

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

*І.Р. Ващишак, О.П. Ващишак, А.В. Яворський*

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 48003,  
e-mail: tdm@nuing.edu.ua

Проаналізовано нормативно-методичне забезпечення заходів щодо підвищення енергоефективності та енергозбереження будівель об'єктів нафтогазового комплексу. Наведено класифікацію будівель за ступенем впливу на них навколишнього середовища та принципи проектування приміщень з підвищеною енергоефективністю. Розглянуто різні форми приміщень та визначено найбільш енергоефективні з них. Проаналізовано різноманітні системи опалення приміщень, можливості теплоізоляції огорожувальних конструкцій будівлі та структуру ринку теплоізоляційних матеріалів. Розглянуто конструкції і теплові характеристики сучасних вікон та систем вентиляції.

На основі проведеного аналізу запропоновано застосувати систему опалення приміщень з використанням теплових трубок, як найбільш енергоефективну. Для зменшення розмірів системи опалення запропоновано використати малогабаритні напівпровідникові нагрівальні елементи. З метою зниження рівня електробезпеки та додаткової економії електроенергії доведено доцільність застосування низької імпульсної напруги для живлення нагрівальних елементів. Наведено конструкцію теплоізоляції енергоефективного приміщення будівлі з довготривалим перебуванням людей. Запропоновано багатопарову конструкцію теплоізоляції приміщення для підвищення його енергоефективності та описано спосіб її розрахунку. Як додаткове джерело енергії для освітлення приміщення запропоновано використати сонячні батареї. Запропоновано організувати правильний повітрообмін у приміщенні шляхом застосування автоматичних віконних провітрювачів з можливістю зменшення зовнішнього шуму під час провітрювання.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, теплова ізоляція, тепловий опір, точка роси, системи опалення, теплова трубка, сонячна батарея, вентиляція.

Проанализировано нормативно-методическое обеспечение мероприятий по повышению энергоэффективности и энергосбережения строений нефтегазового комплекса. Проведена классификация строений по степени влияния на них окружающей среды и принципов проектирования помещений с повышенной энергоэффективностью. Рассмотрены помещения различных форм и определены наиболее энергоэффективные из них. Проанализированы различные системы отопления помещений, возможности теплоизоляции ограждающих конструкций строений и рассмотрена структура рынка теплоизоляционных материалов. Рассмотрены конструкции и тепловые характеристики современных окон и систем вентиляции помещений.

На основе проведенного анализа предлагается применить систему отопления помещений с использованием тепловых трубок как наиболее энергоэффективную. Для уменьшения размеров системы отопления предложено использовать малогабаритные полупроводниковые нагревательные элементы. С целью снижения уровня электробезопасности и дополнительной экономии электроэнергии доказана целесообразность использования низкого импульсного напряжения для питания нагревательных элементов. Представлена конструкция теплоизоляции энергоэффективного помещения с долгосрочным нахождением людей. Предложено многослойную конструкцию теплоизоляции помещения для повышения его энергоэффективности и описано способ ее теплового расчета. В качестве дополнительного источника энергии для освещения помещения предлагается использовать солнечные батареи. Организовать правильный воздухообмен в помещении предлагается путем использования автоматических оконных проветривателей с возможностью уменьшения внешнего шума при проветривании.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, тепловая изоляция, тепловое сопротивление, точка росы, системы отопления, тепловая трубка, солнечная батарея, вентиляция.

*The normative and methodological support of measures aimed at improving energy efficiency and energy saving characteristics of oil and gas complex buildings were analyzed. The buildings classification by the environment impact degree on them and by the design philosophy of buildings with improved energy efficiency characteristics was performed. Different forms of building areas were considered, the most energy-efficient were defined. Different heating systems and envelope heat-insulation designs were analyzed, the structure of heat-insulation materials market was studied. The designs and heat characteristics of modern windows and ventilation systems were considered.*

*Based on the results of the performed analysis, application of heat pipes as the most energy efficient room heating was proposed. Small-sized semiconductor heating elements can be used to reduce the heating system sizes. In order to reduce the electrical energy saving level and additional energy saving, the feasibility of low pulse voltage use for heating element power supply was grounded. The heat-insulation design of the energy-efficient room with a long-term presence of people was developed. The room multilayered insulation design was offered to increase its energy efficiency characteristics, the thermal design method was described. Solar batteries were proposed to be used as an additional source of energy to provide room lighting. The proper room air exchange was offered to be arranged by applying automatic window ventilators with the noise reduction option.*

Key words: energy efficiency, energy saving, heat insulation, heat resistance, dew point, heating system, heat pipe, solar battery, ventilation.



**Рисунок 1 – Спеціалізовані будівлі, в яких розміщено нафтогазове обладнання, що вимагає забезпечення особливих температурних умов**

### Вступ

Енергозбереження та енергоефективне використання енергоресурсів є однією із складових енергетичної безпеки держави. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України забезпечує реалізацію заходів, спрямованих на економію споживання енергоресурсів та використання альтернативних джерел енергії на заміну природного газу.

Враховуючи актуальність і необхідність проведення соціально-економічних реформ в теплозабезпеченні та споживанні енергоресурсів, Мінрегіонбуд надає для використання у практичній роботі інформацію про заходи з питань підвищення енергоефективності та енергозбереження у будівельному комплексі, а також методичні рекомендації щодо їх впровадження. Чинна нормативна база та процедура проведення комплексної державної експертизи проєктів, надання дозволу на будівництво, забезпечення контролю і прийняття об'єкта в експлуатацію спрямовані на створення належних умов щодо реалізації проєктів із сучасними енергоефективними архітектурно-технічними рішеннями на основі перевірених практикою технологій, матеріалів та виробів. Запровадження енергопаспортизації будівель, проведення контролю реальної енергоефективності із перевіркою відповідності фактичних і проєктних теплотехнічних параметрів огорожувальних конструкцій шляхом проведення енергоаудиту, контроль питомих показників енергоспоживання повинні забезпечувати ефективне споживання енергоресурсів при подальшій експлуатації об'єктів житлово-громадського, так і промислового призначення [1].

У зв'язку з реформуванням нафтогазового комплексу України в напрямку економії енергосистем та введенням більш жорстких нормативів з енергозбереження виникла необхідність радикального перегляду принципів проєктування і будівництва приміщень об'єктів нафтогазового комплексу та систем їх опалення.

### Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Об'єкти нафтової і газової промисловості в зимовий період зазнають впливу низьких температур, вітру, опадів, що часто призводить до порушення технологічного процесу. Для забез-

печення нормальної роботи обладнання, що бере участь у технологічному процесі, застосовується обігрів. У даний час для обігріву мереж трубопроводів на технологічних нафтогазових майданчиках в основному використовують електрообігрів, для прогрівання високов'язких нафтопродуктів на магістральних транспортних трубопроводах застосовують локальне опосередковане нагрівання за допомогою спеціалізованих печей, що використовують як паливо нафту, нафтопродукти, природний газ.

Крім обігріву протяжних трубопроводів або габаритних об'єктів, наприклад резервуарів, часто доцільно з позицій енергозбереження і енергоефективності обігрівати окремі елементи обладнання – так звані локальні зони. Локальні зони – елементи об'єктів: трубопроводів, ємностей, резервуарів спеціальних установок, що мають підвищені показники теплових втрат в навколишнє середовище при впливі низьких температур в порівнянні з основним тілом об'єкта; елементи, що вимагають підтримки більш високої температури в порівнянні з основним тілом об'єкта для збереження працездатності; частина продукту, що вимагає підвищеної температури для технологічного процесу. До них відносяться ділянки трубопроводу, пристрої запірної арматури, рівнеміри, клапани, прилади контролю і обліку, що встановлюються безпосередньо на трубопроводах і резервуарах, та ін.

В більшості випадків вище наведені «локальні зони» нафтогазового обладнання розміщуються у спеціалізованих будівлях (рис. 1), експлуатація яких в сучасних умовах вимагає особливих підходів з точки зору енергоефективності (особливо у випадку нештатних і аварійних ситуацій).

Інформація щодо фактичних показників енергетичної ефективності будівель нафтогазового комплексу, результати оцінки відповідності їх встановленим вимогам до енергетичної ефективності будівель, а також рекомендації щодо підвищення енергоефективності наводяться в енергетичному паспорті будівлі. Енергетична паспортизація діє в Україні з 2007 року після введення нормативних вимог ДБН В.2.6-31 [2]. З 2009 року енергетичний паспорт є обов'язковою складовою проєктної документації для житлових, громадських та побутових будівель в нафтогазовому комплексі як при новому будівництві, так і при реконструкції. Методичні положення, необхідні для розрахунку

параметрів енергетичного паспорта, висвітлені у ДСТУ-Н Б А.2.2-5 [3].

Енергетична паспортизація передбачає присвоєння будівлі відповідного класу енергетичної ефективності. В ДБН В.2.6-31 та ДСТУ-Н Б А.2.2-5 встановлено 6 класів енергетичної ефективності будівлі, які позначаються латинськими літерами «А», «В», «С», «D», «Е», «F»; причому літера «А» відповідає будівлям з найкращими показниками енергетичної ефективності, а «F» – будівлям, що мають найгірші показники. В основу класифікації будівель за енергетичною ефективністю покладено рівень відносного відхилення фактичних (розрахункових) та нормативних значень питомих витрат теплової енергії на опалення. Для будівель, що проєктуються, необхідно приймати клас, не нижчий ніж «С». При цьому після завершення будівництва має бути підтверджена відповідність нормативним вимогам. Класифікація існуючих будівель повинна здійснюватись за результатами енергоаудиту. У випадку отримання результатів, які відповідають класам «D», «Е», «F», необхідно розробити заходи щодо підвищення енергоефективності будівлі з доведенням до класу не нижчого від «С» [4]. В країнах західної Європи та США також існує система оцінювання енергетичних показників та маркування будівель за показниками енергоефективності.

Конструктивні заходи щодо підвищення енергоефективності будівлі повинні знижувати витрати теплової енергії на опалення при обов'язковому забезпеченні оптимальних мікрокліматичних умов приміщень.

Оскільки найбільші теплові втрати відбуваються через огорожувальні конструкції (стіни, вікна, вхідні двері) та вентиляцію, то для створення приміщень з максимальною енергоефективністю необхідно вирішити такі задачі:

- вибрати оптимальну форму приміщення,
- застосувати економічну і максимально ефективну систему опалення,
- застосувати внутрішні теплоізолюючі конструкції з максимальним опором теплопередачі,
- застосувати максимально ефективні конструкції зовнішнього утеплення стін,
- використати енергоефективні вікна,
- зменшити втрати тепла за рахунок правильної організації повітрообміну приміщення.

Досвід енергозбереження в архітектурі показує, що існує об'єктивна основа підвищення енергоефективності будівель на основі оптимізації характеристик їх форми. Класифікація архітектурно-будівельних об'єктів за ознакою їх енергоефективності базується на визначенні характеру отримання енергії, способу її перетворення та використання.

Таким чином, за ступенем взаємовпливу зовнішнього середовища на внутрішнє середовище будівлі можна розділити на такі групи: повністю залежні від зовнішніх факторів, взаємодіючі з зовнішнім середовищем та незалежні (автономні). Промислові приміщення, офіси та лабораторії відносяться до другої групи та від-

різняються за способом отримання, акумуляції і використання енергії, за видом енергії та ступенем заміщення прийомом проєктування. За ступенем заміщення енергії невідновлювальних джерел будівлі з приміщеннями, у яких люди перебувають тривалий час, поділяються на: будівлі малої енергоактивності – до 10%; середньої енергоактивності – 10-60%; енергетично автономні – 100%; будівлі з надлишковою енергоактивністю [5].

Першочергова орієнтація на використання відповідного виду джерела енергії відбивається на структурі будівель і приміщень. Принципами проєктування енергоефективних приміщень є: максимальне отримання енергії, максимальна її акумуляція, мінімальні корисні витрати енергії, мінімальні втрати енергії від неефективного використання. Особливу увагу слід звертати на теплові втрати приміщень, від величини яких у найбільшій мірі залежить їх енергоефективність.

При проєктуванні приміщення необхідно прагнути, щоб його форма була якомога компактнішою, з мінімальним відношенням площі зовнішніх огорожувальних поверхонь до житлової (виробничої) площі. Найідеальнішою формою приміщення є сфера. Але оскільки приміщення у вигляді сфери чи круга не завжди зручні в будівництві, оптимальною формою можна вважати квадрат. Найгіршими з точки зору зменшення витрат на опалювання є витягнуті приміщення з порізнаними фасадами або приміщення у вигляді високої вежі.

Так, наприклад, у разі форми приміщення з висотою 3 м у вигляді круга при загальній площі 100 м<sup>2</sup> площа огорожувальних конструкцій збільшиться до 105 м<sup>2</sup>. Якщо форма приміщення буде квадратною, то при тій же площі площа огорожувальних конструкцій збільшиться до 120 м<sup>2</sup>. Ще гірші варіанти форм приміщення – це витягнутий прямокутник із співвідношенням сторін 1 до 4, в якому площа огорожувальних конструкцій збільшується до 150 м<sup>2</sup>, та замкнутий прямокутник, площа огорожувальних конструкцій якого збільшиться до 186 м<sup>2</sup>, тобто практично на одну третину і дві третини в порівнянні з кругом відповідно. Це при обліку усіх тепловтрат приміщення збільшує тепловтрати прямокутної будівлі на 8–11% (табл. 1).

Завдяки компактній формі будівлі зменшуються теплові втрати внаслідок теплової трансмісії. Також доцільно звернути увагу на орієнтацію та частку вікон у загальній площі огорожувальних конструкцій. Для отримання додаткової сонячної теплової енергії вікна повинні бути орієнтовані на південь [5].

Найбільшими споживачами теплової енергії для промислових будівель є системи опалення, вентиляції й кондиціонування повітря. Вдосконалювання цих систем має першочергове значення для підвищення енергоефективності будівель і зниження витрат енергії на створення в них комфортних умов.

Для опалення приміщень на даний час, крім традиційної радіаторної, застосовуються

Таблиця 1 – Залежність тепловтрат приміщення від його форми

Форма приміщення	Загальна площа огорожувальних конструкцій, м <sup>2</sup>	Відносні тепловтрати, %
Квадрат (S=105 м <sup>2</sup> )	120	100
Круг (S=105 м <sup>2</sup> )	105	97
Прямокутник (відношення сторін 1 до 4)	150	108
Прямокутник (відношення сторін 1 до 12)	186	111

системи стінного, підлогового та настельного опалення. Все частіше при виборі системи обігріву приміщень приймають до уваги не тільки затрати на її встановлення та експлуатацію, але також турботу про здоров'я і комфорт працівників.

При стінному опаленні тепло передається в приміщення майже виключно шляхом випромінювання. Тепловий комфорт людей забезпечується завдяки найбільш сприятливому для здоров'я розподілу температури в приміщенні. У приміщенні із стінним опаленням тепловий комфорт досягається вже при температурі 17-18°C, а це на 2-3°C нижче, ніж при радіаторному. З цієї різниці температури виникає економія необхідної для опалювання енергії, а у результаті – грошових коштів. Тому можна сказати, що з експлуатаційної точки зору стінне опалення є більш економічним рішенням. Його перевага полягає також у швидкому нагріванні поверхні стіни та його легкому регулюванні. Крім того, використання стінної системи опалення повністю позбавляє від необхідності встановлювати радіатори, а значить надає більше варіантів для дизайну приміщень, хоча обмежує можливість розстановки меблів уздовж стін, які обігріваються.

Системи стінного опалення бувають таких видів: повітряна, водяна поверхнева, електрична, опалення тепловими трубками.

Недоліками системи повітряного опалення є доволі низький ККД, оскільки нагрівання здійснюється тільки у нижній точці стіни, існує необхідність у підігріві та циркуляції теплоносія. Система водяного поверхневого опалення схожа на повітряну систему з тією різницею, що труби з теплоносієм укладені в стінку, що збільшує опалювану площу. Недоліками електричного опалення є значна витрата електроенергії і високий рівень електро- та пожежобезпеки. До того ж при електричному опаленні сильно осушується повітря, що негативно відбивається на самопочутті людей.

Система опалення тепловими трубками складається з певної кількості теплових трубок, об'єднаних колектором – трубкою, по якій рухається теплоносій. Теплові трубки вмонтовуються в нижній частині стіни, де забезпечується хороший тепловий контакт з колектором. У системі з тепловими трубками в колекторі циркулює у 5-8 разів менше води, ніж в системах опалення іншого типу, тому вона легше піддається управлінню. Недоліком цієї системи опалення є необхідність у підігріві та циркуляції теплоносія, а також необхідність у строго вер-

тикальному положенні випарних трубок, в яких зона конденсації повинна бути вищою зон випаровування. При відхиленні положення теплових трубок від вертикального їх ККД різко знижується і ефективність опалення зменшується.

Підвищити ефективність тепловіддачі системи опалення можна за рахунок використання відбиваючої теплоізоляції. До неї відносяться матеріали з низьким коефіцієнтом випромінювання, як правило, це полірована алюмінієва фольга з нанесеним на неї теплоізоляційним шаром з пінополіетилену чи пінопропілену. Відбиваюча теплоізоляція відбиває до 97% теплого випромінювання [5].

Додатковий комфорт у приміщенні створює наявність теплої підлоги – водяної чи електричної. Процес розрахунку і встановлення теплої підлоги досить складний і компетентно може бути виконаний тільки досвідченими працівником. При монтажі водяних теплих підлог виникає необхідність в додатковому устаткуванні для їх правильної і ефективної роботи. Це розподільні гребінки, витратоміри, насосні групи. Дуже важливий, в цьому питанні, якісний монтаж теплої підлоги - висока якість з'єднань і якість матеріалу труби. Адже якщо вона буде змонтована неправильно, з порушеннями вимог, це в майбутньому може викликати великі проблеми - від втрати комфорту у приміщенні, що погано обігрівається, до розбирання підлог для пошуку витоків теплоносія.

У електричних підлог є один істотний недолік - обігрів приміщення обійдеться значно дорожче, ніж із застосуванням водяної теплої підлоги. При виборі такого типу підлоги треба точно розуміти усі нюанси і детально розрахувати майбутні витрати на опалення. Адже від правильності розрахунків залежатиме величина економії і термін окупності первинних витрат.

Для реалізації завдання підвищення енергоефективності будівлі встановлення електричної чи водяної теплої підлоги у приміщеннях є недоцільним, оскільки витрати на монтаж набагато перевищують ефективність їх застосування, а також через великий термін окупності капіталовкладень.

Інфрачервоне стельове опалення є ефективним способом обігріву приміщення у випадку, якщо потужність радіаторів опалення недостатня для підтримки комфортної температури, або ж не влаштовує якість існуючого центрального опалення, тобто коли не залишається нічого іншого, крім встановлення додаткових обігрівачів.

Таблиця 2 – Вплив точки роси на комфорт у приміщенні

Точка роси, °С	Сприйняття людиною	Відносна вологість, %
Більше 26	вкрай високе сприйняття, смертельно небезпечно для хворих на астму	65 і вище
24—26	вкрай некомфортний стан	62
21—24	дуже волого і некомфортно	52—60
18—21	неприємно сприймається більшістю людей	44—52
16—18	комфортно для більшості, але відчувається верхня межа вологості	37—46
13—16	комфортно	38—41
10—12	дуже комфортно	31—37
менше 10	дещо сухо	30

При виборі альтернативного виду опалення необхідно правильно оцінити потенціал джерела відновлюваної енергії. Доцільність використання деяких видів альтернативного опалення – геліосистем, вітряного опалення тощо – залежить від регіону та місця установки генератора.

На жаль, альтернативна енергія в Україні поки що залишається прерогативою дуже забезпечених або ідейних людей. Термін окупності таких інновацій доволі тривалий, тому впровадження альтернативних джерел енергії зараз може бути ефективним лише при віддаленості комунікацій.

Одним із важливих енергозберігаючих заходів є теплоізоляція непрозорих огорожувальних конструкцій будівлі, оскільки теплові втрати через огорожувальні конструкції шляхом теплової трансмісії складають до 50% загального обсягу теплових втрат [5].

Існуючі варіанти зовнішнього утеплення стін відрізняються як конструктивними рішеннями, так і застосованими в конструкціях матеріалами. В сучасній практиці найбільше розповсюдження отримали:

- конструкції зовнішнього утеплення стін з покриттям із штукатурки,
- конструкції зовнішнього утеплення стін з вентиляваним зазором і полегшеним захисно-декоративним облицюванням,
- тришарові стіни з утеплюючим середнім шаром.

Аналіз структури ринку теплоізоляційних матеріалів для зовнішнього утеплення стін показав, що вироби з скловолокна займають 41%, вироби на основі мінеральної вати – 32%, вироби з безпресового полістиролу – 17%, вироби з екструзивного полістиролу ХРС – 4%, вироби з пінополіуретану – 1%, інші вироби – 5% [6]. Вибір матеріалу і конструкції зовнішнього утеплення стін здійснюють відповідно до типу будівлі, кліматичного поясу, технології будівництва і економічної доцільності.

Зовнішнє утеплення стін приміщення — це відповідальне завдання, тому що недостатня товщина утеплювача загрожує промерзанням утеплювача і перенесенню точки роси на поверхню стіни, що викличе утворення конденсату

на стінах і у подальшому призведе до плісняви між стіною і утеплювачем. Температура точки роси повинна знаходитись в утеплювачі, тому потрібно розраховувати його необхідну товщину, яка залежить від опору теплопередачі [2].

Нормованою в Україні є не лише температура повітря у приміщенні, а й температура внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожень у приміщенні. Розрахункові значення точки роси наводяться в таблицях [7].

Людина при високих значеннях точки роси відчуває себе некомфортно. У континентальному кліматі умови з точкою роси між 15 і 20° С створюють певний дискомфорт людині, а повітря з точкою роси вище 21° С сприймається як задущиле (табл.2). Нижня точка роси, менше за 10° С, корелює з більш низькою температурою навколишнього середовища, і тіло вимагає меншого охолодження. Нижня точка роси може бути разом з високою температурою тільки при дуже низькій відносній вологості повітря.

Також правильна теплоізоляція огорожувальних конструкцій будівлі запобігає виникненню “містків холоду”, які виникають тоді, коли матеріал, що є хорошим провідником тепла, створює міст між теплим внутрішнім мікрокліматом будівлі із зовнішнім холодним повітрям. Такі “теплові мостики” часто є джерелом значним тепловтрат.

Найслабшими в термічному плані місцями будівлі є вікна. Через вікна втрачається близько 18-30 % теплової енергії [8]. За рахунок застосування енергоефективнішого типу вікон можна відразу домогтися значного зменшення витрат на опалення, особливо при великій площі скління.

З точки зору енергоефективності вікна на ринку представлені залежно від матеріалу палітурки (профілю) – дерево, пластик або алюміній, кількості повітряних камер в склопакеті та наявності селективного покриття і його типу. Так само існують дуже ефективні вікна, де склопакет заповнений важким інертним газом. Але, зважаючи на складність та дорожнечу, вони випускаються дуже малими партіями.

Якщо як звичайну конструкцію узяти поширений тип первинних вікон, тобто подвійне

скління в дерев'яних роздільних палітурках, то розрахунок показує, що для середнього вікна площею 2.5 м<sup>2</sup> за опалювальний сезон через прості вікна втрачається приблизно 110 Вт теплової потужності або приблизно 400 кВт·год за опалювальний сезон. У разі використання енергоефективнішої конструкції вікон з найдешевшого матеріалу отримаємо 75 Вт і 270 кВт·год відповідно.

У випадку, коли замінити вікна на більш енергозберігаючі неможливо, то слід вжити заходи з їх ущільнення.

Однак, заміна вікон на енергозберігаючі або їх ущільнення може спричинити порушення санітарно-гігієнічних норм в приміщенні. Тому слід приділити значну увагу проектуванню системи повітрообміну.

Повітрообмін приміщень з тривалим перебуванням людей здійснюється шляхом природного провітрювання за рахунок нещільностей у конструкціях та різниці тиску зовні і всередині приміщень — інфільтрацією та ексфільтрацією. Це неорганізований повітрообмін. Організований повітрообмін здійснюється за рахунок вентиляції, що забезпечує усунення з приміщень забрудненого повітря і заміну його чистим повітрям, яке відповідає гігієнічним вимогам.

Вентиляція приміщення може бути природною і штучною. Природна вентиляція здійснюється за допомогою відчинених вікон чи фрамуг або шляхом застосування різноманітних повітряних каналів. Штучна вентиляція має систему з механічним подаванням у приміщення атмосферного повітря. Така вентиляція називається припливною. Вентиляторні витяжні системи для усунення повітря з приміщень утворюють витяжну вентиляцію. Найкращою з санітарно-гігієнічної точки зору є припливно-витяжна вентиляція, що служить для одночасного подавання і видалення повітря.

Вентиляція, крім того, поділяється на місцеву, що забезпечує видалення повітря безпосередньо з місць його забруднення, загальнообмінну, що забезпечує вентиляцію всього приміщення, і комбіновану, коли використовують елементи місцевої та загальнообмінної вентиляції.

Вибір системи вентиляції здійснюють таким чином, щоб забезпечити мінімальний повітрообмін, необхідний відповідно до санітарно-гігієнічних норм, при утриманні теплових втрат будівлі на якомога нижчому рівні.

#### Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується стаття

Проведений аналіз можливих теплових втрат будівлі показує, що приблизно 50% втрат тепла спричинені теплопередачею та 50% вентиляцією, що включає в себе втрати внаслідок просочування (інфільтрацію) і втрати через вікна. Наслідком інфільтрації може бути не тільки підвищена потреба в тепловій енергії, а в окремих випадках і пошкодження будівельних конструкцій. В той же час вентиляція є спеціа-

льно створеною і служить для забезпечення санітарно-гігієнічних норм у приміщенні. Як додаткове джерело енергії у приміщеннях будівлі можна використати теплову енергію сонця.

Таким чином, огорожувальні конструкції, система вентиляції та можливість використання додаткових джерел енергії мають вирішальний вплив на енергоефективність будівлі. Тому шляхи підвищення енергоефективності будівлі потрібно спрямовувати на енергетичне вдосконалення огорожувальних конструкцій, зменшення теплових втрат за рахунок трансмісії та інфільтрації і використання як додаткової сонячної енергії. Саме комплексне впровадження заходів з енергозбереження дасть очікуваний результат з точки зору економії енергії та коштів, так і забезпечить комфортні умови для людей.

Однак, першочерговим завданням є вдосконалення системи опалення для підвищення енергоефективності будівель та створення комфорту у приміщенні. Сучасна система опалення не повинна потребувати ані калориферів, ані будь-яких інших додаткових джерел тепла.

#### Висвітлення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням одержаних наукових результатів

Пропонується удосконалення системи опалення на основі опалення приміщення тепловими трубками, яке забезпечить комфортні умови перебування людей та дозволить економити енергію.

Різновидом системи опалення тепловими трубками є безтрубна система опалення на основі застосування парокрапельних (випарних) нагрівачів (рис. 2). Ці нагрівачі складаються з певної кількості випарних трубок, які ввімкнені в мережу живлення і мережу автоматики, якою здійснюється електронне керування ступенем нагріву трубок.

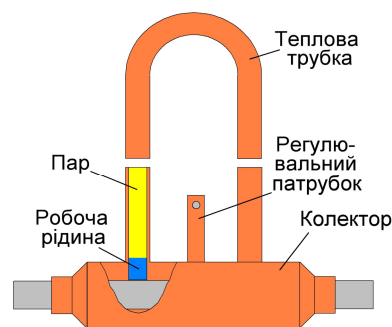


Рисунок 2 – Система опалення тепловими трубками

Випарна трубка – це тонкостінний металевий стрижень 1 (рис. 3), внутрішні стінки якого покриті пористим фітилем 2. Фітиль має здатність насичуватись робочою рідиною і володіє капілярним ефектом. В ненагрітому стані фітиль просочений робочою рідиною (водою, метиловим спиртом, фреоном і т. ін.).

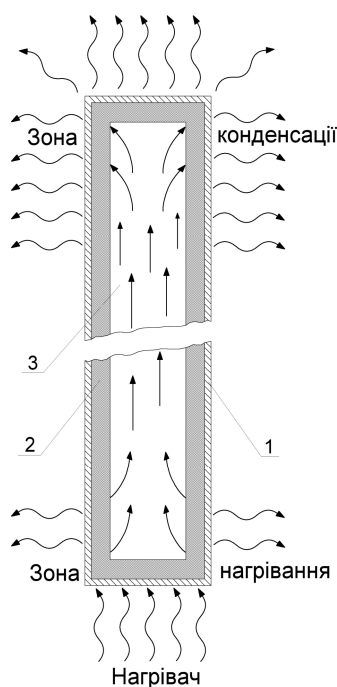


Рисунок 3 – Випарна трубка

При розігріві нижнього кінця трубки робоча рідина починає випаровуватись. Пори робочої рідини з внутрішнім каналом будуть переміщуватись до холодного кінця трубки – зони конденсації. Тут здійснюється конденсація пари, яка віддає своє тепло на стінки холодного кінця трубки, а потім це тепло передається в оточуюче середовище. Конденсована рідина просочується назад у фітиль і внаслідок капілярного ефекту повертається до гарячого кінця трубки. Далі процес повторюється.

Випарна трубка є найбільш ефективною з усіх засобів для передачі теплоти, оскільки передає більше 90% теплової енергії з зони випаровування в зону конденсації. А оскільки передача теплової енергії у таких трубках здійснюється за рахунок теплоти пароутворення робочої рідини, то температура поверхні трубки дуже мало змінюється по її довжині.

Система опалення на основі випарних нагрівачів реалізується у виді настінних чи переносних радіаторів.

До недоліків системи опалення на основі випарних нагрівачів слід віднести недостатню її ефективність у приміщенні, оскільки повітря над радіатором нагрівається до значних температур (70 – 120 °С), та застосування як нагрівачів електричних тенів з мережним живленням.

Для підвищення ефективності системи опалення на основі випарних трубок слід зробити наступне:

- розмістити випарні трубки у приміщенні так, щоб вони не перегрівали повітря;
- застосувати низьку напругу живлення для нагрівачів випарних трубок;
- забезпечити імпульсне живлення нагрівачів випарних трубок з метою економії електроенергії;
- підвищити ефективність тепловіддачі системи опалення випромінюванням.

Для того, щоб випарні трубки у приміщенні не перегрівали повітря, їх доцільно розмістити у стінній ніші з відповідним влаштуванням каналів для циркуляції повітря.

Щоб знизити електробезпеку від нагрівальних елементів, доцільно понизити їх напругу живлення. При цьому як нагрівальні елементи можна використати потужні напівпровідникові транзистори, встановлені у кожній тепловій трубці знизу із застосуванням спеціальної трубної вставки. Це дозволить забезпечити максимальну площу теплового контакту між поверхнями транзистора і теплової трубки, отримати мінімальні значення теплового опору між ними та зменшити габарити системи опалення.

Імпульсне живлення напівпровідникових нагрівальних елементів дасть змогу вибрати оптимальний режим розігріву і регулювати температурний режим у приміщенні в широких межах. Застосування імпульсного живлення нагрівачів доцільно ще й тому, що випарні трубки мають дуже швидку температурну реакцію і при відповідній частоті роботи нагрівача віддаватимуть таку кількість теплоти, як при постійному нагріві, що дасть змогу зекономити до 30% електроенергії.

Отже, враховуючи наведене, пропонується наступна конструкція теплоізоляції приміщення будівлі з економічною системою опалення (рис. 4). Стіна приміщення 1 з внутрішнього боку (як правило, під вікном) повинна мати нішу, в якій розміщуються випарні трубки 2 з трубними вставками 3, до яких прикріплюються напівпровідникові нагрівальні елементи. Подача живлення на нагрівальні елементи здійснюється електричним кабелем, розміщеним у захисній оболонці 4. У місці розміщення випарних трубок необхідно утворити повітряний канал 5, який з двох боків обмежений поверхнями відбиваючої теплоізоляції. Повітряний канал необхідний для оптимальної роботи відбиваючої ізоляції. Враховуючи це, а також

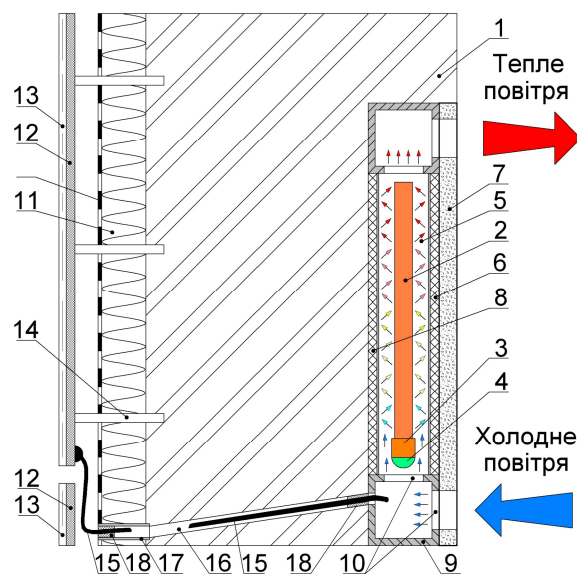


Рисунок 4 – Конструкція теплоізоляції енергоефективного приміщення з системою опалення

діаметр випарних трубок, його реальна товщина повинна бути 50 – 80 мм.

Зовнішній шар відбиваючої теплоізоляції 6 кріпиться до гіпсокартонних листів 7, а внутрішній 8 – безпосередньо до стіни приміщення 1. Зверху і знизу гіпсокартонні плити кріпляться до пустотілих алюмінієвих профілів 9, в яких зроблено отвори 10 для циркуляції повітря.

Працює система опалення наступним чином. Холодне повітря з середини приміщення через отвори 10 потрапляє в нижній профіль 9, а звідти – у повітряний канал 5. Повітря в каналі нагрівається завдяки роботі випарних трубок 3. Шари відбиваючої ізоляції 6 та 8 відбивають теплове випромінювання назад на випарні трубки, спричиняючи їх інтенсивніший розігрів і підвищення температури у повітряному каналі. В результаті цього є можливість зменшити потужність нагрівальних елементів і додатково зекономити електроенергію.

Нагріте повітря через отвори верхнього профілю потрапляє назад у приміщення. Завдяки верхньому профілю 9 частина стіни, що до нього прилягає, також нагрівається, в результаті температура нагрітого повітря понижується і воно не висушується. Додатковий нагрів стіни зсередини приміщення (особливо під вікнами) запобігає потраплянню вологи в приміщення і виникненню його грибкових уражень.

Як відбиваючу ізоляцію доцільно застосувати матеріал «ПЕНОТЕРМ НПП ЛФ» фірми Термопол (Росія), що складається з алюмінієвої фольги і спіненого поліпропілену. На відміну від пінополіетилену, з максимальною робочою температурою 80°C, пінополіпропілен витримує температуру до 150°C [6].

Зовнішня поверхня гіпсокартонних плит 7 після покриття декоративною шпаклівкою практично не відрізнятиметься за виглядом від внутрішніх стін приміщення, що створює додаткові можливості для його дизайну.

При розрахунку теплоізоляції стін, які складаються з кількох шарів, загальний тепловий опір дорівнює сумі показників теплового опору кожного шару. Для конструкції на рис. 4 загальний тепловий опір розраховується з виразу:

$$R = R1 + R2 + 2R3 + R4 + R5, \quad (1)$$

де  $R1$  – тепловий опір зовнішнього утеплення,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;

$R2$  – тепловий опір стіни,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;

$R3$  – тепловий опір відбиваючої ізоляції,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;

$R4$  – тепловий опір системи опалення,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;

$R5$  – тепловий опір гіпсокартонних листів,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ .

Показник теплового опору кожного шару конструкції розраховується за формулою [2]:

$$R = \delta / \lambda, \quad (2)$$

де  $\delta$  – товщина шару, м;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу,  $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$ .

Товщина шару теплоізоляції повинна вибиратись з урахуванням перенесення точки роси в товщину утеплювача. Формула для на-

ближеного розрахунку точки роси для додатних температур [9]:

$$T_p = \frac{b \cdot \gamma(T, RH)}{\alpha - \gamma(T, RH)}, \quad (3)$$

де  $\gamma(T, RH) = \frac{\alpha \cdot T}{b + T} + \ln(RH)$ ,

$T_p$  – температура точки роси, °C,

$\alpha = 17.27$  °C,

$b = 237.7$  °C,

$T$  – температура повітря, °C,

$RH$  – відносна вологість в об'ємних частках ( $0 < RH < 1$ ).

Для зовнішнього утеплення стіни приміщення з економічної, технічної і санітарно-гігієнічної точки зору доцільно застосувати конструкцію зовнішнього утеплення стін з вентиляваним зазором і полегшеним захисно-декоративним облицюванням (рис. 4). Така конструкція за допомогою вітрозахисного шару дає змогу захищати теплоізоляційний матеріал 11 від вивітрювання, а зовнішню поверхню стіни 1 від намокання. Додатковою перевагою такої конструкції є те, що замість звичайної вітрозахисної облицювальної панелі можна застосувати панелі сонячних батарей 12 з захисним скляним покриттям 13, які можна нерухомо прикріпити до поверхні стіни приміщення за допомогою стійок 14.

Електричний кабель 15 від панелей сонячних батарей через отвір у стіні приміщення 14 та алюмінієву трубку 17 заходить всередину приміщення. Герметизація кабелю 15 здійснюється за допомогою фторопластових ізоляційних вставок 18 з високим тепловим опором. Отвір 16 повинен мати нахил у бік зовнішньої поверхні стіни для запобігання попаданню вологи з вулиці всередину приміщення при втраті щільності ізоляційних вставок 18.

Електроенергію від панелей сонячних батарей 12 можна використати для освітлення приміщення енергоефективними лампами на основі світлодіодів з мінімальною потужністю енергоспоживання, що в повній мірі дозволить реалізувати принцип максимального отримання енергії приміщенням.

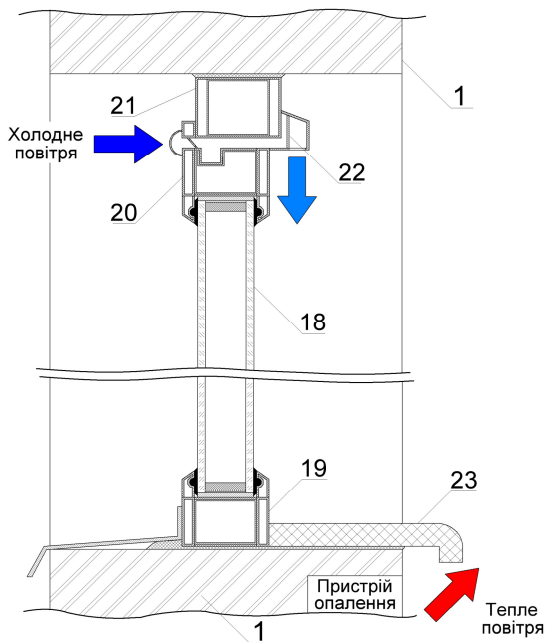
Як теплоізоляційний матеріал для зовнішнього утеплення стіни приміщення з коефіцієнтом теплотехнічної неоднорідності 0,85 доцільно використати одношарові плити зі скляного штапельного волокна марок «Isover KRL» або «Isover KRL-A» [6].

Ще одним шляхом підвищення енергоефективності приміщень є організація правильного повітрообміну в них, через який рівень теплових втрат приміщення повинен бути мінімальним.

Для отримання мінімального рівня теплових втрат і водночас організації регулярного повітрообміну всього приміщення та з метою зменшення фінансових витрат пропонуємо застосувати припливно-вентиляційний пристрій (рис. 5). В цьому відношенні найбільший інтерес викликають розробки фірм "Titon", "Sigenia", "Renson", "Aereco", "Ventair" з при-



пливно-вентиляційними пристроями, розміщеними у верхній частині віконної рами. Ці пристрої – це автоматичні віконні провітрювачі з регульованими клапанами, які встановлюються між віконною палітуркою і склопакетом або вмонтовуються безпосередньо у віконній коробці, що забезпечує регульований притік свіжого повітря в приміщення. Запропонований вентиляційний пристрій складається зі склопакета 18 (рис. 5), розміщеного у нижній 19 та верхній 20 частинах віконної коробки. Над верхньою частиною віконної коробки 20 розміщено додаткове ребро жорсткості 21, під яким розміщений повітряний канал змінного перерізу з маятниковим стабілізуючим повітряним клапаном 22.



**Рисунок 5 – Конструкція вентиляції енергоефективного приміщення**

Перевагою установки припливно-вентиляційного пристрою у верхній частині вікна є те, що його вплив на температурний режим привіконної зони обмежується віконною нішею і, унаслідок змішування припливного повітря з теплим повітрям від системи опалення, не робить істотного впливу на температурний режим робочої зони приміщення, що суттєво зменшує загальні теплові втрати.

Додатковою перевагою автоматичних віконних провітрювачів є суттєве зменшення рівня зовнішнього шуму. Індекс ізоляції повітряного шуму вікон з припливними пристроями при відкритих повітряних клапанах знижується на 9-12 дБ у порівнянні з напівпрочиненими чи відхиленими вікнами, що дозволяє рекомендувати їх до застосування навіть в районах великих автомагістралей з рівнем транспортного шуму до 60 дБ.

Отже, використавши запропоновані рішення можна суттєво підвищити енергоефективність приміщень у будівлях з тривалим перебуванням людей простими економічно вигідними заходами.

На сьогодні багато із вищезазначених заходів трактується як енергоощадні, впровадження яких рекомендується здійснювати за результатами енергетичних аудитів з визначенням необхідних інвестицій, термінів окупності та економічного ефекту.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, завдяки запропонованим заходам з підвищення енергоефективності приміщень можна зекономити до 40% електроенергії по відношенню до існуючих систем стінного опалення, вивільнити додатковий простір у приміщенні, організувати правильний повітрообмін, отримати комфортні умови для праці і забезпечити санітарно-гігієнічні норми, що висуваються до приміщень з довготривалим перебуванням людей.

## Література

- 1 Інформація Мінрегіонбуду про заходи з підвищення енергоефективності, нормативно-методичного забезпечення питань енергозбереження у будівельному комплексі та рекомендації щодо їх впровадження [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zakon-inormativ.info>.
- 2 Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинні від 2007-04-01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 65 с.
- 3 Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2008. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 46 с.
- 4 Колесник Євген Енергетичний паспорт будинку [електронний ресурс] / Євген Колесник // Національний портал з енергозбереження. Енергозбереження в будівлях. – Режим доступу: <http://www.patriot-nrg.ua>.
- 5 Концепція енергоефективного будівництва / під ред. Р.Гмлер // Пілотний проект: енергоефективна забудова. – Київ, 2010. – 22 с.
- 6 Теплоізоляція. Матеріали конструкції, технології: справочное пособие / Гл. ред. С.М. Кочергин. – М.: Стройинформ, 2008. – 440 с.
- 7 Проектирование тепловой защиты зданий: СП 23-101-2004. – [Дата введенья 2004-06-01]. – М.: ФГУП ЦПП. – 2004. – 145 с.
- 8 Твоя тепла оселя. Економіка комфорту / відп. за випуск Бас Л.В. // в-во ВОП ТИРКАЛЮ А.В. – Львів, 2010. – 52 с.
- 9 Точка роси [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org>.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
27.02.14

Рекомендована до друку  
професором Данилюком М.О.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук Рибіцьким І.В.  
(НВФ «Зонд», м. Івано-Франківськ)