

УДК 536.2 (075)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОСЕТЕЙ ТЭЦ\*

*А.Н. Бранфилева, Е.В. Стефанюк, С.В. Колесников, М.П. Скворцова*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: totig@yandex.ru

*Приведены результаты исследований гидравлических режимов теплотсети Самарской ТЭЦ, выполненных с целью повышения эффективности ее работы. Разработан комплекс мероприятий, позволяющих обеспечивать заданные давления на тепловых выводах. И, в частности, показана эффективность снижения числа параллельно работающих насосов при обеспечении заданного расхода и давления на выходе в пределах рабочих диапазонов расхода согласно характеристикам насосов. Показана также эффективность замены регулирования давления на выходе насосов перепуском или дросселированием на регулирование путем изменения числа оборотов приводного двигателя. На конкретном примере теплотсети Самарской ТЭЦ при использовании ее компьютерной модели построена кривая экономии мощности при использовании одного насоса с регулируемым приводом в группе пяти параллельно работающих насосов СЭ-250-130. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности работы теплотсетей ТЭЦ и котельных, циркуляционных систем тепловых электрических станций, теплотсетей крупных городов, водопроводных сетей и других промышленных объектов.*

**Ключевые слова:** *теплосеть, параллельное соединение насосов, регулирование перепуском и дросселированием, регулируемый привод насоса, компьютерная модель, кривая экономии мощности.*

Известно, что основные затраты электроэнергии в тепловых сетях ТЭЦ связаны с работой сетевых насосов. Например, расходуемая мощность сетевых насосов Самарской ТЭЦ (всего около 30 насосов) составляет 18 145 кВт, из которых 8 040 кВт теряется у потребителей теплоты, 1915 кВт – на подогревателях и пиковых котлах, 850 кВт – в трубопроводах, 7340 кВт – на регуляторах давления и задвижках (распределение затрат мощности получено на компьютерной модели теплотсети Самарской ТЭЦ) [1]).

Анализ полученных на модели результатов позволяет заключить, что затраты мощности на преодоление потерь напора в трубопроводах относительно невелики и практически находятся в пределах нормативных величин. Сопротивле-

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ФГБОУ ВПО «СамГТУ» (код проекта 1273).

*Анастасия Николаевна Бранфилева, аспирант кафедры «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика».*

*Екатерина Васильевна Стефанюк (д.т.н.), профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика».*

*Сергей Владимирович Колесников (к.т.н.), докторант кафедры «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика».*

*Марина Петровна Скворцова, аспирант кафедры «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика».*

ния подогревателей и пиковых котлов превышают их паспортные значения, однако их доля в общих потерях мощности относительно невелика. Относительно велика доля затрат мощности на регуляторах давления и регулируемых задвижках. Основные причины состоят в применении повышенных мощностей, а также в нерациональных схемах их использования и регулирования. Как показывают результаты расчетов на компьютерной модели, практически на всех насосах имеется избыточный напор на выходе, который гасится соответствующими задвижками. Могут быть следующие пути уменьшения этих потерь: 1) следует максимально (в пределах рабочей характеристики) загружать параллельно работающие насосы, уменьшая их число; 2) вместо регулировки выходного давления перепуском (или дросселированием) применять обточку рабочих колес (с целью уменьшения их диаметра) либо использовать привод насосов с регулируемой частотой вращения электродвигателей. Каждое из этих мероприятий рассмотрим более подробно.

В ряде случаев число параллельно работающих насосов на один тепловой вывод избыточно. Покажем, что замена одного работающего насоса несколькими (такой же мощности) параллельно включенными приводит к увеличению потребляемой мощности при сохранении давления и расхода среды на выходе [2, 3].

Допустим, что характеристика насоса задана соотношением

$$H = H_0 + SQ^2, \quad (1)$$

где  $H$  – напор, создаваемый насосом, м;  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/ч;  $H_0$  – напор, создаваемый насосом при закрытой на выходе задвижке, то есть при  $Q = 0$ , м;  $S$  – гидравлическое сопротивление насоса.

Потребляемая насосом мощность (без учета КПД насоса) будет равна

$$N = \frac{\rho g H Q}{3600 \cdot 1000}, \quad (2)$$

где  $N$  – мощность, кВт;  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение силы тяжести.

Формула (2) с учетом (1) будет

$$N = \frac{\rho g (H_0 Q - SQ^3)}{3600 \cdot 1000}. \quad (3)$$

Соотношение (3) представляет собой уравнение параболы относительно расхода  $Q$ . На рис. 1 приведена кривая зависимости расхода от мощности, построенная по формуле (3) (см. кривую 1). В точке  $A$ , где подача  $Q_A = \sqrt{H_0 / (3S)}$ , наблюдается экстремум, соответствующий максимальной мощности  $N_{\max} = 2\sqrt{H_0^3 / (3S)} / 3$ . Из формулы (3) следует, что расход в точке  $B$   $Q_B = \sqrt{H_0 / S}$ .

Если использовать  $n$  параллельно включенных насосов, сохранив их суммарную подачу, равную  $Q$ , то подача каждого из насосов будет  $Q/n$ , а потребляемая ими суммарная мощность

$$N_{\Sigma} = n \frac{\rho g (H_0 \frac{Q}{n} - S \frac{Q^3}{n^3})}{3600 \cdot 1000} = \frac{\rho g (H_0 Q - \frac{1}{n^2} S Q^3)}{3600 \cdot 1000}.$$

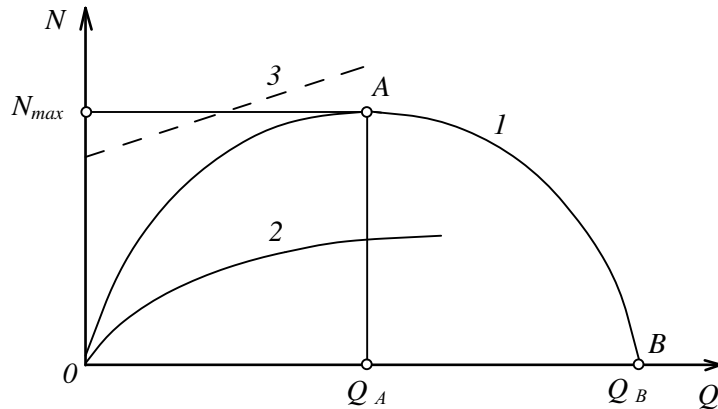


Рис. 1. Зависимость потребляемой насосом мощности от его подачи:  
1 – по формуле (3); 2 – кривая КПД насоса; 3 – зависимость действительной (реальной) потребляемой мощности от расхода

По сравнению с одним насосом потребляемая мощность возрастает на величину

$$\Delta N = \frac{n^2 - 1}{n^2} \frac{\rho g S Q^3}{3600 \cdot 1000}, \text{ кВт.}$$

В качестве примера рассмотрим случай, когда насос СЭ-2500-180, перекачивающий 2500 м<sup>3</sup>/час воды, заменяется двумя такими же насосами. Увеличение потребляемой мощности составит

$$\Delta N = \frac{2^2 - 1}{2^2} \frac{9,81 \cdot 0,0000105 \cdot 2500^3}{3600 \cdot 1000} = 33,5 \text{ кВт.}$$

Эта избыточная мощность должна быть погашена за счет потерь на задвижках напорных линий насосов, поскольку необходимо сохранить неизменным давление воды на выходе.

Увеличение потребляемой мощности относительно невелико. Однако следует учесть, что расчеты выполнены без учета КПД насосов, который, во-первых, всегда меньше единицы, а во-вторых, с уменьшением подачи уменьшается (кривая 2 на рис. 1). Реальная кривая потребляемой мощности дана на рис. 1 (кривая 3). Согласно ей даже при закрытой на выходе насоса задвижке ( $Q = 0$ ) эта мощность не только не уменьшается до нуля, как это следует из теоретической формулы (3), а составляет довольно значительную величину (мощность холостого хода). Например, для насоса СЭ-2500-180 в соответствии с его паспортной характеристикой она составляет около 600 кВт. Следовательно, реальные затраты мощности при замене одного насоса несколькими параллельно включенными возрастут более значительно по сравнению с затратами по вышеприведенному расчету.

Таким образом, по возможности следует уменьшать число параллельно работающих насосов, максимально нагружая их в пределах рабочей области характеристики.

В ряде случаев для ограничения давления перед сетевым подогревателями и пиковыми котлами напор насосов регулируется путем перепуска части сетевой воды из напорного коллектора на всасывающий с помощью регулятора давления. Среди известных схем регулирования насосов регулирование перепуском считается наименее экономичным. Регулирование дросселированием, хотя и не является оптимальным, более экономично по сравнению с регулированием перепус-

ком. На рис. 2 приведены характеристики насоса и сети для этих двух методов регулирования.

В исходном состоянии насос имеет расход  $Q_0$  и создает напор  $H_0$ , что соответствует точке 0 на рабочей характеристике. Уменьшить подачу до  $Q_1$  можно или прикрывая задвижку на напорной линии, или перепуская часть воды из напорной линии во всасывающую. В первом случае рабочая точка смещается в положение 1. Разность напоров  $(H_1 - H_2)$  соответствует сопротивлению задвижки. Потребляемая мощность при этом уменьшается до  $N_1$ . Во втором случае рабочая точка занимает положение 2. Расход воды через насос будет равен  $Q_2$ . В сеть подается вода в количестве  $Q_1$ , а разность  $(Q_2 - Q_1)$  циркулирует через насос, дополнительно нагружая его. Потребляемая насосом мощность в этом случае равна  $N_2$ . Как видно из приведенной схемы,  $N_1 < N_2$ , то есть метод регулирования перепуском менее экономичен по сравнению с регулированием задвижкой.

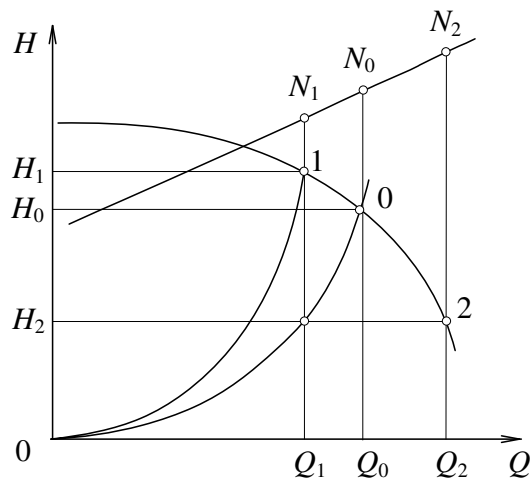


Рис. 2. Регулирование давления на выходе из насоса путем перепуска и дросселирования

С использованием компьютерной модели теплосети Самарской ТЭЦ были выполнены исследования совместной работы параллельно соединенных насосов с регулируемым и нерегулируемым приводом [4]. Эти исследования позволили сделать следующие выводы.

1. При использовании одного насоса с регулируемым приводом в системе нескольких параллельно соединенных насосов экономия затрачиваемой мощности происходит только на этом насосе. На всех насосах с нерегулируемым приводом расход при этом возрастает.

2. Один насос с регулируемым приводом, установленный в группе параллельно работающих насосов, позволяет выполнять регулирование расхода теплоносителя в сети в диапазоне расхода, развиваемого данным насосом. При этом экономия мощности при использовании насоса с регулируемым приводом по сравнению с регулированием задвижкой зависит от величины расхода через него.

Конкретный пример экономии мощности в зависимости от расхода через насос с регулируемым приводом для системы, состоящей из шести параллельно работающих насосов СЭ-2500-130, приведен на рис. 3. В табл. 1, 2 представлены результаты исследований, полученные для двух вариантов регулирования расхода – задвижкой на выходе одного из насосов (табл. 1) и путем применения регулируемого привода для этого же насоса (табл. 2). Параметром регулирования

являлось давление на выходном коллекторе, которое в процессе работы поддерживалось постоянным и равным 145 м вод. ст. Анализ полученных результатов позволяет заключить, что максимальная экономия мощности наблюдается в диапазоне расходов от 200 до 3500 т/час. Отметим, что кривая экономии мощности, приведенная на рис. 3, построена на основе данных табл. 1, 2.

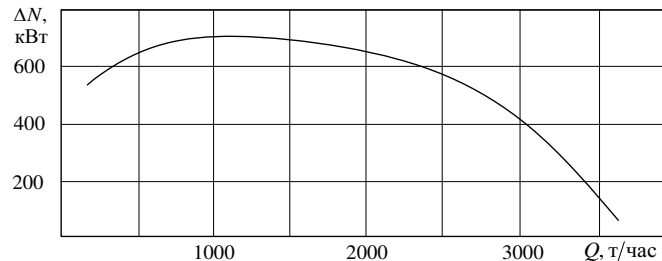


Рис. 3. График зависимости экономии мощности  $\Delta N$  от расхода через насос с регулируемым приводом

Таблица 1

**Регулирование задвижкой**

Число оборотов, мин	Полезная мощность, кВт	Затрачиваемая мощность, кВт	Напор на входе, м	Напор на выходе (до задвижки), м	Расход, м <sup>3</sup> /час	Потеря мощности на задвижке, кВт	Суммарный расход в сети, м <sup>3</sup> /час
3000	971	1 197	56	276	1 641	715	21 060
3000	1 193	1 417	53	244	2 316	624	21 570
3000	1 225	1 600	49	198	3 072	485	22 110
3000	1 032	1 600	47	152	3 686	64	22 560
3000	120	710	63	310	180	568	20 010

Таблица 2

**Использование регулируемого привода**

Число оборотов, мин	Полезная мощность, кВт	Затрачиваемая мощность, кВт	Напор на входе, м	Напор на выходе (до задвижки), м	Расход, м <sup>3</sup> /час	Потеря мощности на задвижке, кВт	Суммарный расход в сети, м <sup>3</sup> /час
1 040	404	482	56	147	1 680	715	21 060
1 160	570	739	53	146	2 317	624	21 570
1 330	787	1 115	49	146	3 068	485	22 110
1 480	971	1 536	47	146	3 678	64	22 560
860	39	142	63	146	179	568	20 010

Выполненные в настоящей работе исследования качественно согласуются с результатами, полученными в публикации [5] применительно к насосам типа 14НДс.

Таким образом, регулирование переменного расхода в сети при постоянном

напоре на выходном коллекторе, объединяющем выходные трубопроводы всех параллельно соединенных насосов, выполняется лишь на насосе с регулируемым приводом. Диапазон регулирования ограничивается максимальной подачей насоса, с помощью которого оно выполняется. При колебаниях расхода в сети, превышающих эту величину, необходимо либо выключать один из насосов с нерегулируемым приводом (при уменьшении расхода в сети), либо включать дополнительный насос с нерегулируемым приводом (при соответствующем увеличении расхода в сети). Дальнейшие изменения расхода в сети регулируются насосом с регулируемым приводом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панамарев Ю.С., Кудинов В.А., Чиликин Ю.П., Котов В.В. Расчет гидравлических и температурных режимов работы теплосети Самарской ТЭЦ с помощью компьютерной модели // Теплоэнергетика. – 200. – № 5. – С. 35–39.
2. Ильин В.Г. Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. – Киев: Госстройиздат УССР, 1963. – 135 с.
3. Пресер Е.А. Аналитические зависимости между параметрами лопастных насосов // Сб. трудов ЛИСИ. – Вып. 20. – Л.: Изд. ЛИСИ, 1955.
4. Колесников С.В., Кудинов В.А., Колесникова А.С., Бранфилова А.Н. Исследование совместной работы насосов с регулируемым и нерегулируемым приводом // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2014. – № 1(40). – С. 127–135.

Статья поступила в редакцию 6 октября 2014 г.

## THE EFFICIENCY OF HEATING SYSTEMS CHP

*A.N. Branfilova, E.V. Stefanuk, S.V. Kolesnikov, M.P. Skvortsova*

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

*The results of research into the hydraulic regimes of the Samara HPP heat network, done to increase the efficiency of its operating. A set of measures to provide the desired thermal outlets pressure is developed. And, in particular, the effectiveness of reducing the number of parallelly working pumps, while providing a specified flow rate and outlet pressure within the operating ranges of consumption, according to the characteristics of the pumps is demonstrated. The effectiveness of the replacement of the pump outlet pressure controlling by restarting or throttling by controlling by means of changing the number of the drive motor revolutions is also shown. As an example, applying a computer simulation of the Samara HPP heat network, a power savings curve is constructed when using a single variable-frequency drive pump in a group of five parallelly working SE - 250 – 130 pumps.*

**Keywords:** heating, parallel connection of pumps, regulation bypass and throttling, variable speed drive pump, computer model, curve conserve power.

---

*Anastasia N. Branfilova, Postgraduate Student.  
Ekaterina V. Stefanuk (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Sergey V. Kolesnikov (Ph.D. (Techn.)), Doctoral Student.  
Marina P. Skvortsova, Postgraduate Student.*