостью)** двигателю постоянного тока последовательного возбуждения и **мягкая с положительной жесткостью** – асинхронному двигателю на участках пусковой части механической характеристики.

Механические характеристики двигателей (а) и производственных механизмов (б)



Механические характеристики производственных механизмов и их классификация

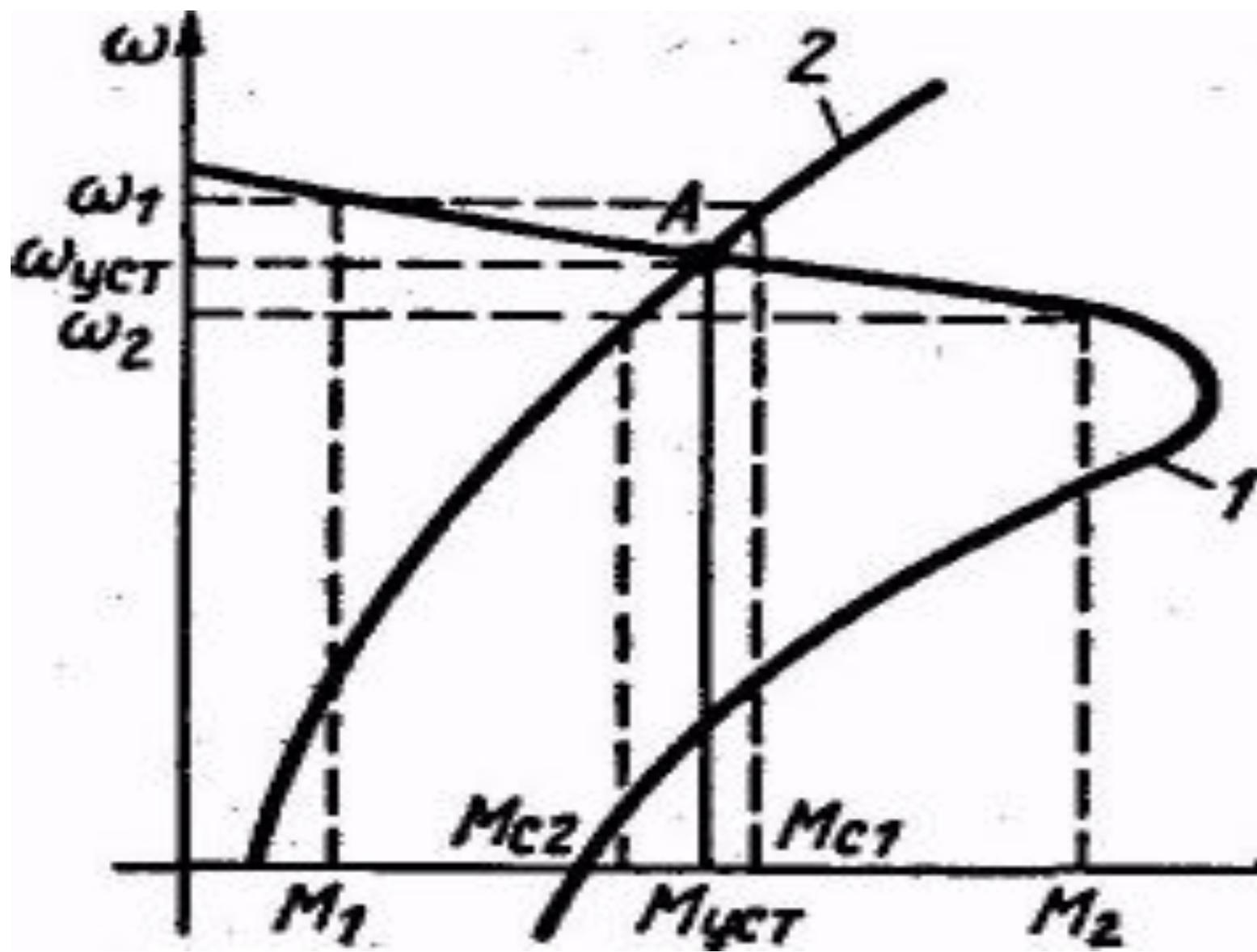
- **1 –синхронного двигателя;**
- **2 – ДПТ с независимым (параллельным) возбуждением;**
- **3 - асинхронного двигателя;**
- **4 - ДПТ с последовательным возбуждением;**
- **5- механизма главного двигателя станка;**
- **6 - транспортера, механизма подачи станка;**
- **7 - подъемного механизма;**
- **8 - вентилятора, дымососа, компрессора и центробежного насоса.**

Механические характеристики
двигателя и нагрузки,
рассматриваемые совместно,
позволяют определить координаты -
скорость и моменты - в
установившемся (статическом) режиме
 $\omega_{уст}$ и $M_{уст}$.

Введенное понятие механических характеристик позволяет просто и удобно выполнить проверку условия **установившегося движения**.

Для этого в одном и том же квадранте совмещаются характеристики двигателя 1 и исполнительного органа 2, как это показано на рисунке.

Точка А пересечения этих характеристик, в которой моменты двигателя и исполнительного органа равны, и будет соответствовать **установившемуся движению** со скоростью $\omega_{уст}$



В зависимости от вида механических характеристик двигателя и исполнительного органа установившееся движение может быть устойчивым или неустойчивым.

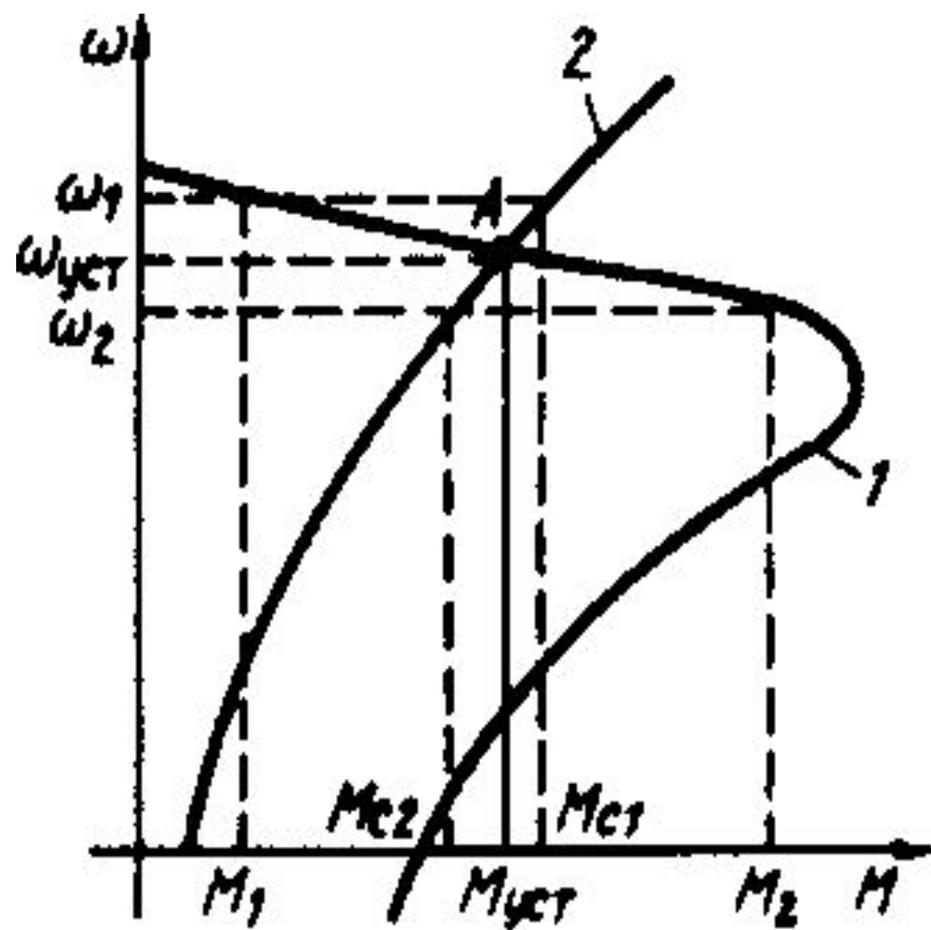
Под **устойчивостью** понимается свойство системы «двигатель - исполнительный орган» поддерживать движение со скоростью $\omega_{уст}$ при возможных небольших отклонениях от нее.

Проверка на устойчивость движения может быть выполнена аналитически, с использованием понятия жесткости характеристик. Движение будет устойчиво при выполнении условия

$$\beta - \beta_c < 0 \quad \text{или} \quad \beta < \beta_c$$

Где β – жесткость механической характеристики двигателя, β_c – жесткость механической характеристики механизма.

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}$$



Рассмотрим способ определения устойчивости движения с помощью механических характеристик .

Предположим, что по какой-то причине скорость ЭП повысилась до уровня ω_1 .

Выясним, что будет происходить со скоростью, если вызвавшая ее изменение причина исчезнет. Из характеристик двигателя и исполнительного органа видно, что при скорости ω_1 момент нагрузки M_{c1} больше момента двигателя M_1 т.е. $M_1 < M_{c1}$.

Тогда в соответствии с уравнением движения в системе «двигатель - исполнительный орган» будет действовать отрицательный динамический момент. Начнется процесс торможения , который закончится при скорости $\omega_{уст}$.

Рассмотрим теперь положение, при котором кратковременное возмущение вызвало снижение скорости до уровня $\omega_2 < \omega_{уст}$. В этом случае $M_2 > M_{c2}$ и под действием уже положительного динамического момента скорость начнет возрастать, пока не достигнет уровня $\omega_{уст}$.

Таким образом, система «двигатель - исполнительный орган» с приведенными на рисунке механическими характеристиками обладает свойством возвращаться к скорости установившегося движения при возможных отклонениях от нее, т. е. движение в такой системе является устойчивым.