

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-6-70-31>

УДК 629.9:005

Оборонов Т.Ю., Гайдар А.О.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКУ ГЕЛІОСИСТЕМИ
ДЛЯ ДОШКІЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ**

Анотація. В статті розглядається розрахунок встановлення на даху навчального закладу в м. Києві сонячних колекторів, які задовольнятимуть потребу освітнього закладу з гарячого водопостачання. А також проведення аналізу щодо рекомендованих колекторів та необхідної їх кількості для даного закладу, яка принесе найбільшу економічну вигоду. Гаряче водопостачання об'єкта здійснюється шляхом центрального водопостачання. Розрахунок враховує сонячну інсоляцію і питомі теплові потоки на будівлю за рік. А також проводимо розрахунок параметрів сонячних колекторів за допомогою програмного забезпечення «T*SOL 2018 R1», яке розраховує загальну потужність системи, кількість та конфігурацію сонячних колекторів, додаткове обладнання, яке необхідне для функціонування системи, загальну річну генерація теплоти та грошові потоки.

Ключові слова: будівля, сонячний колектор, геліосистема, тепловий потік, інженерна система

Taras Oboronov, Gaidar AnnaNational Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**COMPARISON OF HELIOSYSTEMS CALCULATION
FOR PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTION**

Summary. The article deals with the calculation of the installation of solar collectors on the roof of the educational institution in Kyiv, which will satisfy the need of an educational institution for hot water supply. As well as an analysis of recommended collectors and their required amount for this facility, which will bring the most economic benefits. The main provisions of the method are to use only the average monthly values of meteorological parameters, and can be used to determine the long-term thermal characteristics of the solar heat supply system, depending on the main structural parameters of this system. It should be noted that the method is not very convenient for optimization calculations, requires a large amount of computations, but from all existing methods of calculation, it is the most versatile. The hot water supply of the facility is carried out through central water supply. Calculated specific heat flowing on the inclined surface of the solar collector are usefully used for the *i*-th hour in real conditions of cloudiness and heat loss. The calculation takes into account the solar insolation and the specific heat fluxes per building for the year. We also calculate the parameters of solar collectors using the software "T * SOL 2018 R1". Which calculates the total power of the system, the number and configuration of solar collectors, the additional equipment necessary for system operation, total annual generation of heat and cash flows. In the work, it is proposed to place collectors of the company Viessmann Vitosol models connected to a 1000-liter battery tank, which, in turn, comes in contact with a centralized water supply network. The collectors are located on the southern half of the slope at an angle of 30° to the horizon. The software also calculates the amount of investment and the payback period.

Keywords: building, solar collector, solar system, thermal flow, engineering system

Постановка проблеми. Одним з напрямків, який є вкрай важливим для вирішення проблем енерго та ресурсозбереження на об'єктах ЖКГ, є встановлення альтернативних джерел енергії для забезпечення повного або ж часткового гарячого водопостачання [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередніми дослідниками такими як Бердишев М.Ю., Фаренюк Г.Г., Nolan T., Бідай К.І., Geurts С. були визначені вирази які описують розрахунок системи гарячого водопостачання, але в статті показано, як їх використовувати для умов клімату України.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На основі попередніх досліджень потрібно спростити вибір і розрахунок геліосистеми для будівель в умовах клімату України.

Мета статті. Мета роботи полягає в тому, щоб порівняти розрахунковий метод геліосистеми для типової будівлі і готового програмного будинку і чи можна такий програмний пакет застосовувати для клімату України.

Виклад основного матеріалу. Пропонується на даху навчального закладу в м. Києві, встановити сонячні колектори, які задовольнятимуть потребу освітнього закладу з ГВП. А також провести аналіз щодо рекомендованих колекторів та необхідної їх кількості для даного закладу, яка принесе найбільшу вигоду.

Розрахунок параметрів сонячних колекторів проводимо за допомогою розрахункового методу та програмного забезпечення «T*SOL 2018 R1», яке розраховує такі важливі параметри, як:

- загальна потужність системи;
- кількість та конфігурацію сонячних колекторів;
- додаткове обладнання, яке необхідне для функціонування системи;
- загальна річна генерація теплоти;
- грошові потоки та ін.

Середньодобове споживання гарячої води даного навчального закладу сягає 1000 л. Гаряче водопостачання об'єкта здійснюється шляхом центрального водопостачання. Оскільки споживання гарячої води є значним, то доцільно

розрахувати встановлення геліосистеми. Річна витрата гарячої води $G^{\text{РІК}}, \frac{\text{л}}{\text{рік}}$ та добова витрата гарячої води $G^{\text{Д}}, \frac{\text{л}}{\text{доба}}$, складають $1596,71 \frac{\text{л}}{\text{рік}}$ та $4000 \frac{\text{л}}{\text{доба}}$ відповідно.

Добова потреба в тепловій енергії – $Q_{\text{ГВП}}^{\text{Д}}$ для гарячого водопостачання дитячого садка розраховується за формулою, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}$:

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{Д}} = 1,163 \cdot G^{\text{Д}} \cdot (t_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}), \quad (1)$$

$$q_i = H_B \cdot \frac{\cos(\varphi - s) \cdot \cos' \cdot \cos \dot{E} + \sin(\varphi - s) \cdot \sin \delta}{\cos \delta \cos' \cdot \cos \dot{E} + \sin \delta} + H_D = H_B \cdot R_B + H_D, \quad (2)$$

де H_B і H_D – питомі теплові потоки, $\text{Вт}/\text{м}^2$, прямого та розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню на широті населеного пункту при безхмарному небі (таблиця 1); R_B – коефіцієнт перерахунку прямої сонячної радіації на похилу поверхню з південною орієнтацією; s – кут нахилу поверхні сонячного колектору до горизонту. Годинний кут ω дорівнює нулю в полудень для колекторів орієнтованих на південь; через кожну годину значення годинного кута змінюється на 15° зі знаком плюс від 12 годин до ранку або мінус від 12 годин до вечора.

де $t_{\text{ГВ}}$ – температура гарячої води, приймається 55°C ; $t_{\text{ХВ}} = 15^\circ\text{C}$ – температура холодної води в літній період та $t_{\text{Х}} = 5^\circ\text{C}$ в зимовий період.

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{Д}} = 1,163 \cdot 4000 \cdot (55 - 15) = 186,08 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}.$$

Величина питомої теплової енергії $q_i, \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2}$, що надходить на 1 м^2 похилої поверхні сонячного колектору за i -ту годину безхмарного дня, визначається за формулою:

При розрахунках за формулою (2) треба враховуємо тільки ті значення, які задовольняють умовам:

$$\omega < 90^\circ; \omega < \omega_{\text{С(З)}} = \arccos(-\text{tg}(\varphi - s) \cdot \text{tg} \delta); R_B > 0,$$

де $\omega_{\text{С(З)}}$ – годинний кут сходу (заходу) сонця на похилу поверхню.

Питомий тепловий потік $q'_i, \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2}$, що надходить на 1 м^2 похилої поверхні сонячного колектору за i -ту годину за реальних умов хмарності та втрат теплоти, визначається за рівнянням:

$$q'_i = q_i \cdot \eta_0 \cdot \eta_1, \quad (3)$$

Таблиця 1

Значення величин питомих теплових потоків

Місяць, схилення	φ	Н	Години доби до полудня								
			4 – 5	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10–11	11–12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Січень -20,9	50	НВ						35	119	185	251
		НД						42	56	73	91
Лютий -13	50	НВ				21	147	216	297	377	
		НД				17	77	98	114	119	
Березень -2,4	50	НВ			28	154	279	391	471	552	
		НД			42	70	98	119	126	133	
Квітень 9,4	50	НВ		7	126	251	377	524	587	649	
		НД		28	70	87	105	126	129	133	
Травень 18,8	50	НВ	14	56	216	346	475	615	670	726	
		НД	14	42	84	94	105	133	129	133	
Червень 23,1	50	НВ	21	91	251	374	496	629	688	747	
		НД	23	56	84	98	112	133	133	133	
Липень 21,2	50	НВ	17	105	216	363	496	587	669	726	
		НД	17	56	84	98	112	126	129	133	
Серпень 13,5	50	НВ		35	147	276	405	519	581	642	
		НД		35	63	84	105	119	122	126	
Вересень 2,2	50	НВ			63	182	300	447	513	580	
		НД		28	49	66	84	98	101	105	
Жовтень -9,6	50	НВ			7	70	133	328	374	419	
		НД			2	40	63	77	80	84	
Листопад -18,9	50	НВ				12	42	216	251	286	
		НД				12	35	56	66	77	
Грудень -23	50	НВ					7	112	161	210	
		НД					28	56	63	70	
			Години доби після полудня								
			18-19	18-19	17-18	16-17	15-16	14-15	13-14	12-13	

Таблиця 2

Розрахунки питомої теплової енергії

Місяць	Години доби до полудня						Сума
	6 – 7	7 – 8	8 – 9	9 – 10	10 – 11	11 – 12	
Січень			197,47	391,70	525,03	673,30	1787,51
Лютий		101,66	414,37	529,71	675,54	816,54	2537,81
Березень	100,33	318,41	530,93	716,95	841,51	969,27	3477,42
Квітень	177,37	367,28	562,38	785,92	882,05	972,16	3747,16
Травень	234,07	419,15	606,55	820,72	900,77	980,13	3961,39
Червень	248,38	428,24	607,98	803,10	890,77	967,85	3946,33
Липень	228,96	427,16	619,78	764,67	880,39	959,81	3880,77
Серпень	175,58	367,67	565,57	737,95	831,72	918,36	3596,86
Вересень	124,54	312,26	501,11	726,46	826,06	926,57	3417,00
Жовтень	-8,19	220,87	323,95	669,40	732,21	804,57	2742,82
Листопад		220,87	182,47	602,93	633,69	697,39	2337,36
Грудень			72,73	418,71	495,31	598,21	1584,95
ω	82,50	67,50	52,50	37,50	22,50	7,50	

Таблиця 3

Місяць	q _{iΣ}	η ₀	q _{i'}	q _{i^k}
Січень	1787,51	0,49	875,88	595,60
Лютий	2537,81	0,52	1319,66	897,37
Березень	3477,42	0,52	1808,26	1229,61
Квітень	3747,16	0,58	2173,36	1477,88
Травень	3961,39	0,68	2693,75	1831,75
Червень	3946,33	0,70	2762,43	1878,45
Липень	3880,77	0,69	2677,73	1820,86
Серпень	3596,86	0,72	2589,74	1761,02
Вересень	3417,00	0,62	2118,54	1440,61
Жовтень	2742,82	0,55	1508,55	1025,81
Листопад	2337,36	0,38	888,20	603,97
Грудень	1584,95	0,40	633,98	431,11

де η₀ – коефіцієнт, що враховує реальні умови хмарності; η₁ – коефіцієнт, що враховує ступінь прозорості атмосфери, величина його коливається від 0,8 в промислових районах до 1 в курортній зоні.

Питомий тепловий потік q_{i^k}, $\frac{Вт \cdot год}{м^2}$, що корисно використовується в системі гарячого водопостачання щогодини за реальних умов хмарності та втрат теплоти, визначається за формулою:

$$q_i^k = q_i \cdot \eta_k \cdot \eta_3 = q_i \cdot \eta_0 \cdot \eta_k \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (4)$$

де η₂ – коефіцієнт, що враховує втрати, обумовлені нестационарним теплообміном при змінній хмарності, рекомендується приймати η₂ = 0,9; η₃ – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти від сонячного колектора до споживача, величина цього коефіцієнта приймається 0,85 для централізованих систем гарячого водопостачання, а для локальних водонагрівачів – 0,98; η_k – коефіцієнт корисної дії сонячного колектора, який залежить від його конструкції.

Розрахунки проводяться для кожного місяця та занесені до таблиці 2 та таблиці 3.

Площа А, м², сонячного колектора визначається за формулою:

$$A = \beta \cdot \frac{Q_{ГВП}^0}{\left(\sum q_i^k\right)^{max}}, \quad (5)$$

де β – коефіцієнт інвестора, величина якого планується в залежності від бажаного ступеню

заміщення сонячною енергією традиційних енергоносіїв, 0,5 < β < 1,0; $\left(\sum q_i^k\right)^{max} \cdot \frac{Вт \cdot год}{м^2 \cdot доба}$ – сума добових значень питомої енергії випромінювання, розрахованих за формулою (5) у самому теплому місяці періоду, протягом якого повинен працювати сонячний водопідігрівач.

Таблиця 4

Технічні характеристики сонячного колектора

Розміри, мм	2033x1233x80
Вага нетто, кг	38
Площа брутто, м ²	2,51
Площа нетто, м ²	2,35
Об'єм теплоносія	2,16
Нормативний ККД, %	80,1
Товщина теплоізоляції, мм	40
Максимальний робочий тиск, бар	10
Коефіцієнт прозорості скла, %	91
Коефіцієнт поглинання абсорбера, %	95
Коефіцієнт випромінювання абсорбера, %	5
Температура стагнації, °С	171
Коефіцієнт втрат тепла k1, Вт/м ² · К	3,32
Коефіцієнт втрат тепла k2, Вт/м ² · К	0,023

Розрахунок впровадження геліосистеми

№	Товар	Кіл-ть	Ціна, €	Вартість, €
1	auro VFK 145/2 V – плоский колектор, 2,51 кв.м	48	543	31078
2	Система підключення для 10 колекторів	5	548	
3	Контролер Resol BX Plus	2	425	
4	Подвійна насосна станція ENSOL з насосом Grundfos UPM 3 Solar	2	385	
5	Розширювальний Бак Ensol Solar 80 л	1	228	
6	Теплоносій, 20 л	6	71	
7	Бак-акумулятор Reflex Aqua Solar, 1000 л	2	2635	6110
8	Розширювальний Бак Reflex 200L	2	420	
9	Монтажний комплект для плоскої поверхні з іbathe для 5 колекторів 2,51 м ²	10	465	4910
10	Термостатичний змішувачий клапан ESBE VTA 322	4	65	260
11	Трубопровід з нержавіючої сталі в ізляції (з ел. кабелем), 10 м	7	180	1260
12	Робота та витратні матеріали	1	10%	4335,8
			Сума	47693,8

$$A = 1 \cdot \frac{186080}{1878,45} = 99,06 \text{ м}^2.$$

Для встановлення обираємо сонячний колектор марки Vaillant auro VFK 145/2 V з наступними технічними характеристиками:

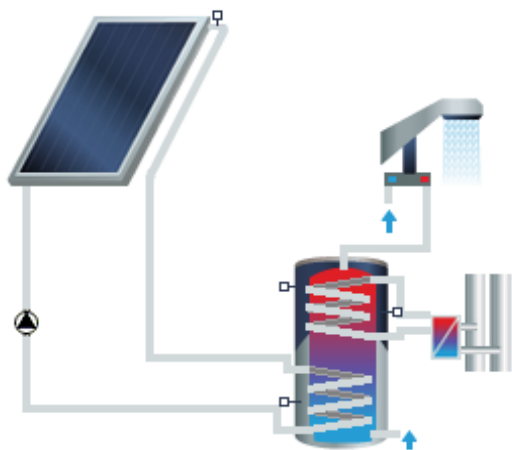


Рис. 1. Схема функціонування системи сонячних колекторів

Так як площа абсорбера одного сонячного колектора складає 2,35 м², а розрахункова площа сонячного колектора складає 99,06 м², то необхідна кількість сонячних колекторів складає 43 шт.

Денна витрата енергії на потреби ГВП: $168,06 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{доба}}$.

Загальна економія ГВП складає 122484 грн за рік. Розрахунок впровадження даного заходу представимо в таблиці 5.

Враховуючи курс євро визначимо витрати на встановлення геліосистеми у гривнях, які рівні 1373104 грн. Термін окупності такої геліосистеми складатиме близько 11 років.

Тепер розглянемо використання програмного продукту для розрахунку колекторів (рис. 1). Задаємо частку заміщення даного навантаження колекторами, а саме 75% для даної потужності.

У 1 випадку пропонується розмістити 28 колекторів (заміщення 75%) виробництва компанії Viessmann моделі Vitosol 100-FM SH1F, під'єднаних до баку-акумулятору об'ємом 1000 л, який, у свою чергу, контактує з мережею централізованого водопостачання (рис. 1). Колектори розташовані на південній половині скатного даху під кутом 30° до горизонту. Результати си-

Solar energy consumption as percentage of total consumption

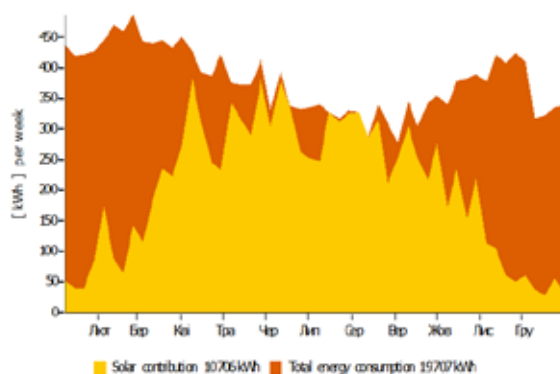


Рис. 2. Споживання тепла від СК (75%) та централізованого ГВП

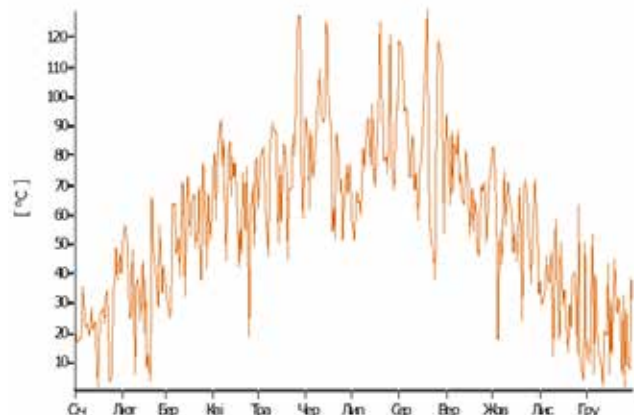


Рис. 3. Щоденна максимальна температура колектора

муляції роботи колекторів, наведені на рис. 2, 3 та в табл. 6.

Програмне забезпечення також розраховує величину капіталовкладень та термін їх окупності. Загальна величина капіталовкладень $K = 11200\$$, а загальна величина економії грошей складає $\Delta E = 598 \$/рік$.

Враховуючи курс визначимо витрати на встановлення геліосистеми у гривнях, які рівні 337218 грн. Термін окупності такої геліосистеми складатиме близько 14 років.

Висновки і пропозиції. Для досягнення економії енергоресурсів було розраховано вста-

новлення геліосистеми для навчального закладу двома методами. Варто зазначити, що має місце постійне зростання тарифів на теплову енергію протягом досить тривалого проміжку часу, що позитивно відображається на терміні окупності запропонованих заходів з енергозбереження через обернену залежність цих показників. Але враховуючи те що в нашій державі залучаються кошти на реалізацію таких заходів по програмі наприклад 70/30 ця сума стає реальною для дошкільного навчального закладу в цілому використовуючи різні проекти по залученню інвестиційних коштів.

Список літератури:

1. Нараєвський С.В. Класифікація традиційних та альтернативних джерел і технологій отримання енергії. Луцьк : зб. наук. пр. Луцького національного технічного університету. 2012. С. 272–286.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ, 2011. 142 с.
3. ДСТУ-Н Б В.2.5-43: 2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. Київ, 2011. 49 с.
4. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Правила встановлення систем сонячного теплопостачання в житлових і громадських будівлях. Київ, 2010. 57 с.

References:

1. Naraievskiy S.V. Klyasyfikatsiia tradytsiinykh ta alternatyvnykh dzherel i tekhnolohii otrymattia enerhii [Classification of traditional and alternative sources and technologies for energy]. Lutsk : zb. nauk. pr. Lutskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. 2012. S. 272–286.
2. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budivselna klimatolohiia [Construction Climatology]. Kyiv, 2011. 142 p.
3. DSTU-N B V.2.5-43: 2010. Inzhenerne obladnannia budynkiv i sporud. Nastanova z ulashtuvannia system soniachnoho teplopstachannia v budynkakh zhytlovoho i hromadskoho pryznachennia [Engineering equipment for buildings and structures. Guidelines for the installation of solar heating systems in homes for residential and public purposes] Kyiv, 2011. 49 s.
4. DSTU-N B V.2.5-43:2010. Pravyly vstanovlennia system soniachnoho teplopstachannia v zhytlovykh i hromadskykh budivliakh [Rules for installing solar heating systems in residential and public.]. Kyiv, 2010. 57 s.