

## ВЫБОР РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРЕМЕНЧУГСКОЙ ТЭЦ ПОСЛЕ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ 4-ГО БЛОКА

*Н.В. Еськов, А.К. Новиков*, инженеры, *В.П. Кравченко*, канд. техн. наук, *С.К. Сосновский*, инж.

Кременчугская ТЭЦ — Научно-производственная фирма «Пластэнерго»

Кременчугская ТЭЦ (КТЭЦ), спроектированная в 60-е годы, включает 4 энергоблока (1-й и 2-й блоки — турбины ПТ-50-130/16, 3-й блок — Р-50-130, 4-й блок — Т-100/120-130) и предназначалась для обеспечения технологическим паром нефтеперерабатывающего завода и отопления левобережной части г. Кременчуга. Прошедшие изменения в потреблении пара привели к проблеме работы КТЭЦ с тепловыми нагрузками, значительно меньшими проектными. Установленное основное оборудование не соответствует реальным объемам заказываемой потребителям тепловой энергии. В частности: турбоагрегат №3 оказался невостребованным из-за отсутствия потребителя пара с выхлопа турбины.

В связи с создавшимся положением было предложено модернизировать оборудование с целью увеличения производства электрической энергии. Так, на 3-м блоке может быть установлен дополнительный цилиндр низкого давления с конденсатором и регулируемым отбором с параметрами, соответствующими выходу из турбины Р-50-130. Следующим весьма перспективным является работа турбины 4-го блока Т-100/120-130 с минимальными теплофикационными отборами. Однако в этом случае возникают сложности с системой технического водоснабжения. Так, в соответствии с проектом, 4-й блок укомплектован конденсатором с номинальным расходом охлаждающей воды  $16000 \text{ м}^3/\text{ч}$  и тремя циркуляционными насосами суммарной производительностью  $Q=4000 \times 3=12000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Это означает, что конденсация дополнительного пропуска пара в конденсатор в летний период времени при отсутствии теплофикационной нагрузки не обеспечивается. Таким образом, в летний период КТЭЦ вынуждена работать с недогруженной турбиной 4-го блока — самой мощной турбиной электростанции, и несет экономические потери.

Для обеспечения конденсации дополнительного количества пара на 4-м блоке было предложено установить 4-й циркуляционный насос. Однако это решение должно быть обосновано соответствующими гидравлическими расчетами, подтверждающими надежность работы насосных установок. Это обеспечивается выбором режимов работы, при которых параметры насоса находятся в рабочей области характеристики. Определение таких оптимальных (допустимых с точки зрения надежности работы насосной установки) режимов и является целью настоящей статьи.

Принципиальная схема технического водоснабжения КТЭЦ приведена на рис. 1 и 2, которые дополняют друг друга. Подаваемая в конденсаторы 1-го, 2-го и 4-го блоков и на охлаждение вспомогательного оборудования всех четырех блоков циркуляционная вода нагревается и по двум магистральным трубопроводам Ду1200

мм поступает в две башенные (№1 и №2, площадью 1280 м<sup>2</sup> каждая) и четырехсекционную вентиляторную (№3, площадью 4x192 м<sup>2</sup>) градирни. Вентиляторная градирня в 1993 г. была реконструирована: изношенные элементы оросителя и водоуловителя были заменены на решетчатые элементы из полиэтилена низкого давления в соответствии с ТУ 38 Украины 00204458-002-92. При этом степень охлаждения увеличилась с  $\Delta t = t_1 - t_2 = 6 - 7$  °С до 11 °С. Следует также отметить, что после 10 лет эксплуатации решетчатых элементов (производство и монтаж НПФ «Пластэнерго») их состояние и эффективность работы не изменились.

После охлаждения в градирнях вода по двум магистральным трубопроводам (МТ1 и МТ2 с изменяющимся диаметром Ду1400-1100-1200 мм) возвращается на всас насосов.

При номинальной нагрузке 1-го и 2-го блоков конденсаторы турбин (номинальный расход охлаждающей воды через каждый конденсатор — 5,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч) обеспечиваются работой трех насосов типа 24НДн [1] (три из четырех: 1А, 1Б, 2А, 2Б). Все насосы 1-го и 2-го блоков соединены коллектором.

На 4-м блоке установлены 3 насоса типа 32Д-19. В качестве четвертого насоса Киевский ТЭП предложил насос типа Д6300-27-3, характеристика которого приведена в табл. 1.

Таблица 1.

Рабочая область характеристики насоса Д6300-27-3.

Q, м <sup>3</sup> /ч	2800	3000	4000	5000	5500
H, м вод.ст.	24,5	24	21,3	18,5	14,2

Оборотная вода для охлаждения вспомогательного оборудования отбирается из трубопроводов перед каждым конденсатором в количестве 400 м<sup>3</sup>/ч для 1-го (и 2-го) блока и 600 м<sup>3</sup>/ч для 4-го блока. Возврат этой воды осуществляется на всас насосов 1-го и 2-го блоков, а с 4-го блока — в магистральные трубопроводы.

Далее приводятся результаты гидравлического расчета трех режимов:

1. Проектный режим: работают 1-й, 2-й (три насоса 1Б, 2А, 2Б) и 4-й блоки (с тремя циркуляционными насосами 4А, 4Б, 4В). В связи с отсутствием измерительных приборов действительные расходы определяются косвенными методами.
2. В дополнение к работающим шести насосам подключается еще один насос на 4-м блоке.
3. В связи с тем, что в летний период, когда возможен режим конденсационного режима работы 4-го блока, один из двух блоков (1-й или 2-й) находится в ремонте и поэтому проведен расчет совместной работы 2-го (включен только один насос 2Б) и 4-го блока (4А, 4Б, 4В и 4Г).

В качестве исходных данных использовались проектные данные по длинам, диаметрам трубопроводов, высотным отметкам, а также результаты натурных замеров на объекте. Расчетная точка определяется при расходе каждого насоса 4000 м<sup>3</sup>/ч.

Остановимся на некоторых особенностях расчета на примере режима №3.

Определим расходы в трубопроводах. Итак, работают: на 2-м блоке насос 2Б и на 4-м блоке — насосы 4А, 4Б, 4В, 4Г.

Расходы в подводящих к блокам магистральным трубопроводах (МТ):

$$Q_{MT1}=4000-400+4000+4000-300=11300 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{MT2}=4000+4000-300=7700 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Если открыть обе задвижки на всасе 4Б, т.е. соединить его с МТ1 и МТ2, то

$$Q_{MT1}=9300 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad Q_{MT2}=9700 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Так как в этом случае трубопроводы будут нагружены более равномерно, то принимаем для дальнейшего расчета этот вариант.

Расход через конденсатор 2-го блока равен  $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , причем при открытой задвижке на коллекторе вода пойдет по обеим половинам конденсатора и в магистральные трубопроводы МТ3 и МТ4 возвратится по  $1800 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Расход через конденсаторы 4-го блока равен  $4000 \cdot 4 - 600 = 15400 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В магистральные трубопроводы по двум трубам возвращается по  $7700 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Расходы в напорных магистральных трубопроводах (МТ3 и МТ4):

$$Q_{MT3}=3600+7700=11300 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad Q_{MT4}=7700 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Такой результат будет в случае закрытой задвижки на коллекторе между насосами 2А и 2Б. Если задвижка открыта, то  $Q_{MT3} = Q_{MT4} = 9500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В расчете приняты эти величины. При суммарном расходе охлаждающей воды:

$$Q_{MT1}+Q_{MT2}=9300+9700=19000 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad Q_{MT3}+Q_{MT4}=9500+9500=19000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Распределение воды между градирнями принято исходя из пропорции  $Q_1:Q_2:Q_3=8000:8000:6000$ :  $Q_1=6900 \text{ м}^3/\text{ч}$  — расход через градирню №1;  $Q_2=6900 \text{ м}^3/\text{ч}$  — расход через градирню №2;  $Q_3=5200 \text{ м}^3/\text{ч}$  — расход через градирню №3

Расходы через трубопроводы определялись из соотношений и уравнений материального баланса: (индексы соответствуют обозначениям точек на рис. 1 и 2):

$$Q_{3a} = Q_3 \cdot 2700/5200 = 2700 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad Q_{36} = Q_3 - Q_{3a} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{51} = Q_{72} = (Q_{MT3} - Q_{36})/2 = 3500 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad Q_{61} = Q_{82} = (Q_{MT4} - Q_{3a})/2 = 3400 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{13} = Q_{22} = (Q_{MT1} - Q_{36})/2 = 3400 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad Q_{14} = Q_{21} = (Q_{MT2} - Q_{3a})/2 = 3500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $Q_{3a}, Q_{36}$  — расход воды на градирню 3а и 3б соответственно;

$Q_{51}, Q_{61}$  — расход от т.5 и т.6 до градирни №1;

$Q_{72}, Q_{82}$  — расход от т.7 и т.8 до градирни №2;

$Q_{13}, Q_{14}$  — расход от градирни №1 до т.3 и т.4;

$Q_{21}, Q_{22}$  — расход от градирни №2 до т.1 и т.2.

Потери напора на трение определяются по формуле м вод.ст.[2]:

$$\Delta H = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2} \rho = 6,4 \cdot 10^{-9} \cdot \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{Q^2}{d^4}$$

где  $\lambda = 0,035$  — коэффициент трения для длительно эксплуатируемых гладких цилиндрических труб [3];

$l, d$  — длина и диаметр трубопровода, м;

$Q$  — расход через трубопровод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Потеря напора в местном сопротивлении определялась по формуле, м вод.ст.:

$$\Delta H = \xi \frac{w^2}{2} \rho = 6,4 \cdot 10^{-9} \cdot \xi \cdot \frac{Q^2}{d^4}$$

где  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления, определяемый по [2,4].

Результаты гидравлического расчета отдельных участков трубопроводов для трех режимов работы ТЭЦ приводятся в табл. 2.

Таблица 2.

Определение расчетных напоров насосов для трех режимов работы КТЭЦ.

Значения расходов приведены в м<sup>3</sup>/ч, потери напоров — в м вод. ст.

Наименование, обозначение	Режимы		
	1	2	3
1. Расход в магистральном трубопроводе №1, $Q_{MT1}$	11430	11430	9300
2. Расход в магистральном трубопроводе №2, $Q_{MT2}$	11170	12170	9700
3. Расход в магистральном трубопроводе №3, $Q_{MT3}$	11300	13300	9500
4. Расход в магистральном трубопроводе №4, $Q_{MT4}$	11300	13300	9500
5. Расход на каждую башенную градирню, $Q_1$ и $Q_2$	8220	9670	6900
6. Расход на вентиляторную градирню, $Q_{3a}$	3200	3760	2700
$Q_{3б}$	2960	3490	2500
7. Потери напора от градирни 3Б до т.2, $\Delta H_{3б}$	0,558	0,741	0,393
8. Потери напора т.2 до т.3, $\Delta H_{23}$	0,358	0,374	0,239
9. Потери напора от градирни 3а до т.1, $\Delta H_{3a}$	0,550	0,784	0,385
10. Потери напора от т.1 до т.4, $\Delta H_{41}$	0,438	0,768	0,324
11. Потери напора в МТ1 от т.3 до 4Б, $\Delta H_{3-4Б}$	1,0199	1,02	0,627
12. Потери напора в МТ1 от т.3 до 2Б, $\Delta H_{3-2Б}$	0,624	0,625	0,395
13. Потери напора от т.4 до колена к 4В (1 режим $\Delta H_{4-4Б}$ ) или 4Г (2-й и 3-й режимы $\Delta H_{4-4Г}$ )	0,582	1,664	1,143
14. Потери напора от 4-го блока до т.5, $\Delta H_{MT3}$	1,37	1,943	1,11
15. Потери напора от 4-го блока до т.6, $\Delta H_{MT4}$	1,35	1,751	0,815
16. Потери напора от т.5 до т.7, $\Delta H_{57}$	0,319	0,436	0,222
17. Потери напора от т.6 до т.8, $\Delta H_{68}$	0,319	0,449	0,228
16. Потери напора от т.7 до градирни 3Б, $\Delta H_{7-3б}$	13,09	14,36	11,78
17. Потери напора от т.8 до градирни 3А, $\Delta H_{8-3a}$	13,07	14,33	12,08
18. Потери напора от МТ1 до 2Б, $\Delta H_{2Б}^{ex}$	0,487	0,487	0,823
19. Потери напора от 2Б до МТ3, $\Delta H_{2Б}^{быx}$	5,45	5,449	2,279
20. Потери напора от МТ2 до 4В (1-й режим) или 4Г (2-й и 3-й режимы), $\Delta H_{4Г}^{ex}$	0,194	0,194	0,194
21. Потери напора от 4В (1-й режим) или 4Г(2-й и 3-й режим) до МТ4, $\Delta H_{4Г}^{быx}$	4,317	7,582	7,582
24. Расчетный напор насоса 2Б, $H_{2Б}$	20,05	22,11	15,15
25. Расчетный напор насоса 4Г, $H_{4Г}$	18,59	24,79	20,53

Полученные расчетные данные позволяют построить характеристику сети, т.к. по двум точкам можно провести только одну параболу. Первой точкой для всех режимов является статический напор при  $Q=0$ , равный 10,25 м (высота водораспределения в градирнях равна 8,05 м, уровень расположения насосов -2,2 м. Таким образом,  $H_{cm}=9,05-(-2,2)=10,25$  м.

Напор насоса 4Г определится следующим образом:

$$P1=2,1-\sum \Delta H_{ex}=2,1-\Delta H_{3a}-\Delta H_{41}-\Delta H_{MT2}-\Delta H_{4Г}^{ex}=$$

$$=2,1-0,385-0,324-1,143-0,194=0,054 \text{ м}$$

$$P2=\Delta H_{4Г}^{быx} + \Delta H_{MT3} + \Delta H_{57} + \Delta H_{7-3б} = 7,582+1,11++0,222+11,78=20,58 \text{ м}$$

$$H_{4Г}=P2-P1=20,58-0,054=20,53 \text{ м}$$

Напор насоса 2Б:

$$P1=2,1-\sum \Delta H_{\text{ex}}=2,1-\Delta H_{36}-\Delta H_{23}-\Delta H_{3-2Б}-\Delta H_{2Б}^{\text{ex}}=$$

$$=2,1-0,393-0,239-0,395-0,823=0,25 \text{ м}$$

$$P2=\Delta H_{2Б}^{\text{вх}}+\Delta H_{\text{MT4}}+\Delta H_{68}+\Delta H_{8-3a}=2,279+0,815+0,228+12,08=15,4 \text{ м}$$

$$H_{2Б}=P2-P1=15,4-0,25=15,15 \text{ м}$$

На рис. 3 и 4 представлены результаты определения напора и расхода насосов 2-го и 4-го блоков для 1-го рассматриваемого режима работы КТЭЦ, т.е. существующего. В этом случае подача насосов равна:  $Q_{2Б}=3550 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_{1Б+2А}=7250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $Q_{4А+4Б}=8400 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_{4Б}=4200 \text{ м}^3/\text{ч}$ . То есть, расход через конденсаторы 1-го и 2-го блока равен  $10800 \text{ м}^3/\text{ч}$ , через конденсаторы 4-го блока —  $12600 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

На рис. 5 и 6 определяются расход и подача насосов для 2-го режима, то есть после подключения на 4-м блоке еще одного насоса (четвертого). Как видно, насосы 1-го и 2-го блоков работают в рабочей зоне характеристики, насосы 4-го блока — за ее пределами. Таким образом, работать все три блока одновременно после подключения еще одного насоса не могут. Это и вызвало необходимость в расчете 3-го режима.

На рис. 7 показаны результаты расчета 3-го режима: при работе одного насоса на 2-м блоке и четырех насосов на 4-м блоке. Все рабочие точки находятся в рабочей зоне характеристики. При этом  $Q_{2Б}=3800 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_{4А+0,5 \times 4Б}=6100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q_{0,5 \times 4Б+4Б+4Г}=10100 \text{ м}^3/\text{ч}$ , то есть через конденсатор 4-го блока будет прокачиваться  $16200 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Рабочая точка для насосов типа 32Д-19 находится на краю рабочей характеристики.

При возникновении дополнительных сопротивлений в сети ее характеристика, описываемая параболой, будет более крутой и насосы могут оказаться вне рабочей зоны характеристики, что является недопустимым. Отсюда следует, что работа 2-го (или 1-го) блока с двумя насосами и 4-го блока с четырьмя насосами не допустима.

### Список литературы

1. Насосы. Каталог-справочник. М.-Л.: ГНТИ Машиностроительной литературы. 1960.
2. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент /Е.В. Аметистов, В.А. Григорьев, В.Т. Емцев и др.; Под общ. Ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. —М.: Энергоиздат, 1982. —512 с.
3. Вакина В.В., Денисенко И.Д., Столяров А.Л. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. К.: Вища школа, 1968. —208 с.
4. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления. —М.: Госэнергоиздат, 1964. —316 с.

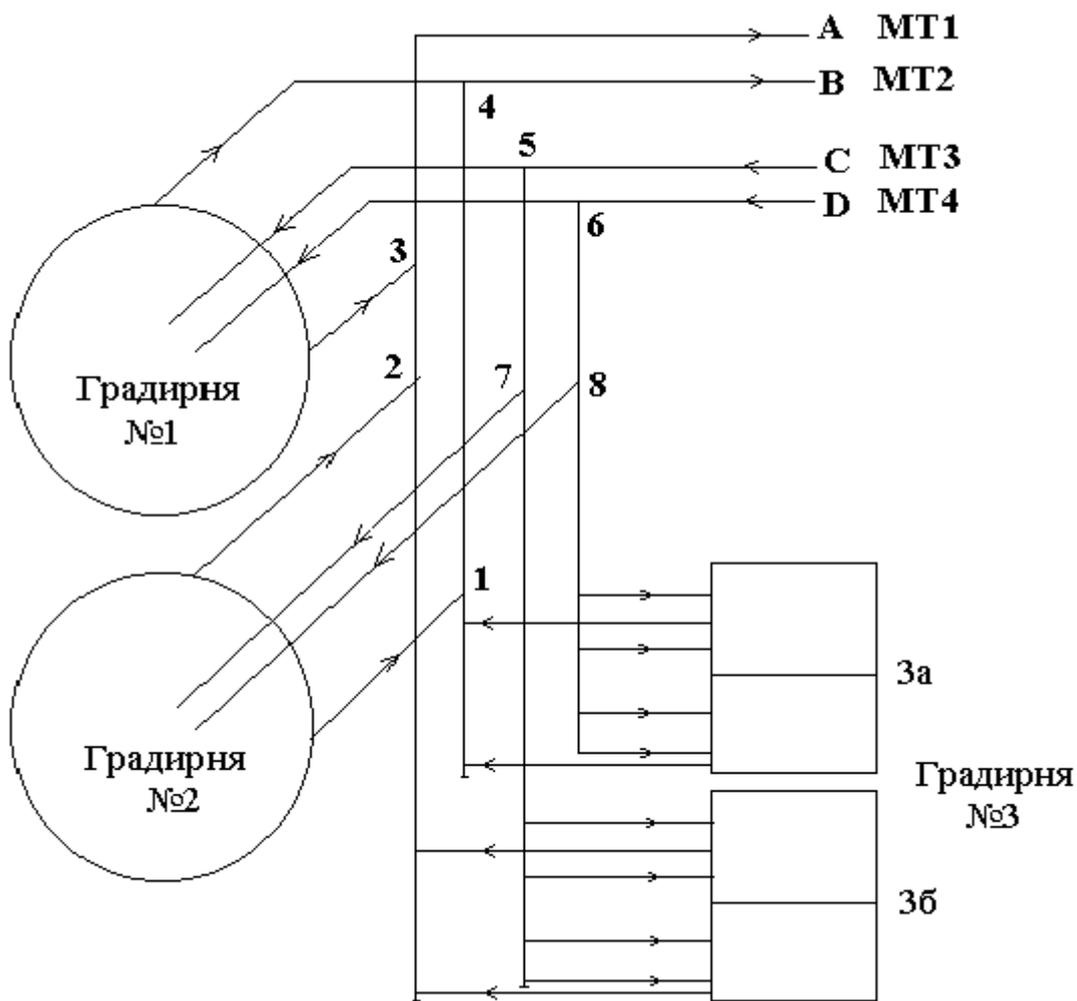


Рис. 1. Часть принципиальной схемы технического водоснабжения Кременчугской ТЭЦ: обвязка градирен.  
 МТ1, МТ2, МТ3, МТ4 –магистральные трубопроводы.



### Машинный зал

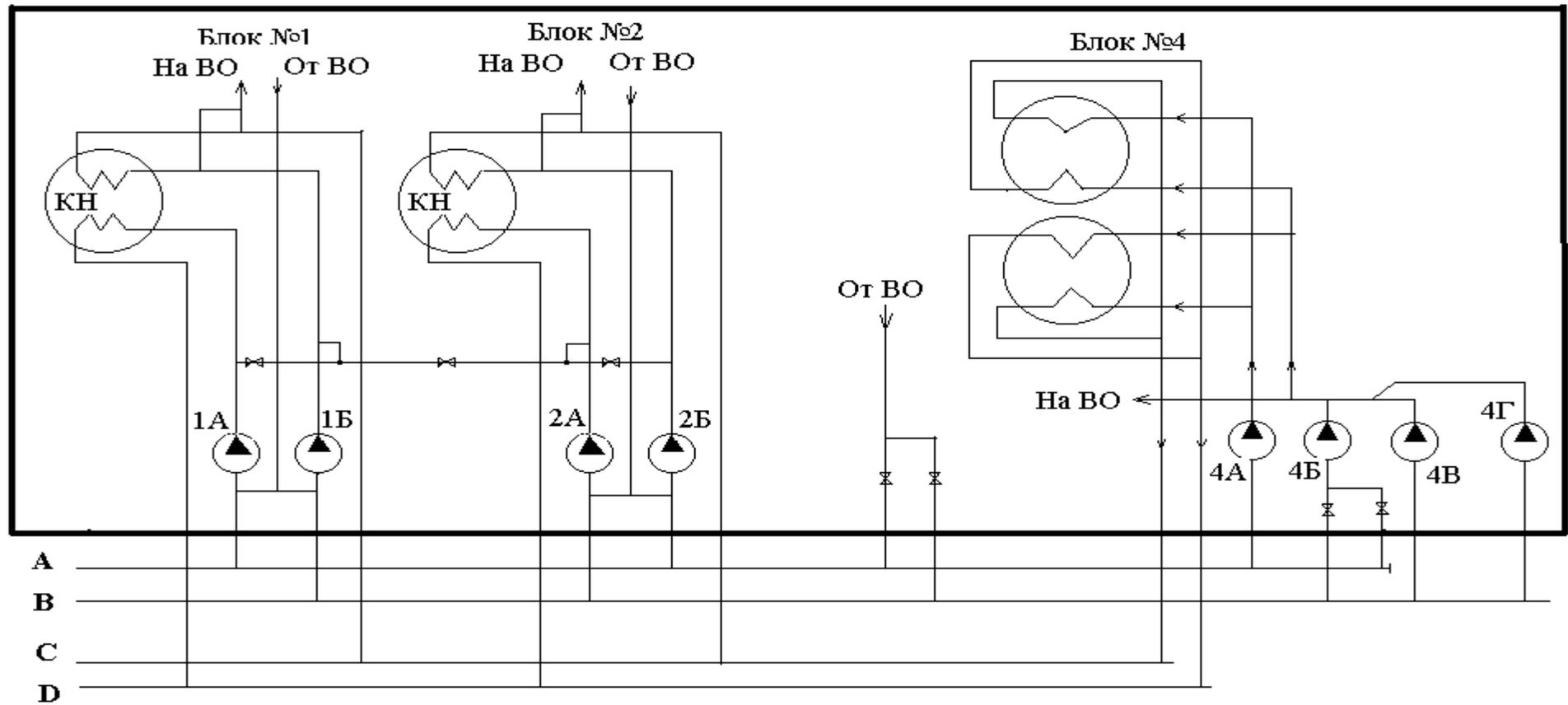


Рис.2. Часть принципиальной схемы технического водоснабжения КТЭЦ. Обвязка насосов и конденсаторов турбин. ВО — вспомогательное оборудование, КН — конденсатор.



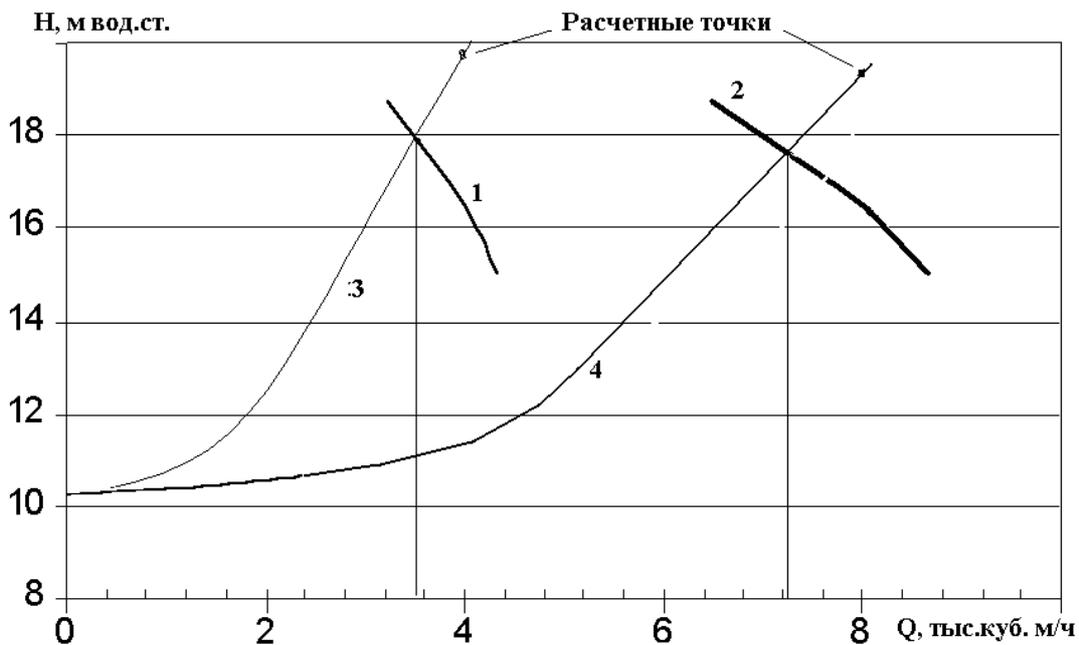


Рис. 3. Определение рабочей точки для насосов 1-го и 2-го блоков при 1-м режиме работы КТЭЦ (работают 1-й, 2-й и 4-й блоки, на 4-м блоке работают 3 насоса). 1- рабочая зона характеристики насоса 24НДн; 2— рабочая зона характеристики насоса 24НДн при параллельной работе 2-х насосов; 3—характеристика сети для насоса 2Б; 4—характеристика сети для насосов 1Б и 2А.

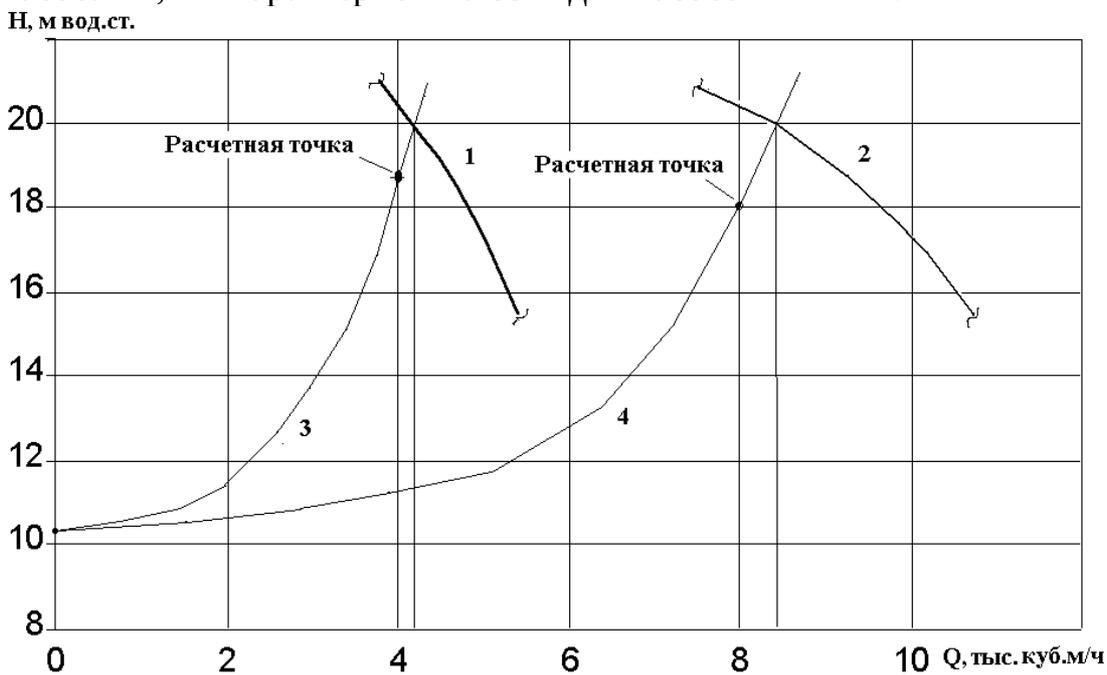


Рис. 4. Определение рабочей точки для насосов 4-го блока при 1-м режиме работы. 1—рабочая зона характеристики насоса 32Д-19; 2—рабочая зона характеристики насоса 32Д-19 при параллельной работе 2-х насосов; 3—характеристика сети для насоса 4В; 4—характеристика сети для насосов 4А и 4Б.

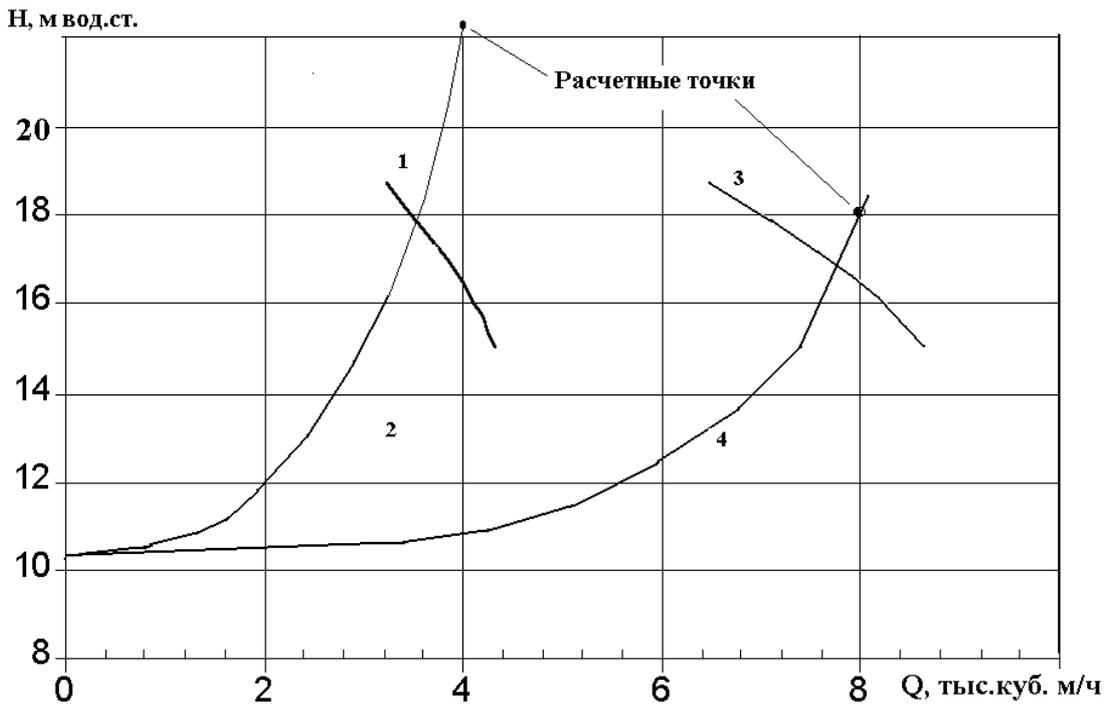


Рис. 5. Определение рабочей точки для насосов 2-го блока при 2-м режиме работы КТЭЦ (работают 1-й, 2-й и 4-й блоки, на 4-м блоке работают 4 насоса).  
 1 - рабочая зона характеристики насоса 24НДн; 2—характеристика сети для насоса 2Б; 3—рабочая зона характеристики насоса 24НДн при параллельной работе двух насосов; 4—характеристика сети для насосов 1Б и 2А;

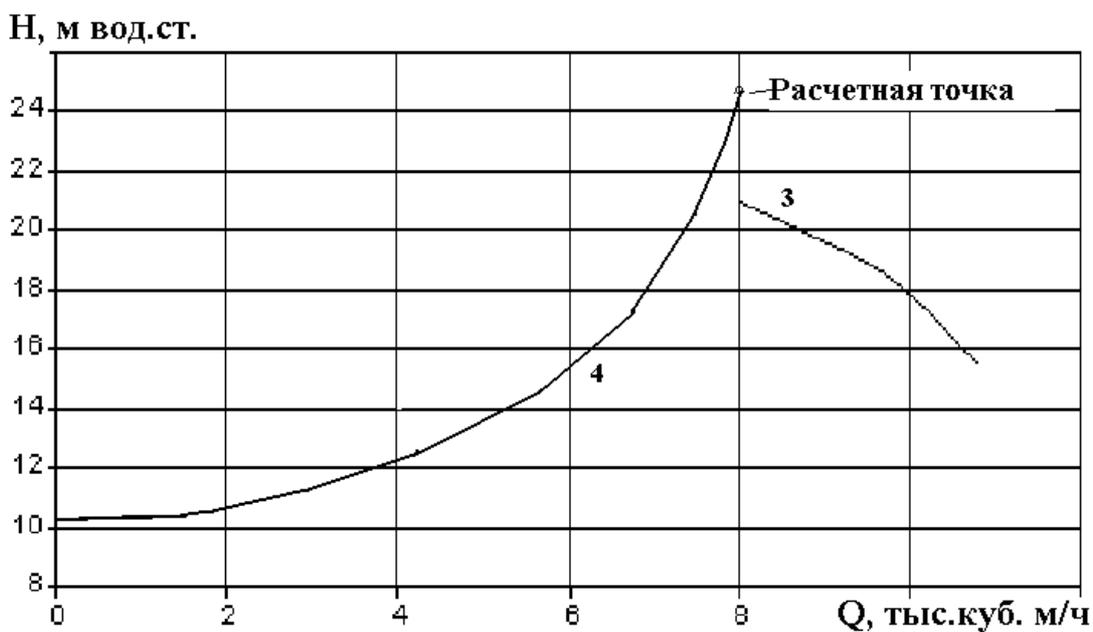
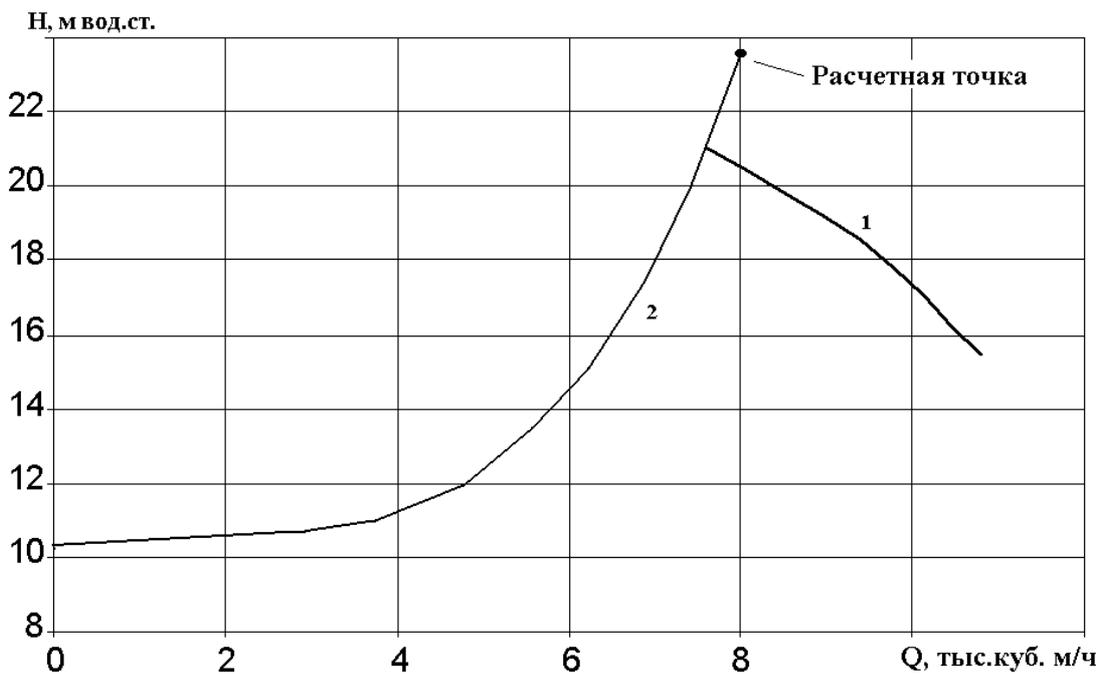


Рис. 6. Определение рабочей точки для насосов 4-го блока при 2-м режиме работы. 1—рабочая область характеристики насоса 32Д-19 при параллельной работе двух насосов; 2—характеристика сети для насосов 4А и 4Б; 3—рабочая область характеристики насоса 32Д-19 при его параллельной работе с насосом Д6300-27-3; 4—характеристика сети для насосов 4В и 4Г.

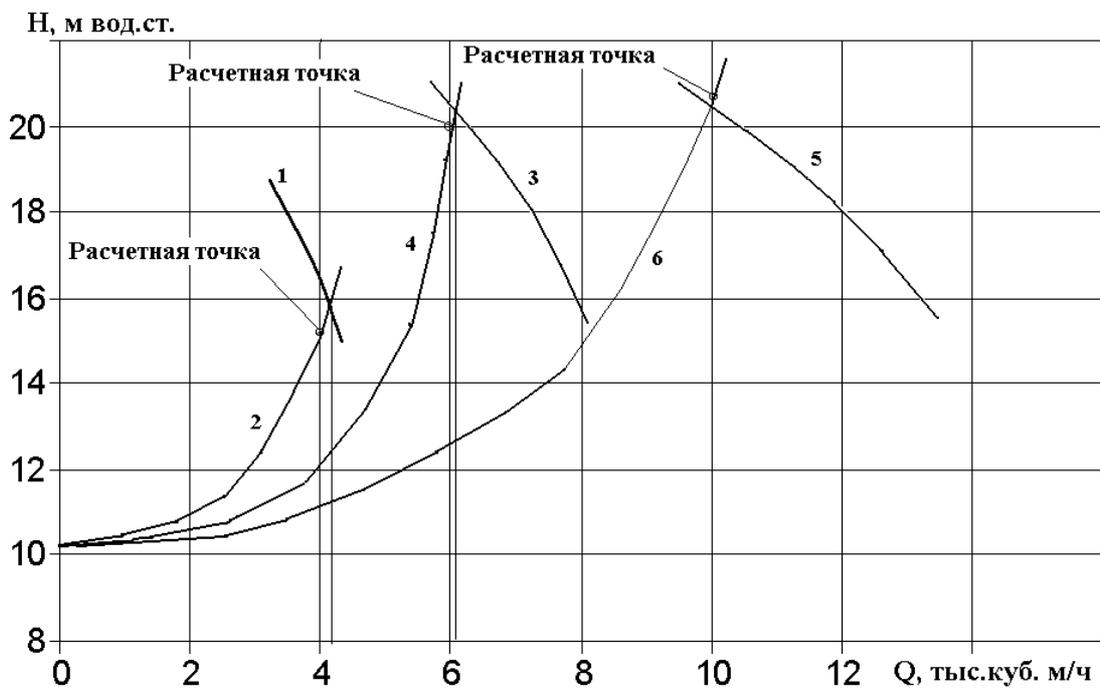


Рис. 7. Определение рабочей точки для насосов 2-го и 4-го блоков при 3-м режима работы КТЭЦ (работают 2-й и 4-й блоки, на 4-м блоке работают 4 насоса).

1—рабочая зона характеристики насоса 24НДн; 2—характеристика сети для насоса 2Б; 3—рабочая зона характеристики насоса 32Д-19 при параллельной работе 1,5 насосов; 4—характеристика сети для насоса 4А и половины насоса 4Б; 5—рабочая зона характеристики насоса 32Д-19 при параллельной работе 2,5 насосов; 6—характеристика сети для насосов 4В, 4Г и второй половины насоса 4Б.

Редакция журнала «Энергетика и  
электрификация»  
01032 Киев-32, ул. Коминтерна, 27  
НИЭСЦ института  
«Укрсельэнергопроект»

Направляем Вам для опубликования статью сотрудников НПФ «Пластэнерго» В.П. Кравченко и С.К. Сосновского «Выбор режимов работы системы технического водоснабжения Кременчугской ТЭЦ после повышения мощности 4-го блока», подготовленную в соавторстве с сотрудниками Кременчугской ТЭЦ Н.В. Еськовым и А.К. Новиковым.

Директор

А.Г. Средницкий

## РЕФЕРАТ

Рассматривается возможность установки дополнительного 4-го циркуляционного насоса на 4-м блоке Кременчугской ТЭЦ (на 1-м и 2-м блоках установлены турбины ПТ-50-130/16, на 3-м блоке — Р-50-130, на 4-м — Т-100/120-130). Система технического водоснабжения общая для всех блоков. Проведенный гидравлический расчет системы для различных режимов работы (проектном, при работе всех насосов; при установке дополнительного насоса; при работе только одного насоса на 2-м блоке и четырех насосов на 4-м блоке) показал возможные режимы работы станции с точки зрения нахождения параметров насосов в рабочей области характеристики. Приводятся характеристики сети для всех типов применяемых насосов в трех рассмотренных режимах работы. Показано, что при установке дополнительного насоса на 4-м блоке, ТЭЦ может работать только в 3-м режиме либо с еще меньшей нагрузкой.