

УДК 697.3

**Замалеев З.Х.** – кандидат технических наук, доцентE-mail: [kafedra.te@mail.ru](mailto:kafedra.te@mail.ru)**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

### Тепловой расчет гелиотермального теплоснабжения здания

#### Аннотация

*Постановка задачи.* На основании анализа располагаемого количества солнечной энергии и климатических данных района проведен тепловой расчет и дана оценка возможности использования гелиотермального теплоснабжения в климатических условиях Республики Татарстан.

*Результаты.* Для конкретного здания были запроектированы традиционные системы отопления и горячего водоснабжения. На основании проведенной оценки располагаемого количества солнечной энергии и климатических данных Республики Татарстан проведен тепловой расчет систем гелиотермального отопления, гелиотермального горячего водоснабжения и комбинированной системы (традиционное отопление и гелиотермальное горячее водоснабжение).

*Выводы.* Сравнение тепловых характеристик и конструктивных элементов показало, что комбинированная система теплоснабжения данного здания в течении 26 недель полностью обеспечивает потребность объекта в теплоснабжении. В зимний период солнечная энергия данного климатического района не может обеспечить необходимое количество тепловой мощности, которая могла бы создать комфортные условия микроклимата в помещениях здания.

**Ключевые слова:** коллектор, радиация, энергия, гелиосистема, мощность.

Гелиотермальная энергетика, как один из способов использования солнечной энергии, актуальна как для промышленного получения энергии, так и для коммерческого теплоснабжения зданий [1].

С этой точки зрения определенный интерес представляет собой сравнение используемых традиционных систем отопления и горячего водоснабжения с гелиотермальными системами теплоснабжения.

Для решения поставленной задачи первоначально по известной методике были рассчитаны и запроектированы традиционные системы отопления и горячего водоснабжения для конкретного здания [2, 3, 4]. Район строительства г. Казань. Результаты расчётов тепловой нагрузки на системы отопления и горячего водоснабжения по месяцам года приведены в табл. 1.

Интегрируя указанные графики тепловой нагрузки находим величины годовой потребности тепловой энергии на систему отопления  $Q_{от}^{Год} = 233238$  МДж и на систему горячего водоснабжения  $Q_{ГВС}^{Год} = 71544$  МДж.

Суммарная годовая потребность тепловой энергии составит:

$$Q_{пот}^{Год} = Q_{от}^{Год} + Q_{ГВС}^{Год} = 233238 + 71544 = 304782 \text{ МДж.}$$

Плотность потока солнечной радиации у верхней границы атмосферы на поверхность, расположенную перпендикулярно направлению солнечных лучей, равна  $J_{со} = 1,353$  кВт/м<sup>2</sup>, а среднее количество энергии, поступающей за один час на 1 м<sup>2</sup> этой поверхности, равно 4,871 МДж/м<sup>2</sup>·ч.

Среднемесячное дневное количество суммарной солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность коллектора солнечной энергии, определяется по формуле:

$$\bar{E}_к = \bar{R} \cdot \bar{E}, \quad (1)$$

где  $\bar{E}$  – среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/м<sup>2</sup>·сут;

$\bar{R}$  – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающих на наклонную и горизонтальную поверхности.

Таблица 1

## Тепловые нагрузки на систему отопления и горячего водоснабжения

| Месяц                | Средняя месячная и годовая температура |            |                 | Температура почвы на глубине 2,4 м | Средняя месячная тепловая нагрузка |                |              |
|----------------------|--|------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------|
|                      | $t_{\max}$                             | $t_{\min}$ | $t_{\text{ср}}$ |                                    | на систему отопления               | на систему ГВС | суммарная    |
|                      | °C                                     | °C         | °C              |                                    | Вт                                 | Вт             | Вт           |
| Январь               | -5,1                                   | -21,2      | -12,8           | 4,5                                | 18 770                             | 2 349          | 21 119       |
| Февраль              | -4,6                                   | -20,2      | -11,9           | 3,5                                | 18 090                             | 2 396          | 20 486       |
| Март                 | 0,2                                    | -12,3      | -5,7            | 2,8                                | 12 716                             | 2 428          | 15 144       |
| Апрель               | 11,6                                   | -1,2       | 4,4             | 2,4                                | 5 164                              | 2 447          | 7 611        |
| Май                  | 18,4                                   | 6,4        | 13,1            | 3,4                                |                                    | 2 401          | 2 401        |
| Июнь                 | 23,1                                   | 13,6       | 17,8            | 6,0                                |                                    | 2 280          | 2 280        |
| Июль                 | 24,0                                   | 16,1       | 20,2            | 8,3                                |                                    | 2 173          | 2 173        |
| Август               | 23,4                                   | 14,0       | 17,8            | 10,1                               |                                    | 2 089          | 2 089        |
| Сентябрь             | 16,7                                   | 7,2        | 11,6            | 10,8                               |                                    | 2 056          | 2 056        |
| Октябрь              | 8,7                                    | -1,8       | 3,9             | 9,9                                | 5 572                              | 2 098          | 7 670        |
| Ноябрь               | 2,0                                    | -10,8      | -3,6            | 8,0                                | 11 695                             | 2 187          | 13 882       |
| Декабрь              | -2,8                                   | -17,1      | -9,8            | 6,0                                | 15 981                             | 2 280          | 18 261       |
| <b>Среднегодовая</b> | <b>6,2</b>                             | <b>1,4</b> | <b>3,8</b>      | <b>6,3</b>                         | <b>4 156</b>                       | <b>2 265</b>   | <b>9 598</b> |

На основании выполненных расчетов построены графики помесячного изменения тепловой нагрузки на систему отопления и систему горячего водоснабжения (рис. 1).

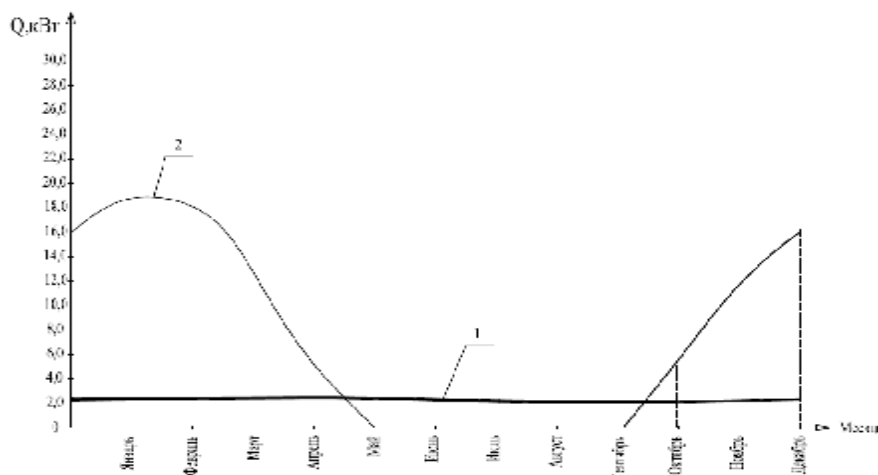


Рис. 1. Годовые графики тепловой мощности:

1 – тепловая мощность традиционной системы горячего водоснабжения;

2 – тепловая мощность традиционной системы отопления

Для определения положения солнечного коллектора необходимо учитывать следующие основные условные параметры:

- широта места установки  $\varphi$ ;
- часовой угол  $\omega$ ;
- угол солнечного склонения  $\delta$ ;
- угол наклона к горизонту  $\beta$ ;
- азимут  $\alpha$ .

Интенсивность потока солнечного излучения для определенного положения солнечного коллектора вычисляется по формуле:

$$J_k = J_s \cdot P_s + J_d \cdot P_d, \quad (2)$$

где  $J_s$  – интенсивность потока прямого солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность;

$J_d$  – интенсивность потока рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность;

$P_s$  – коэффициент положения солнечного коллектора для прямого солнечного излучения;  
 $P_d$  – коэффициент положения солнечного коллектора для рассеянного солнечного излучения.

$$P_s = \frac{0,259 \sin \delta + 0,966 \cos \delta \times \cos \omega}{\sin \alpha}, \quad (3)$$

$$P_d = \cos^2 \frac{\beta}{2}. \quad (4)$$

Для весеннего и осеннего периодов времени года угол наклона солнечного коллектора принимаем равным значению широты местности  $\beta=56^\circ$ . Для зимнего периода к этому значению прибавляем 15 градусов, а летом отнимаем от этого значения 15 градусов.

Тепловой расчет системы солнечного отопления рекомендуется выполнять для апреля месяца, когда вся тепловая нагрузка должна обеспечиваться за счет солнечной энергии.

Угол солнечного склонения в 12:30 местного времени 15 апреля определяем по формуле:

$$\delta = 23,45 \sin(360 \frac{284+n}{365}) = 9,78^\circ, \quad (5)$$

где  $n=106$  – порядковый номер для даты 15 апреля в году, отсчитанный от 1 января.

Расчеты по формулам (3)-(4) дали следующие значения коэффициентов:  $P_s=1,4242$ ;  $P_d = 0,7796$ .

Плотность суммарного потока солнечной радиации при ясном небе для середины апреля в 12:30 местного времени, поступающего на поверхность солнечного коллектора, установленного на кровле проектируемого здания, расположенного на широте  $\varphi=56^\circ$  с азимутом  $\alpha$  и углом наклона к горизонту  $\beta=56^\circ$  определяем по формуле (2):

$$J_k = 0,58 \cdot 1,4242 + 0,14 \cdot 0,7796 = 0,9352 \text{ кВт/м}^2.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2. На рис. 2 представлены часовые графики плотности суммарного потока солнечной радиации для середины апреля, середины июня, середины декабря [5, 6]. Интегрируя график суточного изменения плотности потока солнечной энергии для середины апреля, определяем поток солнечной радиации, поступающей на единицу площади поверхности коллектора, установленного на кровле здания  $\Sigma J_k = 6,734 \text{ кВт} \cdot \text{час/м}^2$  или  $\Sigma Q_k = 24,24 \text{ МДж/м}^2$ .

Таблица 2

**Плотность потока солнечной радиации при ясном небе,  
поступающей на поверхность солнечного коллектора**

| 15 апреля (n=106)         |                    |        |         |        |        |        |       |
|---------------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|
| Время                     | 04:56              | 06:30  | 09:30   | 12:30  | 15:30  | 18:30  | 19:04 |
| $\delta$ ,град            | 9,78               | 9,78   | 9,78    | 9,78   | 9,78   | 9,78   | 9,78  |
| $\beta$ ,град             | 56                 | 56     | 56      | 56     | 56     | 56     | 56    |
| $P_s$                     | 0                  | 0,000  | 1,3135  | 1,4242 | 1,3135 | 0,0056 | 0     |
| $P_d$                     | 0                  | 0,7796 | 0,7796  | 0,7796 | 0,7796 | 0,7796 | 0     |
| $J_k$ ,кВт/м <sup>2</sup> | 0                  | 0,0546 | 0,7371  | 0,9352 | 0,5323 | 0,0235 | 0     |
| 15 июня (n=167)           |                    |        |         |        |        |        |       |
| Дата                      | 15 июня (n=167)    |        |         |        |        |        |       |
| Время                     | 03:16              | 06:30  | 09:30   | 12:30  | 15:30  | 18:30  | 20:44 |
| $\delta$ ,град            | 23,35              | 23,35  | 23,35   | 23,35  | 23,35  | 23,35  | 23,35 |
| $\beta$ ,град             | 41                 | 41     | 41      | 41     | 41     | 41     | 41    |
| $P_s$                     | 0                  | 0,3122 | 1,0549  | 1,1750 | 1,0549 | 0,3140 | 0     |
| $P_d$                     | 0                  | 0,8774 | 0,8774  | 0,8774 | 0,8774 | 0,8774 | 0     |
| $J_k$ ,кВт/м <sup>2</sup> | 0                  | 0,1601 | 0,7576  | 0,9688 | 0,6222 | 0,0991 | 0     |
| 15 декабря (n=350)        |                    |        |         |        |        |        |       |
| Дата                      | 15 декабря (n=350) |        |         |        |        |        |       |
| Время                     |                    | 08:28  | 09:30   | 12:30  | 15:32  |        |       |
| $\delta$ ,град            |                    | 23,35  | 23,35   | 23,35  | 23,35  |        |       |
| $\beta$ ,град             |                    | 71     | 71      | 71     | 71     |        |       |
| $P_s$                     |                    | 0      | 21,4021 | 5,3641 | 0      |        |       |
| $P_d$                     |                    | 0      | 0,6628  | 0,6628 | 0      |        |       |
| $J_k$ ,кВт/м <sup>2</sup> |                    | 0      | 0,8760  | 0,6768 | 0      |        |       |

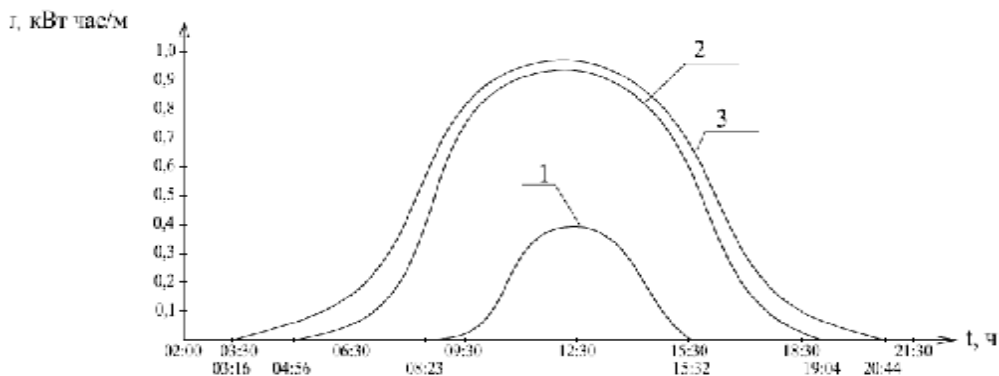


Рис. 2. Плотность суммарного потока (прямого и рассеянного) солнечной радиации:  
 1 – 15 декабря  $E=5,19 \text{ МДж/м}^2$ ,  $J=1,442 \text{ кВт}\cdot\text{час/м}^2$ ;  
 2 – 15 апреля  $E=24,24 \text{ МДж/м}^2$ ,  $J=6,734 \text{ кВт}\cdot\text{час/м}^2$ ;  
 3 – 15 июня  $E=28,12 \text{ МДж/м}^2$ ,  $J=7,808 \text{ кВт}\cdot\text{час/м}^2$

Для расчета гелиотермального теплоснабжения здания был выбран вакуумный солнечный коллектор модели SCH-30 с рабочей площадью поглощения одной трубки  $F_{\text{тр}}=0,133 \text{ м}^2$  [7] число вакуумных трубок  $n=30$ .

Интегрируя полученные графики определяем суточную потребность тепловой энергии на отопление в указанные периоды.

Для середины апреля  $\Sigma Q_p = 378,4 \text{ МДж}$ ; для середины декабря  $\Sigma Q_p = 948,6 \text{ МДж}$ .

Необходимое количество вакуумных трубок солнечных коллекторов модели SCH [8] определяется по формуле:

$$n = \frac{\Sigma Q_p}{\Sigma Q_k \cdot F_{\text{тр}} \cdot K_{\text{погл}} \cdot \eta_k}, \tag{5}$$

где  $K=0,92$  – степень поглощения вакуумной трубки;

$\eta=0,67$  – коэффициент полезного действия трубки модели SCH [9].

На основании данных табл. 1 расчетная мощность системы отопления для середины апреля составит  $Q_p = 5164 \text{ Вт}$ , для середины декабря –  $Q_p = 15981 \text{ Вт}$ .

На основании данных средних месячных и суточных температур по срокам, строим суточные графики для середины апреля и середины декабря (рис. 3-4).

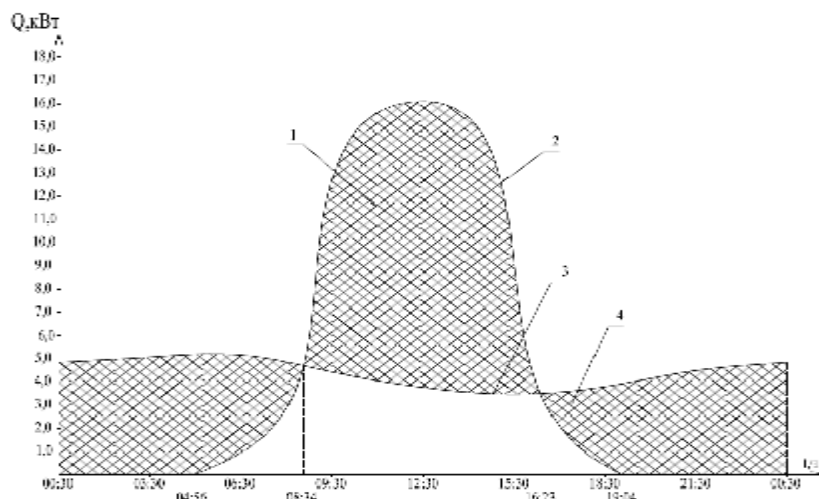


Рис. 3. Расчетные мощности гелиотермального отопления в середине апреля:  
 1 – Область аккумуляции теплоты  $Q_{\text{ак}}=262,25 \text{ МДж}$ ;  
 2 – Расчетная тепловая мощность солнечных коллекторов SCH-30;  
 3 – Расчетная тепловая мощность системы отопления;  
 4 – Область расходования теплоты  $Q_{\text{ак}}=237,37 \text{ МДж}$

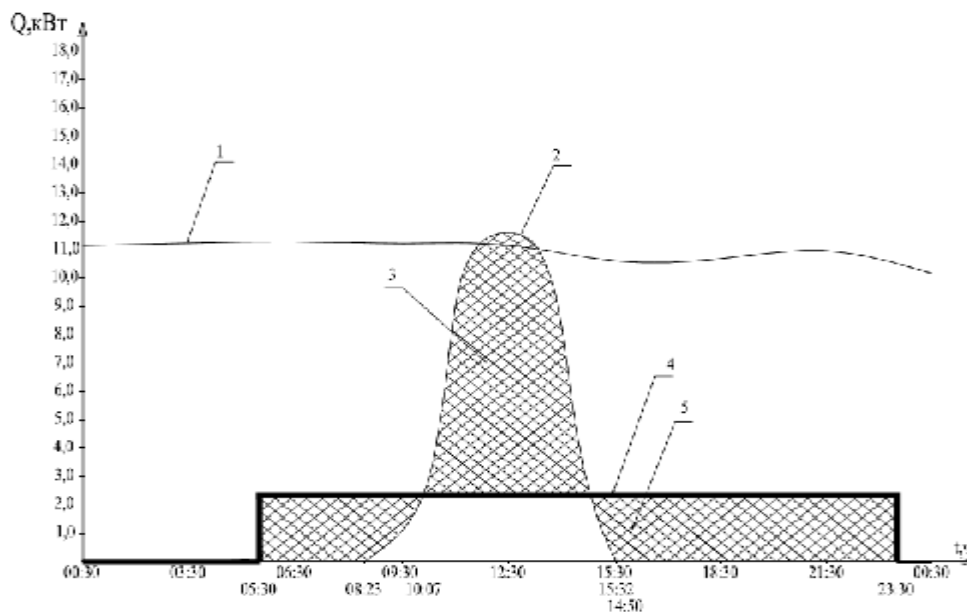


Рис. 4. Расчетные мощности геотермального отопления и горячего водоснабжения в середине декабря:

- 1 – Расчетная тепловая мощность системы отопления;
- 2 – Расчетная тепловая мощность солнечных коллекторов SCH-30;
- 3 – Область аккумуляции теплоты  $Q_{ак}=108,58$  МДж;
- 4 – Расчетная тепловая мощность системы горячего водоснабжения;
- 5 – Область расходования теплоты  $Q_{ак}=100,55$  МДж

Таким образом, для середины апреля по расчету принимаем к установке 7 солнечных коллекторов модели SCH-30 с размерами  $1970 \times 2700 \times 155$  мм.

Количество коллекторов для солнечного отопления в середине декабря увеличится до 75 штук, что совершенно невозможно. Этот вариант геотермального отопления отклоняется.

Для проектирования системы геотермального отопления необходимо также рассчитать и подобрать тепловой аккумулятор. По вычисленной величине аккумулируемой тепловой энергии был подобран аккумулятор тепла «Hotstream» модели ACQ-6,0-НІ-3000 [10].

Солнечные коллекторы и аккумулятор теплоты со змеевиком образуют замкнутую часть циркуляции теплоносителя, в качестве которого был выбран антифриз Antefrogens'OLHT.

Основной тепловой расчет геотермального водоснабжения выполняется для месяца, когда тепловая нагрузка на горячее водоснабжение максимальна (середина апреля). Проверочный расчет геотермального водоснабжения выполняется для декабря (минимальный поток солнечной энергии). В эти периоды вся тепловая нагрузка на систему горячего водоснабжения должна обеспечиваться за счет солнечной энергии. Поток солнечной радиации в апреле месяце был определен ранее. Расчет для середины декабря дал следующие результаты:  $\delta = -23,37^\circ$ ;  $P_S = 5,3641$ ;  $P_d = 0,6628$ ;  $J_k = 0,6768$  кВт/м<sup>2</sup>.

Интегрируя график суточного изменения плотности потока солнечной радиации для середины декабря (рис. 2), определяем поток солнечной энергии, поступающей на единицу площади поверхности коллектора  $\Sigma Q_k = 5,19$  МДж/м<sup>2</sup>.

Суточная потребность тепловой энергии на горячее водоснабжение: середина апреля  $\Sigma Q_{Г.В.С.} = 158,6$  МДж; середина декабря  $\Sigma Q_{Г.В.С.} = 152,2$  МДж.

На основании формулы (5) и полученных тепловых нагрузок определяем необходимое количество солнечных коллекторов для полного обеспечения потребности горячего водоснабжения:

- середина апреля  $n=3$ ;
- середина декабря  $n=12$ .

На рис. 5 представлены годовые графики мощности 12-ти установленными солнечными коллекторами на отопление и горячее водоснабжение. Суммарная годовая выработка тепловой энергии солнечными коллекторами комбинированной системы составит  $\Sigma Q = 130913$  МДж. На основании выполненных расчетов можно сделать вывод, что запроектированная комбинированная система теплоснабжения в период со второй декады марта по третью декаду октября мощность солнечных коллекторов полностью обеспечивает потребность здания в теплоснабжении, т.е. использование природного газа на цели отопления и горячего водоснабжения может быть приостановлено.

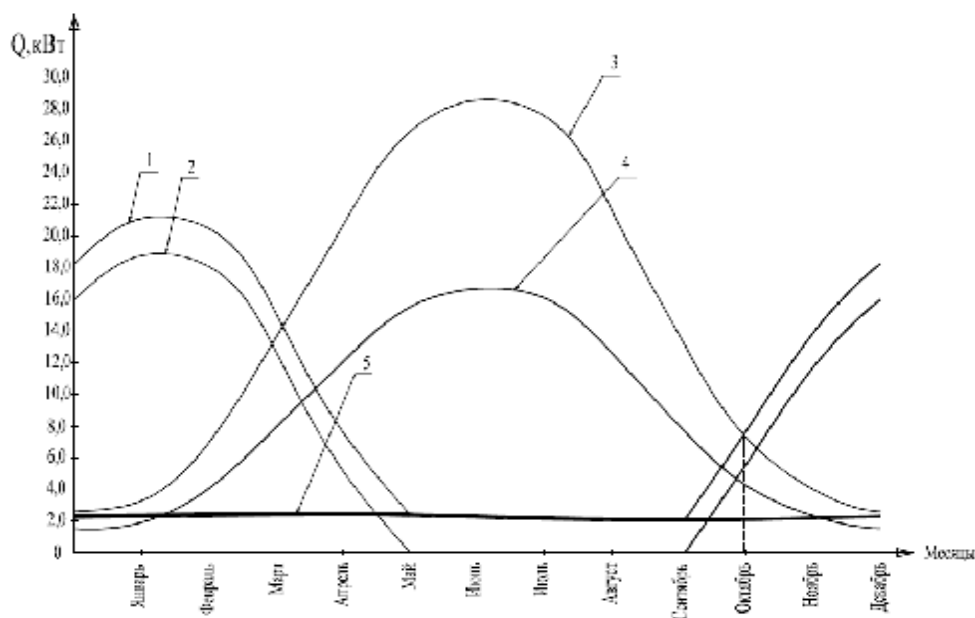


Рис. 5. Годовые графики тепловой мощности отопления и горячего водоснабжения:

- 1 – График суммарной потребной тепловой мощности комбинированной системы;
- 2 – График потребной тепловой мощности системы отопления;
- 3 – График тепловой мощности солнечных коллекторов SCH-30;
- 4 – График тепловой мощности солнечных коллекторов SCH-30;
- 5 – График потребной тепловой мощности системы горячего водоснабжения

Таким образом, на основании выполненных расчетов можно сделать вывод, что запроектированная гелиотермальная система горячего водоснабжения полностью обеспечит потребность в тепловой энергии.

Определенный интерес представляет рассмотрение варианта системы комбинированного теплоснабжения объекта:

- горячее водоснабжение полностью и круглосуточно обеспечивается за счет тепловой энергии, вырабатываемой солнечными коллекторами;
- отопление осуществляется за счет тепловой энергии, вырабатываемой одноконтурным газовым котлом и солнечными коллекторами.

Для запроектированных систем теплоснабжения данного объекта была определена экономическая эффективность на основании проведенного расчета их стоимости.

Сметная стоимость традиционной системы отопления – 471592 руб.

Сметная стоимость традиционной системы горячего водоснабжения – 57980 руб.

Сметная стоимость гелиотермального отопления – 879196 руб.

Срок окупаемости без учета эксплуатационных затрат и коэффициента инфляции такой системы составит 74 года.

Сметная стоимость гелиотермальной системы горячего водоснабжения 1090826 руб. Срок окупаемости 94 года.

Сметная стоимость комбинированной системы теплоснабжения – 1264826 руб. Срок окупаемости 28 лет.

### Список библиографических ссылок

1. да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М. : «Интеллект» МЭИ, 2010. 704 с.
2. Кувшинов Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий. М. : Ассоциации строительных вузов, 2010. 320 с.
3. Переведенцев Ю. П., Наумов Э. П. Климат Казани и его изменения в современный период. Казань, 2006. 215 с.
4. Баранов Н. Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии. М. : МЭИ, 2012. 384 с.
5. Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А., Малинин Н. К. Солнечная энергетика. М. : МЭИ, 2011. 276 с.
6. Бутузов В. А., Бутузов В. В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. М. : Интехэнерго, Теплоэнергетик, 2015. 300 с.
7. Lund J., Freeston D., Boydt T. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review Proc. WGC-2010. Bali, 2010. С. 25–29.
8. «Renewables 2015 Global Status Report» REN21 c/o UNEP 15, Rue de Milan F-75441 Paris CEDEX 09 France.
9. Pagnarsson A. Geothermal Development in Iceland. 2005-2009 / Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali. Indonesia, 2010. С. 25–29
10. Meyer J.-P. To each his own J.-P.Meyer. Sun, Wind Energy, 2010. С. 65–69.

**Zamaleev Z.Kh.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [kafedra.te@mail.ru](mailto:kafedra.te@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Thermal calculation of solar heat supply of a building

#### Abstract

*Problem statement.* The thermal design were carried out based on the analysis of available solar energy and climatic data of the Republic of Tatarstan. Evaluation of the possibility of using heliothermal heat supply in climatic condition of the district were conducted.

*Results.* Traditional heating and hot water supply system were designed for a particular building. The thermal design of solar thermal heating systems, solar thermal hot water supply and combined system (traditional heating and solar thermal hot water supply) were performed according to the estimation of the available amount of solar energy and climatic data of the Republic of Tatarstan.

*Conclusion.* Comparison of thermal characteristics of constructive elements showed that the combined heat supply system of this building during 26 weeks fully meets heat supply requirements. The solar energy of given climatic region in winter cannot provide the necessary amount of heat power, and as a result cannot create a comfortable indoor climate in the building.

**Keywords:** collector, radiation, energy, solar system, power.

#### References

1. da Roza A. Renewable energy sources. Physical and technical basis: tutorial. М. : «Intellekt» MEI, 2010. 704 p.
2. Kuvshinov Yu. Ya. Energy saving in the building climate management system. М. : Associacee stroitelnyh vuzov, 2010. 320 p.

3. Perevedencev Yu. P., Naumov E. P. Climate of Kazan and its changes in the modern period. Kazan, 2006. 215 p.
4. Baranov N. N. Non-traditional sources and methods of energy conversion: textbook for high schools. M. : MEI, 2012. 384 p.
5. Vissarionov V. I., Derygina G. V., Kuznecova V. A., Malinin N. K. Solar power engineering. M. : MEI, 2011. 276 p.
6. Butuzov V. A., Butuzov V. V. The use of solar energy for the production of thermal energy. M. : Intekhenergo, Teploenergetik, 2015. 300 p.
7. Lund J., Freeston D., Boyd T. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review Proc. WGC-2010. Bali; Indonesia, 2010. P. 25–29.
8. «Renewables 2015 Global Status Report» REN21 c/o UNEP 15, Rue de Milan F-75441 Paris CEDEX 09 France.
9. Pagnarsson A. Geothermal Development in Iceland. 2005-2009 / Proceedings of World Geothermal Congress 2010, Bali. Indonesia, 2010. P. 25–29.
10. Meyer J.-P. To each his own J.-P. Meyer. Sun, Wind Energy, 2010. P. 65–69.