

Thermal Efficiency of Power Module “Boiler with Solar Collectors as Additional Heat Source” For Combined Heat Supply System

Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S.

Odessa National Polytechnic University

Odessa, Ukraine

Abstract. The purpose of work is to increase the efficiency of the combined heat supply system with solar collectors as additional thermal generators. In order to optimize the parameters of combined heat supply system the mathematical modeling of thermal processes in multi module solar collectors as additional thermal generators for preheating of the water for boiler have been done. The method of calculation of multi-module solar collectors working with forced circulation for various configurations of hydraulic connection of solar collector modules as the new result of our work have been proposed. The results of numerical simulation of thermal efficiency of solar heat source for boiler of combined heat supply system with the account of design features of the circuit; regime parameters of thermal generators that allow establishing rational conditions of its functioning have been worked out. The conditions of functioning that provide required temperature of heat carrier incoming to boiler and value of flow rate at which the slippage of heat carrier is not possible for different hydraulic circuits of solar modules have been established.

Keywords: combined heat supply system, forced circulation, operation modes, multi-module solar collectors, boiler, thermal efficiency.

Eficiența termică a modului energetic “centrală termică cu termogeneratoarele suplimentare în formă de colectoare solare” pentru sistemele combinate de termoficare

Denisova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S.

Univesitatea Națională Politehnică din Odesa,
Odesa, Ucraina

Rezumat. Scopul lucrării constă în sporirea eficienței sistemului combinat de încălzire în care sunt utilizate colectoarele solare. Pentru de-a optimiza parametrii sistemului de simulare matematică a proceselor termice într-un sistem cu mai multe modulele de colectoare solare folosite ca generatoare de căldură suplimentare pentru preîncălzirea apei care intră în cazan. Noul rezultat este o metodologia de calcul al unui sistem cu mai multe colectoare solare, care lucrează în condiții de circulație forțată, luând în considerare circuitele hidraulice de conecate a modulelor. Rezultatele simulării numerice a eficienței termice a generatoarelor termice solare pentru un sistem de alimentare cu energie termică combinată pentru diferite circuite hidraulice de conectare a modulelor panourilor solare va permite de a stabili condiții care asigure temperatura tur la cazan, precum și valoare cantității debitului masic de apă, prin care se împiedice scurgerea în cazan a apei care nu avut timp să se încălzească înainte de-a intra la centrală termică.

Cuvinte-cheie: sistemul combinat de termoficare, circulație forțată, sistemul cu multe colectoarele solare, centrală termică, eficiența energetică.

Тепловая эффективность энергомодуля «котел с добавочными теплогенераторами в виде солнечных коллекторов» для комбинированных систем теплоснабжения

Денисова А.Е., Мазуренко А.С., Денисова А.С.

Институт Энергетики и компьютерно - интегрированных систем управления
Одесский национальный политехнический университета
Одесса, Украина

Аннотация. Целью работы является повышение эффективности работы комбинированной системы теплоснабжения с добавочными теплогенераторами в виде солнечных коллекторов. Для оптимизации параметров системы выполнено математическое моделирование тепловых процессов в многомодульной системе солнечных коллекторов, используемых в качестве добавочных теплогенераторов, для предварительного подогрева воды, поступающей в котел. Новым результатом является методика расчета многомодульной системы солнечных коллекторов, работающих в условиях принудительной циркуляции, с учетом гидравлических схем соединения модулей. Результаты численного моделирования тепловой эффективности солнечных теплогенераторов для комбинированной системы теплоснабжения, для разных гидравлических схем соединения модулей солнечных коллекторов позволяют поставить условия,

обеспечивающие требуемую температуру теплоносителя на входе в котел, а также величину массового расхода воды, при которой предупреждается просок в котел не успевшего нагреться теплоносителя.

Ключевые слова: комбинированная система теплоснабжения, принудительная циркуляция, многомодульная система солнечных коллекторов, котел, термодинамическая эффективность.

Введение

Использование многомодульной системы солнечных коллекторов совместно с водогрейными котлами требует исследования особенностей работы солнечных коллекторов (СК), т.к. циркуляция теплоносителя в контуре принудительная. Необходимо выполнить анализ эффективности многомодульной системы СК в качестве дополнительных теплогенераторов, во-первых, для оптимизации их конструкции с целью снижения стоимости альтернативной комбинированной установки, во-вторых, для оценки влияния расхода нагреваемой воды, поступающей с 1 м² абсорбера СК, и скорости циркуляции воды в трубках коллектора. Оптимальные значения указанных параметров способны обеспечить согласованность режимов работы многомодульной системы солнечных коллекторов с котлом и, соответственно, высокую эффективность работы всей комбинированной установки в целом [1–7].

1. Методика расчета солнечных коллекторов для комбинированной системы теплоснабжения

Основной тепловой характеристикой СК является зависимость полезного теплового потока Q_u от плотности потока солнечного излучения H_c , температуры поглощающей пластины T_c и особенностей конструктивного исполнения солнечного коллектора. Указанные факторы определяют коэффициент отвода тепла F_R , суммарный коэффициент потерь k при заданных температуре окружающей среды T_a , оптических свойствах абсорбера и прозрачного покрытия, характеризующихся коэффициентами поглощения α и пропускания τ , соответственно [1]:

$$Q_u = A_{ck} \cdot F_R \cdot [(\alpha \cdot \tau) \cdot H_c - k(T_c - T_a)], \quad (1)$$

где A_{ck} – площадь абсорбера, м².

С другой стороны, полезный тепловой поток:

$$Q_u = m \cdot c_p (T_2 - T_1); \quad (2)$$

где $m = A_{ck} \cdot G_{ck}$ – массовый расход, кг/с; G_{ck} – удельный расход воды на 1 м² абсорбера СК, кг/(м²·с); c_p – удельная теплоемкость, кДж/(кг·К); T_1, T_2 – температура на входе и выходе СК, соответственно, К.

КПД солнечного коллектора [2]

$$\eta_{ck} = Q_u / (A_{ck} \cdot H_c); \quad (3)$$

Эффективное использование солнечных коллекторов для предварительного подогрева воды в котле возможно при условии разработки оптимальной конструкции и схем соединения модулей СК, характеризующихся максимальной тепловой эффективностью, что позволяет повысить коэффициент замещения традиционного топлива альтернативной энергией и уменьшить выбросы диоксида углерода в окружающую среду.

С учетом уравнения (1) КПД коллектора зависит от коэффициента отвода тепла F_R

$$\eta_{ck} = F_R [(\alpha \cdot \tau) - k(T_c - T_a)] / H_c \quad (4)$$

Коэффициент отвода тепла представляет собой отношение фактической полезной энергии коллектора к полезной энергии, когда температура всей поглощающей пластины равна температуре жидкости на входе:

$$F_R = (m \cdot c_p / k \cdot A_c) / \left\{ 1 - \exp \left[-A_c \cdot k \cdot F' / (m \cdot c_p) \right] \right\}, \quad (5)$$

$$F' = k^{-1} / W \left[\left(\frac{1}{k(d + (w-d)F)} \right) + \left(\frac{1}{\pi \cdot d \cdot \alpha_B} \right) \right], \quad (6)$$

где F' – коэффициент эффективности СК, который показывает отношение фактически поглощенной полезной энергии к полезной энергии, поглощенной в идеальном случае,

когда температура абсорбера равна локальной температуре жидкости, т.е. когда интенсивность теплопередачи от стенки трубы коллектора к циркулирующему рабочему телу бесконечно велика; F – коэффициент эффективности оребрения абсорбера СК:

$$F = \frac{th[0,5 \cdot p \cdot (w-d)]}{0,5 \cdot p \cdot (w-d)}, \quad (7)$$

где $p = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_a}{\lambda \cdot \delta (w-d)}}$ – параметр эффективности

оребрения; α_a – коэффициент теплоотдачи между внутренней стенкой трубы абсорбера и водой, циркулирующей в трубе, Вт/(м²·К); δ – толщина поглощающей пластины, м; λ – коэффициент теплопроводности материала абсорбера СК, Вт/(м·К); d – внутренний диаметр трубок, м; w – шаг установки трубок СК, м.

Уравнения (1–7) обычно используются для расчета СК в сочетании с графиками зависимости КПД СК от климатических и конструктивных факторов [8, рис.1.7] и [9, рис.13].

Однако, использование формул (1–7) для оценки эффективности СК сопровождается принятием мало обоснованных решений, поскольку неизвестен коэффициент теплоотдачи α_a между внутренней стенкой трубки и циркулирующим рабочим телом. Неизвестна также температура T_c абсорбера СК, оказывающая существенное влияние на суммарный коэффициент тепловых потерь k . Обычно не определяют и термодинамическую эффективность абсорбера СК, как теплообменника, которую при принудительной циркуляции теплоносителя, следует учитывать, т.к. она существенно влияет на тепловую эффективность СК.

Предлагаемая нами методика расчета [1] коэффициентов (тепловой эффективности F' , отвода тепла F_R и теплоотдачи α_B) с учетом схемно-конструктивных параметров и режимов течения позволяет рассчитать эффективность солнечных коллекторов как дополнительных теплогенераторов для котла комбинированной системы теплоснабжения. Учет этих факторов позволяет оценить реальную эффективность СК, работающих в условиях принудительной циркуляции, и обосновать схемно-конструктивные особенности солнечных коллекторов как

дополнительных теплогенераторов для котла. Рассмотрим изменение температуры воды T_B по длине трубок и вдоль поверхности T_c абсорбера, если $m = 0,005$ кг/с; $k_F \approx \alpha_B = 208$ Вт/(м²·К); $Q_U = 500$ Вт; $A_{mp} = 0,2$ м²; $T_1 = 20$ °С; ΔT_g – температурный напор со стороны выхода воды; $\Delta T_a = T_{h1} - T_2$ – температурный напор со стороны входа воды (рис.1) [1]. Если температура воды на входе в СК $T_1 = 20$ °С, из уравнения теплового баланса (2), температура воды на выходе СК равна $T_2 = 44$ °С.

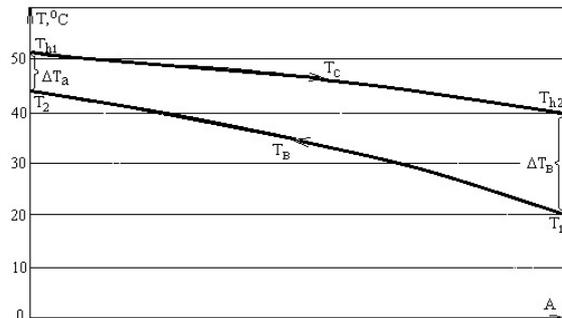


Рис. 1. Распределение температур вдоль поверхности абсорбера

Для определения температуры со стороны выхода воды (T_{h1}) из СК и со стороны входа воды в СК (T_{h2}) исследуем термодинамическую эффективность E теплообменника, состоящего из трубок абсорбера СК [11], для случая противоточной схемы теплообмена с учетом распределения температур вдоль поверхности поглощающей пластины (рис.1).

Физический смысл параметра E – соотношение фактического теплового потока в реальном теплообменнике к максимально возможному тепловому потоку в идеальном теплообменнике, который в нашем случае представляет собой теплообменник противоточного типа с бесконечно большой поверхностью теплообмена:

$$E = \frac{1 - \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{c_a}{c_{ck}}\right)\right]}{1 - \frac{c_a}{c_{ck}} \cdot \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{c_a}{c_{ck}}\right)\right]}, \quad (8)$$

где $NTU = \frac{k_F \cdot A_{mp}}{c_a}$ – число единиц переноса

теплоты; k_F – коэффициент теплопередачи от воды в трубах к пластине абсорбера СК (если пренебречь термическим сопротивлением стенки трубки абсорбера, то можно записать

$k_F \approx \alpha_B$); A_{tr} – площадь внутренней поверхности трубок абсорбера, m^2 ; $c_e = m \cdot c_p$ – водяной эквивалент теплоносителя с внутренней стороны трубок СК ($c_e = c_{мин}$) $< c_{СК}$, который является наименьшим, т.к. КПД СК $\eta_{СК} < 1$; $c_{СК}$ – водяной эквивалент теплоносителя с наружной стороны поверхности труб СК. При $\eta_{СК} = 0,5$ получаем $c_{СК} = 2 \cdot c_e$.

При отсутствии потерь тепла в окружающую среду температура нагреваемого теплоносителя T_2 на выходе равна температуре горячего теплоносителя T_{h1} на входе при $c_e < c_{СК}$. Поскольку E означает сравнение фактического и максимально возможного теплового потока, который ограничен вторым законом термодинамики, то:

$$E = \frac{c_e(T_2 - T_1)}{c_{мин}(T_{h1} - T_1)}. \quad (9)$$

С учетом $c_e = c_{мин}$, получаем $E = \frac{T_2 - T_1}{T_{h1} - T_1}$.

График функции $E = f(NTU)$ (рис. 2) построен на основе уравнения (8) для $A_{СК} = 1 \text{ м}^2$ при изменении массового расхода m воды через СК с учетом α_B при $\eta_{СК} = 0,5$ [1].

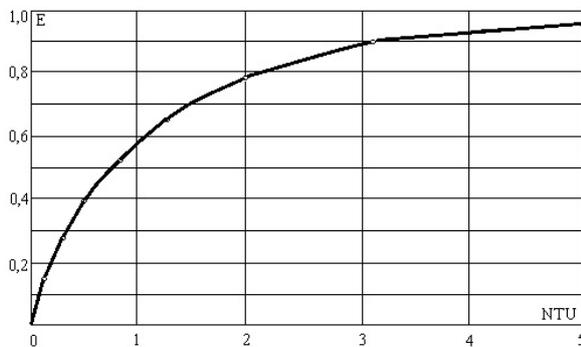


Рис. 2. График функции $E = f(NTU)$ для абсорбера солнечного коллектора

2. Результаты расчета дополнительных теплогенераторов для котла (солнечных коллекторов)

Согласно уравнению (9) температура поверхности труб абсорбера СК со стороны входа воды при $m = 0,005 \text{ кг/с}$ и $E = 0,78$ равна $T_{h1} = 51 \text{ }^\circ\text{C}$.

Средняя разность температур на произвольном участке поверхности абсорбера A_{mp} :

$$\Delta T_{cp} = \frac{1}{A_{mp}} \int_0^F \Delta T dA_{mp}, \quad (10)$$

а приращение температуры [12]:

$$\Delta T = \Delta T_a \cdot \exp(-q \cdot \alpha_e \cdot A_{mp}). \quad (11)$$

Подставив (11) в (10) получаем:

$$\begin{aligned} \Delta T_{cp} &= \frac{\Delta T_a}{A_{mp}} \int_0^F \exp(-q \cdot \alpha_e \cdot A_{mp}) dA_{mp} = \\ &= \frac{\Delta T_a}{A_{mp}} \cdot \exp(-q \cdot \alpha_e \cdot A_{mp}) - 1. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\Delta T_a = \frac{\Delta T_{cp} \cdot (-q \cdot \alpha_e \cdot A_{mp})}{\exp(-q \cdot \alpha_e \cdot A_{mp}) - 1}. \quad (12)$$

Для определения температуры поверхности абсорбера СК со стороны выхода воды T_{h2} используем формулу (11) изменения температурного напора со стороны греющего теплоносителя по длине трубки:

$$\Delta T_e = \Delta T_a \cdot \exp(-q \cdot \alpha_e \cdot A_{mp}), \quad (13)$$

$$\begin{aligned} q &= \frac{1}{c_{СК}} - \frac{1}{c_e} = \frac{1}{(c_e/0,5)} - \frac{1}{c_e} = \frac{1}{(m c_p/0,5)} - \frac{1}{m c_p} = \\ &= \frac{1}{(0,005 \cdot 4184/0,5)} - \frac{1}{0,005 \cdot 4184} = -0,024 \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \Delta T_e &= (T_{h1} - T_2) \cdot \exp(-q \cdot \alpha_e \cdot A_{mp}) = \\ &= (51 - 44) \cdot \exp(0,024 \cdot 208 \cdot 0,2) = 19 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

При этом: $\Delta T_{h2} = T_1 + \Delta T_e = 39 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\Delta T_{cp} = \frac{Q_u}{(\alpha_e \cdot A_{mp})} = \frac{500}{208 \cdot 0,2} = 12 \text{ }^\circ\text{C} \quad (14)$$

Из формулы (13)

$$\Delta T_a = \frac{12 \cdot 0,2 \cdot 0,024 \cdot 208}{\exp(0,024 \cdot 208 \cdot 0,2) - 1} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$$

и

$$\Delta T_{h1} = T_2 + \Delta T_a = 51 \text{ }^\circ\text{C},$$

что совпадает с результатом расчета по формуле (9).

Средняя температура абсорбера СК:

$$T_{cp} = (T_{h1} + T_{h2})/2 = (51+39)/2 = 45 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Проведенные расчеты относятся к единичному модулю СК площадью $A_{СК} = 1 \text{ м}^2$.

Рассмотрим несколько модулей СК, объединённых в систему, обеспечивающую заданную теплопроизводительность.

Результаты расчета параметров E и F_R для различных схем соединения модулей СК (рис. 3) представлены на рис. 4.

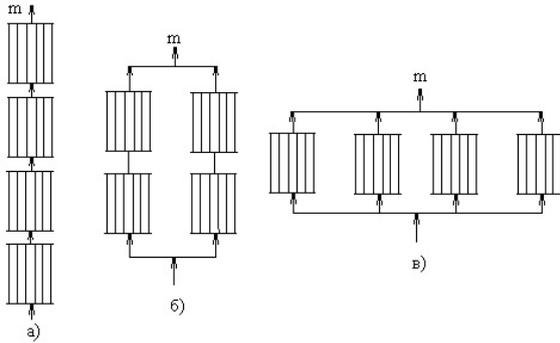


Рис. 3. Схемы соединения модулей СК

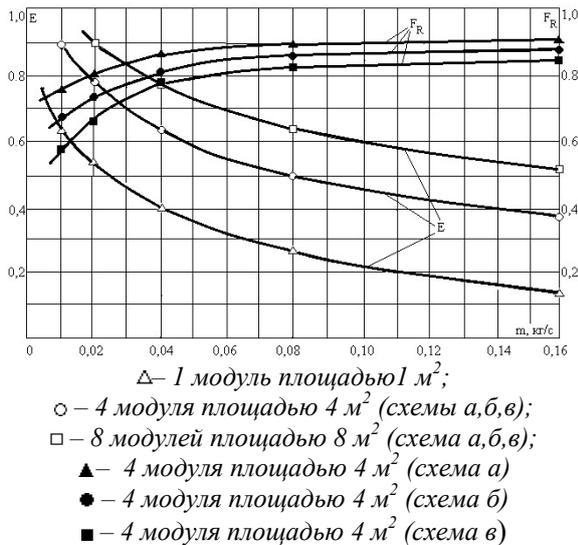


Рис. 4. Термодинамическая эффективность E и коэффициент отвода тепла F_R для разных схем соединения модулей СК (рис.3)

3. Анализ результатов расчета

На основании приведенных теоретических положений, можно рассчитать температуру теплоносителя ($T_{в1}$) на входе и выходе СК $T_{ск}$, а также оценить термодинамическую эффективность абсорбера для различных массовых расходов воды m (табл. 2) при $Q_U = 500 \text{ Вт}$, $c_p = 4184 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, $T_l = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\eta_{СК} = 0,5$.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров СК

№		$m^I = 0,05 \text{ кг/с}$	$m^{II} = 0,01 \text{ кг/с}$	$m^{III} = 0,02 \text{ кг/с}$
1	ΔT_{cp}	12,02	9,43	7,5
2	T_2	43,9	31,9	25,98
3	NTU	1,99	1,27	0,8
4	E	0,78	0,64	0,5
5	T_{h1}	50,9	38,7	32,1
6	q	-0,024	-0,0119	-0,006
7	ΔT_e	18,97	12,73	9,08
8	T_{h2}	38,96	32,73	29,08
9	ΔT_a	7,02	6,76	6,09

Результаты расчета распределения температур воды и поверхности труб при изменении массового расхода воды через СК с принудительной циркуляцией, в качестве добавочного теплогенератора для котла по предлагаемой методике, представленные на рис. 5, свидетельствуют о том, что, несмотря на уменьшение температурного напора при повышении массового расхода m воды через многомодульную систему солнечных коллекторов, термодинамическая эффективность E абсорбера СК, как теплообменника, уменьшается, из-за уменьшения температурного потенциала теплоносителя.

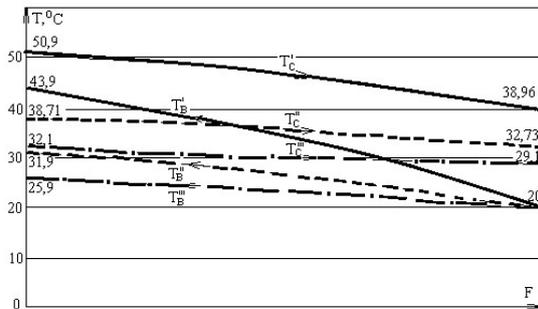


Рис.5. Изменение температуры воды и температуры поверхности абсорбера по длине трубок СК при изменении массового расхода воды (m^I, m^{II}, m^{III}) через СК

При увеличении расхода вода проходит транзитом, не успевая нагреваться до необходимого уровня. Это явление соответствует более пологому (почти параллельному) расположению кривой T_e относительно кривой T_c , что хорошо согласуется с формулой (9). Характер изменения взаимного расположения кривых T_c и T_e (рис. 5) объясняет физическую

природу графиков функций $E = f(m)$ и $F_R = f(m)$ (рис. 4).

Коэффициент F_R показывает долю теплового, потока, отводимого к воде, который увеличивается с увеличением массового расхода воды m , а термодинамическая эффективность E абсорбера СК, отражающая температурный потенциал воды, напротив, снижается при увеличении массового расхода воды m , согласно тепловому балансу (2), т.е. количество тепла отводимого к воде увеличивается, но потенциал этого тепла снижается, что влечет снижение температуры нагрева.

Для эффективной работы СК (при $E > 0,8$) необходимо $NTU > 2$ (рис. 1), что соответствует расходу $m < 0,005$ кг/с. Увеличение расхода воды m должно сопровождаться пропорциональным увеличением площади внутренней поверхности трубок СК, поскольку

$$NTU = \frac{k_F \cdot A_{mp}}{c_e}, \quad \text{что конструктивно}$$

выражается в увеличении длины труб от 1 м до 1,5...2 м.

В результате оптимальная площадь абсорбера единичного модуля СК должна быть равна площади $1 \times 1,5$ м² либо $1 \times 2,0$ м². При необходимости уменьшения длины труб для сохранения условия $E > 0,8$ требуется увеличивать количество труб, что связано с удорожанием СК.

При $NTU < 2$ (рис. 4) термодинамическая эффективность абсорбера резко снижается, несмотря на некоторое увеличение коэффициента отвода тепла F_R . Таким образом, при насосной циркуляции воды через СК, когда $m > 0,005$ кг/с для сохранения значения $NTU > 2$ следует подключать СК последовательно в количестве

$$n_{СК} \geq 2/NTU \geq 2 \cdot c_p \cdot m / A_{mp} \cdot k_F. \quad (15)$$

многомодульная система СК, состоящая из 4...8 последовательно соединенных СК может быть использована для комбинированной системы теплоснабжения любой производительности путем их параллельного подключения между собой.

Выводы

Предлагаемая методика оценки термодинамической эффективности солнечных коллекторов, работающих в режиме принудительной циркуляции для предварительного подогрева воды к котлу, позволяет определить:

- коэффициенты тепловой эффективности, отвода тепла и теплоотдачи, а также распределение температур теплоносителя с учетом конструктивных параметров, режимов течения и условий эксплуатации;

- характер изменения коэффициента отвода тепла для разных схем компоновки модулей СК при изменении удельного расхода теплоносителя;

- особенности изменения температуры теплоносителя и поглощающей пластины солнечного коллектора при изменении массового расхода воды;

- оптимальное значение массового расхода теплоносителя с учетом схемных решений и конструктивных особенностей солнечных коллекторов.

- условия поддержания высокой эффективной работы солнечных коллекторов как добавочных теплогенераторов для котла.

Литература (References)

- [1] Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Effectivnost multimodulnykh solnechnykh kolektorov kak pristavok k boileru [Efficiency of multi-module solar collectors as the prefix to the boiler]. Problemele energeticii regionale termoenergetică, 2014, no. 3(26), pp. 53–59. (In Russian)
- [2] Denysova A.E., Mazurenko A.S. [Investigation of distribution of the flow rate in the solar collectors]. Trudy 7 Mezhdunarodnoy Konferencii GRE-2000 «Badanie rozpluwy czynnika grzewczego w heliosystemach» [Proc. of the Opole Technical University “Management of power equipment”], Opole, 2000, no. 255, pp. 53 – 63 (In Polish).
- [3] Denysova A.E., Mazurenko A.S. [The influence of accuracy accounting of heat carrier in the solar collector circuit on thermal efficiency of heat supply unit]. Trudy 15 Mezhdunarodnoy Konferencii «Vlijanie tochnosti ucheta teplonositelja v konture cirkuliacii solnechnogo kolektora na teplovuju effektivnost ustanovki teplosnabgenia» [Proc. 15th Int. Conf. “Commercial accounting of heat carriers and improvement of the flow measurement of liquid, gas and steam”], Saint-Petersburg, 2002, pp. 363 – 371. (In Russian)
- [4] Denysova A.E., Mazurenko A.S., Novakovskij E.V. [Prospects of application for Ukraine of the delta type solar collectors]. Trudy OPU «Perspektivy

применения в условиях Украины солнечных коллекторов типа delta-systema» [Proc. of the Odessa PU], 2003, no 20, pp. 69 – 72. (In Russian)

[5] Denysova A.E., Novakovskij E.V. Mazur E.G. Effektivnost geliokollektornych pristinok tipa «delta-systema» s promegutochnym ekranom dlia kombinirovannyh system teplosnabgenia [Efficiency of solar collector prefix type delta-system with the intermediate screen for combined heat supply systems]. Ekotehnologii i resursoberegenie, 2004, no. 1, pp. 16 – 18. (In Russian)

[6] Denysova A.E., Novakovskij E.V. Mazur E.G. [Thermal efficiency of solar prefixes to boilers for combined heat supply systems]. Trudy OPU «Energeticheskaja effektivnost solnechnych pristinok k kotlam kombinirovannyh system teplosnabgenia» [Proc. of the Odessa PU], 2004, no. 21, pp. 61 – 64. (In Russian)

[7] Denysova A.E., Mazurenko A.S., Novakovskij E.V. Povushenie effektivnosti kombinirovannyh

system teplosnabgenia s solnechnymi pristinokami [Rising of the efficiency of combined heat supply systems with solar prefixes]. Chlodilnaja tehnika i tehnologia, 2003, no. 4, pp. 33 – 37. (In Russian)

[8] Valov M.I., Kazandjan B.I. Systemy solnechnogo teplosnabgenia [Solar collector heat supply systems]. Moskow, 1991. 140 p.

[9] Brian Norton. Solar Energy Thermal Technology. London, 1991.

[10] Kharchenko N.V. Individualnye solnechnye ustanovki [An individual solar units]. Moskow, 1991. 208 p.

[11] Kies V.M., London A.L. Kompaktnye teploobmenniki [Compact heat exchangers]. Moskow, 1967. 224 p.

[12] Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha [Heat transfer]. Moskow, 1981. 416 p.

Сведения об авторах:



Денисова Алла Евсеевна. Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий Одесского национального политехнического университета. Ее научные интересы включают генерация энергии с использованием возобновляемых источников энергии, интегрированные системы теплоснабжения.
Email: alladenysova@gmail.com



Мазуренко Антон Станиславович. Доктор технических наук, профессор, кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий Одесского национального политехнического университета. His research interests includes distributed power generation and microgrid.
Email: antmaz46@gmail.com



Денисова Анастасия Сергеевна. Программист-бакалавр, кафедра тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий Одесского национального политехнического университета. Ее научные интересы включают энергосберегающие технологии и энергоменеджмент. Email: didanzangelsita@gmail.com