

УДК 621.472

И. М. ОВСЯННИКОВА, асс. НТУ «ХПИ»;

И. А. НЕМИРОВСКИЙ, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ»;

А. Н. ГАНЖА, д-р техн. наук, проф.; проф. НТУ «ХПИ»

ГЕЛИОКОЛЛЕКТОР ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Территориальное расположение Украины не позволяет эффективно использовать солнечные коллекторы горячего водоснабжения в холодный период года. Применение солнечных коллекторов в качестве рекуператоров вытяжного воздуха позволит эффективно их использовать и в отопительный период. Это происходит за счет того, что холодный воздух нагревается теплотой отработанного воздуха из помещений именно в солнечном коллекторе, откуда уже предварительно нагретый воздух направляется в помещение. Опыты показали, что в результате применения солнечных коллекторов в качестве рекуператора вытяжного воздуха, можно нагреть воздух с улицы от температуры -10°C до $(4,55-6,07)^{\circ}\text{C}$. Таким образом значительно снижаются затраты тепла на отопление.

Ключевые слова: солнечный коллектор, рекуператор, вентиляционные выбросы.

Введение

Жители больших городов имеют возможность получать тепло, горячую воду, а также пользоваться услугами водоснабжения и водоотведения от городской централизованной системы в условиях уже существующих систем транспортирования и распределения тепла и воды, а также комплекса инженерных сооружений, предназначенных для удаления сточных вод из населенных пунктов.

Анализ основных достижений и литературы

Однако действующее централизованное горячее водоснабжение осталось лишь в 19 украинских городах, в которых проживает около 15 % населения Украины [1]. В районных центрах, малых городах Украины жители используют децентрализованные методы горячего водоснабжения, круглогодично потребляя традиционные виды энергии или топлива. А в виду постоянного и непрерывного роста цен на традиционные энергоносители, развитие нетрадиционной энергетики в Украине становится всё более актуальной. Украина находится в такой территориальной зоне, где среди известных нетрадиционных источников энергии ведущее место по темпам развития занимает именно солнечная энергетика. На территории страны (75–88) % суммарного поступления солнечной энергии на горизонтальную поверхность за год приходится на период с апреля по октябрь, и применение гелиоколлекторов в этот период на нужды горячего водоснабжения с каждым годом доказывает свою конкурентоспособность, что значительно снижает расходы на традиционные энергоносители. Однако в то же время использование гелиоколлекторов в остальное время считается нецелесообразным, что увеличивает время простоя дорогостоящего оборудования и сроки окупаемости установки.

Цель исследования

В связи с этим возникает цель – рациональное использование солнечных коллекторов. Решение этой задачи позволит круглогодично использовать таковые и тем самым повысить их эффективность. Для решения поставленной задачи необходимо разработать математическую модель солнечного коллектора, который работает в отапливаемый период в режиме рекуператора.

Материалы исследования

С целью решения задачи круглогодичного использования солнечного коллек-

© А.Н. Ганжа, И.А. Немировский, И.М. Овсянникова, 2014

тора и повышения его эффективности, предложена следующая модель гелиоколлектора, которая позволяет с максимальной эффективностью использовать его. А именно – в неотопливаемый период – период, когда максимальное количество солнечной радиации попадает на поверхность коллектора, использовать как основной элемент солнечной водонагревательной установки, а в отопительный период – использовать в качестве рекуператора – теплообменника, присоединенного к системе вентиляции для подогрева приточного воздуха за счет теплоты вытяжного воздуха [2].

Отработанный воздух в данной установке никогда не смешивается со свежим, что является преимуществом перед вращающимися регенераторами, которые также применяются в системах вентиляции и кондиционирования, однако имеют значительные ограничения в применении в разного рода помещениях.

Следует добавить, что применение солнечного коллектора для нагрева приточного воздуха не возможно в случае использования вакуумных коллекторов из-за особенностей в конструкции, но применение плоских вполне оправдано.

Гелиоустановка горячего водоснабжения и вентиляции работает следующим образом. В период с апреля по октябрь установка работает для нужд горячего водоснабжения. С наступлением отопительного сезона после дренирования воды из трубной системы, происходит механическое отключение плоского гелиоколлектора от системы водоснабжения и при помощи фланцев 6 через распределительные короба подключается к системе вытяжной вентиляции, а с помощью фланцев 7 соединяется с системой приточной вентиляции. Свежий холодный воздух поступает из-за пределов

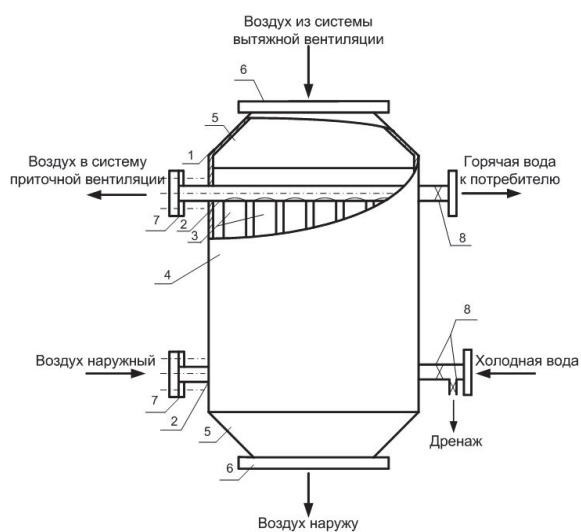


Рис. – Гелиоколлектор горячего водоснабжения и вентиляции: 1 – теплоизолированный короб; 2 – коллектор трубной системы; 3 – теплопроводные трубы; 4 – герметичная крышка (остекление); 5 – воздухораспределительный короб; 6, 7 – фланец; 8 – запорная арматура

На рисунке показана конструкция использования гелиоколлектора для решения поставленной выше задачи.

Кроме того, следует упомянуть, что короб плоского гелиоколлектора теплоизолирован с тыльной и боковых сторон в период его использования для нужд горячего водоснабжения – что является общеизвестным методом для снижения теплопотерь в окружающую среду, а после отключения от системы водоснабжения и перед использованием его в качестве рекуператора изолируется еще и фронтальная

здания в систему приточной вентиляции, очищается фильтром, проходит клапанную коробку и попадает в трубную систему плоского гелиоколлектора, где нагревается путем получения тепла от стенок теплопроводных труб, и по системе приточной вентиляции подогретый чистый воздух распределяется по помещению. С другой стороны отработанный теплый воздух из помещения по системе вытяжной вентиляции направляется на фильтр, после которого через вентилятор, клапанную коробку, фланец и воздухораспределительный короб попадает в межтрубное пространство плоского гелиоколлектора, отдавая тепло стенкам теплопроводных труб. После чего выбрасывается наружу.

сторона. Это осуществляется, прежде всего, для исключения потерь тепла, а также для предотвращения механических повреждений от разного рода погодных явлений в зимний период.

Течение воздуха по системе вентиляции и по гелиоколлектору осуществляется с помощью вентиляторов. Требуемая величина воздухообмена выбирается в соответствии с требованиями нормативных документов и санитарных норм.

Для теплотехнического расчета данного устройства используется алгоритм дискретного расчета сложного аппарата со смешанным током [3]. В методике принято, что элементами, из которых скомпонован гелиоколлектор, являются простейшие схемы однократного перекрестного течения с полным перемешиванием обоих теплоносителей по ходу (собирающий и раздающий коллектор), а также элемент с противоточным режимом течения (пучок труб), что дает возможность обеспечить наилучшие условия для взаимодействия потоков и интенсивного теплообмена.

Эффективность каждого перекрестноточного элемента и температуры теплоносителей на выходе из элементов будут выражаться следующим образом [4, 5]:

$$P_i = \frac{1}{\frac{1}{1 - e^{-NTU_{2э}}} + \frac{R_i}{1 - e^{-R_э NTU_{2э}}} - \frac{1}{NTU_{2э}}};$$

$$t_{H_{2э}} = t_{H_{1э}} + P_э(t_{Г_{1э}} - t_{H_{1э}}); \quad t_{Г_{2э}} = t_{Г_{1э}} - P_э R_э(t_{Г_{1э}} - t_{H_{1э}}),$$

где «э» – индекс, обозначающий, что параметры определяются в элементе; «1» – вход среды, «2» – выход среды; «н» и «г» – нагреваемый и греющий теплоносители; R и NTU_2 – отношение водяных эквивалентов и число единиц переноса теплоты к нагреваемому теплоносителю [5], $R = W_H / W_G$, $NTU_2 = KF / W_H$; K и F – коэффициент и площадь теплопередачи; W – расходная теплоемкость (водяной эквивалент) теплоносителя.

Зависимости для определения локальных температур теплоносителей (средних в элементе) [5],

$$\bar{t}_{H_э} = t_{H_{1э}} + \vartheta_{H_э}(t_{Г_{1э}} - t_{H_{1э}}); \quad \bar{t}_{Г_э} = t_{Г_{1э}} - \vartheta_{Г_э}(t_{Г_{1э}} - t_{H_{1э}});$$

$$\vartheta_{H_э} = P_э \left(\frac{1}{1 - e^{-NTU_{2э}}} - \frac{1}{NTU_{2э}} \right); \quad \vartheta_{Г_э} = P_э \left(\frac{R_э}{1 - e^{-R_э NTU_{2э}}} - \frac{1}{NTU_{2э}} \right).$$

Температуры теплоносителей на выходе из пучка труб определяются по формулам [4]:

$$t_{H_2} = t_{H_1} + Z_H(t_{Г_1} - t_{H_1}); \quad t_{Г_2} = t_{H_1} + Z_G(t_{Г_1} - t_{H_1}),$$

где Z – вспомогательная функция для определения конечной температуры при противотоке,

$$Z_H = \frac{1 - e^{-(R-1)NTU_2}}{R - e^{-(R-1)NTU_2}}; \quad Z_G = \frac{(R-1)e^{-(R-1)NTU_2}}{R - e^{-(R-1)NTU_2}}.$$

Зависимости для определения средних температур теплоносителей при противотоке [6]:

$$\bar{t}_H = t_{H_1} + \vartheta_H(t_{Г_1} - t_{H_1}); \quad \bar{t}_Г = t_{H_1} + \vartheta_G(t_{Г_1} - t_{H_1});$$

$$\vartheta_H = \frac{1 - e^{-(R-1)NTU_2}}{(R-1)NTU_2} - \frac{e^{-(R-1)NTU_2}}{R - e^{-(R-1)NTU_2}}; \quad \vartheta_G = \frac{R \left[1 - e^{-(R-1)NTU_2} \right] - e^{-(R-1)NTU_2}}{(R-1)NTU_2} - \frac{e^{-(R-1)NTU_2}}{R - e^{-(R-1)NTU_2}}.$$

Результаты исследования. В табл. 1 показаны локальные значения температур теплоносителя на выходах из каждого элемента теплообменника в различных режимах воздухообмена при следующих принятых исходных значениях: греющий $t_{Г1} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, нагреваемый $t_{Н1} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 1

Результаты расчета конечных температур

$V, \text{ м}^3/\text{ч}$		Скорость, $w, \text{ м/с}$		Режим течения		Формула для Nu		К-т теплоотдачи $\alpha, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$		К-т теплопередачи, $K, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$		Конечная температура, $^\circ\text{C}$	
		н	г	н	г	н	г	н	г	н	г	$t_{Н2}$	$t_{Г2}$
собир	100	2,78	1,16	п	т	1	2	15,05	11,08	6,25		6,07	29,55
пучок				п	т	1	3	13,95	22,7	8,38		5,29	13,19
разд				п	т	1	2	14,35	11,19	6,15		-9,5	12,7
собир	115	3,19	1,33	п	т	1	2	16,81	12,05	6,87		5,81	29,57
пучок				п	т	1	3	15,92	24,85	9,42		5,01	13,42
разд				п	т	1	2	15,98	12,16	6,76		-9,51	12,93
собир	130	3,61	1,50	п	т	1	2	18,56	12,97	7,48		4,88	12,83
пучок				т	т	4	3	18,84	26,92	10,77		5,60	29,59
разд				т	т	4	2	19,12	13,1	7,62		-9,52	13,58
собир	145	4,03	1,68	т	т	4	2	20,27	13,85	8,06		5,59	29,59
пучок				т	т	4	3	20,57	28,89	11,67		4,88	13,58
разд				т	т	4	2	20,87	13,98	8,21		-9,53	13,11
собир	160	4,44	1,85	т	т	4	2	21,93	14,69	8,62		5,35	29,6
пучок				т	т	4	3	22,26	30,8	12,56		4,648	13,82
разд				т	т	4	2	22,58	14,53	8,78		-9,54	13,36
собир	175	4,86	2,02	т	т	4	2	23,57	15,5	9,17		5,12	29,51
пучок				т	т	4	3	23,92	32,64	13,42		4,47	14,05
разд				т	т	4	2	24,26	15,65	9,33		-9,55	13,59
собир	190	5,28	2,2	т	т	4	2	25,19	16,29	9,70		4,91	29,62
пучок				т	т	4	3	25,56	34,43	14,26		4,24	14,25
разд				т	т	4	2	25,91	16,44	9,86		-9,55	13,8
собир	205	5,69	2,37	т	т	4	2	26,77	17,05	10,22		4,73	29,62
пучок				т	т	4	3	27,16	36,17	15,08		4,06	14,44
разд				т	т	4	2	27,53	17,2	10,39		-9,56	13,98
собир	220	6,11	2,55	т	т	4	2	28,34	17,78	10,719		4,55	29,62
пучок				т	т	4	3	28,74	37,87	15,89		3,9	14,61
разд				т	т	4	2	29,13	17,94	10,90		-9,57	14,18

Примечание: «п» – переходный режим течения теплоносителя; «т» – турбулентный режим течения теплоносителя; «¹» – $Nu = 0,86 K_0$, где K_0 определяется в зависимости от числа Рейнольдса (см. табл. 2); «²» – $Nu = 0,245 Re^{0,6}$; «³» – $Nu = 0,018 Re^{0,8}$; «⁴» – $Nu = 0,194 Re^{0,65}$, [7].

Таблица 2

Зависимость K_0 от числа Рейнольдса Re

$Re \cdot 10^3$	2,3	2,3	2,5	3,0	3,5	4	5	6	7	8	9	10
K_0	2,2	3,6	4,9	7,5	10	12,2	16,5	20	24	27	30	33

Как видно из табл. 1, использование гелиоколлектора в качестве рекуператора вытяжного воздуха позволит нагреть воздух, подаваемый в помещение через систему приточной вентиляции, на $\Delta t \approx (14-16)^\circ\text{C}$, т.е. от температуры $t_{\text{H}_1} = -10^\circ\text{C}$ до температуры $t_{\text{H}_2} = (4,55-6,15)^\circ\text{C}$ в зависимости от величины воздухообмена.

Выводы. 1) Гелиоколлектор для горячего водоснабжения и вентиляции может быть использован в любом помещении, как для коттеджного, так и многоэтажного строительства с централизованной и децентрализованной системой горячего водоснабжения.

2) Использование солнечных коллекторов в неотапливаемый период позволит исключить более 50 % расходов энергоносителей на горячее водоснабжение, а также не только снизить нагрузку на систему отопления, но и исключить затраты на приобретение и монтаж рекуперационных установок для вентиляции, которые являются необходимым элементом при новом строительстве, согласно известным строительным нормам [8].

Список литературы: 1. Ц Центральное горячее водоснабжение существует только в 19 украинских городах. – Нацкомуслуг [Электронный ресурс]: новости Украины и мира / РБК Украина – Режим доступа: http://gazeta.zn.ua/energy_market/kommunalnye-tarify-chto-dalshe-razgovor-s-chinovnikom-kotoryu-znaet-vse-o-tarifobrazovanii.html. – 19.01.2013. 2. Пат. 80391 U, МПК F24F 12/00. Гелиоколетор гарячого водопостачання і вентиляції / Немировський І. А., Овсянникова І. М.; власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – u2012 14009; заявл. 10.12.2012; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10. 3. Ганжа, А. М. Комп'ютерне моделювання процесів у складних теплообмінних апаратах [Текст] / А. М. Ганжа, Н. А. Марченко // Системний аналіз, управління і інформаційні технології. Вестник НТУ «ХПІ»: Сб. науч. трудов. – Х.: НТУ «ХПІ», 2010. – № 9. – С. 113–120. 4. Справочник по теплообменникам [Текст]: в 2 т. / [пер. с англ. и под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова]. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 1. – 560 с. 5. Ганжа, А. Н. Совершенствование поверхностного теплообменного оборудования объектов энергетики, промышленности и коммунально-бытовой сферы [Текст] / А. Н. Ганжа Н. А. Марченко, В. Н. Подкопай // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 12(94). – С. 33–37. – ISSN 2218-1849. 6. Ганжа, А. Н. Средние температуры теплоносителей в рекуперативных теплообменниках при различных методах расчета [Текст] / А. Н. Ганжа // Проблемы машиностроения. – 2008. – Т. 11, № 4. – С. 26-29. 7. Кулинченко, В. Р. Справочник по теплообменным расчетам [Текст] / В. Р. Кулинченко. – К.: Техника, 1990. – 165 с. 8. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008: затв. Міністерством регіонального розвитку та будівництва України; введ. в дію з 09.12.2008.; на заміну СНІП 2.04.07-86. – Київ: ДП "Укрархбудінформ", 2009. – 79 с. – Чинний 01.07.2009 (Державні будівельні норми України).

Bibliography (transliterated): 1. Eremenko, A. "Central'noe gorjachee vodosnabzhenie sushhestvuet tol'ko v 19 ukrainskih gorodah." – NacKomuslug [Jelektronnyj resurs]: novosti Ukrainy i mira / RBK Ukraina. ZN,ua, 1994. Web. 19 January 2013. <http://gazeta.zn.ua/energy_market/kommunalnye-tarify-chto-dalshe-razgovor-s-chinovnikom-kotoryu-znaet-vse-o-tarifobrazovanii.html>. 2. Nemyrov'skyj, I. A., and I. M. Ovsjannykova. "Geliokoletor garjachogo vodopostachannja i ventyljacii." U Patent 80391 (MPK F24F 12/00). 27 May 2013. 3. Ganzha, A. M., and N. A. Marchenko. "Komp'juterne modeljuvannja procesiv u skladnyh teploobminnyh aparatah." *Sistemnyj analiz, upravlenie i informacionnye tehnologii. Vestnik NTU "HPI"*. No. 9. Kharkov: NTU "HPI", 2010. 113–120. Print. 4. *Spravochnik po teploobmennikam*. Ed. B. S. Petuhova, V. K. Shikova. Vol. 1. Moscow: Jenergoatomizdat, 1987. Print. 5. Ganzha, A. N., and N. A. Marchenko, V. N. Podkopaj. "Sovershenstvovanie poverhnostnogo teploobmennogo oborudovanija ob#ektov jenergetiki, promyshlennosti i kommunal'no-bytovoj sfery." *Jenergosberezhenie. Jenergetika. Jenergoaudit* 12 (94) (2011): 33–37. ISSN 2218-1849. Print. 6. Ganzha, A. N. "Srednie temperatury teplonositelej v rekuperativnyh teploobmennikah pri razlichnyh metodah rascheta." *Problemy mashinostroenija* 11 (4) (2008): 26–29. Print. 7. Kulinchenko, V. R. *Spravochnik po teploobmennym raschetam*. Kiev: Tjehnika, 1990. Print. 8. *DBN V.2.5-39:2008. Inzhenerne obladnannja budynkiv i sporud. Zovnishni merezhi ta sporudy. Teplovi merezhi*. Kiev: DP "Ukrarhbudinform", 2009. Print.

Поступила (received) 10.02.2014