

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

### Теплонасосная установка —перспективный источник теплоснабжения поселка

Немченко Н. И., канд. техн. наук

Хакасский технический институт — филиал ФГАОУ ВПО “Сибирский федеральный университет”, Абакан

Рассмотрены особенности географического положения и теплоснабжения поселка гидроэнергетиков Черемушки. Предложена и рассчитана схема теплонасосной установки — перспективного источника теплоснабжения. Показана зависимость коэффициента трансформации теплоты установки от температуры речной воды — носителя низкопотенциальной тепловой энергии.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, теплонасосная установка, коэффициент трансформации теплоты, температура воды.

Поселок городского типа Черемушки расположен на левом берегу Енисея в 2 км от Саяно-Шушенской ГЭС ниже по течению. Численность населения — около 9000 чел. Река в районе поселка не замерзает, температура воды изменяется в течение года. Например, в 2009 г. минимальная температура 1,8 °С была зафиксирована в январе, максимальная 14,6 °С — в сентябре. Расход воды в нижнем бьефе ГЭС, как правило, находится в пределах от 1000 до 3500 м<sup>3</sup>/с. В 19,5 км от поселка ниже по течению расположена контррегулирующая Майнская ГЭС. Подпор Майнского водохранилища при необходимости достигает основания плотины Саяно-Шушенской ГЭС. В результате в Черемушках изменяются уровень и скорость реки.

Теплоснабжение поселка осуществляется от двух электрокотельных. В котельной № 1 установлены шесть электродных водогрейных котлов КЭВ-6000/6, в котельной № 2 — пять котлов КЭВ-4000/6. Номинальные тепловые мощности котельных равны соответственно 36 и 20 МВт.

Проектная температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети составляет 65 — 130 °С, в обратном — 45 — 55 °С. Фактические температуры воды на абонентских вводах объектов теплоснабжения близки к нижним границам указанных диапазонов.

В условиях поселка эффективным источником теплоснабжения может стать теплонасосная станция, использующая низкопотенциальную теплоту речной воды. Схема предлагаемой теплонасосной установки (ТНУ) показана на рис. 1. Хладагентом может быть фреон третьего поколения R-134a. Давление и тем-

пература фреона в критическом состоянии равны 4,067 МПа и 101,10 °С. Температура насыщения хладагента в конденсаторе  $t_k$  принята равной 86 °С, соответствующее давление  $p_k = 3,0$  МПа. Температура кипения хладагента в испарителе  $t_i$  должна превышать 0 °С, чтобы исключить замерзание речной воды — носителя низкопотенциальной тепловой энергии. В расчетах принята  $t_i = 1$  °С, что соответствует давлению насыщения  $p_i = 0,3$  МПа. Степень повышения давления хладагента  $p_k/p_i = 10$  может быть обеспечена в ТНУ с двухступенчатым сжатием и промежуточным сосудом [1]. Давление в промежуточном сосуде равно 1,0 МПа.

Сетевая вода нагревается, проходя последовательно через переохладитель 4 и конденсатор 3. Движение воды обеспечивает сетевой насос 8. Испаритель 6 конструктивно представляет собой кожухотрубчатый теплообменный аппарат и размещается в здании теплонасосной станции. По трубам аппарата насосом 9 прокачивается речная вода. Расход и температура воды поддерживаются постоянными независимо от метеорологических и гидрологических условий. Расчетные температуры воды на входе и выходе испарителя равны соответственно 15 и 2 °С. Охлажденная вода возвращается в реку. При этом испаритель, конденсатор, компрессор и насос подачи речной воды работают с постоянной нагрузкой.

Подогрев речной воды перед испарителем осуществляется в подогревателе 7. Греющим теплоносителем служит обратная сетевая вода. По мере снижения температуры воды в

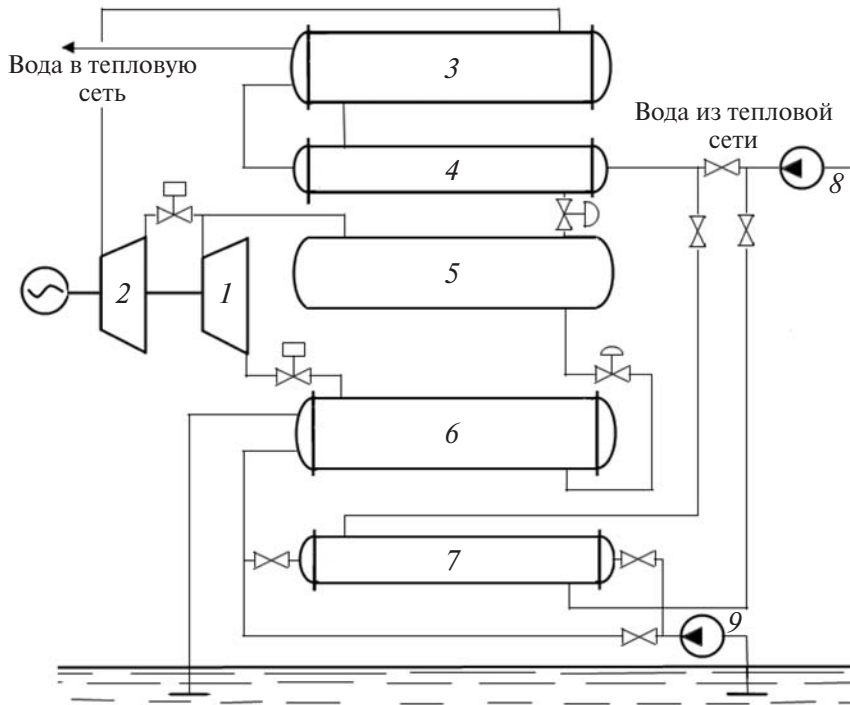


Рис. 1. Принципиальная схема теплонасосной установки:

1 и 2 — первая и вторая ступени компрессора; 3 — конденсатор; 4 — переохладитель; 5 — промежуточный сосуд; 6 — испаритель; 7 — подогреватель речной воды; 8 — сетевой насос; 9 — насос подачи речной воды

реке расход сетевой воды через подогреватель возрастает. В зависимости от температуры воды в реке переменной также является теплопроизводительность ТНУ. По расчетам, охлаждение воды от 15 до 2 °С приведет к снижению теплопроизводительности на 69 %. Недовыработку тепловой энергии должны компенсировать электродотельные. Промежуточный сосуд позволяет осуществить сепарацию фреона и снизить нагрузку первой ступени компрессора. Из промежуточного сосуда пары фреона поступают непосредственно во вторую ступень компрессора. Жидкий фреон направляется в испаритель.

Место расположения теплонасосной станции должно быть выбрано с учетом необходимости подключения к существующей тепловой сети поселка и возможного колебания уровня воды в реке.

Цикл двухступенчатого теплового насоса на  $p-h$ -диаграмме фреона R-134a показан на рис. 2. Параметры хладагента в характерных точках цикла приведены в таблице.

При построении цикла внутренние относительные КПД первой и второй ступеней компрессора приняты равными 0,86. Значение энтальпии фреона в точке 3, соответствующей его состоянию перед второй ступенью компрессора, найдено на основе

уравнения теплового баланса для промежуточного сосуда

$$G_2 h_8 = (G_2 - G_1) h_4 + G_1 h_9,$$

где  $G_1$  и  $G_2$  — расходы хладагента в контурах низкого и высокого давлений, кг/с;  $h_4$ ,  $h_8$ ,  $h_9$  — удельные энтальпии хладагента в соответствующих точках цикла, кДж/кг.

Отношение расходов хладагента в контурах низкого и высокого давлений

$$i = \frac{G_1}{G_2} = \frac{(h_4 - h_8)}{(h_4 - h_9)} = \frac{(417 - 288)}{(417 - 256)} = 0,8.$$

Удельная энтальпия хладагента перед второй ступенью компрессора

$$h_3 = i(h_2 - h_4) + h_4 = 0,8(428 - 417) + 417 = 426 \text{ кДж/кг}.$$

В расчетах ТНУ приняты: тепловая нагрузка конденсатора — 20 МВт; электромеханический КПД компрессора — 0,98 [1], КПД насоса подачи речной воды — 0,88 [2], давление насоса подачи речной воды — 0,2 МПа.

В результате вычислены рабочие характеристики установки: мощность привода компрессора — 6326 кВт, передаваемая в испарителе теплота — 13 777 кВт, расход речной воды через испаритель — 252 кг/с, мощность насоса подачи речной воды — 57 кВт.

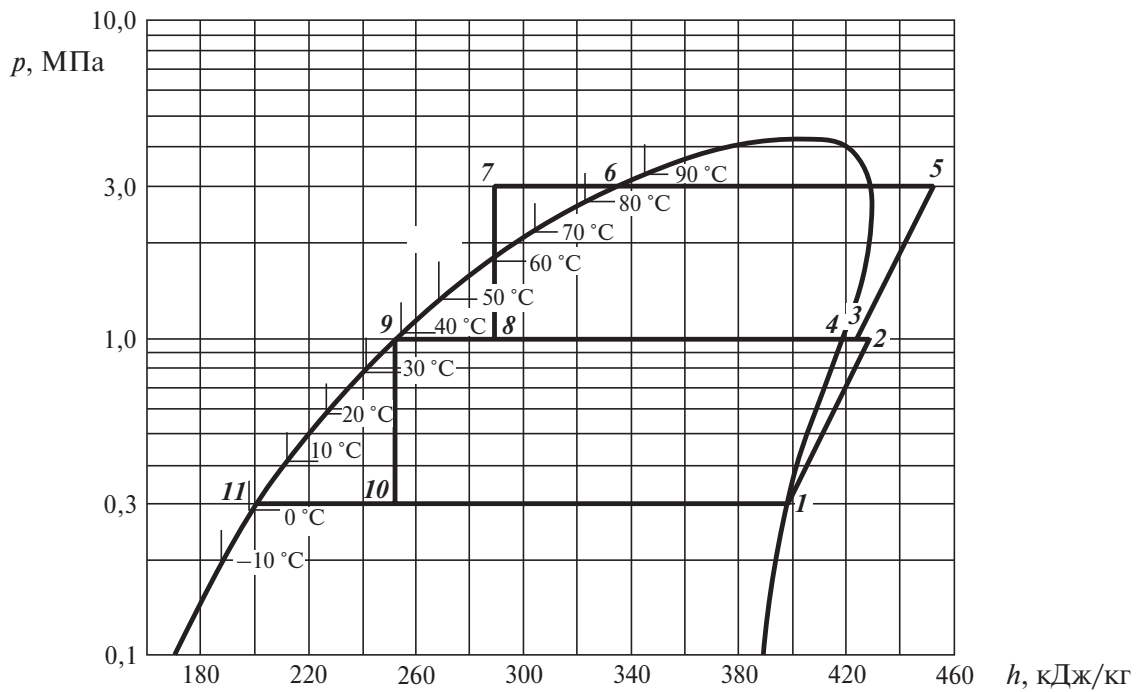


Рис. 2. Цикл теплового насоса на  $p-h$ -диаграмме:

1 – 2 и 3 – 5 – процессы сжатия в первой и второй ступенях компрессора; 5 – 7 – изобарный процесс в конденсаторе и переохладителе; 7 – 8 и 9 – 10 – процессы дросселирования перед промежуточным сосудом и перед испарителем; 10 – 1 – изобарно-изотермический процесс в испарителе

Параметр	Характерные точки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Давление, МПа	0,3	1,0	1,0	1,0	3,0	3,0	3,0	1,0	1,0	0,3	0,3
Температура, °С	1	48	46	39	99	86	60	39	39	1	1
Энтальпия, кДж/кг	397	428	426	417	452	335	288	288	256	256	200

Коэффициент трансформации теплоты рассчитали по формуле

$$\varphi = \frac{Q_k - Q_{п.р.в.}}{N_k + N_n},$$

где  $Q_k$  и  $Q_{п.р.в.}$  – тепловые нагрузки конденсатора и подогревателя речной воды, Вт;  $N_k$  и  $N_n$  – мощности компрессора и насоса подачи речной воды, Вт.

Фактически коэффициент трансформации теплоты находится в линейной зависимости от температуры речной воды. Эффективность установки повышается по мере роста температуры. В качестве альтернативного варианта рассмотрена ТНУ с предварительным электроподогревом воды, подаваемой в испаритель. Преимуществом альтернативной установки является независимость ее тепловой производительности от температуры воды в

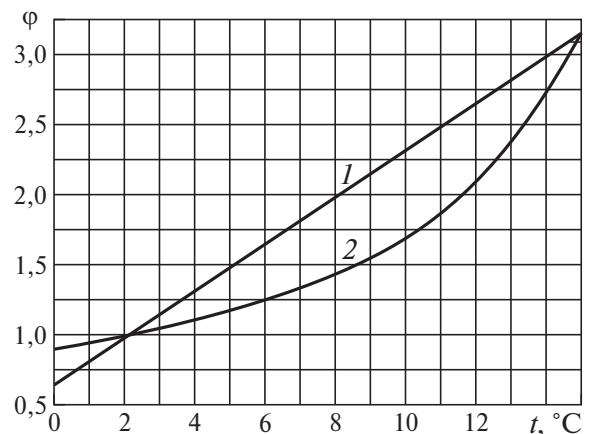


Рис. 3. Зависимости коэффициента трансформации теплоты от температуры воды в реке:

1 – подогрев воды в теплообменном аппарате; 2 – электроподогрев воды

реке, недостатком – дополнительный расход электроэнергии. На рис. 3 приведены графики

ки зависимостей коэффициента трансформации теплоты от температуры воды. В рабочем диапазоне температур речной воды установка с электрообогревом уступает ТНУ с рекуперативным подогревателем по значению коэффициента трансформации теплоты.

Наряду с другими крупными реками Енисей — мощный источник низкопотенциальной тепловой энергии. Количество теплоты, которое может быть получено в результате охлаждения воды в нижнем бьефе Саяно-Шушенской ГЭС всего на 1 °С, составляет 4 – 14 ГВт. В зимнее время ледяной покров на Енисее образуется на расстоянии более

100 км от ГЭС. Искусственное снижение температуры воды приведет к смещению кромки льда вверх по течению, что в свою очередь благоприятно отразится на экологической обстановке.

#### Список литературы

1. Султангузин И. А., Потатова А. А. Высокотемпературные тепловые насосы большой мощности для теплоснабжения. — Новости теплоснабжения, 2010, № 10.
2. **Тепловые** и атомные электрические станции: Справочник / Под ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. — М.: Энергоиздат, 1982.

nemchenko\_abakan@mail.ru

