

Дослідження тепловитрат вузлових з'єднань конструкцій енергоефективних «зелених» будівель

Марк Бердников¹, Світлана Шехоркіна², Марина Бордун³

^{1,2,3}Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
24а, вул. Чернишевського, Дніпро, Україна, 49600

¹berdnykov.mark@pgasa.dp.ua, <http://orcid.org/0000-0001-9210-5536>

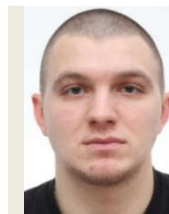
²svetlana.svt.28@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7799-2250>

³bordun.maryna@pgasa.dp.ua, <http://orcid.org/0000-0002-8539-2423>

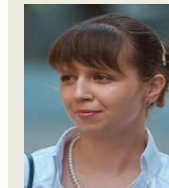
DOI: 10.32347/2522-4182.8.2021.69-81

Анотація. Будівельна галузь є основним споживачем природних ресурсів, характеризується значним споживанням невідновлюваних ресурсів та впливом на забруднення навколишнього середовища. До 50% викидів вуглекислого газу припадає на будівельну індустрію. Крім того, шкода навколишньому середовищу на етапі ліквідації та утилізації будівлі, може бути еквівалентною його впливу протягом всього життєвого циклу. Окрім цього, основною ознакою традиційної будівельної галузі є надмірне використання енергії, що впливає на процес глобального потепління і зміни клімату. Енергія витрачається при видобутку сировини, виробництві та транспортуванні матеріалів, в процесі будівництва, експлуатації, ремонту та ліквідації будівель. Усвідомлення глобальних екологічних проблем призвело до переосмислення процесу проектування, зведення, експлуатації та утилізації будівель в країнах Європейського Союзу, США, Канаді та ін. та появі концепції сталого розвитку та «зеленого» будівництва. В цьому аспекті основними критеріями проектування будівель є мінімізація впливу на навколишнє середовище, а також зниження витрат енергетичних ресурсів, скорочення відходів та шкідливих викидів.

Вирішення вищенаведених проблем з урахуванням національної специфіки може бути досягнуте шляхом розробки типових ресурсо- та енергоефективних, економічно доступних конструктивних рішень несучих та огорожувальних елементів та вузлів їх сполучень з використанням екологічно безпечних матеріалів місцевого походження (деревини та матеріалів на її основі, глинистих матеріалів, соломи, очерету тощо).



Марк Бердников
аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій



Світлана Шехоркіна
доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
к.т.н., доцент



Марина Бордун
аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій

Ключові слова. Енергоефективність; «зелені» будівлі; проектні рішення; вузли між мережевої взаємодії.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Корпус будівлі повинен бути запроєктований для забезпечення внутрішнього мікроклімату (контролю теплових потоків, проникнення вологи, шумів), сприйняття та передачі навантажень, а також виконувати естетичні функції. Відповідним чином ізолюваний корпус огорожувальних конструкцій є ключовим фактором зниження енергоспоживання всієї будівлі.

Контроль витоку тепла через конструкцію будівлі має важливе значення для економії тепла в приміщенні і для зниження

навантаження на системи забезпечення мікроклімату. Витік повітря в будівлях відбувається через стики і з'єднання в корпусі будівлі, а також через вікна, технологічні або вентиляційні отвори тощо. Скорочення використання енергії нагріву простору є основною функцією корпусу будівлі [1].

Механізм передачі тепла через матеріали, елементи та конструкції, які складають корпус будівлі характеризується теплопровідністю.

Теплові потоки через оболонку можна контролювати, щоб знизити загальне споживання енергії і поліпшити комфорт. Це досягається за рахунок створення теплоізоляованого і герметичного корпусу, який є фундаментальною стратегією для досягнення енергоефективності будинку у відповідності з вимогами нормам проектування.

Використання будівельних конструкцій для захисту корпусу є основоположним принципом архітектурного проектування. Дахи, навіси, балкони та інші виступи вкривають стіни, вікна та деталі нижче від опадів. Окрім цього ці елементи можуть забезпечити затінення від сонця і стати частиною пасивного рішення проектування для контролю перегріву влітку, і використання сонячної енергії для зниження навантаження на опалення в зимовий період [2].

Основним засобом контролю теплового потоку з зовнішніх будівельних конструкцій є використання ізоляційних матеріалів. Основні положення, що стосуються енергозбереження, спрямовані на підвищення рівня теплової ізоляції в корпусах будівель, що є ключовим засобом для досягнення енергоефективності будівель. В якості теплоізоляції зазвичай використовується ряд матеріалів з низькою теплопровідністю. Вибір типу ізоляції заснований на безлічі факторів, включаючи вартість, доступність, теплові характеристики, вологість, вогнетривалість і шумоізоляцію [3].

Конструкційні матеріали з низькою теплопровідністю, такі як деревина, скловолокно та пластмаси, також є відносно поганими провідниками тепла. Структурні матеріали з високою питомою провідністю, такі як сталь, алюміній або навіть бетон

діють як теплові містки в будівлях. Будинки, побудовані із сталі і бетону, як правило, мають більш високу ступінь тепловтрат, ніж конструкції з дерев'яних каркасів, що робить будівлі з дерев'яних каркасів більш енергоефективними.

Сонячне випромінювання генерує значний обсяг теплової енергії на поверхні корпусу будівлі. Раціональне використання цього ефекту дозволяє знизити навантаження на системи опалення в холодний період. З іншого боку, це також може привести до перегріву і до збільшення навантаження на охолодження. Контроль сонячної радіації - це баланс між цими перевагами і недоліками [4].

Основними джерелами вологи для корпусу будівлі є: частота та інтенсивність опадів (дощ, сніг) та вологість ґрунту (для конструкцій цоколю або підвалу). Намокання внутрішніх шарів огорожувальних конструкцій є наслідком конденсації при внутрішньому переміщенні водяної пари в холодну пору року (виникнення «точки роси»). Проникнення вологи може посилюватися в ситуаціях, коли використовується абсорбуюча оболонка (наприклад, цегляна, штукатурна, кам'яна, бетонна). Слід відзначити, що циклічне намочування та висихання конструктивних елементів призводить до зниження міцності та експлуатаційної придатності [5].

Вода в корпусі може бути видалена декількома механізмами:

1. Дренаж: вода буде стікати і виходити з конструкцій на гідрофобні матеріали, а також з перенасичених матеріалів. Елементи, подібні до водовідведення, використовують гравітацію для відводу і зливу води в безпечну зону, зазвичай до зовнішньої частини корпусу будівлі.

2. Сушка: вологість в гігроскопічних матеріалах з будівельної обшивки, таких як деревина, буде висушуватися шляхом випаровування поверхні до тих пір, поки вміст вологи в матеріалі не буде в рівновазі зі своїм місцевим середовищем [6].

Головною метою є аналіз та систематизація існуючих даних. Розрахунки проводилися у програмному комплексі ELCUT

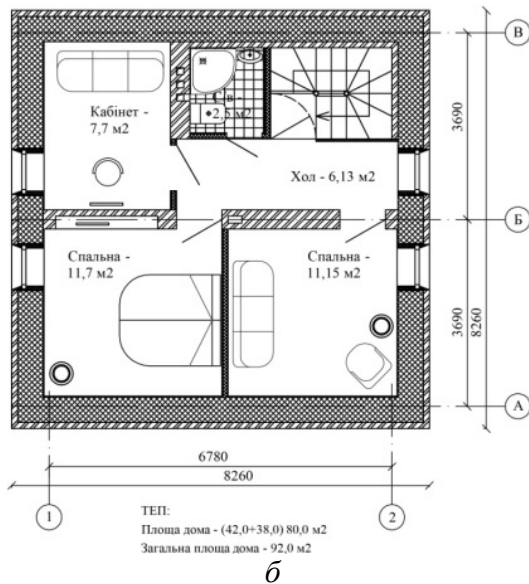
ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для розробки та обґрунтування конструктивних рішень вузлів сполучень

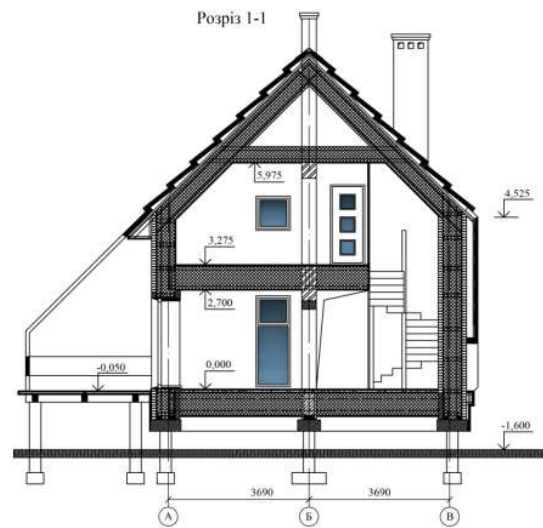
енергоефективних «зелених» будівель була прийнята житлова екологічна будівля-представник (рис. 1)



а



б



в

Рис. 1. Житлова «зелена» будівля-представник:

- а) загальний вигляд;
- б) план поверху;
- в) характерний переріз

Fig. 1. Residential "green" representative building:

- а) general view;
- б) floor plan;
- в) characteristic cross section

Житлова «зелена» будівля-представник має два поверхи. На першому поверсі розташовані: передпокій, вітальня, кухня, санвузол, гардероб. На другому поверсі (мансардний поверх) – хол, кабінет, спальні, санвузол. Поверховий зв'язок здійснюється по внутрішніх сходах.

Висота приміщень першого і мансардно-го поверхів 2,7 м.

Конструктивна схема будівлі - каркасна. Несучі стіни складеного перерізу типу «сходи» з дерев'яного бруса перерізом 89х38 мм з кроком 600 мм. Несучі конструкції перекриття та покриття виконані у вигляді ферм з дерев'яного бруса перерізом 89х38 мм з кроком 0.6 м.

Просторова жорсткість будівлі забезпечується розпірками і діагональними розкосами в стояках, а також улаштуванням монолітної плити з ґрунтобетону по верхньому поясу ферм перекриття. Фундамент - залізобетонний свайно-монолітний. Покрівля двосхила, 45 градусів.

В якості утеплювача у всіх конструкціях використовується солома злакових культур. Стіни - зовнішнє оздоблювання глина, цегла сирець з ґрунтобетону, дерев'яний каркас з утеплювачем, ґрунтобетонні блоки, які виконують роль

накопичувача тепла. Покриття - плити з очерету, укладені по дерев'яній обрешітці. Критичними з точки зору тепловтрат для аналізованої будівлі є наступні вузли сполучення конструкцій (рис. 2):

- 1) вузол обпирання перекриття на зовнішню стіну;
- 2) вузол обпирання зовнішньої стіни і перекриття на вим.0,000 на конструкцію фундаменту;
- 3) коньковий вузол даху.

Виходячи з конструктивної схеми будівлі, вимог щодо забезпечення місцевої міцності несучих елементів та термічної однорідності оболонки були запропоновані конструктивні рішення кожного вузла, які приведені на рис. 2-5. Характеристики конструктивних елементів необхідні для подальшого дослідження тепловитрат було взято з ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель»[7].

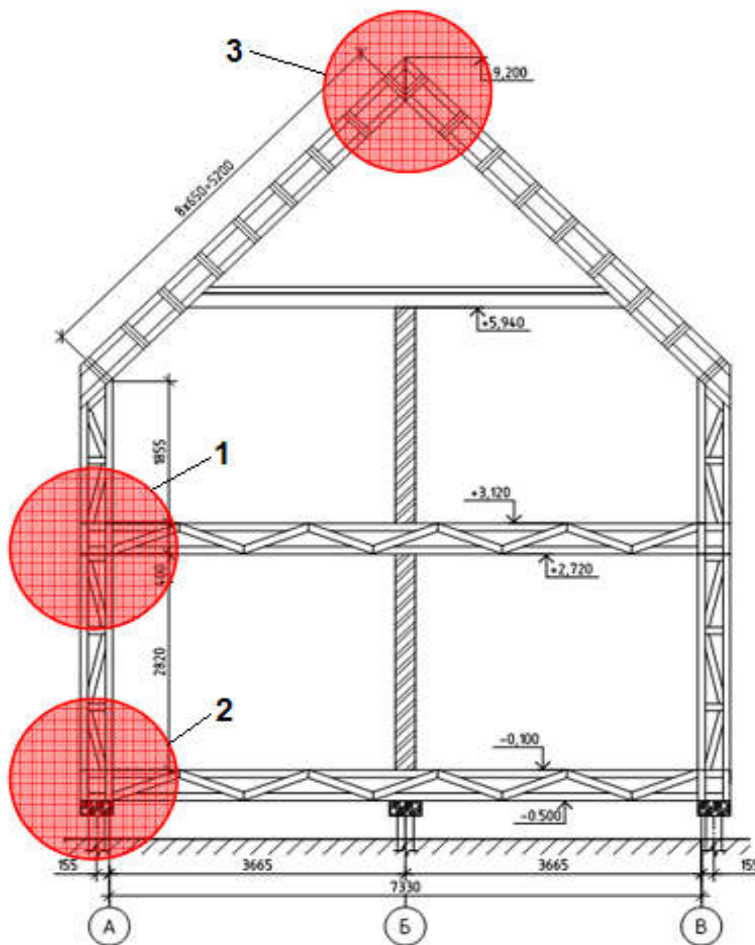


Рис. 2. Критичні вузли сполучення конструктивних елементів.
Fig. 2. Critical components of structural elements

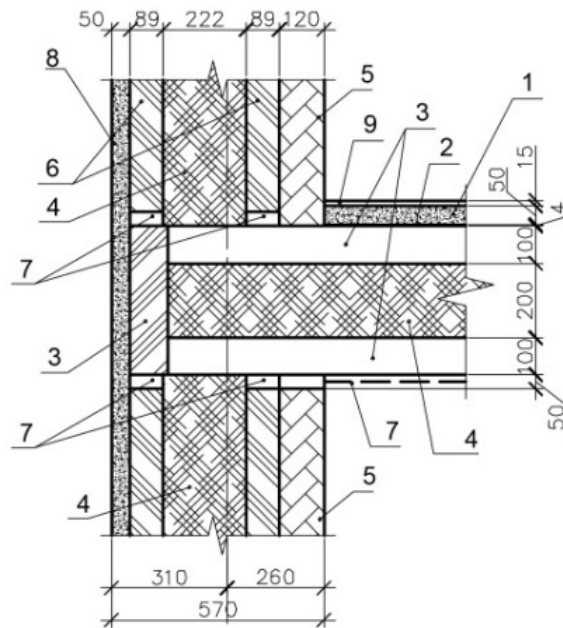


Рис. 3. Вузол обпирання перекриття на зовнішню стіну (вузол 1):

1 – армований ґрунтобетон, 2 – фанера, 3 – дерев’яна ферма із бруса 50х100 мм, висотою 400 мм із кроком 600 мм, 4 – утеплювач (пресована солома), 5 – ґрунтоблоки, 6 – дерев’яна стійка, 7 – дерев’яний брус, 8 – глиняна штукатурка по дранці, 9 – керамічна плитка.

Fig. 3. Node supporting the floor on the outer wall (node 1):

1 - reinforced concrete, 2 - plywood, 3 - a wooden truss from a bar of 50x100 mm, 400 mm high with a step of 600 mm, 4 - insulation (pressed straw), 5 - ground blocks, 6 - wooden rack, 7 - wooden beam, 8 - clay plaster on shingles, 9 - ceramic tile.

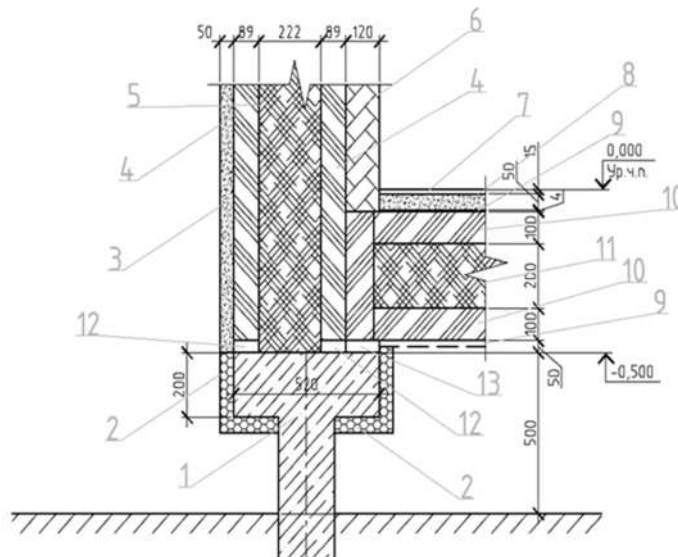


Рис. 4. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на вим.0,000 на конструкцію фундаменту (вузол 2): 1. з/б ростверк, 2.утеплювач (мінеральна вата), 3. глиняна штукатурка по дранці, 4.дерев’яні стійки; 5. утеплювач (пресована солома); 6. ґрунтоблоки; 7. керамічна плитка, 8. армований ґрунтобетон, 9. фанера; 10. дерев’яна ферма із бруса 50х100 мм, висотою 400 мм із кроком 600 мм; 11. утеплювач (пресована солома), 12, 13 – обв’язування

Fig. 4. Supporting the outer wall and floor on vim.0,000 on the structure of the foundation (node 2):

1. steel grille, 2. insulation (mineral wool), 3. clay plaster on shingles, 4. wooden racks; 5. insulation (pressed straw); 6. ground blocks; 7. ceramic tile, 8. reinforced ground concrete, 9. plywood; 10. wooden farm from a bar of 50x100 mm, height of 400 mm with a step of 600 mm; 11. insulation (pressed straw), 12, 13 – tying

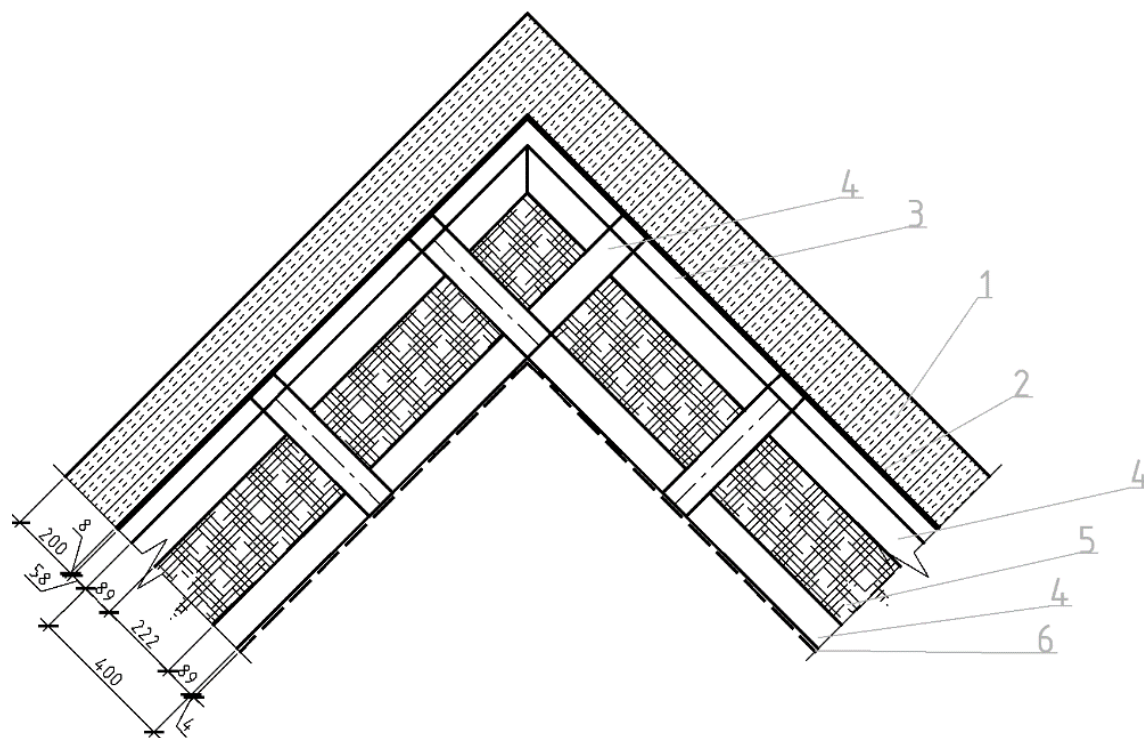


Рис. 5. Коньковий вузол даху (вузол 3):

1. покрівля з очеретяних блоків,
2. фанера,
3. решетування (брус 38x89, шаг 600мм),
4. дерев'яна ферма із бруса 50x100 мм, висотою 400 мм,
5. утеплювач (прес. солома), 6. підшивка (фанера)

Fig. 5. Ridge node of the roof (node 3):

1. Roof of reed blocks,
2. Plywood,
3. Lattice (bar 38x89, step 600mm),
4. Wooden truss from a bar of 50x100 mm, height of 400 mm,
5. Heater (press straw),
6. Binder (plywood).

Для оцінки ефективності конструктивних рішень огорожуючих конструкцій екологічної будівлі досліджено втрати тепла через найбільш характерні вузли сполучення конструктивних елементів будівлі, в яких можливо утворення містків холоду: опирання перекриття на зовнішню стіну (вузол 1a і 1б); опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм. 0,000 на конструкцію фундаменту (вузли 2a і 2б); коньковий вузол даху (вузли 3a і 3б).

Моделювання теплових полів виконувалось засобами програмного комплексу Elcut [8].

Для моделювання були прийняті наступні вихідні дані:

- температура зовнішнього повітря: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - середнє значення за січень для м. Дніпра (варіант I), що відповідає 268 K, і $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ – найбільш холодна п'ятиденка, забезпеченістю 0,92(варіант II), що відповідає 249K згідно;

- температура внутрішнього повітря $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає 293 K[9];

- коефіцієнти тепловіддачі на поверхнях, що межують із зовнішнім і внутрішнім повітрям приймалися згідно нормативного документу [7].

За результатами розрахунку в табл. 1 представлені приклади схем розподілу тем-

ператур і теплового потоку в розглянутих вузлах.

Табл. 1. Приклад результатів моделювання теплотехнічних характеристик вузлів сполучення конструктивних елементів будівлі (Вузол 1а - Опирання перекриття на зовнішню стіну).

Table. 1. An example of the results of modeling the thermal characteristics of the nodes of the structural elements of the building (Node 1a - Support of the floor on the outer wall).

Вузол 1а - Опирання перекриття на зовнішню стіну (в місцях розташування стоек дерев'яного каркасу)	
Розподіл температур $t_{\text{зовн}} = -5^{\circ}\text{C}$	Розподіл температур $t_{\text{зовн}} = -24^{\circ}\text{C}$
<p>Температура на внутрішній поверхні конструкції: $T_{\text{Вmin}} = 291,82 \text{ K}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t = 0,58 \text{ K}$</p>	<p>Температура на внутрішній поверхні конструкції: $T_{\text{Вmin}} = 290,6 \text{ K}$; Температурний перепад на внутрішній поверхні конструкції: $\Delta t = 0,9791 \text{ K}$</p>
Тепловий потік, $\text{Вт}/\text{м}^2$, $t_{\text{зовн}} = -5^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, $\text{Вт}/\text{м}^2$, $t_{\text{зовн}} = -24^{\circ}\text{C}$
<p>Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q_{\text{ср}} = 10,582 \text{ Вт}/\text{м}^2$</p>	<p>Тепловий потік на внутрішній поверхні конструкції: $Q_{\text{ср}} = 21,45 \text{ Вт}/\text{м}^2$</p>

Згідно ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [7] для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд, які опалюються і охолоджуються, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin} , \quad (1)$$

$$T_{пр} \leq T_{cr} , \quad (2)$$

$$T_{Вmin} \leq T_{min} . \quad (3)$$

в якій: $R_{\Sigma пр}$ - приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$;

R_{qmin} - мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$;

$\Delta T_{пр}$ - температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}C$;

ΔT_{cr} - допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведе-

ною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}C$;

$T_{Вmin}$ - мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, $^{\circ}C$;

T_{min} - мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього і зовнішнього повітря, $^{\circ}C$.

Аналіз результатів розрахунків представлено в табл. 2, який засвідчує, що найбільші втрати тепла спостерігаються в зоні сполучення зовнішньої стіни, перекриття і фундаментної конструкції (вузол 2), де середнє значення теплового потоку на внутрішній поверхні конструкції

дорівнює $13,46 \text{ Вт}/m^2$ при температурі зовнішнього повітря $-5^{\circ}C$ і $27,11 \text{ Вт}/m^2$ при температурі $-24^{\circ}C$; найменші втрати – через коньковий вузол даху (вузол 3), середнє значення теплового потоку становить $5,4 \text{ Вт}/m^2$ при температурі

зовнішнього повітря $-5^{\circ}C$ і $10,43 \text{ Вт}/m^2$ при температурі $-24^{\circ}C$.

Табл. 2. Аналіз теплотехнічних показників вузлів сполучень конструктивних елементів «зеленої» житлової будівлі.

Table. 2. Analysis of thermal performance of nodes of structural elements of the "green" residential building.

Найменування конструкції	$R_{\Sigma пр}$, $m^2 \cdot K/Вт$	R_{qmin} , $m^2 \cdot K/Вт$	$\Delta T_{пр}$, $^{\circ}C$		ΔT_{cr} , $^{\circ}C$	$T_{Вmin}$, $^{\circ}C$		T_{min} $^{\circ}C$
			при $t_3 = -5^{\circ}C$	при $t_3 = -24^{\circ}C$		при $t_3 = -5^{\circ}C$	при $t_3 = -24^{\circ}C$	
Вузол 1а. Опирання перекриття на зовнішню стіну (в місцях розташування стояків дерев'яного каркасу)	6,8	3,3	0,58	0,98	4,0	18,82	17,6	12
Вузол 1б. Опирання перекриття на зовнішню стіну (між стояками дерев'яного каркасу)	6,8	3,3	0,7	1,54	4,0	19,3	18,4 6	12
Вузол 2а. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм.0,000 на конструкцію фундаменту (в місцях розташування стояків дерев'яного каркасу)	6,7	3,75	1,47	2,98	2,0	18,53	17,0 2	12

Продовження табл. 2
Continued Table. 2

Вузол 2б. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм.0,000 на конструкцію фундаменту (між стояками дерев'яного каркасу)	6,7	3,75	0,82	1,83	2,0	19,18	18,11	12
Вузол 3а. Коньковий вузол даху (в місцях розташування стояків дерев'яного каркасу)	11,1	4,95	0,62	1,18	3,0	19,38	18,82	12
Вузол 3б. Коньковий вузол даху (між стояками дерев'яного каркасу)	11,1	4,95	0,5	1,3	3,0	19,5	18,7	12

Приведений опір теплопередачі конструкцій $R_{\Sigma пр}$ всіх розглянутих вузлів в 2 рази перевищує R_{qmin} , тобто виконується перша умова для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд згідно [7].

Стосовно другої умови для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд $T_{пр} \leq T_{cr}$, то для вузлів 1а, 1б, 2б, 3а і 3б сполучення конструкцій, умова виконується, а в вузлі 2а - опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм. 0,000 на конструкцію фундаменту (в місцях сполучення дерев'яного каркасу) при зовнішній температурі -24°C - $\Delta T_{пр} = 2,98^{\circ}\text{C}$, що на $0,8^{\circ}\text{C}$ перевищує нормативне значення $\Delta T_{cr} = 2,0^{\circ}\text{C}$ згідно [7].

Спираючись на викладене вище, можна зробити висновок, що для вузлів опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм.0,000 на конструкцію фундаменту необхідно передбачити заходи щодо додаткового теплозахисту конструкції перекриття на відм. 0,000 м. Температура внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальних конструкціях T_{Vmin} для всіх розглянутих вузлів перевищує мінімально допустиме значення ΔT_{min} .

З отриманих даних можна зробити висновок, що запропоновані конструктивні рішення вузлів сполучень несучих та огорожувальних конструкцій «зелених» будівель відповідають вимогами світових стандартів енергоефективності (стандарт активного будинку) та сталого розвитку за рахунок використання екологічно безпечних відновлюваних матеріалів рослинного походження.

Розглянемо ефективність конструктивних рішень огорожуючих типових конструкцій. Аналогічним способом ми виконуємо розрахунок для цих вузлів [7].

Аналіз результатів розрахунків представлено в табл. 3, який засвідчує, що найбільші втрати тепла спостерігаються в зоні сполучення зовнішньої стіни, перекриття і фундаментної конструкції (вузол 1), де середнє значення теплового потоку на внутрішній поверхні конструкції дорівнює $12,17 \text{ Вт/м}^2$ при температурі зовнішнього повітря -5°C і $21,42 \text{ Вт/м}^2$ при температурі -24°C ; найменші втрати – через опирання перекриття на зовнішню стіну (вузол 2), середнє значення теплового потоку становить $10,76 \text{ Вт/м}^2$ при температурі зовнішнього повітря -5°C і $18,96 \text{ Вт/м}^2$ при температурі -24°C

Табл. 3. Аналіз теплотехнічних показників вузлів сполучень конструктивних елементів житлової будівлі.

Table 3. Analysis of thermal performance of nodes of structural elements of a residential building.

Найменування конструкції	$R_{\Sigma пр}$, м ² ·К/Вт	R_{qmin} , м ² ·К/Вт	$\Delta T_{пр}$, °С		ΔT_{cr} , °С	T_{Bmin} , °С		T_{min} , °С
			при $t_3 = -5$ °С	при $t_3 = -24$ °С		при $t_3 = -5$ °С	при $t_3 = -24$ °С	
Вузол 1. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм. 0,000 на конструкцію фундаменту.	3,8	3,75	1,24	2,19	2	15,2	3,95	2
Вузол 2. Опирання перекриття на зовнішню стіну.	6,06	3,3	1,03	1,81	4	16,69	4,18	2
Вузол 3. Коньковий вузол даху.	5,44	4,95	1,21	2,12	3	15,93	2,8	2

Приведений опір теплопередачі конструкцій $R_{\Sigma пр}$ всіх розглянутих вузлів перевищує R_{qmin} , тобто виконується перша умова для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд згідно [7].

Стосовно другої умови для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель і споруд $\Delta T_{пр} \leq \Delta T_{cr}$, то для вузлів 2 і 3 сполучення конструкцій, умова виконується, а в вузлі 1 - опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм. 0,000 на конструкцію фундаменту при зовнішній температурі -24°C $T_{\Delta пр} = 2,19^\circ\text{C}$, що на $0,19^\circ\text{C}$ перевищує нормативне значення $T_{cr} = 2,0^\circ\text{C}$ згідно [7]. Спираючись на викладене вище, можна зробити висновок, що для вузлів опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм. 0,000 на конструкцію фундаменту необхідно передбачити заходи щодо додаткового теплозахисту конструкції перекриття на відм. 0,000 м. Температура внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальних конструкціях T_{Bmin} для всіх розглянутих вузлів перевищує мінімально допустиме значення T_{min} .

З отриманих даних можна зробити висновок, що запропоновані конструктивні рішення вузлів сполучень несучих та ого-

роджувальних конструкцій будівель відповідають вимогам світових стандартів енергоефективності та сталого розвитку за рахунок використання звичайних будівельних матеріалів

ПОРІВНЯННЯ ТЕПЛОВИТРАТ ВУЗЛІВ СПОЛУЧЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ «ЗЕЛЕНИХ» БУДІВЕЛЬ ТА ЗВИЧАЙНИХ БУДІВЕЛЬ.

В попередніх розділах було визначено, якими тепловими характеристиками володіють «зелені» та типові будівлі. Посилаючись на ці данні, нижче буду наведено таблицю порівняння, де основним показником ефективності конструктивного рішення є приведений опір теплопередачі $R_{\Sigma пр}$ (табл. 4).

Як бачимо, «зелена» будівля має значно вищий показник ефективності $R_{\Sigma пр}$, який перевищує показник типового рішення майже в 2 рази в усіх узлах.

Далі наведено порівняння температурного перепаду $T_{\Delta пр}$ при температурі -5°C для конструктивних рішень вузлів сполучень конструктивних елементів (табл. 5)

Табл. 4. Приведений опір тепелопередачі $R_{\Sigma пр}$ конструктивних рішень вузлів сполучень конструктивних елементів

Table. 4. The resistance of heat transfer $R_{\Sigma пр}$ of constructive decisions of knots of connections of constructive elements is resulted.

Найменування конструкції	Типове рішення, $R_{\Sigma пр}$, м ² ·К/Вт	«Зелена» будівля, $R_{\Sigma пр}$, м ² ·К/Вт	% різниця між «Зеленою» будівлею та типовим рішенням
Вузол 1. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм. 0,000 на конструкцію фундаменту.	3,8	6,7	1,76
Вузол 2. Опирання перекриття на зовнішню стіну.	6,06	6,8	1,12
Вузол 3. Коньковий вузол даху.	5,44	11,1	2,04

Табл. 5. Температурний перепад $T_{\Delta пр}$ при 5 °С для конструктивних рішень вузлів сполучень конструктивних елементів.

Table. 5. Temperature difference $T_{\Delta пр}$ at 5 °C for constructive decisions of joints of constructive elements.

Найменування конструкції	Типове рішення, $R_{\Sigma пр}$, м ² ·К/Вт	«Зелена» будівля, $R_{\Sigma пр}$, м ² ·К/Вт	% різниця між «Зеленою» будівлею та типовим рішенням
Вузол 1. Опирання зовнішньої стіни і перекриття на відм. 0,000 на конструкцію фундаменту.	1,24	1,47	1,19
Вузол 2. Опирання перекриття на зовнішню стіну.	1,03	0,58	0,56
Вузол 3. Коньковий вузол даху.	1,21	0,62	0,51

Згідно з цією таблицею, в узлах 2 і 3 температурний перепад $T_{\Delta пр}$ в «зеленій» будівлі в 2 рази менший за температурний перепад $T_{\Delta пр}$ в типовій будівлі. З отриманих результатів робимо висновок, що запропоновані природні екологічно-чисті матеріали, які були підібрані для проектування конструкції «зеленої» будівлі, значно кращі та ефективніші за звичайні будівельні матеріали.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Для забезпечення енергоефективності «зелених» будівель були запропоновані конструктивні рішення критичних з точки зору тепловтрат вузлів сполучення конструктивних елементів будівлі.

2. Шляхом моделювання засобами програмного комплексу Elcut були отримані

схеми розподілу температур і теплового потоку в розглянутих вузлах сполучення конструкцій; а також значення теплового потоку, що проходить через вузлове з'єднання і температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, а також визначено приведений опір теплопередачі $R_{\square np}$

3. Приведений опір теплопередачі конструкцій $R_{\square np}$ всіх розглянутих вузлів в 2 рази перевищує R_{qmin} . Умова щодо температурного перепаду між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції виконується. Значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальних конструкціях T_{Bmin} для всіх розглянутих вузлів перевищує мінімально допустиме T_{min} . Таким чином, запропоновані конструктивні рішення вузлів сполучення для «зеленої» будівлі відповідають сучасним вимогам енергоефективності (стандарт активного будинку) та сталого розвитку за рахунок використання екологічно безпечних відновлюваних матеріалів рослинного походження.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Anon**, 2020 climate & energy package - European Commission. Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm.
2. **Europe** / European Commission/ Belgium, Luxembourg: Publications Office of the European Union, Good practice in energy efficiency. *For a sustainable, safer and more competitive - 2017. - 52p.* <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/version2-web.pdf>
3. **European Commission**, "Directive 2010/31/eu of the european parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)", *Official Journal of the European Communities*, 2010. – 35 p. <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>

4. **Active house** – the specifications for residential buildings [Електроний ресурс]: <http://www.buildup.eu/en/node/44110>
5. **Ascione F.** et al. Concept, Design and Energy Performance of a Net Zero-Energy Building in Mediterranean Climate // *Procedia Engineering*. – 2016. – Т. 169. – С. 26-37.
6. **Тетиор А.Н.** Городская экология: учеб, пособие для студ. высш. учеб, заведений. 2008. [Електронний ресурс] - <http://uchebniki-besplatno.com/osnovi-ekologii-uchebnik/ekologichnyie-zdaniya-50916.html>.
7. **ДБН В.2.6-31:2016** «Теплова ізоляція будівель», К.: *Мінрегіонбуд України*, 2017. – 30 с.
8. **Elcut.** Комплекс программ для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов: https://elcut.ru/feat_r.htm.
9. **ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.** Будівельна кліматологія – Київ: *Мінрегіонбуд України*, - 2011.-123 с.
10. **Косячевский Д., Бабенко М., Савицький М., Шмідт М., Перегінець І.** Основні параметри ізоляції для проектування БНЕБ з біоресурсних матеріалів / *Матеріалознавство, Машино-будування. Серія Створення високо-технологічних екокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого (сталого) розвитку.* – *Дніпро* : ПДАБА, 2017. – *Вып. №99.* – С. 95 – 100.
Режим доступу:
smt.pgasa.dp.ua/article/download/104986/100136

REFERENCES

1. **Anon**, 2020 climate & energy package - European Commission. Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm.
2. **Europe** / European Commission/ Belgium, Luxembourg: Publications Office of the European Union, Good practice in energy efficiency. *For a sustainable, safer and more competitive Europe / European Commission/ Belgium, Luxembourg: Publications Office of the European Union, - 2017. - 52p.* <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/version2-web.pdf>
3. **European Commission**, "Directive 2010/31/eu of the european parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of

buildings (recast)", *Official Journal of the European Communities*, 2010. – 35 p.
<http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>

4. **Active house** – the specifications for residential buildings [Електронні ресурс]: <http://www.buildup.eu/en/node/44110>
5. **Ascione F.** et al. Concept, Design and Energy Performance of a Net Zero-Energy Building in Mediterranean Climate // *Procedia Engineering*. – 2016. – T. 169. – S. 26-37.
6. **Tetyor A.N.** Horodskaia ekolohyia: ycheb, posobye dlia stud. vyssh. ucheb, zavedenyi. 2008. [Електронні ресурс] – <http://uchebniki-besplatno.com/osnovi-ekologii-uchebnik/ekologichnyie-zdaniya-50916.html>.
7. **DBN V.2.6-31:2016** «Теплова ізоляція будівель», К.: *Minrehionbud Ukrainy*, 2017. – 30 s.
8. **Elcut.** Kompleks prohramm dlia inzhenernoho modelyrovanyia elektromahnytnikh, teplovikh i mekhanycheskykh zadach metodom konechnikh elementov: https://elcut.ru/feat_r.htm.
9. **DSTU-N B V.1.1-27:2010.** Budivelna klimatolohiia – Kyiv: *Minrehionbud Ukrainy*, - 2011.-123 s.
10. **Kosiachevskyi Dmytro, Babenko Maryna, Savytskyi Mykola, Shmidt Maikl, Perehinets I. I.** Osnovni parametry izoliatsii dlia proektuvannia BNEB z bioresursnykh materialiv /Materialoznavstvo, Mashynobuduvannia. Seriia Stvorennia vysokotekhnolohichnykh ekokompleksiv v Ukraini na osnovi kontseptsii zbalansovanoho (staloho) rozvytku. – Dnipro : *PDABA*, 2017. – Вып. №99. – S. 95 – 100. *Rezhym dostupu:* smm.pgasa.dp.ua/article/download/104986/100136

Investigation of heat loss of nodal connections of structures of energy -efficient "green" buildings

Mark Berdnykov, Svetlana Shekhorkina, Marina Bordun

Summary. The construction industry is the main consumer of natural resources, characterized by significant consumption of non-renewable resources and the impact on environmental pollution. Up to 50% of carbon dioxide emissions are accounted for by the construction industry. In addition, the main feature of the traditional construction industry is the overuse of energy, which affects the process of global warming and climate change. Energy is consumed in the extraction of raw materials, production and transportation of materials, in the process of construction, operation, repair and liquidation of buildings. Awareness of global environmental problems has led to a rethinking of the process of design, construction, operation and disposal of buildings in the European Union, the United States, Canada and others and the emergence of the concept of sustainable development and "green" construction. In this aspect, the main criteria for designing buildings are to minimize the impact on the environment, as well as reduce energy costs, reduce waste and harmful emissions.

The solution of the above problems, taking into account national specifics, can be achieved by developing typical resource- and energy-efficient, cost-effective design solutions for load-bearing and enclosing elements and their joints using environmentally friendly materials of local origin (wood and materials based on it, clay materials, straw, reeds, etc.

Keywords. Energy efficiency; "green" buildings; design solutions; interconnection nodes.