



## Частотное управление насосными агрегатами (ликбез)

Часть 1. Насос, как объект управления.

Часть 2. Частотное управление насосом.

Часть 3. Эффективность частотного управления.

Часть 4. Проблема перегрузки насосных агрегатов при частотном управлении.

Часть 5. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.



## Частотное управление насосными агрегатами (ликбез)

Часть 1. Насос, как объект управления.

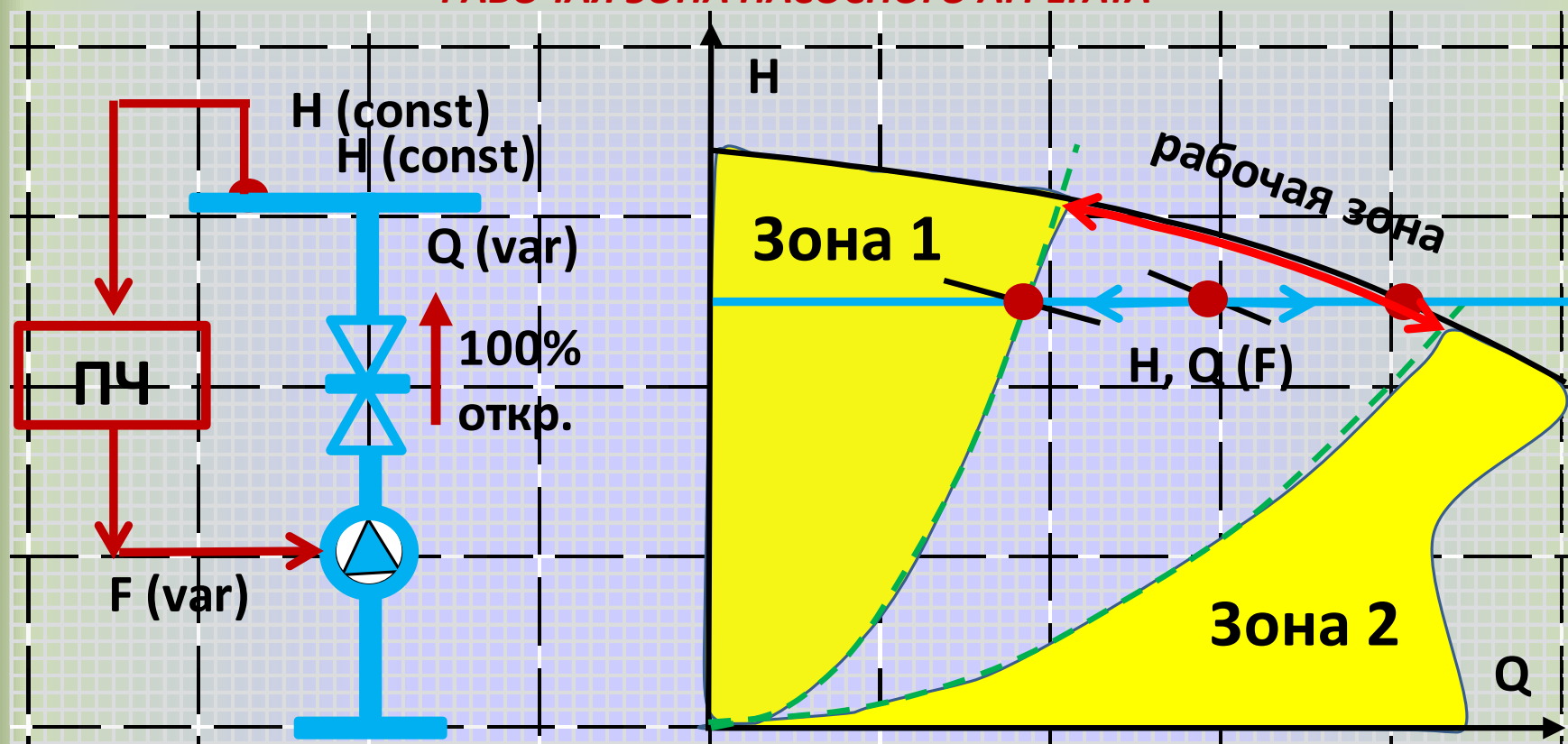
Часть 2. Частотное управление насосом.

Часть 3. Эффективность частотного управления.

Часть 4. Проблема перегрузки насосных агрегатов при частотном управлении.

Часть 5. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

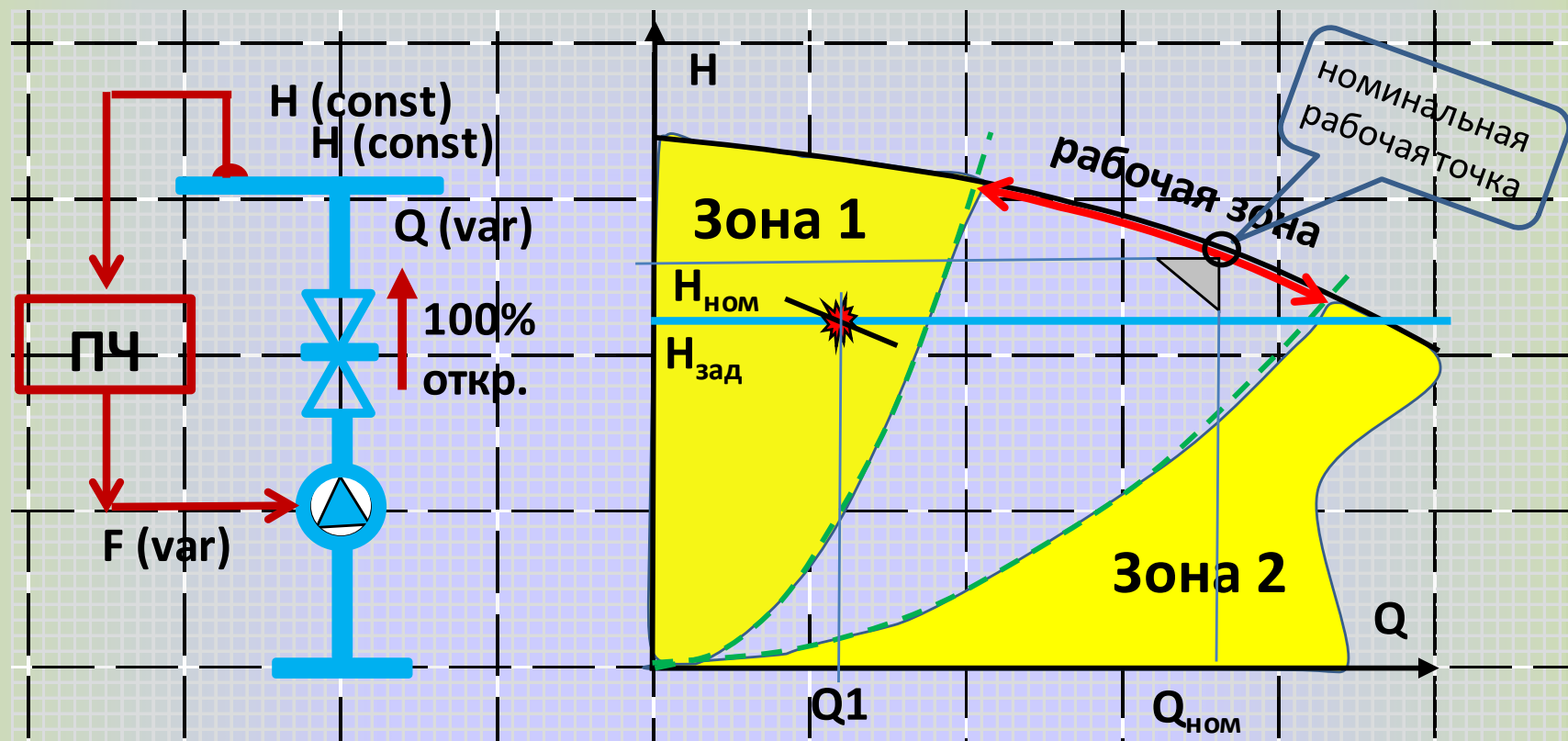
**РАБОЧАЯ ЗОНА НАСОСНОГО АГРЕГАТА**



Рабочая зона определяется:

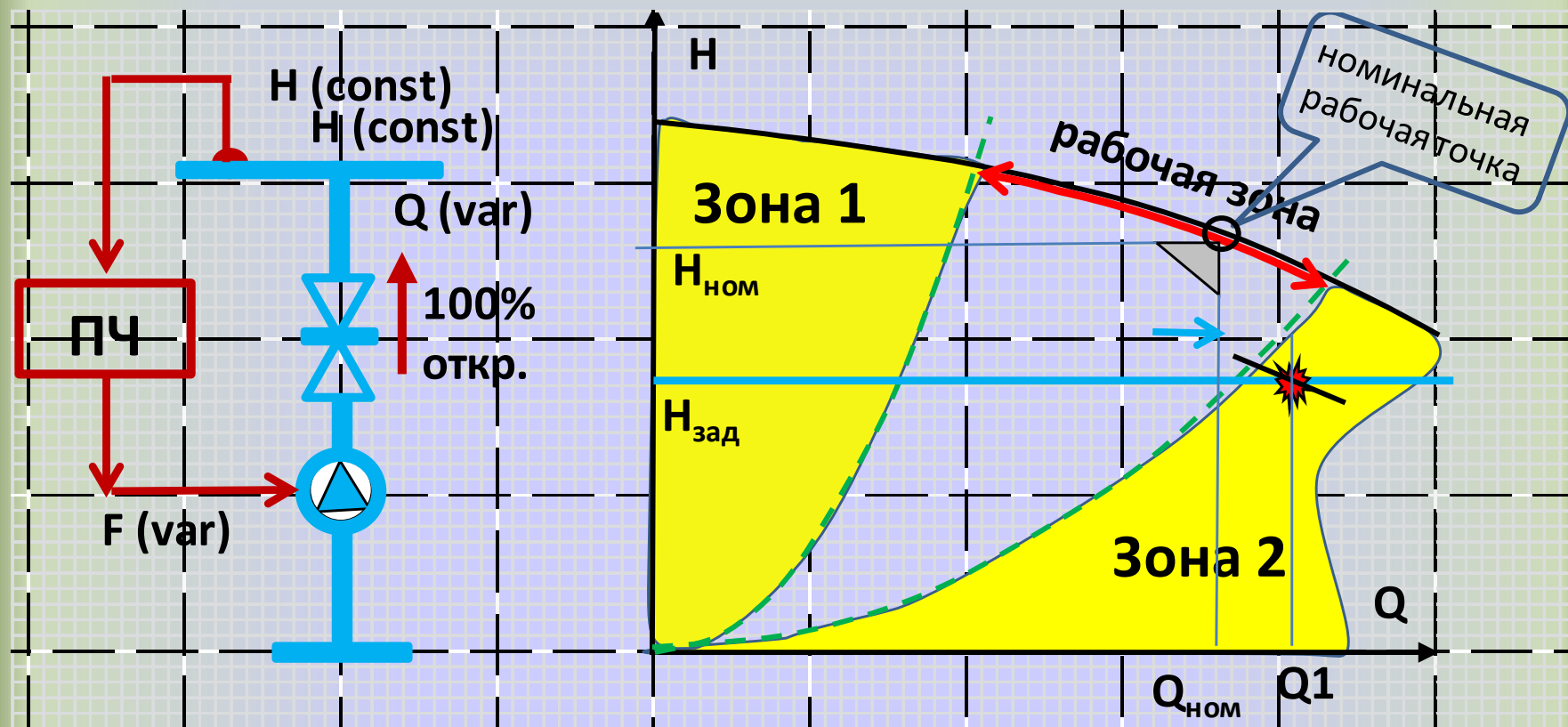
- *Несущественное изменение КПД относительно максимального значения;*
- *Нарушением режима работы насоса левее рабочей зоны – эффект обратного всасывания (дребезг корпуса, вибрация, повреждение рабочего колеса – похоже на кавитацию), вероятность помпажа;*
- *Нарушением режима работы насоса правее рабочей зоны (резкое снижение КПД, вероятность возникновения кавитации).*

## ЗОНА 1 - 1 НАСОСНЫЙ АГРЕГАТ



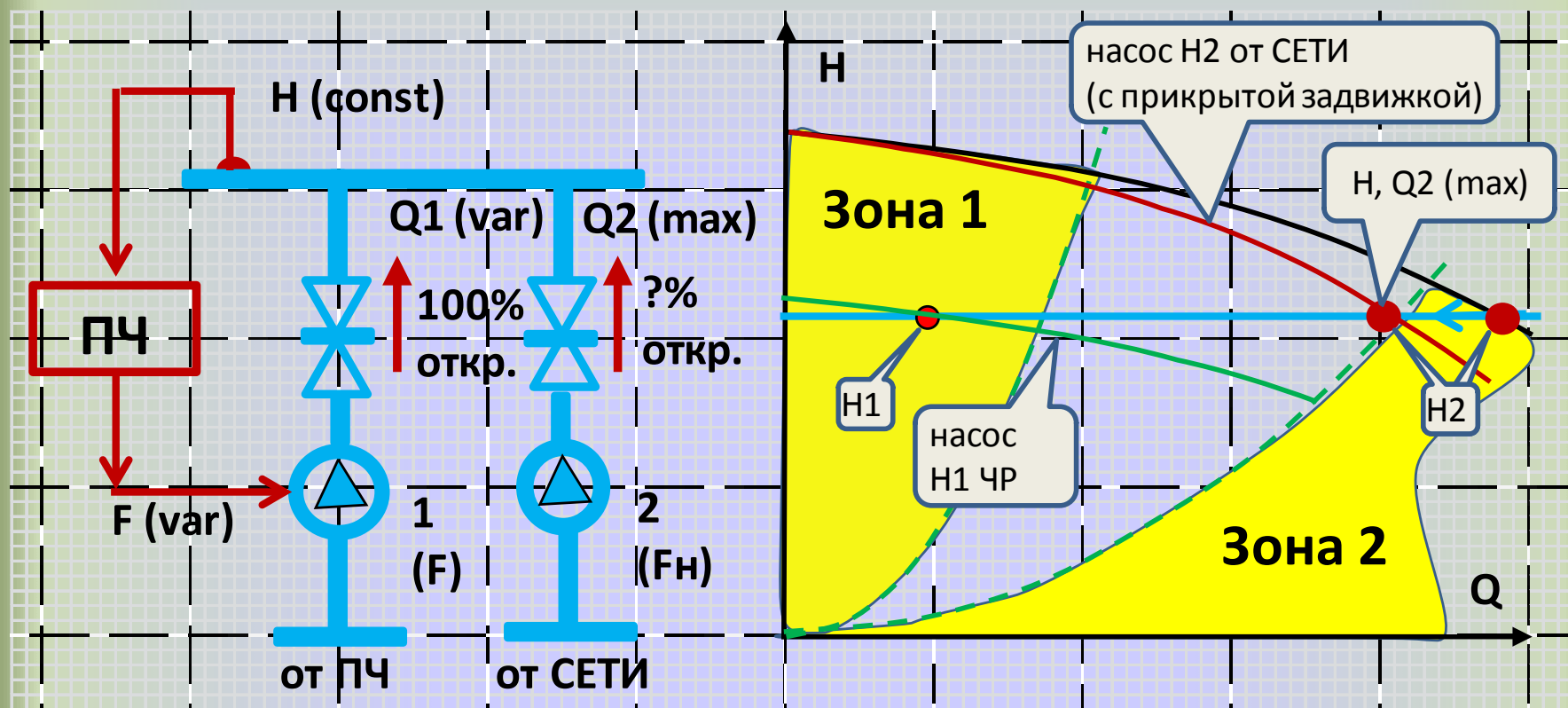
Рабочая точка может попасть в зону 1 при  $Q_1 \ll Q_{\text{ном}}$   
 ( $f \leq 50\text{Hz}$ ;  $I < I_{\text{ном}}$ ; ошибка регулирования меньше допустимой).  
 Причем, чем больше  $H_{\text{зад}}$ , тем вероятность выше.

## ЗОНА 2 - 1 НАСОСНЫЙ АГРЕГАТ



Рабочая точка может попасть в зону 2 при  $H_{\text{зад}} < H_{\text{ном}}$  и  $Q_1 > Q_{\text{ном}}$  ( $f \leq 50\text{Hz}$ ;  $I \leq I_{\text{ном}}$ ; ошибка регулирования меньше допустимой).  
 Причем, чем меньше  $H_{\text{зад}}$ , тем вероятность выше.

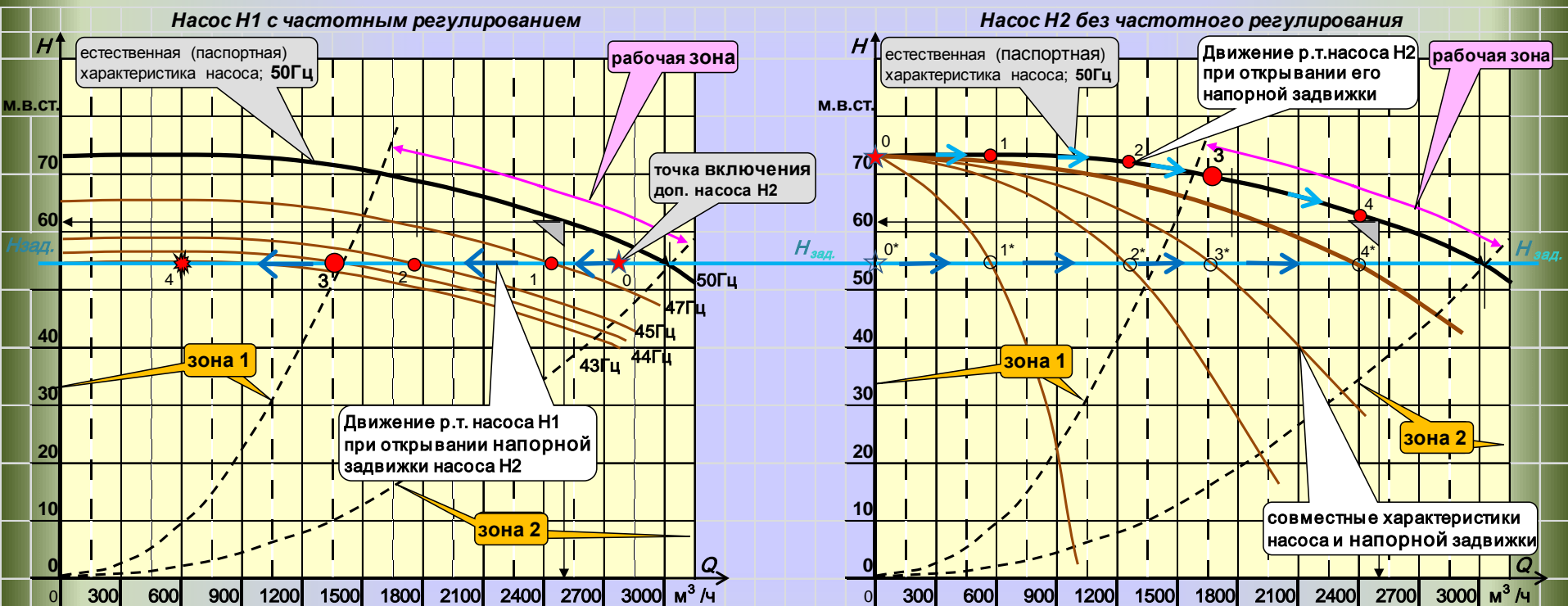
**ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ДВУХ НАСОСОВ (1 ОТ СЕТИ + 1 ОТ ПЧ).**



Попадание рабочей точки насоса Н2 в зону 2 вполне вероятно. Вывести ее в рабочую область можно только путем прикрытия задвижки (путем перераспределения расходов между насосами).

Если требуется производительности «немножко больше, чем обеспечивает один насос», то попадание рабочей точки насоса Н1 в зону 1 вполне вероятно.

**ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ДВУХ НАСОСОВ (1 ОТ ПЧ+1 ОТ СЕТИ).**

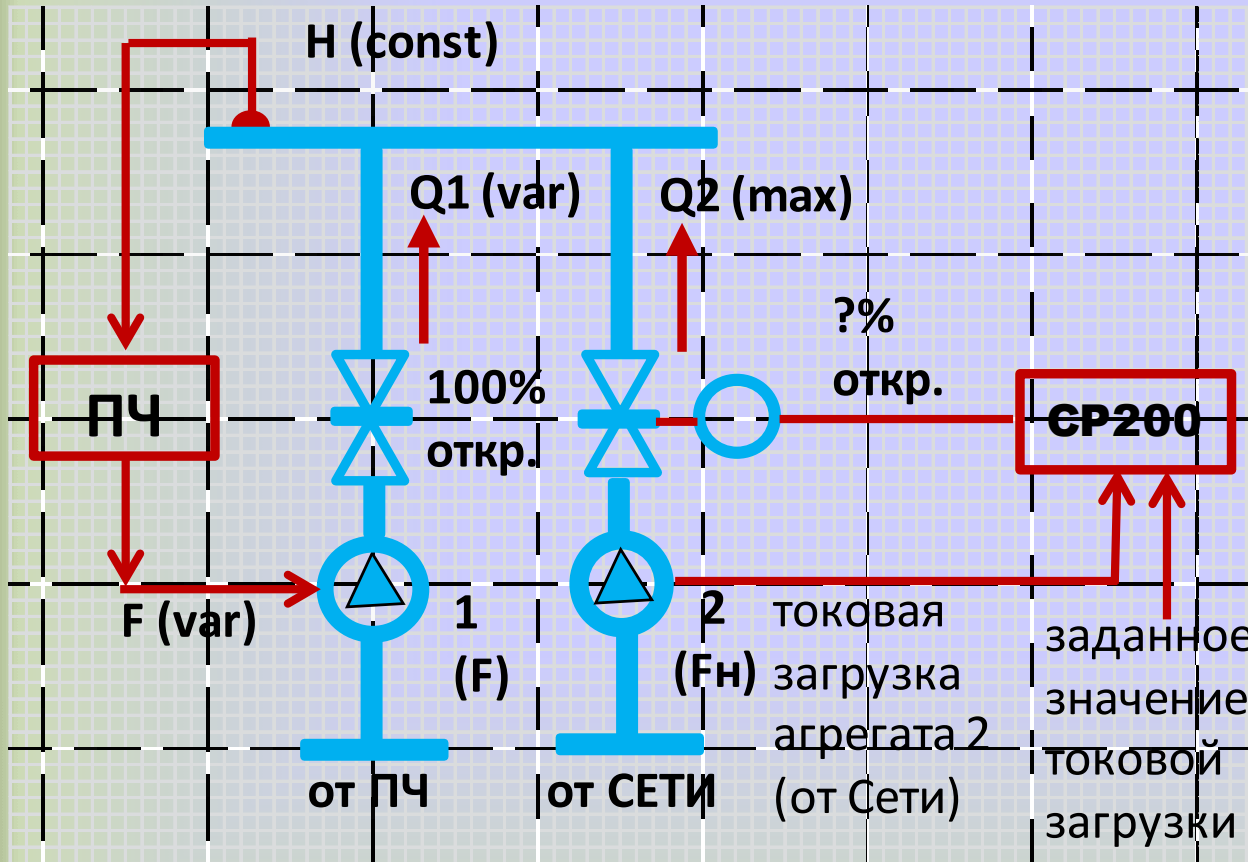


Движение рабочих точек насосов N1 и N2 при увеличении производительности до 3000 м<sup>3</sup> /ч (в точке 4 - N1 сильно в зоне 1; более оптимально - точка 3).

#### 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

- Устранение «перегрузки» насоса Н2 -

### Автоматическое управление напорной задвижкой в функции загрузки приводного двигателя НА2.



Управление напорной задвижкой здесь осуществляется системой автоматического регулирования замкнутой по току приводного электродвигателя. Системой, задвижка устанавливается в положение, соответствующее заданному значению токовой нагрузки насосного агрегата.

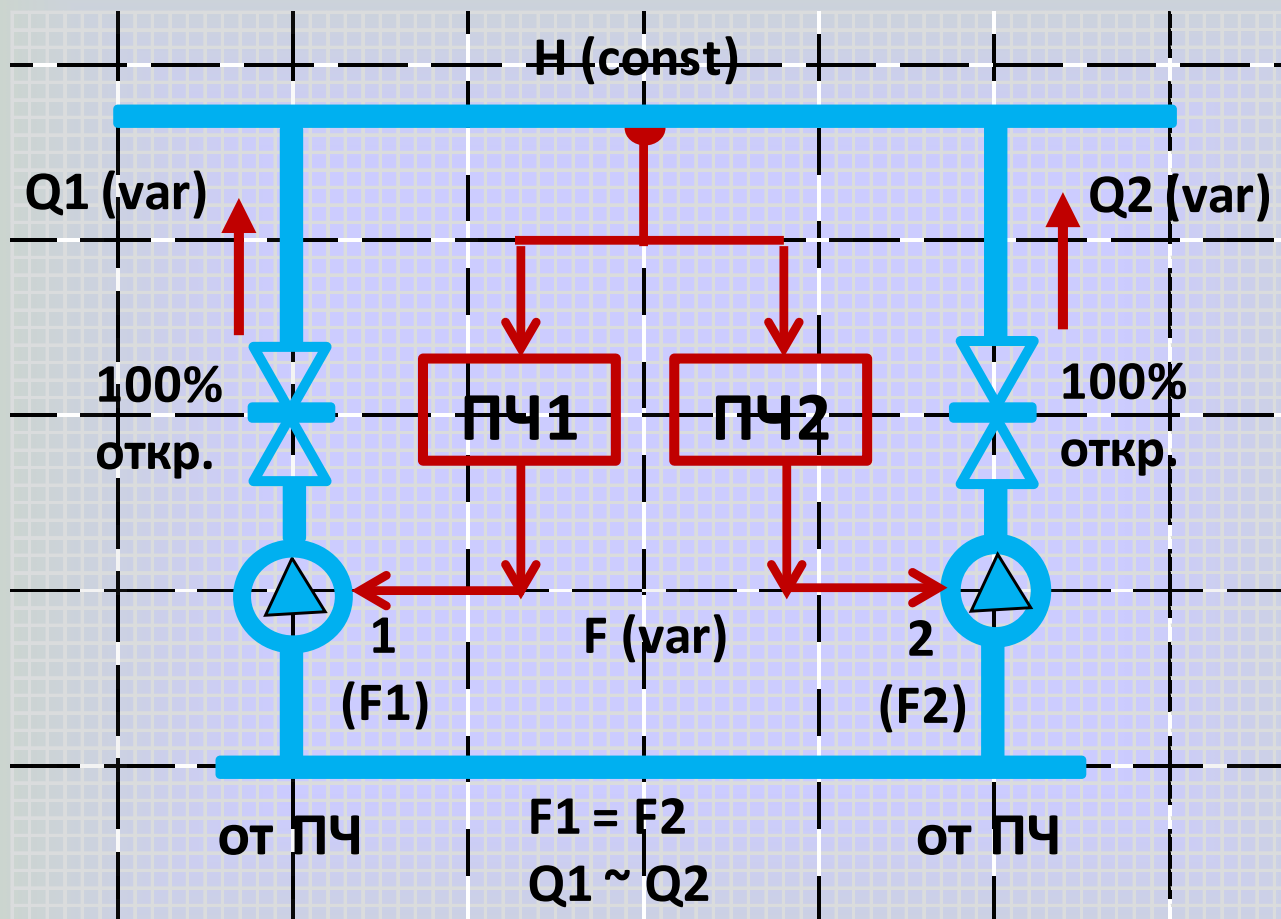
**Защита насоса Н2 от «перегрузки»**



#### 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

- Устранение «недогрузки» насосов -

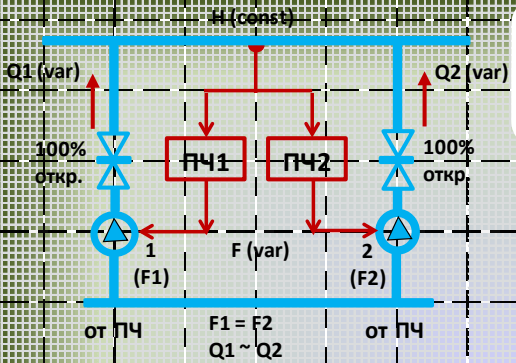
#### ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ СИНХРОННАЯ РАБОТА ДВУХ НАСОСОВ (1 ОТ ПЧ+1 ОТ ПЧ).



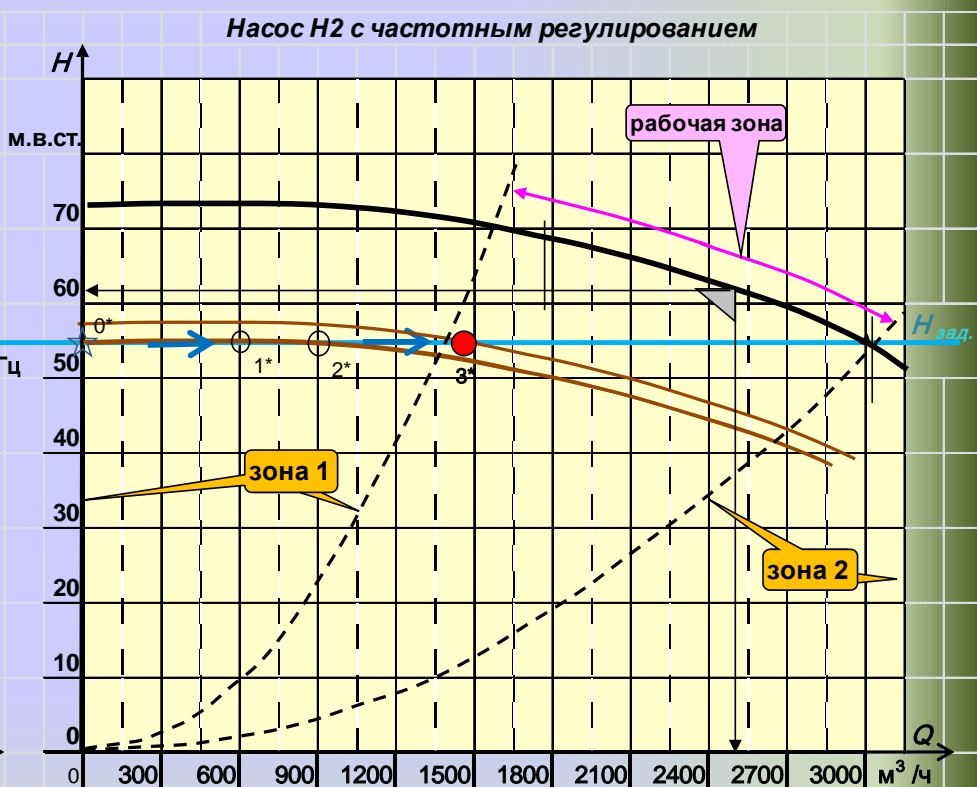
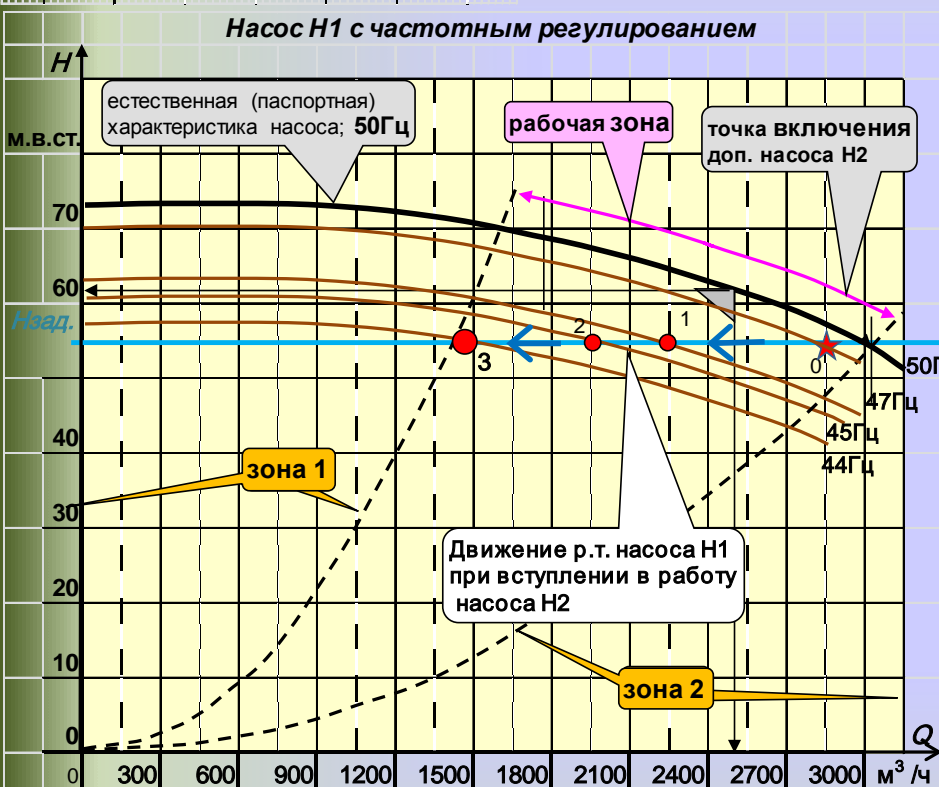
При параллельной синхронной работе насосов суммарная рабочая точка насосов будет перемещаться по прямой пропорционально изменению расхода (при этом рабочая точка каждого насоса будет равна половине суммарной производительности) – **«недогрузка» практически исключена.**

#### 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

- Устранение «недогрузки» насосов -



### ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ СИНХРОННАЯ РАБОТА ДВУХ НАСОСОВ (1 ОТ ПЧ+1 ОТ ПЧ).



Движение рабочих точек насосов Н1 и Н2 при увеличении производительности до 2850 м³/ч

*Таким образом,*

*распространенное мнение решения проблемы производительности насосной станции типа «требуется немножко больше, чем обеспечивает один насос» путем установки ЧРП на один насос в расчете, что им будет добавляться не хватаемая часть подачи, во многих случаях ошибочное.*

*Насос с частотным регулированием зачастую оказывается в недопустимой рабочей области, что ведет к выходу его из строя.*

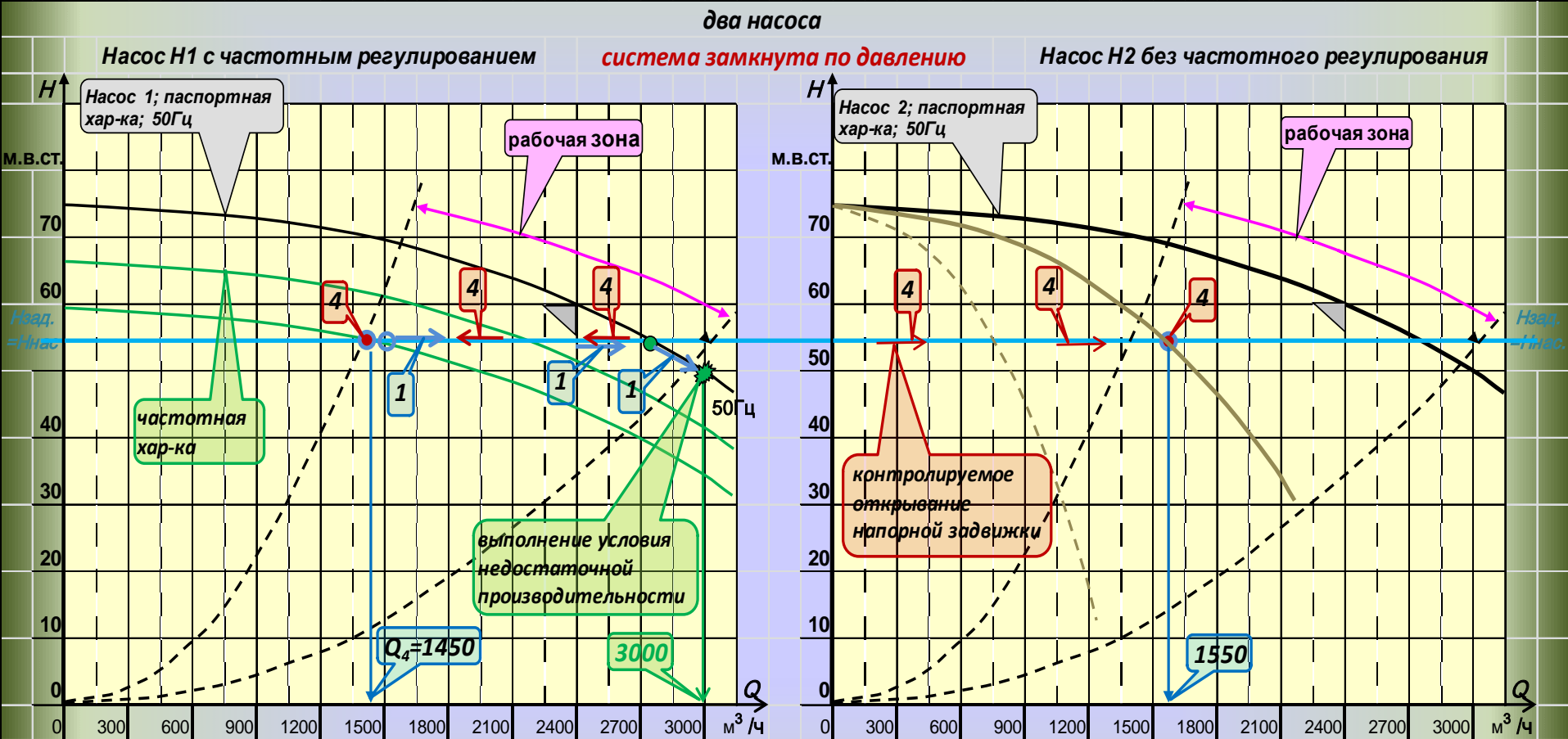
***Решение данной проблемы возможно путем использования специального алгоритма.***

### **Суть алгоритма:**

***При включении дополнительного насоса Н-2 (насос с питанием непосредственно от Сети) управляем напорной задвижкой насоса так, чтобы производительность насоса Н-1 (частотно регулируемый насос) стала равной производительности левой границе рабочей зоны при текущем напоре насоса (минимально допустимая производительность насоса).***

# 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

- Алгоритм управления -

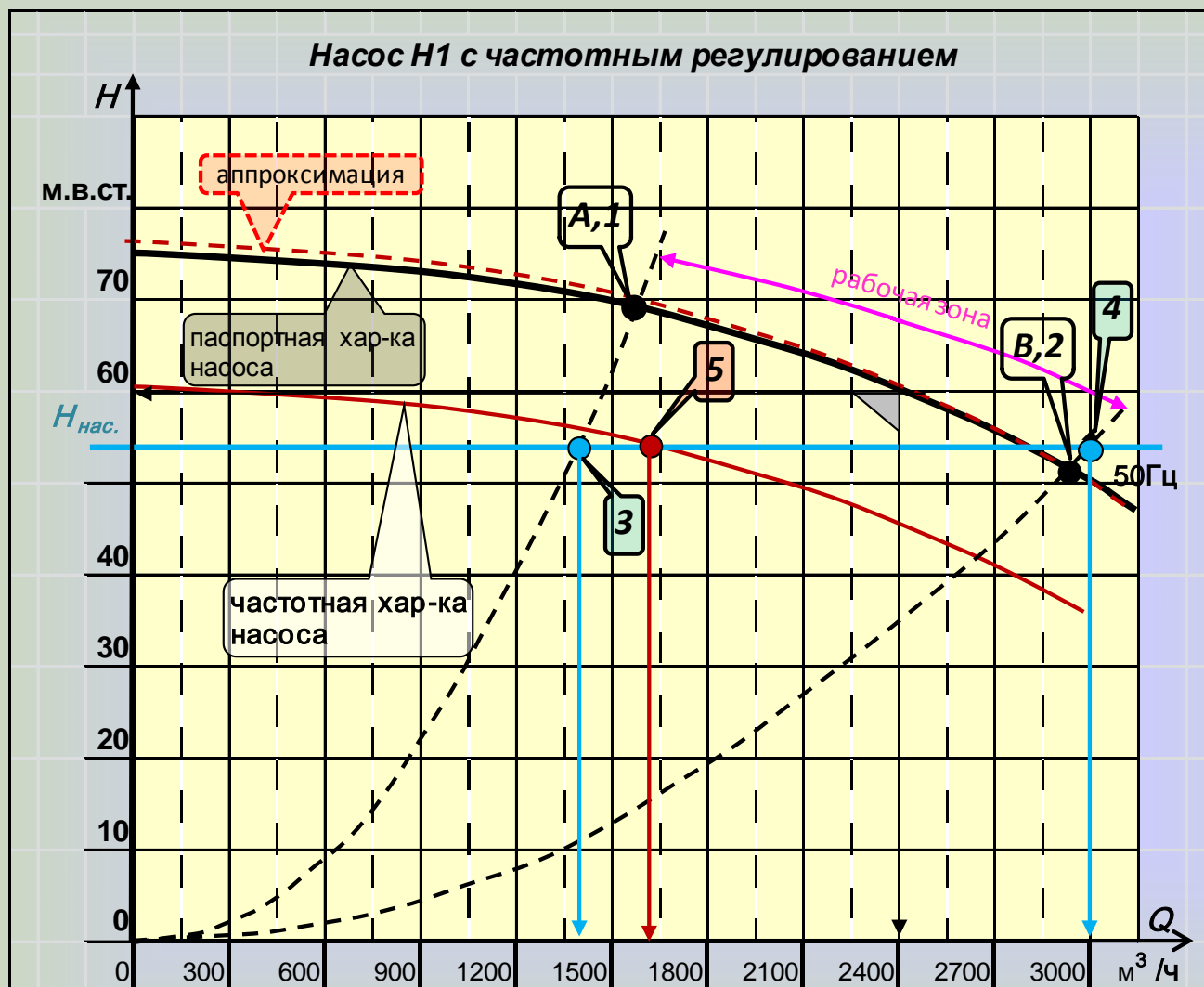


**Алгоритм включения насоса Н2 от Сети с контролируемым открыванием его напорной задвижки до положения рабочей точки Н1 на левой границы рабочей зоны (точка «4» на графиках).**

- **Для реализации данного алгоритма необходимо знать текущую производительность насоса №1 и производительность на левой границе рабочего диапазона при текущем напоре насоса (минимально допустимая производительность насоса).**
- Текущий напор насоса вычисляется как разность показаний датчиков давления на всасе насоса и его выходе (напоре).
- Производительность на левой границе рабочей зоны **вычисляется** по соответствующей параболе левой границы рабочего диапазона (исходная информация – из паспортных данных).
- Текущая производительность насоса с частотным регулированием **вычисляется** по напорной характеристике насоса и информации от преобразователя частоты.

#### 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

- Вычисление производительности-



**Вычисление  $Q_5$ , и сравнение его значения с вычисленными значениями  $Q_3$  и  $Q_4$ .**

**$A, B$  – паспортные границы рабочей зоны; 1, 2 – точки аппроксимации;  
3, 4 – границы рабочей зоны при  $H_{\text{нас.}}$  (вычисление);  
5 – текущее положение рабочей точки при  $H_{\text{нас.}}$  и  $n_{\text{нас.}}$  (вычисление)**

#### 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

- Вычисление производительности-

**Вычисление текущей и минимально допустимой производительностей насоса с частотным регулированием**

**1. Аппроксимация паспортной характеристики насоса в аналитическом виде:**

$$H = H_{\phi} \frac{n^2}{n_{\text{ном}}^2} - S_{\phi} Q^2, \text{ где } H_{\phi} = H_1 + S_{\phi} Q_1^2, \quad S_{\phi} = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2},$$

$H_1, Q_1, H_2, Q_2$  – параметры точек аппроксимации,  $n/n_{\text{ном}} = f/f_{\text{ном}}$ .

**2. Уравнения и коэффициенты парабол рабочей зоны:**

- левая парабола  $H = K_A * Q^2$ , где  $K_A = \frac{H_A}{Q_A^2}$
- правая парабола  $H = K_B * Q^2$ , где  $K_B = \frac{H_B}{Q_B^2}$

**3. Вычисление текущей и минимально допустимой производительностей насоса (из аппроксимирующего уравнения напорной характеристики и левой параболы рабочей зоны насоса №1):**

$$Q_5 = \sqrt{\frac{H_{\phi} \frac{n^2}{n_{\text{ном}}^2} - H_{\text{нас}}}{S_{\phi}}},$$

$$Q_3 = Q_A \sqrt{\frac{H_{\text{нас}}}{H_A}}$$

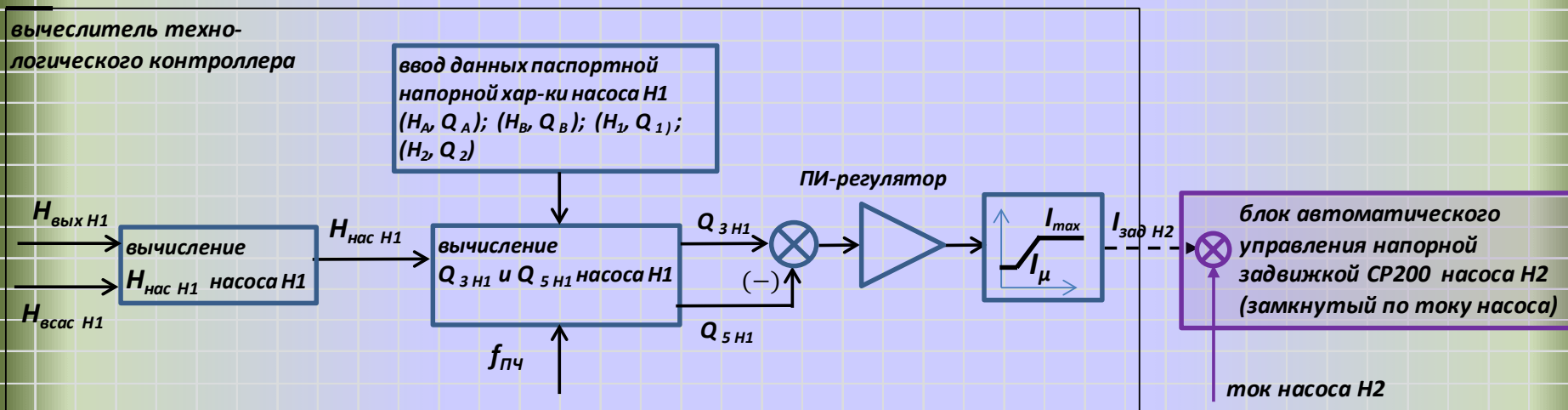
, где  $H_{\text{нас}} = H_{\text{вых нас}} - H_{\text{всас нас}}$ ;

$$n \equiv f_{\text{пч}}; \quad n \approx 120 f_{\text{пч}} / p \text{ (об/мин).}$$



## 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

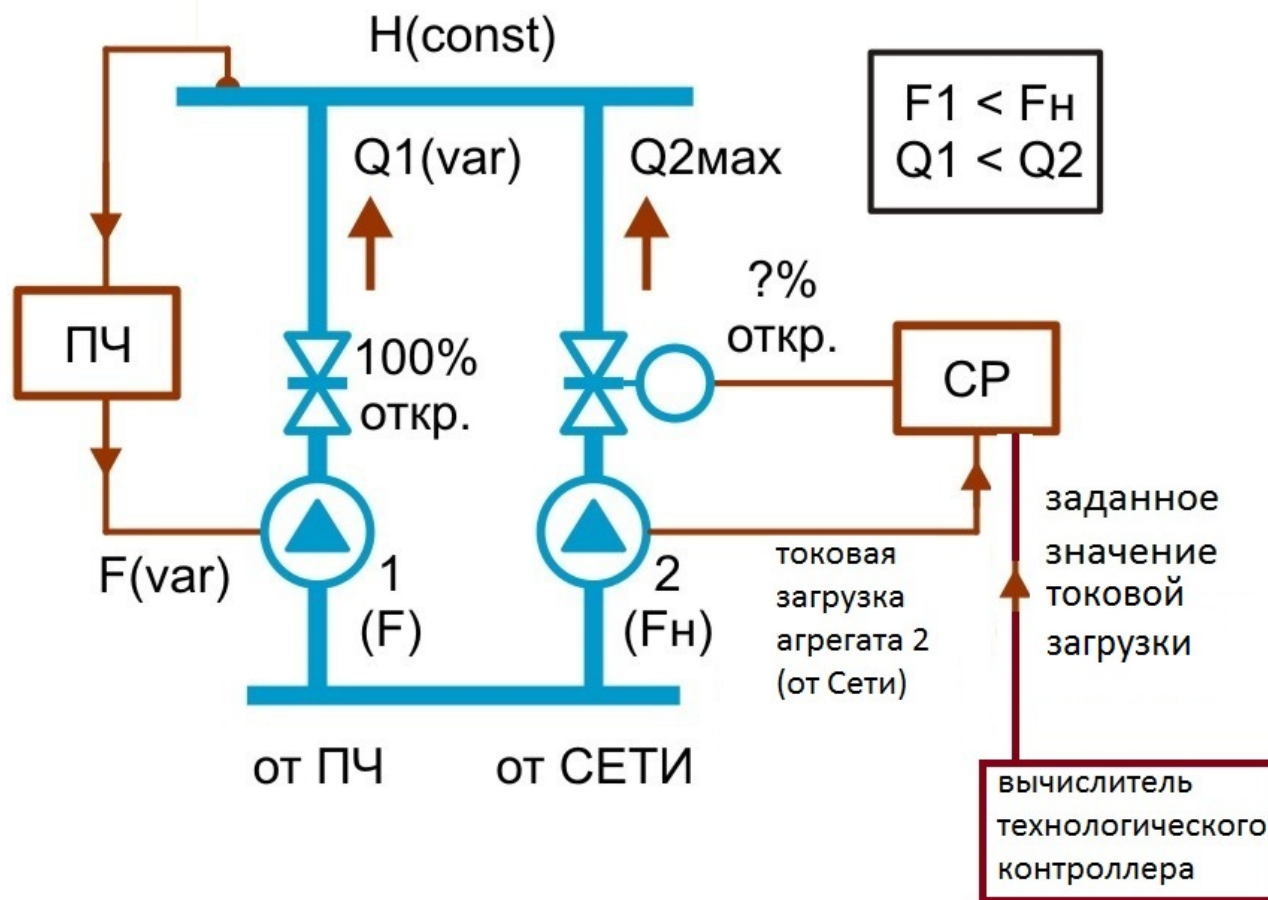
- Функциональная схема реализации алгоритма -



Функциональная схема регулирования рабочей точки насоса H1 с частотным регулированием путем управления напорной задвижкой насоса H2

#### 4. Проблема рабочей зоны насоса при частотном управлении.

- Схема силовых цепей реализации алгоритма -



*Схема регулирования рабочей точки насоса  $H1$  с частотным регулированием путем управления напорной задвижкой насоса  $H2$*

При регулировании должны быть приняты меры по обеспечению нахождения рабочей точки каждого насоса в его рабочей зоне.

1. Всем алгоритмам группового управления с одним ПЧ присущ общий недостаток – при включении дополнительного насоса, частотно-регулируемый насос оказывается вне рабочей зоны («недогрузка» ).

2. Предлагается модернизированный алгоритм - производить контролируемое дросселирование насоса без частотного регулирования путем контроля положения рабочей точки насоса с частотным регулированием на границе рабочей зоны.

3. Для реализации данного алгоритма предлагается использование специализированного технологического контроллера с достаточной вычислительной мощностью типа СТК500 и блоки серии СР200.