

УДК 662.995+536.242

БАСОК Б.И., НАКОРЧЕВСКИЙ А.И., БЕЛЯЕВА Т.Г.,
ЧАЛАЕВ Д.М., НЕДБАЙЛО А.Н., ГОЛУБ И.С.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ГЕЛИОГЕОТЕРМАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Наведено результати розрахунків розробленого експериментального модуля комбінованої геліогеотермальної установки для комунального теплопостачання на базі сезонного ґрунтового акумулятора сонячної енергії та теплового насосу.

Представлены результаты расчетов разработанного экспериментального модуля комбинированной гелиогеотермальной установки для коммунального теплоснабжения на базе сезонного грунтового аккумулятора солнечной энергии и теплового насоса.

The results of calculation experimental module of combined heliogeothermal installation for municipal heat supply on basis of seasonal ground storage of solar energy and heat pump.

a – коэффициент температуропроводности;
 c – удельная теплоемкость;
 d, D – диаметр;
 E_i – энергия;
 G – расход;
 H, h, Z – высота;
 I – интенсивность солнечной радиации;
 L – шаг;
 N – мощность внешнего источника;
 q – плотность теплового потока;
 Q – количество теплоты;
 Δp – перепад давления;
 R – радиус (длина) распространения теплоты;
 S – площадь теплообмена;
 T – температура;
 τ – время;

V – объем;
 $x, y, z; r, z$ – координаты;
 α – коэффициент теплоотдачи;
 r – коэффициент сопротивления;
 λ – коэффициент теплопроводности;
 η – безразмерная координата, коэффициент эффективности;
 ρ – плотность;
ПВС – подводящая система;
ТО – теплообменник.
Индексы:
 m – массив;
 c – при совместной работе;
 a – при аккумулировании;
 p – при разрядке;
 o – основная область.

Дефицит и удорожание органического топлива, а также резкое ухудшение экологической ситуации заставляет искать новые альтернативные источники энергии. Анализ современных технологий, использующих нетрадиционные источники энергии, показал, что наиболее перспективной областью их внедрения является теплоснабжение зданий (отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование). В этом плане неистощаемым и экологически чистым источником энергии является солнечная энергия. Температурный потенциал современных солнечных коллекторов невелик и составляет примерно 50...60 °С. Энер-

гию с таким потенциалом рационально использовать для коммунального теплоснабжения. Неравномерность солнечного излучения не дает возможности полноценного использования этого источника круглогодично. Пик интенсивности солнечной радиации приходится на теплое время года с апреля по сентябрь. А отопительный сезон, длительность которого для средних широт составляет 180 дней, совпадает с наименьшими поступлениями солнечной радиации. Поэтому возникает необходимость аккумулирования теплоты солнечной радиации в теплое время года и эффективного ее использования в холодное вре-

мя года. Для этого нужны значительные тепловые емкости накопителей. Такими накопителями могут быть искусственно созданные резервуары. Однако, даже для небольших зданий создание таких искусственных резервуаров проблематично из-за значительного объема и больших площадей с надежной теплоизоляцией. Например, для коттеджа с отапливаемой площадью 300 м² при экономных затратах на обогрев помещения 60 Вт/м² и горячее водоснабжение 250 Вт/чел., необходимая тепловая мощность – 21 кВт и полугодовая энергоемкость составит $0,327 \cdot 10^{12}$ Дж. Объем подземного резервуара должен быть 1961 м³, а с поправкой на реальный тепловой КПД еще больше. Искусственное создание такой водяной емкости, покрывающей потребность всего в 21 кВт, экологически опасно. В этой связи, если нет природных подземных водяных резервуаров, следует ориентироваться на естественные грунтовые массивы.

Математическое моделирование грунтового аккумуляирования-разрядки теплоты с помощью разнообразных трубных систем, по которым циркулирует промежуточный теплоноситель, обычно вода, нагреваемая солнечными коллекторами (аккумуляирование), либо охлаждаемая в теплообменном контуре теплового насоса, установило [1-3] низкую эффективность работы одиночных теплообменных устройств, что обусловлено высоким тепловым сопротивлением грунта и малым исходным потенциалом теплоносителя. Поэтому температура аккумуляирования практически не отличается от исходной температуры грунтового массива ($T_M \sim 10$ °С). При разрядке из-за высокого теплового сопротивления грунта температура воды, подаваемой в тепловой насос, будет меньше температуры грунтового массива T_M , что приводит к низкому значению коэффициента преобразования теплового насоса.

Существенно повысить потенциал аккумуляированной энергии можно только при организации встречно направленных тепловых потоков, разместив в грунте “куст” из k теплообменников. При этом создается основной массив аккумуляирования с высокой температурой и буферный подмассив, примыкающий к основному. С увеличением емкости основного массива влияние буферной подобласти уменьшается, и эффективность аккумуляирования

мулирования возрастает. Поэтому наиболее перспективным может быть аккумуляирование-разрядка для энергоемких потребителей, например для поселка на несколько тысяч жителей.

В рамках программы “Экологически чистая энергетика Украины” был разработан проект экспериментального модуля комбинированной геологеотермальной установки для теплоснабжения.

Экспериментальный модуль состоит из подземного грунтового аккумулятора теплоты (ПАТ), системы солнечных коллекторов (СК), теплового насоса (ТН) (рис. 1). Аккумуляированная в грунтовом массиве в течение полугода солнечная энергия извлекается в холодное время года и расходуется на отопление и горячее водоснабжение. Основные исходные данные приведены в табл. 1.

Как объект выбран грунтовой массив на территории ИТТФ НАНУ. Рассмотрены 2 варианта псевдоцилиндрического “куста” из 7 и 12 вертикальных теплообменников (рис. 2). При этом в первом случае создается цилиндр основной области аккумуляирования с $D = 3,0$ м, а во втором – с $D = 3,66$ м. На рис. 3 нанесены границы действия каждого из теплообменников. Для постановки задачи в цилиндрической системе координат необходимо, чтобы рабочая длина (высота) теплообменников Z была больше D на порядок. Ограничимся $Z = 15$ м.

С учетом [1-3] линейный размер буферной подобласти при равномерном распределении температур в основной области определяется зависимостью

$$R_s = \sqrt{\frac{24}{i} a_m \tau},$$

где $i=1$ в прямоугольной, $i=2$ в цилиндрической системе координат, τ отсчитывается от начала аккумуляирования. С учетом геологических характеристик грунтового массива (глина или суглинок) R_s к концу аккумуляирования достигнет 10,6 м ($\tau = 1,555 \cdot 10^7$ с) и 15 м под конец года ($\tau = 3,11 \cdot 10^7$ с). Согласно проведенному анализу глубин изменения температур в грунте г. Киева на глубине $h = 5,0$ м температура грунта постоянная и равна $T_M = 8$ °С. Таким образом, на глубину $H = 16$ м от поверхности земли теплообменная поверхность должна быть теплоизолирована. Глубина бурения скважины

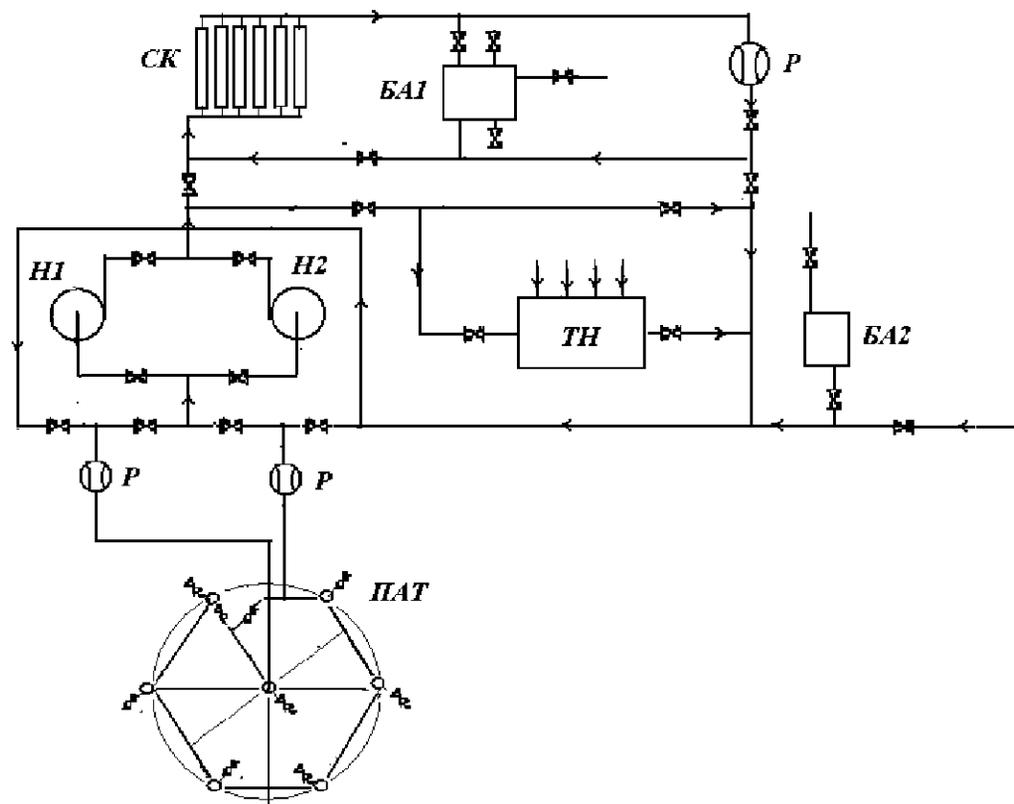


Рис. 1. Принципиальная схема гелиогеотермального экспериментального модуля. СК – солнечные коллекторы, БА – бак-аккумулятор, Н1, Н2 – циркуляционные насосы, ТН – тепловой насос, Р – расходомер, ПАТ – подземный аккумулятор теплоты.

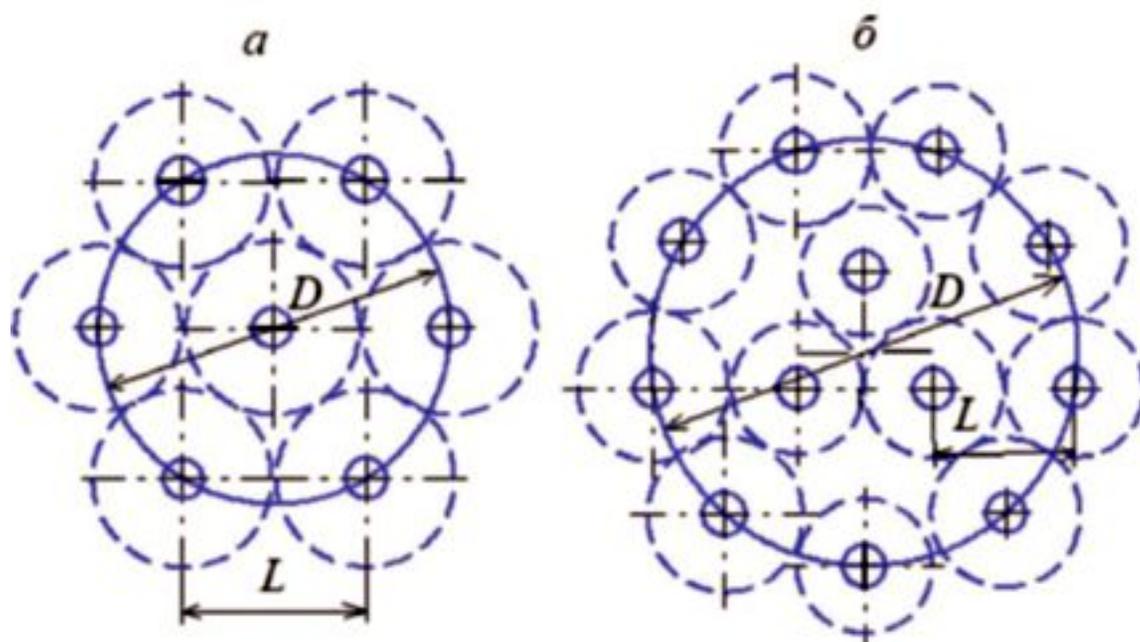


Рис. 2. Расположение теплообменников в кусте. а – 7 теплообменников; б – 12 теплообменников.

Табл. 1.

№ п/п	Характеристика	Величина
1	Продолжительность отопительного сезона, дней	180
2	Среднегодовая тепловая мощность, кВт	2,1
3	Период работы модуля в режиме «зарядки» аккумулятора, дней	180
4	Температура теплоносителя в режиме «зарядки» на входе в грунтовой аккумулятор, не более, °С	50
5	Характеристики грунта: глубина годовых изменений температуры, м температура массива, °С теплопроводность, Вт/м·К теплоемкость, Дж/(кг·К) плотность, кг/м ³	5 8 0,8 0,84 · 10 ³ 1,8 · 10 ³

под теплообменники, и их длина в грунте должна быть $(Z + H) = 31$ м.

В соответствии с приведенными данными были определены объемы основной области аккумулярования и буферной подобласти (рис.3) для двух вариантов, которые приведены в табл.2

Количество аккумулярованной теплоты к концу сезона будет

$$E_a = (T_{c,max} - T_m) \rho_m c_m (W_o + W_d + W_{ц} + W_{сф}),$$

где в последней скобке последовательно отражены “тепловой” вклад объемов $V_o, V_d, V_{ц}, V_{сф}$, подсчитанный согласно распределению температур в буферной подобласти:

$$\frac{T - T_m}{T_{c,max} - T_m} = (1 - \eta)^3 (1 + 3\eta),$$

$$\eta = \frac{r - R_o}{R_s}, \eta \in [0, 1].$$

Вычисления дали такие результаты (в “тепловых” кубометрах, а в скобках – для второго варианта):

$$W_o = \pi R_o^2 Z = 106(157,8),$$

$$W_d = 0,8\pi R_o^2 R_s = 62,2(92,6),$$

$$W_{ц} = 2\pi R_s Z (R_o + R_s) \left(0,1 + 0,3 \frac{R_o}{(R_o + R_s)} \right) = 1762,4(1899,3),$$

$$W_{сф} = 4\pi R_s^3 \left(0,0381 + 0,157 \frac{R_o}{R_s} \right) = 995,3(1074,1),$$

$$W_a = 2925,9(3223,8).$$

Из-за высокой стоимости солнечных коллекторов ограничимся значением температуры в основной области в конце аккумулярования $T_{c,max} = 20$ °С. Тогда для глинистых грунтов ($\rho_m = 1,8 \cdot 10^3$ кг/м³; $\lambda_d = 0,8$ Вт/(м·К); $c = 0,84 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К)) получим

$$E_a = 5,31(5,85) \cdot 10^{10} \text{ Дж}.$$

Тепловой КПД “куста” $\eta_{т.к} = 0,40$ (0,475), что при 8 часовой работе солнечных коллекторов в сутки определит необходимую их среднюю мощность:

$$\langle N \rangle_a = \frac{3E_a}{\eta_{т.к} \tau_a} = 25,6(23,8) \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

При разрядке можно ориентироваться на извлекаемую энергию в количестве E_a , что определяет среднюю мощность:

$$\langle N \rangle_p = \frac{E_a}{\tau_p} = 3,41(3,76) \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Рассмотрены три схемы теплообменников, представленных на рис. 4: *a* – коаксиальная, *b* – U-образная, *в* – U-образная двухпетлевая. Согласно анализу наибольшее отношение теплооб-

Табл. 2.

	$V_0, \text{ м}^3$	$V_d, \text{ м}^3$	$V_{ц}, \text{ м}^3$	$V_{сф.}, \text{ м}^3$	$V_s, \text{ м}^3$
1 вариант	106	155	7257	7429,3	14841,3
2 вариант	157,8	231,5	7599,2	7763,8	15594,5

менного периметра Π_0 к трубному Π_T будет у U-образного теплообменника. Однако при этом неполно используется буровое пространство. Поэтому ориентировались на схемы *a* и *в*. Учитывая реальные возможности проведения буровых работ, диаметр скважины ограничиваем $D < 0,3 \text{ м}$.

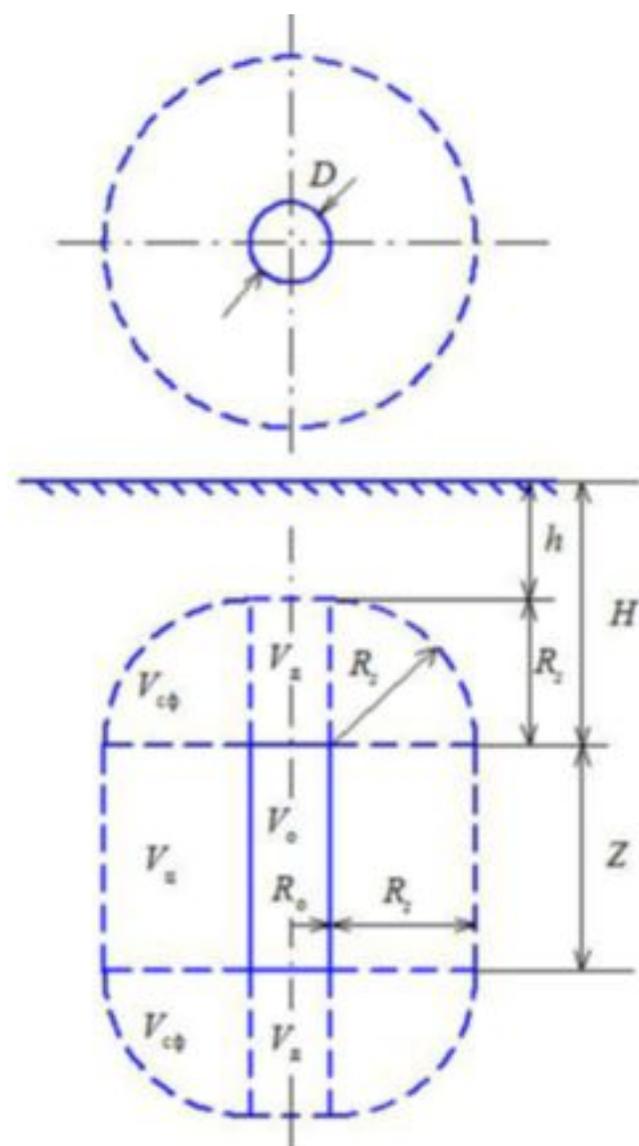


Рис. 3. Массив аккумуляции (план и разрез).

Коаксиальный теплообменник изготавливается из стальных бесшовных труб. Почти эквивалентные площади живых сечений внутренней трубы и межтрубного пространства будут при использовании труб $d_{нар.} = 245 \times 7 \text{ мм}$ и $d_{вн.} = 168 \times 5 \text{ мм}$. Надежная наружная стыковка труб теплообменника обеспечивается обечайкой из трубы $273 \times 12 \text{ мм}$. Площади живых сечений: межтрубного пространства $0,0196 \text{ м}^2$, а внутренней трубы – $0,0197 \text{ м}^2$. Теплообменный периметр $\Pi_0 = 0,770 \text{ м}$.

Для изготовления U-образного двухпетлевого ТО используются трубы из полиэтилена $d = 110 \times 3,5 \text{ мм}$. Теплообменный периметр $\Pi_0 = 0,785 \text{ м}$. Эквивалентные тепловые радиус $R_{0е} = 0,125 \text{ м}$ и толщина стенки $\delta_{we} = \delta_w = 0,0035 \text{ м}$. Площадь живого сечения одной ветви теплообменника – $0,00833 \text{ м}^2$.

При совпадении значений Π_0 обоих теплообменников расчетные плотности тепловых потоков, подсчитанные по формуле:

$$\langle q_0 \rangle = \frac{\langle N \rangle}{\Pi_0 Z_k},$$

будут одинаковыми.

Для куста из 7 теплообменников имеем при аккумуляции:

$$\langle q_0 \rangle_a = 315 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

а при разрядке

$$\langle q_0 \rangle_p = 295 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для куста из 12 теплообменников при аккумуляции

$$\langle q_0 \rangle_a = 170 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

при разрядке

$$\langle q_0 \rangle_p = 108 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Второй вариант предпочтительнее.

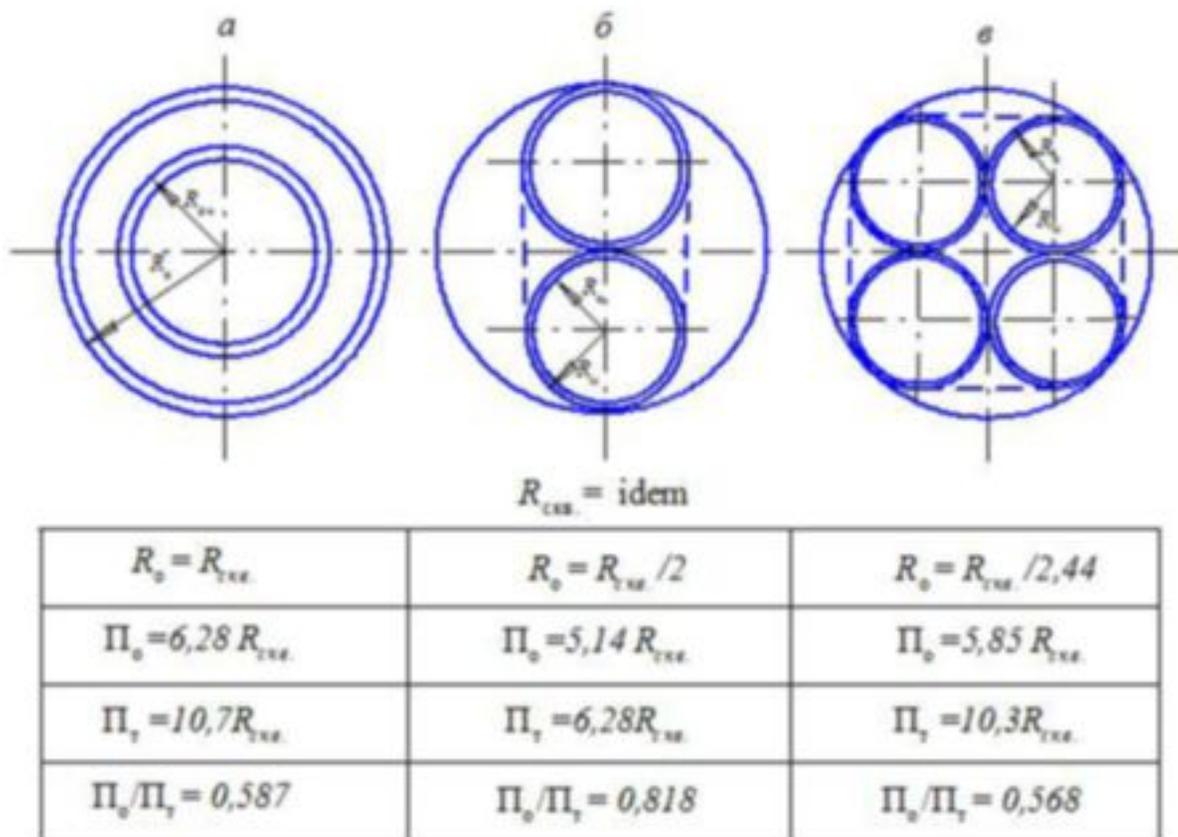


Рис. 4. Схемы теплообменников.

Теплоизоляция ТО на глубину $H = (h + R_o)$ от поверхности почвы должна обеспечить $\langle q_0 \rangle_{\text{max}} < 10 \text{ Вт/м}^2$.

Реализуется способ последовательной “прокачки” теплоносителя через все теплообменники при аккумулировании и через центральные теплообменники при разрядке. Осуществляется реверсный режим работы. Измеряются температуры теплоносителя на входе и выходе из “куста”, а также после двух (трех) теплообменников.

Предусматривается, что при аккумулировании температура теплоносителя снижается на 3 °С. Тогда расход циркулирующей воды составит $Q_B = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, скорость воды в трубах коаксиальных теплообменников будет 0,1 м/с, а в U-образных – 0,24 м/с. В замкнутом циркуляционном контуре затраты энергии определяются только гидравлическими сопротивлениями системы. Для U-образного двухпетлевого теплообменника они больше и определяются тремя поворотами потока на 180° ($\zeta = 3 \times 3$), двумя поворотами на 90°

($\zeta = 1,5 \times 2$) и потерями по длине $X = 31 \times 4 \text{ м}$ ($Re = 2,4 \cdot 10^4$, $\lambda = 0,025$): $\Delta h = 0,13 \text{ м}$.

Для куста из 7 теплообменников потери составят 0,91 м столба жидкости, при 12 теплообменниках – 1,56 м, а полезные затраты энергии на прокачку воды в “кусте” будут соответственно: 1,82 (3,12) Вт. Значительно большие затраты будут в подводяще-отводящей системе (ПВС). Длина коммуникаций складывается из: $l_k = 2(16 + 2) k$ – в “кусте”, $l_T = 2(3 + 50)$ – на наземное транспортирование, $l_{II} = 2 \cdot 10$ – на подъем к солнечным коллекторам, $l_g = 2 \cdot 10$ – разводка на крыше. Принимаем диаметр трубы $D = 50 \times 2$, что при расходе $2 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$ даст скорость теплоносителя 1,2 м/с и число $Re = 5,52 \cdot 10^4$, которому соответствует гидравлический коэффициент трения $\lambda_1 = 0,021$. Общий коэффициент сопротивления $\zeta_r = 182,6$ (264,5). С учетом местных сопротивлений принимаем $\Sigma \zeta = 250$ (375), что определяет перепад давлений при транспортировании теплоносителя $\Delta p = 0,18$ (0,28) МПа.

Табл. 3.

Месяц	Количество дней	Прямая радиация на горизонтальную поверхность		Рассеянная радиация		Коэффициент положения солнечного коллектора P_s	Падающая радиация в плоск. коллектора q_i , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$	Средняя температура воздуха с 8 до 17 час t_{cp} , $^{\circ}\text{C}$	КПД коллектора
		Сумма за день	Сумма за месяц	Сумма за день	Сумма за месяц				
		I_s , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$	I_s , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$	I_D , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$	I_D , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$				
апрель	30	1690	50700	2099	62970	1,27	121665	9,6	0,40
май	31	2637	81747	2568	79608	1,11	163149	17,5	0,42
июнь	30	3298	98940	2738	82140	1,05	178600	20,8	0,47
июль	31	3080	95480	2607	80817	1,08	176628	23,0	0,44
август	31	2607	80817	2159	66929	1,19	157049	21,8	0,41
сентябрь	30	1861	55830	1621	48630	1,42	123511	16,8	0,36

Проведены расчеты динамики начала аккумуляции в глинистых грунтах для U-образного двухпетлевого теплообменника и коаксиального теплообменника при $q_0 = 315 \text{ Вт/м}^2$ (1 вариант) и $q_0 = 170 \text{ Вт/м}^2$ (2 вариант).

Совместная работа теплообменников по первому варианту имеет место при достижении $R = 0,75 \text{ м}$ и отвечает 4,09...4,17 часам от начала закачки. При этом температура теплоносителя достигает значений $38,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (коаксиальный) и $42,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (U-образный), что превышает начальную температуру грунтового массива соответственно на $30,6^{\circ}\text{C}$ и на $34,6^{\circ}\text{C}$. При конечной температуре основной области аккумуляции $T_c = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ нужно поддерживать температуру воды на уровне $50,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $54,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно.

Совместная работа теплообменников по второму варианту начинается при достижении $R = 0,60 \text{ м}$ и отвечает 3,2...3,3 часам от начала закачки. При этом температура теплоносителя достигает значений $23,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (коаксиальный) и $25,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (U-образный), что превышает начальную температуру грунтового массива соответственно на $15,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и на $17,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. При конечной температуре основной области аккумуляции $T_c = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ нужно поддерживать температуру воды на уровне $35,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $37,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Второй вариант, несомненно, предпочтительнее первого.

Необходимая температура теплоносителя не превышает $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому выбираем конструк-

цию солнечного коллектора с одностекольным покрытием и стальным теплоприемным вкладышем. Технические характеристики солнечного коллектора следующие: приведенный коэффициент теплопотерь $U = 8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}$, приведенная оптическая характеристика $\theta = 0,73$. Часовые суммы падающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность (прямой и рассеянной) и температуру наружного воздуха для Киева принимаем по [4]. Эти данные усреднены по результатам многолетних наблюдений.

Интенсивность падающей солнечной радиации в плоскости коллектора

$$q_i = P_s I_s + P_D I_D,$$

где I_s – интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, I_D – интенсивность рассеянной солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, P_s, P_D – коэффициенты положения солнечного коллектора для прямой и рассеянной радиации.

Для рассеянной радиации

$$P_D = \cos^2 b/2,$$

где b – угол наклона солнечного коллектора к горизонту.

Среднемесячное значение коэффициента положения солнечного коллектора P_s для прямой солнечной радиации для широты Киева ($\varphi = 50^{\circ} \text{ с.ш.}$, $b = \varphi - 15 = 35^{\circ}$) приведено в табл. 3

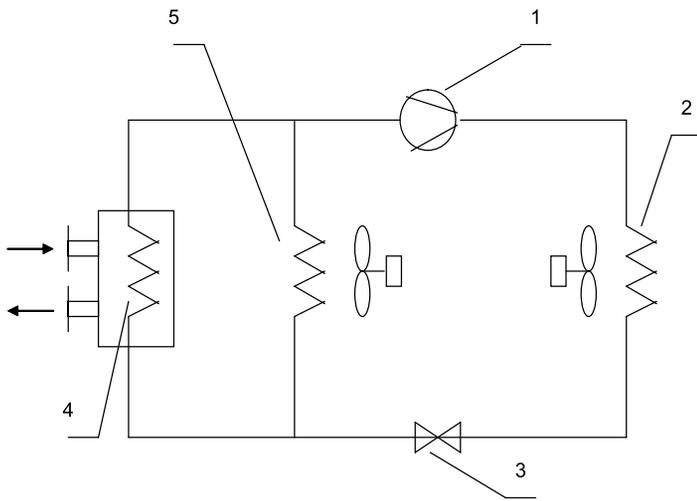


Рис. 5. Схема теплового насоса.
Обозначения: 1 – компрессор, 2 – воздушный конденсатор, 3 – дроссель, 4 – испаритель, 5 – теплообменник.

КПД гелиоустановки рассчитывается по формуле:

$$\eta = 0,8 \left\{ \theta - \frac{\tau \cdot U \cdot [0,5(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}})] - t_e}{\sum q_i} \right\},$$

где θ – приведенная оптическая характеристика, τ – число часов работы солнечного приемника в течение дня (с 8 до 17 часов), $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$ – температура теплоносителя на входе и выходе из солнечного коллектора; t_e – средняя температура воздуха; $\sum q_i$ – интенсивность падающей солнечной радиации в плоскости коллектора.

Помесячные расчетные величины интенсивности падающей солнечной радиации в плоскости коллектора и КПД коллектора приведены в табл. 3

При данных величинах падающей солнечной радиации необходимая площадь солнечных коллекторов составляет

$$A = \frac{Q_a}{\sum q_i \eta_i}.$$

При первом варианте “куста” грунтовых теплообменников: $A = 95,3 \text{ м}^2$, при 2-м варианте “куста” – $A = 88,1 \text{ м}^2$.

Размер одного гелиоприемника составляет $0,6 \times 1,2 \text{ м}$, площадь $\approx 0,8 \text{ м}^2$.

Таким образом, для обеспечения заданной тепловой нагрузки необходимо гелиополе из 110 солнечных коллекторов.

Для нагрева теплоносителя в солнечном коллекторе за один проход на $3...5 \text{ }^\circ\text{C}$ удельный расход через коллектор должен составлять $\approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$.

Количество параллельно подключенных коллекторов

$$n = \frac{G_{\text{в}}}{2 \cdot 10^{-5}} = 100,$$

где $G_{\text{в}}$ – средний расход циркулирующей в контуре воды.

При параллельном соединении всех 110 коллекторов удельный расход через каждый коллектор составит $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует требуемому расходу.

Для повышения температурного потенциала теплоты при разрядке грунтового аккумулятора используется тепловой насос компрессорного типа с рабочим телом фреоном R22.

Тепловой насос включает (рис. 5) последовательно соединенные компрессор 1, воздушный конденсатор с принудительной вентиляцией 2, дроссель 3 и испаритель в виде теплообменника фреон-вода. Параллельно испарителю подключен дополнительный теплообменник 5 фреон-воздух. Такая компоновка теплонасосного агрегата позволяет реализовать разные схемы теплонасосного отопления и летом осуществлять кондиционирование с одновременной утилизацией конденсации хладагента.

Рассмотрим теплонасосное отопление с использованием низкопотенциальной теплоты грунтового аккумулятора. Работа установки происходит следующим образом. Компрессор 1 нагнетает пары фреона в воздушный конденсатор, где они конденсируются при температуре около $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Теплота конденсации отводится циркулирующим через конденсатор воздухом и используется для воздушного отопления помещений. Сконденсировавшийся жидкий фреон поступает через дроссель 3 в испаритель 4 и начинает вскипать, отбирая теплоту от воды, которая циркулирует по контуру испаритель – грунтовый теплообменник. Образовавшиеся в испарителе 4 пары хладагента откачиваются компрессором 1 и на-

гнетаются в конденсатор 2, после чего цикл повторяется.

Энергетическая эффективность теплонасосного цикла оценивается величиной коэффициента преобразования, который равен отношению полученной в конденсаторе теплоты к затраченной компрессором работе:

$$\mu = \frac{q_0 + A_l}{A_l} = 1 + \varepsilon,$$

где q_0 – низкотемпературная теплота, подведенная к испарителю, A_l – работа, затраченная на привод компрессора, $q_0 + A_l$ – высокотемпературная теплота, выделяющаяся в конденсаторе, ε – холодильный коэффициент.

Величина холодильного коэффициента ε и, соответственно, коэффициента преобразования μ зависит от разности давлений (температур) испарения и конденсации хладагента. Чем меньше эта разность, т.е. чем меньше надо дожимать пары хладагента, тем холодильный коэффициент выше.

Выбор оптимальных температурных режимов работы теплового насоса необходимо осуществлять с учетом соотношения технико-экономических показателей системы солнечный коллектор – грунтовый теплообменник, т.к. с повышением температуры грунтового аккумулятора эффективность теплового насоса увеличивается, а КПД подземного аккумулирования и КПД солнечного приемника, наоборот, уменьшается.

Далее рассмотрим теплонасосное отопление с использованием теплоты окружающей среды.

При данном режиме работы теплонасосного агрегата параллельно основному испарителю включается в работу дополнительный теплообменник 5. Испарение хладагента осуществляется (частично или полностью) за счет теплоты окружающей среды. В остальном, теплонасосный цикл аналогичен предыдущему.

Интересен вариант летнего кондиционирования воздуха.

Переключение установки на режим кондиционирования воздуха в летнее время осуществляется путем реверсирования циркуляции хладагента. При этом воздушный конденсатор 2 работает в режиме испарителя, а теплообменники 3 и 4 – как конденсаторы. Работа кондиционера происходит следующим образом. Жидкий

хладоагент вскипает в теплообменном аппарате 2 и отбирает теплоту от воздуха в помещении. Образовавшиеся при кипении пары хладагента нагнетаются компрессором в теплообменник 4 (или 5) и конденсируются. Теплота конденсации отводится водой в грунтовый аккумулятор (или рассеивается в окружающую среду).

Использование теплоты конденсации хладагента для зарядки сезонного теплового аккумулятора позволяет увеличить эффективность установки и повысить надежность ее работы при неблагоприятных погодных условиях.

Принято решение о выделении комнаты корпуса № 1 ИТТФ для теплоснабжения и размещения управляюще–измерительных систем. В этом помещении должны быть расположены: два насоса (один из них резервный), тепловой насос, расширительный бак для теплоносителя, показывающие и регистрирующие приборы.

При проведении экспериментальных исследований должны фиксироваться:

а) температуры теплоносителя в указанных на схемах местах, а также температура грунтового массива на глубинах 23,5 м, для чего необходимо пробурить 12 мерных скважин.

б) расходы теплоносителя, напор и мощность (энергия), потребляемая насосом.

Для измерения температуры и расходов используются цифровые приборы НВО “Термоприбор” (г.Львов). В состав измерителей входят:

1. Терморегуляторы температуры РТ-0102К, которые работают в комплекте с преобразователем сопротивления. Связь с компьютером осуществляется через интерфейс RS232 или RS485. Этот прибор служит для измерений в одной точке, класс точности – 0,1.

2. Цифровой прибор контроля и регулирования температуры ПКРТ-0103К, имеющий восемь каналов измерений и работающий в комплекте с преобразователем сопротивления 100П. В приборе предусмотрена связь с компьютером через интерфейс. Приборы могут быть объединены в компьютерную сеть. Класс точности 0,1.

Расходы в сети подачи воды измеряются цифровыми регуляторами РТ-0102К в комплекте с первичными преобразователями физической величины расходов “Сапфир 22ДД” – класс точности 0,1. Связь с компьютером осуществляется че-

рез интерфейс RS232 или RS485. Давление измеряется образцовыми манометрами типа МО.

Цифровые регуляторы РТ-0102Л и ПКРТ-0103Л осуществляют автоматическое измерение и индикацию текущего значения температуры воды в подающих и обратных трубопроводах; текущего значения температуры в грунте на различных глубинах; текущих значений расходов воды в подающих и обратных трубопроводах и суммарные расходы. Эти данные передаются через систему интерфейс на персональный компьютер.

Замеры температуры в грунте на разной глубине производятся первичными преобразователями температуры серии ТСП 1388, которые изготавливаются по категории защиты IP54 таким образом, что замеры осуществляются на заданной глубине в текущем режиме. Данные приборы и первичные преобразователи сопротивления, стойкие к влиянию окружающей среды от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 95%. Приборы, стойкие к влиянию атмосферного давления, защищены от попадания во внутрь прибора пыли и воды.

По данному проекту необходимо осуществлять следующие измерения температуры: на входе в подающие трубопроводы – 2 точки замера, на обратном трубопроводе – 2 точки замера, 3 точки замера при подаче воды по трубопроводам в грунт; замеры температуры грунта на глубине.

Приборы и оборудование через пульта управления связаны с компьютерной сетью.

Проведена оценка капитальных затрат, необходимых для создания экспериментального модуля на основании данных, полученных при расчете и выборе основного оборудования. Затраты на создание экспериментального модуля составляют 200...270 тыс. грн., в зависимости от количества скважин, типа грунтового теплообменника, а также материала, из которого изготавливаются трубы (металлические или полиэтиленовые). Одну треть затрат составляют затраты на контрольно-

измерительные приборы, которые необходимы для измерения расходов и температуры теплоносителя, температуры грунта.

Выводы

1. Разработан проект экспериментального модуля комбинированной гелиогеотермальной установки для теплоснабжения с целью экспериментальной проверки возможности долговременного аккумулирования солнечной энергии за счет создания в грунте высокотемпературного массива и использования этой энергии для отопления помещений.

2. Реализация экспериментального модуля позволит сэкономить органическое топливо и снизить объемы выбросов вредных газов (окислов серы и азота) и основного компонента парниковых газов – диоксида углерода.

3. Наиболее эффективно применение установок с использованием грунтового теплообменника для отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования коттеджей или небольших поселков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беляева Т.Г.* Проблемы грунтового аккумулирования теплоты и методы их решения // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25 – № 3 – С. 42–50.
2. *Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беляева Т.Г.* Моделирование аккумулирования–разрядки теплоты в неограниченном грунтовом массиве // Труды V Минского международного форума по тепломассообмену – 2004. – Т. 3 – доклад 3–21.
3. *Накорчевский А.И.* Динамика грунтового аккумулирования теплоты и выбор рациональных решений // ИФЖ. – 2004. – Т. 77. – №4. – С. 10–19.

Получено 10.11.2005 г.