

УДК 621.314

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ПАСИВНИХ БУДИНКІВ**

Ю.Г.САВЧЕНКО, Р.В. КАПЛУН

Національний технічний університет України «КПІ»

*У статті сформульовані сучасні підходи щодо енергозабезпечення пасивних будинків з комбінованою структурою на основі різномірних джерел енергії (традиційних та поновлюваних) та інтегрованої інформаційно-керуючої системи для контролю і коригування локального виробництва та споживання електроенергії і тепла*

На житлово-комунальний сектор припадає найбільша частина кінцевого споживання енергії, зокрема в ЄС – 42% енергії. При цьому в житлових будинках створюється емісія близько 35% всіх парникових газів, що визначає необхідність охорони навколишнього середовища та аспекти здорового способу життя. В Україні на житлово-комунальний сектор припадає понад 40% спожитої енергії, а ефективність можливих енергозберігаючих заходів у цій галузі в масштабі держави перевищує можливу економію таких традиційно енергоємних галузях як металургія, хімічна промисловість та ін [1].

Високе споживання енергії за повний цикл експлуатації будинків складає в Україні в середньому понад 300 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік опалюваної площі [2,3] і повинне бути значно скорочене в майбутньому за рахунок енергозбереження та підвищення енергоефективності інженерних мереж. При цьому має змінитись також структура споживання енергії, що призведе до використання інших, інноваційних техніко-технологічних рішень у будівництві та системах енергозабезпечення сучасних будівель.

**Постановка завдання**

Одним з напрямків розв'язання цієї проблеми є будівництво пасивних будинків. Пасивний будинок – це об'єкт із низькою енергетичною потребою (щонайбільше 15 кВт·год/м<sup>2</sup> протягом року) [4,5]. Настільки незначна потреба в енергії дає змогу відмовитися від традиційних систем обігрівання і охолодження. Конструктори-будівельники захоплені ідеєю створення будинку, який буде сам себе обігрівати й охолоджувати, в якому активні джерела енергії будуть замінені на пасивні, тобто на теплову енергію, що виділяється людьми у приміщення, працюючими електроприладами, теплом – як сонячним, так і вилученим із вентиляційного повітря. А якщо й передбачити в проєкті традиційну систему обігрівання, то тільки для підтримки теплового режиму під час найхолодніших днів у році. Однак поняття «пасивний будинок» зовсім не означає, що це будинок із нульовою потребою в енергії.

Основними вимогами до пасивного будинку в Європі є [6]:

- питомі витрати теплової енергії на опалення, визначені за допомогою «Пакету проєктування пасивного будинку» (PHPP), не повинні перевищувати 15 кВт·год/м<sup>2</sup> в рік;
- загальне споживання первинної енергії для всіх побутових потреб (опалення, гаряча вода й електрична енергія), не повинне перевищувати  $\leq 120$  кВт·год/м<sup>2</sup> в рік.

Щоб забезпечити необхідну величину питомих витрат теплової енергії на опалення пасивних будинків у кліматі Середньої Європи встановлені наступні обов'язкові вимоги:

– коефіцієнти теплопередачі  $U$  для зовнішніх стін, покрівлі та підлог першого поверху повинні складати менше  $0,15$  Вт/мК, коефіцієнт теплопередачі застосування  $U_{\text{ст}} \leq 0,7$  Вт/мК, коефіцієнт теплопередачі для віконного профіля  $U_{\text{проф}} \leq 0,8$  Вт/мК;

– зведений коефіцієнт теплопередачі вікна з урахуванням монтажу в стіну  $U_{\text{вікн}} \leq 0,85$  Вт/мК;

– максимально можливе зниження негативного ефекту від теплових мостів;

– ККД рекуператора повинен бути більше  $75\%$ , щоб забезпечувалось ефективне повернення тепла (рекомендується більше  $80\%$ );

– повинна забезпечуватися герметичність зовнішньої оболонки будівлі.

Крім того, пасивний будинок є екологічною конструкцією, сприятливою для його мешканців. В ньому не буває протягів, панує оптимальний температурний комфорт, повітря завжди чисте і свіже. Навіть взимку вікна із зовнішнього боку теплі. В такому будинку підтримується оптимальний рівень вологості [7].

Як показано в [7], для України рекомендовані наступні стандарти енергоефективних будинків.

**Стандарт енергоефективного будинку.** Впровадження цього стандарту повинно в умовах наявності стандартних енергетичних мереж забезпечувати окупність заходів з підвищення теплозахисних властивостей огорожуючих конструкцій. Така окупність буде реальною на тлі прогнозованих цін на енергоносії, якщо в результаті зміни огорожуючих конструкцій підвищити опір теплопередачі стін до  $R=3,5 - 4,0$  м<sup>2</sup>С/Вт, вікон до  $R=0,75 - 0,85$  м<sup>2</sup>С/Вт та використовувати пасивні сонячні колектори-веранди (оранжереї) з їх інтеграцією до планувальної структури і орієнтацією на південь, а також при використанні рекуператорів тепла з ККД в межах  $50-60\%$ . Цей стандарт є реальним для впровадження в більшості будівель, які забезпечені сучасними зовнішніми мережами і не потребують (як обов'язковий захід) у більшості випадків альтернативних джерел енергопостачання.

**Стандарт енергонезалежного будинку** в основних своїх положеннях відповідає європейському стандарту пасивного будинку. Цей стандарт стає окупним уже на момент будівництва для житлових районів і будівельних майданчиків, в яких відсутні інженерні мережі з газопостачання, а також централізовані теплові мережі, а потужність електричних мереж менше необхідного навантаження для житлового району. Необхідне доведення опору теплопередачі стін до  $R=4,0 - 7,0$  м<sup>2</sup>С/Вт, вікон до  $R=0,85 - 1,15$  м<sup>2</sup>С/Вт, а також використання пасивних сонячних колекторів-веранд (оранжерей) з їх інтеграцією у планувальну структуру й орієнтацією на південь, а також при обов'язковому використанні високоефективних рекуператорів які охоплюють повернення тепла не тільки вентиляційних систем, але й каналізованих стоків з ККД в межах  $60-90\%$  ( в середньому  $75\%$ ). Обов'язковою вимогою зазначених систем є використання альтернативних джерел і способів енергопостачання – теплових насосів, сонячних колекторів і вітро-сонячних електростанцій та різноманітних акумуляційних станцій тепла і електроенергії, для яких передбачаються окремі, як правило, достатньо великі за розміром приміщення, резервуари і акумулюючи пристрої. Забезпечення енергопостачання будинку енергією з альтернативних джерел робить одночасно енергонезалежний будинок екологічним, який не дає небезпечних викидів в атмосферу.

На рис.1 проілюстровано принципову відмінність пасивного будинку від традиційного з звичайною системою опалення [6].

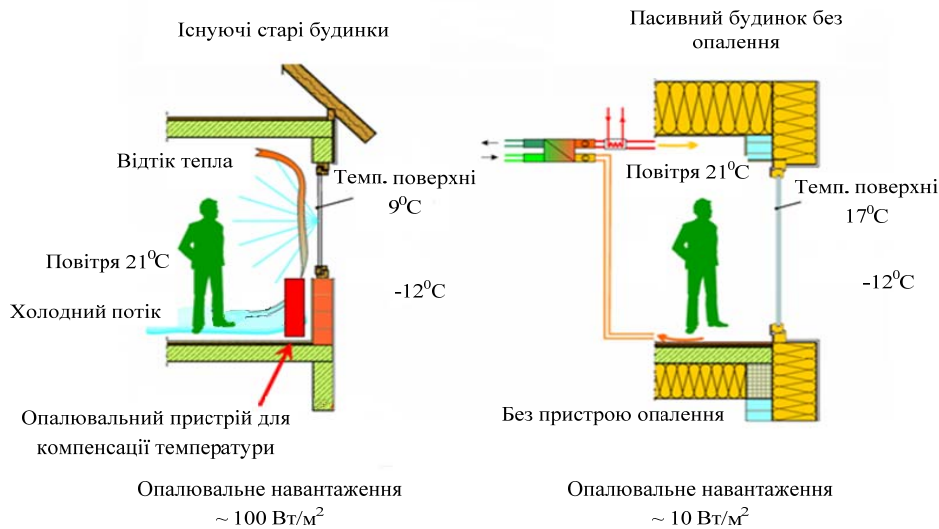


Рис. 1. Пояснення відмінностей теплозабезпечення пасивного будинку від «традиційного»

До будівельної частини слід віднести уточнення, пов'язані з посиленням теплоізоляції, використанням енергоефективних вікон, оснащення вентиляційних установок теплообмінниками повітря-повітря і об'єднання їх в єдину систему. Схема пасивного будинку та вимоги щодо забезпечення параметрів пасивного будинку показані на рис. 2.

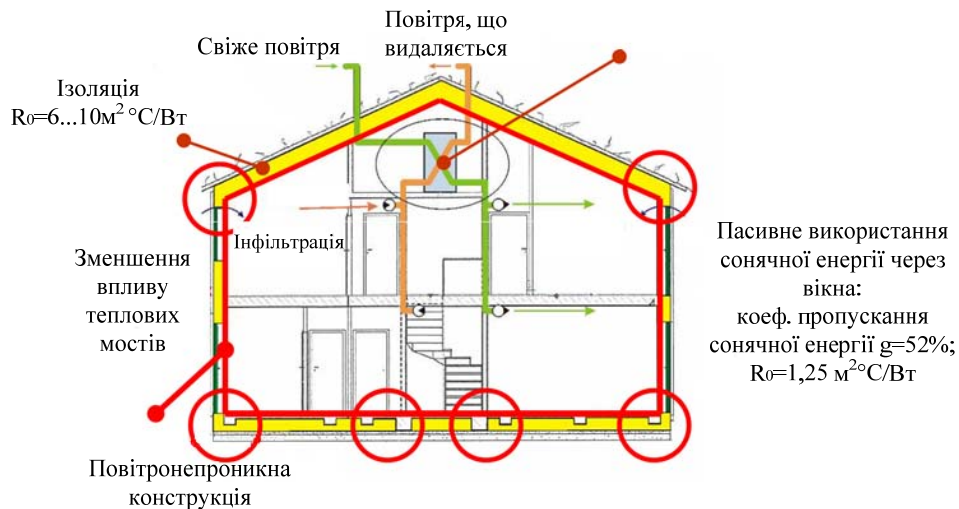


Рис. 2. Вимоги щодо забезпечення параметрів пасивного будинку

### Результати та їх обговорення

Особливістю досліджень пасивних будинків є принципи раціонального проектування комбінованих систем енергозабезпечення, що полягають у розробці методів оптимізації по заданому критерію, який би задовольняв всім вимогам чинних будівельних норм при заданих обмеженнях, з

урахуванням життєвого циклу будівлі. В загальному випадку ці вимоги можна сформулювати у вигляді системи нерівностей у вигляді оператора:

$$Y_i(x_1, x_2, \dots, x_m) \leq 0, \quad (1)$$

де,  $i = 1, 2, \dots, m$ , а  $x_m$  - функціонально залежні параметри будівельних конструкцій та інженерних систем будівлі.

Завдання раціонального проектування комбінованих систем енергозабезпечення будинків полягає в тому, щоб при виконанні умов (1) забезпечити мінімум критерію, за яким оцінюється проект. Цей критерій залежить від параметрів  $x_m$ . В якості цільової функції найчастіше доцільно обирати критерій, приведений до загальної площі будівлі:

$$C(x_1, x_2, \dots, x_m) = \min. \quad (2)$$

До критеріїв оптимізації при дослідженні цільової функції можна віднести:

- **критерій економічної ефективності (окупності інвестицій).** Для України на поточному етапі найбільш ефективним слід вважати не наближення до моделі пасивного будинку, а запровадження заходів з енергозбереження, що дозволять суттєво зменшити витрати тепла на опалення при додаткових капіталовкладеннях у будівництво до 10-15%. Серед таких заходів слід розглядати підвищення термічного опору стін до  $R=3,5 - 4,0 \text{ м}^2\text{C/Вт}$ , вікон до  $R=0,75 - 0,85 \text{ м}^2\text{C/Вт}$ , а також використання пасивних сонячних колекторів-веранд (оранжерей) з їх інтеграцією у планувальну структуру і орієнтацією на південь;
- **критерій енергонезалежності.** В оцінці витрат на будівництво житлових будинків дуже часто не враховується весь комплекс робіт, пов'язаний з приєднанням до зовнішніх інженерних мереж. Дуже часто для нових ділянок прокладення газових мереж супроводжується витратами, пов'язаними з відчуженням землі на охоронні зони і т.і. Таким чином, в умовах вибіркового будівництва і існуючій забудові, де потужність магістральних зовнішніх мереж вичерпана, будівництва у віддалених районах, в регіонах, де не створені газові розподільчі станції, стає економічно доцільним будівництво енергоефективного або навіть пасивного будинку з використанням альтернативних джерел енергії. Отже, взамін будівництва та приєднання до зовнішніх мереж економічно ефективними можуть бути заходи з підвищення енергоефективності майбутнього будинку;
- **критерій екологічної ефективності.** В світі є ціла низка урядових і міжурядових рухів, які забезпечують компенсації для забудовників і власників житла, які гарантують високі екологічні показники і сприяють зменшенню викидів  $\text{CO}_2$ . Методи заохочення торкаються грошових компенсацій, безпроцентних субсидій на енергонезалежні проекти та ін.;
- **критерій надійності інвестицій.** Якщо на стадії будівництва житла власник (інвестор) в змозі профінансувати додаткові заходи щодо енергозбереження, це буде найбільшою гарантією того, що будинок можна буде ефективно експлуатувати в майбутньому при постійному зростанні тарифів на енергоносії. Ця обставина є одним з головних чинників надійного і довгострокового заощадження коштів. Отже, створення енергоефективного житла є найкращим захистом інвестицій домовласників.

Як зазначено в матеріалах щодо проектування пасивних будинків РНПП 2007 [6], розрізняють наступні етапи проектування систем енергозабезпечення пасивного будинку (рис. 3).

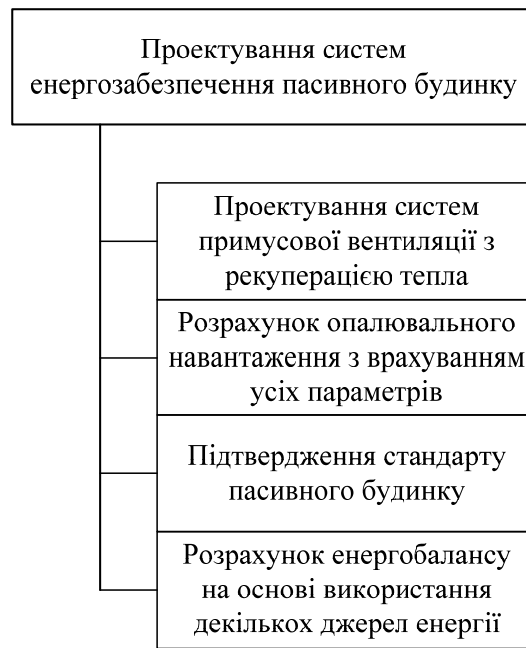


Рис. 3. Етапи проектування систем енергозабезпечення пасивного будинку

Методики розрахунків та крайові умови енергетичного балансу пасивного будинку враховують кліматичні умови, лінійні та точкові теплові мости, норми непрозорих та прозорих будівельних конструкцій [8,9]. Розрахунок тепловтрат включає трансмісійні тепловтрати через непрозорі огорожуючі конструкції, трансмісійні тепловтрати через вікна, теплові мости, вентиляційні втрати. Розрахунок джерел тепла включає: внутрішні джерела тепла (позитивні – тепло від людей та пристроїв, негативні – енергія на нагрів води та випаровування води) та сонячна радіація. Діаграма розподілу надходжень тепла пасивного будинку від внутрішніх джерел зображена на рис.4.

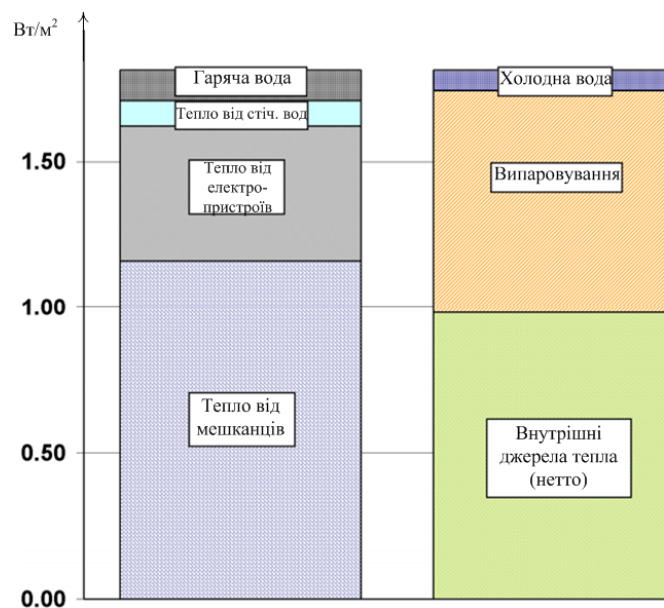


Рис. 4. Діаграма розподілу надходжень тепла пасивного будинку від внутрішніх джерел

Порядок розрахунку теплового енергобалансу для пасивного будинку показаний на (рис. 5).

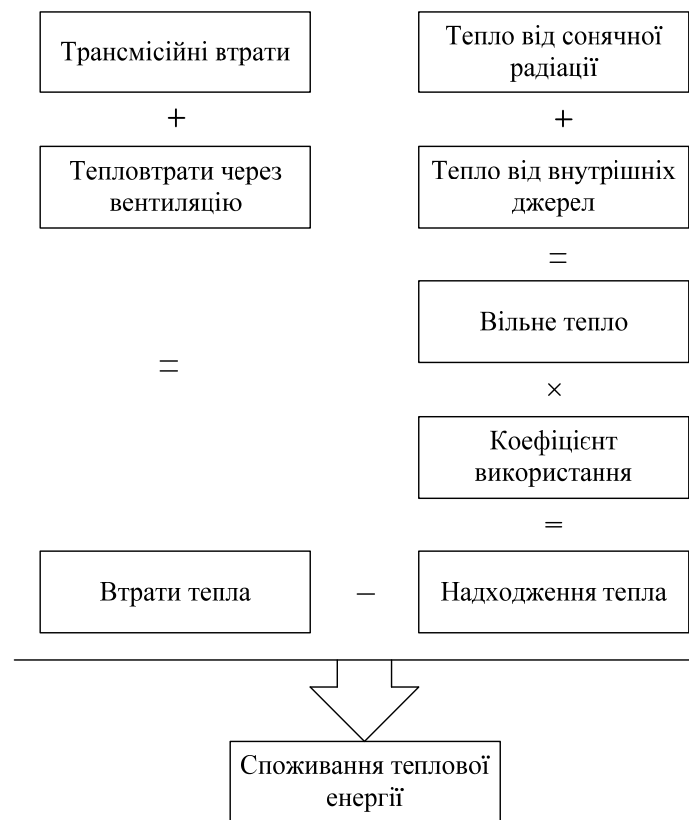


Рис. 5. Тепловий енергобаланс пасивного будинку

Зміна структури споживання енергії пасивного будинку вимагає іншого підходу при формуванні технічної бази системи енергозабезпечення. Як зазначалося вище, рівні енергоспоживання пасивного будинку дають змогу використовувати в першу чергу енергоносії, які не потребують прокладання зовнішніх та внутрішніх інженерних мереж. З огляду на це можна вважати, що електроенергія є найбільш оптимальним енергоносієм, враховуючи використання комбінованої системи електроживлення з різномірними (традиційними та поновлюваними) джерелами енергії. Із структури енергоспоживання пасивного будинку випливає, що забезпечення мікроклімату є найбільш енергозатратним і може бути реалізовано шляхом використання системи примусової вентиляції з рекуперацією тепла.

З аналізу вищенаведеного можна зробити висновок, що для побудови систем енергозабезпечення пасивних будинків слід використовувати комплексний підхід [10]. Так, споживач  $C_m$  для здійснення технологічного процесу повинен споживати певну кількість електроенергії  $W$ . Як правило, за видом первинної енергії, що перетворюється у електричну, джерела електроенергії  $D_n$  можуть мати різну природу, зокрема: тепла енергія двигунів внутрішнього згорання, енергія, накопичена у акумуляторних батареях, енергія вітру, енергія сонця і ін.

Очевидно, що різномірні джерела електричної енергії можуть бути поєднані у одній комбінованій системі, бути взаємозамінними, або взаємно резервованими. Однак особливості процесів перетворення первинної енергії у електричну для згаданих різномірних джерел висуває певним чином обґрунтовані вимоги щодо оптимізації структур таких систем.

Як показано в [10], знаючи рівень енерговитрат є раціональним визначення кількості енергії  $w_n$ , яка повинна надходити від джерела  $D_n$ . В даному випадку електрична енергія може бути одержана від центральної енергосистеми  $W_{EC}$  або автономного джерела (дизельної електричної станції, газової електростанції, фотоелектричної установки, вітроелектричної установки і т.д.). Кожен з цих варіантів має ряд принципових відмінностей, зокрема, собівартість електроенергії від різних джерел буде мати різне значення. Кожне з цих джерел має різну доступність. Під доступністю треба розуміти ймовірність того, що джерело  $D_n$  буде здатне генерувати задану кількість електроенергії  $w_n$  у заданий час, або ймовірність того, що генеруюча установка буде забезпечена первинною енергією в будь-який час і в об'ємі, що відповідає номінальним показникам установки. Наприклад, від енергосистеми необмеженої потужності, при її працездатному стані, можна отримати наперед визначену необхідну кількість енергії. У той же час, від сонячної батареї не можна отримати електроенергію в темний період доби, як і не можна отримати електроенергію від вітроелектростанції у безвітряну погоду. Крім того, величина природної освітленості або швидкості вітру можуть бути менші за розрахункові значення, а це означатиме, що енергетичні установки не зможуть генерувати розрахункове значення електричної потужності.

Введемо для характеристики доступності джерела енергії коефіцієнт доступності  $k_d$ . Вважатимемо, що при  $k_d=1$  дане джерело може забезпечити 100% кількості енергії, якої потребують споживачі і відповідає номінальним значенням електроустановки. Значення коефіцієнта доступності знаходиться в межах від 0 до 1. При  $k_d=0,6$  вважається, що споживачі можуть бути забезпечені від даного джерела енергії лише на 60% потрібного об'єму енергії. Решта 40% енергії повинна надходити від іншого, резервного по відношенню до обраного, джерела енергії. Отже, в загальному випадку електрозабезпечення визначеної групи споживачів  $C_m$  з заданим рівнем електроспоживання  $W$  можна вирішити використанням комбінацій з будь-яких, наперед визначених, джерел електроенергії  $D_n$ , що утворюють структуру комбінованої системи  $n$  джерел та  $m$  споживачів (рис. 6).

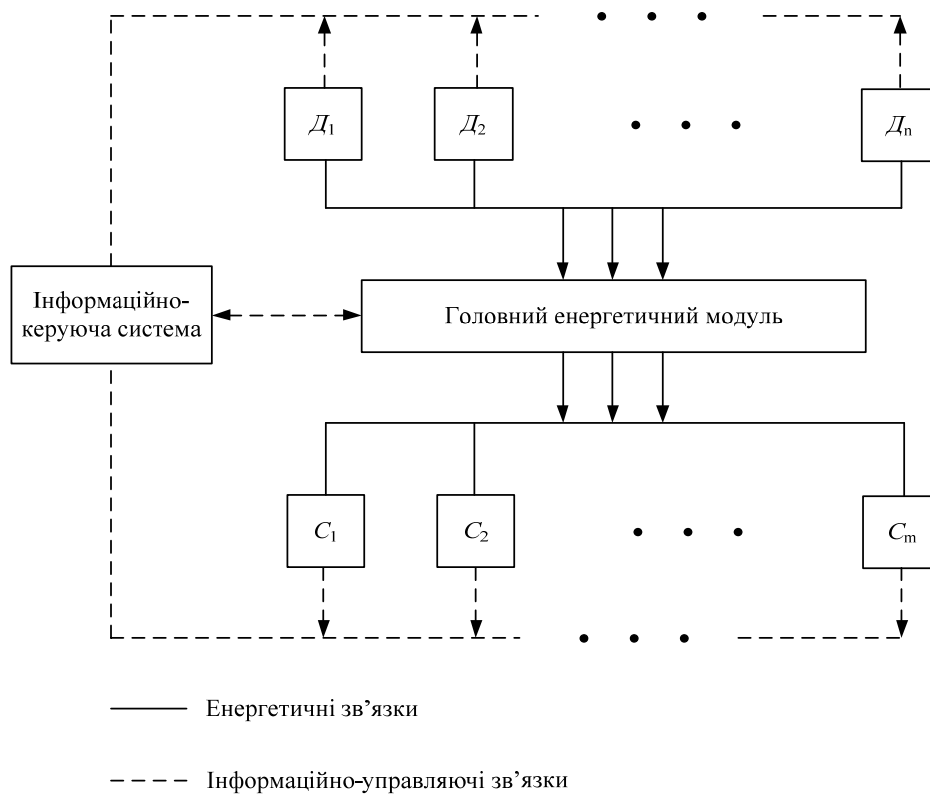


Рис. 6. Структурні взаємозв'язки джерел та споживачів електроенергії пасивного будинку

Витрати на електроживлення споживача  $C_j$  визначатимуться як:

$$E_{Cj} = \sum_{i=1}^n W_{ij} \cdot V_{ij} \cdot k_{ij}, \tag{3}$$

де  $V_{ij}$  – питома вартість генерованої електроенергії  $i$ -тим джерелом для  $j$ -го споживача;

$k_{ij} = f(k_{di})$  поправочний коефіцієнт.

Залежність (3) справедлива за умови, коли джерело енергії  $D_i$  може забезпечити будь-якого споживача  $C_j$  достатньою кількістю електроенергії. Якщо джерело  $D_i$  не здатне у будь-який момент часу забезпечити потребу будь-якого споживача в достатній кількості електроенергії ( $k_{di} < 1$ ), то знадобиться додаткове джерело (наприклад,  $D_k$ ), яке забезпечить необхідною кількістю електроенергії  $\sum_{i=1}^n W_{ij} (1 - k_{di})$  споживача  $C_j$  у заданий проміжок часу.

Очевидно, що найбільш раціональний варіант електроживлення обраної групи споживачів з огляду витрат на первинні енергоресурси спостерігатиметься за умови:

$$E_{Cj}^{\Sigma} \rightarrow \min \tag{4}$$



Розв'язок рівняння (4) дозволить одержати оптимальний набір джерел електроенергії для кожного із споживачів даної групи з урахуванням його надійності, особливостей режиму електроспоживання, а також питомої вартості електроенергії.

З рис. 6 видно, що невід'ємною частиною ефективної комбінованої системи електроживлення є інформаційно-керуюча система, яка здійснює аналіз параметрів джерел та характеристик споживачів в режимі реального часу і корегує роботу головного енергетичного модуля та режими електроспоживання споживачів в залежності від детермінованого графіку електроспоживання, забезпечуючи максимальну ефективність використання первинної енергії.

Разом з тим, для реалізації технології пасивного будинку споживачі електроенергії (в першу чергу побутові пристрої) повинні відповідати найвищому класу енергоіндексації.

### **Висновки**

Враховуючи всі існуючі передумови, розробка сучасних комбінованих систем енергозабезпечення пасивних будинків набуває широкого значення і є актуальною науковою задачею, вирішення якої потребує ґрунтовного системного аналізу об'єкту досліджень в частинах енергетичного аудиту та енергоефективності системи енергозбереження, умов його функціонування, перспективних технічних засобів альтернативного забезпечення енергоресурсів, моделей енергозберігаючих технологій, накладених на будівельний об'єкт, інтелектуалізація процесу енергоспоживання.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Стратегія енергозбереження в Україні : аналітично-довідкові матеріали / за ред. В. А. Жовтянського, М. М. Кулика, Б. С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
2. Долінський А.А. «Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики» Вісник НАН України. – 2006. – №2.
3. Енергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи: Довідник /"НДІпроектреконструкція", Deutsche Energie-Agentur GmbH(dena), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), 2006. – 144ст.
4. Piasecki M. Kryteria oceny wyrobow i obiektow budowlanych pod katem zgodnosci z wymaganiami zrownowazonego rozwoju. Budownictwo, technologie, architektura. Nr 2, 2010.
5. Саницький М.А., Позняк О.Р., Марущак У.Д. Проблеми енергозбереження в сучасному житлово-цивільному будівництві /Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції» – 2005 – Випуск 63 – С. 234 – 239.
6. Вольфганг Файст «Основы проектирования пассивных домов» / Издательство АСВ, – М.: – 2008. – 140 с.
7. Основные принципы методики рационального проектирования жилых зданий / Савицкий Н.В. Швец Н.А., Шляхов К.В., Юрченко Е.Л. // Міжнародний науково-технічний збірник: Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону; – Вип. 62, книга 2 – К.: НДІБК, 2005. – С. 292 – 295.
8. Житлові будинки. Основні положення : ДБН В.2.2.-15-2005. [Чинні від 2006-01-01] / Держбуд України. – К. : Укрархбудінформ, 2005. – 50 с. – (Державні будівельні норми України);

9. ДСТУ –Н.Б. А.2.2-5:2007 «Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції» / Мінрегіонбуд України, –2007. – С.62.
10. Каплун В.В. Синтез сочетания источников и потребителей энергии комплексных автономных систем// Экотехнологии и ресурсосбережение.– 2008.–№2, –с.73–77.