



ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ

СИБИРЬ-МЕХАТРОНИКА

Оценка эффективности частотного регулирования производительности насосных агрегатов ВНС и КНС

(Заместитель директора - руководитель "Центра инжиниринговых услуг", А.В. Попов)

1. Общие рассуждения об оценке эффективности ЧР.

2. ВНС. В работе один насос.

3. ВНС. В работе два насоса (один с ЧР, второй – без ЧР).

4. КНС_{др}. В работе один насос.

5. КНС_{др}. В работе два насоса (один с ЧР, второй – без ЧР).

6. КНС_{сс}. В работе один насос.

7. КНС_{сс}. В работе два насоса (один с ЧР, второй – без ЧР).

Одной из последних серьезных работ является методика Б.С. Лезнова:
«Методика оценки эффективности применения регулируемого электропривода в водопроводных и канализационных насосных установках».

ОДНАКО,

1. Она требует упорядоченной диаграммы подачи воды. Получить данные для ее построения от эксплуатирующего персонала затруднительно.
2. Методика основана на постоянстве КПД насоса, равном номинальному значению, что на практике далеко не всегда реально.
3. В методике предполагается, что номинальная подача насоса соответствует наибольшей подаче в данной установке, т. е. насосы выбраны правильно и их характеристики соответствуют режиму работы системы подачи воды.

Кроме того, расчетные выражения получаются довольно громоздкие и расчет сделан для теоретически возможной экономии.

На практике это не всегда так и от эксплуатирующего персонала получить требуемые данные затруднительно.

Настоящая оценка основана на многолетнем опыте получения исходной информации о работе оборудования от эксплуатирующего персонала (заполнения опросных листов) и предполагает реальную картину (с учетом существующего оборудования и работы насосной либо по постоянному давлению – для ВНС, либо по постоянному уровню – для КНС).

Предполагается:

- 1. Для ВНС – система замкнута по давлению.
Поддерживается постоянное заданное давление.***
- 2. Для КНС – система замкнута по уровню в приемном резервуаре.
Поддерживается постоянный заданный уровень.***

Из опыта эксплуатации существующей системы выделяется несколько, относительно стабильных расчетных режимов работы (2...4 режима работы). Критерием режимов работы является: постоянное число насосов, находящихся в работе и относительная стабильность режима (по напору и производительности). Обычно это режимы по времени года (зима/осень/весна/лето) и по времени суток (день/ночь).

Для определенности, рассмотрим методику оценки для следующих конкретных случаев:

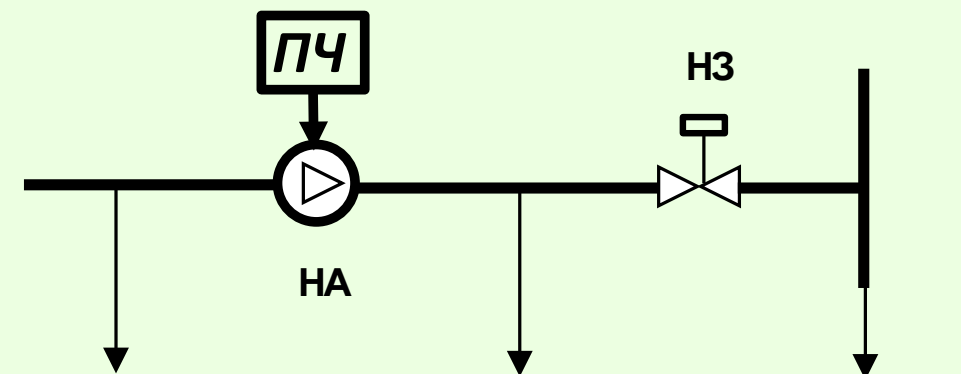
- 1. Режим №1, количество насосов, находящихся в работе – один.**
- 2. Режим №2, количество насосов, находящихся в работе – два.**
Частотное регулирование осуществляется одним насосом, второй насос без ЧР (регулирование дросселированием).

Рассмотрение проведем для абстрактной ВНС 2-го подъема:

Режимы работы ВНС (в отнесенных единицах к номинальным параметрам насоса)

№ режима ВНС	количество насосов, находящихся в работе	продолжительность режима в году, час	производительность станции, $Q_{НС}^*/Q_{нас ном}$	напор на напорном коллекторе, $H_{кол}^*/H_{нас ном}$	напор на всесе, $H_{вх}^*/H_{нас ном}$
№1	один насос, №1	8760 (круглый год)	0,7	0,85	0,05
№2	два насоса, №1, №2	8760 (круглый год)	1,4	0,85	0,05

Усредненные значения параметров рассматриваемых режимов ВНС.



	$H^*_{вх}$ *	$\Delta H^*_{нас}$	$H^*_{нас}$	$\Delta H^*_{НЗ}$	$H^*_{КОЛ}$	Q^* *
Регулирование дросселированием	0,05	1,1	1,15	0,3	0,85	0,7
Частотное регулирование	0,05	0,8	0,85	0	0,85	0,7

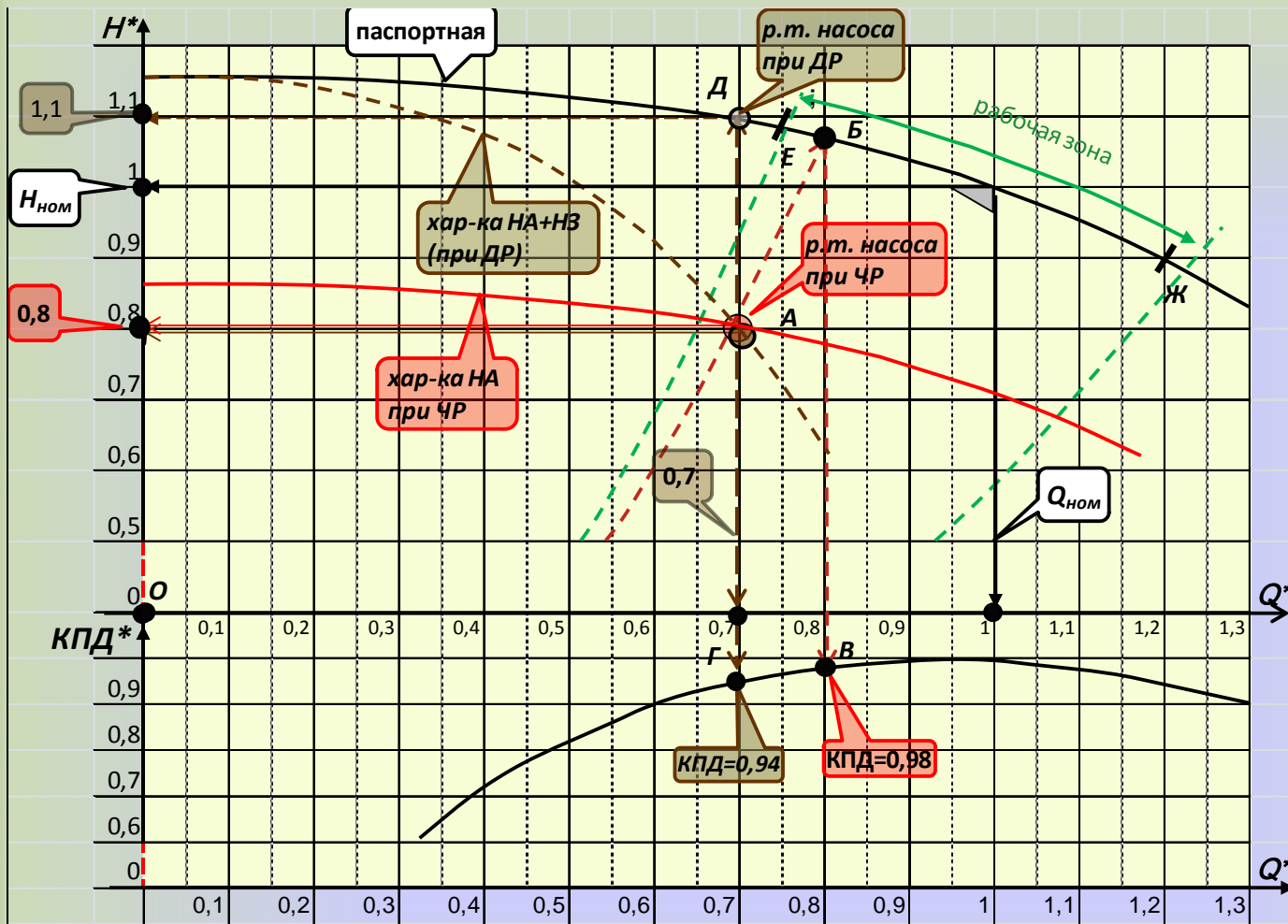
$H_{вх}$ - напор на всасе; $\Delta H_{нас}$ - напор, создаваемый насосом; $H_{нас}$ - напор на выходе насоса;
* - заданные значения (остальные - расчетные)

Упрощенная расчетная технологическая схема режима ВНС №1 (в работе 1 НА).

Наиболее трудоемким является вычисление для каждого режима потребляемой мощности из сети всеми насосами, находящимися в работе, при существующей схеме регулирования ($N_{СЕТЬ_СУЩ.i}$) и при частотном регулировании ($N_{СЕТЬ_ЧРi}$).

$$N_{СЕТЬ} = \frac{H_{НА} \cdot Q_{НА}}{367 \cdot \eta_{НА} \cdot k \cdot \eta_{ДВ} \cdot \eta_{ПЧ}}.$$

Здесь: H – в м.в.ст.; Q – в м³/час; $N_{сеть}$ – в кВт.



Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме ВНС №1 (в работе 1 НА) при дросселировании и ЧР.

Характеристики сжаты по оси ординат.

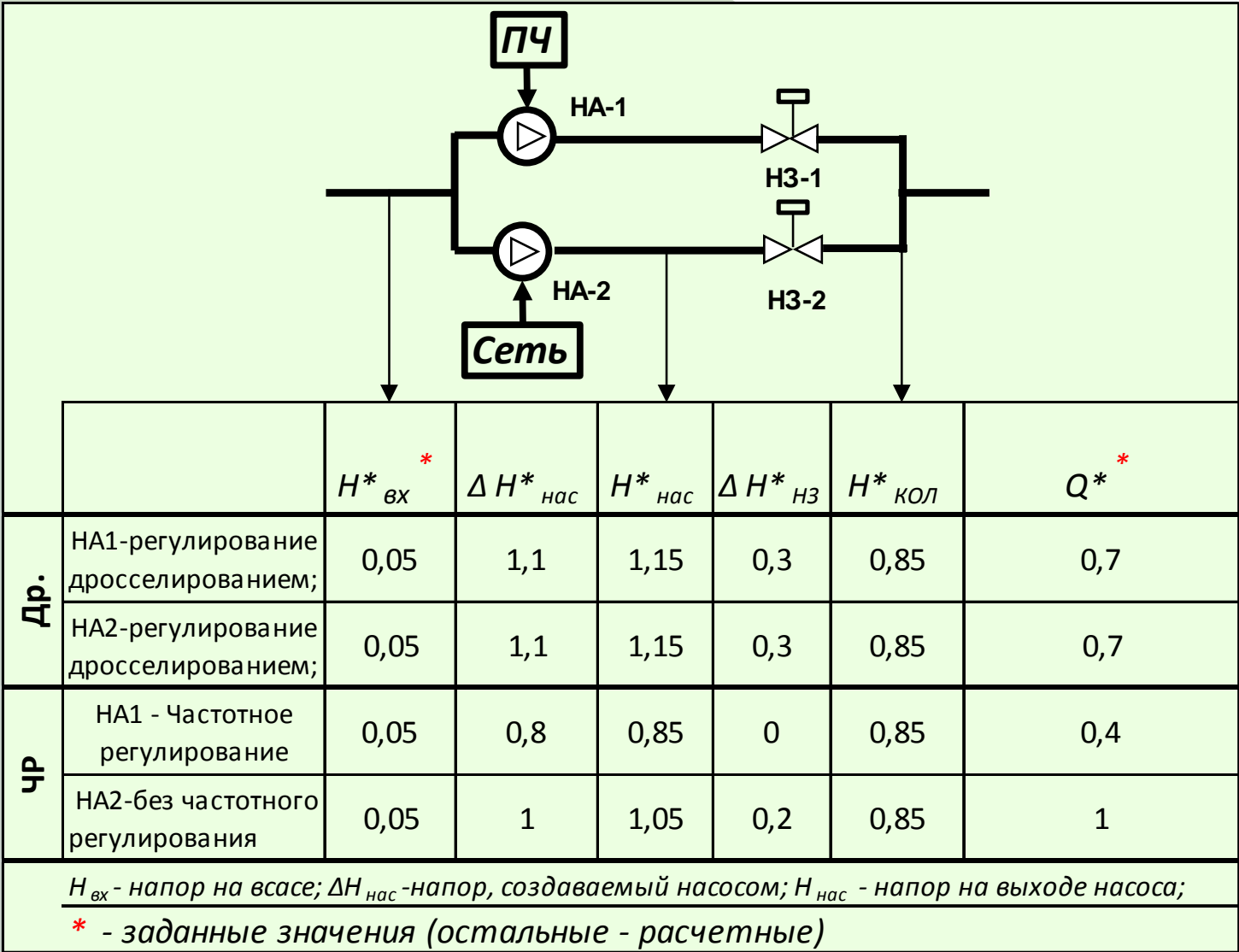
$N_{\text{СЕТЬ_СУЩ}} = 0,82$

$N_{\text{СЕТЬ_ЧР}} = 0,57$

экономия электроэнергии составляет 30%

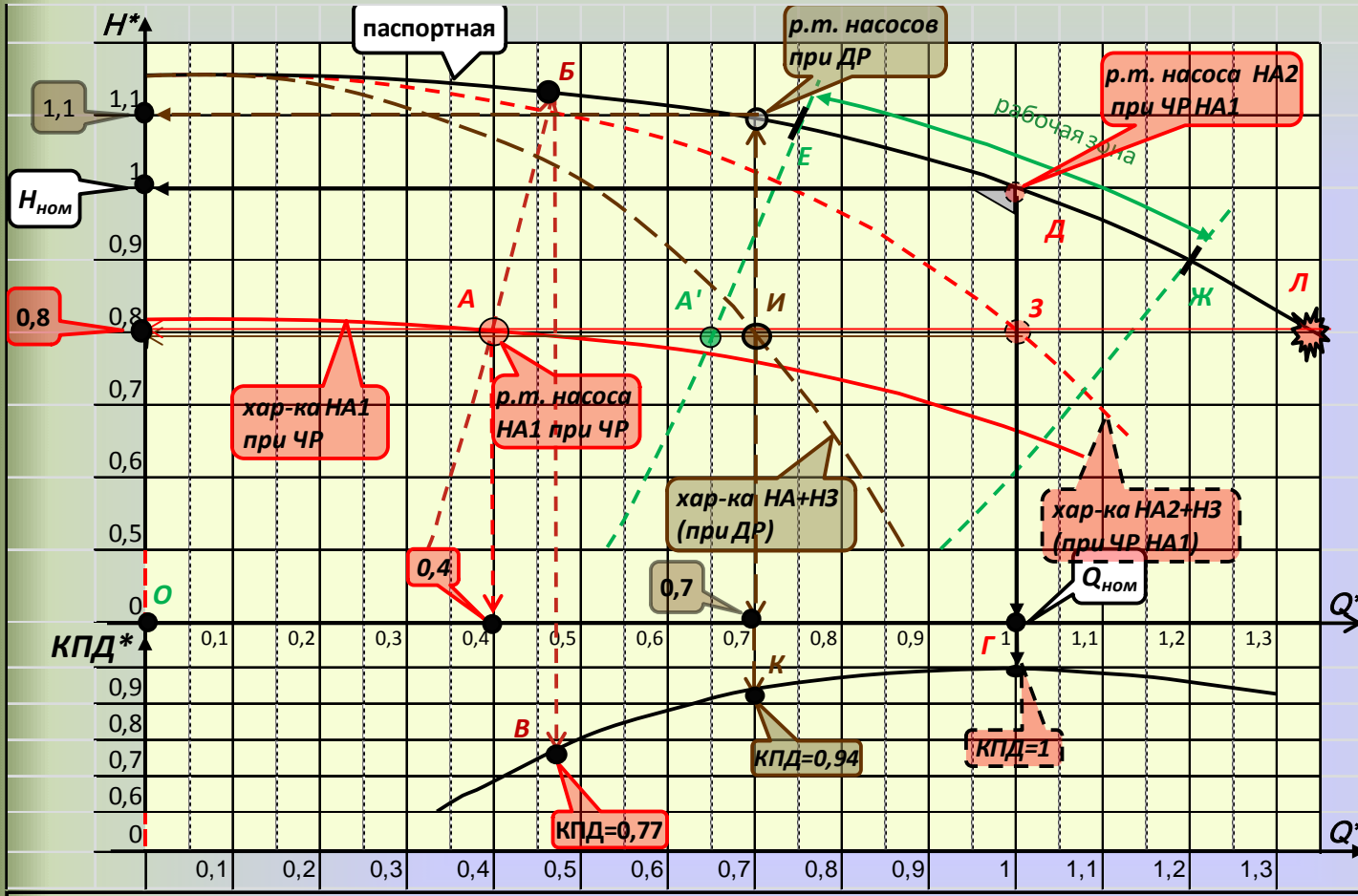
параметры рабочей точки насоса (режим 1: $Q=0,7$; $H_{\text{кол}}=0,85$)

параметр	Q^*	$H^*_{\text{нас}}$	КПД
существующий режим с дросселированием	0,7	1,1	0,94
режим с ЧР	0,7	0,8	0,98



Упрощенная расчетная технологическая схема режима ВНС №2 (в работе 2 НА, HA1 - с ЧР, HA2 - без ЧР).

3. ВНС. В работе два насоса (один с ЧР, второй – без ЧР).



Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме ВНС №2 с дросселированием и частотном регулировании (в работе 2 НА, НА1 - с ЧР, НА2 - без ЧР).
 Характеристики сжаты по оси ординат.

$N_{\text{СЕТЬ_СУЩ}}=1,64$

$N_{\text{СЕТЬ_ЧР}}=1,42$

ЭКОНОМИЯ
электроэнергии
составляет 13%

параметры рабочей точки ЧР насоса (режим 2: $Q=1,4$; $H_{\text{кол}}=0,85$)

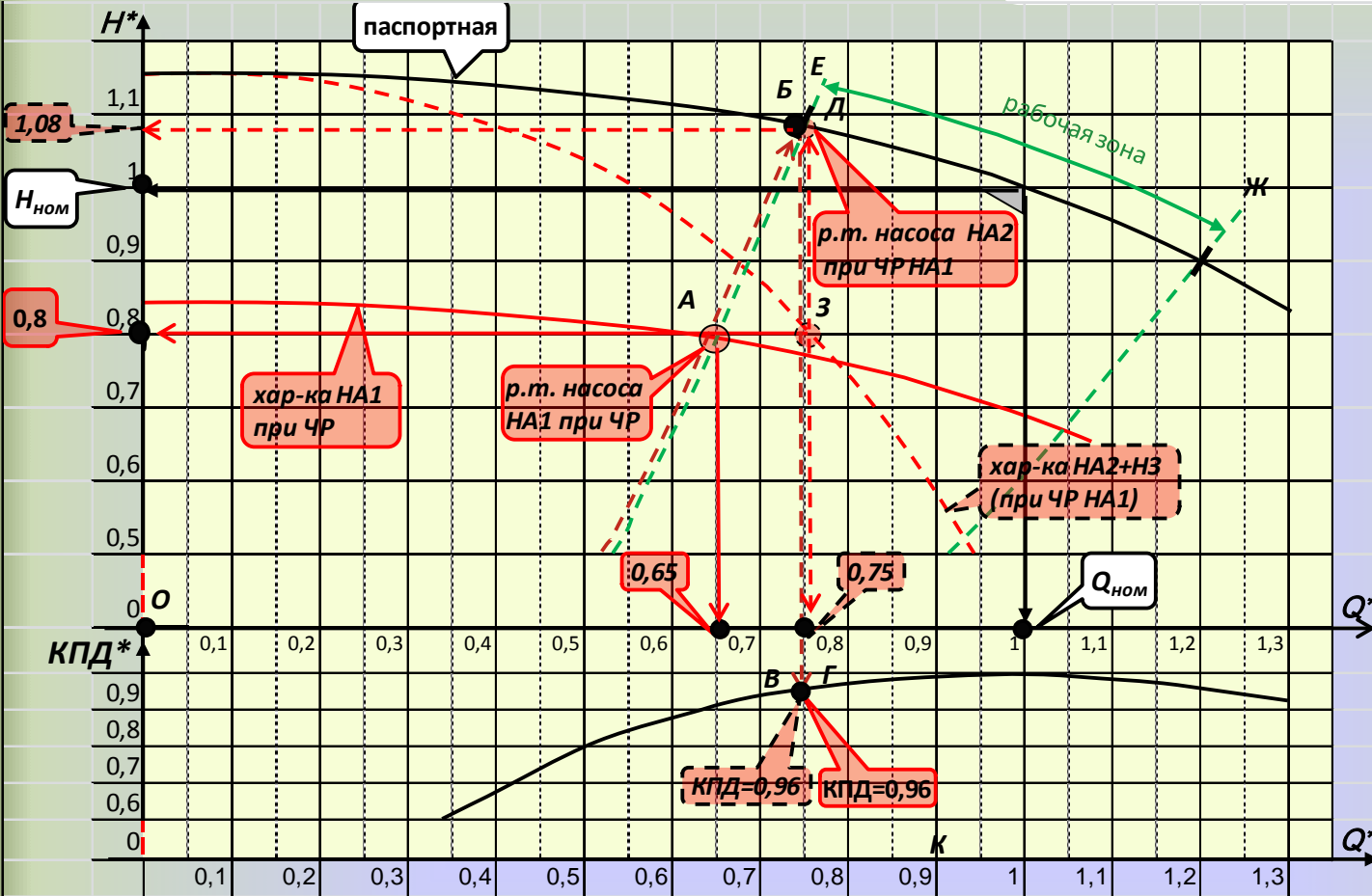
параметр		Q^*	$H^*_{\text{нас}}$	КПД
ДР	НА1 и НА2 - существующий режим с дросселированием	$1,4/2=0,7$	1,1	0,94
	НА1 с частотным регулированием	$1,4-1=0,4$	0,8	0,77
ЧР	НА2 дросселирование с помощью СР200	1	1	1

Следует отметить, что рабочая точка насоса НА1 выходит за пределы рабочей зоны насоса (точка «А» , слайд 9). Такая ситуация встречается довольно часто на практике, когда от насосной станции требуется расход несколько больше, чем производительность одного насоса, и в этом случае устанавливается частотное регулирование на один из насосов. Данная ситуация описана в работе [Усачев А.П. Управление параллельной работой центробежных насосов. // ВСТ. 2018. №2.]. Для ее устранения в работе предлагается специальный алгоритм, суть которого заключается в следующем: «Задвижку насоса НА2 приоткрывают на величину, при которой рабочая точка насоса с частотным регулированием (насоса НА1) будет находиться в районе левой границы рабочей области (в точке «А'», слайд 9)».

Координаты рабочих точек такого алгоритма приведены на слайде 11.

P.S. Если оба насоса с ЧР, то $N_{\text{СЕТЬ_СУЩ}}=1,64$; $N_{\text{СЕТЬ_ЧР}}=1,14$ и экономия электроэнергии составит 30%.

3. ВНС. В работе два насоса (один с ЧР, второй – без ЧР).



Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме ВНС №2' при частотном регулировании *и с контролируемым управлением НЗ насоса №2* (в работе 2 НА, НА1 - с ЧР, НА2 - без ЧР). *Характеристики сжаты по оси ординат.*

$N_{\text{СЕТЬ_СУЩ}} = 1,64$

$N_{\text{СЕТЬ_ЧР}} = 1,38$

экономия электроэнергии составляет 16%

параметры рабочей точки насоса (режим 2': $Q=1,4$; $H_{\text{кол}}=0,85$)

параметр		Q^*	$H^*_{\text{нас}}$	КПД
ДР	НА1 и НА2 - существующий режим с дросселированием	$1,4/2=0,7$	1,1	0,94
	НА1 с частотным регулированием	0,65	0,8	0,96
ЧР	НА2 дросселирование с помощью СР200	$1,4-0,65=0,75$	1,08	0,96

Для определенности, рассмотрим методику оценки для следующих конкретных случаев:

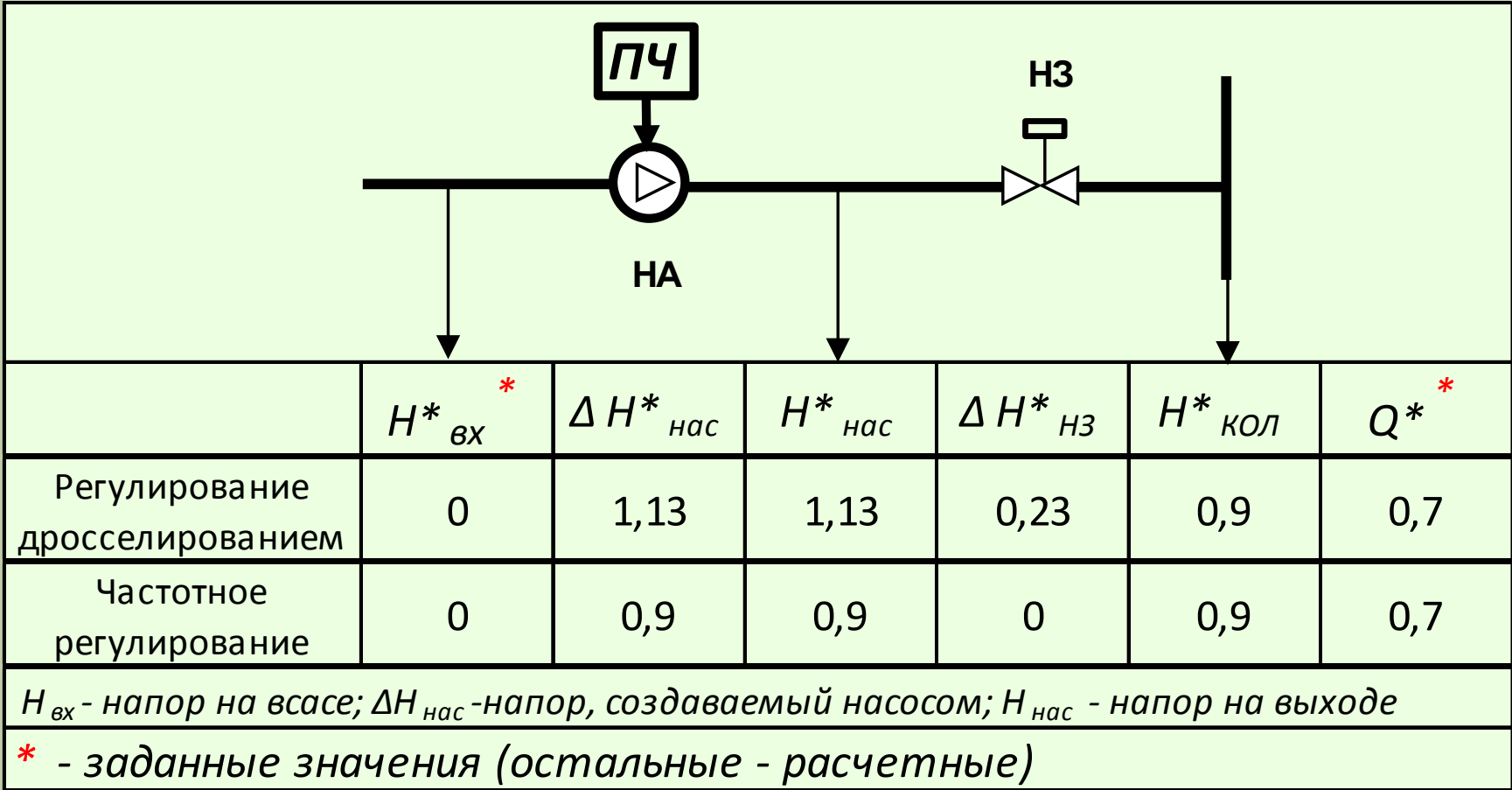
- 1. Режим №1, количество насосов, находящихся в работе – один.
 - 2. Режим №2, количество насосов, находящихся в работе – два.
- Частотное регулирование осуществляется одним насосом, второй насос без ЧР (регулирование дросселированием).

Рассмотрение проведем для абстрактной КНС:

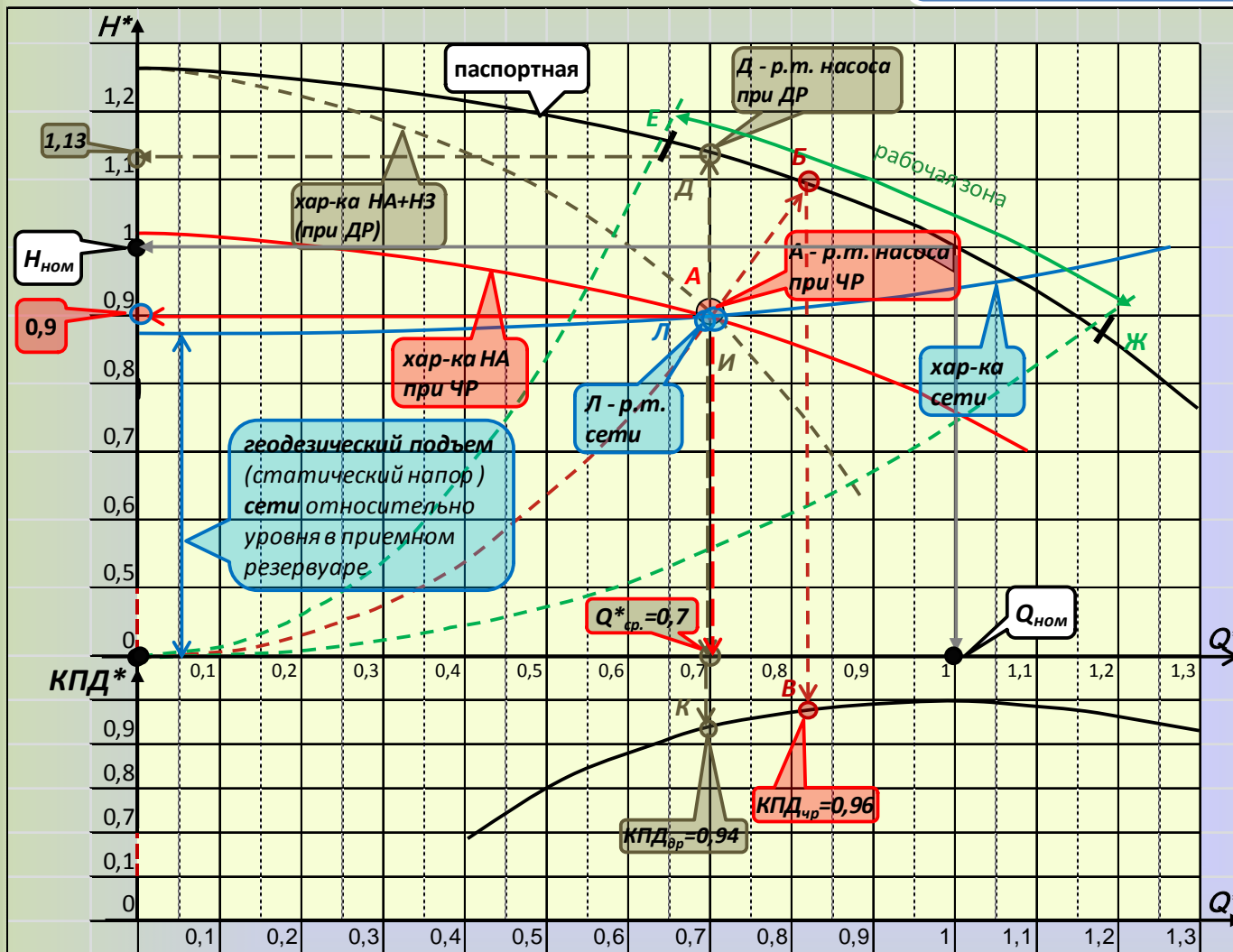
Режимы работы КНС (в от носит ельных еденицах к номинальным парамет рам насоса)					
№ режима	количество насосов, находящихся в работе	продолжитель ность режима в году, час	производительность станции, $Q^*_{ср.нс} = Q_{ср.нс} / Q_{нас ном}$	сеть	
				статический напор (относительно уровня в приемном резервуаре), $H^*_{стат} = H_{стат} / H_{нас ном}$	потери напора в трубопроводе (при $Q^*_{ср.нс}$), $H^*_{дин} = H_{дин} / H_{нас ном}$
№1	один насос, №1	8760 (круглый год)	0,7	0,87	0,03
№2	два насоса, №1, №2	8760 (круглый год)	1,4	0,87	0,16

Усредненные значения параметров рассматриваемых режимов КНС.

Рассмотрение проведем для систем с дросселированием (др) и для систем, работающих в «старт-стопном» режиме (сс).



Упрощенная расчетная технологическая схема режима КНС_{др} №1 (в работе 1 НА).



Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме КНС_{др} №1 (в работе 1 НА) при дросселировании и частотном регулировании. Обратите внимание, что характеристики сжаты по оси ординат.

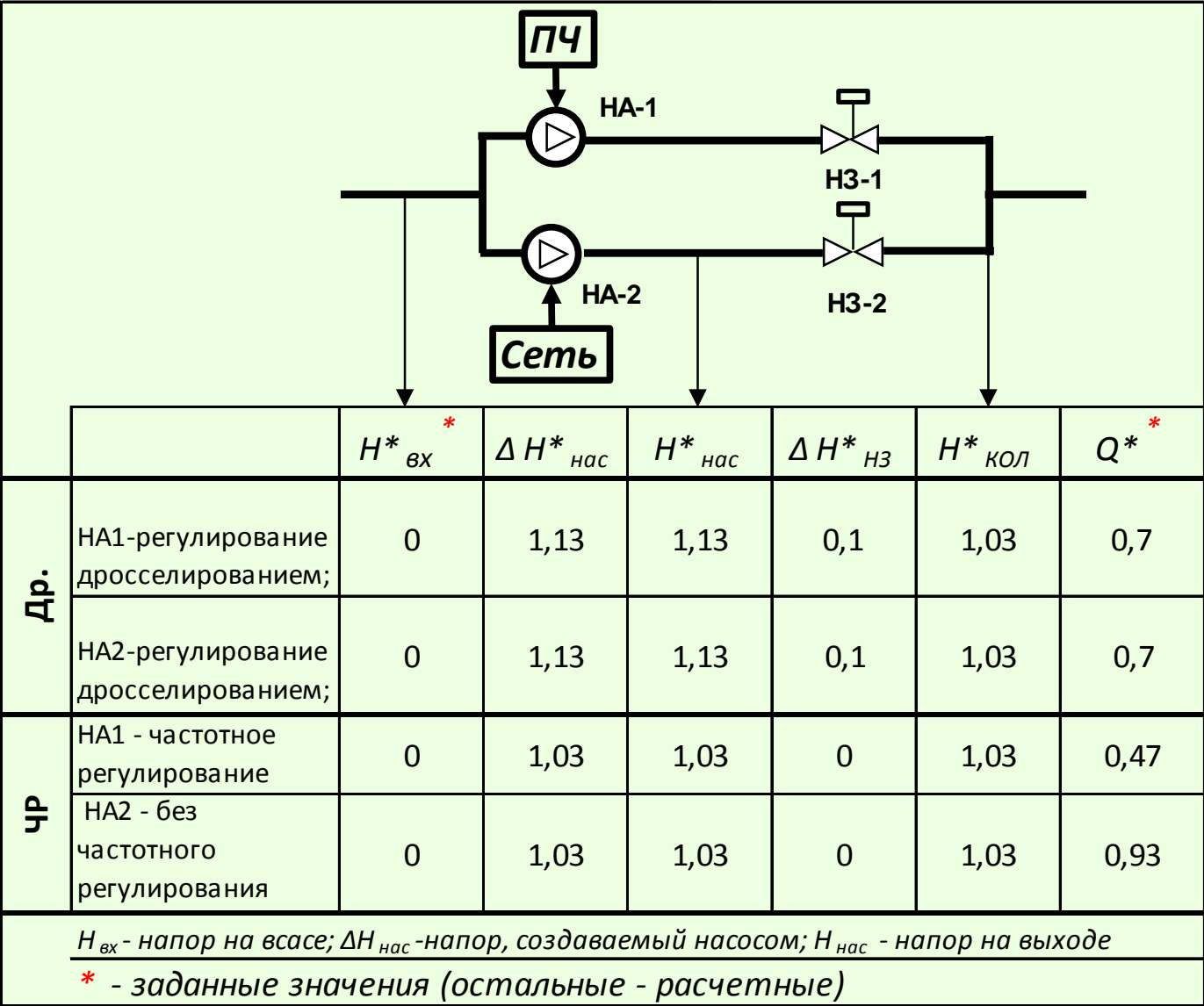
$$N_{\text{СЕТЬ_СУЩ}} = 0,84$$

$$N_{\text{СЕТЬ_ЧР}} = 0,656$$

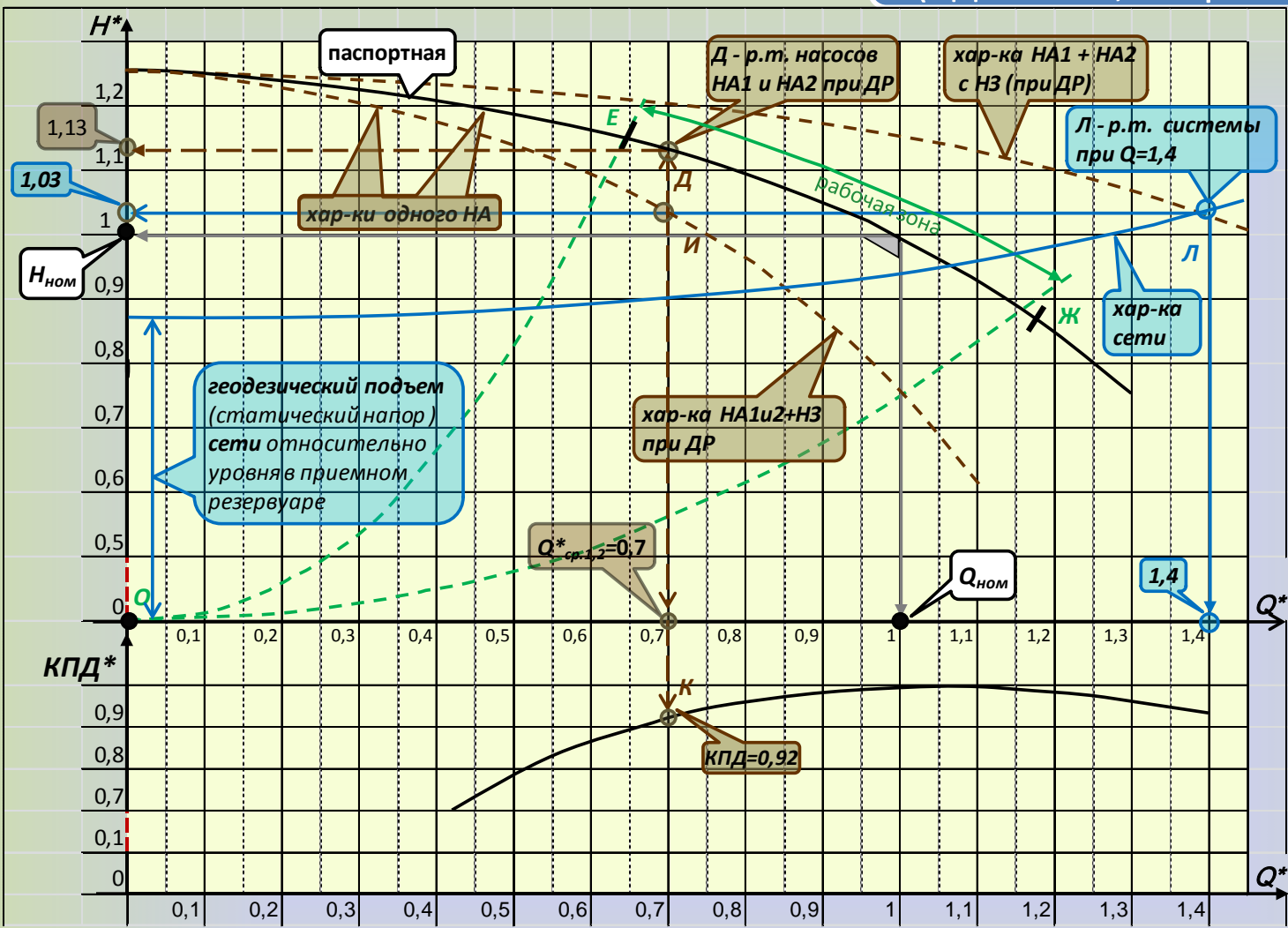
**ЭКОНОМИЯ
электроэнергии
составляет 22%**

параметры рабочей точки насоса (режим 1: $Q_{ср}^* = 0,7$)

параметр	Q^*	$H^*_{нас}$	КПД
существующий режим с дросселированием	0,7	1,13	0,94
режим с ЧР	0,7	0,9	0,96



Упрощенная расчетная технологическая схема режима КНС_{др.} №2 (в работе 2 НА, HA1 - с ЧР, HA2 - без ЧР; напорные задвижки полностью открыты).



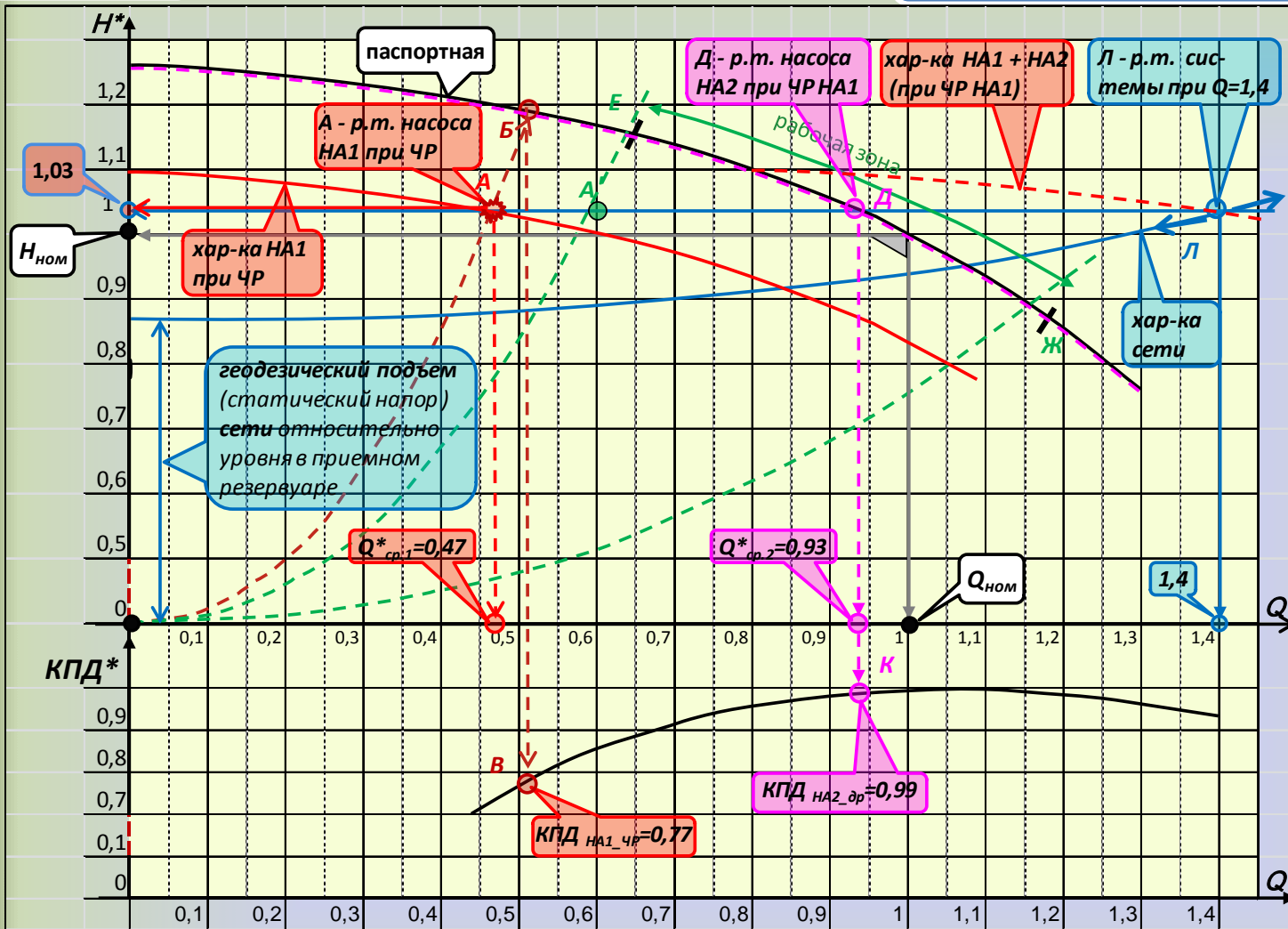
Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме КНС_{др} №2 при существующем режиме дросселированием (в работе 2 НА, оба выравнены).

Обратите внимание, что характеристики сжаты по оси ординат.

$N_{\text{СЕТЬ_СУЩ}} = 1,72$

параметры рабочей точки насоса (режим 2: $Q_{\text{ср}}^* = 1,4$)

параметр		Q^*	$H^*_{\text{нас}}$	КПД
ДР	НА1 и НА2 - существующий режим с дросселированием	$1,4/2=0,7$	1,13	0,92



Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме КНС_{др} №2 при частотном регулировании НА1 (в работе 2 НА, НА1 - с ЧР, НА2 - без ЧР; напорные задвижки полностью открыты).

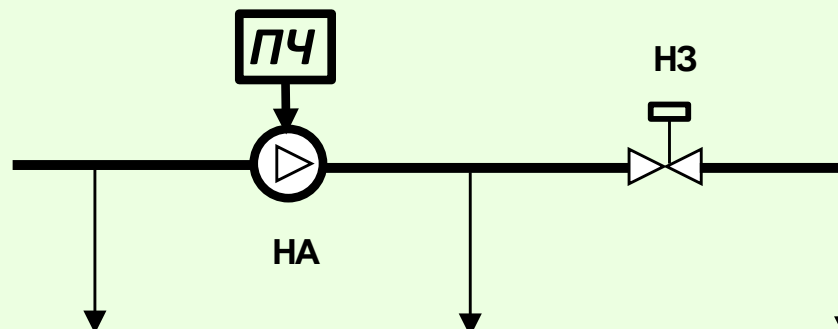
Обратите внимание, что характеристики сжаты по оси ординат.

параметры рабочей точки насоса (режим 2: $Q_{ср}^* = 1,4$)

параметр		Q^*	$H^*_{нас}$	КПД
ЧР	НА1 с частотным регулированием	$1,4 - 0,93 = 0,47$	1,03	0,77
	НА2 - от Сети (НЗ - открыта)	0,93	1,03	0,99

$N_{СЕТЬ_ЧР} = 1,597$

экономия электроэнергии составляет 7%

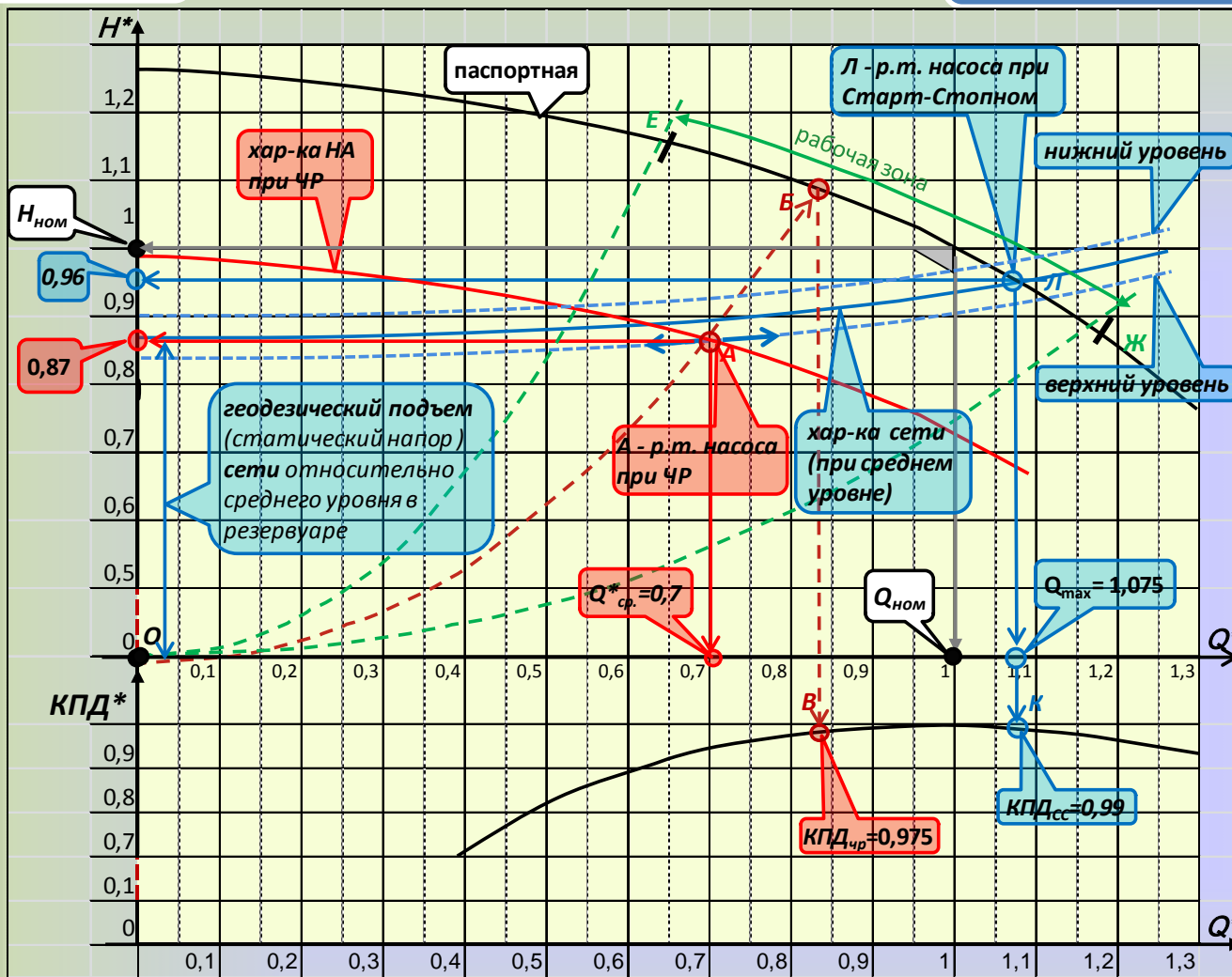


	$H^*_{вх}$ *	$\Delta H^*_{нас}$	$H^*_{нас}$	$\Delta H^*_{НЗ}$	$H^*_{КОЛ}$	$Q_{срeдн}^* / Q_{max}^{*1)}$
Существующее регулирование (старт-стопный режим)	0	0,96	0,96	0	0,96	0,7/1,075
Частотное регулирование	0	0,87	0,87	0	0,87	0,7

$H_{вх}$ - напор на всасе; $\Delta H_{нас}$ - напор, создаваемый насосом; $H_{нас}$ - напор на выходе насоса; $\Delta H_{НЗ}$ -

* - заданные значения (остальные - расчетные)

Упрощенная расчетная технологическая схема режима КНС_{СС} №1 (в работе 1 НА).



Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме КНС_{СС} №1 (в работе 1 НА) при старт-стопном режиме и частотном регулировании.

Обратите внимание, что характеристики сжаты по оси ординат.

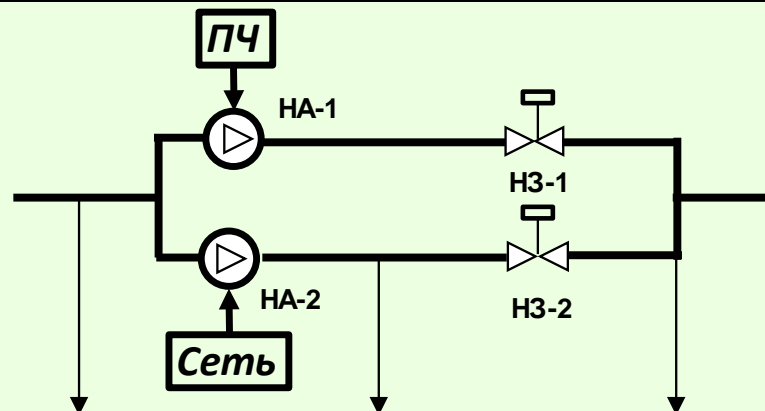
$$N_{\text{СЕТЬ_СУЩ}} = 0,675$$

$$N_{\text{СЕТЬ_ЧР}} = 0,625$$

экономия электроэнергии составляет 8%

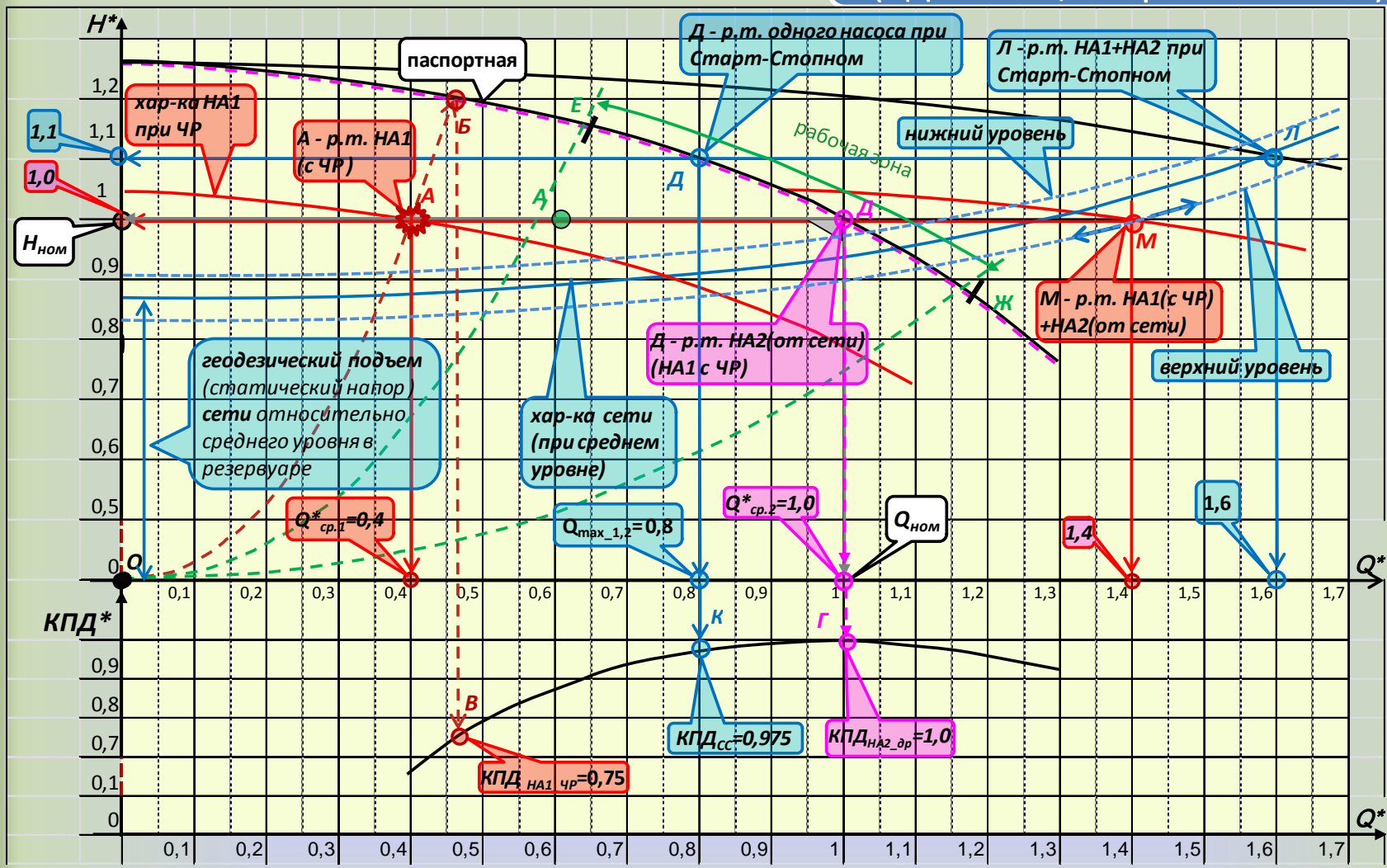
параметры рабочей точки насоса (режим 1: $Q_{ср}^* = 0,7$)

параметр	Q^*	$H^*_{\text{нас}}$	КПД
существующий Старт-стопный режим	1,075	0,96	0,99
режим с частотным регулированием	0,7	0,87	0,975



		$H_{вх}^*$	$\Delta H_{нас}^*$	$H_{нас}^*$	ΔH_{H3}^*	$H_{кол}^*$	$Q_{срeдн}^*/Q_{max}^{*1)}$
С-С:	HA1 - Существующее регулирование (старт-стопный режим)	0	1,1	1,1	0,1	1,1	0,7/0,8
	HA2 - Существующее регулирование (старт-стопный режим)	0	1,1	1,1	0,1	1,1	0,7/0,8
ЧР	HA1 - Частотное регулирование	0	1	1	0	1	0,47
	HA2 - без частотного регулирования	0	1	1	0	1	0,93
$H_{вх}$ - напор на всасе; $\Delta H_{нас}$ - напор, создаваемый насосом; $H_{нас}$ - напор на выходе насоса; ΔH_{H3} -							
* - заданные значения (остальные - расчетные)							

Упрощенная расчетная технологическая схема режима КНС_{СС} №2 (в работе 2 НА, HA1 - с ЧР, HA2 - без ЧР).



Рабочие точки насоса на напорной характеристике в режиме КНС_{СС} №2 при существующем старт-стопном режиме и частотном регулировании (в работе 2 НА, НА1 - с ЧР, НА2 - без ЧР).

Обратите внимание, что характеристики сжаты по оси ординат.

К слайду 21

параметры рабочей точки насоса (режим 2: $Q_{cp}^*=1,4$)				
параметр		Q^*	$H^*_{нас}$	КПД
С-С	НА1 и НА2 - существующий Старт-стопный режим	$1,6/2=0,8$	1,1	0,975
ЧР	НА1 с ЧР	$1,4-1,0=0,4$	1	0,75
	НА2 без ЧР (НЗ - открыта)	1	1	1

$N_{СЕТЬ_СУЩ}=1,579$

$N_{СЕТЬ_ЧР}=1,533$

экономия электроэнергии составляет 2,9%

1. Предлагаемая оценка эффективности частотного регулирования на ВНС и КНС проверена многолетним опытом ее использования и является именно оценочной.
2. Методика наглядна и вполне применима на практике.
3. Получение исходной информации от эксплуатирующего персонала не вызывает затруднений.

Следует отметить, что экономия электроэнергии на КНС существенно ниже, чем на ВНС. Это относится, прежде всего, к системам со старт-стопным режимом.



ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ

СИБИРЬ-МЕХАТРОНИКА

Оценка эффективности частотного регулирования производительности насосных агрегатов ВНС и КНС

(Заместитель директора - руководитель "Центра инжиниринговых услуг", А.В. Попов)

Спасибо за внимание,

<http://sibmech.ru/>
Новосибирск