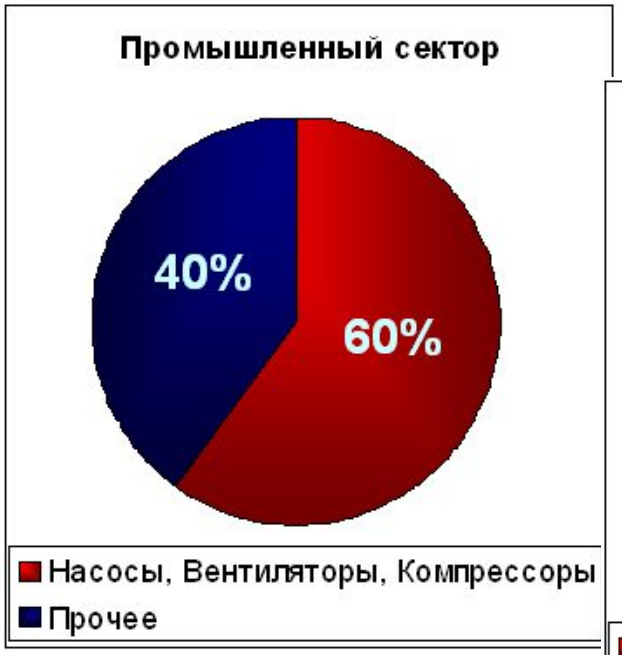
Энергоаудит насосных, вентиляторных и компрессорных установок

Материал подготовлен
Ларионовым В.Н.,
профессором кафедры «Систем автоматического управления электроприводами»

Доля потребления электроэнергии наиболее массовыми потребителями по данным экспертов Европейского Союза

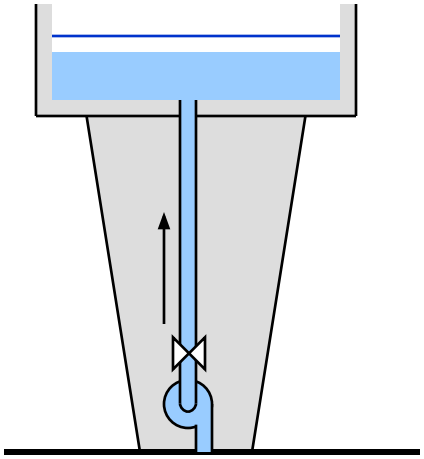


Крупные потребители электроэнергии, такие как насосные установки, по стране ежегодно расходуют около 300 млрд. кВт*ч электроэнергии, т.е. примерно 20% всей электроэнергии вырабатываемой энергосистемами страны. Из них на перекачку чистых и сточных вод в России расходуется 12 млрд. кВт·ч электроэнергии.

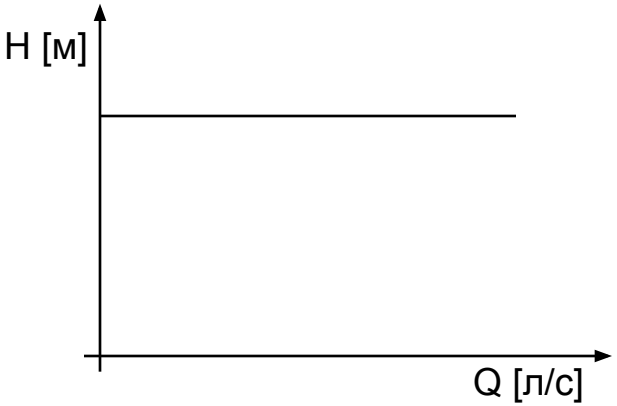
Типы установок

1. Преодоление высоты

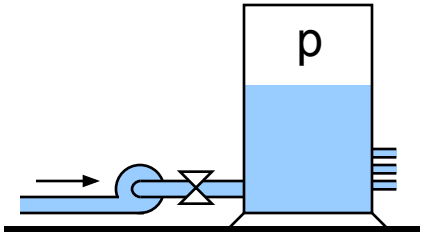
плоская характеристика установки:



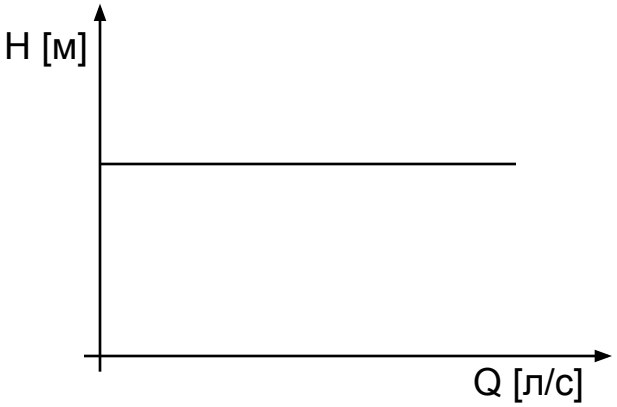
Пример:
- водонапорная башня
- напорный бак
- подача грунтовых вод



2. Преодоление противодавления



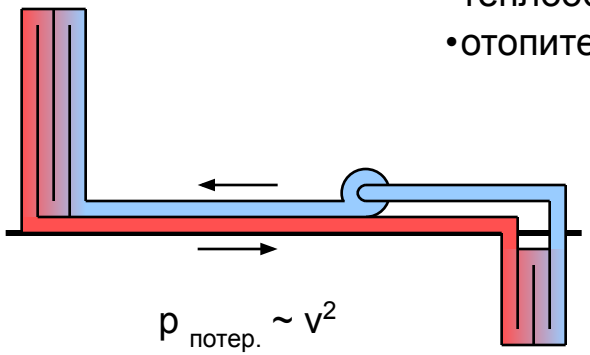
Пример:
- компрессор
- химические процессы
- питательные насосы



Типы установок

3. Преодоление сопротивления потока

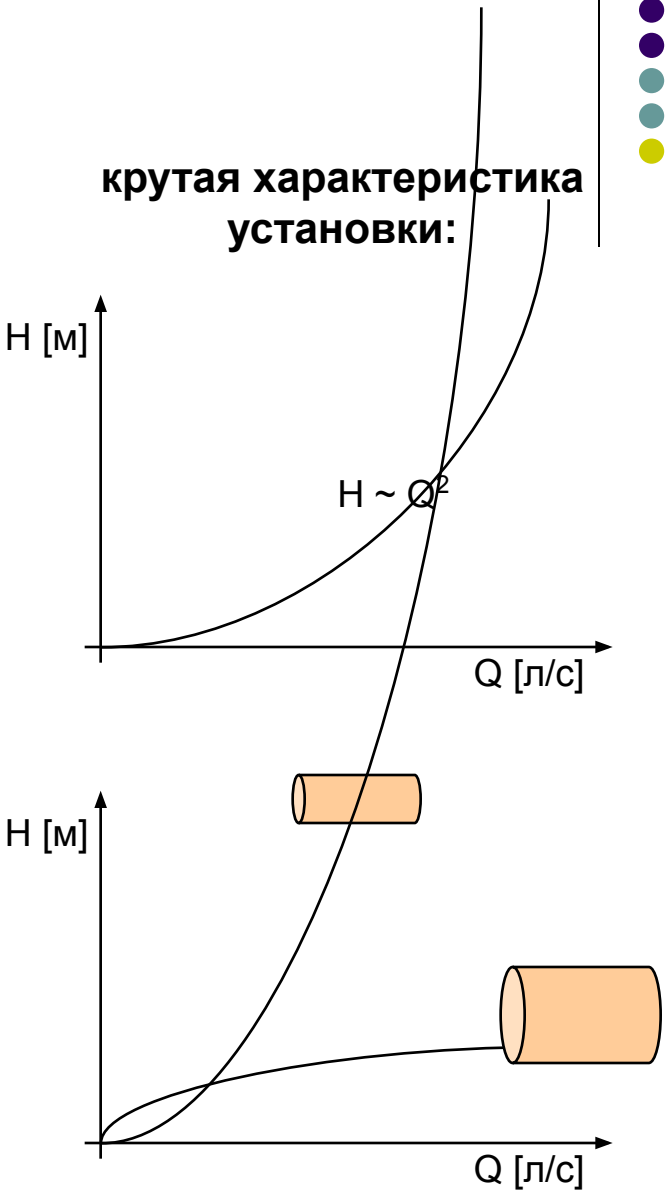
Пример:
- теплообменник
- отопительная установка



$p_{потер.} \sim v^2$

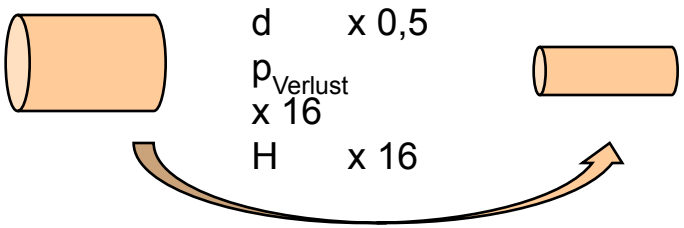
$p_{потер.} \sim Q^2$

крутая характеристика установки:



Зависимость от диаметра
при одинаковом объеме подачи:

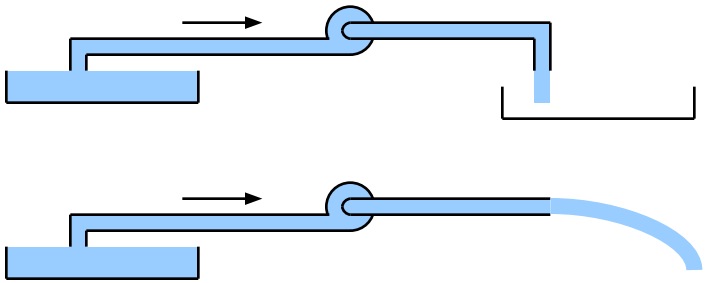
$p_{потер.} \sim 1/d^4$



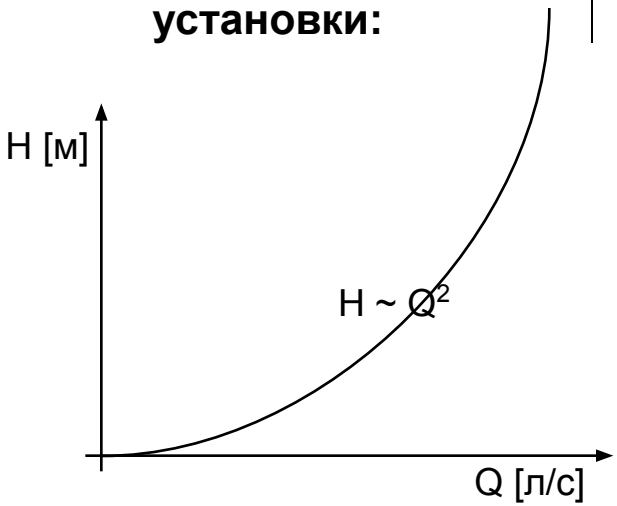
Типы установок

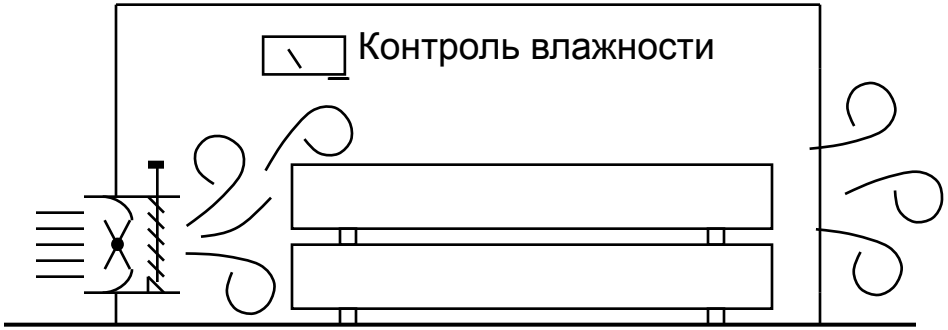
4. Ускорение жидкости

Пример:
- вентилятор
- насосы в открытой системе без разности высот



Крутая характеристика установки:





Семейство характеристик

Примеры изменения характеристики установки, обусловленные спецификой эксплуатации

1. высота

2. Противо-давление

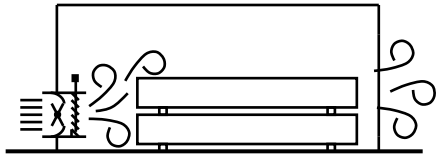
3. Сопротивление потока

4. ускорение жидкости

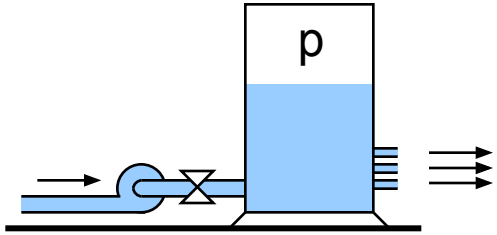
Режимы

Пример режима частичной загрузки

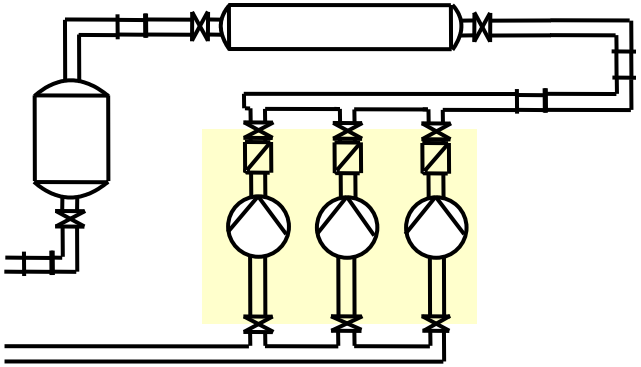
кондиционер / сушилка
> различный объем



подача сжатого воздуха
водоснабжение
> различный расход



химия, техника процессов
> различное сырье
> различная температура
> различная концентрация
> различные конечные продукты



При использовании механического исполнительного элемента (например, **дросселя**):

периодическое **неэкономное использование** энергии!

Режимы

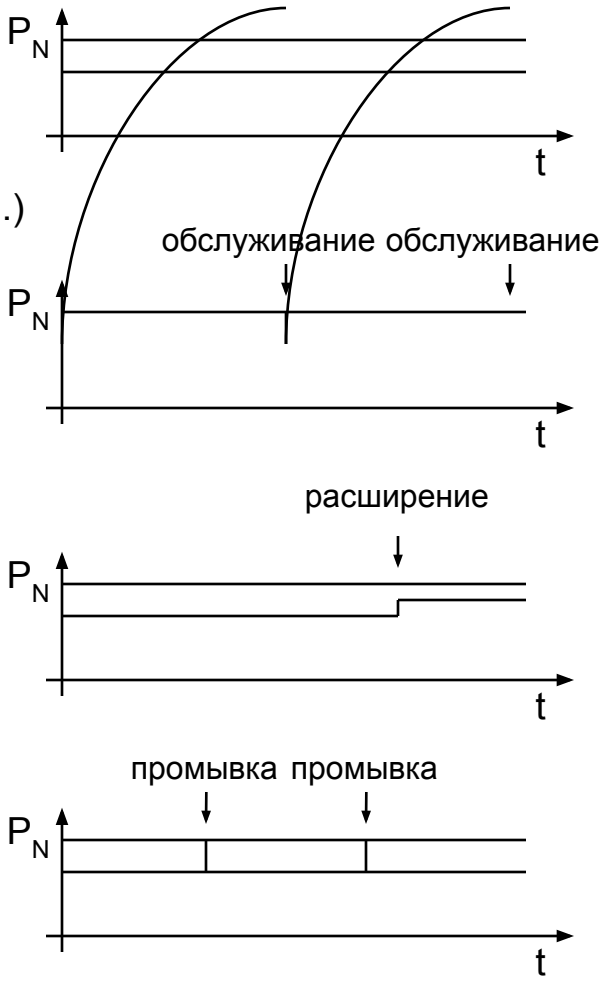
Пример режима постоянной частичной загрузки

расчет с запасом
> из соображений безопасности при проектировании
> нежелательные вторичные эффекты (кавитация, газы, увеличение давления ...)

насос
> Дополнительные фильтры и решетки
> износ крыльчатки (потери в зазоре)
> крустификация труб

водоснабжение
> запланированное расширение сети

насос
> промывка линий, фильтров



При использовании механического исполнительного элемента (например, **дросселя**):

Расточительное использование электроэнергии!

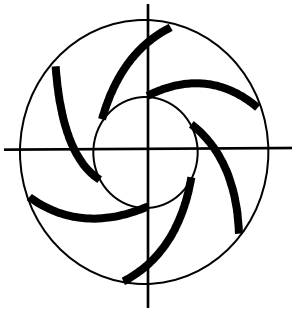
Рабочая машина

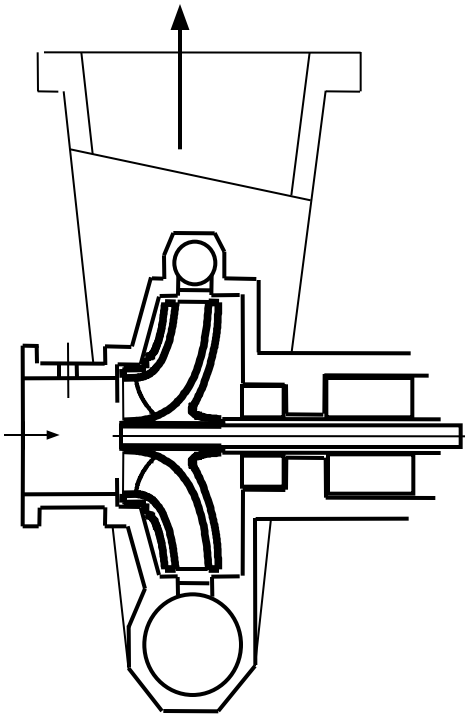
Поточная машина

- хорошее решение при большом расходе
- недорого
- небольшой объем и вес

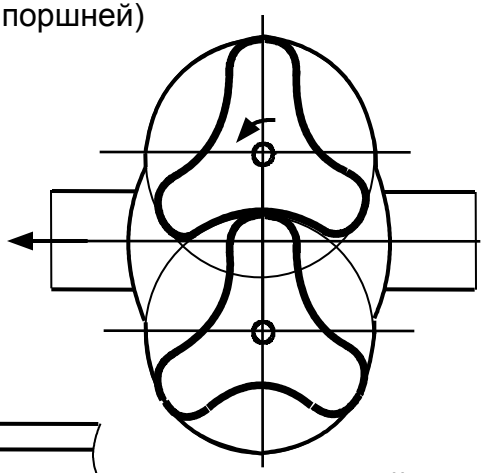
Вытесняющая машина

- идеально при большом давлении, высоте подачи
- лучшая производительность
- возможность самостоятельного всасывания
- колеблющийся поток жидкости (особенно, при использовании поршней)

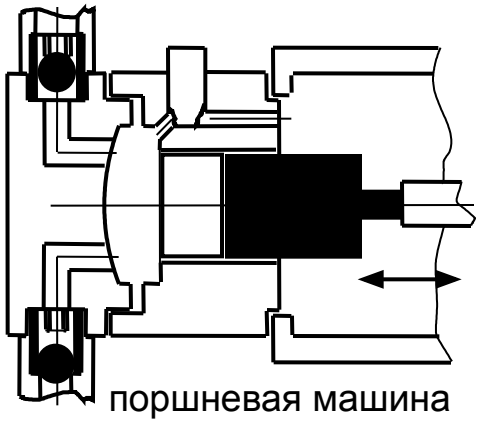




центробежный насос



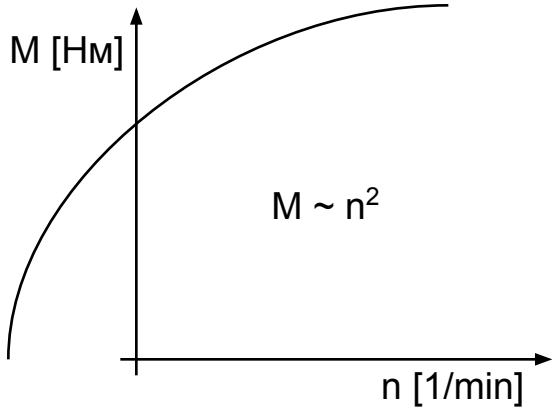
винтовой компрессор



поршневая машина

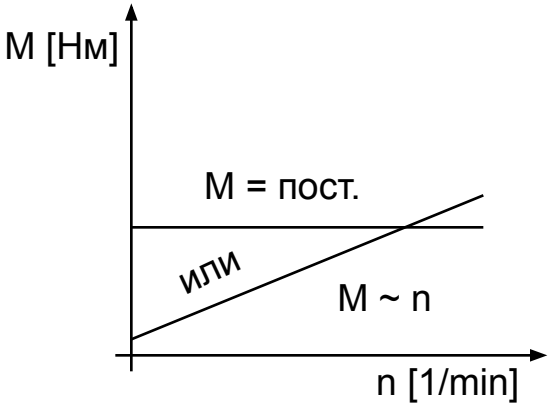
Рабочая машина. Характеристики

Машина поточного типа



квадратичная
нагрузочная характеристика

Машины вытесняющего типа



различные нагрузочные характеристики
„постоянный момент“ в
диапазоне регулировки частоты вращения

- **используются гораздо чаще по сравнению с машинами вытесняющего типа**

- **редко используется в сочетании с крупными приводами**

Инструментальное обследование и разработка подробных энергетических балансов технологических объектов

1. Изучение схемы электрической и технологической схемы процесса.
2. Поиск фактических параметров, отражающих технологический процесс:

- Подача (расход) Q, куб.м/ч
- Создаваемое давление (напор) H, кгс/см^2 (м)
- Давление на входе технологической цепи $H_{вх}$, кгс/см^2 (м)
- Фактическая мощность, потребляемая электроприводом из сети $P_с$, кВт

3. Расчет распределения энергии в технологическом процессе

В основу расчетов должен быть заложен принцип энергетического баланса потребляемой электроэнергии и распределение её на потери и затраты при выполнении технологического процесса.

Для первичного определения технологических параметров используются установленные на технологическом оборудовании манометры и расходомеры.

Для первичного определения показателей работы электродвигателей используются их паспортные данные и фактические показания тока из стационарных приборов (амперметр, киловаттметр и т.д.).

Баланс мощности

$$P_{а}\eta_{дв}(\eta_{пч}) = P_{т} + \Delta P_{з} + \Delta P_{на}$$

$$P_{а} = \sqrt{3}U_{с}I_{а}$$

$$P_{т} = \gamma H_{с}Qg$$

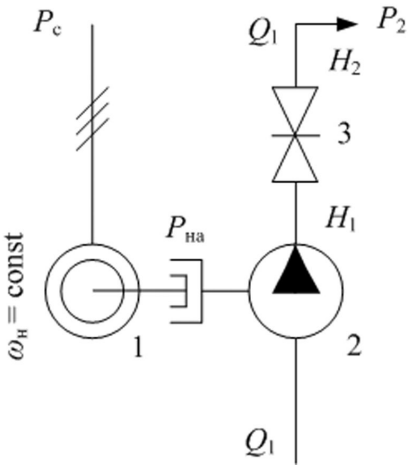
$$\Delta P_{з} = \gamma \Delta H_{з}Qg$$

$$\Delta P_{на} = \gamma Q \Delta H_{на} g\left(\frac{1-\eta_{на}}{\eta_{на}}\right)$$

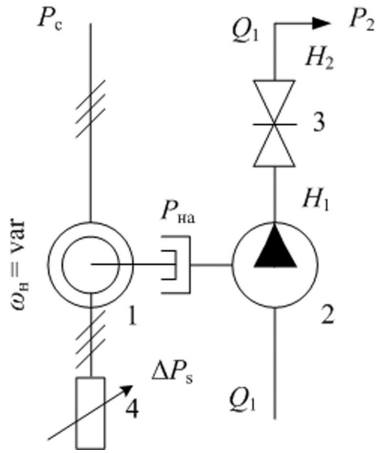
Энергосберегающие мероприятия

Схемы способов регулирования подачи

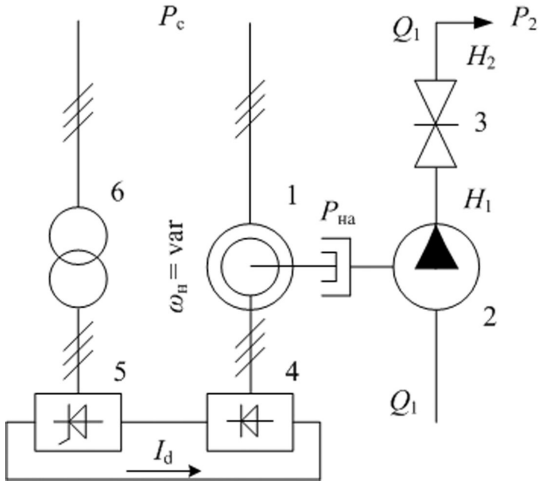
Изменение характеристик магистрали



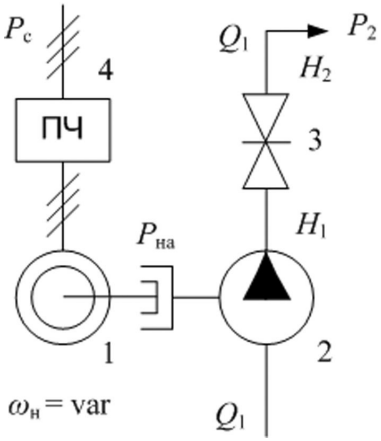
Реостатное регулирование



Асинхронно-вентильный каскад

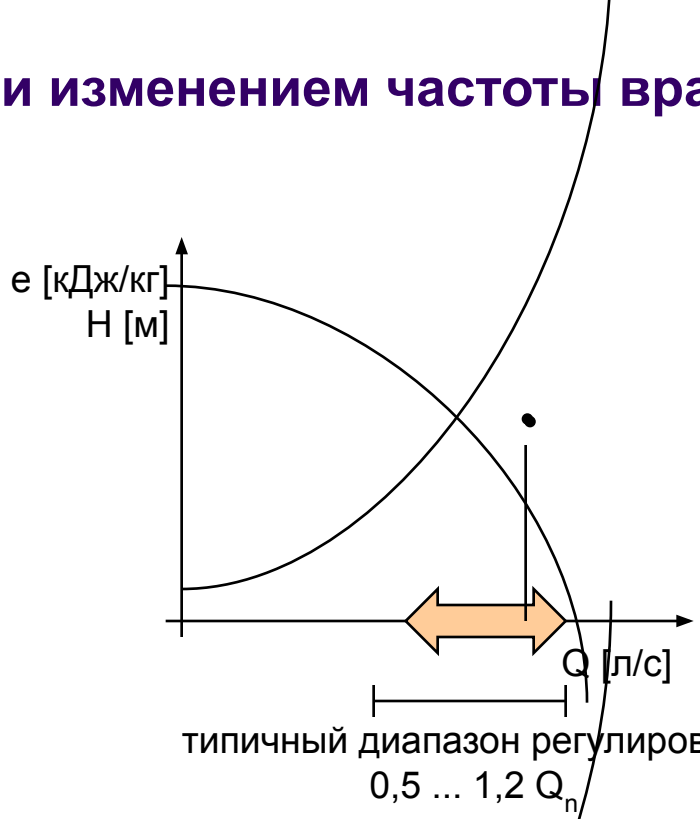


Частотное регулирование

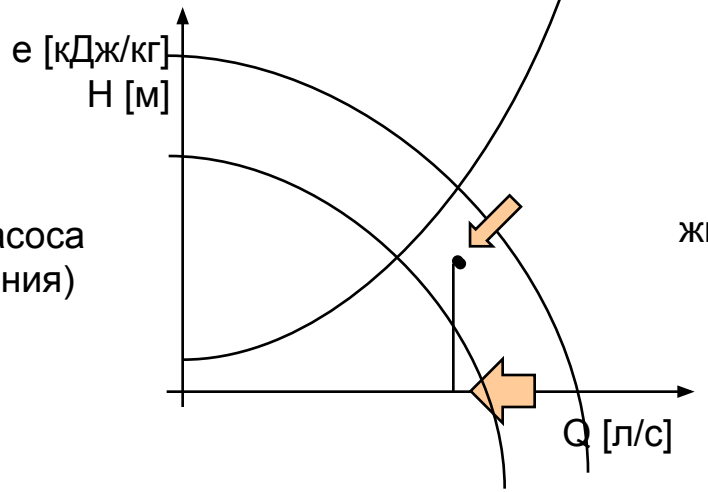


Регулировка подачи изменением частоты вращения рабочего колеса

цель:
изменение расхода



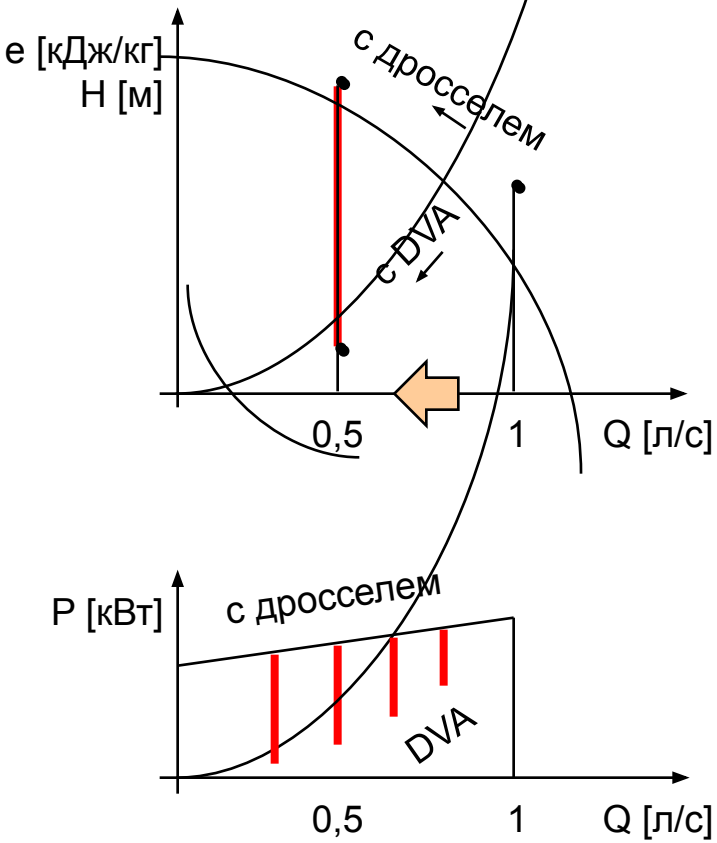
меры:
изменение характеристики насоса
(= изменение частоты вращения)



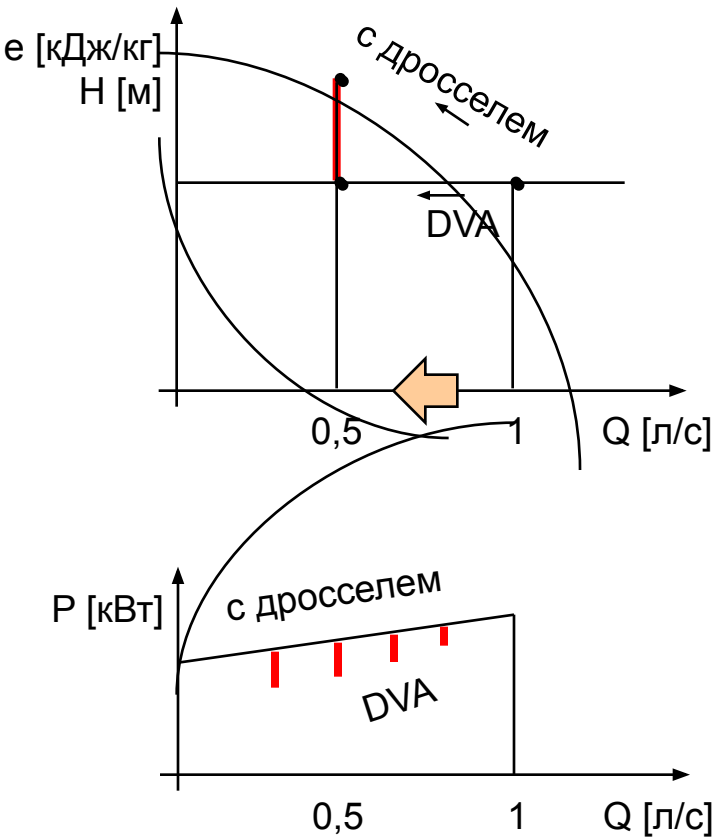
жидкость получает только необходимую для процесса энергию!
> **экономия энергии!**

Регулировка подачи изменением частоты вращения рабочего колеса

крутая характеристика



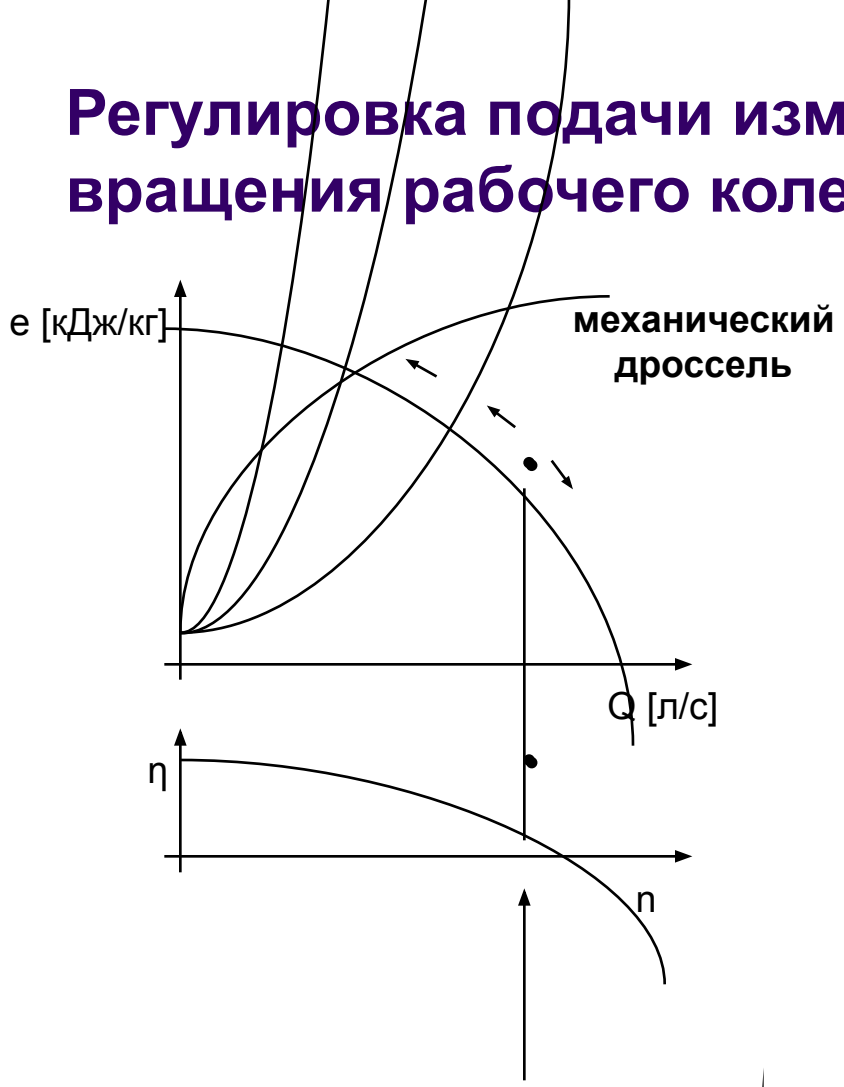
плоская характеристика



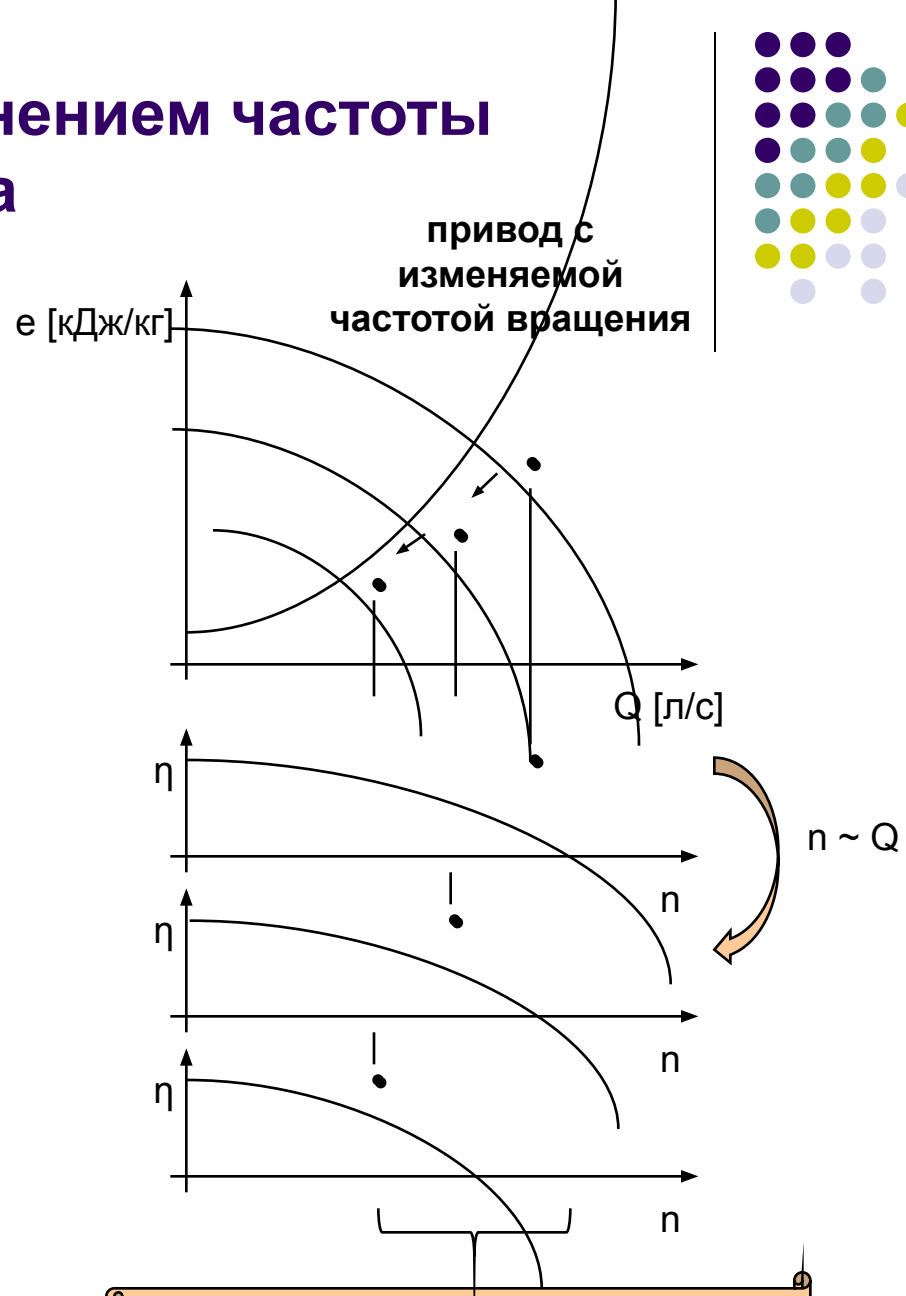
большие возможности для экономии энергии

потенциал к экономии есть, но при определенных обстоятельствах невелик

Регулировка подачи изменением частоты вращения рабочего колеса

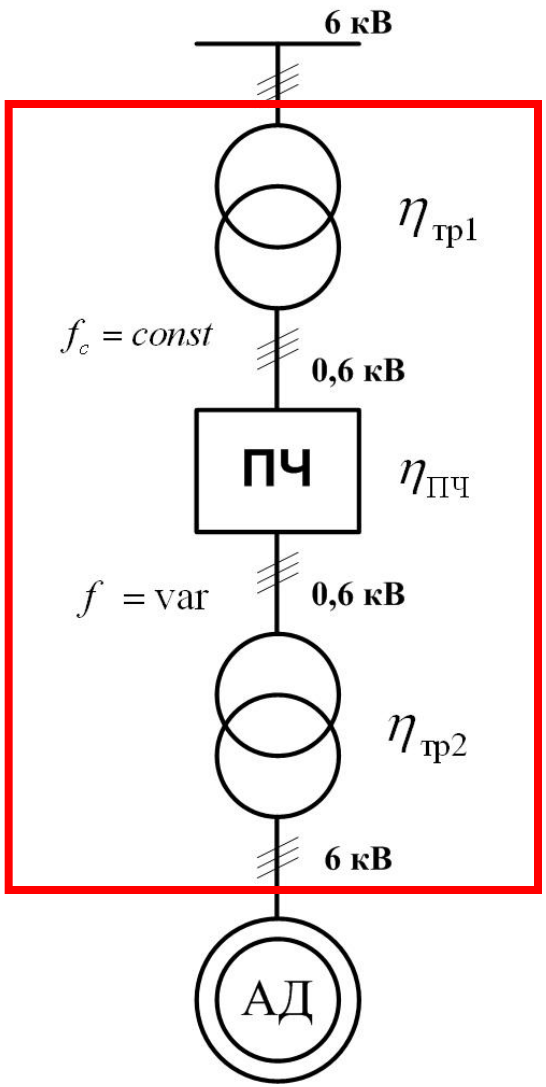


Существует единственная оптимальная рабочая точка!

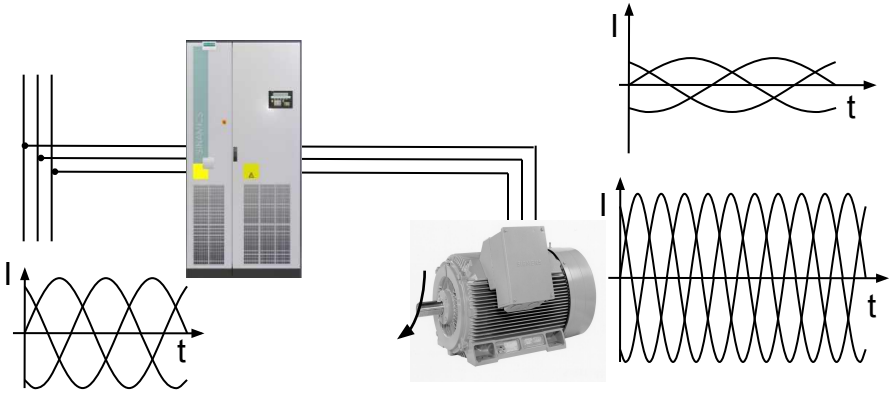


В диапазоне регулировки 0,5 ... 1,2 · Q
КПД насоса остается оптимальным

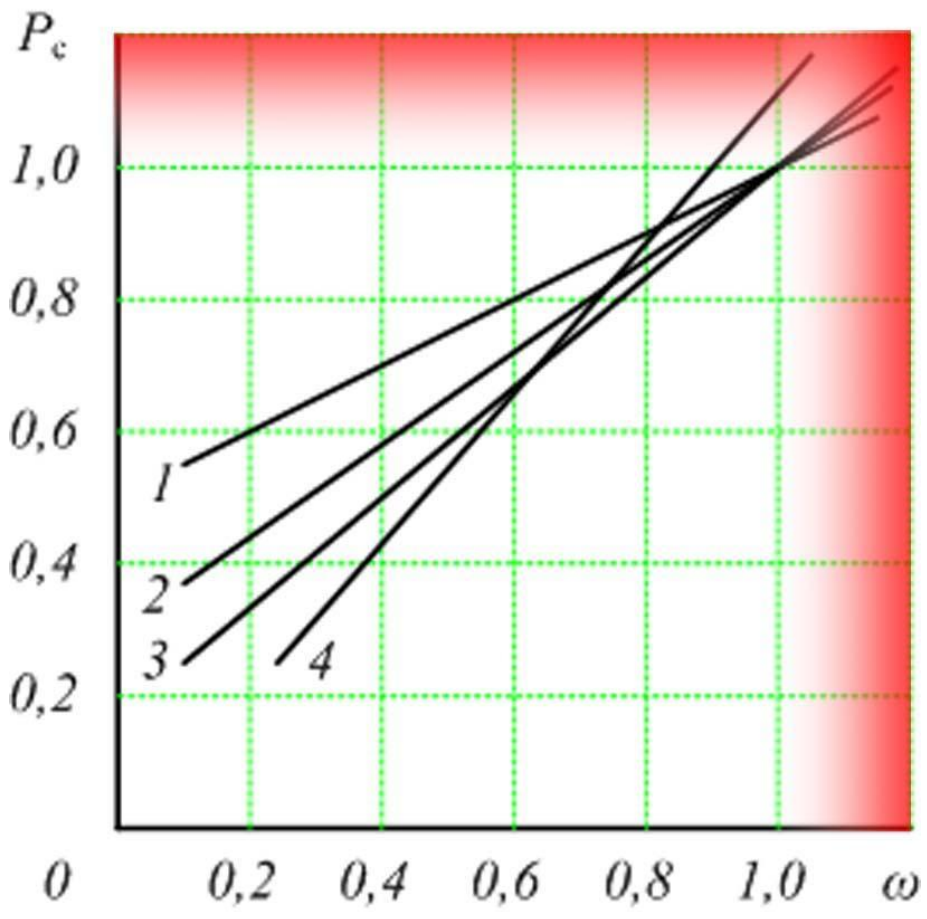
Потери в преобразователях частоты высоковольтных электродвигателей



$\eta_{\Sigma} = 0.8\text{-}0.87$



Энергетические характеристики способов регулирования



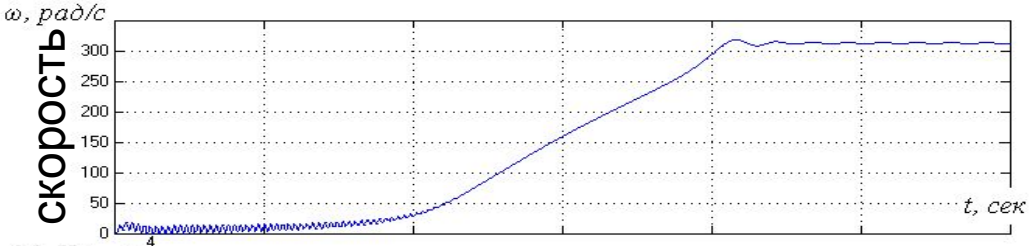
1. Изменение характеристик магистрали (задвижка);
2. Реостатное регулирование;
3. Асинхронно-вентильный каскад
4. Частотное регулирование

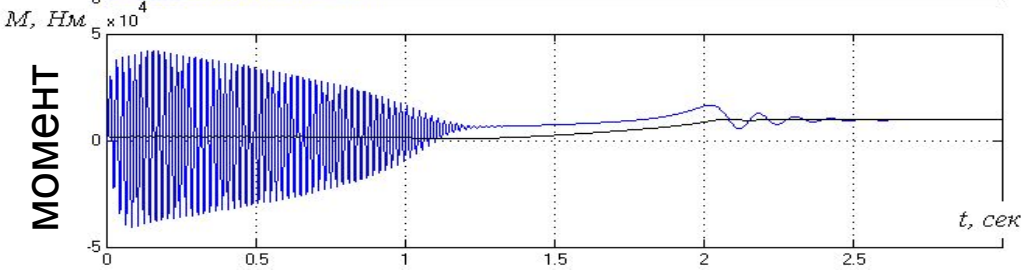
Надежность систем электроснабжения при пуске

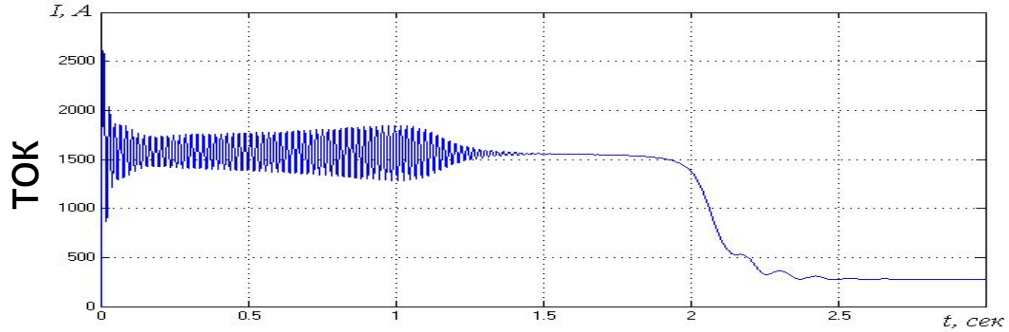
Асинхронные и синхронные электроприводы:

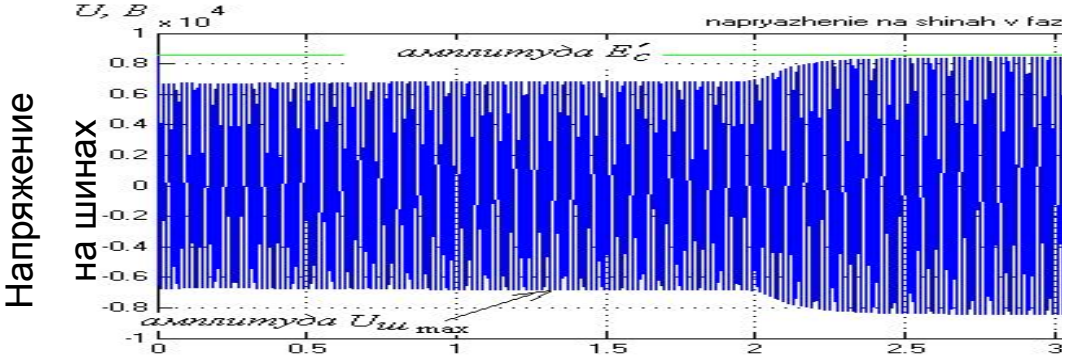
1. Прямой пуск от сети;
2. Колебания электромагнитного момента при прямом пуске от $+5M_н$ до $-3M_н$;
3. Амплитуда пускового тока $(8\text{-}9)I_н$;
4. **Все отказы связаны с выходом из строя статорной обмотки из-за механических вибраций в катушках статора.**

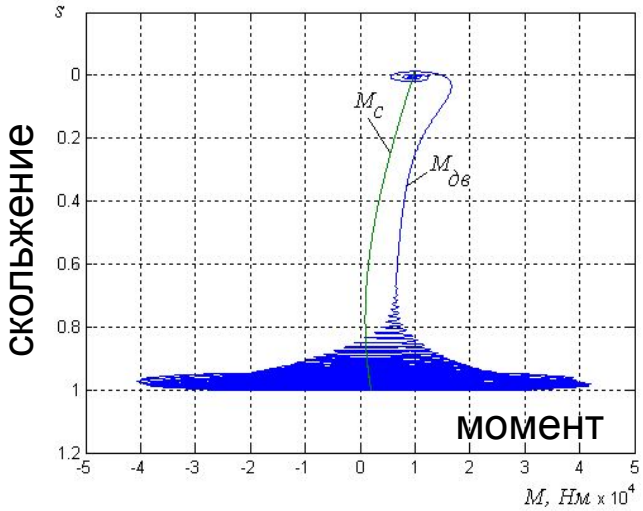
Прямой пуск от сети

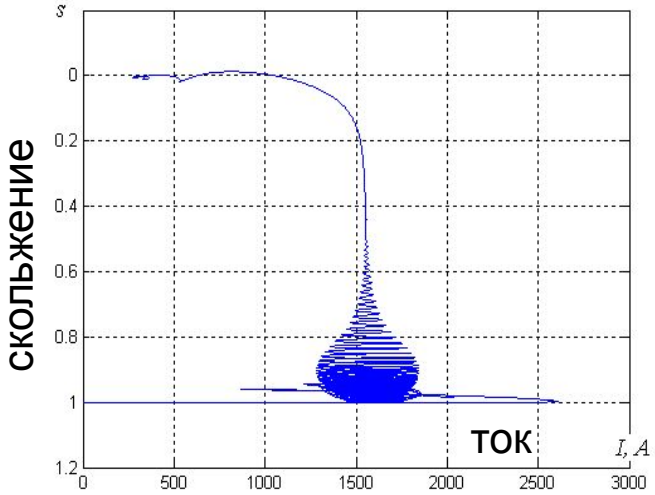










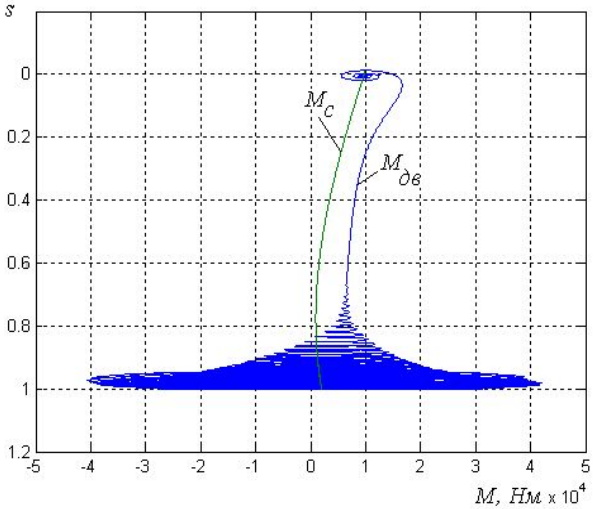


Как следствие - ограничение числа пусков и уменьшение межремонтного периода

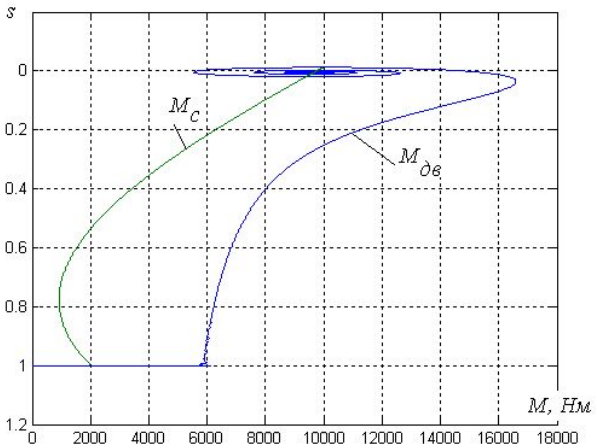
Плавный пуск

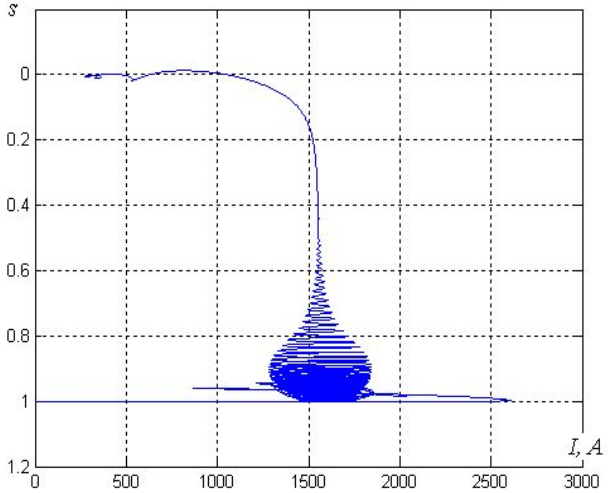
При прямом пуске

При плавном пуске

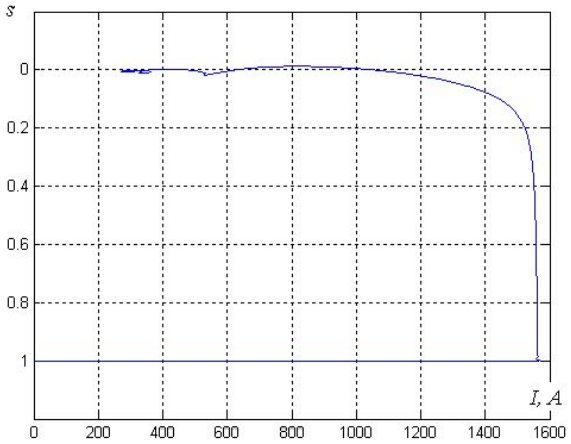


момент





ток



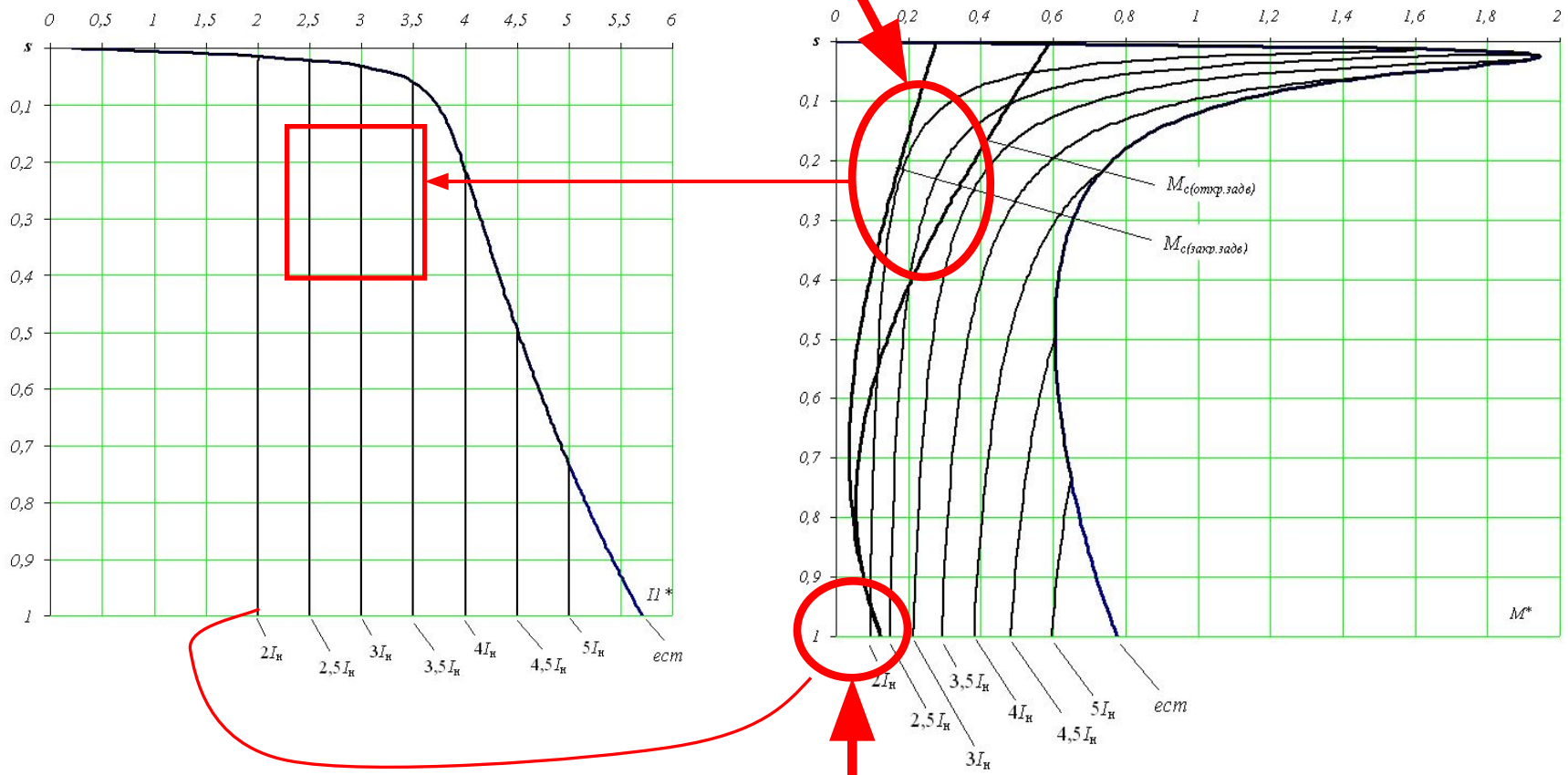
Ограничение тока при пуске

Зона прекращения разгона

Ток

Момент

скольжение



Разгон невозможен

Реализация мероприятий позволит:

- Обеспечить плавное, программируемое управление запуском технологического оборудования;
- Обеспечить плавное нарастание пускового тока в статоре и ограничение его в пределах от 2,5 до 3 $I_н$;
- Исключить электромагнитные ударные нагрузки в электродвигателях и другом электротехническом оборудовании;
- Исключить гидравлические удары в агрегатах и напорной арматуре;
- Появляется возможность получения практически неограниченного числа пусков и остановок агрегатов;
- Электродвигатели могут быть запущены от сети ограниченной мощности без больших просадок напряжения;
- Иметь возможность использования одного устройства для запуска нескольких агрегатов, работающих параллельно.

Методическое обеспечение

- Электропривод насосов (вопросы теории расчета): учеб. пособие /А.К. Аракелян, В.Н. Ларионов. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2008. – 200 с.

  - Рассматриваются основные физические процессы, происходящие в насосных агрегатах и в распределительной сети при транспортировке жидкости.
  - Приводятся основные характеристики насосных агрегатов, внутренних сетей и энергетические аспекты их совместной работы.