

DOI: 10.32347/2076-815x.2020.74.196-204

УДК 721.021.2

Кошева В.О.,

vikk-ko@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6178-8837,

к.т.н., доцент **Гетун Г.В.,**

galinagetun@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3317-3456,

к.т.н., доцент **Левківський Д.В.,**

levkivskyi.dv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2964-1605,

Київський національний університет будівництва і архітектури

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОАКТИВНОЇ БУДІВЛІ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ П'ЯТИПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

Розглянута методика побудови комплексної геометрично-математичної моделі для аналізу та перетворення існуючої п'ятиповерхової будівлі в енергоактивну після капітальної реконструкції. Розглянуті можливості зниження енергоспоживання за рахунок архітектурно-конструктивних, інженерно-технологічних та додаткових сучасних технологічних рішень, що призводять до перетворення існуючої будівлі в енергоактивну з плюсовим балансом енергоспоживання. Запропоновано впровадження сучасних рішень у вигляді встановлення теплових насосів з вертикальним теплообмінником, індивідуальних геліоколекторів для підігріву води, сонячних батарей на покрівлі будинку, можливості рекуперації каналізаційних стоків та використання їх тепла. Для візуалізації та аналізу енергоефективності будинку побудовані діаграми САНКЕЙ, що відображають наявність існуючих джерел енергії та можливості їх заміщення після впровадження архітектурно-конструктивних, інженерно-технологічних та сучасних технологічних рішень.

Ключові слова: комплексна модель енергоефективності; баланс енергоспоживання; енергоактивна будівля; архітектурно-конструктивні рішення; інженерно-технологічні рішення; сучасні технології; діаграма САНКЕЙ.

Комплексна модель енергоактивної будівлі створена на основі паспорту аудиту при модернізації п'яти поверхового будинку за адресою: місто Київ, вул. Воскресенська, будинок №7 [1]. В паспорті описаний технічний стан будівлі, визначені фактичні характеристики огорожувальних конструкцій, а також фактичний обсяг енергоспоживання за рік, описані фактичні характеристики інженерних систем будівлі, за цими показниками будівля віднесена до класу енергоефективності нижче G.

Паспорт енергоаудиту передбачає деякі рішення по підвищенню енергоефективності будівлі, серед яких:

1. Архітектурно-конструктивні рішення: утеплення стін; заміна вікон з подвійним склінням в дерев'яних рамах на енергозберігаючі; заміна дверей на енергозберігаючі; утеплення суміщеного покриття даху; утеплення підлоги та цоколю. Такі архітектурно-конструктивні рішення можуть привести до зниження енергоспоживання майже на 32%. Результати зменшення енергоспоживання будинку за рахунок архітектурно-конструктивних рішень представлені в таблиці 1 та діаграмою САНКЕЙ на рисунках 1 та 2.

Таблиця 1

Види енергоспоживання будинку – енергоаудит	Фактичне споживання по результ. Аудиту МВт*год/рік	Витрати енергії		Фактичне значення витрат енергії МВт*год/рік	Архітектурно-конструктивні енергоефективні рішення МВт*год/рік					Витрати енергії після арх.-конст. рішень
		Витрати через вентиляцію 40%	Трансмісія через огородину конструкції 60%		Утеплення стін	Заміна вікон	Заміна дверей	Утеплення перекриття	Утеплення підлоги та цоколя	
Теплова енергія отримана за рахунок викор. природного газу в районній котельні	547,88	Витрати через вентиляцію 40%		219,15						219,15
		Трансмісія через огородину конструкції 60%	Стіни 50%	164,36	-160,43					3,93
			Вікна 30%	98,62		-53,37	-3,0			42,25
			Перекриття 1-го та 5-го поверху 20%	65,75				-46,37	-27,63	-8,25
Теплова енергія для підігріву гар. води	267,69	Підігрів води 70%		187,38					187,38	
		Втрати за рахунок теплоізоляції 30%		80,31					80,31	
Електрична енергія, вироблена в р-ні з різних видів палива та гідроенергії	96,92	Освітлення приміщень 15%		14,52					14,52	
		Охолодження приміщень 25%		24,21					24,21	
		Побутові потреби 40%		38,73					38,73	
		Вентиляція 10%		9,68					9,68	
		Загальнобудинкові 10%		9,68					9,68	

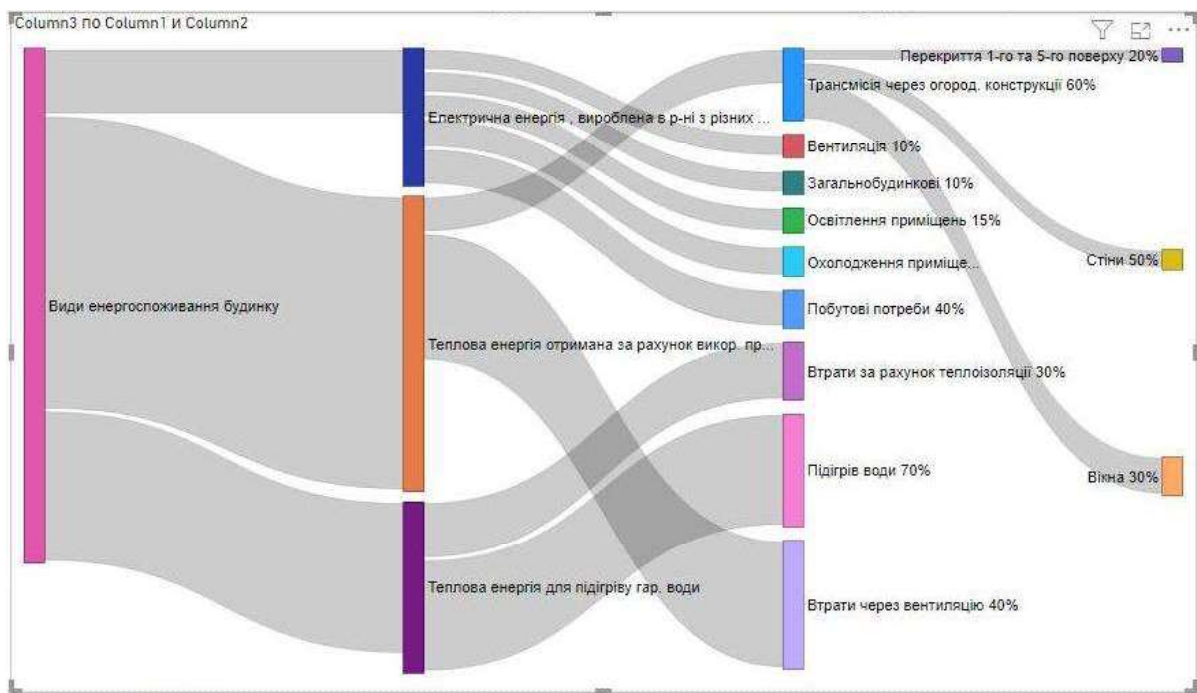


Рис.1. Загальні витрати енергії будинку по результатам енергоаудиту.

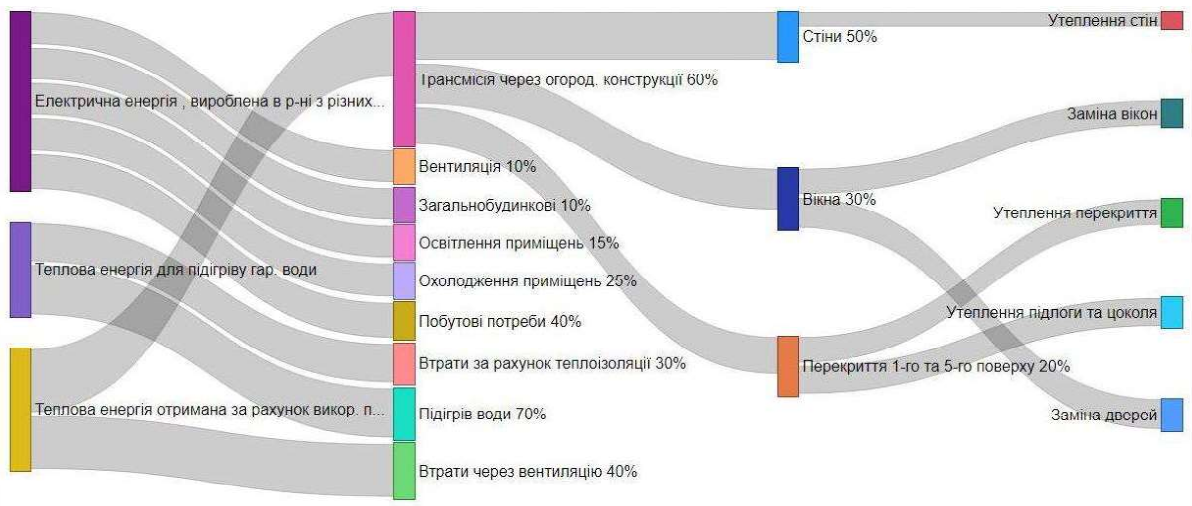


Рис.2. Зменшення енергоспоживання після архітектурно-конструктивних рішень.

2. Інженерно-технологічні рішення: теплоізоляція трубопроводів та запірної арматури систем опалення та гарячого водопостачання; заміна світильників з лампами розжарювання на світлодіодні; встановлення балансувальних клапанів та від балансування системи опалення; встановлення модульного теплового пункту системи опалення; встановлення локальних систем вентиляції; заміна однотрубною системою опалення на двотрубну. Інженерно-технологічні рішення можуть зменшити енергоспоживання будинку на майже 33 %. Після архітектурно-конструктивних та інженерно-технологічних рішень будівля може бути віднесена до класу В. Результати зменшення енергоспоживання будинку за рахунок інженерно-технологічних рішень представлені в таблиці 2 та діаграмою САНКЕЙ на рис.3.

Таблиця 2

Витрати енергії	Витрати енергії після арх.-конст. Рішення МВт*год/рік	Інженерно-технологічні рішення МВт*год/рік					
		Теплоізол. трубопроводів та встановлення запірної арм.	Встановлен. балансувальних клапанів та загальне балан. с-ми опалення	Заміна однотрубною і с-ми опал. на двотрубну	Встановлення теплопункту ІТП	Влаштування локальних с-м вент. з елемент. рекуперац.	Заміна ламп розжар. на енергозберігаючі
Втрати через вентиляцію 40%	219,15	-32,14	-13,62	-43,83	-13,62	-77,9	
Трансмісія через огорог. конструкції 60%	Стіни 50%	3,93					
	Вікна 30%	42,25					
	Перекриття 20%	-8,25					
Підігрів води 70%	187,38		-13,62	-37,48	-13,62		
Втрати за рахунок теплоізоляції 30%	80,31	-32,14					
Освітлення приміщень 15%	14,52						-11,51
Охолодження приміщень 25%	24,21					-6,05	
Побутові потреби 40%	38,73						
Вентиляція 10%	9,68					+1,94	
Загальнобудинкові 10%	9,68						-2,88

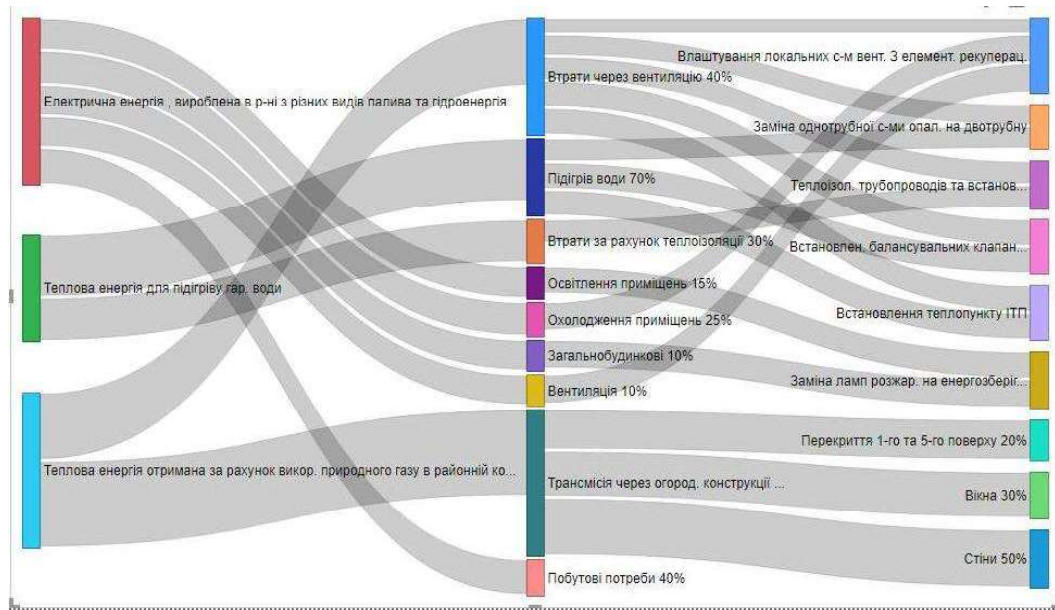


Рис. 3. Зменшення енергоспоживання після інженерно-технологічних рішень.

Розроблені додаткові рішення по удосконаленню енергетичного балансу будівлі, що призведуть до перетворення будівлі в енергоактивну, а саме:

1. Встановлення теплового насоса з вертикальним теплообмінником.

Приблизно 75% опалювальної енергії можна зібрати безкоштовно із природи: ґрунту, води, повітря й тільки 25% енергії необхідно затратити для роботи самого теплового насоса. Інакше кажучи, встановлюючи тепловий насос заощаджується 3/4 коштів, які регулярно витрачаються на газ, дизпаливо або електроенергію при традиційному опаленні. Переваги теплових насосів: тепловий насос — єдина система, яка виробляє в 3—7 разів більше теплової енергії, ніж споживає електричної (яка потрібна для роботи компресора); це єдина система, яка дозволяє підтримувати комфортну для вас температуру в приміщенні цілий рік: взимку — обігрівати, влітку — охолоджувати; висока енергетична ефективність: 2/3 енергії отримуємо із землі, води або повітря, ефективний тепловий насос може скоротити затрати на опалення до 75%, мінімальні експлуатаційні витрати в порівнянні з іншими опалювальними системами. Енергосистема «повітря-вода» є найбільш оптимальною для встановлення в даній будівлі (економія до 50% на опаленні та гарячому водопостачанні, але збільшення витрат електроенергії в 1,7 рази) [2].

2. Встановлення індивідуальних геліоколекторів для підігріву води.

Плоскі сонячні колектори — це найпоширеніший у світі тип геліоколекторів. Площа встановлених плоских колекторів значно перевищує сумарну встановлену площу всіх інших типів. Сучасні зразки плоских геліоколекторів практично досягли своїх максимальних теплотехнічних можливостей, і в даній

момент мають найкраще співвідношення ціни, надійності й ефективності [3]. Встановлення плоских сонячних колекторів має ряд переваг: універсальність; висока ефективність; висока надійність; невибагливість; можливість всесезонного ефективного використання; тривалий ефективний термін експлуатації. По розрахункам економія складатиме до 30% на гарячому водопостачанні, але збільшаться витрати електроенергії на 1,7 рази.

3. Рекуперація каналізаційних стоків. Одним з перспективних напрямків в галузі енергозбереження є впровадження теплообмінників, що дозволяють рекуперувати тепло каналізаційних стоків без додаткового використання будь-якого енергоносія [4]. І крім того, це обладнання може знаходитися в безпосередній близькості до споживача тепла - в цокольному поверсі, підвалі. Технологія дозволяє ефективно відібрати частину видаляемого в каналізацію тепла безпосередньо в будинку, з подальшим забезпеченням попереднього нагріву теплоносія на гаряче водопостачання (1-й ступінь). Економічний ефект, який при цьому можна отримати - скорочення витрат на нагрів гарячої води до 35-37%. В будівлі, що проектується економія 8 % на опаленні та до 15 % на гарячому водопостачанні, але збільшення витрат на електроенергію в 1,5 рази.

4. Встановлення сонячних батарей на покрівлі будинку. Величина сонячної інсоляції в різних регіонах України суттєво відрізняється. В середньому, можна вважати, що кожен 1 кВт потужності сучасних високоякісних панелей забезпечить наступну щорічну вироблення електроенергії по областям при ідеальних умовах: північні, північно-західні - 1035 кВт * год; західні - 1070 кВт * год; центральні - 1125 - 1175 кВт * год; східні, південні - 1225-1275 кВт * год; Крим, південно-західна частина Одеської області - 1300-1325 кВт * год. Щоб розрахувати, скільки дає енергії сонячна батарея потужністю 250 Вт, наведені цифри знадобиться розділити на чотири. Це дасть наступні середні щорічні цифри: Рівне, Суми - 275 кВт * год (північ, північний захід); Дніпро, Київ - 300 кВт * год (центр); Херсон, Миколаїв - 325 кВт * год (південь). Плоска покрівля дозволяє надати панелям будь-яким кутом нахилу і Азімут напрямом, а наявність вільної площі - довести сукупну потужність системи до 30 кВт. При існуючих ставках «зеленого тарифу» мережева станція такої потужності окупиться всього за 5-6 років, в подальшому забезпечуючи власнику чистий прибуток в розмірі близько € 5000 щорічно [5].

Перевагою даного варіанту є потенційна можливість в будь-який момент встановити додаткові сонячні батареї для квартири - зазвичай площа дахів багатопверхівок це дозволяє. Для повноцінного постачання будинку цього, зрозуміло, недостатньо, і забезпечення потреб електроенергії досягається об'єднанням потрібного числа батарей. Встановлення сонячних батарей на

покрівлі п'ятиповерхового будинку та монтаж сонячної електростанції необхідно площею $S=796 \text{ м}^2$. По розрахункам для м. Києва можна отримати до 62,14 МВт*год/рік електроенергії (вище класу А по енергоефективності).

Враховуючі такі рішення можна досягти нульового енергетичного балансу даної будівлі, або навіть отримати можливість експорту енергії (плюсового балансу) до 2,67 МВт*год/рік. Результати зменшення енергоспоживання будинку за рахунок додаткових технологічних рішень представлені в таблиці 3 та діаграмою САНКЕЙ на рис.4.

Таблиця 3

Витрати енергії	Витрати енергії після арх.-конст. Рішення МВт*год/рік	Додаткові енергоефективні рішення МВт*год/рік				Загальні витрати енергії
		Встанов. теплового насосу з вертикал. теплообмін. ук.	Встанов. індивіду. геліоколек. підігріву води	Рекуперация каналізаційних стоків	Встанов. сонячних батарей на покрівлі будинку $S=796 \text{ м}^2$	
Втрати через вентиляцію 40%	219,15	-109,58		-16,44		-87,98
Трансмісія через огорож. конструкції 60%	Стіни 50%					3,93
	Вікна 30%					42,25
	Перекриття 20%					-8,25
Підігрів води 70%	187,38	-93,69	-56,21	-28,11		-55,35
Втрати за рахунок теплоізоляції 30%	80,31					48,17
Освітлення приміщень 15%	14,52					3,01
Охолодження приміщень 25%	24,21					24,21
Побутові потреби 40%	38,73		+1,93		-62,14	-21,74
Вентиляція 10%	9,68					11,62
Загальнобудинкові 10%	9,68	+16,46		+14,2		37,46

Баланс енергії будинку $\Sigma = -2,67 \text{ МВт} * \text{год/рік}$

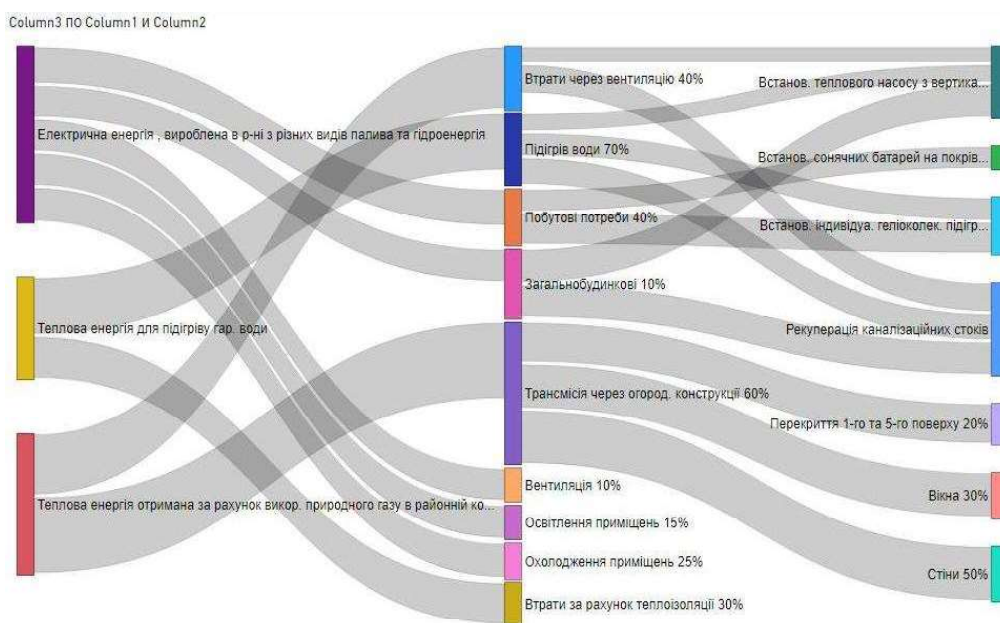


Рис. 4. Додаткові рішення по перетворенню будинку в енергоактивний.

Висновки.

Комплексна аналітично-математична модель енергоактивної будівлі відтворена в таблицях 1,2 і 3, що показує можливості в перетворенні існуючої будівлі в енергоактивну, та створює базу даних для візуалізації даної моделі у вигляді діаграми САНКЕЙ (рис. 1-4). Для створення комплексної моделі фактичне споживання енергії розглядають як втрати через вентиляцію, трансмісію через огорожуючі конструкції (стіни, вікна, перекриття 1-го та 5-го поверхів), на підігрів води, погану теплоізоляцію трубопроводів, а також витрати електроенергії на освітлення приміщень, охолодження приміщень, побутові потреби, вентиляцію, загально будинкові потреби. Побудована загальна діаграма САНКЕЙ (рис.5) моделює повний процес отримання енергоактивної будівлі (після капітальної реконструкції), моделює процес прийняття рішень по підвищенню енергоефективності та відтворює можливості прийняття їх до виконання та впровадження в проектні будівельно-виробничі процеси.

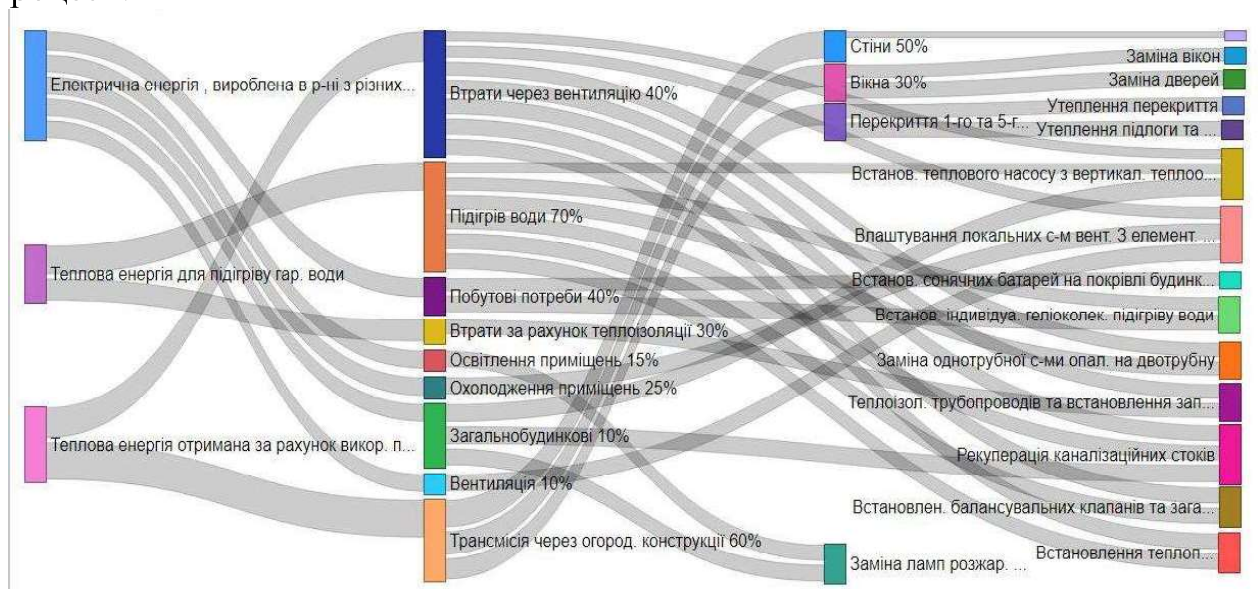


Рис.5. Загальна діаграма по результатам всіх запропонованих рішень по підвищенню енергоефективності будинку.

Література:

1. Енергетичний сертифікат будинку, м. Київ, вул. Воскресенська, б.7 : <https://www.sae.gov.ua/sites/default/files/v.pdf>
2. Тепловий насос: історія, типи, особливості: <https://alterair.ua/uk/articles/teplovoy-nasos/>
3. Що таке геліосистема: поняття, призначення, склад, переваги і недоліки: <https://alterair.ua/uk/articles/chto-takoe-geliosistema/>
4. Концепція комбінованої системи енергоефективного гарячого водопостачання з використанням сонячної енергії та каналізаційної рекуперації: http://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2016_8/37.pdf

5. Сонячні батареї на даху багатоповерхового будинку:
<https://greentechtrade.com.ua/sonyachni-batareyi-na-dahu-bagatopoverhovogo-budynku/>

Кошечая В.А., к.т.н.,доц. Гетун Г.В., к.т.н.,доц. Левковский Д.В.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОАКТИВНОГО ЗДАНИЯ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПЯТИЭТАЖНОГО ДОМА

Рассмотрена методика построения комплексной геометрическо-математической модели для анализа и преобразования существующего пятиэтажного здания в энергоактивное после капитальной реконструкции. Рассмотрены возможности снижения энергопотребления за счет архитектурно-конструктивных, инженерно-технологических и дополнительных современных технологических решений, приводящих к превращению существующего здания в энергоактивное с плюсовым балансом энергопотребления. Рассмотрены возможности внедрения современных решений в виде установления тепловых насосов с вертикальным теплообменником, индивидуальных гелиоколлекторов для подогрева воды, солнечных батарей на крыше дома, возможности рекуперации канализационных стоков и использования их тепла. Для визуализации и анализа энергоэффективности дома построены диаграммы САНКЕЙ, отражающие наличие существующих источников энергии и возможности их замещения после внедрения архитектурно-конструктивных, инженерно-технологических и современных технологических решений.

Ключевые слова: комплексная модель энергоеффективности; баланс энергопотребления; энергоактивное здание; архитектурно-конструктивные решения; инженерно-технологические решения; современные технологии; диаграмма САНКЕЙ.

Kosheva Victoria, Ph.D., associate Professor Hetun Halina, Ph.D.,
associate Professor Levkivskyi Dmitro,
Kyiv National University of Construction and Architecture

COMPLEX MODEL OF CREATION OF ENERGY-ACTIVE BUILDING AT THE MODERNIZATION OF A FIVE-STORY HOUSE

The technique of constructing a complex geometric-mathematical model for analysis and conversion of an existing five-story building into an energy-efficient one

after a major reconstruction is considered. The possibilities of reducing energy consumption due to architectural, structural, engineering and additional modern technological solutions that lead to the conversion of an existing building into an energy-efficient one with a positive balance of energy consumption are considered. The possibilities of introducing modern solutions in the form of installing heat pumps with a vertical heat exchanger, individual solar collectors for heating water, solar panels on the roof of the house, the possibility of recovering sewage and using their heat are considered. To visualize and analyze the energy efficiency of the house, SANKEY diagrams were constructed, reflecting the presence of existing energy sources and the possibility of their replacement after the introduction of architectural, structural, engineering and modern technological solutions.

Key words: complex model of energy efficiency; energy balance; energy-efficient building; architectural and structural solutions; engineering and technological solutions; modern technologies; SANKEY diagram.

REFERENCES

1. Enerhetychnyy sertyfikat budynku, m. Kyiv, vul. Voskresens'ka, b.7 : <https://www.sae.gov.ua/sites/default/files/v.pdf> {in Ukrainian}
2. Teplovyy nasos: istoriya, typu, osoblyvosti: <https://alterair.ua/uk/articles/teplovoy-nasos/> {in Ukrainian}
3. Shcho take heliosystema: ponyattia, pryznachennya, sklad, perevahy i nedoliky: <https://alterair.ua/uk/articles/chto-takoe-geliosistema/> {in Ukrainian}
4. Kontsepsiya kombinovanoyi systemy enerhoefektyvnoho haryachoho vodopostachannya z vykorystannyam sonyachnoyi enerhiyi ta kanalizatsiynoyi rekuperatsiyi: http://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2016_8/37.pdf {in Ukrainian}
5. Sonyachni batareyi na dakhu bahatopoverkhovoho budynku: <https://greentechtrade.com.ua/sonyachni-batareyi-na-dahu-bagatopoverhovogo-budyunku/> {in Ukrainian}