

УДК 662.997: 620.92

Г.А. Баласанян, д-р. техн. наук, проф.,
А.С. Стадниченко, магистр,
А.С. Головатюк, канд. географ. наук,
Одес. нац. политехн. ун-т

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ГЕОТЕРМАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА

Г.А. Баласанян, О.С. Стадніченко, Г.С. Головатюк. Оцінка ефективності системи теплопостачання з геотермальним джерелом тепла. Запропоновано систему теплопостачання, яка забезпечує ефективне використання теплонасосної установки і геотермального джерела тепла. Викладено методику оцінювання ефективності системи. Отримано залежності показників ефективності системи від основних експлуатаційних параметрів.

Г.А. Баласанян, А.С. Стадниченко, А.С. Головатюк. Оценка эффективности теплоснабжения системы с геотермальным источником теплоты. Предложена система теплоснабжения, которая обеспечивает эффективное использование теплонасосной установки и геотермального источника теплоты. Предложена методика оценивания эффективности системы. Получены зависимости показателей эффективности системы от основных эксплуатационных параметров.

G.A. Balasanian, A.S. Stadnichenko, A.S. Golovatyuk. Estimation of efficiency of heat supply systems with a geothermal source of heat. The system of heat supply, which provides the effective use of a heatpump plant and geothermal source of heat, is offered. The method of evaluating the efficiency of the system is expounded. Dependences of the system's efficiency indexes on basic operating parameters are obtained.

В последнее десятилетие использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) переживает в мире настоящий бум. Масштаб их применения возрос в несколько раз. Данное направление развивается наиболее интенсивно по сравнению с другими направлениями энергетики. Причин этого несколько. Прежде всего, очевидно, что эпоха дешевых традиционных энергоносителей бесповоротно закончилась. Не менее значимо стремление многих стран, лишенных своей топливной базы, к энергетической независимости. Существенную роль играют экологические соображения по выбросу вредных газов. Активную моральную поддержку применению НВИЭ оказывает население развитых стран.

К альтернативным источникам, которые, по мнению специалистов, в данное время могут быть эффективно использованы в энергетическом хозяйстве Украины, относятся энергия солнца, ветра, биомассы, малых рек и водосбросов, геотермальная энергия. Последняя является привлекательной для энергетического комплекса страны в плане ресурсного потенциала.

В результате проведения комплекса обобщающих оценок геолого-структурных, геотермических и гидрогеологических условий и критериев установлено, что геотермальные воды в количестве, достаточном для формирования базы практического использования, развиты в Закарпатье и в Крыму [1].

В начале 80-х гг. прошлого века в Сакском и на юге Первомайского районов на глубине 1100...1200 м вскрыты водоносные слои с температурой 50...60 °С. В пределах Симферопольского и Красногвардейского районов вскрыты слои с температурой 80 °С, использование которых позволило обеспечить тепло села Сизовку, Ильинку, Трудовое. В северной, восточной, и западной части Крыма на глубине до 4000 м залегают геотермальные воды с температурой до 200 °С, на основе которых можно создать сеть станций геотермального теплоснабжения в сельской местности. Геотермальные источники могут давать тепло на отопление и горячее водоснабжение жилых и производственных зданий в течение всего года, что позволит значительно сэкономить органическое топливо на отопительных котельных и улучшить экологическую обстановку в населенных пунктах полуострова [2].

Наиболее перспективными для использования в геотермальных системах теплоснабжения (ГСТ) можно считать термальные воды с температурой 50...80 °С, что обусловлено их относительной распространенностью и доступностью, относительно небольшой глубиной залегания, а следовательно, и стоимостью добычи [3].

При условии, что геотермальная вода маломинерализована, для использования геотермальных вод предложено широкое разнообразие схем теплоснабжения [5]. Каждая из них имеет свои особенности применения. Наиболее перспективными являются схемы с тепловым насосом (ТН), однако их наличие заведомо приводит к значительному усложнению схемы.

Предлагается использовать геотермальную тепловую схему с подачей геотермальной воды параллельно на отопление и горячее водоснабжение (ГВС), а пиковый догрев осуществлять спомощью ТН (рис. 1).

Использование ТН в тепловой схеме позволяет значительно расширить температурный диапазон отопительных нагрузок потребителя, а также повысить эффективность использования геотермального источника за счет увеличения температурного предела геотермальных вод, срабатываемого в системе.

В такой системе доля тепла геотермальной воды тем больше, чем ниже расчетная температура в системе отопления 7. Поэтому целесообразно применение конвекторной или панельной системы отопления 7, расчетная температура в которой 40...45 °С, и геотермальный источник 1, по существу, превращается в базисный генератор тепла для отопления, работающий весь отопительный сезон.

Техническая реализация ГСТ и ТН должна обеспечить возможно большую эффективность срабатывания теплового потенциала геотермального теплоносителя при одновременном минимальном удельном расходе геотермальной воды на единицу расчетной тепловой нагрузки [4].

Эффективность ГСТ для отопления и горячего водоснабжения определяется коэффициентом [5]

$$\eta_{\text{геот}} = \zeta(\alpha i_{\text{от}} Z_{\text{от}} (1 - d_{\text{п}}^{\text{от}}) + \beta i_{\text{ГВС}} Z_{\text{ГВС}} (1 - d_{\text{п}}^{\text{ГВС}})), \quad (1)$$

где ζ — степень относительного увеличения расчетного дебита термоводозабора скважины;

α, β — доли расчетного дебита геотермальной воды, расходуемые соответственно на отопление и ГВС;

$i_{\text{от}}, i_{\text{ГВС}}$ — степени относительного срабатывания температурного перепада геотермальной воды на отопление и ГВС;

$Z_{\text{от}}, Z_{\text{ГВС}}$ — степени относительного использования максимумов отопительной нагрузки и нагрузки после ГВС;

$d_{\text{п}}^{\text{от}}, d_{\text{п}}^{\text{ГВС}}$ — соответственно доли пикового догрева сетевой водой от когенерационной установки в годовом тепловом балансе системы геотермальной воды для отопления и ГВС.

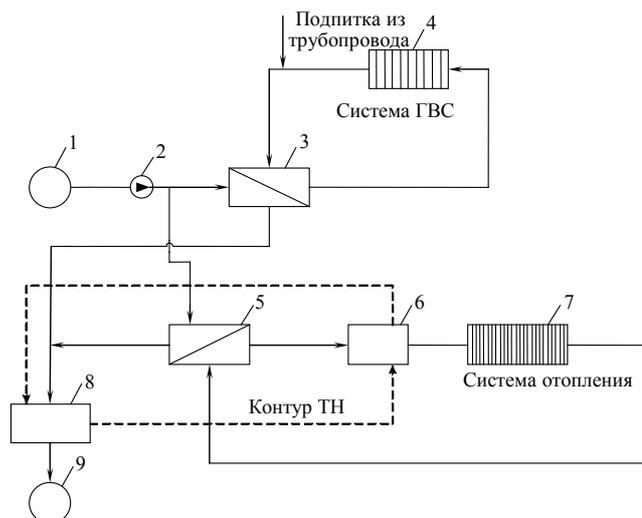


Рис. 1. Система теплоснабжения с геотермальным источником тепла: 1 — геотермальный источник; 2 — насос подачи геотермальной воды; 3 — бойлер ГВС; 4 — система ГВС; 5 — бойлер отопления; 6 — конденсатор ТН; 7 — система отопления; 8 — испаритель ТН; 9 — скважина утилизатор

Степень относительного увеличения расчетного дебита термоводозабора скважины ζ определяется по графикам в зависимости от средневзвешенной величины коэффициента использования геотермального источника

$$\bar{\tau}_{\text{СКВ}} = \alpha \bar{\tau}_{\text{СКВОТ}} + \beta \bar{\tau}_{\text{СКВГВС}}, \quad (2)$$

где $\bar{\tau}_{\text{СКВОТ}}$, $\bar{\tau}_{\text{СКВГВС}}$ — соответственно коэффициенты использования термоводозабора скважины на отопление и ГВС.

Коэффициенты уравнения (2) определяются выражениями

$$\bar{\tau}_{\text{СКВОТ}} = \frac{T_{\text{ПИК}}^{\text{ОТ}}}{T_{\text{ЭКС}}} + \frac{(T_{\text{СЕЗ}} - T_{\text{ПИК}}^{\text{ОТ}})}{T_{\text{ЭКС}}} \frac{(t_{\text{T}}^{\text{ОТ}} - t_{\text{С}}^{\text{ОТ}})}{(t_{\text{T}}^{\text{ОТ}} - t_{\text{В}} - \Delta t) - \varphi_{\text{ОТ}}(t_{\text{С}}^{\text{ОТ}} - t_{\text{В}} - \Delta t)},$$

$$\bar{\tau}_{\text{СКВГВС}} = \frac{T_{\text{ГВС}}}{T_{\text{ЭКС}}},$$

где $T_{\text{СЕЗ}}$, $T_{\text{ГВС}}$, $T_{\text{ПИК}}^{\text{ОТ}}$, $T_{\text{ЭКС}}$ — соответственно продолжительность отопительного сезона, ГВС, пикового догрева ТН и эксплуатации скважины за год, ч;

t_{T} , $t_{\text{С}}^{\text{ОТ}}$, $t_{\text{В}}$ — соответственно температуры геотермальной воды на выходе из скважины, сбросной воды после системы отопления и воздуха в помещении, °С;

Δt — разность температур теплоносителей на “горячем” конце противоточного теплообменника бойлеров ГВС и отопления, °С;

$\bar{\varphi}_{\text{ОТ}} = \varphi_{\text{П}} + \frac{\varphi_{\text{К}}}{2} \varphi_{\text{П}}$ — относительный коэффициент отпуска теплоты;

$\varphi_{\text{П}} = \frac{(t_{\text{T}} - t_{\text{В}} - \Delta t)}{(t_{\text{T}}^{\text{ОТ}} - t_{\text{В}} - \Delta t)}$; $\varphi_{\text{К}} = \frac{(t_{\text{ТК}} - t_{\text{В}} - \Delta t)}{(t_{\text{T}}^{\text{ОТ}} - t_{\text{В}} - \Delta t)}$ — коэффициенты отпуска теплоты, соответствующие

моментам отключения пикового догрева и окончания отопительного сезона;

$t_{\text{ТК}}$ — температура воды на выходе системы отопления в момент окончания отопительного сезона, °С.

Доли расчетного дебита геотермальной воды рассчитываются по формулам

$$\alpha = \frac{Q_{\text{ОТ}}^{\text{П}}}{(Q_{\text{ОТ}}^{\text{П}} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}}) c_{\text{ГВ}} G_{\text{T}}^{\text{УД}} \Delta t_{\text{ОТ}}},$$

$$\beta = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}}}{(Q_{\text{ОТ}}^{\text{П}} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}}) c_{\text{ГВ}} G_{\text{T}}^{\text{УД}} \Delta t_{\text{ГВС}}}, \quad (3)$$

$$\alpha + \beta = 1,$$

где $Q_{\text{ОТ}}^{\text{П}}$, $Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}}$ — соответственно расчетные нагрузки отопления и ГВС [5], кВт;

$\Delta t_{\text{ОТ}}$, $\Delta t_{\text{ГВС}}$ — перепады температур греющего теплоносителя в системах отопления и ГВС, °С;

$c_{\text{ГВ}}$ — удельная теплоемкость геотермальной воды, кДж/(кг · °С);

$G_{\text{T}}^{\text{УД}} = \frac{1}{c_{\text{ГВ}} (Q_{\text{ОТ}}^{\text{П}} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}})} \left(\frac{Q_{\text{ОТ}}^{\text{П}}}{\Delta t_{\text{ОТ}}} + \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{П}}}{\Delta t_{\text{ГВС}}} \right)$ — удельный расход геотермальной воды, приходя-

щейся на единицу расчетной тепловой нагрузки объекта (1 Мвт), кг/с.

Степени относительного срабатывания температурного перепада геотермальной воды на отопление и ГВС рассчитываются по формулам

$$i_{\text{ОТ}} = \frac{t_{\text{T}}^{\text{ОТ}} - t_{\text{С}}^{\text{ОТ}} - \Delta t}{t_{\text{T}} - \Delta t};$$

$$i_{\text{ГВС}} = \frac{t_{\text{T}} - t_{\text{c}}^{\text{ГВС}} - \Delta t}{t_{\text{T}} - \Delta t}, \quad (4)$$

где $t_{\text{T}}^{\text{от}}$, $t_{\text{c}}^{\text{ГВС}}$ — соответственно температуры геотермальной воды после догрева в конденсаторе ТН и сбросной воды после бойлера 3 ГВС, °С;

Степени относительного использования максимума отопительной нагрузки и максимума нагрузки ГВС рассчитываются как

$$Z_{\text{от}} = \frac{T_{\text{сез}} \Phi_{\text{срот}}}{T_{\text{экс}}};$$

$$Z_{\text{ГВС}} = \frac{T_{\text{ГВС}}}{T_{\text{экс}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{сез}}$ — продолжительность отопительного сезона,

$$\Phi_{\text{срот}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{нсп}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} \text{ — средний за сезон коэффициент отпуска теплоты ГТС для системы отопления,}$$

где

$t_{\text{н}}$, $t_{\text{нсп}}$ — соответственно расчетная и средняя фактическая температура наружного воздуха, °С.

Оценка эффективности ГСТ с геотермальным источником тепла позволяет определить зависимость $\eta_{\text{геот}}$ (1) от основных эксплуатационных параметров системы: температуры термальной воды t_{T} , температуры сбросной воды t_{c} , температуры воды на отопление $t_{\text{T}}^{\text{от}}$ и ГВС — t_{T} , соотношения тепловой нагрузки на ГВС и отопление $Q_{\text{ГВС}} : Q_{\text{от}}$ (рис. 2, а, б, в, г, д, соответственно).

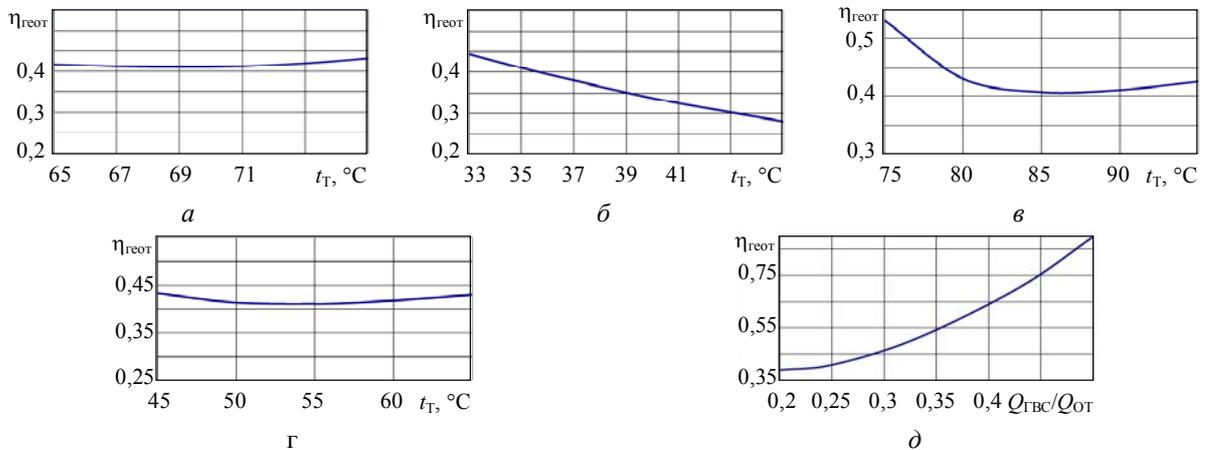


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности геотермального источника тепла $\eta_{\text{геот}}$ от основных эксплуатационных параметров ГСТ

Исходные данные, используемые для расчета эксплуатационных показателей [5]:

- продолжительность отопительного сезона $T_{\text{сез}}$ — 160 сут;
- продолжительность эксплуатации геотермального источника за год, $T_{\text{экс}}$ — 8500 ч;
- продолжительность работы ГВС $T_{\text{ГВС}}$ — 8500 ч;
- температура геотермальной воды, t_{T} — 70 °С ;
- температура воздуха в помещении, $t_{\text{в}}$ — 20 °С ;

- температура сбросной воды, t_c — 35 °С;
- температура воды на отопление, $t_{\text{ТГ}}^{\text{ОТ}}$ — 90 °С;
- расчетная температура наружного воздуха, t_n — -15 °С;
- средняя за отопительный сезон фактическая температура наружного воздуха, $t_{\text{нсп}}$ — 0 °С;
- температура воды на ГВС, $t^{\text{ГВС}}$ — 55 °С;

Анализ графиков показывает значение коэффициента $\eta_{\text{геот.мин}} = 0,41$ при температуре геотермальной воды на входе в ГСТ $t = 69$ °С, температурах теплоносителя на отопление $t_{\text{ТГ}}^{\text{ОТ}} = 85$ °С и на ГВС $t^{\text{ГВС}} = 55$ °С (см. рисунок 2, а, в, г, соответственно). Увеличение температуры t_c сбросной воды (см. рисунок 2, б) ведет к снижению $\eta_{\text{геот}}$, вследствие уменьшения перепада температуры теплоносителя Δt , срабатываемого в системе. При увеличении доли тепла на ГВС $Q_{\text{ГВС}} : Q_{\text{ОТ}}$ коэффициент эффективности $\eta_{\text{геот}}$ значительно повышается (см. рисунок 2, д), что определяется низкой, по сравнению с отоплением, температурой воды на ГВС, соответственно $t^{\text{ГВС}} = 55$ °С и $t_{\text{ТГ}}^{\text{ОТ}} = 90$ °С и, следовательно, меньшей долей догрева теплоносителя на ГВС по сравнению с отоплением.

Таким образом, предложена схема геотермального теплоснабжения на базе геотермального источника тепла и ТН. Проведена оценка эффективности геотермальной системы теплоснабжения, исследована зависимость эффективности системы от основных эксплуатационных показателей. Для повышения эффективности системы теплоснабжения и сокращения удельного расхода геотермальной воды необходимо использовать системы отопления с увеличенным расчетным перепадом температур теплоносителя, пиковым догревом в конденсаторе ТН, предпочтительным использованием геотермальной теплоты на горячее водоснабжение.

Литература

1. Яна Магда. Геотермальные ресурсы: возможности использования в Украине / Я. Магда / Энергетическая политика Украины. — 2004. — № 4. — С. 23 — 30.
2. Слепокуров, А.С. Концепция энергосбережения в основных отраслях экономики Крыма [Электронный ресурс] / А.С. Слепокуров // Тр. Крым. Акад. Наук. — http://www.ccssu.crimea.ua/crimea/ac/6/2_2.html — 26.04.2009.
3. Баласанян, Г.А. Оценка эффективности интегрированных когенерационных систем / Г.А. Баласанян // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2006. — № 3. — С. 9 — 12.
4. Дворов, И.М. Геотермальная энергетика / И.М. Дворов. — М.: Наука, 1976. — 192 с.
5. Красиков, В.И. Геотермальное теплоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений [Электронный ресурс] / В.И. Красиков. — www.topclimat.ru/instructions/download.php?down=VSN_56-87.doc — 15.01.2009.

Рецензент д-р техн наук, проф Одес. нац. политехн. ун-та Никульшин В.Р.

Поступила в редакцию 30 марта 2009 г.