

Гелиосистемы жилых домов для эксплуатационных условий Республики Беларусь

Инж. М. А. Рутковский¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. В Европе для теплоснабжения зданий активно используются гелиосистемы. Использование солнечной энергии в нашей стране также эффективно, поскольку общее количество прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, в климатических условиях Беларуси равно среднеевропейскому. В статье проанализирована существующая зависимость для определения эффективности гелиосистемы и предложена измененная формула расчетов при проектировании систем солнечного потребления, правомерность которой доказана экспериментом. Приведены разработанная схема экспериментальной установки с пояснениями и кратким описанием проведения опытов и основные результаты выполненных исследований. Эксперименты проводили для гелиосистем с естественной и вынужденной циркуляцией теплоносителя. Уделено внимание получению максимально возможного температурного потенциала теплоносителя при работе гелиосистемы в периоды высокой и низкой интенсивности солнечного излучения. Даны рекомендации по практическому применению гелиосистем для многоэтажных жилых домов и домов усадебного типа. Показаны технологические принципы построения «пассивных» устройств солнечного отопления. Для эксплуатационных условий Беларуси выполнено сравнение гелиосистем традиционно применяемого и предлагаемого альтернативного решений. Предложена гелиосистема горячего водоснабжения многоэтажных зданий, впервые реализованная в республике при проектировании и возведении в г. Могилеве энергоэффективного демонстрационного десятиэтажного жилого дома в рамках Проекта Программы развития ООН и Глобального экологического фонда «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь».

Ключевые слова: гелиосистема, гелиоколлектор, возобновляемый источник энергии, дома усадебного типа, экспериментальная установка, многоэтажные жилые дома

Для цитирования: Рутковский, М. А. Гелиосистемы жилых домов для эксплуатационных условий Республики Беларусь / М. А. Рутковский // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 4. С. 324–334. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-324-334

Solar Systems for Residential Buildings in Accordance with Operating Conditions of the Republic of Belarus

M. A. Rutkowski¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Solar systems are actively applied for heat supply of buildings in Europe. Usage of solar energy for heat supply of residential buildings is considered as rather efficient for the Republic of Belarus because total amount of direct and scattered solar radiation entering horizontal surface is equivalent to an average European index for the climate of Belarus. The paper analyzes an existing dependence on determination of solar system efficiency and proposes an amended formula for calculations while designing solar consumption systems and its legitimacy has been experimentally proved. A scheme of an experimental unit with explanations and a brief description for execution of experiments and main results of the completed investigations have been presented in the paper. Experiments have been carried out for solar systems with natural and forced coolant circulation. Attention has been paid to obtaining maximum possible temperature potential of the coolant during operation

Адрес для переписки

Рутковский Максим Антонович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-97-29
tgv_fes@bntu.by

Address for correspondence

Rutkowski Maxim A.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-97-29
tgv_fes@bntu.by

of the solar system within periods of high and low solar radiation intensity. Recommendations on practical application of solar systems for multi-storey residential buildings and mansion-type houses have been given in the paper. The paper presents technological principles of constructing “passive” solar heating devices. A comparison of traditionally applied and proposed alternative solar systems has been made for operational conditions in Belarus. The paper proposes a solar system for hot water supply of multi-storey buildings. The proposed system has found its first realization in the Republic while designing and constructing an energy-efficient demonstration 10-storey residential building in Mogilev within the framework of the UN Development Program project and Global Environment Fund “Improvement of energy efficiency for residential buildings in the Republic of Belarus”

Keywords: solar system, solar collector, renewable energy source, mansion-type houses, experimental unit, multi-storey residential buildings

For citation: Rutkowski M. A. (2017) Solar Systems for Residential Buildings in Accordance with Operating Conditions of the Republic of Belarus. *Science and Technique*. 16 (4), 324–334. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-324-334 (in Russian)

В Европе существует уже устоявшееся мнение о бессмысленности строительства домов, теплоснабжение которых осуществляется только от традиционных невозобновляемых источников энергии [1–5]. Исключением, как правило, являются страны, продающие нефть и газ. Например, в Турции повсеместно применяются гелиосистемы горячего водоснабжения, в то же время в соседнем Азербайджане они практически отсутствуют. В Европе активно используются гелиосистемы теплоснабжения зданий, из них на жилой сектор приходится около 90 % от общего количества установленных гелиоколлекторов. В Испании в 2006 г. правительство одобрило закон, который предусматривает установку гелиосистем теплоснабжения во всех новостройках.

Эффективное количество полезно получаемой зданием солнечной энергии определяется тепловой эффективностью гелиоколлектора, которая зависит от его типа, схемы и геометрических размеров, параметров гелионосителя, климата зоны эксплуатации. В климатических условиях Республики Беларусь целесообразно использовать плоские гелиоколлекторы [6, 7]. Общее количество прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность в Беларуси, равно средневропейскому – 1000–1400 кВт·ч/м² (в Беларуси – 1100 кВт·ч/м²) [5–7].

Для получения максимального (или близкого к максимальному) количества солнечной энергии тепловоспринимающие элементы (гелиоколлекторы) должны иметь соответствующий наклон и быть определенным образом ориентированы. На основании анализа радиационного климата Беларуси автором построена диаграмма, позволяющая выявить, во сколько

раз уменьшаются сезонные поступления суммарной солнечной энергии на поверхность (или на гелиоколлектор) в зависимости от угла ее наклона при различных азимутах относительно южного направления (рис. 1) [6].

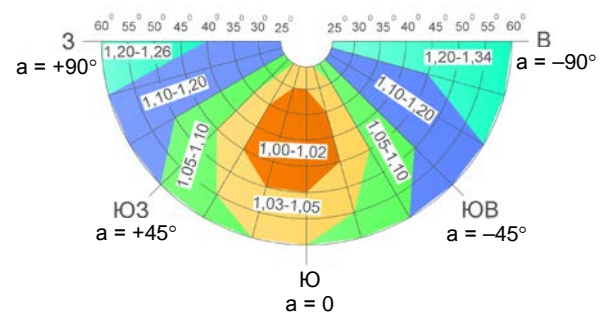


Рис. 1. Диаграмма для определения коэффициента уменьшения поступления суммарной солнечной энергии на наклонную поверхность в зависимости от угла ее наклона при различных азимутах (для осенне-весенне-летнего периода Беларуси)

Fig. 1. Diagram for determination of reduction coefficient on total solar energy input to inclined surface according to its inclination angle at various azimuths (for autumn-spring-summer period of Belarus)

Тепловая эффективность водяного гелиоколлектора зависит от комплексного определяющего параметра, который принято выражать зависимостью

$$\frac{q_n}{q_c} = f\left(\frac{(t_k + t_b)/2 - t_n}{q_c}\right), \quad (1)$$

где q_n – теплопроизводительность коллектора, приведенная на 1 м² его площади, Вт/м²; q_c – интенсивность падающего солнечного излучения в площади коллектора, Вт/м²; t_k , t_b – температура теплоносителя на выходе из гелиоколлектора и на входе в него; t_n – то же окружающего гелиоколлектор наружного воздуха.

Зависимость (1) получают на основании тепловых испытаний для каждого вида гелиоколлекторов и применяют при проектировании систем с естественной и насосной циркуляцией теплоносителя. Структурная тепловая схема гелиосистемы и графическая зависимость тепловой эффективности водяного гелиоколлектора разных видов от комплексного определяющего параметра показаны на рис. 2 [3–6].

В ранее выполненных теоретических и экспериментальных исследованиях с воздушными гелиосистемами [5, 8, 9] показано, что при естественной циркуляции комплексный определяющий параметр является более полным по количеству определяющих параметров, чем в (1):

$$\frac{q_{\text{п}}}{q_{\text{с}}} = f \left(\frac{\theta_{\text{к}}}{\theta_{\text{н}}} g \sqrt{\frac{h^3}{SF^2 q_{\text{с}} \nu}} \right) = f(B), \quad (2)$$

где $\theta_{\text{к}} = t_{\text{к}} - t_{\text{в}}$ – разность температур теплоносителя на выходе из коллектора и на входе в него, °С; $\theta_{\text{н}} = (t_{\text{к}} + t_{\text{в}})/2 - t_{\text{н}}$ – то же между температурой теплоносителя в коллекторе и температурой окружающей среды, °С; h – то же отметок центров нагрева и охлаждения гелиосистемы, м; S – характеристика сопротивления, Па/(кг/ч)²; F – площадь гелиоколлектора, м²; ν – кинематическая вязкость теплоносителя, принимаемая по средней температуре теплоносителя в гелиоколлекторе, м²/с.

Следует предположить, что аналогичным образом характеризуется процесс теплообмена также и для водяных гелиосистем при естественной циркуляции. Для испытаний приме-

няли водяной гелиоколлектор, разработанный в Белорусском государственном аграрном техническом университете. Коллектор имел одинарное остекление, полимерные трубчатые тепловоспринимающие элементы и обладал (в сравнении с металлическими аналогами) настолько незначительным гидравлическим сопротивлением, что его величиной можно было пренебречь на фоне гидравлического сопротивления гелиоконтура в целом. Именно этот отличительный фактор позволил исключить влияние гидравлических характеристик гелиоколлектора при исследовании его тепловой эффективности в зависимости от типа создаваемой при экспериментах циркуляции теплоносителя – естественной или насосной. Для экспериментов был создан лабораторный стенд [5], общий вид и принципиальная схема которого показаны на рис. 3.

Испытуемый гелиоколлектор помещали в термостатическую камеру, в которой имитировали температурные и радиационные условия внешней среды с помощью воздухоохладителей и имитаторов солнечного излучения в диапазоне (5–30) °С и 200–900 Вт/м². Испытания проводили при стационарном тепловом режиме. Потребителем теплоты являлся бак-аккумулятор, в котором поддерживался задаваемый стационарный температурный режим с помощью циркуляционного контура через теплообменник 16 путем двухпозиционного автоматического управления насосом. Предусматривается возможность испытаний гелиоколлектора при насосной и естественной циркуляции.

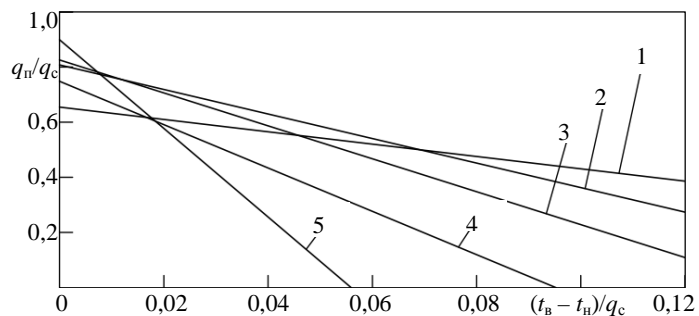
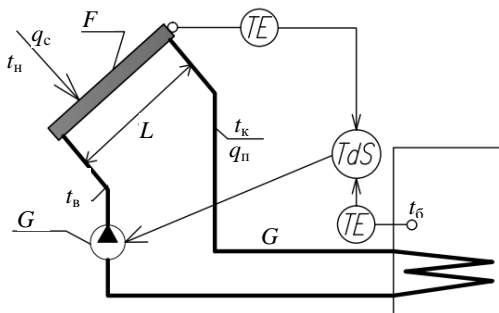


Рис. 2. Структурная тепловая схема и графическая зависимость тепловой эффективности водяного гелиоколлектора от комплексного определяющего параметра: 1, 2 – вакуумированного трубчатого и вакуумированного плоского; 3 – селективного плоского с одинарным остеклением; 4, 5 – неселективного плоского с одинарным остеклением и без остекления

Fig. 2. Structural thermal scheme and graphical dependence of thermal efficiency for water solar collector on complex determining parameter: 1, 2 – evacuated tube and evacuated flat collectors; 3 – selective flat collector with single glazing; 4, 5 – nonselective flat collector with single glazing and without glazing

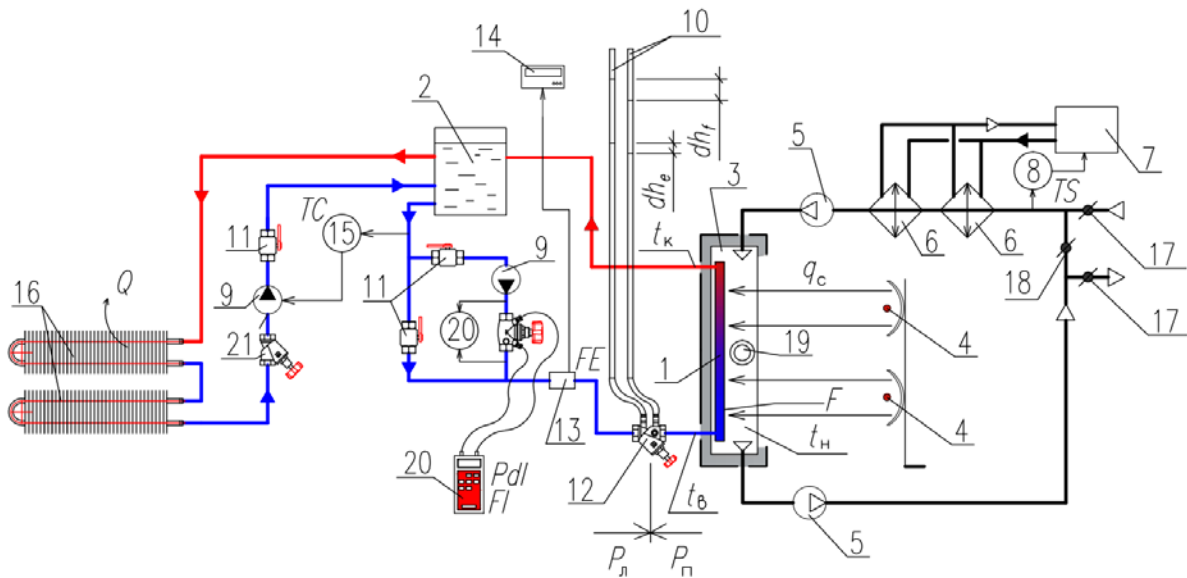


Рис. 3. Схема лабораторной установки для испытания гелиоколлектора: 1 – плоский гелиоколлектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – термостатическая камера; 4 – имитатор солнечного излучения (галогенная лампа); 5 – вентилятор; 6 – воздухоохладитель; 7 – холодильная установка; 8 – регулятор температуры в термостатической камере; 9 – циркуляционный насос; 10 – пьезометрическая трубка; 11 – шаровый кран; 12 – балансировочный клапан с измерительными штуцерами с краном для слива; 13 – ультразвуковой расходомер счетчика коммерческого учета теплоты; 14 – электронный блок счетчика коммерческого учета теплоты; 15 – пропорциональный регулятор температуры; 16 – водоохладитель (в виде двух конвекторов, соединенных последовательно); 17 – воздушная заслонка (в закрытом положении); 18 – воздушная заслонка на байпасе (в открытом положении); 19 – пираниметр; 20 – компьютер для измерения перепада давления и расхода; 21 – запорный вентиль

Fig. 3. Diagram of laboratory installation for testing solar collector: 1 – flat solar collector; 2 – storage tank; 3 – thermostatic chamber; 4 – solar simulator (halogen lamps); 5 – fan; 6 – air cooler; 7 – refrigeration unit; 8 – temperature regulator in thermostatic chamber; 9 – circulation pump; 10 – piezometer tube; 11 – ball valve; 12 – balance valve with measuring nipples and drain valve; 13 – ultrasonic flow-meter of counter for commercial heat accounting; 14 – electronic block of counter for commercial heat accounting; 15 – proportional temperature controller; 16 – water cooler (in the form of two convectors connected in series); 17 – air damper (in closed position); 18 – air damper on bypass (in open position); 19 – pyranometer; 20 – computer for measuring differential pressure and flow; 21 – shut-off valve

При насосной циркуляции применяли насос с последовательно установленным балансировочным вентилем для изменения задаваемого расхода теплоносителя через гелиоколлектор. Расход теплоносителя измеряли ультразвуковым рас-

ходомером, при этом вентиль 12 находился в полностью открытом положении. При естественной циркуляции использовали байпас, параллельный насосу. Для получения величины естественного циркуляционного давления при-

меняли дифманометр 10 и вентиль 12, который по достижении стационарного теплового режима закрывали для измерения перепада давления, соответствующего величине естественного циркуляционного давления.

Измерения температур в термостатической камере и контрольных точках циркуляционных контуров производили с помощью хромель-копелевых термопар, схема размещения которых показана на рис. 4.

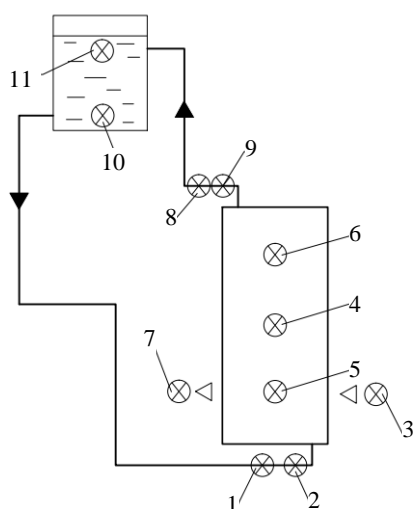


Рис. 4. Схема установки с размещением термопар:

1, 2 – для измерения температуры воды на входе в гелиоколлектор; 3, 7 – в термостатической камере для измерения температуры воздуха на входе и выходе из нее; 4, 5, 6 – в термостатической камере для определения температуры воздуха в ней на различной высоте с фронта и тыла испытуемого гелиоколлектора; 8, 9 – для измерения температуры воды на выходе из гелиоколлектора; 10, 11 – в баке-аккумуляторе

Fig. 4. Diagram of laboratory installation with thermocouple arrangement: 1, 2 – for measuring water temperature at solar collector inlet; 3, 7 – in thermostatic chamber for measuring air temperature at its inlet and outlet; 4, 5, 6 – in thermostatic chamber for determination of air temperature in it at various height from front and rear of tested solar collector; 8, 9 – for measuring water temperature at solar collector outlet; 10, 11 – in storage tank

В случае насосной циркуляции испытания проводили при интенсивности излучения 580; 770; 950 Вт/м² и удельном расходе теплоносителя 20,1; 29,2; 38,9 кг/(ч·м²). Результаты обработки экспериментальных данных в виде графической зависимости тепловой эффективности водяного гелиоколлектора от комплексного опре-

деляющего параметра при насосной циркуляции теплоносителя приведены на рис. 5 [1, 3–6].

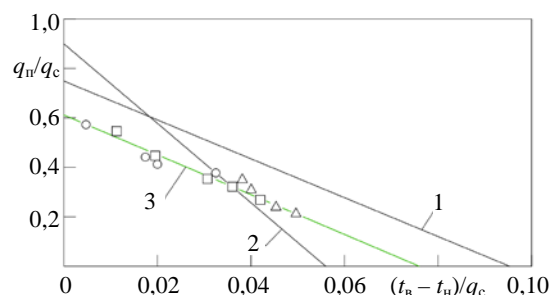


Рис. 5. Зависимость тепловой эффективности гелиоколлектора от комплексного определяющего параметра: 1, 2 – водяного неселективного плоского гелиоколлектора с одинарным остеклением и без него; 3 – экспериментальная зависимость водяного полимерного гелиоколлектора с одинарным остеклением: □ – интенсивность излучения 580 Вт/м² и удельный расход воды 20,1; 29,2; 38,9 кг/(ч·м²); Δ – 770 Вт/м² и 20,1; 38,9 кг/(ч·м²); ○ – 950 Вт/м² и 29,2; 38,9 кг/(ч·м²)

Fig. 5. Dependence of thermal efficiency for solar collector on complex determining parameter: 1, 2 – water nonselective flat solar collector with single glazing and without glazing; 3 – experimental dependence of water polymer solar collector with single glazing: □ – radiation intensity 580 W/m² and specific water consumption 20.1; 29.2; 38.9 kg/(h·m²); Δ – 770 W/m² and 20.1; 38.9 kg/(h·m²); ○ – 950 W/m² and 29.2; 38.9 kg/(h·m²)

Полученная экспериментальная зависимость 3 (рис. 5) для полимерного гелиоколлектора с одинарным остеклением располагается между характерными зависимостями 1 и 2 для металлического гелиоколлектора с одинарным остеклением и без него.

При естественной циркуляции эксперименты с полимерным гелиоколлектором проводили в различных температурных и радиационных условиях. Гидравлические характеристики циркуляционного контура варьировались путем изменения гидравлического сопротивления балансового вентиля 12 (рис. 3). В результате обработки экспериментальных данных по вышеприведенной методике (рис. 5) получены характеристики, показанные на рис. 6 в виде экспериментальных точек (линией обозначена графическая аппроксимация результатов эксперимента при насосной циркуляции – рис. 5, линия 3).

Для рис. 6 приняты условные обозначения, приведенные в табл. 1.

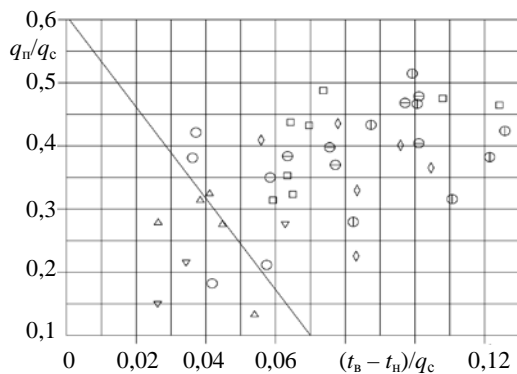


Рис. 6. Зависимость тепловой эффективности водяного полимерного гелиоколлектора от комплексного определяющего параметра при естественной циркуляции теплоносителя

Fig. 6. Dependence of thermal efficiency for water polymer solar collector on complex determining parameter with natural coolant circulation

Таблица 1

Обозначение	h , м	F , м ²	S , Па/(кг/ч) ²	q_c , Вт/м ²	θ_n , °С
○	1,13	0,72	0,2266	280–580	10–20
⊕	1,13	0,72	0,2154	280–580	10–20
⊖	1,13	0,72	0,2216	280–580	10–20
▽	1,48	0,72	0,2344	290–550	5–25
△	1,48	0,72	0,2266	290–550	5–25
□	1,48	0,72	0,2154	290–550	5–25
◇	1,48	0,72	0,2216	290–550	10–15

В отличие от графика на рис. 5, для водяного полимерного гелиоколлектора при естественной циркуляции теплоносителя (рис. 6) невозможно выявить обобщающей функциональной закономерности. Это объясняется тем, что при естественной циркуляции на эффективность гелиоколлектора оказывают влияние такие параметры, как характеристика сопротивления гелиоконтуров и естественное гравитационное давление. Аналогичная ситуация наблюдалась при испытании воздушного гелиоколлектора [5, 8, 9]. Поэтому автором статьи выполнена обработка экспериментальных исследований водяного плоского гелиоколлектора при естественной циркуляции теплоносителя в виде критериальной зависимости (2), учитывающей в том числе характеристику сопротивления и условия формирования естественного циркуляционного давления. Результаты вычислений представлены на рис. 7.

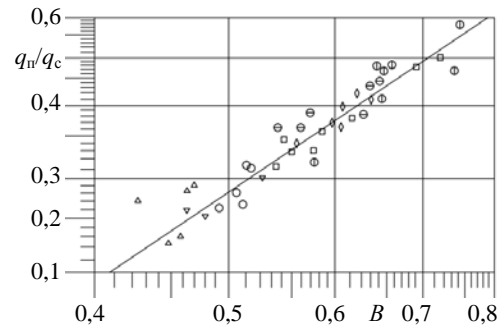


Рис. 7. Зависимость эффективности водяного плоского гелиоколлектора от параметра B

Fig. 7. Dependence of efficiency for water flat solar collector on B parameter

На графике рис. 7 можно отметить обобщающий характер параметра B , с использованием которого результаты эксперимента аппроксимируются выражением

$$\frac{q_n}{q_c} = 0,863B^{1,615}. \quad (3)$$

Таким образом, выполненные исследования показали, что характеристику гелиоколлектора следует представлять различным образом в зависимости от его назначения – для системы с естественной циркуляцией или для системы с насосной циркуляцией теплоносителя. В технических решениях гелиосистем надо уделять внимание получению максимально возможного температурного потенциала теплоносителя. Как показали исследования, в системах с естественной циркуляцией теплоносителя максимально возможный потенциал достигается за счет свойств саморегулирования, присущих данным системам [5, 9]. В системах с насосной циркуляцией теплоносителя потенциал увеличивается с уменьшением его удельного расхода. Как правило, рекомендуется задавать расход в гелиоконтуре в диапазоне 30–100 кг/(ч·м²). Учитывая климат Беларуси, для получения максимального эффекта при малой интенсивности солнечного излучения следует принимать минимально возможный расчетный расход теплоносителя, например 20 кг/(ч·м²). Однако в периоды высокой интенсивности солнечного излучения такое малое значение расхода теплоносителя не позволит получать максимальное количество тепловой энергии.

Для выявления оптимальных режимов эксплуатации были выполнены исследования по изучению распределения температуры теплоносителя в коллекторе в зависимости от удельных расходов теплоносителя и интенсивности излучения. Чтобы исключить влияние естественной конвекции, создавали движение теплоносителя в коллекторе в направлении сверху вниз. Применение гелиоколлектора с пластиковыми трубками позволило исключить влияние теплопроводности трубок на показания термопар. Термопары крепили с тыльной стороны гелиоколлектора. Схема расположения термопар и результаты экспериментов при насосной циркуляции теплоносителя представлены на рис. 8 [10].

На рис. 8b показаны результаты при минимально возможном удельном расходе теплоносителя $20 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$. В этом случае на выходе из коллектора получен наиболее высокий потенциал. При интенсивности излучения $580 \text{ Вт}/\text{м}^2$ распределение температуры имеет линейный характер, что характеризует полноту полезного восприятия теплового излучения, но при более высокой интенсивности излучения – $770 \text{ Вт}/\text{м}^2$ и $950 \text{ Вт}/\text{м}^2$ – проявляется нелинейность распределения температуры, характеризующая неполноту тепловосприятия, а потому требующая увеличения расхода теплоносителя.

На рис. 8c приведены результаты при удельном расходе теплоносителя $39 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$. По сравнению с данными рис. 8b получены значительно более низкие температурные потенциалы, но максимальное количество тепло-

вой энергии, так как распределение температуры имеет линейный характер при любой интенсивности излучения. Таким образом, можно признать значение $40 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ оптимально достаточным для проектного предложения.

Солнечную энергию на нужды отопления следует использовать с применением так называемых «пассивных» устройств, которые являются конструктивными элементами самого здания и проектируются при формировании его общестроительных конструкций. Такие принципы архитектурно-строительного проектирования требуют от проектировщиков соответствующего специализированного профессионального уровня и интуиции. В упрощенном виде на рис. 9 показаны технологические принципы построения «пассивных» устройств солнечного отопления.

На рис. 9а показана тепловая модель построения «пассивных» устройств, состоящая из обязательной последовательности отдельных элементов. Отсутствие любого из этих элементов или нарушение последовательности их расположения полностью исключает получение требуемого эффекта. Приведенные на рис. 9b–d технические решения соответствуют по своему построению тепловой модели рис. 9а. Для схемы рис. 9d следует использовать результаты исследований и рекомендации, изложенные в [6, 7].

Традиционно применяемое в настоящее время и предлагаемое альтернативное решения для эксплуатационных условий Беларуси показаны на рис. 10.

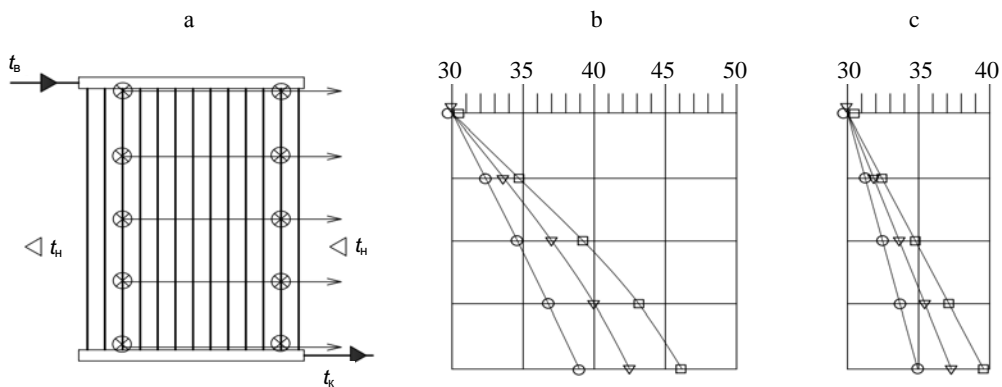


Рис. 8. Схема расположения термопар (а) и распределение температуры ($t_n = 14 \text{ }^\circ\text{C}$) теплоносителя в коллекторе при удельном расходе теплоносителя $20,1 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ (b) и $39 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ (c):
 ○, ▽, □ – интенсивность излучения 580, 770 и $950 \text{ Вт}/\text{м}^2$ соответственно

Fig. 8. Scheme of thermocouple arrangement (a) and distribution of coolant temperature ($t_n = 14 \text{ }^\circ\text{C}$) in solar collector at specific coolant flow rate of $20.1 \text{ кг}/(\text{h}\cdot\text{м}^2)$ (b) and $39 \text{ кг}/(\text{h}\cdot\text{м}^2)$ (c):
 ○, ▽, □ – radiation intensity 580, 770 and $950 \text{ W}/\text{м}^2$, respectively

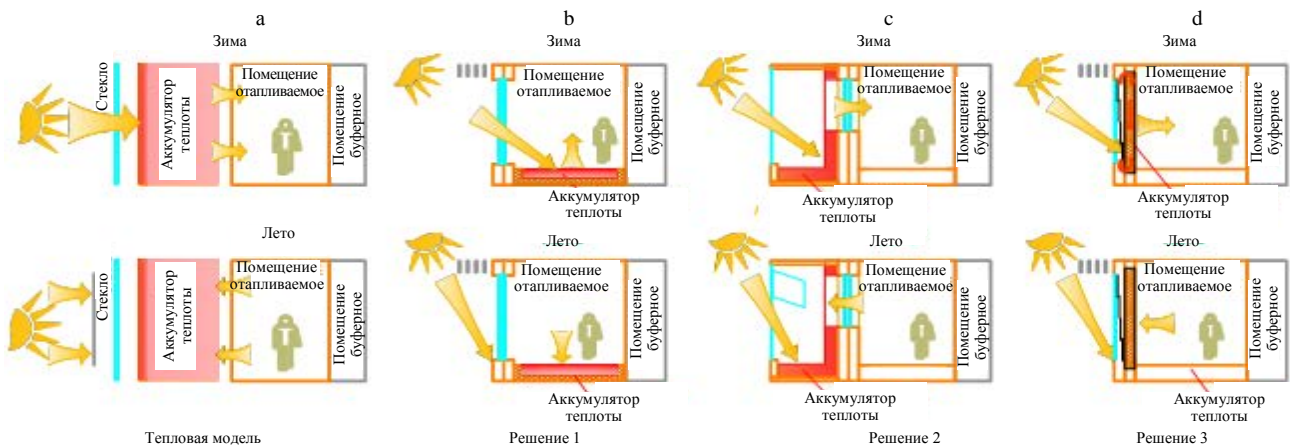


Рис. 9. Технологические принципы построения «пассивных» устройств солнечного отопления жилых зданий: а – тепловая модель построения «пассивных» устройств; б – наиболее популярное в Европе техническое решение; с – техническое решение за счет применения «зимнего сада» для индивидуального дома или реконструкции лоджий южного фасада многоквартирного жилого дома [6, 7]; д – техническое решение с использованием гелиосистемы воздушного отопления [5–9]

Fig. 9. Technological principles for development of “passive” devices for solar heating in residential buildings: а – thermal model for development of “passive” devices; б – most popular technical solution in Europe; с – technical solution due to application of “winter garden” for individual house or reconstruction of loggias in southern facade of multi-apartment residential building [6, 7]; д – technical solution using air heating solar system [5–9]

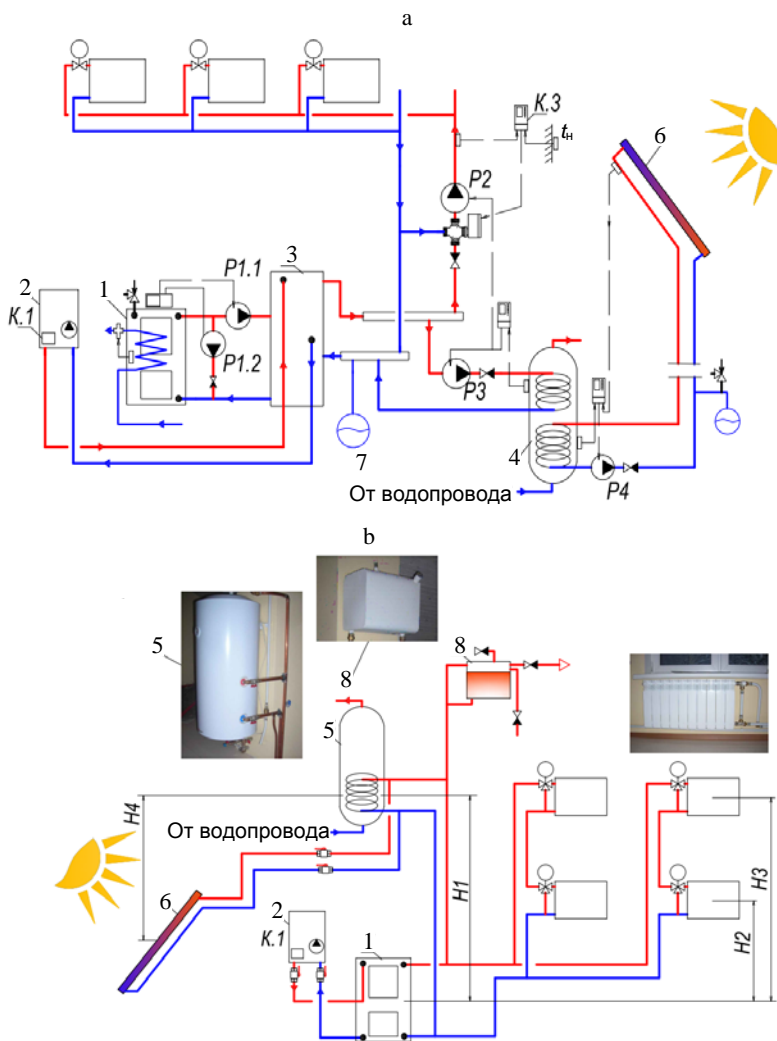


Рис. 10. Теплоснабжение жилого дома усадебного типа: а – традиционное проектное решение, применяемое в настоящее время в Европе и Беларуси; б – предлагаемое проектное решение для эксплуатационных условий Беларуси (на схеме фрагментарно показаны фотографии реализованного проекта предлагаемого решения); 1 – дровяной котел; 2 – котел на природном газе; 3 – буферный бак-разделитель; 4, 5 – двухконтурный и одноконтурный бойлер горячего водоснабжения; 6 – гелиоколлектор; 7, 8 – мембранный и «открытый» расширительный бак

Fig. 10. Heating supply of mansion-type house: а – traditional design solution which is currently used in Europe and Belarus; б – proposed design solution for operational conditions in Belarus (scheme fragmentarily shows photos of the implemented project for the proposed solution); 1 – wood burning boiler; 2 – natural gas boiler; 3 – buffer tank separator; 4 – double-circuit hot water supply boiler; 5 – single-loop hot water supply boiler; 6 – solar collector; 7, 8 – membrane and “open” expansion tank

Система (рис. 10а) имеет пять насосов, три контроллера и мембранные расширительные баки, требующие обязательного двухразового обслуживания за сезон. Кроме проблем с обслуживанием, имеются проблемы при перерывах в электроснабжении, а также вероятность замораживания системы при отсутствии жильцов в течение некоторого количества дней. Стоимость такой системы настолько высока, что не может рассматриваться в качестве альтернативы для жилых домов в агрогородках.

Предлагаемая автором система, показанная на рис. 10b, идентична по своим тепловым и качественным показателям системе рис. 10а, но при этом не имеет недостатков [11], в ней нет насосов и контроллеров. Стоимость системы не превышает стоимость традиционных систем с естественной циркуляцией, широко эксплуатируемых в Беларуси. Применяется гелиосистема с естественной циркуляцией, для рас-

чета и проектирования которой следует использовать рекомендации, изложенные в настоящей публикации. Используются единый для гелиосистемы и системы отопления гидравлический контур, заполненный незамерзающей жидкостью; одноконтурный бойлер с естественной циркуляцией от котла и гелиоколлектора с тепловым приоритетом последнего. Дровяной котел имеет функцию разделителя для газового отопления, что предопределяет его тепловой приоритет перед газовым котлом. Применяется традиционный «открытый» расширительный бак, но специальной конструкции [12], исключающий испарение воды из системы и предназначенный для сброса пара без сброса воды в случае ее закипания в дровяном котле.

На схеме рис. 11 показана предложенная автором для эксплуатационных условий Беларуси гелиосистема горячего водоснабжения.

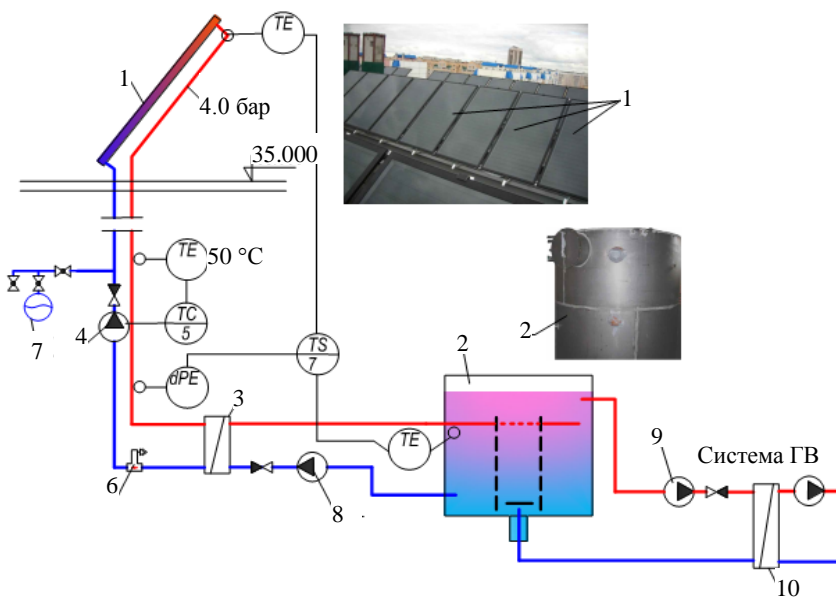


Рис. 11. Схема крупной гелиосистемы горячего водоснабжения

для эксплуатационных условий Беларуси (на схеме фрагментарно показаны фотографии элементов гелиосистемы реализованного проекта энергоэффективного демонстрационного десятиэтажного жилого дома в г. Могилеве):

- 1 – два контура гелиоколлекторов общей площадью 413 м² (по 116 шт. в контуре, всего 232 шт.);
- 2 – буферный бак-аккумулятор объемом 14,2 м³ с функцией расширительного бака с температурным расслоением по его высоте, работающий под атмосферным давлением;
- 3 – скоростной теплообменник между гелиоконтуром и теплоносителем бака-аккумулятора; 4 – насос

с плавным изменением частоты вращения под действием электронного регулятора 5; 6 – воздушный фланцевый сепаратор; 7 – мембранный расширительный бак и система автоматической подпитки; 8, 9 – циркуляционные насосы контуров теплоносителя бака-аккумулятора; 10 – скоростной теплообменник между контуром теплоносителя бака-аккумулятора и системой горячего водоснабжения

Fig. 11. Scheme of large hot water supply solar system for operational conditions in Belarus (scheme fragmentarily shows photos of solar system elements pertaining to the implemented project of an energy-efficient demonstration 10-storey residential building in Mogilev): 1 – two circuits of solar collectors with total area of 413 m² (116 items per circuit, total number: 232); 2 – buffer storage tank in volume of 14.2 m³ with function of expansion tank having temperature stratification along its height, operating at atmospheric pressure; 3 – high-speed heat exchanger between solar circuit and coolant of storage tank; 4 – pump with smooth rotary speed change under action of electronic regulator 5; 6 – flanged air separator; 7 – membrane expansion tank and automatic recharge system; 8, 9 – circulating pumps for coolant circuits of storage tank; 10 – high-speed heat exchanger between coolant circuit of storage tank and hot water supply system

Эта гелиосистема впервые реализована при проектировании и возведении в г. Могилеве энергоэффективного демонстрационного десятиэтажного жилого дома в рамках Проекта Программы развития ООН и Глобального экологического фонда «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь». Национальное исполняющее агентство – Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь, основные партнеры проекта – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Могилевский облисполком [13]. Руководитель проекта – Александр Гребеньков, у которого более 20 лет опыта в управлении и консультировании 26 международных проектов в области повышения энергетической эффективности.

Основные показатели гелиосистемы:

- годовая теплопроизводительность в виде эквивалентной величины «сэкономленного» за год условного топлива: $249000/8160 = 30,5$ т у. т. (или 249 МВт·ч, или 214,2 Гкал);
- годовой расход электроэнергии 7008 кВт·ч;
- в годовом цикле компенсируется до 40 % требуемой тепловой энергии для горячего водоснабжения.

ВЫВОДЫ

Результаты выполненных исследований позволяют применительно к эксплуатационным условиям Республики Беларусь сформировать следующие выводы.

1. В Беларуси отсутствуют специализированные сервисные службы по обслуживанию гелиосистем многоквартирных жилых зданий в отличие от большинства европейских стран. Поэтому необходимо создавать такие гелиосистемы многоквартирных жилых домов, обслуживать которые смогут специалисты ЖЭС. В домах усадебного типа системы теплоснабжения, в том числе и гелиосистемы, могут обслуживаться непосредственно жильцами на базе существующих и сложившихся у них навыков работы с традиционными системами отопления.

2. Для домов усадебного типа нужны гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя с применением плоских гелиокол-

лекторов типа «арфа» с одинарным остеклением. Для расчета и проектирования следует использовать рекомендации, изложенные в настоящей публикации.

3. Для многоэтажных жилых зданий рекомендуется применять крупные гелиосистемы с буферными баками-аккумуляторами и скоростными теплообменниками в теплообменных контурах «до» и «после» бака-аккумулятора [6]. Следует использовать плоские гелиоколлекторы типа «меандр» с одинарным остеклением. Для суточного аккумулирования теплоты лучше применять буферный бак-аккумулятор с температурным расслоением по его высоте, работающий под атмосферным давлением и сочетающий в себе функции расширительного бака. Расчетный удельный расход теплоносителя должен быть $40 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ при максимальной интенсивности солнечного излучения с плавным автоматическим снижением до $20 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ при уменьшении солнечного излучения в пасмурные дни и в утренние и вечерние периоды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sorensen, B. Renewable Energy: its Physics, Engineering, Use, Environmental Impacts, Economy and Planning Aspects / B. Sorensen. Third ed. Denmark. 2004. 927 p.
2. Яунземс, Д. Политика, нормы и стандарты энергетической эффективности зданий: справ. пособие / Д. Яунземс. Минск, 2015. 56 с.
3. Patel, M. R. Wind and Solar Power Systems / M. R. Patel. USA, New York: U.S. Merchant Marine Academy, Kings Point, 1999. 348 p. DOI: 10.1201/9781420039924.
4. Armstrong, F. Energy. Beyond Oil. / F. Armstrong, K. Blundell. Oxford University Press, 2007. 240 p.
5. Хрусталева, Б. М. Гелиосистемы теплоснабжения в жилищном строительстве в условиях климата Беларуси / Б. М. Хрусталева, В. В. Покотилова, М. А. Рутковский // Строительство и реконструкция. 2014. № 5 (55). С. 111–117.
6. Покотилова, В. В. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справ. пособие / В. В. Покотилова, М. А. Рутковский. Минск: ПРООН/ГЭФ, Департамент по энергоэффективности Госстандарта Респ. Беларусь, 2015. 64 с.
7. Покотилова, В. В. Комплексное тепловое проектирование энергоактивных жилых зданий и энергоэффективных инженерных систем / В. В. Покотилова // Теплообмен – ММФ-2000: тр. IV Минск. Междунар. форума по теплообмену, 22–26 мая 2000 г. Минск: ИТМО имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2000. Т. 10: Теплообмен в энергетических устройствах. С. 280–288.

8. Гелиосистема воздушного отопления: пат. СССР № 1333995: МПК F24J 2/42 / А. А. Арутюнян, В. П. Николаенко, В. В. Покотилов, Б. М. Хрусталеv, Л. Б. Сагал'чик; дата публ.: 30.08.1987.
9. Гелиосистема: пат. АС СССР № 1663343: МПК F24J 2/42 / В. В. Покотилов; дата публ.: 15.07.1991.
10. К вопросу проектирования водонагревательных гелиосистем с плоскими коллекторами для домов усадебного типа / Б. М. Хрусталеv [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2011. № 4. С. 32–39.
11. Покотилов, В. В. Теплоснабжение усадебного дома с использованием возобновляемых источников энергии без контроллеров и насосов / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Архитектура и строительство. 2016. № 2. С. 36–37.
12. Покотилов, В. В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения / В. В. Покотилов. Вена: Фирма Herz Armaturen, 2010. 176 с.
13. Проект ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://effbuild.by/news/396.html>. Дата доступа: 06.01.2017.
6. Pokotilov V. V., Rutkowski M. A. (2015) *Usage of Solar Energy for Improvement of Energy Efficiency in Residential Buildings*. Minsk: United Nations Development Program [UNDP]/Global Environment Fund [GEF], Department on Energy Efficiency, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus. 64 (in Russian).
7. Pokotilov V. V. (2000) Complex Heating Design of Energy-Active Residential Buildings and Energy-Efficient Engineering Systems. *Teplomassoobmen – MMF-2000: tr. IV Minsk. Mezhdunar. Foruma po Teplomassoobmenu* [Heat-and-Mass Transfer – Minsk International Forum – 2000: Proceedings of the IV Minsk International Forum on Heat-and-Mass Transfer, May 22–26, 2000. Vol. 10. Heat-and-Mass Transfer in Energy Devices]. Minsk, A.V. Luitkov Heat-and-Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 2000. P. 280–288.
8. Arutiunian A. A., Nikolaenko V. P., Pokotilov V. V., Khroustalev B. M., Sagal'chik L. B. (1987) *Solar System for Air Heating*: Patent USSR No 1333995 (in Russian).
9. Pokotilov V. V. (1991) *Solar System*. Patent USSR No 1663343 (in Russian).
10. Khroustalev B. M., Pokotilov V. V., Rutkovsky M. A., Nguen T. (2011) To the Problem of Designing Water Heating Solar Systems with Flat Collectors for Individual Dwellings. *Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (4), 32–39 (in Russian).
11. Pokotilov V. V., Rutkovsky M. A. (2016) Heat Supply of Mansion-Type Buildings while Using Renewable Energy Sources Without Controllers and Pumps. *Arkhitektura i Stroitelstvo* [Architecture and Construction], (2), 36–37 (in Russian).
12. Pokotilov V. V. (2010) *Regulating Valves of Automatic Systems for Heat- and Cold Supply*. Vienna, Firm Herz Armaturen. 176 (in Russian).
13. Project of United Nations Development Program [UNDP] / Global Environment Fund [GEF] “Improvement of Energy Efficiency for Residential Buildings in the Republic of Belarus”. Available at: <http://effbuild.by/news/396.html> (Accessed 6 January 2017) (in Russian).

Поступила 22.12.2016

Подписана в печать 24.02.2017

Опубликована онлайн 28.07.2017

REFERENCES

1. Sorensen B. (2004) *Renewable Energy. Its Physics, Engineering, Use, Environmental Impacts, Economy and Planning Aspects*. Third ed. Denmark. 927.
2. Yaunzems D. (2015) *Policy, Norms and Standards on Energy Efficiency of Buildings*. Minsk. 56 (in Russian).
3. Patel M. R. *Wind and Solar Power Systems*. New York, CRS Press. 348. DOI: 10.1201/9781420039924.
4. Armstrong F., Blundell K. (2007) *Energy. Beyond Oil*. Oxford University Press. 240.
5. Khroustalev B. M., Pokotilov V. V., Rutkowski M. A. (2014) Solar System of Heat Supply in Building Construction under Climatic Conditions of Belarus. *Stroitel'stvo i Rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], (5), 111–117 (in Russian).

Received: 22.12.2016

Accepted: 24.02.2017

Published online: 28.07.2017