

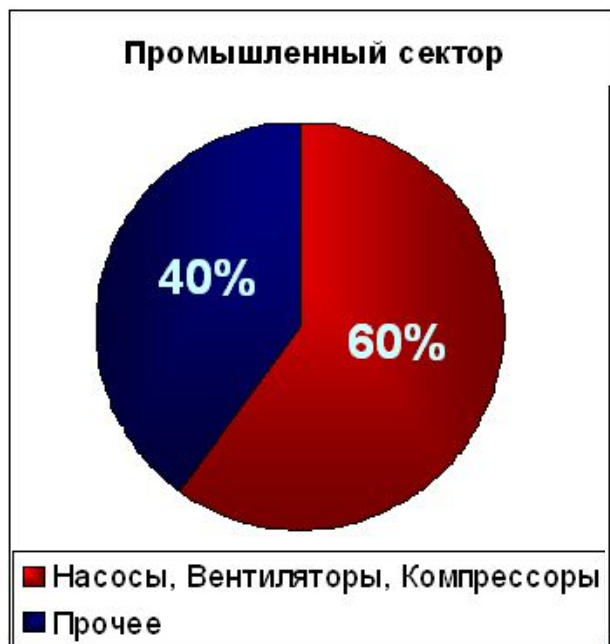
# Энергоаудит насосных, вентиляторных и компрессорных установок

---

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



# Доля потребления электроэнергии наиболее массовыми потребителями по данным экспертов Европейского Союза

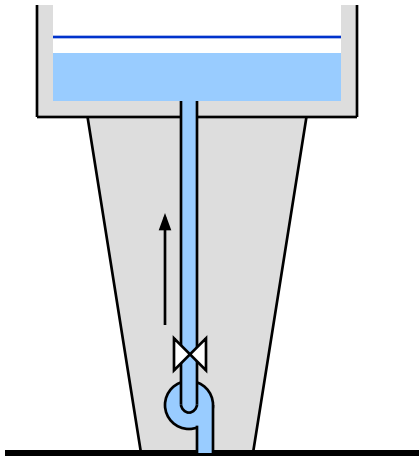


Крупные потребители электроэнергии, такие как насосные установки, по стране ежегодно расходуют около 300 млрд. кВт·ч электроэнергии, т.е. примерно 20% всей электроэнергии вырабатываемой энергосистемами страны. Из них на перекачку чистых и сточных вод в России расходуется 12 млрд. кВт·ч электроэнергии.

# Типы установок



## 1. Преодоление высоты

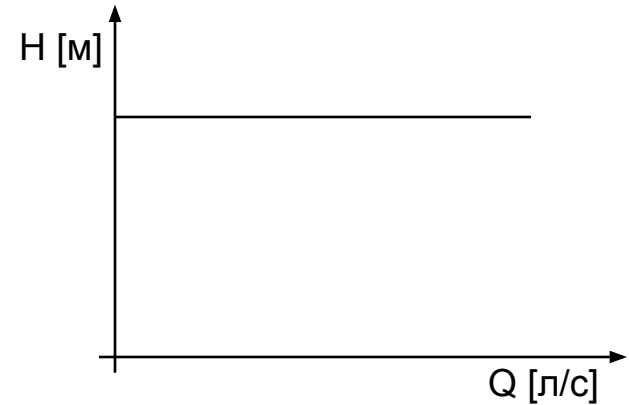


Пример:

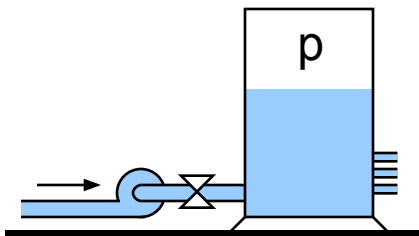
- водонапорная башня
- напорный бак
- подача грунтовых вод



плоская характеристика установки:

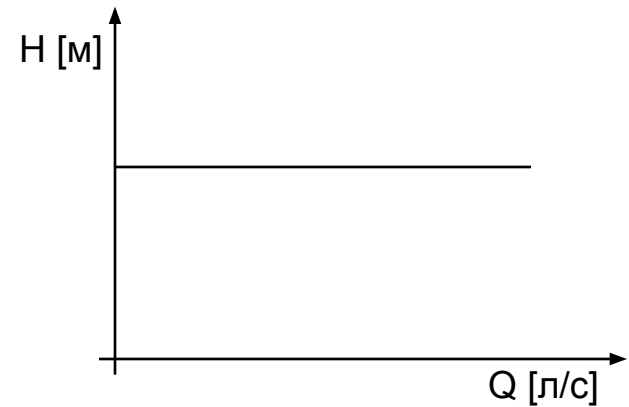


## 2. Преодоление противодействия

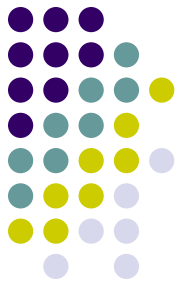


Пример:

- компрессор
- химические процессы
- питательные насосы



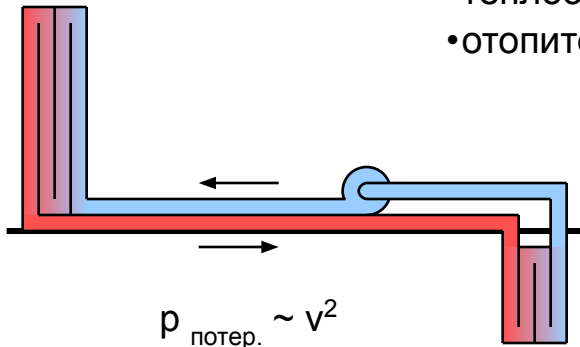
# Типы установок



## 3. Преодоление сопротивления потока

Пример:

- теплообменник
- отопительная установка



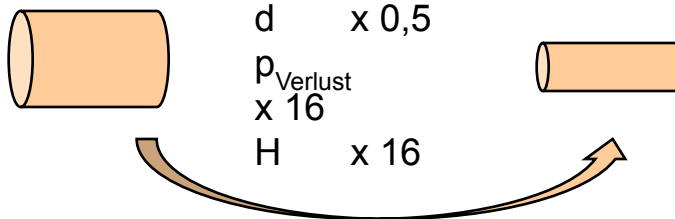
$$\rho_{\text{потер.}} \sim v^2$$

$$\rho_{\text{потер.}} \sim Q^2$$

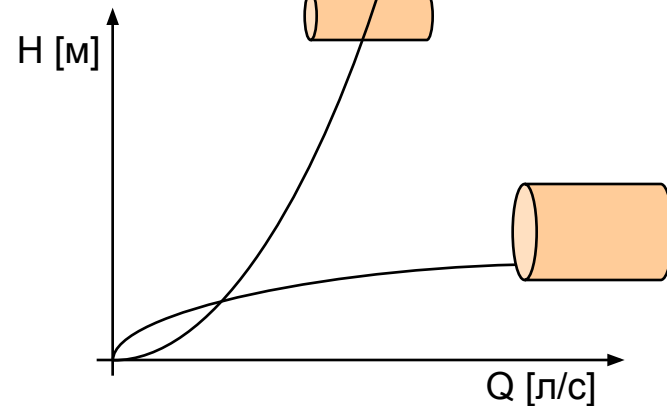
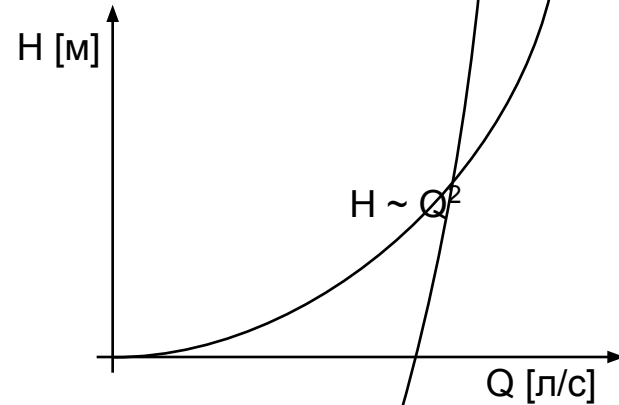


Зависимость от диаметра  
при одинаковом объеме подачи:

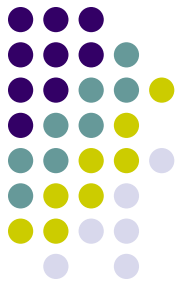
$$\rho_{\text{потер.}} \sim 1/d^4$$



крутая характеристика  
установки:



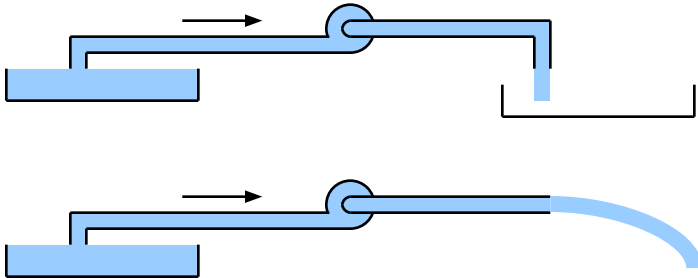
# Типы установок



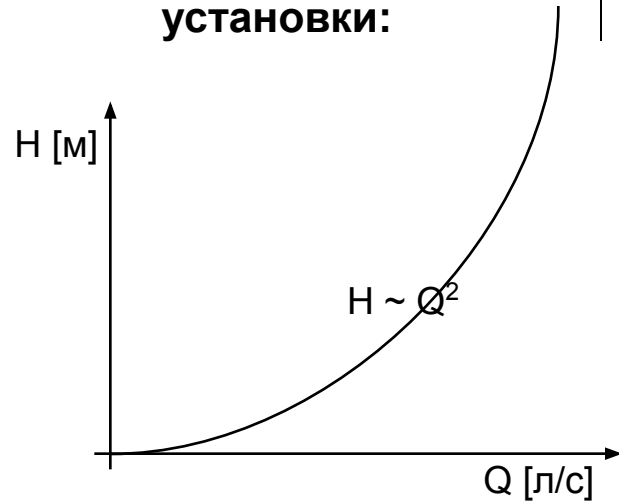
## 4. Ускорение жидкости

Пример:

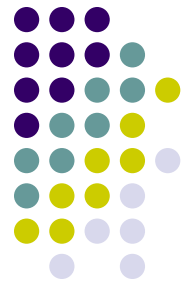
- вентилятор
- насосы в открытой системе без разности высот



Крутая характеристика установки:



# Семейство характеристик



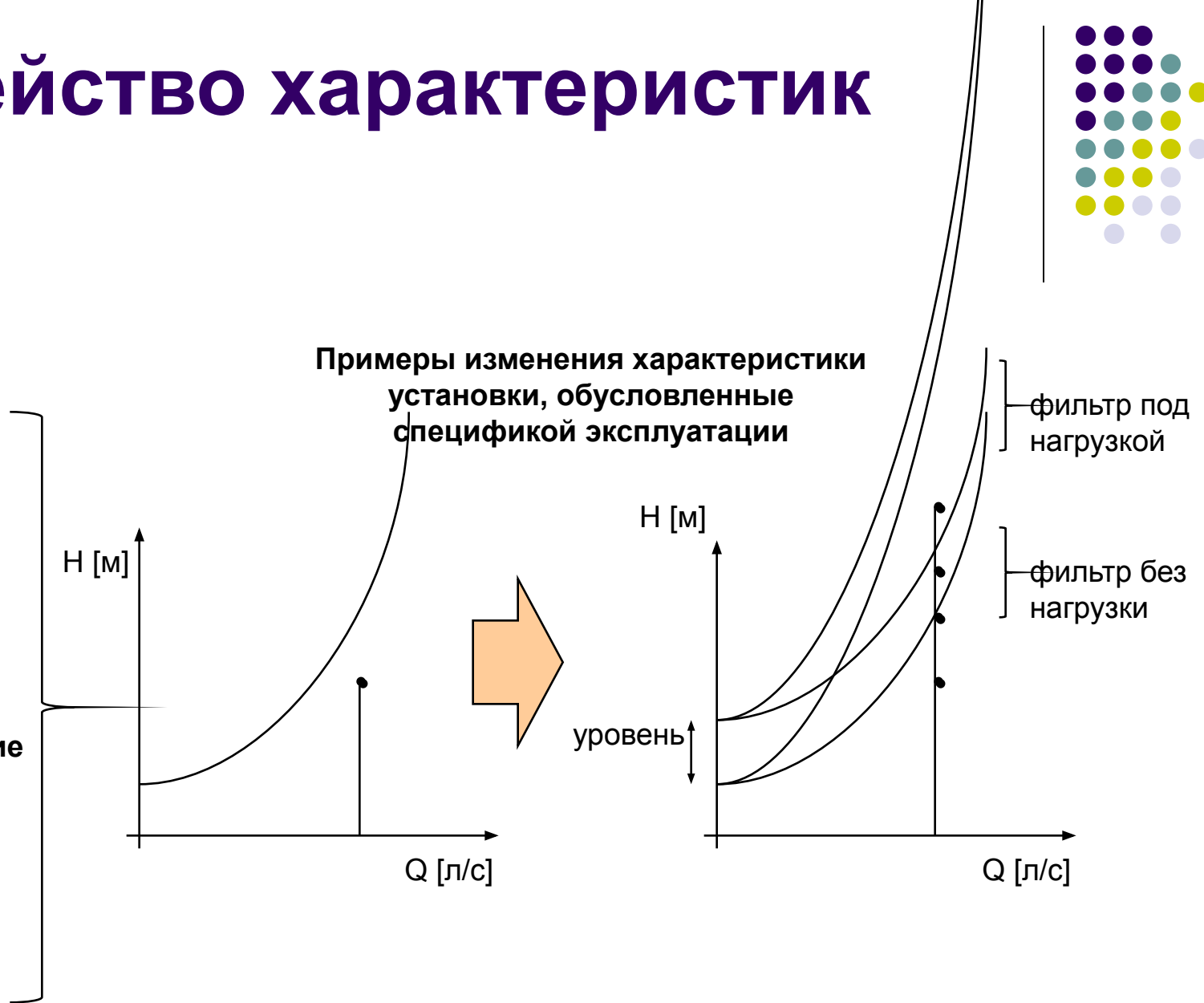
Примеры изменения характеристики  
установки, обусловленные  
спецификой эксплуатации

1. высота

2. Противо-  
давление

3. Сопротивление  
потока

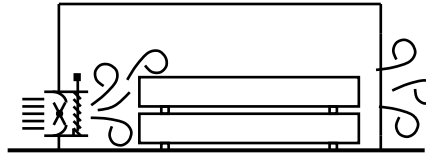
4. ускорение  
жидкости



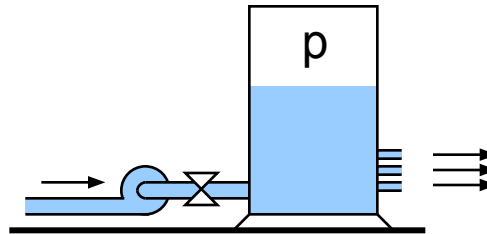
# Режимы

## Пример режима частичной загрузки

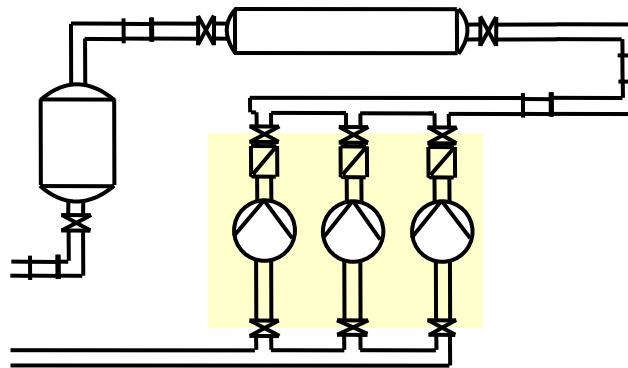
**кондиционер / сушилка**  
> различный объем



**подача сжатого воздуха  
водоснабжение**  
> различный расход



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



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

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

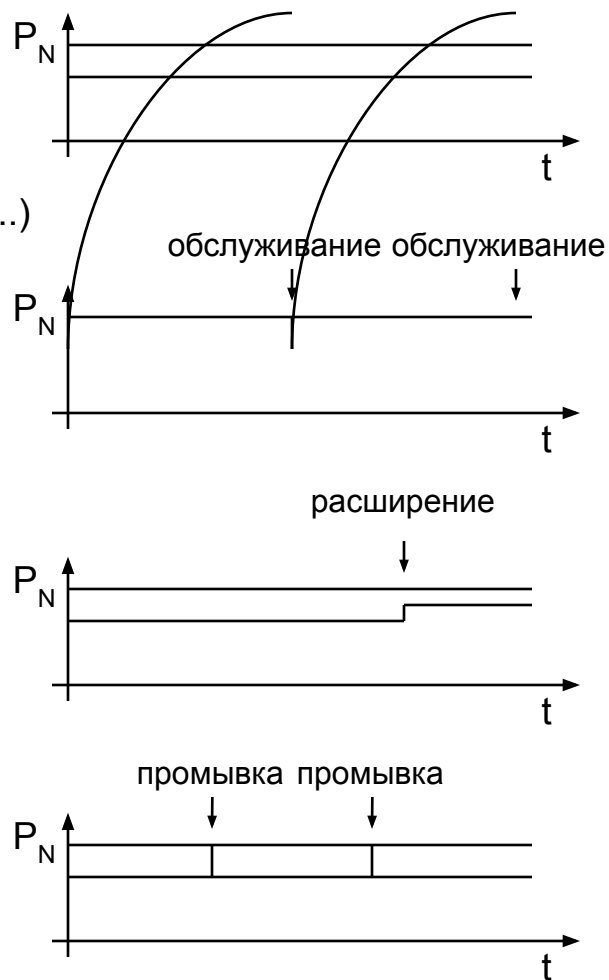
- > Дополнительные фильтры и решетки
- > износ крыльчатки (потери в зазоре)
- > крустификация труб

### водоснабжение

- > запланированное расширение сети

### насос

- > промывка линий, фильтров



При использовании механического исполнительного элемента (например, дросселя):

Расточительное использование электроэнергии!



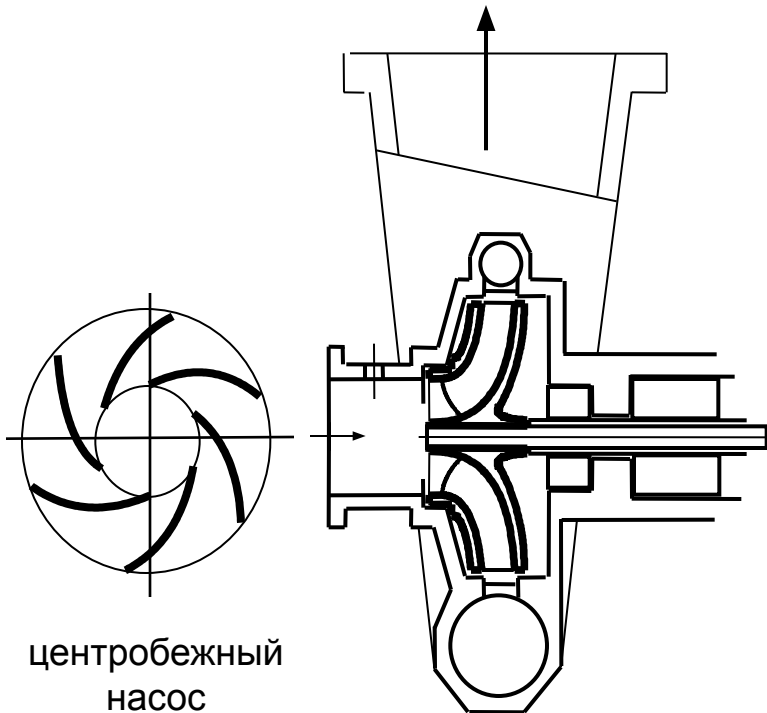


# Рабочая машина



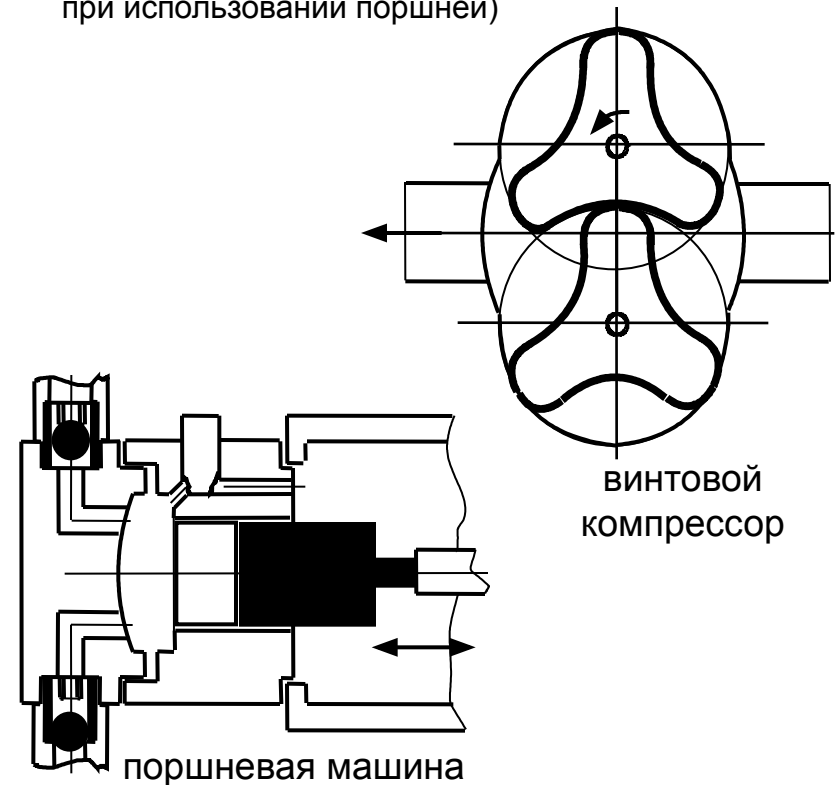
## Поточная машина

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



## Вытесняющая машина

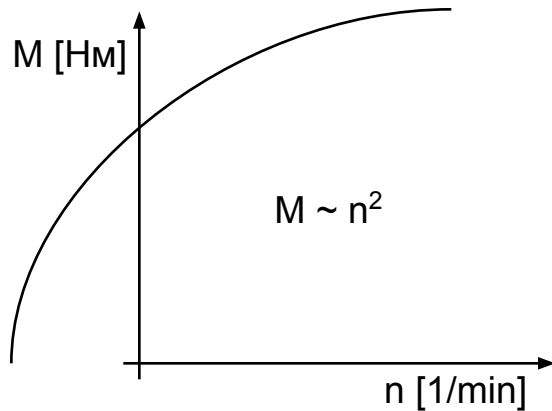
- идеально при большом давлении, высоте подачи
- лучшая производительность
- возможность самостоятельного всасывания
- колеблющийся поток жидкости (особенно, при использовании поршней)



# Рабочая машина. Характеристики

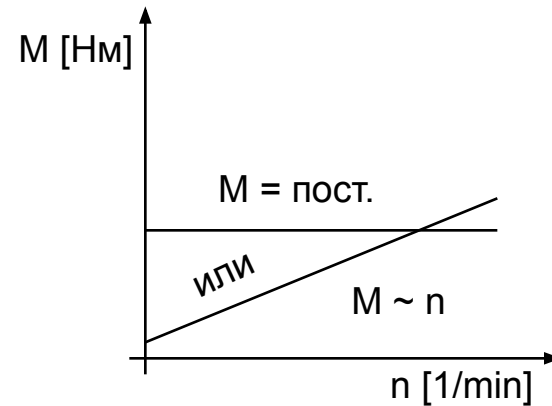


Машина поточного типа



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<sup>2</sup> (м)
  - Давление на входе технологической цепи  $H_{вх}$ , кгс/см<sup>2</sup> (м)
  - Фактическая мощность, потребляемая электроприводом из сети  $P_c$ , 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



$$P_a \eta_{\text{дв}} (\eta_{\text{пч}}) = P_{\text{т}} + \Delta P_3 + \Delta P_{\text{на}}$$

$$P_a = \sqrt{3} U_c I_a$$

$$P_{\text{т}} = \gamma H_c Q g$$

$$\Delta P_3 = \gamma \Delta H_3 Q g$$

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

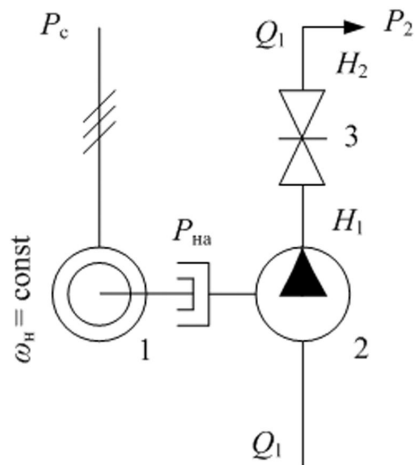
# Энергосберегающие мероприятия



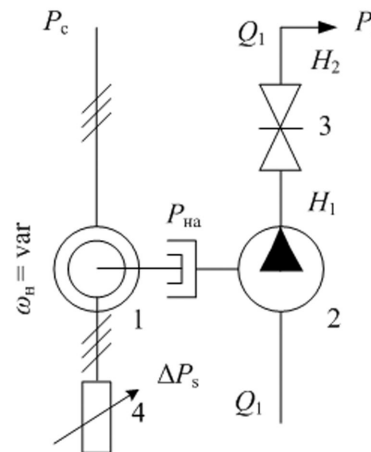
# Схемы способов регулирования подачи



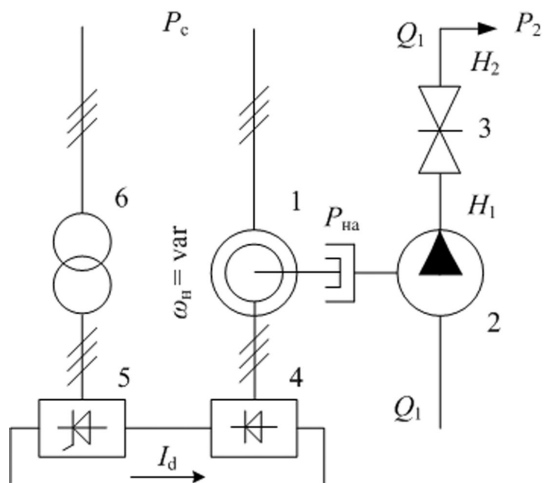
## Изменение характеристик магистрали



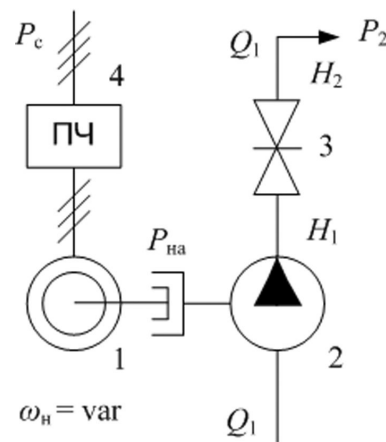
## Реостатное регулирование



## Асинхронно-вентильный каскад



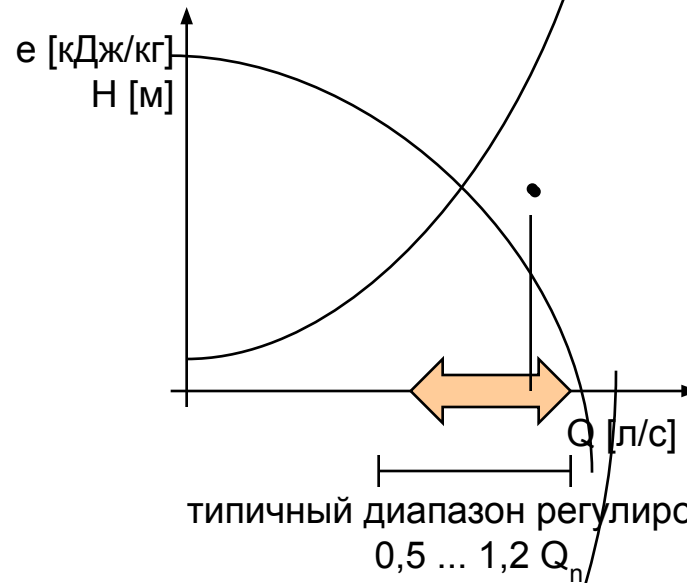
## Частотное регулирование



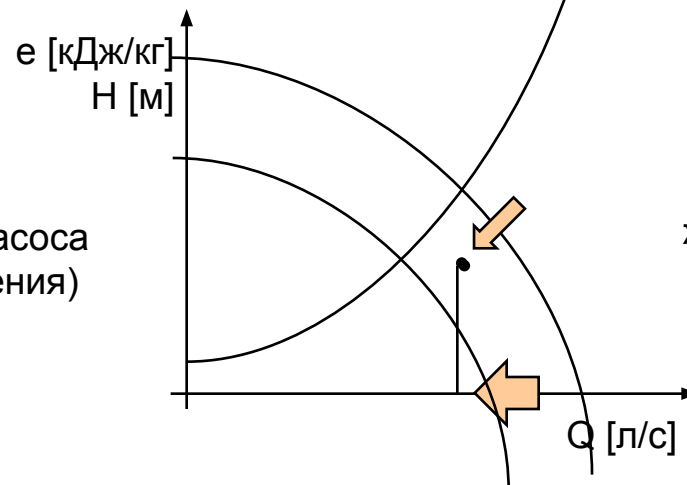
# Регулировка подачи изменением частоты вращения рабочего колеса



**цель:**  
изменение расхода



**меры:**  
изменение характеристики насоса  
(= изменение частоты вращения)

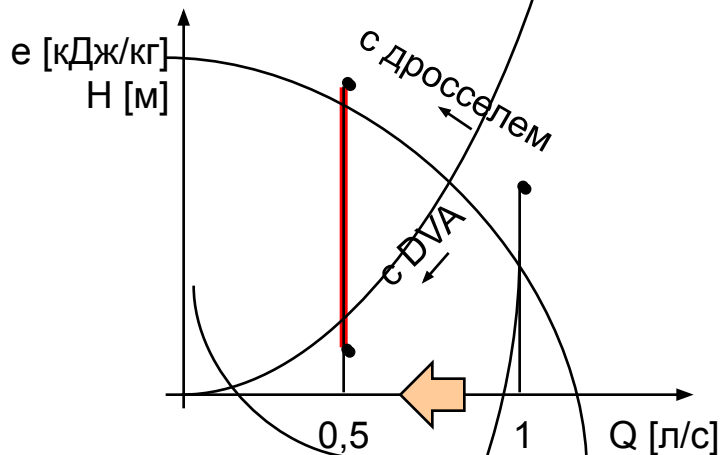


жидкость получает только  
необходимую для  
процесса энергию!  
> **экономия энергии!**

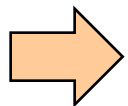
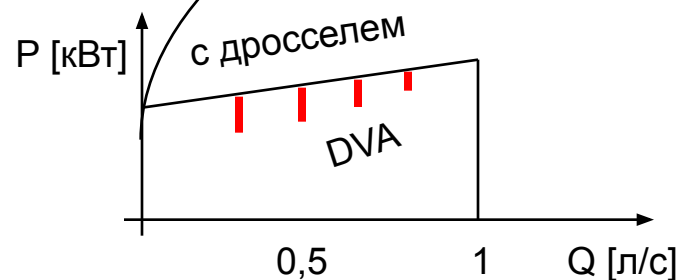
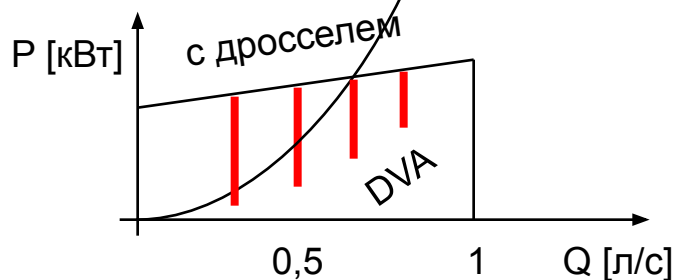
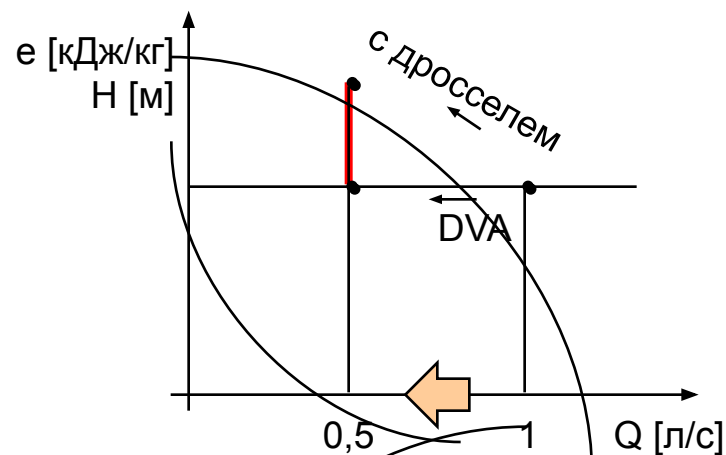
# Регулировка подачи изменением частоты вращения рабочего колеса



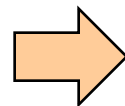
### крутая характеристика



### плоская характеристика



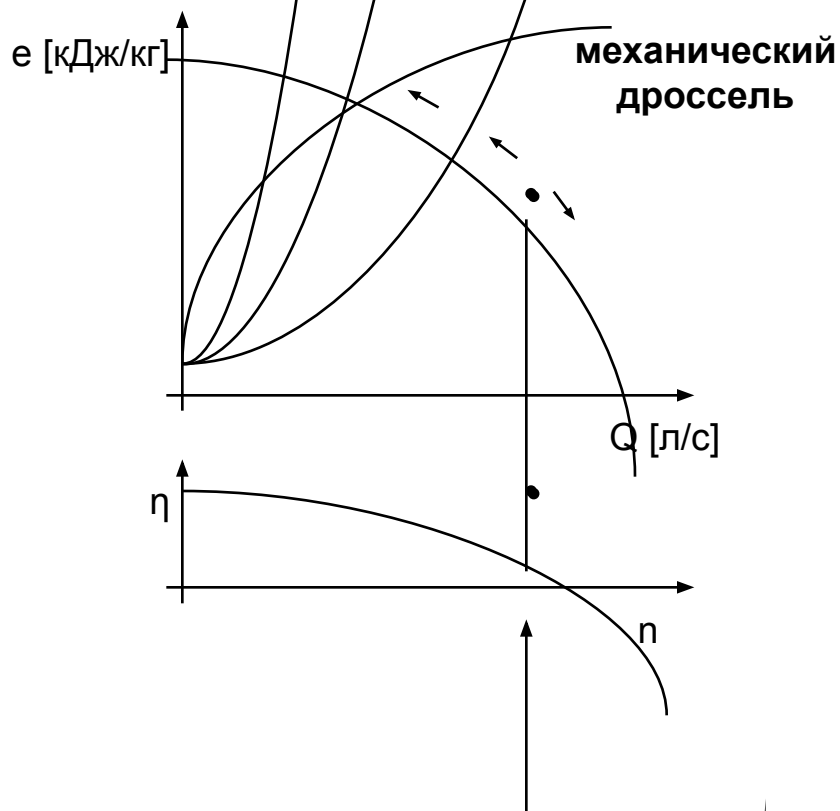
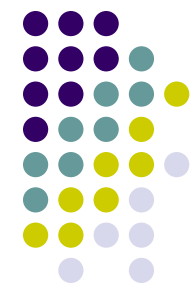
**большие возможности** для экономии энергии



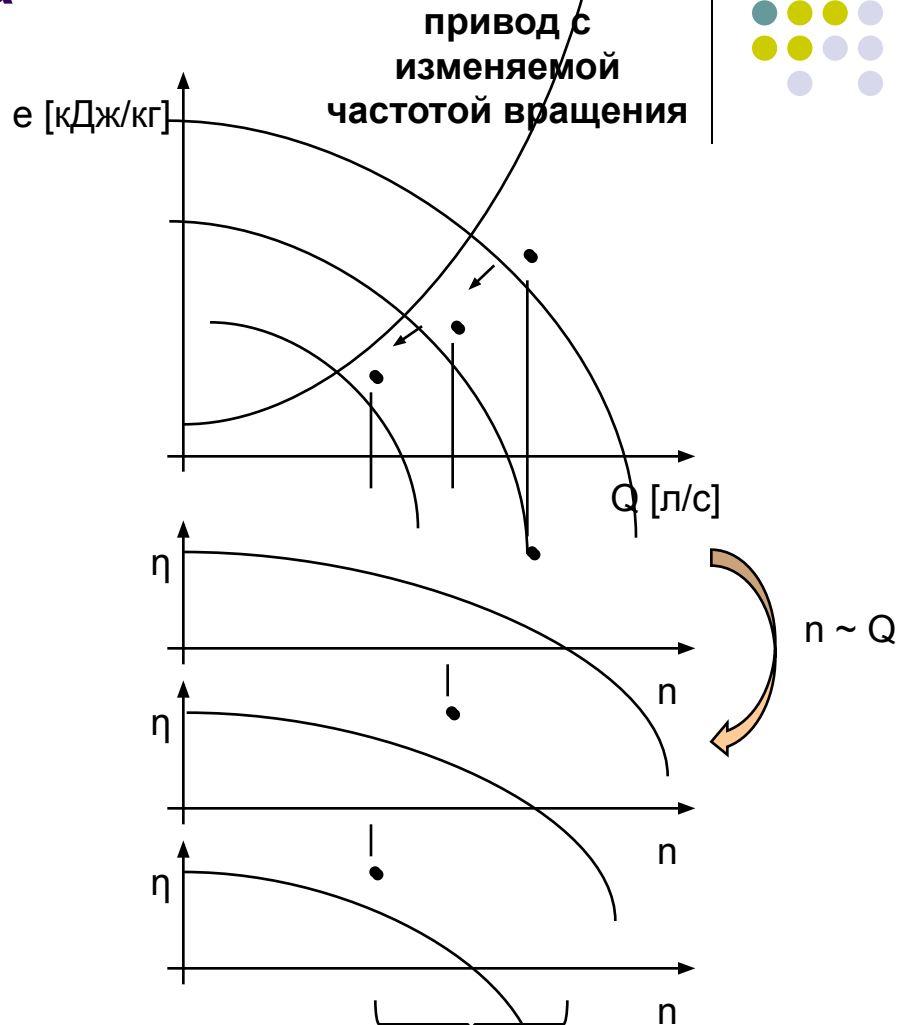
потенциал к экономии есть, но при определенных обстоятельствах невелик



# Регулировка подачи изменением частоты вращения рабочего колеса

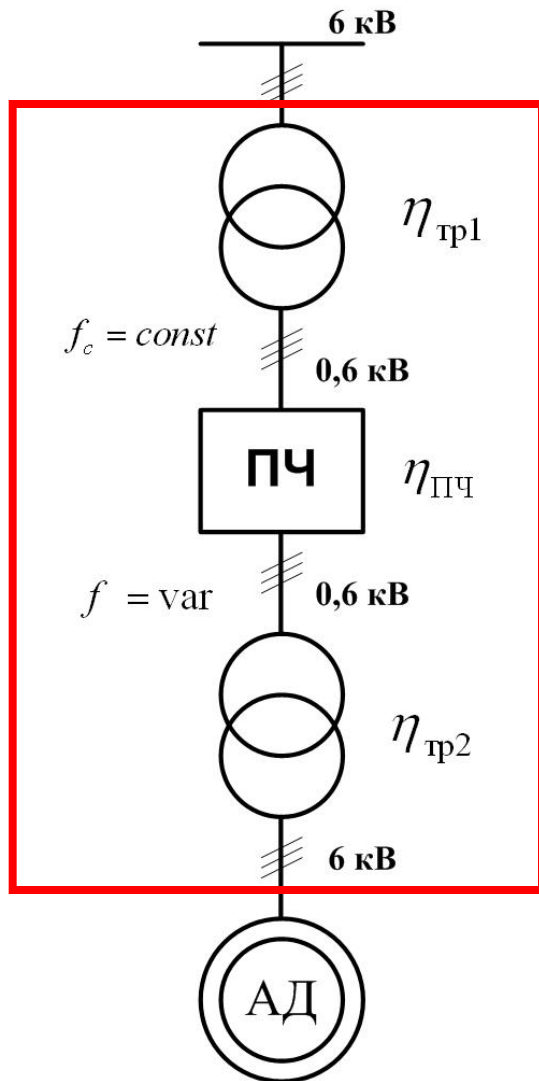
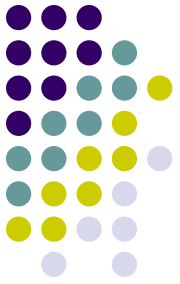


Существует единственная оптимальная рабочая точка!

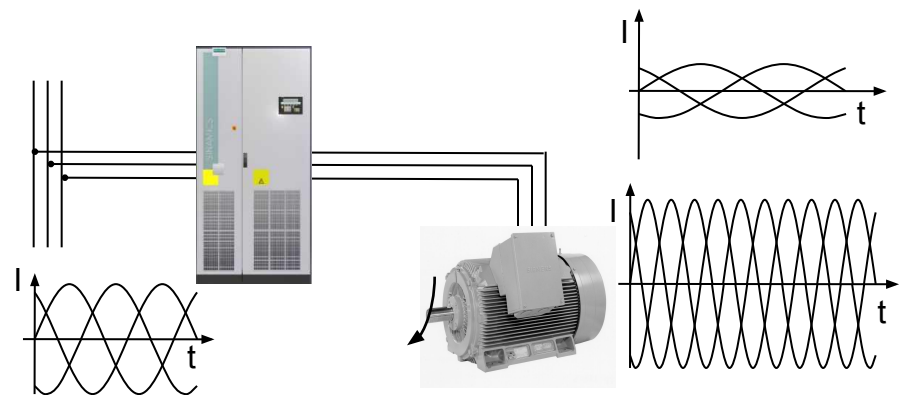


В диапазоне регулировки  $0,5 \dots 1,2 \cdot Q$  КПД насоса остается оптимальным

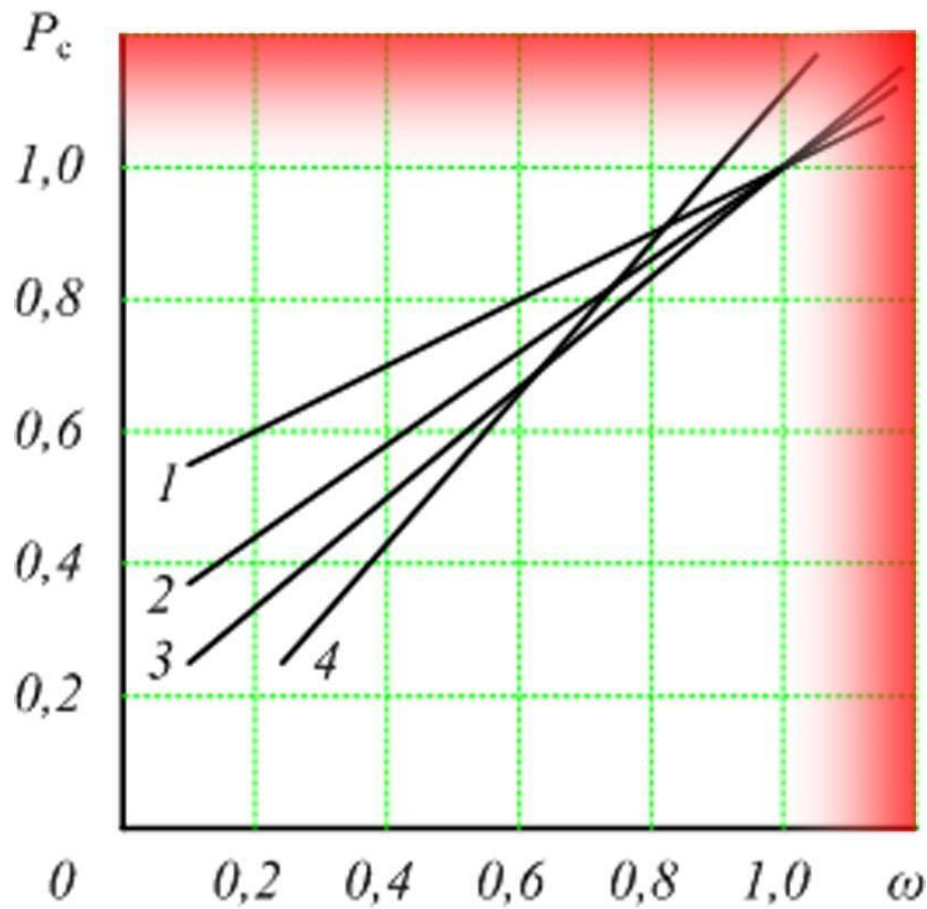
# Потери в преобразователях частоты высоковольтных электродвигателей



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



# Энергетические характеристики способов регулирования



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

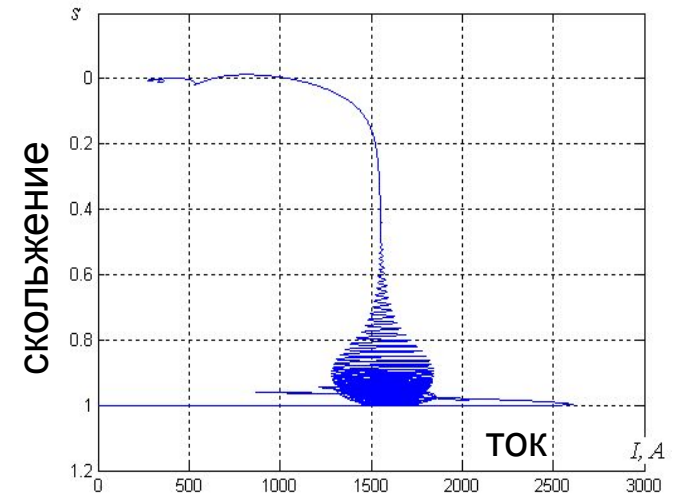
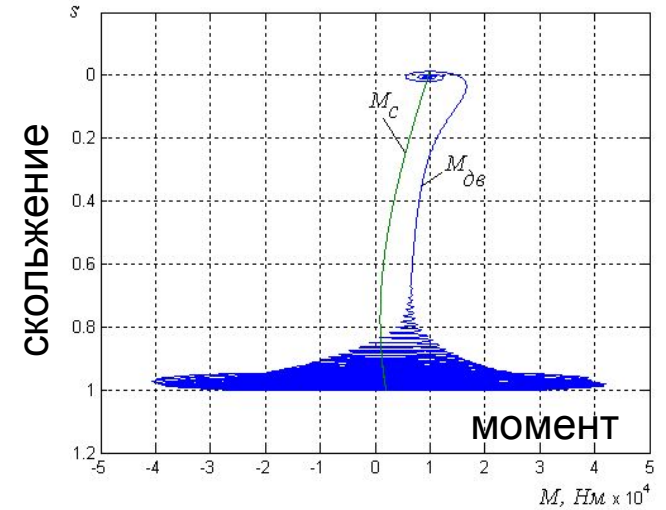
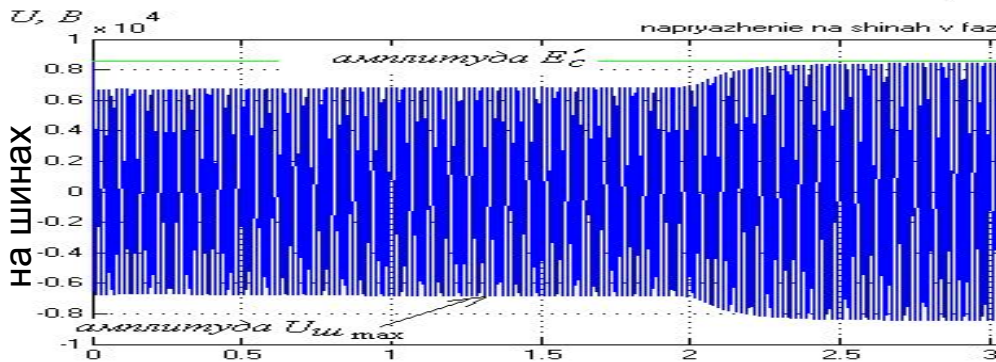
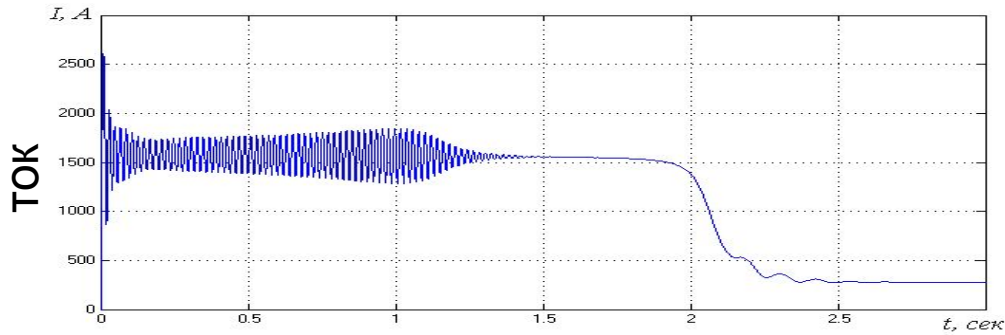
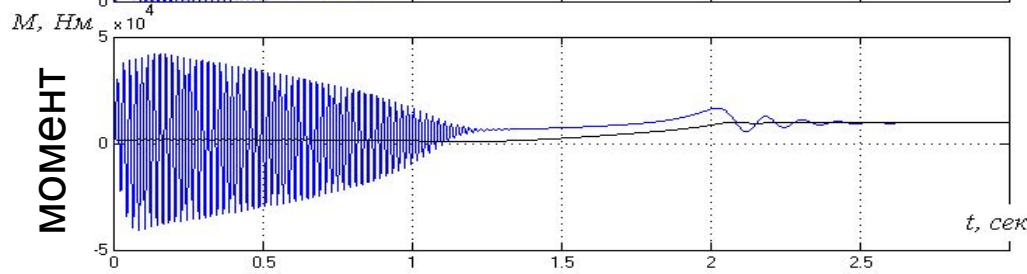
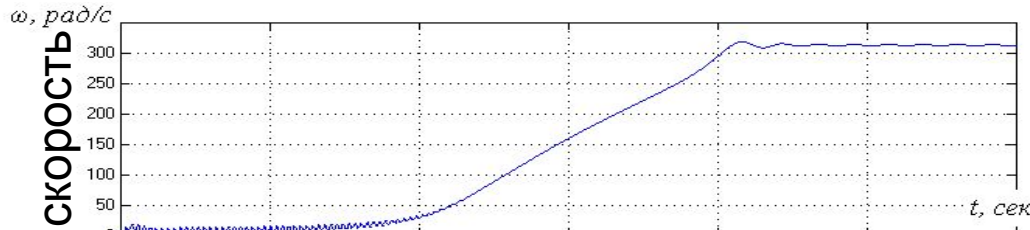
# Надежность систем электроснабжения при пуске



## Асинхронные и синхронные электроприводы:

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

# Прямой пуск от сети



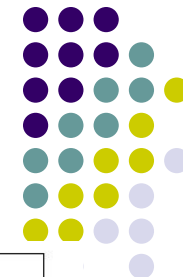
Напряжение

# Как следствие - ограничение числа пусков и уменьшение межремонтного периода

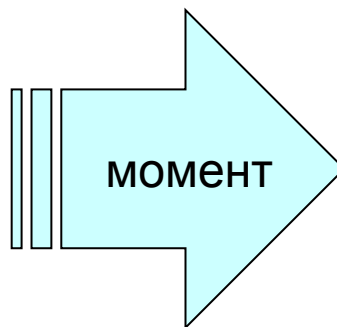
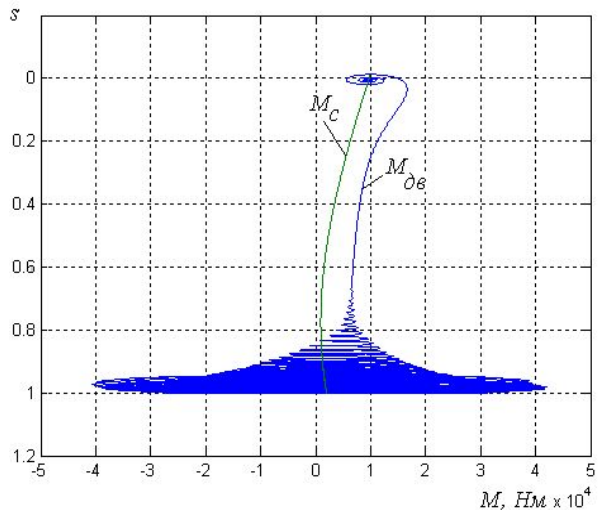




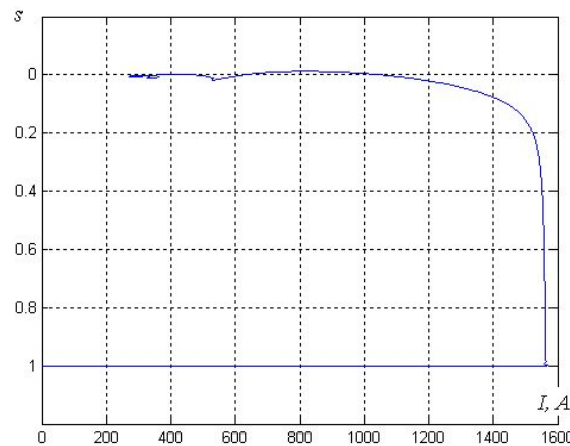
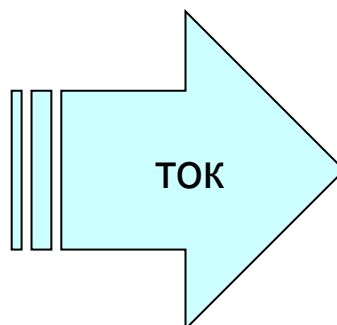
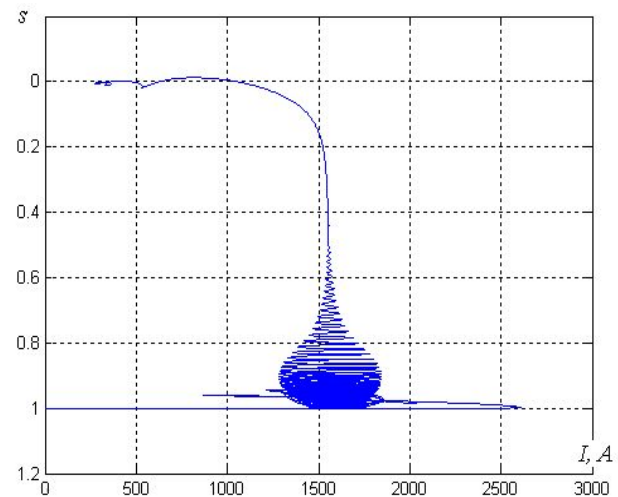
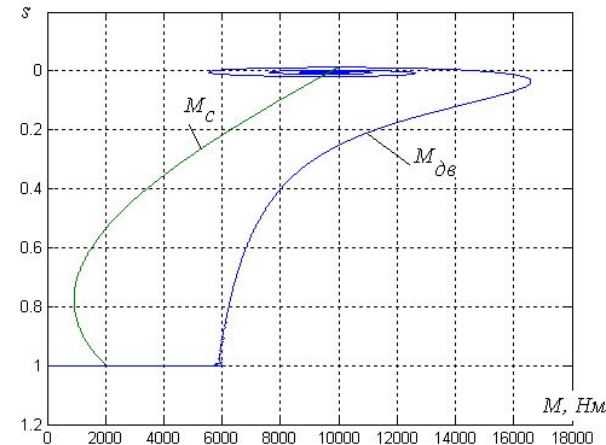
# Плавный пуск



При прямом пуске



При плавном пуске



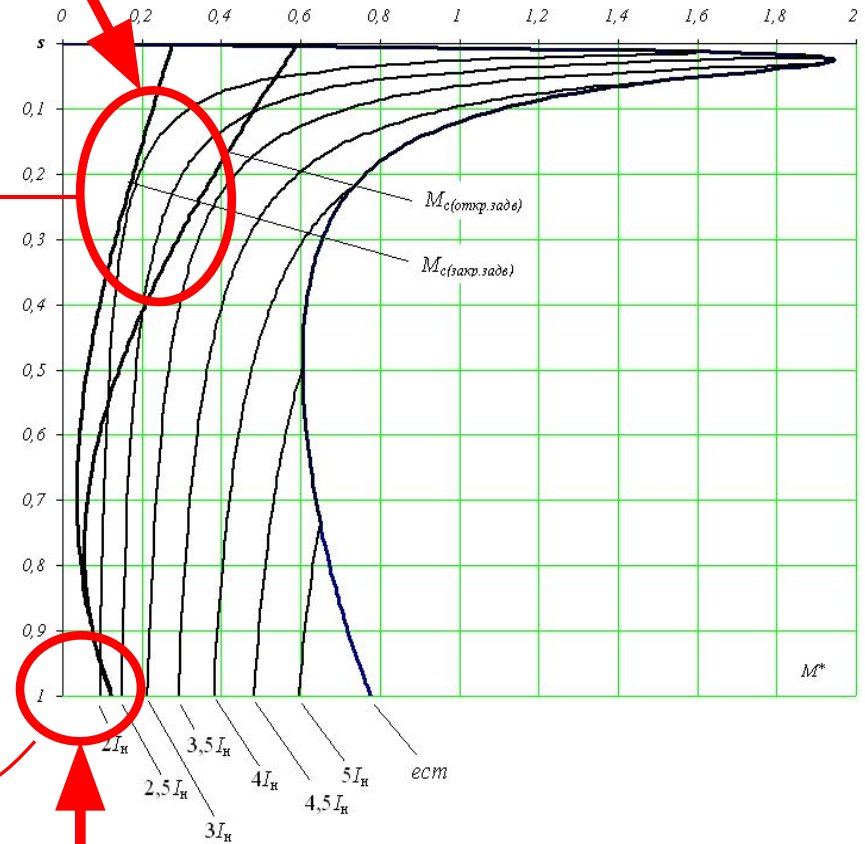
# Ограничение тока при пуске



Зона прекращения разгона

Ток

Момент



СКОЛЬЖЕНИЕ

Разгон невозможен

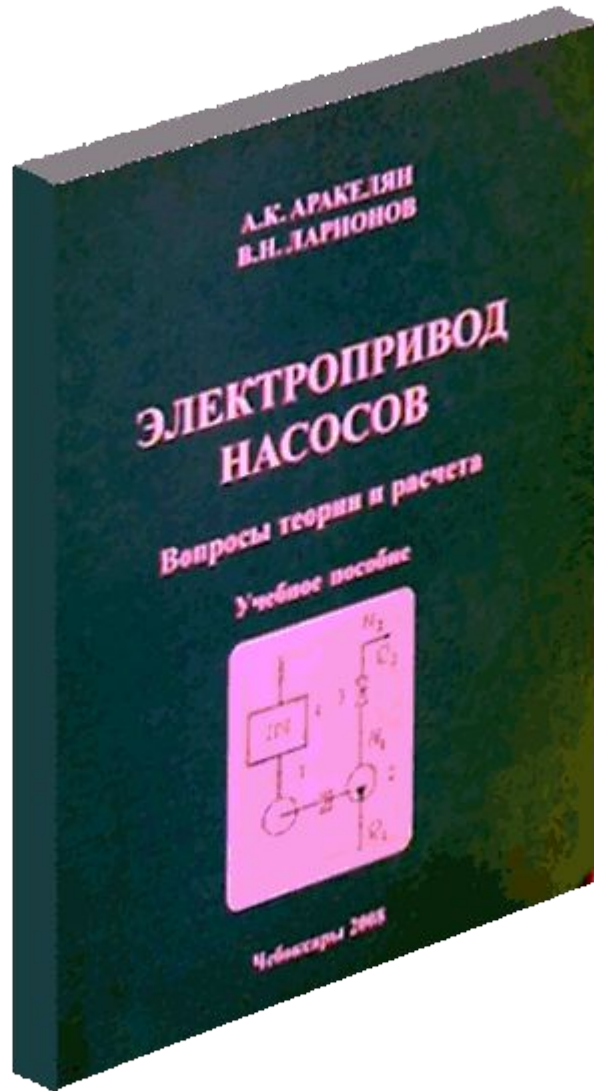


## Реализация мероприятий позволит:

- Обеспечить плавное, программируемое управление запуском технологического оборудования;
- Обеспечить плавное нарастание пускового тока в статоре и ограничение его в пределах от 2,5 до  $3 I_n$ ;
- 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.