

УДК 69.003.12

**МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ
МАЛОЭТАЖНОГО ЭКОЛОГИЧНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ «НУЛЬ ЭНЕРГИИ»
НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

САВИЦКИЙ Н.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*
ПОПОВ В.И.², *инженер*
КОЗАРЬ С.И.³, *инженер*
БАБЕНКО М.М.⁴, *к.т.н., докторант*
САВИЦКИЙ Ал.Н.⁵, *к.т.н., с.н.с.*

^{1*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² Частное строительно-монтажное предприятие «Строитель-П», ул. Строителей, 45-А, 49089. Днепро, Украина, тел. +38 (056) 719-91-10, e-mail: sva.stroitelpl@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, +38 (099) 247-43-16, e-mail: sikozar@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

⁴ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, +38 (099) 247-43-16, e-mail: babenko.marina@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-0775-0168

⁵ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, +38 (0562) 47-02-98, e-mail: daishi.alex@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Аннотация. В статье представлен методологический подход и результаты проектирования энергообеспечения малоэтажного экологического жилого здания по стандартам «нуль энергии». **Цель.** Доказательство возможности автономного энергообеспечения малоэтажного жилого здания в соответствии со стандартом «нуль энергии» в условиях г. Днепро при существующем технически-технологическом обеспечении. **Методика.** Метод расчета энергетического баланса малоэтажного жилого здания. **Результаты.** Согласно проведенного исследования в средневропейской зоне Украины, где расположен г. Днепро, имеется возможность обеспечить автономное энергообеспечение малоэтажного жилого здания. Предложенная система электрообеспечения позволяет генерировать излишний объем электроэнергии, который может быть реализован по схеме «зеленого тарифа». **Научная новизна.** Получены показатели энергетического баланса малоэтажного здания при применении альтернативных источников энергии. **Практическая значимость.** Определена стоимость основных конструктивов и технологических систем экоздания «нуль – энергии», которая свидетельствует о конкурентоспособности предложенного решения.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, альтернативные источники энергии, «зеленые тарифы», малоэтажные экологические здания

**МЕТОДОЛОГІЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МАЛОПОВЕРХОВОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ «НУЛЬ
ЕНЕРГІЇ» НА ОСНОВІ СОЛЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

САВИЦЬКИЙ М.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*
ПОПОВ В.І.², *інженер*
КОЗАР С.І.³, *інженер*
БАБЕНКО М.М.⁴, *к.т.н., докторант*
САВИЦЬКИЙ Ол.М.⁵, *к.т.н., с.н.с.*

^{1*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² Приватне будівельно – монтажне підприємство «Строитель-П», вул. Будівельників, 45-А, 49089. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 719-91-10, e-mail: sva.stroitelpl@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (099) 247-43-16, e-mail: sikozar@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

⁴ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, +38 (0562) 47-02-98, e-mail: babenko.marina@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-0775-0168

⁵ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: daishi.alex@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Анотація. У статті представлений методологічний підхід і результат проектування енергозабезпечення малоповерхового екологічного житлового будинку за стандартом «нуль енергії». **Мета.** Доказ можливості автономного енергозабезпечення малоповерхового житлового будинку відповідно до стандарту «нуль енергії» в умовах м. Дніпро і існуючому технічно-технологічному забезпеченні. **Методика.** Метод розрахунку енергетичного балансу малоповерхової будівлі. **Результати.** Згідно проведеного дослідження в середньоевропейській зоні України, де розташоване м Дніпро, є можливість забезпечити автономне енергозабезпечення малоповерхового житлового будинку. Запропонована система електрозабезпечення дозволяє генерувати зайвий обсяг електроенергії, який може бути реалізований за схемою «зеленого тарифу». **Наукова новизна.** Отримано показники енергетичного балансу малоповерхового будівлі при застосуванні альтернативних джерел енергії. **Практична значимість.** Визначено вартість основних конструктивів і технологічних систем екобудинку «нуль - енергії», яка свідчить про конкурентоспроможність запропонованого рішення.

Ключові слова: енергетична ефективність, альтернативні джерела енергії, «зелені тарифи», малоповерхові екологічні будівлі

METHODOLOGY AND RESULTS OF DESIGN OF ENERGY SUPPLY FOR LOW-RISE ECOLOGICAL BUILDING "ZERO ENERGY" ON THE BASIS OF SOLAR SYSTEM

SAVYTSKYI M.V.^{1*}, *Doctor of Technical Sciences, prof.*

POPOV V.I.², *engineer*

KOZAR S.I.³, *engineer*

BABENKO M.M.⁴, *Cand.Tech.Sci., Post. Doc.*

SAVYTSKYI A.I.M.⁵, *Cand.Tech.Sci., Senior Research Scientist*

^{1*} Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Educational Institution "Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture", ul. Chernyshevsky, 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² Private building and assembly enterprise "Stroitel-P", st. Builders, 45, 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: 49089. tel. +38 (056) 719-91-10, e-mail: sva.stroitelp@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

³ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Educational Institution "Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture", ul. Chernyshevsky, 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, +38 (099) 247-43-16, e-mail: sikoazar@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

⁴ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Educational Institution "Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture", ul. Chernyshevsky, 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 47-02-98, e-mail: babenko.marina@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-0775-0168

⁵ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Educational Institution "Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture", ul. Chernyshevsky, 24-a, 49600, Dnipro, Ukraine, +38 (0562) 47-02-98, e-mail: daishi.alex@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

Abstract. The article presents a methodological approach and the result of designing an energy supply for a low-rise ecological residential building according to the standards of "zero energy". **Purpose.** Proof of the possibility of an autonomous power supply of a low-rise residential building in accordance with the "zero energy" standard in the city of Dnipro and the existing technical and technological provision. **Methodology.** Method for calculating the energy balance of a low-rise building. **Results.** According to the conducted research in the Central European zone of Ukraine, where Dnipro city is located, it is possible to provide an autonomous power supply for a low-rise residential building. The proposed electric supply system allows generating an excess amount of electricity, which can be realized according to the "green tariff" scheme. **Scientific novelty.** The indicators of the energy balance of a low-rise building are obtained using various alternative energy sources. **Practical significance.** The cost of basic constructive and technological systems of eco-development of "zero-energy" is determined, which indicates the competitiveness of the proposed solution.

Keywords: energy efficiency, alternative energy sources, "green tariffs", low-rise ecological buildings

Актуальность

Около половины всех невозобновляемых ресурсов, потребляемых человечеством,

используются в строительстве. Строительная отрасль значительно влияет на большинство факторов загрязнения окружающей среды. Основным признаком традиционной строительной отрасли

является чрезмерное использование энергии, что влияет на процесс глобального потепления и изменения климата. Энергия расходуется при добыче сырья, производстве и транспортировке материалов, в процессе строительства, эксплуатации, ремонта и ликвидации зданий. Согласно данным многих исследований до 50% выбросов углекислого газа приходится на строительную индустрию. Кроме того, вред окружающей среде на этапе ликвидации и утилизации здания, может быть эквивалентной его воздействию в течение всего жизненного цикла.

Все эти факторы делают строительство одной из самых устойчивых отраслей в мире, и в то же время наиболее перспективной для внедрения устойчивых технологий и достижения заметного результата в сокращении воздействия на окружающую среду.

На сегодня в Украине на национальном уровне существует определенная законодательная и нормативная база по обеспечению энергоэффективности. Закон Украины «Об энергетической эффективности зданий», в частности ст. 3.1 «Государственная политика в сфере обеспечения энергетической эффективности зданий», предусматривает введение стимулирования к уменьшению потребления энергетических ресурсов в зданиях, сокращение выбросов двуокиси углерода в атмосферу, разработки и выполнения национального плана по увеличению количества зданий с близким к нулевому уровню потребления энергии и тому подобное. Частично входят в действие международные проекты, поддерживаемые Европейской комиссией, программами Tacis, Thematic, USAID, Немецким бюро международного сотрудничества (GIZ) и другими. Однако, для их эффективного и быстрого внедрения требуется детальный анализ и адаптация альтернативных технологий энергообеспечения к условиям Украины.

Цель

Целью работы является доказательство возможности и целесообразности автономного энергообеспечения малоэтажного жилого здания в соответствии со стандартом «нуль энергии» в условиях г. Днипро и существующем технически-технологическом обеспечении.

Изложение основного материала

Исходные данные. Место расположения жилого здания – средне-европейская зона с интенсивностью солнечного излучения – 1223 кВт·час/м²·год (г. Днипро). Жилой дом площадью 130 м² предназначен для проживания семьи в составе 3...4 человек. Габариты здания – 6 x 10 м, продольная ось здания имеет ориентацию восток-запад. Дом двухэтажный с мансардным этажом. Первый этаж – полуподвальный. На нем расположены: кухня – столовая, кладовая, туалет, ванная и комната для спортивных занятий. На втором этаже расположены: прихожая, гостинная, спальни, туалет, ванная и кабинет. На мансардном этаже расположены: зал, помещение для инженерных коммуникаций, гардеробная. Полезная площадь одного этажа – 50 м², мансардного этажа – 30 м². Высота помещений на этажах – 2,5 м, мансардного этажа – 2,2 м. Дом имеет теплоизоляцию с расчетными теплотерями 25 Вт/м³. Вся бытовая техника в доме рассчитана на питание однофазным электрическим током напряжением 220 В, частотой 50 Гц. В качестве прототипа выбрано здание со стенами из соломенных панелей «Life House Building» [1]. Договорная стоимость составляет \$350 за м² общей площади здания.





Рис. 1. Конструкция здания – прототипа из соломенных панелей «Life House Building»/ The construction of the building - a prototype of the straw panels "Life House Building"

Потребление тепловой и электрической энергии в здании. Для нормального функционирования проектируемого дома и обеспечения комфортных условий жизнедеятельности проживающих в нем людей необходимо затрачивать тепловую и электрическую энергию на выполнение следующих функций:

- приготовление пищи и ее хранение;
- нагрев (охлаждение) воздуха в помещениях дома для обеспечения комфортных условий проживания людей;
- подача холодной воды в дом и работа канализации;
- нагрев воды для отопления и горячего водоснабжения;
- функционирование бытовых приборов и бытовой техники;
- функционирование вспомогательных объектов усадьбы (хозяйственного блока, теплицы и т.п.);
- работа инструмента и устройств хозяйствования.

Авторами на основе статистических данных, опыта других специалистов выполнен анализ использования каждого потребителя энергии в течении каждого месяца года с учетом продолжительности его работы и затрачиваемой при этом мощности. Результаты такого анализа приведены в таблице 1.

Расчет солнечных панелей на основе определения солнечной активности. Город Днепро имеет следующие географические координаты во всемирной системе координат WGS [2]: 48 град. 27 мин. северной широты, 34 град. 59 мин. восточной долготы. Продолжительность светового дня по

гражданским сумеркам равна: самая короткая- 9 час. 36 мин., самая длинная – 17 час. 26 мин. Минимальное расчетное время активной солнечной радиации равно: 9 час. 36 мин. – 2 час. = 7 час. 36 мин. (7,6 часа). Солнечная инсоляция в г. Днипро по данным NASA равна: годовая – 1223 кВт.час/м²/год, среднемесячная – 3,3516 кВт.час/м²/день [3]. Значения ежедневной инсоляции по месяцам приведены в таблице 2.

Для электроснабжения здания принимаем автономную солнечную электростанцию схема которой приведена на рис. 2.

В качестве рабочей выбираем поликристаллическую панель ABISolar PS –P60250 мощностью 250 Вт, напряжением 24 В. Размер панели 1650x992x35 мм, вес -20 кг, активная площадь панели – 1,6368 кв.м. Стоимость панели равна 250 дол. США [4]. Панели закрепляются на южном скате кровли проектируемого дома. Размер ската кровли – 3,7 м x 10 м. Угол наклона ската, примерно, равен 37 град. К горизонту. Согласно рекомендациям панели солнечной батареи должны размещаться под углом к горизонту под углом на 15 град. Больше, чем географическая широта места установки, т.е. $48 + 15 = 63$ град.

Количество панелей диктуется величиной потребности в электроэнергии по самым неблагоприятным месяцам года – в январе и декабре. Необходимое количество панелей по расходу электроэнергии в январе: $497,5/1,21 \times 1,6368 = 8,1$ шт. То же по расходу декабря: $477,9/0,96 \times 1,6368 = 9,8$ шт. Принимаем для работы 10 панелей в солнечной батарее. В таблице 3 приведены данные по объемам генерации и потребности по месяцам года при работе всех 10 панелей.



Рис. 2. Схема автономной солнечной электростанции/
The scheme of an autonomous solar power station

Таблица 1.

Среднее потребление электроэнергии по периодам, кВт час/ Average power consumption by periods, kWh

Прибор	Мощность Вт	Месяц года											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Основные регулярные потребители													
1	250	23,2	21,0	31,0	37,0	38,8	45,0	46,5	46,5	37,5	38,8	22,5	19,4
2	1200	111,6	100,8	111,6	108,0	111,6	72,0	74,4	74,4	144,0	111,6	90,0	93,0
3	60	9,3	8,4	7,4	5,4	5,6	5,4	5,6	5,6	7,2	7,4	9,0	11,2
4	20	14,8	13,4	14,9	14,4	14,9	14,4	14,9	14,9	14,4	14,9	14,4	14,9
5	5	3,7	3,4	3,7	3,6	3,7	3,6	3,7	3,7	3,6	3,7	3,6	3,7
6	30	2,8	2,5	1,9	1,4	1,4	1,8	1,9	1,9	1,8	2,8	2,7	2,8
7	800	24,8	22,4	24,8	28,8	37,2	60,0	62,0	62,0	48,0	37,2	24,0	24,8
8	2500	193,8	175,0	116,2	30,0	30,0	20,0	20,0	20,0	25,0	124,0	187,5	193,8
9	2500	46,5	42,0	46,5	45,0	31,0	22,5	15,5	15,5	22,5	31,0	45,0	42,6
10	150	9,3	8,4	9,3	9,0	14,0	18,0	18,6	18,6	13,5	11,6	9,0	7,0
11	1x20	1,2	1,1	0,9	0,9	0,6	-	-	-	0,6	0,9	1,2	1,9
	1x20	3,7	3,4	3,1	2,7	0,8	-	-	-	0,6	0,9	1,2	1,9
	2x20	9,9	9,0	8,7	7,2	5,0	2,4	2,5	2,5	2,4	5,0	7,2	9,9
	4x20	14,9	13,4	14,9	12,0	7,4	4,8	4,8	5,0	4,8	9,9	14,4	19,8
итого		469,7	424,2	394,9	310,8	301,9	269,9	270,5	270,5	325,9	399,7	432,3	446,6
2. Вспомогательные регулярные потребители													
12	2000	10,0	12,0	12,0	8,0	8,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0	12,0
13	1500	4,5	6,0	6,0	6,0	7,5	9,0	9,0	9,0	7,5	6,0	6,0	6,0
14	1500	9,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	9,0	9,0	9,0
15	1800	3,6	5,4	5,4	5,4	7,2	9,0	9,0	9,0	7,2	5,4	3,6	3,6
16	50	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
итого		27,9	36,2	36,1	32,2	35,5	40,8	40,8	40,8	37,4	31,1	31,4	31,4
3. Нерегулярные потребители													
17	1500	-	-	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	7,5	4,5	-	-	-
18	1500	-	-	3,2	4,5	4,5	6,0	7,5	7,5	4,5	-	1,5	-
19	3200	-	-	3,2	4,8	6,2	9,6	9,6	6,2	3,2	-	3,2	-
20	1500	-	-	1,5	4,5	-	-	3,0	9,0	6,0	2,0	-	-
21	1000	-	-	-	1,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0	-	-
22	320	-	-	14,9	19,2	0,3							
итого		-	-	22,6	37,0	19,5	25,6	31,6	34,2	22,0	2,0	4,7	-
всего		497,5	460,3	453,7	380,0	356,9	336,2	342,9	345,4	385,6	432,9	468,4	477,9

Примечание: 1 – холодильник, 2 – плита кухонная, 3 – телевизор, 4 – инвертор, 5 – контроллер заряда, 6 – ноутбук, 7 – насос холодной воды, 8 – теплогенератор отопления, 9 – электрочайник, 10 – рекуператор воздуха, 11 – лампы освещения, 12 – электродуховка, 13 – стиральная машина, 14 – утюг, 15 – пылесос, 16 – вытяжка кухонная, 17 – болгарка, 18 – электродрель, 19 – сварочный аппарат, 20 – дробилка растений, 21 – газонокосилка, 22 – насос теплицы

Таблица 2.

Средний месячный уровень солнечной радиации (солнечная постоянная) в г. Днипро (кВтч/м²/день)/The average monthly level of solar radiation (solar constant) in the city of Dnipro (kWh/m²/day)

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
уровень	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,2	0,96

Таблица 3.

Расход и генерация электрической энергии, (кВтчас)/
Consumption and generation of electrical energy, (kWh)

Параметр	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
генерация	613	912	1512	1989	2816	2735	2892	2577	1797	1152	589	487	20080
расход	497	460	454	380	357	336	343	345	385	433	468	478	4937
разница	116	452	1058	1609	2459	2399	2549	2232	1412	719	121	9	15143

Расчет вспомогательного оборудования.

Инвертор. Мощность инвертора рассчитываем по наиболее напряженному месяцу- январю. Потребление в этом месяце составляет 497 кВт.час, т.е. за день $497/31 = 16$ кВт.час. Продолжительность активной солнечной радиации в январе равна 7.6 часа. Мощность инвертора должна быть не менее $16/7.6 = 2$ кВт, а с учетом запаса $1.4 \times 2 = 2.8$ кВт. Принимаем мощность инвертора 3 кВт. Так как дом полностью обеспечивается электроэнергией от солнечных батарей, то выбираем гибридный инвертор для однофазного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц и с чистой синусоидой.

Рекомендуется применить гибридный инвертор РН3000-3К (Тайвань). Его краткая техническая характеристика: номинальная мощность – 3000 Вт, напряжение: входное – 24,48 вольт, выходное -230 В, ток заряда – 80 А, вес 29.5 кг. Стоимость – 1003 долл. США.

Резервной системой электрообеспечения может служить промышленная электросеть, а там где ее нет – автономный двигатель внутреннего сгорания – генератор мощностью около 4 кВт.

Аккумуляторные батареи. Суммарная емкость аккумуляторных батарей выбираем по наибольшему месячному потреблению. Суточное потребление в январе равно 16048 Вт.час.

Принимаем следующее распределение этого потребления: днем от солнечных батарей – 40% и ночью от аккумуляторов – 60%. Тогда суточное потребление от аккумуляторных батарей равно $16048 \times 0,6 = 9629$ Вт.час. Требуемая емкость аккумуляторной батареи равна: $9629/24 = 401$ А.час. Для обеспечения долговечности батарей их разряд должен быть не более 80%. Следовательно, необходим аккумулятор емкостью $401/0.8 = 501$ А.час. Принимаем аккумулятор 6 OpzV 600 емкостью 600 А.час и напряжением 2 В. Для батареи 24 В необходимо 12 таких аккумуляторов. Выпускает такие аккумуляторы Харьковский аккумуляторный завод «Владар». Это аккумуляторы нового поколения гелевые, с панцерными электродами, со сроком службы до 18 лет.

Контроллер заряда. Выбираем эффективный контроллер заряда типа MPPT – MORNINGSTAR TRISTAR- MPPT60 со следующей технической характеристикой: максимальный непрерывный ток заряда АКБ – 60 А, номинальное напряжение – 12, 24, 48 В, стоимость - 886 долларов США.

На основе калькулятора солнечной электростанции [5] в таблице 4 приведены ориентировочные расчеты параметров и стоимость СЭС при выборе разной мощности станции.

Таблица 4.

Генерация и потребление электроэнергии при отсутствии схемы «зеленого тарифа», кВтчас/
Generation and consumption of electricity in the absence of a "green tariff" scheme, kWh

Параметр	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
К-во панелей	9	6	3	2	2	2	2	2	3	4	8	10	
генерация	552	547	454	398	563	547	578	516	539	461	471	487	6113
расход	497	460	454	380	357	336	343	345	385	433	468	478	4937
разница	55	87	0	18	206	211	235	171	154	28	3	9	1176

Система вентиляции и рекуперации тепла. При комплектации жилых зданий пластиковыми герметичными оконными блоками обеспечивается хорошая теплоизоляция, но возникает проблема

воздухообмена в помещениях. Необходимо периодически их проветривать. Однако в холодное время приходится подавать в комнаты холодный воздух, чем существенно нарушается тепловой

температурный режим в помещениях. Расчетами и практикой доказано, что посредством вентиляции зимой теряется до 50% тепловой энергии. Возникает необходимость сберечь это тепло и при этом обеспечить вентиляцию. Системы такого назначения называются рекуперативными.

Примером удачной реализации такой системы может служить установка ВЕНТС МИКРА 150Э Полтавского вентиляторного завода, которая обеспечивает и вентиляцию, и рекуперацию тепла. Достоинством этой установки также является наличие функции подогрева наружного воздуха. Установка имеет два вентилятора общей мощностью 15,5 Вт и производительность до 150 м³/мин. Вес установки – 20 кг, стоимость – 27609 грн.

Вторым удачным примером являются рекуператоры фирмы «ПРАНА», г. Львов. Это рекуператоры точечного использования и должны устанавливаться в каждой комнате. Их краткая характеристика: приток воздуха – 125 м³/час, вытяжка воздуха – 115 м³/час, потребляемая мощность -32 Вт.час, площадь комнаты – до 60 м².

Система нагрева воды для отопления и горячего водоснабжения. Основой такой системы является электрический теплогенератор. Лучшим техническим решением в настоящее время является теплогенератор с электро-магнитным индукционным нагревом. Он обладает следующими преимуществами перед другими видами электронагрева:

абсолютно пожаробезопасный, т.к. нагрев

беспламенный;

в системе не образуется накипи;
большая долговечность (до 30 лет);
бесшумная работа;
высокая экономичность;
система может работать на антифризе.

Определим тепловую мощность теплогенератора. Для жилого здания при расходе тепла 25 Вт/м³ необходимая тепловая мощность равна: $(100 \times 2,5 + 30 \times 2,2) \times 25 = 7900$ Вт.

Исходя из характеристик рекуператоров ВЕНТС МИКРА 150Э и ПРАНА -150, где указано, что эти рекуператоры возвращают 80...93 % тепла (принимая для расчетов 70%) можно заключить, что для обеспечения нормального отопления необходимо пополнить $7900 \times (1 - 0,7) = 2370$ Вт тепловой мощности. Таким образом, суммарная мощность теплогенератора должна быть: $7900 + 2370 = 10270$ Вт. Выбираем для применения индукционный котел ВИН -10 (г. Запорожье), который имеет параметры:

тепловая мощность -10 кВт,
кпд – 99%;
вес – 40 кг;
стоимость – 577 долл. США.

Следует также упомянуть, что горячую воду летом достаточно легко можно получить, используя солнечный коллектор, установленный, например, на кровле и накопительного бака большой емкости, установленного и утепленного на мансардном этаже.

Таблица 5.

Итоговые затраты на элемент архитектурно-конструктивно-технологической системы здания «нуль энергии» для г. Днипро, долл. США/м²/
Total costs for an element of the architectural - constructive -technological system of the building "zero energy" for the city of Dnipro, USD/m².

№ п.п.	Элемент архитектурно-конструктивно-технологической системы здания	Стоимость, долл. США/м ²
1	Коробка здания с черновой отделкой	350
2	Автономная солнечная электростанция мощностью 3 кВт	75
3	Теплогенератор для отопления и горячего водоснабжения	5
4	Система теплового барьера	50
5	Система вентиляции и рекуперации тепла	10
6	Система водоснабжения и канализации с приборами	20
	Итого:	510

Выводы

1. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что в средневропейской зоне Украины, где расположен г. Днипро, имеется возможность обеспечить автономное энергообеспечение малоэтажного жилого здания.

2. Предложенная система электрообеспечения позволяет генерировать излишний объем

электроэнергии, который может быть реализован по схеме «зеленого тарифа».

3. В случае, если здание будет расположено в зоне отсутствия промышленной электросети, предложена система выборочного использования солнечных панелей для генерации такого количества электроэнергии, которого было бы достаточно для покрытия потребности в каждый период года. Такой прием способствует существенному продлению

срока службы солнечных панелей и аккумуляторных батарей.

4. В настоящее время на рынке Украины имеются все необходимые устройства и приборы для предложенной системы строительства. Имеется возможность организовать собственное производство

отдельных элементов и компонентов инженерных систем.

5. Определена стоимость основных конструктивов и технологических систем экздания «нуль – энергии», которая свидетельствует о конкурентоспособности предложенного решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технология строительства домов из соломенных панелей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://lifehousebuilding.com/>– Загл. с экрана. – Проверено – 20 июля 2017
2. Географические координаты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://dateandtime.info/ru/citycoordinates.php?id=70993084/> - Загл. с экрана. – Проверено – 15 июля 2017
3. Солнечная радиация в городах Украины. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://solnechniyvet.blogspot.com/p/blog-page.html>- Загл. с экрана. – Проверено – 15 июня 2017
4. Солнечная электроэнергетика и энергосбережение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://solar-tech.com.ua/solar-electricity/>.- Загл. с экрана. – Проверено – 15 июля 2017
5. Калькулятор солнечных панелей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://greenlogic.com.ua/calculator.php?type_station=3&type_panel=1&azimut=179®=20&Vphoto=5&Numphoto=20&Sphoto=32&STphoto=64&Aphoto=63&avt=24&type_batt=3&Wz=500&Wl=350#result - Загл. с экрана. – Проверено – 5 июля 2017

REFERENCES

1. The technology of building houses from straw panels. Available at: <http://lifehousebuilding.com> (Accessed July 20, 2017).
2. Geographical coordinates. Available at: <http://dateandtime.info/ru/citycoordinates.php?id=70993084/>-(Accessed July 15, 2017).
3. Solar radiation in the cities of Ukraine. Available at: <http://solnechniyvet.blogspot.com/p/blog-page.html> -(Accessed June 15, 2017).
4. Solar power and energy saving. Available at: <http://solar-tech.com.ua/solar-electricity/>-(Accessed July 15, 2017).
5. Calculator of solar panels Available at: http://greenlogic.com.ua/calculator.php?type_station=3&type_panel=1&azimut=179®=20&Vphoto=5&Numphoto=20&Sphoto=32&STphoto=64&Aphoto=63&avt=24&type_batt=3&Wz=500&Wl=350#result-(Accessed July 5, 2017).

*Стаття рекомендована до друку д-ром. техн. наук, проф. Дерев'янкуВ.М.. (Україна);
Поступила в редколегію 27.08.2017 р.*