

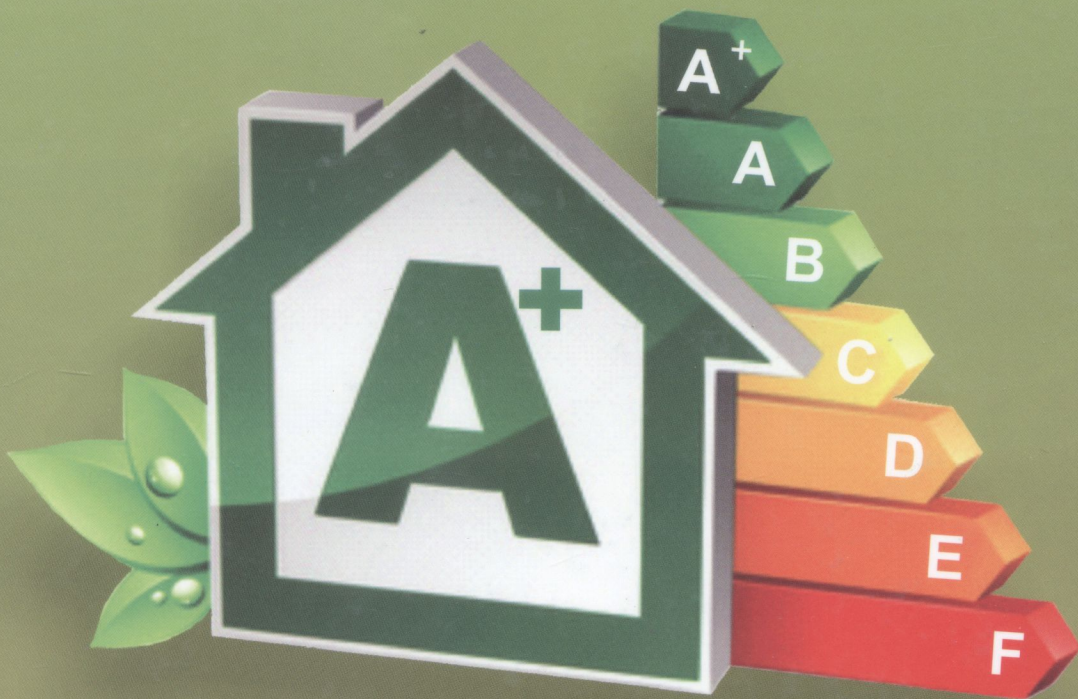
697(075)

С 18

М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак



ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

Навчальний посібник

2-ге видання, виправлене

*Рекомендувала Науково-методична рада
Національного університету “Львівська політехніка”*

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2013

УДК 624.04:697.11

ББК 38.6

С 183

Рецензенти:

Кривенко П.В., доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, директор Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету будівництва та архітектури;

Фаренюк Г.Г., доктор технічних наук, завідувач відділу будівельної фізики та ресурсозбереження Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій, керівник науково-технічного центру з питань енергоефективності у будівництві

*Рекомендувала Науково-методична рада
Національного університету "Львівська політехніка"
як навчальний посібник для студентів базового напрямку 060101 "Будівництво"
(Протокол № 3/2011 від 28.02.2011 р.)*

Саницький М.А.

С 183 Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак. – 2-ге вид., випр. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 236 с.
ISBN 978-617-607-514-1

Викладено основи енергозберігаючих технологій у будівництві, які є важливою складовою реалізації принципів стратегії збалансованого розвитку. Наведено розрахунки оптимальної товщини теплоізоляційної оболонки будинків та вологісного режиму огорожувальних конструкцій згідно з чинними стандартами. Розглянуто характеристики найпоширеніших теплоізоляційних матеріалів та основні конструктивно-технологічні рішення огорожувальних конструкцій, над якими здійснюють термомодернізацію. Подано структуру енергетичного паспорта будинку та проаналізовано основні принципи пасивного будівництва.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за базовим напрямом 060101 "Будівництво", студентів спеціальностей 7.06010103 та 8.06010103 "Міське будівництво та господарство", 7.06010104 та 8.06010104 "Технології будівельних конструкцій, виробів та матеріалів" та слухачів курсів підвищення кваліфікації "Управління житловим господарством".

УДК 624.04:697.11

ББК 38.6

- © Саницький М.А., Позняк О.Р.,
Марущак У.Д., 2012
- © Саницький М.А., Позняк О.Р.,
Марущак У.Д., виправлення, 2013
- © Національний університет
"Львівська політехніка", 2013

ISBN 978-617-607-514-1

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В БУДІВНИЦТВІ	9
1.1. Критерії оцінювання будівельних об'єктів відповідно до вимог сталого розвитку.....	9
1.2. Екологічні проблеми використання невідновлюваних енергетичних ресурсів.....	14
1.3. Аналіз використання первинних джерел енергії в Україні та споживання енергії кінцевими споживачами.....	19
1.4. Енергоекономічні показники України та країн світу.....	21
1.5. Напрями реалізації потенціалу енергозбереження у будівництві.....	25
1.6. Завдання законодавства щодо енергозбереження.....	26
<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	33
РОЗДІЛ 2. ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ СЕКТОРІ	34
2.1. Характеристика житлового фонду України.....	34
2.2. Енергоспоживання у житлово-комунальному господарстві.....	37
2.3. Напрями енергозбереження у житлово-комунальному секторі України....	39
2.4. Класифікація будинків за енергоощадністю.....	43
<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	47
РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ТЕПЛОФІЗИКИ БУДІВЕЛЬ	48
3.1. Предмет та об'єкт вивчення будівельної теплофізики.....	48
3.2. Основні поняття та визначення.....	50
3.3. Види теплообміну.....	51
3.4. Кількісні характеристики перенесення теплоти.....	53
3.5. Передавання теплоти теплопровідністю.....	55
3.6. Основи теплопередачі.....	60
3.7. Розрахунок теплоізоляційної оболонки конструкції.....	67
3.8. Теплоємність.....	69
3.9. Приклади розв'язування задач.....	70
<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	79
РОЗДІЛ 4. ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	81
4.1. Вологість огороджувальних конструкцій.....	82
4.2. Характеристики вологого повітря.....	83
4.3. Конденсація і сорбція водяної пари.....	86
4.3.1. Конденсація вологи на внутрішній поверхні огороджувальної конструкції.....	86
4.3.2. Переміщення в огороженні пароподібної вологи.....	90

	4.3.3. Розрахунок вологісного режиму за стаціонарних умов дифузії водяної пари.....	92
	4.4. Приклади розв'язування задач	97
	<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	103
РОЗДІЛ 5.	ВИМОГИ ДО СУЧАСНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ	104
	5.1. Екологічна характеристика енергозбережних технологій.....	104
	5.2. Стінові матеріали.....	108
	5.3. Теплоізоляційні матеріали.....	120
	5.3.1. Неорганічні теплоізоляційні матеріали та вироби.....	121
	5.3.2. Теплоізоляційні матеріали із спучених гірських порід.....	126
	5.3.3. Органічні теплоізоляційні матеріали та вироби.....	127
	<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	133
РОЗДІЛ 6.	ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ БУДИНКІВ – ОСНОВНИЙ РЕЗЕРВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ	134
	6.1. Термомодернізація. Передумови термомодернізації. Основні терміни і визначення.....	134
	6.2. Теплові втрати через елементи конструкції будинку.....	138
	6.3. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією.....	141
	6.4. Підвищення теплозахисних властивостей вікон.....	158
	6.5. Поліпшення теплозахисних властивостей підлог.....	162
	6.6. Підвищення теплозахисних властивостей покрівель.....	164
	6.7. Мікроклімат усередині приміщення.....	165
	6.8. Результати термомодернізаційних заходів.....	176
	6.9. Принципи енергозберігаючих заходів.....	178
	6.10. Визначення ефективності термомодернізації.....	180
	<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	181
РОЗДІЛ 7.	ПАСИВНЕ БУДІВНИЦТВО – ТЕХНОЛОГІЯ МАЙБУТНЬОГО	183
	7.1. Етапи розвитку ідеї пасивного будинку	183
	7.2. Концепція пасивного будинку	185
	<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	195
РОЗДІЛ 8.	ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАСПОРТ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ БУДИНКІВ	196
	8.1. Структура енергетичного паспорта будинку.....	196
	8.2. Класи енергетичної ефективності будинків.....	200
	8.3. Контроль теплозахисту.....	206
	<i>Запитання і завдання для самоконтролю</i>	207
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	208
	ДОДАТКИ	215

ВСТУП

Будівельна галузь національної економіки України традиційно є споживачем значної кількості енергетичних ресурсів. У будівельному секторі споживається майже 50 % природних ресурсів та понад 40 % енергії. Істотні витрати енергії необхідні не тільки на спорудження будівель та споруд, але й на їхню експлуатацію протягом всього життєвого циклу. Будинки, зведені в ті часи, коли паливні ресурси здавались безмежними, сьогодні потребують так багато енергії, що їхня експлуатація стала важким тягарем для паливно-енергетичного комплексу, а будівництво нових будинків, які не відповідають нормативним вимогам, ще більше загострює проблему.

З погляду стратегії сталого розвитку для раціонального використання матеріальних і енергетичних ресурсів та підвищення енергозбереження житлово-комунального сектору України необхідно провести його ґрунтовний аналіз з відповідним економічним обґрунтуванням та розробленням сучасної науково-нормативної бази проектування енергоефективних будинків та термомодернізації наявного житлового фонду.

Тому збалансований розвиток у будівництві, основними принципами якого є мінімізація витрати енергії та матеріальних ресурсів у процесі спорудження та експлуатації будівельних конструкцій зі зменшення негативного впливу на навколишнє середовище в будівництві, стає пріоритетним напрямом досліджень у цій галузі. Принцип збалансованості в будівництві полягає в комплексному аналізі енергетичної, екологічної, економічної та суспільно-соціальної проблематики стосовно будівельних об'єктів. Тому нині мірою стратегії сталого (точніше збалансованого) розвитку є інноваційність в енергетичному секторі, зростання енергетичної ефективності народного господарства та внеску відновлюваних джерел енергії. Згідно з енергетичною стратегією "20 – 20 – 20", яку прийняв ЄС, передбачено 20 % енергії виробляти за рахунок відновлюваних джерел енергії, на 20 % знизити викиди вуглекислого газу і ще на 20 % зменшити споживання енергоресурсів. При цьому найбільший потенціал енергоощадності та скорочення емісії CO₂ до 2020 року криється в будівництві (житлово-комунальному секторі).

Одним з основних пріоритетів енергетичної політики ЄС та України, поряд з диверсифікацією різних джерел енергії, як географічною, так і за видом

носія, є забезпечення зобов'язань за Кіотським протоколом. Зміна клімату, пов'язана з небезпекою парникового ефекту, є основною причиною, що змушує ЄС вибирати стратегію зниження споживання енергії та шукати розумний баланс між економічним розвитком та охороною довкілля. Парламент ЄС 8.05.2010 р. ухвалив зміни в Директиві 2002/91/ WE EPBD Energy Performance of Buildings Directive (Енергетична характеристика будинків), згідно з якими, починаючи з 2021 р., на території ЄС мають зводитись будинки з дуже низькою потребою в енергії, в яких частково будуть використовуватись відновлювальні джерела енергії. Все це вимагає нової інтерпретації, розширення завдань і методів розрахунків та пропаганди будинків з низькою емісією CO₂.

Директива 2008/1/ЄС “Про комплексне запобігання і контроль забруднення” (“Integrated pollution prevention and control” – IPPC Directive) є одним із основних документів у ЄС, котрий визначає основи контролю промислового забруднення і передбачає зниження емісії і покращення стану навколишнього середовища, що досягається за рахунок впровадження найкращих доступних технологій (BAT – Best Available Techniques). Термін “найкращі доступні технології і методи господарювання” об'єднує найбільш ефективні та передові виробничі процеси і методи, які забезпечують низький рівень емісії, зменшення впливу на навколишнє середовище (найкращі) і розроблені настільки, що можуть впроваджуватись у відповідну галузь при умові економічної та технічної доцільності (доступні).

З погляду стратегії збалансованого будівництва та принципу найкращих доступних технологій забезпечення енергозбереження в житлово-комунальному секторі України досягається спорудженням енергоефективних і пасивних будинків та термомодернізацією житлового фонду, особливо будинків перших масових серій, що визначає гостру необхідність розроблення основ проектування енергоощадного будівництва та національної програми термомодернізації з урахуванням екологічних аспектів і аудиту. Нині в Україні спостерігається прогрес у галузі нормування показників енергозбереження та енергоефективності, які висвітлені в низці нормативних документів. Наказом Мінбуду України № 103 від 9.09.2006 р. введено в дію державні будівельні норми – ДБН В.2.6-31:2006 “Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель”; за якими підвищено вимоги щодо забезпечення показників теплового комфорту приміщень; введено вимоги до енергетичної паспортизації будинків під час нового будівництва та реконструкції. Порядок розроблення енергетичного паспорта при проектуванні нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту та проведенні енергетичного обстеження будинків встановлений ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 “Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції”.

Будівництво з оптимізованим енергетичним потенціалом, тобто раціональним використанням енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі, – це один найважливіших пріоритетів державної політики України, що визначає гостру необхідність ширшого впровадження енергозберігаючих технологій у будівництві та розроблення національної програми термомодернізації з врахуванням екологічних аспектів та аудиту, що дає змогу разом зі скороченням матеріальних і енергетичних ресурсів також суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища. Проєкологічна раціоналізація одержання та використання енергії в будівництві передбачає збільшення коефіцієнта корисної дії наявних та впровадження новітніх енергетичних технологій, а також зростання внеску відновлюваних джерел енергії. Зміни технологій у будівництві, свідками яких ми стали упродовж останніх років, сміливо можна назвати революційними. Все це забезпечує можливість будівництва та реконструкції будинків за енергоощадними технологіями відповідно до екологічних вимог.

Завдяки суттєвим змінам у технологіях будівництва можна будувати та ремонтувати будинки з урахуванням вимог економіки, енергозбереження та екології. За нинішнього рівня розвитку техніки витрати тепла в будинках можна зменшити навіть в 2–5 разів, що визначає величезні резерви енергозбереження. Вони реалізуються двома напрямками: утеплення огорожувальних конструкцій та модернізація систем тепlopостачання. Максимально можливий внесок енергозберігаючих заходів у зменшення річної потреби тільки на опалення житлових та громадських будинків в Україні згідно з TACIS оцінюється на рівні 300 млн. ГДж. Тому першочерговим завданням капітального та житлового будівництва є розроблення національної програми енергозбереження за допомогою термомодернізації, створення системи енергетичного аудиту та енергетичного паспорта будинків. Впровадивши будівельний енергетичний менеджмент (енергоефективність), можна отримати повніше уявлення, з одного боку, про енергозатрати під час виготовлення будівельних виробів, а з іншого – про розподіл енергії в будівлях, тобто при цьому освоюється концепція енергетичної ефективності.

Оскільки нинішній рівень енергоспоживання в Україні перевищує всі європейські норми, то в найближчі роки мільйони споживачів комунальних послуг будуть залучені у процес реформування, який передбачає фінансову участь кожної сім'ї в загальнодержавних проєктах зі зниження енергоспоживання. Для здійснення такої масштабної реформи доведеться шукати механізми залучення недержавного сектору, зокрема населення. В Україні, крім технічних і фінансових заходів, для системного залучення мільйонів громадян необхідна й організаційна перебудова – зміна відносин між споживачем і державою. Передбачається державна фінансова підтримка

енергоефективних заходів об'єднань співвласників житла. Поставлено завдання до 2015 р. вийти хоча б на 70-відсотковий рівень охоплення енергозберігаючими заходами. Тому необхідно вже найближчим часом прийняти закон про енергоефективність будинків, що активізує процес дбайливого споживання енергоресурсів.

Досвід розвинених країн і власний досвід України вказує, що держава повинна регулювати процеси енергозбереження та вести цілеспрямовану політику в цьому напрямі. Ефективне використання енергоресурсів в житлово-комунальному секторі, особливо в міському будівництві та господарстві, є надзвичайно важливим завданням для забезпечення соціально-економічного розвитку та енергетичної незалежності України загалом.

Розділ 1

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У БУДІВНИЦТВІ

Поняття “енергозбереження” та “енергоефективність” взаємозв’язані. Справді, саме по собі “енергозбереження” в буквальному розумінні цього слова не є самоціллю. Ніхто нині не ставить завдання зберегти енергію за будь-яку ціну, адже можна було б її тоді зовсім не витратити, а закрити все, погасити світло і зупинити все виробництво, щоб знизити потребу в енергії до мінімуму. Це було б рівнозначно заклику до припинення розвитку людства. А крім того, якщо розглядати енергію з філософського погляду, то енергія – “...загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Енергія не виникає з нічого і не зникає, вона може тільки переходити з однієї форми в іншу...”. Проте поняття “енергозбереження” широко використовується в світовій практиці – “Energy Saving”, “Energy Conservation” (англ.), “Energieeinsparen” (нім.), але в нього вкладають загальніший сенс. Наприклад, знизивши питому витрату твердого палива на одиницю виробленої 1 кВт-год в узагальненому вигляді, ми “збережемо” паливо в надрах Землі, яке буде витрачено для цієї ж мети, але в довгостроковій перспективі. Тим самим досягається збереження цього енергоресурсу на певний період часу.

1.1. Критерії оцінювання будівельних об’єктів відповідно до вимог сталого розвитку

Збалансований будівельний сектор стає одним із найвагоміших викликів сьогодення, з огляду на значний внесок будинків, їхніх компонентів та процесів у споживання енергії, емісію парникових газів та їхній вплив на якість повітря у приміщеннях. На житлово-комунальний сектор припадає найбільша частина кінцевого споживання енергії, зокрема в ЄС – 42 % енергії, при цьому в

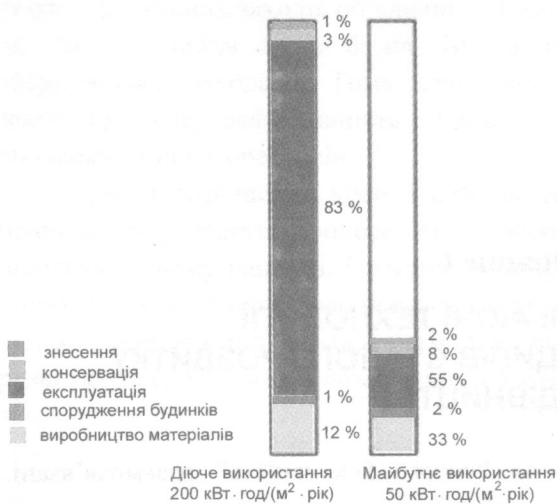


Рис. 1.1. Енергетичний баланс будинку за повний цикл життя

будинках виникає емісія близько 35 % всіх парникових газів, що визначає необхідність охорони навколишнього середовища та здорового способу життя.

На будівельний сектор припадає близько 50 % використання природної сировини та понад 40 % спожитої енергії. Високе споживання енергії за повний цикл життя будинків, яке сягає у Польщі та Україні близько 200 та 300 кВт·год/м² опалюваної площі на рік, треба значно зменшити в майбутньому, впроваджуючи енергозбережні заходи (рис. 1.1).

Сталий розвиток (точніше, збалансований) можливий лише за умови врахування рівня найважливіших народногосподарських аспектів будівництва. Стратегія сталого розвитку (саміт 179 держав світу, Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), яка полягає в мінімізації витрати енергії та матеріальних ресурсів у процесі спорудження та експлуатації будівельних конструкцій зі зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище, передбачає п'ять основних принципів:

- зниження витрат енергії та сировинних матеріалів;
- підвищення довговічності виробів і термінів експлуатації споруд;
- використання вторинних матеріалів та будівельних елементів;
- повернення матеріалів в навколишнє середовище без шкоди для нього;
- всебічна охорона довкілля та вживання всіх можливих природоохоронних заходів під час будівництва.

Одним з найважливіших документів ЄС в напрямку сталого розвитку є поновлена в 2006 році *Стратегія збалансованого розвитку* (EU SDS), що має на меті, крім запобігання змінам клімату і використання “чистої енергії” (через зниження емісії парникових газів та зростання вмісту енергії з відновлювальних джерел), збалансовану консумпцію та продукцію, зокрема охорону природних ресурсів (рис. 1.2).

Серед найважливіших досягнень програми ЄС в напрямі збалансованого будівництва можна виділити проект новелізації директиви в справі енергетичної характеристики будинків. З метою ширшого впровадження директиви 2002/91/WE EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) від 16 грудня 2002 р.

та максимального використання потенціалу в економічно доцільних напрямках енергозбереження Європейська комісія подала пропозиції щодо її змін згідно з документом КОМ(2008)780.

Цей проект передбачає:

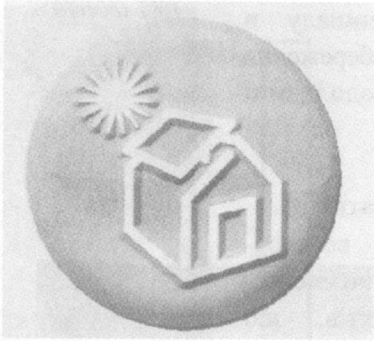
- ширше тлумачення деяких нормативів;
- розширення нормативів щодо встановлення мінімальних вимог відносно енергетичної характеристики об'єктів, що підлягають значним реноваціям;
- жорсткіші нормативи відносно енергетичних свідцтв, перегляду систем обігрівання та акліматизації, вимог енергетичної характеристики, інформації експертів;
- розроблення розрахункового інструменту, що уможливорює порівняння мінімальних вимог, встановлених на державному та регіональному рівнях, відносно енергетичної характеристики будинків з оптимізацією економічних показників;
- стимулювання країн ЄС до упровадження законодавчих та фінансових механізмів, що сприяють пропагуванню будинків з низькою емісією CO₂;
- заохочення громадського сектору до енергетичної ефективності.

Метою всіх цих визначених змін є повніше використання потенціалу розвитку збалансованого будівництва для подолання економічної кризи. 8 травня 2010 р. Парламент ЄС затвердив зміни в Директиві відносно енергетичної характеристики будинків, згідно з якими вже з 2021 р. на території ЄС мають зводитись тільки будинки з дуже низькою потребою енергії, які хоч частково використовують відновлювані джерела енергії. Все це означає нову інтерпретацію, розширення завдань, методів розрахунків та пропаганду будинків з низькою емісією CO₂ (рис. 1.3).

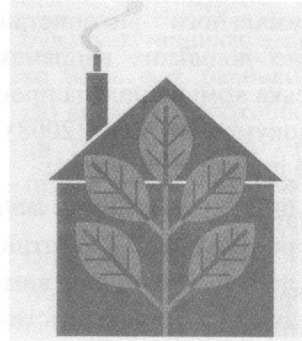
Розроблення концепції розвитку енергетичного сектору ЄС та її наповнення конкретними проектами останнім часом перетворилися на один із найважливіших напрямів роботи головних інституцій Євросоюзу. Саме цієї теми стосувалося засідання Європейської Ради 4.02.2011 р., яке в офіційних колах Брюсселя отримало неофіційну назву “Енергетичний саміт ЄС”, на якому визначено енергетичне майбутнє Євросоюзу, ухвалено рішення, зокрема щодо інвестування масштабних проектів, спрямованих на диверсифікацію енергоджерел та шляхів енергопостачання, розвиток внутрішньої інфраструктури, розроблення концепції взаємодії між країнами ЄС в енергетичній галузі.



Рис. 1.2. Стратегія збалансованого розвитку ЄС



а



б

Рис. 1.3. Енергетична характеристика (а) та оцінка збалансованості (б) будинків

Критерії сталого розвитку будівництва передбачають створення технічних основ, що дають можливість розроблення потенційних інструментів для впровадження дієвих заходів для покращення енергетичної ефективності відповідно до вимог охорони довкілля, суспільства й економіки з урахуванням повного циклу життя виробів та об'єктів. До показників довкілля можна віднести потребу в первинній енергії, вміст відновлюваної енергії, емісію CO₂, кількість утворених відходів, споживання води. До суспільних показників можна зарахувати дотримання вимог щодо мікроклімату приміщень, доступність та якість питної води, збереження єдності з природним середовищем. Економічним показником можуть бути, наприклад, кошти, вкладені в життєвий цикл, або надбавка до енергії нетто, а також показники, що узагальнюють властивості виробу будівельного об'єкта або підприємства в плані дотримання критеріїв екологічного маркування, оцінювання в системі визначення збалансування будинку, а також застосування систем менеджменту довкілля згідно з ISO 14001 або EMAS.

Оцінка збалансованості будинку (рис. 1.4) охоплює довговічність будинку і його елементів, а також рівень навантаження на середовище, зумовлене його експлуатацією. Збільшення довговічності будинку в поєднанні з еластичністю та різноманітністю його використання істотно впливає на удосконалення його енергетично-екологічної оцінки. Відношення функціональності та комфорту будинку до матеріально-енергетичних витрат на досягнення цих функцій називається екологічною ефективністю будинку. Комп'ютерні програми для визначення споживання енергії та емісії продуктів згорання згідно з методологією циклу існування будинку (LCA), а також класифікація за екологічною ефективністю згідно з вимогами до охорони навколишнього середовища стають вже стандартами з проектування будинків у світі (такі системи оцінки, як: HQE, BR1 EAM, LEED, CASBEE). Класифікація будинків, яка ґрунтується на стандартизованих енергетично-екологічних характеристиках і

на відповідно встановлених критеріях характеристики довкілля, затверджена владними адміністраціями та будівельним сектором, могла би бути надзвичайно дієвим інструментом упровадження засад збалансованого розвитку на будівельному ринку, давала б можливість порівнювати екологічні характеристики різних будинків у світі.



Рис. 1.4. Аспекти збалансованого розвитку та показники, пов'язані з будівництвом

Збалансований розвиток у будівництві стає щораз більшою парадигмою дослідницької діяльності в галузі будівництва. Це також виділення нового напрямку (новий підхід) у розвитку матеріалів та будівельних об'єктів. Специфіка будівництва розглядається як мотивація до покращення якості будівельних матеріалів і виробів, що, своєю чергою, визначає підвищення довговічності та надійності будівельних конструкцій. В напрямі вибору матеріалів передбачається компатибільність, що розуміється як такий добір матеріалів з погляду їх фізичних та хімічних властивостей, який забезпечує дотримання умов граничних станів несучості та життєздатності протягом заданого циклу життя. Виділяються також нові критерії щодо методів проектування, властивостей будівельних конструкцій і т. д.

Нині мірою стратегії сталого розвитку є інноваційність в енергетичному секторі, зростання енергетичної ефективності народного господарства та збільшення внеску відновлюваних джерел енергії. Згідно з енергетичною стратегією "20-20-20", схваленою Європейською Радою в червні 2010 р., передбачено до 2020 р. збільшити частку енергії з відновлюваних джерел на 20 %, на 20 % зменшити викиди вуглекислого газу, на 20 % підвищити ефективність використання всіх видів енергії. Найбільший потенціал енергоощадності та зниження емісії CO₂ до 2020 р. криється в будівництві (житлово-комунальному секторі).

Тому будівництво з оптимізованим енергетичним потенціалом, тобто раціональним використанням енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі, – це один найважливіших пріоритетів державної політики України.

Забезпеченням енергетичної ефективності в будівництві та житлово-комунальному секторі досягаються найбільший економічний та екологічний ефекти порівняно з такими галузями народного господарства, як промисловість та транспорт. Проєкологічна раціоналізація одержання та використання енергії в будівництві передбачає, що має збільшитись коефіцієнт корисної дії наявних та мають впроваджуватись новітні енергетичні технології, а також зрости внесок відновлюваних джерел енергії.

1.2. Екологічні проблеми використання невідновлюваних енергетичних ресурсів

На сучасному етапі розвиток народного господарства кожної країни залежить від способу вирішення трьох важливих проблем: виробництва енергії, економіки та екології. Важливо, щоб енергетика не розвивалася за рахунок природного середовища чи не за законами економіки. Не можна допустити також швидкого вичерпування запасів енергії. Тому найраціональніший спосіб розвитку країни сьогодні повинен враховувати ще й екологічний аспект, тобто принцип сталого і збалансованого розвитку, який об'єднує всі ці залежності.

Одним з основних чинників, які визначають можливості розвитку економіки, є забезпеченість всіх її складових паливно-енергетичними ресурсами, що відображають наявність пропозицій на ринку енергоносіїв. Забезпечення енергетичних потреб людства є глобальною, стратегічною проблемою планетарного масштабу, складність і суперечливість якої щоразу зростає. Це зумовлено: збільшенням чисельності населення і обсягів виробництва; зростанням енергоспоживання; вичерпуванням запасів традиційного палива; погіршенням екологічної ситуації та кліматичними змінами.

Нині близько 90 % джерел енергії походить з невідновлюваних ресурсів – нафти, природного газу, вугілля, урану, запаси яких зменшуються надзвичайно швидко (рис. 1.5). Вичерпування невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), відсутність реальних альтернатив їх заміни, наявність ризиків під час їх виробництва і транспортування останнім часом набувають все більшого значення у зв'язку із загальною нестабільністю у регіонах видобування ПЕР та напругою на паливно-ресурсних ринках.

Накопичення корисних копалин тривало мільйони років, а у наш час обсяги споживання нафти і газу втричі перевищують обсяги відкритих нових родовищ. **Запаси** корисних копалин – це вся кількість копалин, яка міститься

всередині Землі. *Резерви* – це кількість корисних копалин, які можна безпосередньо видобути для цільового використання і вони, як правило, менші, ніж запаси.

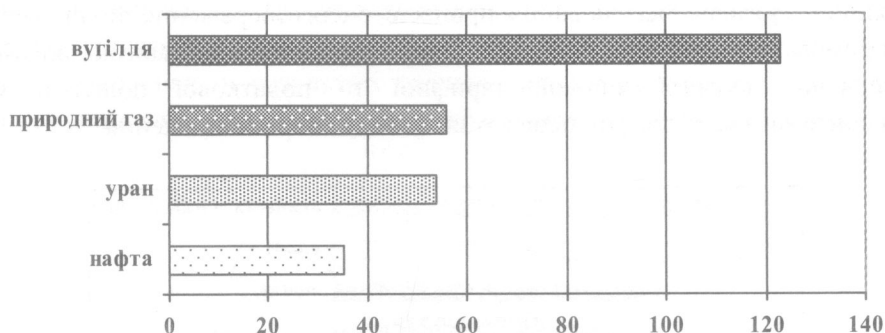


Рис. 1.5. Запас джерел енергії, роки

Зазначимо, що використання корисних копалин у майбутньому залежатиме від таких чинників:

- збільшення світової популяції;
- зростання обсягів виробництва в розвинених країнах;
- нарощування промислового виробництва країн, що розвиваються;
- коефіцієнта корисної дії установок, що спалюють паливо;
- ступеня термічної ізоляції будинків.

До найважливіших проблем, пов'язаних із корисними копалинами, належать:

- забруднення атмосфери і загроза глобального підвищення температури;
- загроза забруднення океанів нафтою;
- заборгованість країн, які розвиваються, внаслідок імпорту нафти.

Д.Л. Медоус розробив довготривалий прогноз виробничого розвитку на Землі, що відображає дуже тісний зв'язок між демографічною ситуацією, динамікою її змін, споживанням енергії, запасами сировини та можливостями промислового розвитку і забрудненням середовища протягом 100–200 років. Як видно з рис. 1.6, ще 100 років тому населення Землі не перевищувало 2 мільярдів, а за 30 років може досягти 8–12 мільярдів, що вимагатиме значного зростання виробництва енергії, а це, своєю чергою, загрожуватиме суттєвим зростанням (70–80 %) забруднення довкілля. Тому діяльність у напрямі енергозбереження має також істотний проекологічний аспект.

Розвинені країни світу, передовсім країни ЄС, які вже досягли значних успіхів у вирішенні проблем енергоефективності, продовжують пошук нових джерел енергозабезпечення та розроблення заходів щодо енергозбереження. З

огляду на ситуацію, що сьогодні складається, ці проблеми доведеться вирішувати в умовах загальної нестабільності в світі, зокрема і на паливно-ресурсних ринках, за несприятливих прогнозів щодо подальшого зростання цін на енергоресурси та незначних іноземних інвестицій у вітчизняну економіку. Необхідне державне регулювання процесів енергозбереження та проведення цілеспрямованої державної політики. Тільки держава за допомогою виваженої, законодавчої, гнучкої цінової, тарифної та податкової політики може забезпечити дієздатність фінансового механізму енергозбереження.

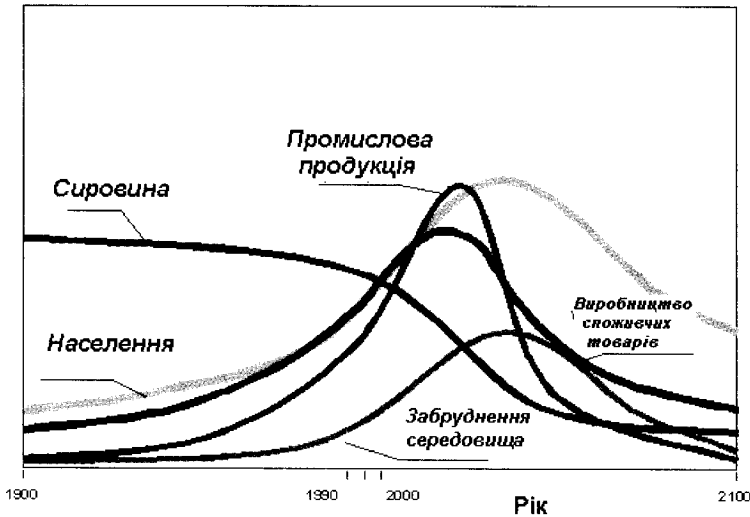


Рис. 1.6. Межа зростання світового виробництва як результат взаємного впливу таких чинників, як чисельність населення, забруднення середовища, споживання сировини та промислової продукції згідно з моделлю Медоуса (Dennis L. Meadows)

Обмеження даремних витрат енергії – це одночасно заощадження і забезпечення сталого розвитку. Згідно з даними Європейської комісії, виробництво додаткового 1 кВт·год енергії невдовзі коштуватиме на 50–400 % більше, ніж його заощадження. На основі цього можна зробити висновок, що енергетична ефективність – **шостий вид палива** – є найважливішим джерелом енергії (рис. 1.7), навіть більшим, ніж нафта. Ефективне використання енергії – це гігантське джерело економії коштів, яке досі значною мірою ігнорують у світі. Інвестиції в підвищення енергоефективності будинків тільки у Європі можуть дати економію понад 270 млрд. євро та зменшити викиди вуглекислого газу на 400 млн. тонн на рік.

Питання економії енергії і підвищення ефективності її використання є актуальним і з екологічного погляду, оскільки сьогодні атмосфера Землі

розігрівається набагато швидше, ніж будь-коли в минулому. За даними ООН, із кінця XIX до початку XX ст. глобальна температура на земній кулі підвищилася загалом на 0,6 °С. Водночас, середня швидкість підвищення глобальної температури до 1970 р. становила 0,05 °С за 10 років, а останніми десятиліттями вона подвоїлась. Це зумовлено діяльністю людини: по-перше, людина підігріває атмосферу, спалюючи велику кількість вугілля, нафти, газу, по-друге, і це головне, в результаті спалювання органічного палива, а також внаслідок знищення лісів у атмосфері нагромаджується вуглекислий газ.

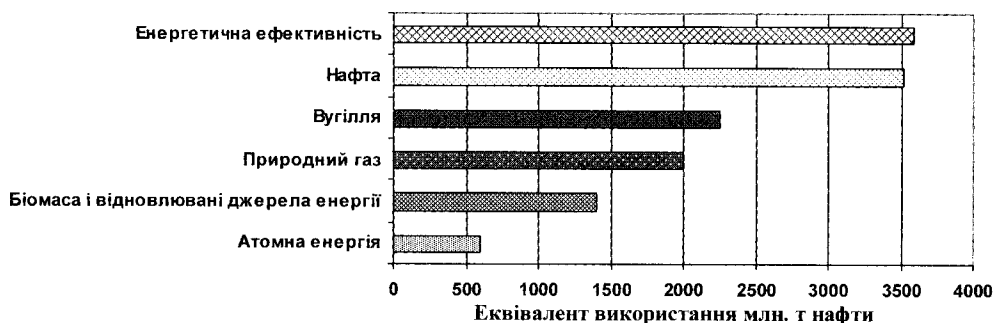


Рис. 1.7. Внесок різних джерел у світовий енергетичний баланс

За останні десять років вміст вуглекислого газу в повітрі збільшився на 17 %. У земній атмосфері вуглекислий газ діє, як скло в теплиці чи парнику: він повільно пропускає сонячні промені до поверхні Землі, але затримує її тепло. Це спричиняє розігрівання атмосфери, відоме як парниковий ефект. Якщо людство не зменшить обсягу забруднень атмосфери й глобальна температура зростатиме й надалі, як це відбувається протягом останніх двадцяти років, то дуже швидко клімат на Землі стане теплішим, ніж будь-коли впродовж останніх 100 тис. років. Це прискорить настання глобальної екологічної кризи. Поряд з цим, згідно з останніми дослідженнями фахівців, оприлюдненими на Асамблеї ООН у Нью-Йорку, Північний Льодовитий океан більше не поглинає вуглекислого газу – найбільший у світі поглинач CO₂ заповнений повністю!

У 1992 р. на екологічному саміті в Ріо-де-Жанейро 179 держав-учасниць підписали угоду про скорочення викидів CO₂ до кінця століття хоча б до рівня 1990 р. Але вже у 1995 р. Берлінська конференція з клімату констатувала, що цей документ був лише добрим наміром. Тоді США разом з Австралією, Канадою та Японією заблокували запропонований Союзом малих острівних держав проект резолюції про зменшення газових викидів промисловими країнами до 2005 р. на 20 %. В США проживає 4 % населення світу, а викиди в атмосферу становлять 22 % від загальної кількості CO₂. В грудні 1997 р.

представники понад 150 країн зібралися в Кіото на переговори про зменшення викидів парникових газів в атмосферу.

У Кіото було прийнято компромісне рішення – до 2012 р. зменшити порівняно з 1990 р. на 5,2 % викиди парникових газів в атмосферу. США погодилися з цією вимогою лише за умови запровадження механізму торгівлі квотами. Оскільки всі квоти дозволених викидів були зафіксовані на рівні 1990 р. (викиди в Україні були грандіозні), наша держава, зменшивши порівняно з цим періодом обсяги емісії парникових газів на 30 %, за рахунок зменшення обсягів виробництва сьогодні має змогу продавати невикористані квоти. У 1990 р. Україна викидала в атмосферу 680 млн. тонн парникових газів, тому майже 100 млн. тонн невикористаних квот стануть найходовішим товаром (ціна 20–100 USD/т).

У 2005 р. набрав чинності Кіотський протокол. Він передбачав зменшення викидів CO₂ в атмосферу на 5 % до 2012 р. порівняно з рівнем 1990 р. Міністри екології країн ЄС рекомендують вимагати від індустріально розвинених країн скорочення викидів CO₂ на 60–80 % до 2050 р., за умови, що середньорічна температура на планеті підвищиться “всього” на 2 °С. Міжнародна енергетична агенція підкреслює, що зменшення викидів CO₂ дасть змогу скоротити витрати енергії. Зростає тиск на ціни на енергоносії. Стає очевиднішим, наскільки насправді тісно пов’язані проблеми отримання енергії та ефективного зменшення викидів CO₂ під час експлуатації будинків.

На світовому рівні, за оцінками Міжурядової комісії ООН з питань зміни клімату, підвищення ефективності використання енергії в будинках житлового та промислового фондів могло б знизити викиди CO₂ більш, ніж на мільярд тонн на рік.

Покращення внутрішнього клімату та якості життя, ефективне використання енергії в спорудах повинно стати пріоритетним напрямом і популярнішим засобом для скорочення викидів CO₂, ніж відмова від користування власним автомобілем.

Україна споживає понад 200 млн. тонн умовного палива первинних енергетичних ресурсів, з них вугілля – майже 60 млн. тонн умовного палива (вироблялось 56,8), нафти – 18 млн. тонн умовного палива (вироблялось 4,3), природного газу – 76,4 млн. тонн умовного палива (вироблялось 20,5). Виробництво електроенергії у обсягах 185,2 млрд. кВт·год перевищує її споживання – 176,9 млрд. кВт·год. Теплової енергії виробляється і споживається 241 млн. Гкал. З нетрадиційних поновлюваних джерел за статистичними даними в Україні споживається енергії обсягом 15,2 млн. тонн умовного палива, з них близько 4 млн. тонн – енергії, виробленої на гідроелектростанціях.

Зазначимо, що в Україні забруднення довкілля шкідливими викидами у 1990–2006 рр. (табл. 1.1) зменшувалось не за рахунок впровадження енерго- та природоошадних технологій, а завдяки істотному зниженню обсягів вироб-

ництва промислової продукції. Водночас, незважаючи на пов'язане з цим зменшення деяких видів забруднення, рівень викидів і токсичних відходів на одиницю ВВП в Україні не знижується, оскільки темпи їх зменшення є нижчими від темпів скорочення виробництв.

Таблиця 1.1

Основні показники забруднення атмосферного повітря в Україні

Основні показники	1994	1996	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Шкідливі викиди в атмосферу повітря, тис. т	8347,4	6342,3	6040,8	5908,6	6049,5	6101,5	6097,5	6325,5	6615,6	7027,6
У розрахунку на 1 км ² території	13,8	10,5	10,0	9,8	10,0	10,1	10,1	10,5	10,9	11,6
Токсичні промислові відходи, млн. т	102,8	135,2	84,0	81,4	77,5	77,6	79,0	81,7	82,3	84,2

1.3. Аналіз використання первинних джерел енергії в Україні та споживання енергії кінцевими споживачами

Останніми роками питання, пов'язані з реалізацією політики енергозбереження і підвищення енергоефективності в Україні, набули особливої актуальності й безпосередньо пов'язані з енергобезпекою країни. Україна належить до країн, частково забезпечених традиційними видами первинної енергії, а отже, змушена їх імпортувати. Енергетична залежність України від поставок органічного палива, з урахуванням умовно-первинної ядерної енергії, у 2000 – 2004 рр. становила 60,7 %, тоді як країн ЄС – 51 %. Подібною або близькою до української є енергозалежність таких розвинених країн Європи, як Німеччина – 61,4 %, Франція – 50 %, Австрія – 64,7 %. Багато країн світу мають значно нижчі показники забезпечення власними первинними ПЕР, зокрема Японія використовує їх близько 7 %, Італія – близько 18 %.

Рівень енергозалежності України є середньоєвропейським і має тенденцію до зменшення (з 60,7 % у 2004 р. до 54,8 % у 2005 р.), але він характеризується тим, що не диверсифіковано джерела постачання енергоносіїв, насамперед нафти, природного газу та ядерного палива. У структурі споживання первинної енергії в Україні за минулі роки найбільшою була частка природного газу – 41 %, тоді як у країнах світу питома вага споживання газу становить 21 %; обсяг споживання нафти в Україні – 19 %, вугілля – 19 %,

урану – 17 %, гідроресурсів та інших відновлюваних джерел – 4 %. Порівняння обсягів спожитої первинної енергії в Україні, країнах ЄС-15, США та у світі загалом наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Структура споживання первинної енергії у країнах світу

Джерела енергії	Використання енергії, %			
	Світ	Україна	Країни ЄС-15	США
Природний газ	21	41	22	24
Нафта	35	19	41	38
Вугілля	23	19	16	23
Уран	7	17	15	8
Гідроресурси та інші відновлювані джерела	14	4	6	7
Разом	100	100	100	100

Напружена ситуація щодо забезпечення електроенергетики, комунальної сфери та населення вугіллям належної якості, вугільними та торфобрикетами, скрапленим газом призводить до того, що їх замінюють природним газом, що збільшує енергозалежність України. Зростання ціни на природний газ до середньоєвропейського рівня призведе до зниження конкурентоспроможності у виробництві доволі широкого спектра товарної продукції та послуг в Україні. Найбільші зміни очікуються під час вибору первинного енергоносія для виробництва тепла та електроенергії.

Прогнозоване підвищення світових цін на нафту та природний газ відбуватиметься в умовах порівняно стабільних цін на вугілля та ядерне паливо, що підвищує конкурентоспроможність гідравлічних, атомних і теплових електростанцій, які працюють на вугіллі, та стимулює розвиток нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. Тому перевага у структурі палива для виробництва енергії в Україні надаватиметься власному урану та вугіллю, що забезпечить певну стабільність паливної складової на електричну енергію та підвищить рівень енергетичної безпеки країни. Прогнозується, що споживання електроенергії збільшиться в 2,2 раза (до 395,1 млрд. кВт·год), а вугільної продукції – зросте майже в 2,2 раза – до 130,3 млн. тонн.

В Україні амортизація енергетичного обладнання досягає 90 %. Вже через десять років на більшості атомних електростанцій доведеться замінювати ядерні реактори. Доступний потенціал альтернативних джерел енергії в Україні дає змогу досягти економічної та політичної незалежності від експортерів мінеральних видів палива та створити привабливі умови для інвесторів.

На рис. 1.8 показано структуру споживання первинних ресурсів в Україні до 2030 р. Частка газу, яка сьогодні становить 41–44 %, знизиться до 19 %. Передбачено зростання споживання вугілля, а споживання частки ядерної енергії має збільшитись з 14–17 до 22 %. Слід також зазначити, що різко зросте споживання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії від 15,5 млн. т. умовного палива до 46,5 млн. т. У відносному плані споживання збільшиться з 8 % до 15 % в загальній структурі споживання.

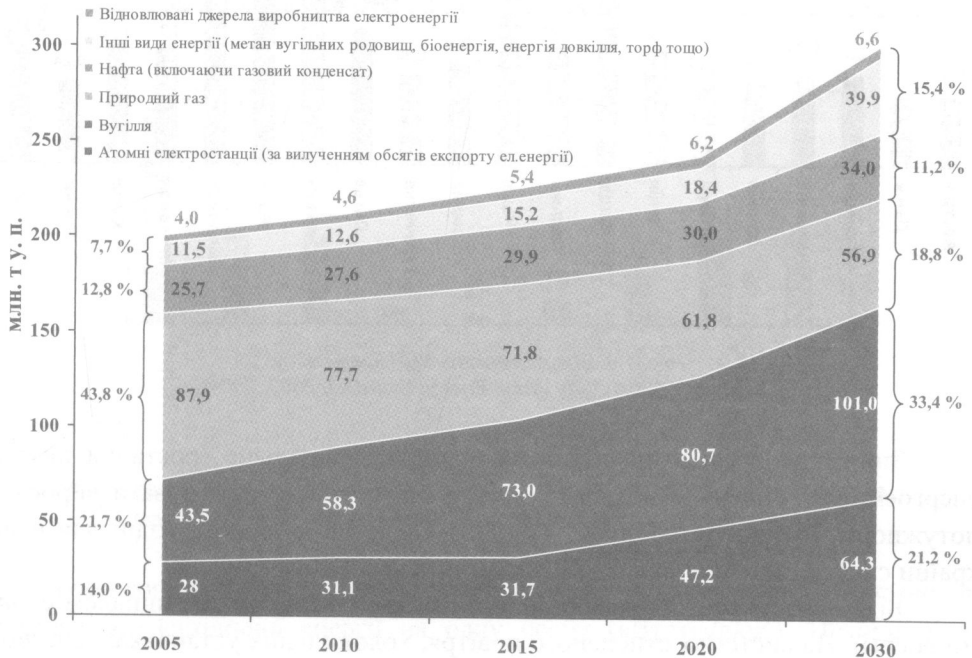


Рис. 1.8. Прогноз споживання первинних енергоресурсів в Україні до 2030 р.

1.4. Енергоекономічні показники України та країн світу

Узагальненими показниками ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів країни є питомі витрати первинної енергії на одиницю валового внутрішнього продукту країни (енергоємність ВВП) (рис. 1.9). Енергоємність ВВП України у 2,6 раза перевищує середній рівень енергоємності ВВП країн світу. Причиною високої енергоємності є надмірне споживання в галузях економіки енергетичних ресурсів на виробництво одиниці продукції, що зумовлює відповідне зростання імпорту вуглеводнів в Україну. Значна енергоємність ВВП в Україні є наслідком істотного технологічного відставання у більшості галузей економіки і житлово-комунальній сфері, незадовільної

галузевої структури національної економіки і, зокрема, імпортно-експортних операцій та впливу “тіньового” сектору економіки.

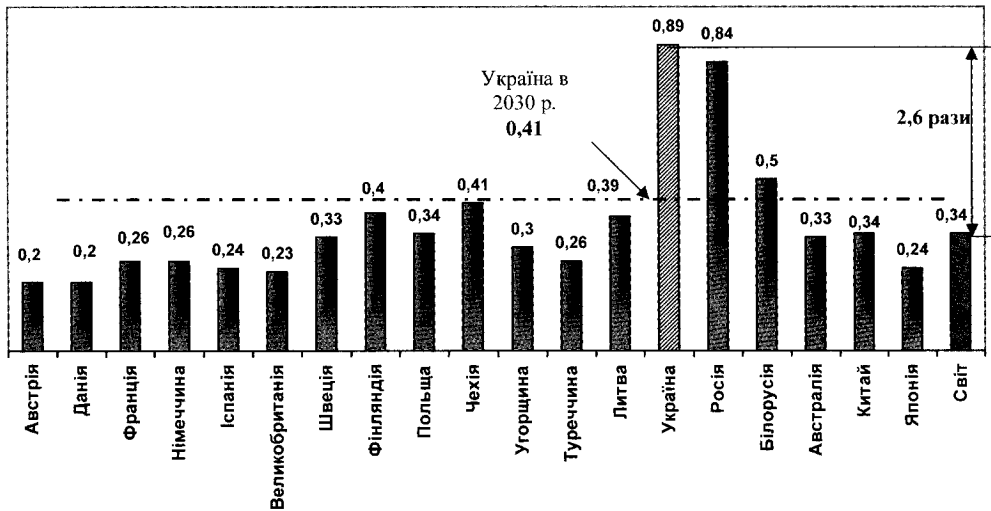


Рис. 1.9. Енергоємність ВВП країн світу, кг у.п./\$ США (*Key World Energy Statistics, 2003, 2004)

Зниження обсягів виробництва зумовлює подальше зростання питомої енергоємності продукції в зв'язку з тим, що потрібно утримувати виробничі потужності, будівлі та споруди. Тому наведені вище дані сьогодні для нашої країни є ще негативнішими.

Більшість українських підприємств володіє великим потенціалом економії енергії. На системах стисненого повітря, холодильних установках, системах освітлення потенціал економії становить 30–50 % від рівня споживання електроенергії. Внаслідок втрат газу через трубопроводи втрачається 500000 м³ газу на рік на одне підприємство. Запобігання втратам тепла з котлів, бойлерів, печей, а також неізольованих розігрітих трубопроводів, вентилів і фланців забезпечило б економію 1 млн. м³ газу на рік на одне підприємство. Ефективність згорання палива в пальниках бойлерів і різних технологічних печей доволі низька. Тільки регулювання якості згорання палива може зекономити до 10 % від сумарного споживання палива.

На багатьох підприємствах близько 50 % загальної спожитої енергії використовується на виробничі потреби, решта втрачається. Якщо порівняти питоме споживання енергії на одиницю виготовленої продукції, то виявиться, що в Україні воно в 3–4 рази вище, ніж на подібних підприємствах у Західній Європі. Наприклад, у Данії споживання енергії на одиницю продукції у скляній промисловості – 1,3 кВт-год на кг продукції, а в Україні – 3,8 кВт-год на кг.

У Радянському Союзі паливно-енергетичний комплекс отримував дотації за рахунок прибутку інших галузей, ціни на енергоносії були штучно занижені й економіка України навіть за значного імпорту первинного палива та високої енергоємності продукції функціонувала стабільно.

Рівень енергозабезпеченості країни характеризується показником питомого споживання первинної енергії на одну особу (т у.п./люд.). Енергозабезпеченість України у 2005 р. дорівнювала 4,3 т у.п./люд., тобто вона значно відстає від розвинених країн світу (США, ЄС-15, Японія), але випереджає найіндустріалізованіші країни, які розвиваються (КНР, Індія, Туреччина) (рис. 1.10).

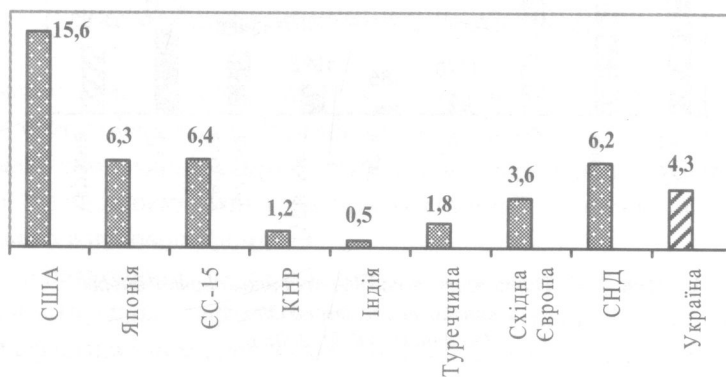


Рис. 1.10. Питоме річне споживання первинної енергії у країнах світу, т у.п./люд. (за даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), 2005 р.)

Технологічний рівень країни опосередковано характеризується показником споживання електричної енергії на одну особу (кВт-год/люд.). Питоме річне споживання електроенергії в Україні у 2005 р. становило 3789 кВт-год /люд., що в 2–3 рази нижче, ніж у розвинених країнах світу (рис. 1.11). У 1990 р. цей показник становив в Україні 5198 кВт-год /люд. Відставання за цим показником від розвинених країн світу спричинено тим, що різко знизилось споживання електричної енергії промисловістю та сільським господарством у 90-х роках. З 2000 р. простежується тенденція до зростання цього показника.

За даними Світового банку та Інституту світових ресурсів, на створення продукту бруто, що припадає на одну особу, різні країни світу витрачають різну кількість енергії. Це стосується країн з різними рівнями технологій. Слабкорозвинені країни, де переважає ручна праця, споживають мало енергоносіїв. Країни з високорозвинутою економікою споживають від 2 до 4 кВт-год на виготовлення продукту собівартістю в один долар США. В третю групу входять посткомуністичні держави, в яких цей показник перевищує 10 кВт-год, що свідчить про архаїчність їхніх технологій. Україна (16,7 кВт-год/1 долар США) посідає

перше місце за енергоємністю продукту бруutto. В нашій державі національний продукт бруutto на одну особу становить 2400 доларів США. За такого річного споживання енергії на одну особу (35–40 МВтгод) у розвинених країнах ЄС національний продукт на одну особу перевищує в 8–10 разів. У світі цих показників досягнуто завдяки розумінню можливостей екологічно чистого енергозабезпечення та широкого впровадження нової техніки для цього.

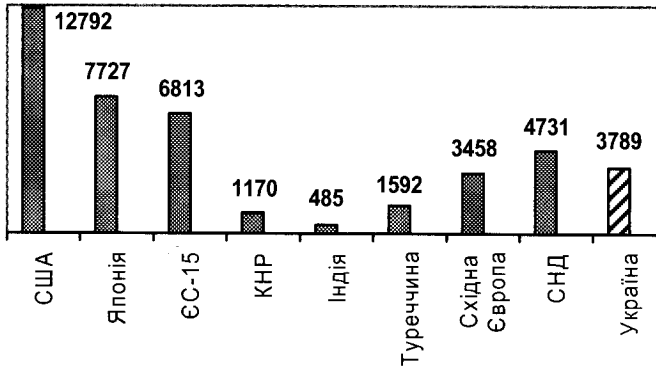


Рис. 1.11. Питоме річне споживання електричної енергії у країнах світу, кВт·год/люд. (за даними МЕА), 2005 р.

Енергоскономічні показники України порівняно з показниками інших країн є негативними. Так, виробництво електроенергії в розрахунку на душу населення у нашій державі досягло рівня європейських країн, таких як Франція, Великобританія (відповідно 5,2 тис. кВт; 5,8; 5,7), однак частка витрати її в промисловості становить 60 %, тоді як у Франції ця величина дорівнює 40 %, у Великобританії – 35,8 %. Споживання енергії на душу населення в кг нафтового еквівалента в 1990 р. становило 4600 кг н.е. і співмірне із середньоєвропейськими показниками. Однак водночас енергоємність ВВП в 2–3 рази вища.

За статистикою споживання енергетичних ресурсів можна поділити на три великі групи:

- промисловість – до 31 %;
- транспорт – до 29 %;
- житловий сектор – понад 40 %.

Загальна кількість енергії зростає щороку у результаті розвитку промисловості та транспорту, а також все більшої кількості будинків. Так, у країнах ЄС споживання енергії в будинках досягає навіть 46–47 %, причому близько 2/3 енергії призначено на обігрівання та охолодження.

Отже, житлово-комунальний сектор – це найбільший споживач енергії, який до того ж емітує найбільшу кількість вуглекислого газу. Обмеження

надмірного споживання енергії заощаджує кошти, зберігає невідновлювані джерела, а також створює нові місця праці. Якщо б після ремонтів будинки були модернізовані відповідно до сучасних стандартів енергетичної ефективності, тільки в Європі можна було б щороку обмежити близько понад 400 млн. т емісії CO₂. На відміну від промисловості та транспорту, в житловому секторі, впровадивши сучасні технології, можна зменшити споживання енергії навіть до 90 %.

1.5. Напрями реалізації потенціалу енергозбереження у будівництві

Для раціонального використання матеріальних і енергетичних ресурсів та підвищення енергозбереження житлово-комунального сектору України необхідне належне економічне обґрунтування та розроблення сучасної науково-нормативної бази проектування енергоефективних будинків та термомодернізації наявного житлового фонду.

Охороні навколишнього середовища сприяє не тільки заміна традиційних джерел енергії (вугілля, нафти і газу) на альтернативні види палива. Значно дешевшим і ефективнішим способом є економія енергії такими методами:

- ✓ модифікація енергетичних систем в процесі як виробництва енергії, так і її транспортування;
- ✓ впровадження нових енергоощадних технологій в промисловості, будівництві, сільському господарстві та побуті;
- ✓ заохочення енергоощадності економічними стимулами.

Основними напрямками підвищення ефективності використання ПЕР і реалізації потенціалу енергозбереження в будівництві є:

- ✓ впровадження нових і вдосконалення застосовуваних технологій у виробництві енергоємних будівельних матеріалів, виробів і конструкцій;
- ✓ розроблення і впровадження енергоефективних технологій виробництва будівельно-монтажних робіт;
- ✓ автоматизація технологічних процесів, впровадження регульованих електроприводів;
- ✓ збільшення термічного опору огорожувальних конструкцій житлового фонду;
- ✓ впровадження енергоефективних систем освітлення житлових і громадських будівель;
- ✓ підвищення ефективності роботи котелень;
- ✓ встановлення у котельнях турбогенераторів малої потужності;

- ✓ оснащення приладами обліку і регулювання витрати основних енергоносіїв;
- ✓ використання відходів деревообробки і місцевих видів палива, утилізація вторинних енергоресурсів.

Нині енергетична ефективність будівництва щораз більше визначається ще й витратами експлуатації. Так, в 70–80-х роках за опалювальний сезон питома витрата енергії на обігрівання 1 м^2 для будинків, побудованих раніше, становила $280 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в Англії, $360 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в Німеччині, $400 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в Польщі. В 90-х роках ХХ ст. у Західній Європі цей показник сягав $120 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, а відповідно до сучасних вимог знизився до значень $40\text{--}60 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. Водночас, в Україні питома витрата теплової енергії на 1 м^2 становить для будинків, зведених у радянський період, багатоквартирних цегляних – $400 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, багатоквартирних панельних – $600 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, індивідуальних – навіть до $700 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

На підставі німецьких досліджень можна з'ясувати, скільки потрібно спалити мазуту або газу, щоб обігріти будинки з різним ступенем утеплення стін і як кількість спаленого палива впливає на емісію CO_2 (табл. 1.3). Отже, що менше споживається енергії на обігрівання будинків, то менше виділяється CO_2 в атмосферу.

Таблиця 1.3

Забруднення атмосфери CO_2 залежно від кількості мазуту, потрібного на опалення 1 м^2 площі впродовж року для будинків з різною ізоляцією стін

Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	Кількість мазуту, потрібного на опалення 1 м^2 площі будинку впродовж року, л	Емісія CO_2 , $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$
2,6	35	90
1,2	15	40
0,7	10	26
0,4	6	16

1.6. Завдання законодавства щодо енергозбереження

З огляду на ситуацію, що сьогодні складається, проблеми енергозбереження в народному господарстві треба вирішувати в умовах загальної нестабільності в світі, зокрема і на паливно-ресурсних ринках, коли прогнози щодо подальшого зростання цін на енергоресурси несприятливі, а іноземні інвестиції у вітчизняну економіку незначні. Досвід розвинених країн і України

показує, що потрібне державне регулювання процесів енергозбереження та цілеспрямована державна політика. Тільки держава, за допомогою виваженої, законодавчої, гнучкої цінової, тарифної та податкової політики, може забезпечити дієздатність фінансового механізму енергозбереження. Для раціонального використання матеріальних і енергетичних ресурсів та підвищення енергозбереження житлово-комунального сектору України необхідне відповідне економічне обґрунтування та розроблення сучасної науково-нормативної бази проектування енергоефективних будинків та термомодернізації наявного житлового фонду.

Основні нормативні документи України в енергетичній сфері:

Закони України

1. Про функціонування паливно-енергетичного комплексу в особливий період. Закон України 02.11.2006 № 307-V. Закон регулює відносини, що виникають у зв'язку з виробництвом, передаванням, постачанням і використанням енергоносіїв в особливий період підприємствами, установами та організаціями паливно-енергетичного комплексу незалежно від форми власності та організаціями галузей національної економіки, які виникають із запровадженням особливого періоду.

2. Про заходи, спрямовані на забезпечення сталого функціонування підприємств паливно-енергетичного комплексу. 23.06.2005 № 2711-IV. Закон визначає комплекс організаційних та економічних заходів, спрямованих на забезпечення сталого функціонування підприємств паливно-енергетичного комплексу з метою сприяння поліпшенню фінансового становища підприємств паливно-енергетичного комплексу, запобіганню їх банкрутству та підвищенню рівня інвестиційної привабливості.

3. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію). 05.04.2005 № 2509-IV. Закон визначає правові, економічні та організаційні засади діяльності суб'єктів відносин у сфері енергозбереження щодо використання когенераційних установок, регулює відносини, пов'язані з особливостями виробництва, передавання і постачання електричної та теплової енергії від когенераційних установок.

4. Про альтернативні джерела енергії. 20.02.2003 № 555-IV. Закон визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі.

5. Про енергозбереження. 01.07.1994 № 74/94-ВР. Закон визначає правові, економічні, соціальні та екологічні основи енергозбереження для всіх підприємств, об'єднань та організацій, розташованих на території України, а також для громадян.

Стратегія України

Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 № 145-р.

Програми та концепції

1. Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010–2015 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України, Концепція від 19.11.2008 № 1446-р. Розглядає створення умов для зниження рівня енергоемності ВВП протягом строку дії Програми на 20 % порівняно з 2008 р. (щороку на 4 відсотки) та оптимізація структури енергетичного балансу України.

2. Про затвердження Програми диверсифікації джерел постачання нафти в Україну на період до 2015 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 08.11.2006 № 1572. Розглянуто уникнення залежності українського ринку нафти і нафтопродуктів від однієї країни-експортера, підвищення ефективності використання нафтотранспортної системи, надійності постачання нафти та зміцнення енергетичної безпеки

3. Про схвалення Концепції створення в Україні мінімальних запасів нафти і нафтопродуктів на період до 2020 року Кабінет Міністрів України: Розпорядження, від 08.12.2009 № 1498-р. Підвищення рівня енергетичної безпеки держави через створення ефективної системи захисту національної економіки від зменшення обсягу постачання нафти і нафтопродуктів або його припинення.

4. Про схвалення пріоритетних напрямів діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження на 2008–2009 рр.: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1334-р від 16.10.2008.

5. Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1567-р від 17.12.2008.

6. Про заходи з використання альтернативних джерел енергії: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 102-р від 04.02.2009.

7. Деякі питання реалізації державної політики у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 159-р від 11.02.2009.

8. Про прийняття за основу проекту Закону України про внесення змін та доповнень до деяких законодавчих актів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива: Постанова Верховної Ради України № 971-Л від 17.02.2009.

9. Про особливості приєднання до електричних мереж об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел: Постанова Кабінету Міністрів України № 126 від 19.02.2009.

10. Про затвердження Порядку розрахунку та витрачання доходу, отриманого суб'єктами господарювання з виробництва електричної та/або теплової енергії, в частині здобутого шляхом впровадження за рахунок залучених інвестицій енергозберігаючих (енергоефективних) заходів та енергоефективних проектів сумарного скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів: Наказ НАЕР № 18 від 24.02.2009.

11. Про затвердження Порядку використання у 2009 р. коштів Стабілізаційного фонду для реалізації інвестиційних та інноваційних проектів з енергозбереження в житлово-комунальному господарстві: Постанова Кабінету Міністрів України № 327 від 02.04.2009.

12. Про затвердження плану заходів щодо реалізації у 2009 році пріоритетних напрямів діяльності у сфері енергоефективності та енергозбереження: Розпорядження Кабінету Міністрів України №384 від 08.04.2009.

13. Питання встановлення теплових насосів: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 609-р від 20.05.2009.

14. Про затвердження зміни до умов та правил здійснення підприємницької діяльності з виробництва електричної енергії: Постанова НКРЕ № 740 від 25.06.2009.

15. Про затвердження порядку конкурсного відбору інвестиційних та інноваційних проектів з енергозбереження в житлово-комунальному господарстві: Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України №194 від 07.08.2009.

16. Про використання у 2009 році коштів стабілізаційного фонду для розроблення проектно-кошторисної документації та техніко-економічного обґрунтування інвестиційних проектів встановлення теплових насосів: Постанова Кабінету Міністрів України № 960 від 19.08.2009.

Державні стандарти України з енергозбереження

1. ДСТУ 2339-94 “Енергозбереження. Основні положення”.
2. ДСТУ 2420-94 “Енергозбереження. Терміни та визначення”.
3. ДСТУ 2275-94 “Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії. Терміни та визначення”.
4. ДСТУ 2804-94 “Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни та визначення”.
5. ДСТУ 3569-97 (ГОСТ 30514-97) “Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії. Основні положення”.
6. ДБН В.2.6-31-2006 “Теплова ізоляція будинків”.
7. ДБН В.2.6-33:2008 “Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації”.

8. ДСТУ Б В.2.6-34:2008 “Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги”.

9. ДСТУ Б В.2.6-35:2008 “Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустриальними елементами з вентиляваним повітряним прошарком. Загальні технічні умови”.

10. ДСТУ Б В.2.6-36:2008 “Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови”.

Напрямок державної політики України з питань економії ПЕР підтверджується ухваленням Закону України “Про енергозбереження” (1994 р.), яким було встановлено правові, економічні, соціальні та екологічні основи енергозбереження для всіх підприємств, об’єднань і організацій, розташованих на території України, а також для всіх громадян.

Згідно із Законом основні принципи державної політики енергозбереження такі:

- створення економічних і правових умов зацікавленості в енергозбереженні юридичних і фізичних осіб;
- державне регулювання діяльності в сфері енергозбереження на основі застосування економічних, нормативно-технічних способів управління;
- наукове обґрунтування стандартизації і нормування використання ПЕР;
- дотримання енергетичних стандартів і нормативів використання палива і енергії;
- популяризація економічних, екологічних і соціальних переваг енергозбереження, підвищення громадського пізнавального рівня в цій сфері;
- вирішення проблем енергозбереження сумісно з реалізацією енергетичної проблеми України, а також на основі широкої міждержавної співпраці.

Крім загальних положень щодо державного регулювання енергозбереження в Україні, у Закон увійшли такі розділи:

- економічний механізм енергозбереження;
- стандартизація і нормування в сфері енергозбереження;
- експертиза з енергозбереження;
- контроль у сфері енергозбереження і відповідальність за порушення цього Закону.

Для розроблення механізму реалізації цього Закону в Україні створено Державний комітет з енергозбереження.

У сфері матеріального виробництва заплановане зниження питомих витрат палива й енергії на одиницю продукції, зменшення частки енергоємних галузей виробництва і збільшення наукомістких, малоресурсних видів продукції.

Під егідою Держкоменергозбереження і Енергетичного центру Європейського Союзу виконано декілька проектів за програмою TACIS, що сто-

суються економії енергії. Створена і почала діяти Українська інвестиційна енергозберігаюча компанія УкрЕСКО, яка кредитує низку проектів зі зниження витрати енергії, зокрема і для опалення споруд.

У галузі капітального будівництва питаннями енергозбереження займається Державний комітет містобудування. Основні напрями політики енергозбереження в будівництві:

- перехід масового будівництва на випуск і застосування теплоефективних огорожувальних конструкцій і матеріалів;
- впровадження енергозберіжних систем інженерного обладнання, що базуються на регулюванні теплоспоживання і врахуванні витрати енергоресурсів із забезпеченням необхідної нормативно-методичної бази і проектних рішень;
- зниження ресурсомісткості виробництва;
- впровадження жорстких заходів з економії енергоресурсів;
- повніше використання власних паливно-енергетичних ресурсів.

У 2006–2008 рр. в Україні спостерігався прогрес у галузі нормування показників енергозбереження та енергоефективності, які висвітлені в низці нормативних документів. Наказом Мінбуду України № 103 від 9.09.2006 р. введено в дію державні будівельні норми – ДБН В.2.6-31:2006 “Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель”, в які внесено принципові зміни:

- порівняно з вимогами 1994 р. підвищено мінімальний рівень теплоізоляції огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків у середньому на 15–40 % для зовнішніх стін, на 20–25 % для покриттів, на 20 % для вікон;
- введено нормативи за показником максимально допустимих питомих тепловитрат будинку на опалення;
- підвищено вимоги до забезпечення показників теплового комфорту приміщень;
- введено вимоги до енергетичної паспортизації будинків під час нового будівництва та реконструкції;
- упроваджено вимоги до показників теплової надійності теплоізоляційної оболонки будинків.

З 1.10.2008 р. набрав чинності ДБН В.1.2-11-2008 “Основні вимоги до будівель та споруд. Економія енергії”, яким передбачено влаштування теплоізоляційної оболонки будинку як системи, що забезпечує збереження теплоти для опалення приміщень.

Основою комплексу нормативних документів, які визначають вимоги до конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією, є ДБН В.2.6-33:2008 “Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, влаштування та експлуатації” та ДСТУ Б В.2.6-34:2008 “Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація та загальні технічні

вимоги". У них встановлено чіткі правила проектування, влаштування, контролю та експлуатації сучасних будівельних об'єктів із забезпеченням показників їхньої енергоефективності.

Числові характеристики фізико-технічних показників конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією регламентують стандарти ДСТУ Б.В.2.6-35:2008 "Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядження індустріальними елементами з вентиляваним повітряним прошарком" та ДСТУ Б.В.2.6-36:2008. "Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками", в яких наведено конструктивні особливості за класами, правила приймання збірних систем в експлуатацію, методи контролю фізико-технічних показників під час виробництва збірних систем, приймання в експлуатацію та в процесі експлуатації будинків зі стінами з фасадною теплоізоляцією.

Згідно з "Державною науково-технічною програмою в житловому і громадському будівництві" визначено пріоритетні напрями енергозбереження, що забезпечує під час її реалізації:

- швидку окупність вкладених інвестицій;
- значне зменшення витрати палива на опалення;
- подальше поліпшення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій будівель і споруд;
- впровадження приладів регулювання і обліку споживання тепла, гарячої води і газу;
- комплексну модернізацію у напрямі енергозбереження поширених технічних і схемних рішень систем тепlopостачання;
- використання нетрадиційних (відновлюваних) джерел енергії.

Отже, в умовах загострення світової енергетичної та екологічної кризи підвищення енергетичної ефективності як будівництва та житлово-комунального сектору, так і промисловості – це величезний потенціал розвитку народного господарства України, а також можливість зростання кількості робочих місць та мінімізації негативних наслідків впливу енергетики на навколишнє середовище. На прикладі 25 країн ЄС з'ясовано, що їхніми спільними зусиллями в напрямі зменшення споживання енергії в будинках до 2010 р. досягнуто економії близько 8 млрд. євро на рік, а до 2015 р. ця квота зросте до 14,5 млрд. євро. Технічний потенціал будинків на території ЄС визначає зниження емісії CO₂ на 460 млн. тонн на рік, що перевищує зобов'язання ЄС за Кіотським протоколом. Роботи, спрямовані на покращення енергетичної ефективності будинків, можуть забезпечити створення близько 530 тис. робочих місць у 25 країнах ЄС.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте екологічні аспекти енергозбереження.
2. Що таке парниковий ефект?
3. Від яких чинників залежать обсяги використання енергії?
4. Порівняйте запаси невідновлюваних джерел енергії.
5. Поясніть суть Кіотського протоколу.
6. Охарактеризуйте споживання енергії в Україні.
7. Що характеризують критерії сталого розвитку будівництва?
8. Назвіть основні енергоекономічні показники нашої країни.
9. Порівняйте енергоекономічні показники України та країн світу.
10. Які напрями підвищення ефективності використання ПЕР у будівництві Ви знаєте?
11. Назвіть основні принципи збалансованого розвитку.
12. Що передбачає оцінка збалансованості будинку?
13. Які закони регулюють відносини в енергетичній сфері?
14. Що передбачає Європейська концепція "20-20-20"?
15. Назвіть нормативну базу для проектування теплоізоляційної оболонки зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Розділ 2

ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ СЕКТОРІ

2.1. Характеристика житлового фонду України

Житловий фонд України – це 10,2 млн. будинків загальною площею 1066,6 млн. м², з якого 238,2 тис. будинків – (2,3 % всього житлового фонду країни) – загальною площею 67,5 млн. м² у комунальній власності. Приватний житловий фонд становить 88 %, а житловий фонд міських поселень – 63,9 % загальної площі. В Україні 60,7 тис. (0,6 % житлових будинків країни) аварійних житлових будинків загальною площею 5,1 млн. м², де постійно проживає 145,7 тис. мешканців. 36 тис. будинків зараховано до категорії старих, кожний третій будинок наявного житлового фонду потребує капітального або поточного ремонту.

Для забезпечення вимог нових норм і зниження споживання теплової енергії необхідна тепла ізоляція огорожувальних конструкцій споруд, з яких складається опорний житловий фонд країни. Вибір заходів, націлених на поліпшення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, залежить не тільки від конструктивно-технологічних рішень, але й від форми власності та стану споруди.

Періоди зведення будинків та споруд є інтегральними ознаками, які впливають на виконання теплової модернізації огорожувальних конструкцій, оскільки дають уявлення про поверховість, теплову характеристику будинку, кубатурний коефіцієнт (відношення об'єму житлового будинку за зовнішнім вимірюванням до житлової площі, м³/м²), ступінь зношення. Міський житловий фонд України складається з (рис. 2.1):

- житлового фонду історичної забудови, щодо якого основним завданням є відновлення та збереження архітектурних та історичних пам'яток;
- будинків перших масових серій 50–60-х рр. XX ст. (цегляні, великоблочні та великопанельні), які потребують капітального ремонту та реконструкції;

- 9–16-поверхових великопанельних будинків масової забудови 70–80-х рр., які потребують поточних ремонтів та якісної експлуатації;
- сучасних будинків.

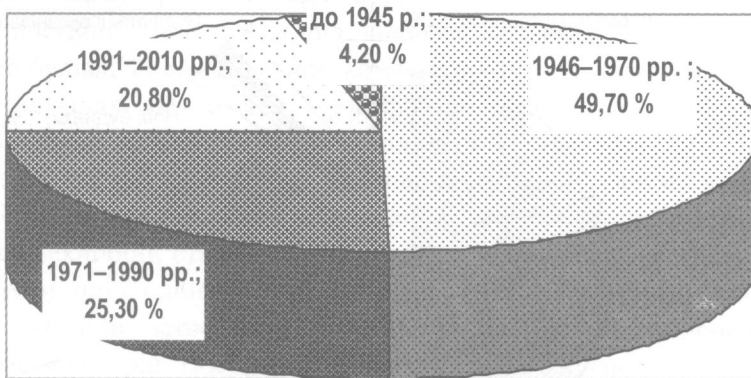


Рис. 2.1. Житловий фонд за роками побудови

Будівництво входить в п'ятірку найважливіших галузей економіки України. Разом з тим, зважаючи на завдання тільки соціальної сфери, будівельникам необхідно в найближчі роки збільшити обсяги будівництва в 2–3 рази.

Класифікація житлових будинків за роками побудови, які характеризуються схожими енергорелевантними параметрами, дає змогу розробляти програми енерготехнічної санації житлового фонду на основі аналізу будинків, представників певного періоду будівництва. Масове індустріальне будівництво 50–70-х років минулого століття створило базову частину післявоєнного житлового фонду – житловий фонд будинків перших масових серій становить близько 72 млн. м². Такі будинки мають істотні недоліки в архітектурному та конструктивному аспектах, не відповідають сучасним вимогам щодо тепло- та звукоізоляції. Житлові будинки перших масових серій, які експлуатуються з 40–50-х років минулого століття, є застарілими як в моральному, так і в теплотехнічному плані і потребують заміни або реконструкції. Фактично кожний четвертий міський житель мешкає у житлових приміщеннях, які мають незадовільний технічний стан, низькі експлуатаційні якості та характеристики яких вичерпали свій експлуатаційний ресурс.

Найбільша кількість енергії витрачається на експлуатацію будинків (рис. 2.2). Зниження обсягу виробництва будматеріалів, конструкцій та нового будівництва, а також фізичне старіння будинків з кожним роком підвищують відносну частку експлуатаційних витрат.

Стан житлового фонду характеризується за величинами зносу будинків і споруд, які визначають почерговість здійснення теплозахисних заходів, їхні

обсяги та економічну доцільність. Для характеристики житлових будинків використовують величини фізичного та морального зносу.



Рис. 2.2. Частка різних споживачів теплової енергії у будівельному секторі України

Фізичний знос – це втрата первинних (вихідних) експлуатаційних характеристик і технологічних властивостей житлових будинків та їхнього обладнання (міцності, жорсткості, теплозахисних властивостей, зовнішнього вигляду) в результаті впливу природно-кліматичних факторів та життєдіяльності людини.

Діагностика стану будівель складається з органолептичного оцінювання якості елементів і конструкцій, камеральної обробки архівних матеріалів й інструментальних неруйнівних методів випробувань елементів будівель. Органолептичне оцінювання полягає у виявленні видимих дефектів елементів та конструкцій, таких як усадкові тріщини, розшарування в кладці та її вивітрювання, підвищена вологість на поверхнях конструкцій, тріщини і здуття рулонної покрівлі.

Інструментальні методи випробувань конструктивних елементів будинків полягають в геодезичній перевірці деформацій окремих їхніх частин і в кількісному визначенні характеристик окремих елементів та конструкцій неруйнівними методами, до яких належать звукові, ультразвукові, механічні та радіаційні.

Крім фізичного зносу, відбувається моральне старіння житлових будівель.

Моральний знос – невідповідність споруд чинним на момент оцінювання нормативним об'ємно-планувальним рішенням, архітектурним, конструктивним, санітарно-гігієнічним та іншим вимогам. Причини, які зумовлюють моральний знос, мають соціальний характер і розглядаються з позицій забез-

печення рівня комфортності житлових будівель. Критерієм рівня комфортності є гігієнічні фактори (температура, вологість, світловий та шумовий режими, склад повітря) та функціональні фактори (об'ємно-планувальні рішення, рівень інженерного благоустрою). Критерії оцінювання рівня комфортності житлових будинків постійно змінюються під впливом розвитку людства, тому через деякий час будівлі з певним рівнем комфортності перестають відповідати критеріям оцінювання, які постійно трансформуються. Так відбувається моральний знос будівель, який настає значно раніше, ніж фізичний.

Недостатність інвестицій у житлово-комунальну галузь, власних обігових коштів житлово-експлуатаційних підприємств призвели до того, що значно погіршився технічний стан житлового фонду, збільшились витрати на енергетичні ресурси, що є однією з причин подорожчання послуг. У 1999 р. Кабінет Міністрів України затвердив програму реконструкції житлових будинків перших масових серій. Постійне недофінансування запланованих заходів щодо належного утримання та ремонту житлового фонду, його реконструкції та модернізації призвело до занедбаного стану близько 90 % житла в Україні. Проблеми подальшої експлуатації наявного житлового фонду з роками загострюються і створюють небезпеку для мільйонів мешканців. Залишковий ресурс цього житлового фонду становить 10–15 років, тому потрібні значні капіталовкладення в його оновлення, реконструкцію та модернізацію.

2.2. Енергоспоживання у житлово-комунальному господарстві

Приблизно четверта частина палива, що спалюється в Україні, витрачається для теплопостачання житлових будинків і громадських будівель. Разом з тим, ми залежимо від поставок природного палива, ціна якого стрімко підвищується. Залежність від імпорту енергії зростає у багатьох великих країнах: в США, Китаї, Індії, Японії. У Євросоюзі імпортується до 70 % енергії. Водночас 74 % німецьких респондентів не уявляли, що обігрівання поглинає найбільшу частину енергії, майже 30 % не знали навіть своїх щомісячних витрат на опалення.

У житлово-комунальному господарстві споживається 44 % енергетичних ресурсів або 70 млн. тонн умовного палива, що становить близько 30 % загального споживання палива в Україні. Житловий фонд держави та соціальна сфера споживають 85 % енергоресурсів від загального обсягу галузі. Щорічно цей сектор споживає:

- електроенергії – близько 10,0 млрд. кВт·год;
- природного газу – близько 14,0 млрд. м³;

- вугілля – близько 1,5 млн. т;
- нетрадиційні та відновлювані види енергії – 0,87 млн. т у. п.

Витрати енергоресурсів на одиницю виготовленої продукції та наданих комунальних послуг більш ніж у 1,5 раза перевищують зарубіжні показники. В Україні на одного мешканця в будівлях з централізованим тепlopостачанням у перерахунку на 1 м² площі витрачається 1,4 т у. п. на рік, що в 1,5 раза більше, ніж у США і в 2,5–3 рази більше, ніж у Швеції.

Витрати палива на вироблення 1 Гкал тепла в комунальній теплоенергетиці становлять 160–180 кг у.п.

Втрати теплової енергії за рік перевищують 13 млн. Гкал. Це 12 % від обсягу відпущеної теплової енергії, на які марно витрачено 2,5 млрд. м³ природного газу.

Перевитрата палива призводить до викидів у атмосферу 45 г/МДж замість 26 г/МДж.

За даними Держкомстату, на 01.04.2010 р. тепlopостачання населених пунктів України забезпечують 8250 підприємств усіх форм власності, на яких експлуатується 32725 котелень сумарною потужністю 130618,7 Гкал/год, з них:

27791 од. – потужністю до 3 Гкал/год (у середньому на одиницю – 0,78 Гкал/год);

3948 од. – потужністю 3 – 20 Гкал/год (у середньому на одиницю – 7,34 Гкал/год);

781 од. – потужністю 20 – 100 Гкал/год (у середньому на одиницю – 37,5 Гкал/год);

205 од. – потужністю понад 100 Гкал/год (у середньому на одиницю – 244,5 Гкал/год).

За видом палива:

на твердому паливі – 9720 од.;

на рідкому паливі – 456 од.;

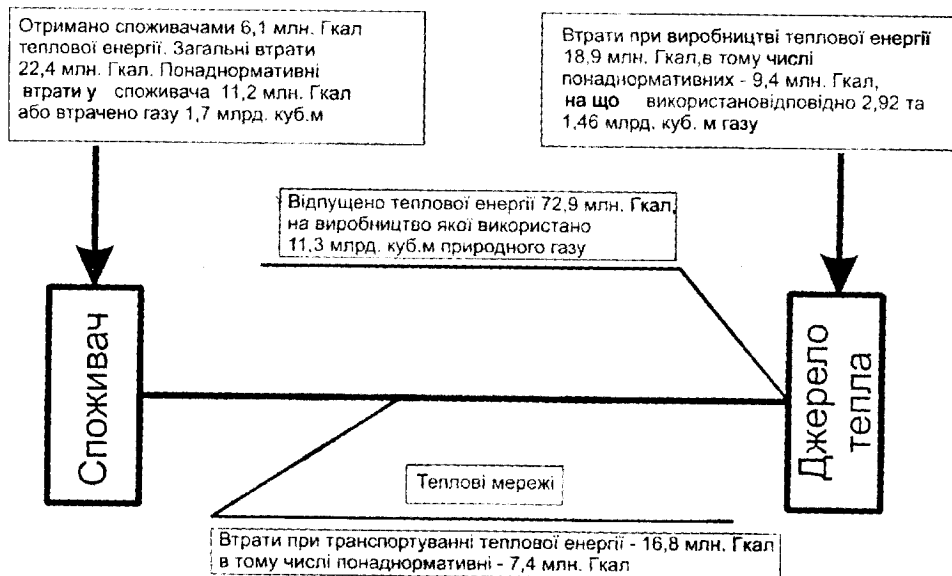
на газі – 22120 од.;

інше – 429 од.

Зазначимо, що стан котелень, які експлуатуються на підприємствах комунальної енергетики, є критичним. Загальна кількість установлених котлів становить 75831 одиниць, з них 16 254 котлів (21,4 %) з терміном експлуатації понад 20 років. Значна кількість котлів (38 %) малоефективні, їхній коефіцієнт корисної дії становить 60–70 %. Протяжність теплових мереж у двотрубному обчисленні становить 34 625,5 км, з них аварійних – 5 491,4 км, або 15,8 % від загальної протяжності мереж.

Аналіз втрат теплової енергії і природного газу, що використовується на виробництво втраченої теплової енергії в комунальній теплоенергетиці у схемах централізованого тепlopостачання, свідчить про те, що втрати під час

виробництва (на котельнях) сягають до 22 %, під час транспортування теплової енергії – до 25 %, але найбільше перевитрат природного газу під час споживання теплової енергії – до 30 %. На рис. 2.3 наведено аналіз втрат теплової енергії (за результатами теплопостачання населення і бюджетної сфери).



Загальні втрати при виробництві, транспортуванні і споживанні теплової енергії: $18,9 + 16,8 + 22,4 = 58,1$ млн. Гкал. В тому числі понаднормативні втрати: $9,4 + 7,4 + 11,2 = 26,0$ млн. Гкал. Втрати природного газу на виробництво понаднормативно втраченої енергії 4,03 млрд. куб. м

Рис. 2.3. Аналіз втрат теплової енергії
(за результатами теплопостачання населення і бюджетної сфери)

2.3. Напрями енергозбереження у житлово-комунальному секторі України

Проблема комплексного вирішення реконструкції будівель і споруд охоплює такі важливі питання: актуалізація законодавчої та нормативно-методичної бази у сфері реконструкції та реставрації об'єктів, а також розроблення механізмів щодо економічного заохочення інвесторів у цій справі; реконструкція житлових будинків – як перших масових серій, так і тих, що не відповідають вимогам сьогодення з погляду теплотехніки та акустики; реставрація пам'яток історії та архітектури; розширення, реконструкція, технічне переоснащення діючих промислових підприємств, об'єктів енергетики; удосконалення планувальних рішень щодо наявних промислових угруповань.

Характерно, що в Україні найбільше тепла витрачається на опалювання і на гаряче водопостачання (рис. 2.4). Вибираючи та упроваджуючи ефективні енергозберіжні заходи у житловому фонді, розрізняють:

- заходи, що стосуються опалювального устаткування та технічних постачальних та розподільних мереж і спрямовані на підвищення коефіцієнта корисної дії опалювального устаткування або підготовки гарячої води;
- заходи, які впливають на споживання теплової енергії і стосуються огорожувальних конструкцій будинку та вентиляції.



Рис. 2.4. Приблизна структура споживання енергії в житлових будинках

Значні втрати теплоти в недостатньо ізольованих будинках спричинені низьким опором теплопередачі огорожувальних конструкцій (трансмісійні втрати). В практиці будівництва впроваджуються будівельно-технічні заходи, які дають змогу істотно скоротити ці втрати і є економічно рентабельними. Стандарт теплопровідності будинку, який визначає потребу в тепловій енергії, має більше значення, ніж втрати тепла через систему опалення, яка забезпечує потребу в теплоті. Системи опалення проектуєть згідно з обсягами тепла, необхідними на опалювання конкретного будинку. Якщо теплову ізоляцію провести після модернізації системи опалення, це може призвести до надлишкового теплоспоживання. Тому насамперед необхідна енергосанація будинку, після чого – модернізація системи опалення.

Серед різноманітних способів підвищення якості житлових будинків – реконструкція, капітальний ремонт, модернізація, кожен з яких характеризується різними підходами до ліквідації морального та фізичного зносу будинку,

підвищення його енергоефективності та створення комфортних умов проживання. Для проектування реконструкції і капітального ремонту одноквартирних і багатоквартирних житлових будинків із умовною висотою до 73,5 м незалежно від форм власності та відомчої належності, а також проектування реконструкції будинків і приміщень різного призначення, що переобладнуються на житлові, застосовують ДБН В.3.2-2-2009 “Житлові будинки. Реконструкція та капітальний ремонт”.

Відповідно до цих норм *реконструкція житлового будинку* – це його перебудова з метою поліпшення умов проживання, експлуатації, зміни кількості житлових квартир, загальної і житлової площі тощо у зв’язку зі зміною геометричних розмірів, функціонального призначення, заміною окремих конструкцій, їхніх елементів, основних техніко-економічних показників.

Капітальний ремонт – ремонт житлового будинку з метою відновлення його ресурсу із заміною за необхідності конструктивних та огорожувальних елементів, систем інженерного обладнання, а також поліпшення його експлуатаційних показників.

У комплексі робіт з відновлення та збереження житлового фонду першочерговими є заходи щодо покращання експлуатаційних характеристик будинків, їхньої теплової санації, модернізації їхнього інженерного обладнання. Найрентабельнішими вони є за умови поєднання з поточним чи капітальним ремонтами будинку. Для кожного будинку необхідно розробляти конкретні програми енергозбереження, щоб забезпечити комфортніші умови проживання.

Реконструкція житлових будинків передбачає виконання комплексу робіт, що забезпечують ліквідацію фізичного та морального зносу, зокрема:

- утеплення та облицювання стін;
- заміна віконних та балконних блоків;
- засклення балконів та лоджій;
- заміна інженерного обладнання та автоматизація обліку та регулювання втрат енергоресурсів;
- надбудова мансард та заміна покрівель;
- здійснення протипожежних заходів;
- організація вхідних охоронних заходів;
- заміна або прибудова ліфтів для будинків, у яких понад п’ять поверхів.

Економічна ефективність заходів щодо реконструкції, капітального ремонту та санації житлового фонду досягається за рахунок:

- енергозбереження в будинку (економія ресурсів 30–40 %);
- продовження термінів експлуатаційного періоду на 20–30 років та зменшення обсягів нового будівництва;

- надбудови нових поверхів та мансард, збільшення житлового фонду на 15–20 % за ціною, в 1,5–2 рази нижчою, ніж нове житло;
- використання перших поверхів, підвалів, горищ для розміщення підприємств сфери послуг, що дає змогу отримати додаткові кошти, інвестиції;
- здійснення реконструкції без відселення мешканців;
- зменшення експлуатаційних затрат за рахунок модернізації інженерного обладнання.

Заходи щодо теплозахисту будівель необхідні під час зведення стін підвалів, зовнішніх стін, перекрить і покрить, щоб зменшити віддачу тепла із приміщень назовні. На рис. 2.5 наведено оцінку теплової ефективності енергозберігаючих заходів у будинках. Зусилля, передовсім, слід спрямовувати на підвищення рівня теплоізоляції будинків.

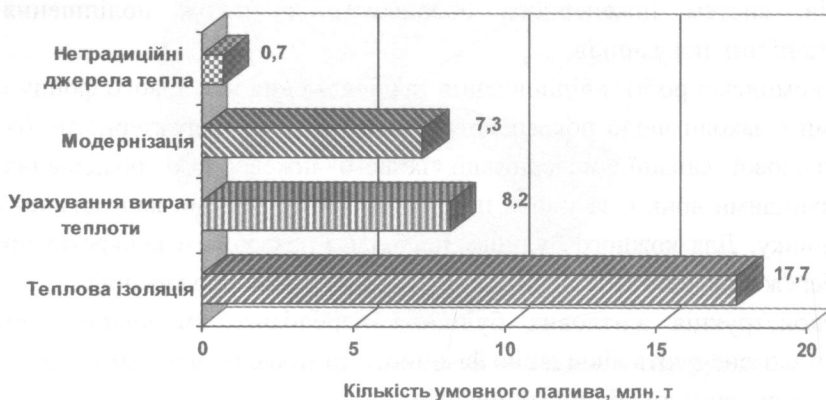


Рис. 2.5. Оцінка енергозберігаючих заходів у житлових та громадських будинках в Україні

Окупність конструктивних заходів щодо зниження тепловтрат визначається, насамперед, цінами на енергоносії та економічними принципами вкладання коштів у енергозбереження. Необхідне сприяння держави щодо стимулювання розвитку цього напрямку національної економіки. Наявність чинного пакета нормативно-економічних актів – це той шлях, який пройшли вже такі країни, як Данія, Швеція та інші, де досягнуто значних успіхів щодо енергозбереження в будинках та спорудах.

Можна по-різному оцінювати ступінь можливого вдосконалення систем інженерного обладнання і теплової ізоляції будівель, однак якщо використовуватимуться засоби, які сьогодні можна оцінити як технічно доступні й економічно виправдані, то резерви енергозбереження, розраховані для України, оцінюються величинами, наведеними в табл. 2.1.

**Максимально можливий внесок
енергозберігаючих заходів у зменшення річної потреби житлових
і громадських споруд України в первинній енергії палива (TACIS)**

Енергозберігаючі заходи	Зменшення річної потреби в первинній енергії палива, млн. ГДж		Частка, %
Теплова ізоляція	518		65
зокрема:			
зовнішніх стін		338	
холодних підлог		38	
покрить		69	
вікон		50	
теплопроводів		23	
Модернізація систем теплопостачання	275		35
зокрема:			
систем опалення		138	
систем гарячого водопостачання		96	
теплових пунктів		41	
Разом	793		100

2.4. Класифікація будинків за енергоощадністю

Поняття “енергоощадність” і “енергоощадний будинок” в Україні ще недостатньо використовуються. З енергоощадністю пов’язані передусім втрати енергії (тепла) через зовнішні захисні конструкції будинків – стіни, вікна, двері, підлоги – і постачання енергії в приміщення (системи опалювання) замість втраченої через захисні конструкції для того, щоб підтримати сталий тепловий режим у приміщеннях.

Щоб заощаджувати більше тепла, треба розумно розраховувати і конструювати огорожувальні конструкції. Хоч у “Будівельних нормах і правилах” (СНиП) II-3-79** “Строительная теплотехника” було закладено вимоги щодо енергоощадного розрахунку зовнішніх захисних конструкцій під час виготовлення проектної документації, насправді вони не виконувались. Однією з причин цього були низькі ціни на паливо, тому окупність капітальних затрат розтягувалась на багато років і втрачала сенс. В основу розрахунку зовнішніх захисних конструкцій будинків були покладені лише санітарно-гігієнічні вимоги і, як результат, – для всіх побудованих у радянській Україні будинків

характерний високий рівень енергоспоживання і, відповідно, великі експлуатаційні витрати. Сьогодні ці будинки потребують реконструкції, а отже, збільшення термічного опору зовнішніх захисних конструкцій, тобто істотного зниження рівня теплоспоживання.

Енергоощадність будинку оцінюють величиною питомого енерговикористання – це показник втрат теплоти на 1 м^2 площі будинку за опалювальний період, $\text{кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$ або витрати тепла на нагрівання 1 м^3 об'єму будинку за опалювальний період, $\text{кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^3\cdot\text{рік})$. За значенням Q будинку можна встановити, низькою, середньою чи високою є енергоощадність будинку, порівнявши це значення з нормативним $Q_{\text{норм}}$. Залежно від ступеня утеплення будинків (тобто від величини термічних опорів захисних конструкцій) будинки можна розділити на три групи: добре-, середньо- і слабоутеплені. Відповідно до цього можна говорити про те, що будинок має високу, середню або низьку енергоощадність.

Прийнята в Європі класифікація будівель за їхньою енергоощадністю наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Класифікація будівель за енергоощадністю

Будинки	Річна витрата теплової енергії на опалення, $\text{кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$
Старі будівлі (будівлі до 1970-х років)	500–300
Нові будівлі (збудовані до 2000 р.)	не більше ніж 150
Будівлі низького споживання енергії (з 2002 р. не можна будувати нові будівлі за нижчим стандартом)	не більше ніж 60
Пасивний будинок (прийнято закон, згідно з яким після 2019 р. в Європі не можна будувати будинки за нижчим стандартом)	не більше ніж 15
Будинок нульової енергії (не потребує додаткової енергії, крім тієї, що виробляє)	0
Будинок плюсової енергії (за рахунок сонячних батарей, колекторів, рекуператорів, теплових pomp виробляє більше енергії, ніж необхідно для опалення)	–

На рис. 2.6 показано потребу в паливі в літрах за рік на опалення звичайної двокімнатної квартири в багатоповерховому будинку, побудованому за нормами теплозахисту, що були чинними в Україні до 1994 р. (рис. 2.6, а) і введеними з 1995 р. (рис. 2.6, б). Наведено втрати палива, які компенсують тепловтрати через стіни, вікна, стелю і підлогу, а також втрати через витяжну вентиляцію.

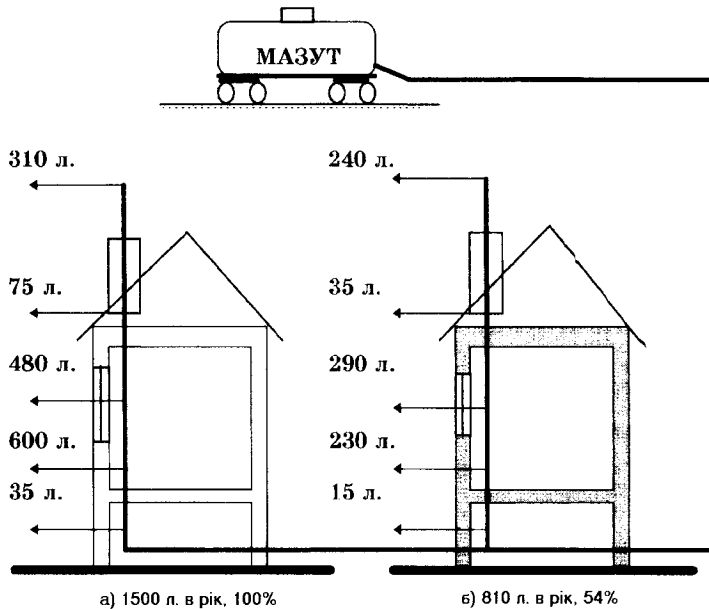


Рис. 2.6. Потреба в паливі на рік на опалення двокімнатної квартири, л

Порівняльні дані витрат теплової енергії на опалення будинків у країнах Західної Європи наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

**Порівняльні дані витрат теплової енергії
на опалення будинків у країнах Західної Європи**

Будинки	Річні втрати теплової енергії Q, кВт·год/(м ² ·рік)
Наявні в Україні та Польщі	від 220 до 400 (до термомодернізації)
Новозбудовані в Польщі	від 120 до 150
Сьогодні запроєктовані в Польщі	від 90 до 120
Сьогодні проєктовані, термореконструйовані в західних країнах	від 60 до 90
Малоенергетичні	< 80
Поодинокі в західних країнах	від 20 до 25
Сьогодні проєктовані в Україні	від 120 до 165 (I зона)

Критерієм, за яким визначають якість проєкту та вартість його реалізації, є **теплова ефективність будівлі**. Показником теплової ефективності називають величину мінімально можливих витрат енергії для досягнення умов комфортності в заданому приміщенні, віднесена до дійсних затрат згідно з проєктним рішенням:

$$\eta = \frac{Q_d}{Q_0}.$$

Цей показник дає змогу встановити відповідність між параметрами навколишнього середовища, проектними об'ємно-планувальними рішеннями огорожувальних конструкцій та параметрами теплотехнічного обладнання для створення мікроклімату та комфортних умов перебування людей.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2006 введено поняття **енергетичної ефективності будинку** – це властивість теплоізоляційної оболонки будинку та його інженерного обладнання забезпечувати оптимальні мікрокліматичні умови приміщень за фактичних або розрахункових витрат теплової енергії на опалення будинків. За показником енергетичної ефективності будинки належать до певного класу (класифікація наведена в розділі 8)

$$[(q_{\text{буд}} - E_{\text{max}}) / E_{\text{max}}] 100 \%,$$

де $q_{\text{буд}}$ – розрахункове або фактичне значення питомих тепловитрат; E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловитрат (додаток А).

До енергоефективних належать будівлі, які відповідають архітектурно-конструктивним й інженерно-технологічним вимогам енергозбереження, що передбачає ефективне використання об'єму, високу теплоємність, оптимальну теплоізоляцію огорожень, відсутність неконтрольованої інфільтрації, використання теплоакумулювальних пристроїв, високу ефективність тепловентиляційних систем.

Теплозахист будівель та споруд залежить від багатьох факторів, і його найефективніше вирішення можливе за умови комплексного врахування поверховості, планувальних рішень, орієнтування на місцевості, площі прорізів у стінових огороженнях і їхньої герметичності, правильного вибору будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, систем теплопостачання і вентиляції.

На сучасному етапі повинна бути гарантована можливість реалізації різних за характером (інколи навіть протилежних) вимог теплозахисту будівель та споруд. Наприклад, необхідно забезпечити:

- стабільний тепловий режим в різні пори року, що потребує відповідної теплоакумулювальної здатності будівельних конструкцій;
- швидке нагрівання приміщень, особливо для житлових будівель у години перебування в них основної кількості мешканців;
- швидке охолодження приміщень (у нічні години і жаркі літні дні).

Нині житлово-комунальний сектор та бюджетна сфера споживають понад 900 млн. ГДж, що еквівалентно 25 млрд. м³ природного газу. Масово упроваджуючи енергоощадні технології у реконструкцію старої забудови в Україні, річну витрату паливно-енергетичних ресурсів у будівлях можна зменшити більше ніж на третину, або понад 300 млн. ГДж, що еквівалентно

8 млрд. м³ природного газу. Якщо не здійснювати термомодернізацію житлово-комунального сектору в Україні, то доведеться змиритися з перспективою жити в країні, що засмічує навколишнє середовище продуктами спалювання палива, якого їй не вистачає через постійне зростання цін.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. *Охарактеризуйте стан житлового фонду України.*
2. *Наведіть класифікацію житлового фонду за роками будівництва.*
3. *Проаналізуйте витрати теплової енергії в будівельному секторі України.*
4. *Охарактеризуйте витрати енергії в житлово-комунальному секторі.*
5. *Оцініть стан обладнання, яке експлуатується на підприємствах комунальної енергетики.*
6. *Назвіть напрями енергозбереження в житлово-комунальному секторі.*
7. *Чим визначається фізичний знос будівель?*
8. *Як оцінити моральний знос житлового фонду?*
9. *В якій послідовності необхідно здійснювати енергосанацію будівель?*
10. *За якими показниками оцінюють енергоощадність будинку?*
11. *Наведіть класифікацію будівель за енергоощадністю.*
12. *Що таке енергоефективність будівель?*

Розділ 3

ОСНОВИ ТЕПЛОФІЗИКИ БУДІВЕЛЬ

3.1. Предмет та об'єкт вивчення будівельної теплофізики

Теплофізика як окрема наукова дисципліна виділилася з фізики і є результатом диференціації останньої за видами енергії (механічна – механіка, електрична – електродинаміка, тепла – теплофізика тощо).

З одного боку, теплофізику за суттю та змістом можна розглядати як термодинаміку – науку, інтенсивний розвиток якої, насамперед як теорії теплових двигунів, нараховує не одне століття. З іншого боку, стрімкий розвиток фізики, інтенсивне зростання виробництва, перетворення, зберігання, транспортування і використання теплової енергії до кінця ХХ ст. не тільки завершили формування теплотехніки як галузі знання і виробництва, але й сформували порівняно молоду наукову дисципліну – теплофізику, що є теоретичною основою теплотехніки. Результатом злиття цих двох наукових дисциплін стала інтегральна наука теплофізика або, як її тепер називають, технічна теплофізика.

Раніше теплофізику часто поділяли не за основним змістом теплофізичних процесів, а за галузями виробництва. Як наслідок, виникла теплофізика будівельна, металургійна, технологічна тощо. Основи будівельної теплофізики закладено в СРСР в 20-ті роки ХХ ст.

Водночас математичні моделі основних процесів теплообміну (теплопровідність, конвекція, радіація, теплообмін із внутрішніми джерелами теплоти) однакові, незалежно від того, в яких об'єктах їх розглядають: у космосі, в енергетиці, у металургії, сільському господарстві тощо. Задання конкретних умов однозначності для математичної моделі теплових явищ змінює тільки зовнішню форму вираження процесів тепло- і масообміну стосовно розглянутих об'єктів. Це сповна стосується будівельної теплофізики та будівельної теплотехніки, суть яких – вивчення законів перенесення теплоти, вологи й повітря відносно будівельних матеріалів і огорожувальних частин будинків (рис. 3.1).

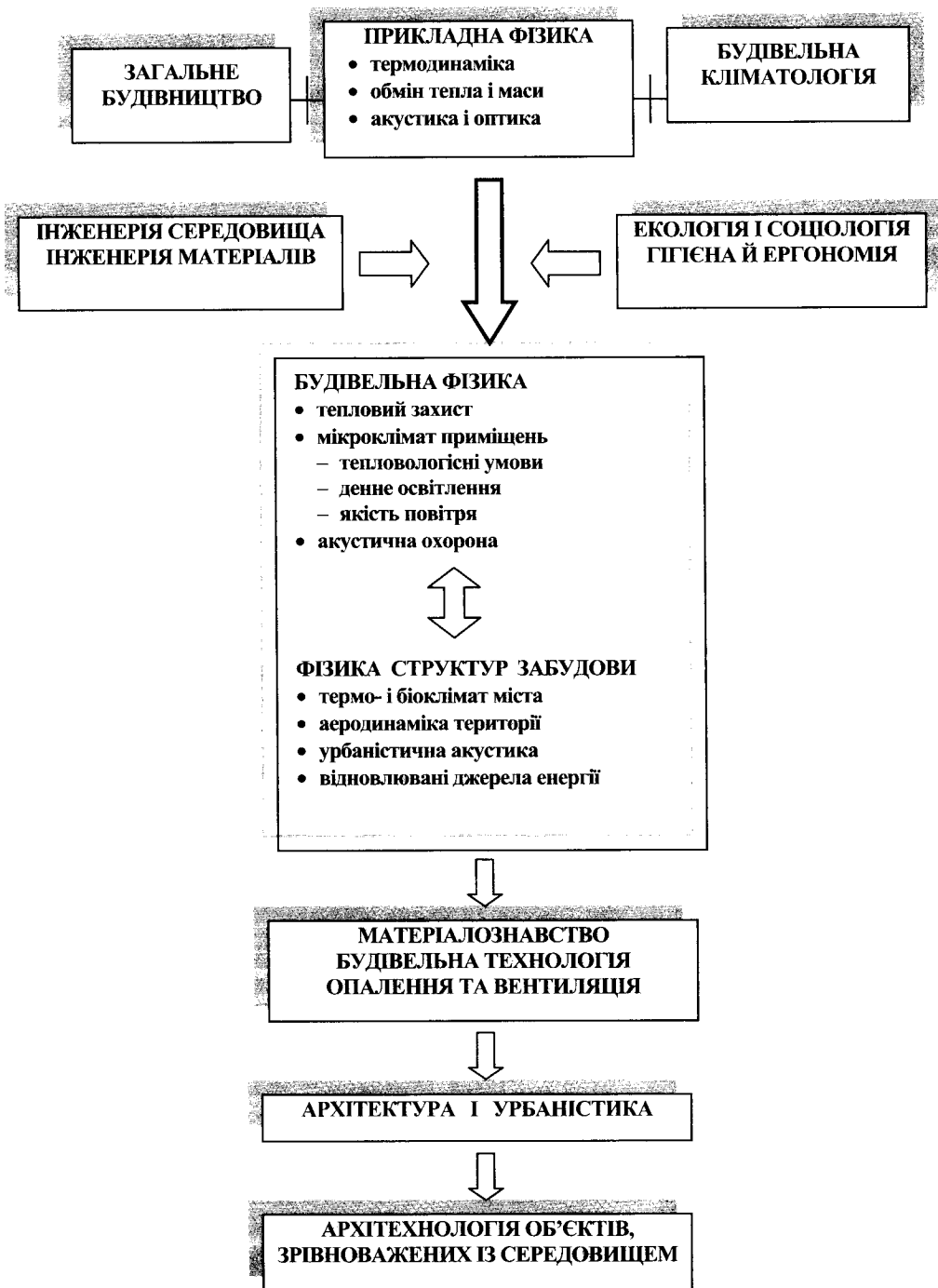


Рис. 3.1. Будівельна фізика в ієрархії галузей знань, пов'язаних з будівельною діяльністю

Роль фундаментальних наук, передовсім таких як теплотехніка і її теоретичні основи – теплофізика, в яку входять технічна термодинаміка та теплопередача, особливо важлива в умовах розвитку науки і техніки на етапі реформування економіки, всіх галузей промисловості та сільського господарства, широкого застосування нових методів, спрямованих на економію паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів.

У наш час на постачання теплом промислових, цивільних і житлових об'єктів витрачається приблизно третина всіх паливно-енергетичних ресурсів країни. Тому забезпечення раціонального теплового режиму будинків, оптимальне використання теплоти в теплогенерувальних установках, системах теплопостачання, опалення, вентиляції та кондиціонування має першочергове значення. Від теплотехнічних властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків залежить кількість теплоти, яку втрачає будинок у холодну пору року (для опалюваних будинків) і яка надходить у будинок у теплу пору року. Це, своєю чергою, визначає: навантаження на систему опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а отже, їхню вартість; стабільність температурного режиму в приміщенні у разі змін температури, швидкості повітря зовні будинку, тепловіддачі системи опалення будинку; температуру на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції і можливість утворення конденсату на ній, а також вологісний режим, що впливає на теплозахисні властивості огороження і його довговічність.

Вивчення законів тепловологопереносу та повітропроникнення допомагає інженеру-проектувальнику раціонально проектувати зовнішні огорожувальні конструкції будинків з урахуванням всіх факторів, які можуть вплинути на їхню експлуатацію. Це, своєю чергою, дає змогу збільшити термін експлуатації будинків, знизити витрати теплової енергії під час їх теплопостачання. Особливо велике значення має знання та правильне застосування теплофізичних законів в умовах широкого використання в будівництві нових матеріалів і технологій.

3.2. Основні поняття і визначення

Теплота – форма енергії, пов'язана зі зміною внутрішньої енергії при переході з одного тіла до іншого за рахунок хаотичного зіткнення молекул.

Теплові параметри тіл виражаються їхньою температурою, вимірюваною у градусах Цельсія ($^{\circ}\text{C}$) або Кельвіна (K). Загальне уявлення про залежність інтенсивності руху мікрочастинок тіла від температури дає атомно-молекулярне вчення про будову речовини. Так, швидкість хаотичного руху атомів і молекул та температура тіла взаємозв'язані – чим вища температура тіла, тим

більша швидкість руху його атомів, молекул та інших частинок, і навпаки. Дж. Максвелл показав, що чим вища температура тіла, тим більша середня кінетична енергія мікрочастинок (молекул, атомів, електронів). Внутрішня енергія тіла складається з кінетичної енергії хаотичного (теплого) руху атомів і молекул та потенціальної енергії їхньої взаємодії. Залежно від агрегатного стану речовини внесок цих складових різний: внутрішня енергія газів в основному зумовлена кінетичною енергією теплового руху його частинок; у твердих тілах вона фактично визначається потенціальною енергією їхньої взаємодії; у рідинах частки кінетичної та потенціальної енергії приблизно рівні.

Передавання енергії у формі теплоти, що відбувається між тілами, які мають різну температуру, називається *теплообміном*. Теплообмін між тілами – це обмін енергією між молекулами, атомами, електронами внаслідок їхнього інтенсивного руху. Рушійною силою цього процесу є різниця температур між тілами; теплота переходить від нагрітішого тіла до менш нагрітого. Передавання тепла – це явище необоротне.

Відповідно до сучасних понять термодинаміки **теплотою** можна назвати тільки певний мікроскопічний спосіб передавання енергії.

Інша форма зміни внутрішньої енергії спостерігається під час переміщення маси, що складається з великої кількості частинок, під дією будь-яких сил; загальною мірою передавання енергії таким способом є **робота**. Тобто робота є макроскопічним способом передавання енергії від системи до середовища або із середовища до системи.

3.3. Види теплообміну

У природі розрізняють три принципово різні способи передавання теплоти від одних тіл до інших:

- теплопровідність;
- конвекція;
- теплове випромінювання або променевий теплообмін.

Теплопровідність – перенесення теплоти внаслідок хаотичного руху частинок, які безпосередньо дотикаються. Це може бути як рух молекул, так і коливання атомів або дифузія електронів. Частинки рухаються зі швидкостями, пропорційними до їхньої температури. Розігріті мікрочастинки передають частину своєї енергії сусіднім частинкам, збільшуючи їхню кінетичну енергію (звісно, і температуру). Таке передавання енергії в результаті безпосередньої взаємодії частинок тіл здійснюється ніби ланцюжком, шар за шаром, і з часом температура всіх частин тіла вирівнюється. Перенесення речовини при цьому не відбувається.

Передавання теплоти від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих, яке веде до вирівнювання температур без перенесення речовини, називається *теплопровідністю*.

У твердих монолітних тілах переміщення теплоти здійснюється тільки за рахунок теплопровідності.

Конвекція. Під час передавання теплоти у рідинах і газах поряд з теплопровідністю відбуваються теплообмінні процеси, що супроводжуються перенесенням речовини. Неоднорідність густини холодних і теплих шарів спричиняє виникнення архімедової сили, яка змушує легші теплі шари підніматися вгору, а важчі холодні опускатися вниз. Такий теплообмін з перенесенням речовини відбувається доти, доки існує різниця температур. Перенесення теплоти може здійснюватись в умовах природної (вільної) конвекції, що зумовлено різницею густини в різних точках об'єму рідини чи газу, яка виникає внаслідок різниці температур у цих точках, або в умовах вимушеної конвекції під час вимушеного руху всього об'єму рідини чи газу.

Теплообмін унаслідок руху і перемішування макроскопічних об'ємів газу чи рідини називається *конвекцією*.

Конвекційний теплообмін зумовлює багато природних явищ і процесів, зокрема виникнення вітру. Завдяки конвекції повітря в кімнаті здійснюється її обігрівання від системи опалення: потоки теплого повітря, як легшого, від радіатора піднімаються вгору, а їх заміщує важче холодне повітря; воно, своєю чергою, нагрівається від радіатора, стає теплим і піднімається вгору. Таке постійне переміщення холодного і теплого повітря вирівнює його температуру в різних куточках кімнати.

Променевий теплообмін. Попередні два види передавання тепла передбачали наявність певного середовища і носіїв взаємодії, завдяки яким відбувався теплообмін. У випадку теплопровідності – це мікрочастинки (атоми і молекули), з яких складається речовина. Конвекційний теплообмін пояснюється переміщенням холодних і теплих потоків рідин чи газів, які спричинені неоднорідностями густини середовища. Існує, проте, й такий вид теплообміну, що не потребує наявності середовища.

Цей особливий вид теплообміну називається променевим, або **тепловим, випромінюванням**. Воно подібне до світлового випромінювання і за природою нічим від нього не відрізняється, хоча разом з тим має певні специфічні закономірності. За променевого теплообміну передавання теплоти зумовлене перетворенням частини внутрішньої енергії тіла на енергію випромінювання, яка поширюється у просторі й поглинається іншими тілами. Унаслідок поглинання тілом енергії випромінювання відбувається її зворотне перетворення на внутрішню енергію. Так здійснюється променевий теплообмін, який складається з процесів випромінювання і поглинання. Завдяки випромінюванню

теплота передається через усі променепрозорі середовища, зокрема в космосі через вакуум, де такий теплообмін є єдиним способом передавання теплоти.

Складний теплообмін

У реальних умовах теплота передається не одним способом, а комбінованим. Один зі способів переважає, а іншими нехтують, зважаючи на їхній незначний внесок у теплообмін. Наприклад, в теплообміні між твердою стінкою і газовим середовищем тепло передається одночасно конвекцією, теплопровідністю і випромінюванням. При цьому домінують конвекція.

Тепловіддача та теплопередача є видами складного теплообміну.

Тепловіддача – процес передавання теплоти від стінки до газового (рідкого) середовища чи в зворотному напрямку, що поєднує теплопровідність та конвекцію, які можуть супроводжуватись тепловим випромінюванням.

Теплопередача – процес, що полягає у передаванні теплоти від нагрітого середовища (рідина, газ) до менш нагрітого через стінку, що їх розділяє.

Процес теплообміну називається *стаціонарним*, якщо температура у всіх точках середовища не змінюється у часі. Процес, під час якого температура змінюється у часі, називається *нестационарним*.

3.4. Кількісні характеристики перенесення теплоти

Кількість теплоти, теплота процесу – кількість переданої енергії при теплообміні.

Одиницею вимірювання кількості теплоти довгий час слугувала кілокалорія (ккал), тобто кількість теплоти, витраченої на нагрівання одного літра води на 1 °С за атмосферного тиску.

У системі одиниць SI кілокалорія замінена джоулем (Дж) і кілоджоулем (кДж). **Один джоуль** дорівнює роботі, яка здійснюється під час переміщення точки прикладеної сили, що дорівнює 1 Н, на відстань 1 м у напрямку сили, що діє:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Енергія, кількість теплоти і робота є еквівалентними фізичними поняттями. “Механічний еквівалент теплоти” виражається таким співвідношенням:

$$1 \text{ ккал} = 4,187 \text{ кДж} = 4,187 \times 10^3 \text{ Вт}\cdot\text{с}.$$

Теплова потужність

$$1 \text{ ккал/год} = 4187 \text{ Вт}\cdot\text{с} / 3600 \text{ с} = 1,163 \text{ Вт} \text{ або } 1 \text{ Вт} = 0,860 \text{ ккал/год}.$$

Останнім часом для оцінки кількості теплоти використовують:

$$1 \text{ Гкал} = 4,2 \text{ ГДж}; \text{ або } 1 \text{ ГДж} = 0,24 \text{ Гкал}.$$

$$1 \text{ МДж} = 10^6 \text{ Дж}.$$

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 1000 \text{ Вт}\cdot 3600 \text{ с} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Потужність теплового потоку – кількість теплоти, яка передається за одиницю часу від одного тіла до іншого і характеризує швидкість теплопередачі $[\text{Дж/с}] = [\text{Вт}]$.

Густина теплового потоку (питомий тепловий потік) – кількість теплоти, яка передається за одиницю часу від одного тіла до іншого через одиницю поверхні

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} [\text{Вт/м}^2].$$

Температурне поле і температурний градієнт

Завдання теплообміну – встановлення залежності між тепловим потоком і розподілом температур в середовищах. Сукупність значень температур у певний момент часу для всіх точок середовища називається температурним полем. Температура в заданій точці залежить від координат точки (x, y, z) і змінюється в часі, тобто нестационарне температурне поле виражене функцією:

$$t = f(x, y, z, \tau).$$

У випадку стаціонарного температурного поля:

$$t = f(x, y, z).$$

Температура є скалярною величиною, а температурний потік, пов'язаний з перенесенням теплоти, є векторною величиною. Якщо розрізати тіло площиною і з'єднати точки з однаковою температурою, то одержимо лінії постійних температур. У просторі геометричне місце точок з однаковою температурою називається ізотермічною поверхнею. Такі поверхні ніколи не перетинаються. Температура в тілі є незмінною вздовж ізотермічної поверхні і змінюється у напрямках, непаралельних до ізотермічних поверхонь.

Так (рис. 3.2), температура змінюватиметься відносно точки O у будь-якому напрямку в бік поверхні Π . При цьому перепад температури на одиницю довжини зростатиме з наближенням напрямку до нормалі, в якому досягне максимуму. Зміна температури в напрямку нормалі до ізотермічної поверхні характеризується температурним градієнтом. У разі зменшення відстані між ізотермічними поверхнями різниця наближена до границі. Температурний градієнт спрямований у бік збільшення температури і числово дорівнює границі відношення часткової похідної температури по нормалі.

$$\lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right)_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{\delta t}{\delta n} = \text{grad} t. \quad (2)$$

Значення температурного градієнта визначається швидкістю зміни температури. Тепловий потік спрямований по лінії температурного градієнта, але в протилежний бік і пропорційний до нього, тобто кількість теплоти, що передається через одиницю поверхні за одиницю часу:

$$g \sim (\Delta t / \Delta n).$$

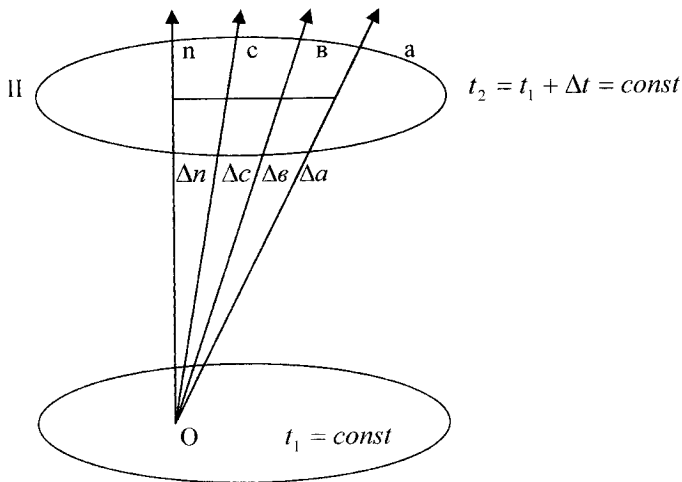


Рис. 3.2. Ізотермічна поверхня і температурний градієнт

3.5. Передавання теплоти теплопровідністю

Передавання теплоти від одного тіла до іншого описується *кінетично-молекулярною теорією будови тіл*. Ця теорія дає змогу виявити значну кількість явищ, що виникають під час безпосереднього зіткнення двох тіл, які відрізняються фізичним станом, наприклад, температурою, тиском або хімічним складом. Це так звані *явища вирівнювання*, як правило, необоротні, пов'язані з тепловим рухом частинок. Ця теорія описує явища теплопровідності, дифузії та багато інших.

Якщо в початковий момент у цій системі в різних місцях існує різниця певних величин, то внаслідок мікрорухів частинок за певний час відбувається вирівнювання, хіба що спрямовано ззовні підтримується така різниця, щоб викликати **явище припливу або транспорту**.

Теплопровідність пов'язана з транспортом енергії через частинки (з рухом частинок, що переносять кінетичну енергію).

Основним законом передачі теплоти теплопровідністю є закон Фур'є: кількість теплоти dQ , що передається теплопровідністю через елемент поверхні dF , перпендикулярно до теплового потоку, за час dt , прямо пропорційна до температурного градієнта dt/dn поверхні dF та часу dt .

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dn} dF \cdot dt$$

або густина теплового потоку

$$q = -\lambda \cdot dt/dn,$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності.

Знак “–” означає, що енергія передається від теплішого тіла до холоднішого, а отже, в бік, протилежний до зростання температури $+dt$.

Коефіцієнт теплопровідності λ характеризує здатність тіла проводити тепло за рахунок теплопровідності й показує, скільки теплоти проходить за рахунок теплопровідності за одиницю часу через одиницю площі теплообміну в разі зменшення температури на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1 K) на одиницю довжини по нормалі до ізотермічної поверхні:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau} \text{ [Вт/(м}\cdot\text{К)]}.$$

Значення коефіцієнта теплопровідності залежить від властивостей речовини (її природи, структури, вологості) та параметрів стану (тиску, температури).

Залежно від агрегатного стану речовин і особливостей перенесення ними теплової енергії за звичайних температур умовний ряд речовин за значенням їхньої теплопровідності (у послідовності зростання) має вигляд:

гази < полімери < рідини < склоподібні тіла < кристали < метали.

У табл. 3.1 наведено значення коефіцієнтів теплопровідності деяких речовин.

Таблиця 3.1

Коефіцієнти теплопровідності деяких матеріалів

Речовина	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)
Гази	0,02–0,58
Рідини	0,09–0,70
Метали	2,3–418,0
Будівельні матеріали	0,03–2,90
Теплоізоляційні матеріали	0,03–0,17

Оцінити значення коефіцієнтів теплопровідності λ речовин, які перебувають у різних агрегатних станах, можна, знаючи механізм поширення в них теплової енергії.

Тверді матеріали. В загальному випадку в твердих тілах теплота поширюється за рахунок теплопровідності за двома механізмами: за допомогою вільних електронів (електронна теплопровідність λ_e) й атомними коливаннями (фононна або граткова теплопровідність λ_p). Фононна теплопровідність характерна для діелектриків, а електронна переважає у металах.

Метали. Властивість металів добре проводити теплоту зумовлена їхньою будовою. У металах існують вільні електрони, що перебувають у тепловій рівновазі з коливаннями атомів, що їх оточують. Ці електрони рухаються з великими швидкостями і швидко переносять енергію з однієї частини металу

до іншої. Частина енергії передається також внаслідок енергії коливного руху. За рахунок того, що електрони рухаються, передається набагато більше теплоти, ніж через коливання кристалічної ґратки. Серед металів найкращими провідниками тепла є чисті золото, срібло і мідь (табл. 3.2). Домішки значно зменшують коефіцієнт теплопровідності. Так, для сталі він становить 48 Вт/(м·К).

Таблиця 3.2

Теплопровідність металів та сплавів, Вт/(м·К), при 20 °С

Al	W	Fe	Co	Ni	Cu	Ag	Au	Zn	Sn	Сталь	Чавун
210	169	74	70	62	380	418	312	113	66	48	63

Неметалеві тверді тіла (дерево, цегла, тканини, більшість пластмас, папір тощо) значно гірше проводять теплоту, вони практично не мають вільних електронів і теплота передається тільки за рахунок співударянь структурних частин речовини. Такий процес передавання тепла є повільнішим, ніж процес, що проходить в металах. Значення коефіцієнта теплопровідності неметалевих твердих тіл залежить від ступеня пористості й характеру пор, структури, вологості, температури, а також від виду матеріалу.

Найістотніше на теплопровідність впливає пористість. Чим менша середня густина матеріалу, тим більше в ньому пор, наповнених повітрям. Оскільки повітря характеризується низькою теплопровідністю [$\lambda_{\text{пов}} = 0,023$ Вт/(м·К)], то коефіцієнт теплопровідності сухих легких пористих матеріалів невеликий і має проміжне значення між теплопровідністю твердої речовини та повітря.

Проте показник теплопровідності залежить не лише від кількості, а й від розміру та форми пор. Будівельні матеріали з дрібними й закритими порами менш теплопровідні, тоді як матеріали з великими та сполученими порами характеризуються вищим коефіцієнтом теплопровідності, оскільки в таких порах виникає рух повітря, що супроводжується перенесенням теплоти (конвекція).

Слід враховувати, що матеріали того самого походження, але різного структурного стану можуть мати різну теплопровідність. Так, волокнисті матеріали мають неоднаковий коефіцієнт теплопровідності в різних напрямках. Наприклад, для сухої соснової деревини: якщо тепловий потік напрямлений вздовж волокон, то $\lambda = 0,35$ Вт/(м·К), а якщо впоперек, то $\lambda = 0,18$ Вт/(м·К).

Теплопровідність кристалічних речовин вища, ніж аморфних. Наприклад, такі щільні мінеральні матеріали, як граніт і скло із середньою густиною майже 2700 кг/м³, значно різняться за коефіцієнтом теплопровідності: для граніту (кристалічний матеріал) $\lambda = 2,8$ Вт/(м·К), для скла (аморфний матеріал) $\lambda = 1,0$ Вт/(м·К).

Матеріали органічного походження порівняно з мінеральними за однакової середньої густини мають менший коефіцієнт теплопровідності.

Теплопровідність будівельних матеріалів визначають експериментально у лабораторіях за допомогою спеціальних приладів та установок. Проте, врахувавши загальну залежність коефіцієнта теплопровідності від середньої густини і скориставшись емпіричною формулою проф. Н.П. Некрасова, можна орієнтовно визначити коефіцієнт теплопровідності для повітряно-сухих (з природною вологістю 1–7 %) матеріалів мінерального походження:

$$\lambda = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16,$$

де d – відносна густина матеріалу.

Вологість. Зміна вологості будівельних матеріалів істотно впливає на їхню теплопровідність. Оскільки коефіцієнт теплопровідності води $\lambda_w = 0,58$ Вт/(м·К), тобто у 25 разів більший, ніж повітря, то пори, заповнені водою, легше пропускають тепловий потік, і коефіцієнт теплопровідності водонасичених матеріалів підвищується. Тому умови експлуатації огорожувальних конструкцій вибирають залежно від вологісного режиму приміщень, який визначається відносною вологістю внутрішнього повітря (табл. 3.3). У додатку Б наведено значення коефіцієнтів теплопровідності будівельних матеріалів з урахуванням умов експлуатації.

Таблиця 3.3

Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях

Вологісний режим приміщень	Відносна вологість повітря, % $12 < t_v \leq 24$ °C	Умови експлуатації
Сухий	< 50	А
Нормальний	50 – 60	Б
Вологий	61 – 75	Б
Мокрий	> 75	Б

Примітка. Матеріали внутрішніх конструкцій будинків із нормальним режимом експлуатації розраховують для умов експлуатації А.

Залежність коефіцієнта теплопровідності λ від вологості можна подати формулою:

$$\lambda_w = \lambda_c + \Delta \lambda W,$$

де λ_w і λ_c – коефіцієнти теплопровідності відповідно вологого й сухого матеріалу, Вт/(м·К); $\Delta \lambda$ – приріст коефіцієнта теплопровідності, Вт/(м·К), на кожний відсоток збільшення вологості W (для мінеральних матеріалів

$\Delta\lambda = 0,0023$ за додатних температур і $0,0047$ – за від’ємних; для органічних матеріалів $\Delta\lambda$ дорівнює відповідно $0,0035$ і $0,0047$); W – вологість матеріалу, % за об’ємом.

Теплопровідність насичених водою й заморожених матеріалів ще вища, оскільки теплопровідність льоду приблизно в 4 рази більша, ніж води (у 100 разів більша, ніж повітря): $\lambda_{\text{льоду}} = 2,3$ Вт/(м·К). Отже, використовуючи матеріали для теплової ізоляції у місцях з підвищеною вологістю, слід передбачити їх гідроізоляцію.

Коефіцієнт теплопровідності дещо змінюється також під дією температури, за якої передається тепловий потік. Залежність λ від температури для більшості матеріалів має лінійний характер:

$$\lambda_{\tau} = \lambda_0 + \alpha(T - 273), \text{ або } \lambda_{\tau} = \lambda_0(1 + \alpha t),$$

де λ_{τ} і λ_0 – коефіцієнти теплопровідності відповідно при температурі T і нульовій, Вт/(м·К); α – зміна коефіцієнта теплопровідності в разі зміни температури на один градус, Вт/(м·К); T – температура матеріалу, К.

Коефіцієнт теплопровідності збільшується зі зростанням температури, оскільки збільшується кількість зіткнень елементарних частинок з підвищенням температури, а в твердому неметалі відбуваються інтенсивніші пружні коливання.

Для рідин і металів коефіцієнт теплопровідності зі збільшенням температури дещо зменшується, на відміну від інших будівельних матеріалів, для яких λ зростає. Під час підвищення температури рідини відстань між молекулами збільшується, рідина розширюється, а теплопровідність зменшується. Для металів зменшення коефіцієнта теплопровідності із підвищенням температури пояснюється тим, що зростає опір кристалічної ґратки руху вільних електронів зі збільшенням інтенсивності коливань атомів.

Теплопровідність – один з найважливіших показників, що характеризують теплостійкі властивості матеріалів, за яким визначають їхню належність до групи теплоізоляційних або конструктивно-теплоізоляційних. Зокрема, коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційних матеріалів має бути не більшим, ніж $0,17$ Вт/(м·К), а середня густина – не більшою за 500 кг/м³.

З теплопровідністю пов’язана така важлива характеристика зовнішніх огорожувальних конструкцій, як **термічний опір R_{δ}** , що є величиною, оберненою до λ :

$$R_{\delta} = \delta/\lambda,$$

де R_{δ} – термічний опір одношарової огорожувальної конструкції, м²·К/Вт; δ – товщина стінового матеріалу, м; λ – коефіцієнт теплопровідності стінового матеріалу, Вт/(м·К).

Від показника термічного опору залежить товщина зовнішніх стін і витрата палива на опалення будівель. Визначаючи термічний опір багатшарової огорожувальної конструкції, враховують коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів, з яких вона складається:

$$R_{\delta} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

де $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ – товщина окремого шару, м; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – коефіцієнти теплопровідності окремих шарів, Вт/(м·К).

Термічний опір термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховують за формулою:

$$R_{\delta} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i F_i}{F_{\Sigma}},$$

де R_i – термічний опір термічно однорідної зони, що визначається експериментально або на підставі результатів розрахунків двовимірного (тривимірного) температурного поля й обчислюється за формулою:

$$R_i = \frac{\bar{\tau}_{ej} - \bar{\tau}_{zj}}{q_j},$$

де $\bar{\tau}_{ej}, \bar{\tau}_{zj}$ – середні температури внутрішньої і зовнішньої поверхонь термічно однорідної зони, °С, відповідно; q_j – густина теплового потоку через термічно однорідну зону, Вт/м²; F_i – площа i -ї термічно однорідної зони, м²; F_{Σ} – площа огорожувальної конструкції, м².

3.6. Основи теплопередачі

Процес, що полягає у передаванні теплоти від більш нагрітого середовища до менш нагрітого через стінку, що їх розділяє, називається *теплопередачею*. У процесі теплопередачі перенесенню тепла за рахунок конвекції сприяють теплопровідність та випромінювання.

Коефіцієнт теплопередачі – визначає кількість теплоти (Дж), що передається через одиницю площі (м²) конструкції за одиницю часу (1 с), якщо різниця температур середовищ, які розділяє конструкція, дорівнює 1 К.

$$U = \frac{Q}{F\tau(t_2 - t_1)} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right].$$

Величина, обернена до коефіцієнта теплопередачі, називається опором теплопередачі, який дорівнює сумі часткових опорів:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_з} \quad [(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}],$$

де $\alpha_в$ та $\alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій (табл. 3.4); δ_i/λ_i – термічний опір i -го шару огорожувальної конструкції.

Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої ($\alpha_{в}$) та зовнішньої ($\alpha_{з}$) поверхонь огорожувальних конструкцій

Тип конструкції	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К)	
	$\alpha_{в}$	$\alpha_{з}$
Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра h до відстані між гранями b сусідніх ребер $h/b \leq 0,3$ $h/b > 0,3$	8,7 7,6	23 23
Перекриття горищ та холодних підвалів	8,7	12
Перекриття над холодними підвалами та технічними поверхами, що розташовані нижче від рівня землі	8,7	6
Вікна, балконні двері, вітражі та світлопрозорі фасадні системи	8,0	23
Зенітні ліхтарі	9,9	23

Термічні опори окремих шарів стінки можуть суттєво відрізнятись за величиною, визначальним є опір шару з меншим коефіцієнтом теплопровідності.

Термічні опори тепловіддачі зовнішньої та внутрішньої поверхонь зовнішніх стін:

$$R_3 + R_6 = 1/\alpha_3 + 1/\alpha_6 = 1/8,7 + 1/23 = 0,115 + 0,043 = 0,158 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)}$$

На підставі цього можна розрахувати теплові втрати через матеріал перегородок будівлі, які характеризуються заданим значенням коефіцієнта теплопередачі. Треба відзначити обернено пропорційну залежність між цими показниками (рис. 3.3). Якщо значення термічного опору зростає від 0,5 до 2,5 м²·К/Вт, величина U знижується (від 1,50 до 0,375 Вт/(м²·К)), тобто тепловтрати зменшуються у чотири рази. При подальшому зростанні термічного опору на таку ж величину ($\Delta R = 2 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$) коефіцієнт теплопередачі перегородки знижується тільки до 0,214 Вт/(м²·К) або лише в 1,75 рази. Це свідчить про необхідність оптимізації процесів як нового будівництва, так і термомодернізації з врахуванням вартості енергоносіїв та будівельних матеріалів, що визначає в цілому термін окупності капіталовкладень.

Отже, теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі характеризуються значенням коефіцієнта теплопередачі. Чим більший коефіцієнт теплопередачі зовнішнього огороження, тим значніші втрати тепла через його поверхню, а високе значення опору теплопередачі свідчить про добру теплоізоляцію. Тепловтрати через перегородки розраховують, множачи величину U (к) на площу поверхні перегородки і на різницю температури повітря з різних

його сторін. Ця температура змінюється упродовж опалювального сезону, тому обчислити тепловтрати можна тільки для певного часу, для якого відома температура зовнішнього повітря.

$$Q = UF(t_2 - t_1)\tau \text{ Дж,}$$

де F – площа, m^2 ; t_2 – температура всередині приміщення, K ; t_1 – зовнішня температура, K ; τ – час, s ; U – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(m^2 \cdot K)$.

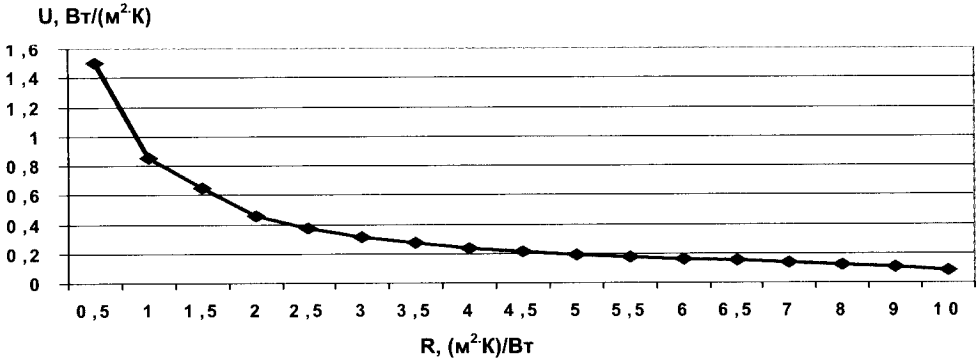


Рис. 3.3. Залежність коефіцієнта теплопередачі зовнішніх стін від їхнього термічного опору

Щоб знизити рівень енергоспоживання будинків і наблизити норми енергоспоживання України до норм високорозвинених країн Європи (рис. 3.4), прийнято низку нормативних документів, однак вони впроваджуються в будівництво дуже повільно, у зв'язку з відсутністю у країні коштів та механізму контролю за їхнім впровадженням.

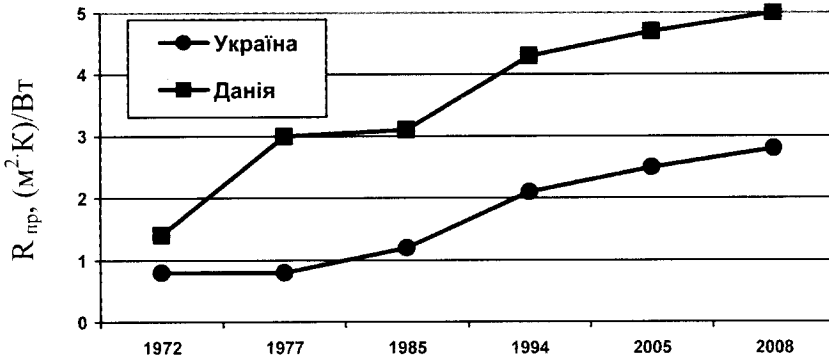


Рис. 3.4. Динаміка збільшення опору теплопередачі стін житлових будівель згідно з будівельними нормами Данії і України

Після введення в 1993 р. додатка до “Будівельних норм і правил” СНиП II-3-79** “Строительная теплотехника” щодо фасадних теплоізоляційних

систем вже з 1995 р. в будівельній справі реально й інтенсивно впроваджуються ефективні будівельні матеріали, вироби і конструкції, які забезпечують у фасадах коефіцієнт опору теплопередачі $2,5 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, а з 1 липня 2013 р. – $3,3 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ (згідно з ДБН В.2.6-31:2006. “Теплова ізоляція будівель”) – тобто теплоізоляція зросла майже в 3,5 рази порівняно з 1993 р. Практично стовідсотково впроваджуються енергозберігаючі вікна, двері, системи. Територія України умовно розділена на 2 температурні зони (рис. 3.5). Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків, $R_{q \text{ min}}$, $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, відповідно до температурної зони, подане в табл. 3.5.



Рис. 3.5. Карта-схема температурних зон України

Будівельними нормами для кожного географічного пункту визначена розрахункова температура зовнішнього повітря, яку використовують для встановлення максимальних втрат тепла в найхолодніший день зими. Щоб знайти споживання енергії за весь опалювальний сезон, потрібно знати середню за цей сезон температуру зовнішнього повітря і кількість днів, протягом яких необхідно опалювати приміщення. Перемноживши ці дві величини, отримуємо характеристику клімату місцевості, що називають кількістю градусо-днів (day-degree – D_d) опалювального періоду. Поняття “градусо-доба” ґрунтується на ідеї, згідно з якою існує зовнішня температура повітря, яка називається базовою. Якщо вона вища, опалення не потрібно, оскільки людям, які

перебувають у будинку, буде достатньо теплоти, що одержується за рахунок освітлення, електричного обладнання, що працює, сонячного тепла, яке проникає через вікна, а також тепла, що виділяють люди. Градусо-доби означають тривалість і величину пониження температури щодо базової, яку для більшості будинків приймають такою, що дорівнює 8 °С. Чим точніші дані про зміни температури зовнішнього повітря, тим точнішими будуть розрахунки щодо загального споживання енергії. Кількість градусо-діб розраховують тільки для тих періодів року, коли температура зовнішнього повітря нижча від 8 °С. Точніше температурну зону, в якій розташоване місце будівництва, можна визначити за кількістю градусо-діб опалювального періоду:

$$D_d = (t_v - t_{o.p.}) Z_{o.p.},$$

де t_v – розрахункова температура внутрішнього повітря, 20 °С; $t_{o.p.}$ – середня температура опалювального періоду, °С; $Z_{o.p.}$ – тривалість опалювального періоду, діб.

Таблиця 3.5

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків $R_{q \min}$, м²·К/Вт

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$ для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	5,35	4,9
3	Горищні покриття та перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5
4	Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	3,75	3,3
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
6	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,5	0,45
7	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,65	0,6

Якщо розрахункова температура внутрішнього повітря більша (менша) за 18 °С, то нормовані величини термічних опорів захищень (крім вікон і балконних дверей) необхідно збільшити або зменшити на 5 % на кожний градус.

Щоб забезпечити мінімально допустимий опір теплопередачі 3,3 м²·К/Вт, будівництво будівель і споруд з традиційних стінових матеріалів (цегла,

керамзитобетонні панелі, шлакоблоки) стає економічно не вигідним, оскільки треба збільшувати товщину стіни до 1–2,5 м (рис. 3.6).

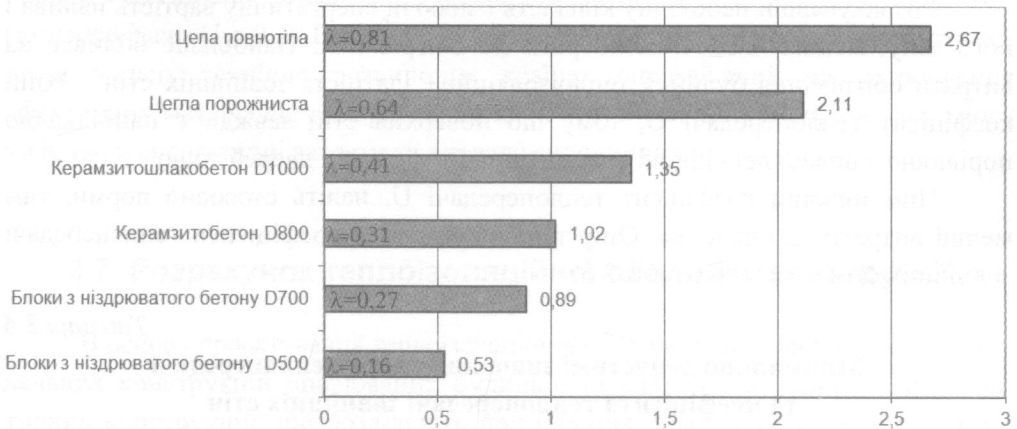


Рис. 3.6. Залежність товщини стіни від коефіцієнта теплопровідності стінового матеріалу

Отже, загальний опір теплопередачі будівельних захищень $R_{\Sigma np}$ житлових і громадських будинків під час проектування, реконструкції або капітального ремонту повинен бути більшим чи дорівнювати нормованому опоріві теплопередачі $R_{q min}$.

$$R_{q min} \leq R_{\Sigma np}$$

Загальний опір теплопередачі зовнішніх захищень $R_{\Sigma np}$ може перевищувати нормований $R_{q min}$ за згодою замовника проекту будинку, оскільки це збільшить капітальні затрати на будівництво.

У наших кліматичних умовах приміщення і будинки потрібно обігрівати у зимовий період, а також пізно восени та навесні. Обігрівання повинно компенсувати втрати тепла через всі елементи будинку – фундаментні та підвальні стіни, зовнішні стіни, дах, двері та вікна, через вентиляційну систему будинку. Кожен з цих елементів має різну теплоізоляційну здатність, яку можна підвищити влаштуванням ізоляції, що дасть змогу знизити витрати на опалення. Витрати на опалення можна зменшити різними способами, зокрема, перейшовши на дешевші види енергії. Однак найвигіднішим є утеплення зовнішніх стін будинку, стін підвалів чи даху відповідними теплоізоляційними матеріалами необхідної товщини, що забезпечує теплоізоляційну здатність. Споруджуючи новий будинок, треба з самого початку підібрати належні матеріали та технології, які забезпечать потрібну теплоізоляційну здатність.

Знаючи площу поверхонь, наприклад, зовнішніх стін чи вікон, а також їхній коефіцієнт теплопередачі, можна розрахувати втрати тепла для цього

елемента та кількість енергії, яку треба одержати спалюванням палива, щоб забезпечити тепловий комфорт приміщення чи будинку.

Розрахувавши необхідну кількість і знаючи енергетичну вартість палива і його ціну, можна визначити витрати на обігрівання. Найбільше впливає на витрати обігрівання будинку теплоізоляційна здатність зовнішніх стін – їхній коефіцієнт теплопередачі U , тому що поверхня стін завжди є найбільшою порівняно з поверхнею інших елементів – даху, вікон і дверей тощо.

Чим нижчий коефіцієнт теплопередачі U , навіть стосовно норми, тим менші витрати на опалення. Опір теплопередачі та коефіцієнти теплопередачі зовнішніх стін наведено у табл. 3.6

Таблиця 3.6

Мінімально допустимі значення опору теплопередачі та коефіцієнта теплопередачі зовнішніх стін

$R_{q \min}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	3,3	2,8	2,5	2,2	2,0
$U, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,3	0,35	0,40	0,45	0,50

Розрахуємо витрати на опалення залежно від коефіцієнта теплопередачі U зовнішньої стіни (рис. 3.7). У розрахунку не брали до уваги втрати тепла іншими елементами будинку, крім зовнішніх стін. Залежність побудована для зовнішніх температур – 0 °С, -10 °С і -15 °С.

Прийнято такі умови: температура всередині приміщення +20 °С, термін опалення – 1 місяць, площа зовнішніх стін – 100 м², приміщення опалювали електроенергією за ціною 0,24 грн. за 1 кВт·год, станом на 1 лютого 2011 р.

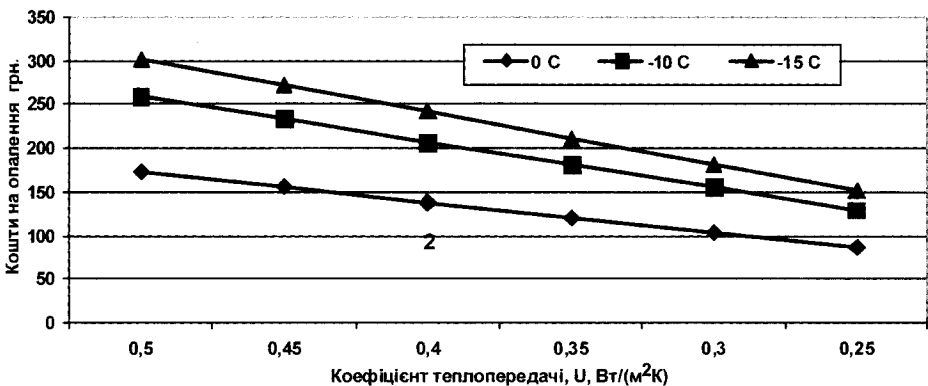


Рис. 3.7. Кошти на опалення будинків з площею зовнішніх огорожувальних конструкцій 100 м² залежно від коефіцієнта теплопередачі зовнішніх стін U [Вт/(м²·К)]

З розрахунків видно, що при коефіцієнті теплопередачі $U = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ кошти на опалення нижчі на 150 грн. порівняно зі стінами з коефіцієнтом теплопередачі $U = 0,50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Тому розвиток сучасних будівельних технологій у всіх технічно розвинених країнах спрямований на розроблення ефективних матеріалів, використання яких є економічно доцільним, дає змогу зменшити енергетичні затрати та витрату сировинних ресурсів.

3.7. Розрахунок теплоізоляційної оболонки конструкції

В основу проектування теплоізоляційної оболонки для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на $3 \text{ }^\circ\text{C}$ та більше, згідно з ДБН В.2.6-31:2006 закладено експлуатаційні вимоги, які поділяються на групи:

– економічні:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}};$$

– санітарно-гігієнічні:

$$\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{cr}};$$

– вимоги теплової надійності

$$\tau_{\text{в min}} > t_{\text{min}},$$

де $R_{\Sigma \text{ пр}}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції (для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $R_{q \text{ min}}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (табл. 3.5); $\Delta t_{\text{пр}}$ – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^\circ\text{C}$; Δt_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^\circ\text{C}$, яка встановлюється залежно від призначення будинку і виду огорожувальної конструкції згідно з табл. 3.7; $\tau_{\text{в min}}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, $^\circ\text{C}$; t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні за розрахункових значень температури внутрішнього й зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$.

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Δt_{cr} , °С

Призначення будинку	Вид огорожувальної конструкції		
	Стіни (зовнішні, внутрішні)	Покриття та перекриття горищ	Перекриття над проїздами та підвалами
Житлові будинки, дитячі установи, школи, інтернати	4,0	3,0	2,0
Громадські будинки, крім зазначених вище, адміністративні та побутові, за винятком приміщень з вологим або мокрим режимом експлуатації	5,0	4,0	2,5
Виробничі будинки з сухим та нормальним режимами експлуатації	7,0	5,0	
Виробничі будинки з вологим та мокрим режимами експлуатації	$t_v - t_p$	$0,8(t_v - t_p)$	
Виробничі будинки з надлишками тепла (понад 23 Вт/м ³)	12	12	

Температурний перепад, $\Delta t_{пр}$, для огорожувальних конструкцій з коефіцієнтом скління не більше ніж 0,18 розраховується тільки для непрозорої частини огороження за формулою:

$$\Delta t_{пр} = t_v - \tau_{в пр},$$

де $\tau_{в пр}$ – приведена температура внутрішньої поверхні, °С, термічно неоднорідної непрозорої конструкції, що обчислюється за розрахункового значення температури внутрішнього повітря, t_v , і розрахункового значення температури зовнішнього повітря, t_z , прийнятого залежно від температурної зони експлуатації будинку (табл. 3.8), за формулою:

$$\tau_{в пр} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_{gi} \cdot F_i}{F_{\Sigma}},$$

де $\bar{\tau}_{gi}$ – температура внутрішньої поверхні термічно однорідної огорожувальної конструкції; F_i – площа термічно однорідної огорожувальної конструкції; F_{Σ} – загальна площа огорожувальної конструкції.

Мінімально допустима температура внутрішньої поверхні, t_{min} , непрозорих огорожувальних конструкцій у зонах теплопровідних включень, у кутах і

укосах віконних і дверних прорізів при розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будинку (табл. 3.8), повинна бути не меншою, ніж температура точки роси, t_p .

Таблиця 3.8

Розрахункові температури зовнішнього повітря

Температурна зона	I	II
Розрахункова температура зовнішнього повітря, °C	мінус 22	мінус 19

Мінімальна температура на внутрішній поверхні, t_{min} , світлопрозорих огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків повинна бути не меншою за 6 °C, а для непрозорих елементів – не меншою від температури точки роси, t_p .

3.8. Теплоємність

Теплоємність – це здатність матеріалу під час нагрівання поглинати (акумулювати) теплоту. Вона характеризується питомою теплоємністю (коефіцієнтом теплоємності), тобто кількістю теплоти, потрібної для нагрівання одиниці маси на один градус, Дж/(кг·К):

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)},$$

де Q – кількість теплоти, необхідної для нагрівання матеріалу, Дж; m – маса матеріалу, кг; t_2 і t_1 – відповідно кінцева та початкова температури нагрівання, К.

Фізична суть питомої теплоємності речовини полягає в тому, що вона визначає, як впливає теплопередача на тепловий стан тіла, зокрема на його внутрішню енергію. Числове значення питомої теплоємності речовини визначає зміну внутрішньої енергії тіла масою 1 кг зі зміною температури на 1 К. Наприклад, значення питомої теплоємності сухого дерева (дуб) 2400 Дж/(кг·К) означає, що у разі підвищення температури 1 кг дерева на 1 К його внутрішня енергія зростає на 2400 Дж. І навпаки, вона зменшиться на 2400 Дж, якщо температура 1 кг дерева знизиться на 1 К.

Тому теплоємність матеріалів має велике значення, якщо потрібно враховувати акумулювання теплоти огорожувальними конструкціями, щоб підтримувати температуру без різких коливань у приміщенні або в тепловому промисловому агрегаті у разі зміни теплового режиму. Це буває, наприклад, коли розраховують й конструюють теплостійкі огороження (стіни, перекриття, печі) або визначають підігрівання матеріалів для зимового бетонування тощо.

Питому теплоємність для багат шарових конструкцій обчислюють за формулою:

$$c = (m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots + m_n c_n) / (m_1 + m_2 + \dots + m_n),$$

де m_1, m_2, m_n – маси окремих шарів, кг; c_1, c_2, c_n – питомі теплоємності цих шарів, Дж/(кг·К).

Зі зволоженням питома теплоємність матеріалу збільшується, оскільки теплоємність води велика й становить 4,2 кДж/(кг·К). Отже, вода, яка має найбільшу питому теплоємність, належить до матеріалів, найпридатніших для магазинування тепла.

Для огорожувальних конструкцій житлових та опалюваних будівель вибирають матеріали з невеликим коефіцієнтом теплопровідності, але з вищою питомою теплоємністю.

Питома теплоємність кам'яних природних і штучних матеріалів становить 0,76...0,92 кДж/(кг·К), скла – 0,67, сталі – 0,48, алюмінію – 0,87 кДж/(кг·К). Деревні та інші органічні матеріали мають вищий коефіцієнт теплоємності, наприклад, деревина (суха) – 2,4...3,0 кДж/(кг·К). Тому дерев'яні стіни акумулюють більше теплоти, ніж кам'яні, а згодом можуть віддавати її всередину приміщення.

Отже, взаємозв'язок теплофізичної науки з проблемами енергозбереження в будівлях розкриває можливості підвищення енергоефективності сучасного житлово-комунального господарства. При цьому рівень теплового опору зовнішніх огорожувальних конструкцій великою мірою визначає потрібну потужність системи опалення. Чим вищий рівень теплозахисту будинку, тим менше теплової енергії буде споживати будинок.

3.9. Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Порівняння енергетичних параметрів (робота, теплота нагрівання та теплопередача)

Механічна робота

Розрахувати роботу, необхідну для підняття вантажу масою $m = 100$ т на висоту $h = 1$ м (наприклад, треба завантажити на піддони цемент у мішках у кількості 100 т)

$$A = mgh = 100000 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 1 \text{ м} \approx 1000 \text{ 000 Дж} = 1 \text{ МДж.}$$

Людина за день споживає продукти харчування, сумарна енергетична цінність яких приблизно 2500...4000 ккал = 10,5...16,8 МДж (відповідно для жінок та чоловіків).

Отже, виконання 1 МДж механічної роботи упродовж робочого дня вимагає великої праці, яка становить всього 6–10 % від сумарної енергетичної цінності продуктів харчування за добу.

Теплота нагрівання

Розрахувати кількість теплоти, що потрібна на нагрівання $m=1$ кг води від температури 0 до 100 °С ($\Delta t = 100$ °С = 100 К).

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 1 \text{ кг} \cdot 100 \text{ К} = 420 \text{ кДж} = 0,42 \text{ МДж}.$$

Отже, щоб нагріти до кипіння навіть порівняно невелику кількість води ($V = 1$ л), потрібна значна енергія, яку отримують за рахунок теплоти згорання різних видів палива. Беручи до уваги тепловтрати під час нагрівання, за рахунок використання теплоти 1 МДж можна нагріти до кипіння лише 1,5–2 л води.

Теплота згорання палива

Паливо – це речовини, які в результаті згорання дають значний тепловий ефект. Енергетичний ефект від спалювання палива характеризується питомою теплотою його згорання. Щоб обчислити кількість теплоти, яка виділяється під час згорання довільної кількості палива, треба питому теплоту згорання палива помножити на його масу:

$$Q = qm$$

Питома теплота згорання q характеризує теплотворну здатність речовини. Її числове значення показує, яка кількість теплоти виділяється під час повного згорання 1 кг палива (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Питома теплота згорання деяких видів палива

Паливо	q, МДж/кг	Паливо	q, МДж/кг
Антрацит	30	Ацетилен	50
Буре вугілля	12	Бензин	44
Дрова (сухі)	12	Гас	43
Кам'яне вугілля	25	Дизпаливо	42
Порох	5	Мазут	39
Сланці	10	Нафта	45
Солома	14	Природний газ	36*
Торф	15	Пропан	46
Тротил	15	Спирт	26

* МДж/м³.

Під час згорання 1 кг різних видів палив виділяється теплота в межах 10–40 МДж/кг, що забезпечує отримання значної кількості енергії, яка більш як на порядок перевищує денний еквівалент механічної роботи людини.

Умовне паливо – це паливо, під час спалювання 1 кг якого виділяється 29,3 МДж теплоти.

$$1 \text{ кг умовного палива} = 7000 \text{ ккал} = 29,3 \text{ МДж}.$$

Виходячи з теплотворної здатності природного газу (36 МДж/м³) та мазуту (36 МДж/л),

1 м³ природного газу = 1 л мазуту;

1 м³ природного газу = 10 кВт·год.

Приклад 2. Визначити кількість теплоти, яку передає за рахунок теплопровідності за 1 добу стіна, площа якої $F = 10 \text{ м}^2$, товщина $\delta = 51 \text{ см}$ із повнотілої керамічної цегли, якщо температура зовнішньої поверхні стіни $t_3 = -10^\circ\text{C}$, а внутрішньої $-t_{вн} = 20^\circ\text{C}$.

Знаходимо теплопровідність повнотілої керамічної цегли (додаток Б).

$$\lambda_{ц} = 0,81 \text{ Вт/(м·К)}$$

або орієнтовно розраховуємо за формулою В.П. Некрасова, приймаючи середню густину повнотілої цегли $\rho_{сеп} = 1800 \text{ кг/м}^3$

$$d = 1800/1000 = 1,8 \text{ (відносна густина)}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{ц} &= 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16 = \\ &= 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,8^2} - 0,16 = 0,83 \text{ [Вт/(м·К)]}. \end{aligned}$$

Визначаємо кількість теплоти Q , виразивши час (1 доба) у секундах ($\tau = 1 \cdot 24 \cdot 3600 = 86400 \text{ с}$):

$$Q = \frac{\lambda(t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau}{\delta} = \frac{0,81 \cdot [20 - (-10)] \cdot 10 \cdot 86400}{0,51} = 41167058 \text{ Дж} = 41,2 \text{ МДж}$$

Враховуючи, що 1 кВт·год = 3,6 МДж; 1 кг ум. палива = 29,3 МДж, визначаємо кількість теплоти в кВт·год та кг ум. палива.

Отже, кількість теплоти, яку передає за 1 добу цегляна стіна площею 10 м², становить

$$Q = 41,2 \text{ МДж} = 11,4 \text{ кВт·год} = 1,4 \text{ кг ум. палива.}$$

За 1 місяць – 1236 МДж, або 342 кВт·год, або 42 кг ум. палива.

Приклад 3. Визначити товщину одношарової стіни, щоб забезпечити мінімально допустимий опір теплопередачі для Львівської області.

Визначаємо опір теплопередачі найпоширенішої цегляної кладки (завтовшки 0,51 м), порівнюємо його з нормативним значенням для I температурної зони $R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

$$R_{\Sigma \text{ np}} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,79 \text{ (м}^2 \cdot \text{К/Вт)} < R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Для забезпечення нормативного термічного опору стіни з повнотілої цегли необхідно збільшити її товщину до

$$\delta = (R_{q \text{ min}} - \frac{1}{\alpha_6} - \frac{1}{\alpha_3}) \lambda = (3,3 - 0,158) 0,81 = 2,54 \text{ м}.$$

Приклад 4. Розрахувати товщину теплоізоляційного шару з мінеральної вати, необхідного, щоб забезпечити мінімально допустимий опір теплопередачі $3,3 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$ при утепленні стіни завтовшки 51 см з повнотілої керамічної цегли.

Визначаємо теплопровідність повнотілої керамічної цегли та утеплювача з додатка Б

$$\lambda_{\text{ц}} = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)},$$

$$\lambda_{\text{із}} = 0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

Опір теплопередачі стіни з утеплювачем повинен бути не меншим за $3,3 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$.

Термічний опір конструкції дорівнює:

$$R_{\text{см}} = R_{\text{ц}} + R_{\text{із}},$$

де

$$R_{\text{ц}} = \frac{\delta_{\text{ц}}}{\lambda_{\text{ц}}}, \quad R_{\text{із}} = \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}}$$

Опір теплопередачі конструкції

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}}$$

звідки

$$R_{\text{із}} = R_{\Sigma \text{пр}} - R_{\text{ц}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} = 3,3 - \frac{0,51}{0,81} - 0,158 = 2,51 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$$

Визначаємо товщину ізоляції з мінеральної вати з формули $R_{\text{із}} = \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}}$

$$\delta_{\text{із}} = R_{\text{із}} \cdot \lambda_{\text{із}} = 2,51 \cdot 0,04 = 0,10 \text{ м} = 10 \text{ см}.$$

Зазначимо, що з використанням термічної ізоляції, товщина якої 5 см, опір теплопередачі стіни дорівнюватиме

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{ц}} + R_{\text{із}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} = \frac{\delta_{\text{ц}}}{\lambda_{\text{ц}}} + \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} = \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,05}{0,04} + 0,158 = 2,03 \text{ [м}^2\cdot\text{К/Вт]},$$

однак $R_{\Sigma \text{пр}} < R_{\text{qmin}}$, тобто утеплення стіни ізоляційним матеріалом типу пінополістиролу або мінеральної вати завтовшки 5 см не задовольняє вимог чинних стандартів.

Приклад 5. Визначити тепловтрати Q для стіни з повнотілої цегли протягом 1 місяця при середній місячній температурі зовнішнього повітря $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Коефіцієнт теплопровідності цегли $\lambda_{\text{ц}} = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, товщина стіни 51 см, площа 20 м^2 .

Розраховуємо термічний опір стіни

$$R_{cm} = 0,51 / 0,81 = 0,63 \text{ (м}^2\cdot\text{К/Вт)}$$

та коефіцієнт теплопередачі

$$U = \frac{1}{R_{\Sigma np}} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_6} + R_{cl} + R_{iz} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,79 \text{ (м}^2\cdot\text{К/Вт)}$$

$$U = 1/0,79 = 1,27 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$$

Для оцінки тепловтрат огорожувальною конструкцією також застосовується формула:

$$Q = U \Delta t F \tau / 1000 \text{ [кВт}\cdot\text{год]},$$

де τ – час, год; U – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); Δt – різниця температур, °С; F – площа стіни, м².

Тепловтрати упродовж 1 години

$$Q_{1 год} = 1,27 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)} \cdot 20 \text{ К} \cdot 20 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ год} / 1000 = \\ = 0,51 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 1,84 \text{ МДж}$$

Тепловтрати протягом 1 доби

$$Q_{1 доба} = 1,27 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)} \cdot 20 \text{ К} \cdot 20 \text{ м}^2 \cdot 24 \text{ год} / 1000 = \\ = 12,24 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 44,06 \text{ МДж} = 1,51 \text{ кг ум. палива}$$

Тепловтрати упродовж 1 місяця

$$Q_{1 міс} = 1,27 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)} \cdot 20 \text{ К} \cdot 20 \text{ м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot 30 / 1000 = 367,2 \text{ кВт}\cdot\text{год} = \\ = 1321,9 \text{ МДж} = 1,32 \text{ ГДж} = 45,1 \text{ кг ум. палива або } 36,7 \text{ м}^3 \text{ природного газу}$$

Оцінка вартості опалення приміщення з використанням різних видів енергії.

В додатку В наведено ціни та тарифи на газ природний, що використовується населенням на побутові потреби, встановлені постановою НКРЕ від 13.07.2010 р. № 812 “Про затвердження роздрібних цін на природний газ, що використовується для потреб населення...” з 1 серпня 2010 р.

У додатку Д наведено вартість 1 кВт·год електроенергії, що відпускається населенню та населеним пунктам (з урахуванням ПДВ), згідно з постановою НКРЕ від 17 березня 2011 р. “Про зміну тарифів на електричну енергію, що відпускається населенню і населеним пунктам, та внесення змін до Порядку застосування тарифів на електроенергію, що відпускається населенню і населеним пунктам”, зареєстрованою в Міністерстві юстиції України 21 березня 2011 р. за № 378/19116.

Вартість теплової енергії з ТЕЦ – 180 грн. за 1 Гкал або 43 грн./ГДж.

Розраховуємо вартість опалення приміщення для однієї стіни площею 20 м² при використанні різних видів енергії за 1 місяць:

- вартість обігрівання стіни приміщення природним газом ($q = 36 \text{ МДж/м}^3$) становить
 $36,7 \cdot 0,7254 = 26,62 \text{ грн./міс.}$ (за I тарифом)
- вартість обігрівання стіни приміщення з використанням теплової енергії з ТЕЦ становить
 $1,32 \cdot 43 = 56,76 \text{ грн./міс.}$
- вартість обігрівання стіни приміщення електрокалорифером дорівнює:
 $367,2 \cdot 0,2802 = 102,89 \text{ грн./міс.}$

Характерно, що вартість 1 ГДж енергії палива змінюється у широких межах (рис. 3.8).

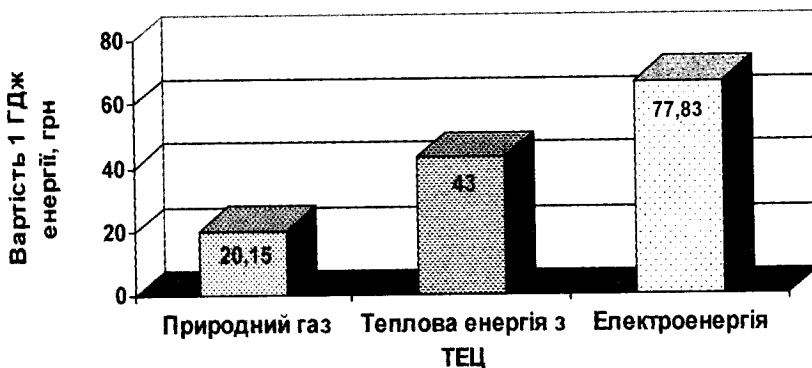


Рис. 3.8. Вартість 1 ГДж енергії

Звідси видно, що при ціні за природний газ $0,7254 \text{ грн./м}^3$ використання природного газу для опалення з урахуванням високого ККД (0,7–0,9) котлів індивідуального опалення є найраціональнішим.

Для дво- і трикімнатної квартири загальна площа зовнішніх стін лежить у межах $50\text{--}80 \text{ м}^2$. Слід враховувати вікна, опір теплопередачі яких є набагато меншим і коливається в межах $0,2\text{...}0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Отже, орієнтовно вартість обігріву дво- і трикімнатної квартири становитиме відповідно $80\text{--}125 \text{ грн.}$ для природного газу, $180\text{--}280 \text{ грн.}$ для теплової енергії ТЕЦ, $270\text{--}420 \text{ грн.}$ для електроенергії. З пониженням середньої температури взимку за місяць до $-10\text{...}-15 \text{ }^\circ\text{C}$ тепловтрати зростають на $50\text{--}75 \%$.

З урахуванням середньої температури повітря за опалювальний сезон на рівні $0 \text{ }^\circ\text{C}$ кількість градусо-днів за 180 днів становитиме $D_d = (18-0)^\circ\text{C} \times 180 \text{ днів} = 3240 \text{ градусо-днів}$, а тепловтрати Q одного квадратного метра стіни за опалювальний період – $Q = (D_d \times U \times 24) / 1000$. Коефіцієнт теплопередачі $1,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ дасть величину теплових втрат з 1 м^2 стіни за опалювальний період:

$$(3240 \times 1,5 \times 24) / 1000 = 116,64 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2 \text{ стіни.}$$

Приклад 6. Розрахувати економію енергії на 1 м² стіни з повнотілої цегли товщиною 51 см після утеплення пінопластом товщиною 10 см.

Для розрахунків приймаємо: площу поверхні стіни $F=1\text{ м}^2$, час $\tau=1$ доба ($\tau=24$ год), температура назовні $t_3=-10\text{ }^\circ\text{C}$, а всередині приміщення $t_{\text{вн}}=20\text{ }^\circ\text{C}$.

Визначаємо опір теплопередачі конструкції до утеплення

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,79 \text{ (м}^2\cdot\text{К/Вт)}.$$

Опір теплопередачі конструкції після утеплення:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_6} + R_{\text{ц}} + R_{\text{із}} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{\delta_{\text{ц}}}{\lambda_{\text{ц}}} + \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} + \frac{1}{\alpha_6} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,1}{0,04} + 0,16 = 3,28 \text{ (м}^2\cdot\text{К/Вт)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі конструкції до утеплення дорівнює:

$$U = 1/R_{\Sigma np} = 1/0,79 = 1,27 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі конструкції після утеплення дорівнює:

$$U = 1/R_{\Sigma np} = 1/3,28 = 0,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Визначаємо кількість теплоти Q , що втрачається стіною до утеплення:

$$Q = 1,27 \cdot 1 \cdot 24 \cdot [(20 - (-10))] / 1000 = 0,91 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 3,29 \text{ МДж}$$

після утеплення

$$Q = 0,3 \cdot 1 \cdot 24 \cdot [(20 - (-10))] / 1000 = 0,22 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 0,78 \text{ МДж}.$$

Економія теплоти при утепленні 1 м² цегляної стіни становить за одну добу $\Delta Q = 2,51$ МДж. При площі зовнішньої огорожувальної конструкції $F = 200\text{ м}^2$ економія умовного палива – 17 кг за добу.

Приклад 7. Розрахувати опір теплопередачі одношарової стіни. Розріз зовнішньої одношарової стіни будинку наведено на рис. 3.9, в табл. 3.10 – коефіцієнти теплопровідності шарів стіни.

Таблиця 3.10

Коефіцієнти теплопровідності шарів стіни

№	Шар стіни	Товщина d, м	Коефіцієнти теплопровідності λ , Вт/(м·К)
1	Цементно-вапняна штукатурка	0,015	0,82
2	Ніздрюватий бетон D500	0,365	0,17
3	Тонкошарова мінеральна штукатурка	0,010	0,82

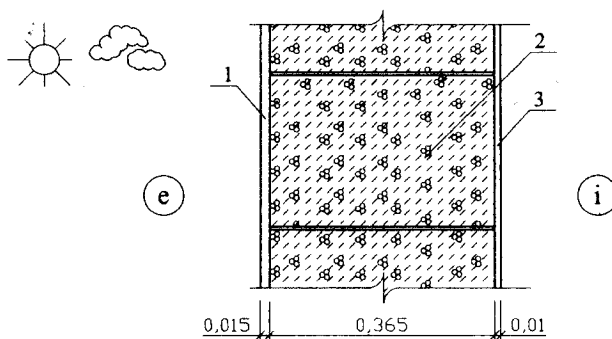


Рис. 3.9. Розріз одношарової стіни:

- 1 – цементно-вапняна штукатурка; 2 – ніздрюватий бетон D500;
3 – тонкошарова мінеральна штукатурка; е – зовнішня сторона стіни (external);
і – внутрішня сторона стіни (internal)

Опір теплопередачі одношарової стіни:

$$R_{\Sigma пр} = \frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,82} + \frac{0,365}{0,17} + \frac{0,010}{0,82} + \frac{1}{23} = 2,34 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт},$$

де α_6 та α_3 – коефіцієнти тепловіддачі відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій 8,7 та 23 Вт/(м²·К) відповідно.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків для I температурної зони $R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$

$$R_{\Sigma пр} < R_{q \text{ min}} \\ 2,34 < 3,3 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}.$$

Отже, одношарова зовнішня стіна завтовшки 36,5 см не задовольняє вимоги ДБН В.2.6-31:2006. “Теплова ізоляція будівель” щодо мінімально допустимого значення опору теплопередачі.

Приклад 8. Розрахувати опір теплопередачі двошарової стіни. Розріз зовнішньої двошарової стіни будинку наведено на рис. 3.10, в табл. 3.11 – коефіцієнти теплопровідності шарів стіни.

Таблиця 3.11

Коефіцієнти теплопровідності шарів стіни

№	Шар стіни	Товщина d, м	Коефіцієнти теплопровідності λ , Вт/(м·К)
1	Цементно-вапняна штукатурка	0,015	0,82
2	Пінополістирол	0,120	0,040
3	Блоки ПОРОТЕРМ 253+W	0,250	0,28
4	Гіпсова штукатурка	0,015	0,30

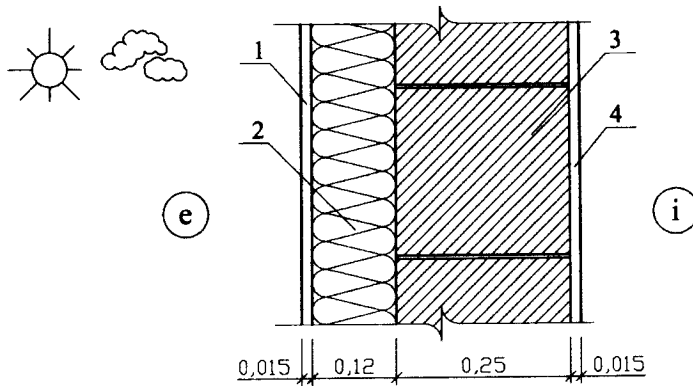


Рис. 3.10. Розріз двошарової стіни:

1 – цементно-вапняна штукатурка; 2 – пінополістирол; 3 – блоки POROTERM 253+W; 4 – гіпсова штукатурка; е – зовнішня сторона стіни; і – внутрішня сторона стіни

Опір теплопередачі двошарової стіни

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,040} + \frac{0,120}{0,28} + \frac{0,250}{0,30} + \frac{0,015}{23} = 4,12 \text{ [м}^2 \cdot \text{К/Вт]},$$

де α_e та α_3 – коефіцієнти тепловіддачі відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій 8,7 та 23 Вт/(м²·К) відповідно.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків для I температурної зони $R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

$$R_{\Sigma np} > R_{q \min}, \\ 4,12 > 3,3.$$

Отже, двошарова зовнішня стіна задовольняє вимоги ДБН В.2.6-31:2006. “Теплова ізоляція будівель” щодо мінімально допустимого значення опору теплопередачі.

Отже, щоб досягти мінімально допустимого значення $R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, треба:

- застосовувати ефективні стінові матеріали: блоки “Поротерм”, ніздрюватий бетон – $\lambda = 0,12 - 0,20 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;
- використовуючи повнотілу цеглу, додатково проводити термомодернізацію із застосуванням теплоізоляційних матеріалів: пінополістиролу або мінеральної вати з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,035 - 0,045 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Що вивчає будівельна теплофізика?
2. Назвіть форми передавання енергії. Чим вони відрізняються?
3. Назвіть способи передавання теплоти.
4. Як відбувається передавання теплоти теплопровідністю?
5. Охарактеризуйте передавання теплоти конвекцією.
6. Назвіть особливості променевого теплообміну.
7. Які види складного теплообміну Ви знаєте?
8. Які кількісні характеристики перенесення теплоти Ви знаєте?
9. Охарактеризуйте поняття температурного градієнта.
10. Сформулюйте закон Фур'є.
11. Що характеризує коефіцієнт теплопровідності?
12. Назвіть фактори, від яких залежить коефіцієнт теплопровідності.
13. Як впливає пористість на коефіцієнт теплопровідності?
14. Опишіть залежність коефіцієнта теплопровідності від вологості.
15. Охарактеризуйте вплив температури на коефіцієнт теплопровідності.
16. Що таке термічний опір огорожувальних конструкцій?
17. Що характеризують коефіцієнт та опір теплопередачі?
18. Назвіть мінімально допустимі опори теплопередачі огорожувальних конструкцій.
19. За яким показником визначено температурні зони України?
20. За якими параметрами розраховують теплоізоляційну оболонку огорожувальної конструкції?
21. Термічний опір зовнішньої стіни становить $0,5 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. Якою має бути товщина теплоізоляції із пінополістиролу, щоб забезпечити коефіцієнт теплопередачі $0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$?
22. Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни $1,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Яка товщина теплоізоляції із пінополіуретану необхідна для забезпечення коефіцієнта теплопередачі $0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$?
23. Розрахувати товщину пінополістиролу для утеплення стіни з нізрюватою бетону, щоб коефіцієнт теплопередачі змінився від $1,0$ до $0,28 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$.
24. Розрахувати коефіцієнт теплопередачі двохшарової стіни (1,5 цеглини + 7 см мінеральної вати) та втрати теплоти такою стіною і витрату природного газу та вугілля на опалення приміщення вибраних Вами розмірів, якщо середня температура протягом опалювального сезону становила $-1,4 \text{ }^\circ\text{C}$.
25. Яким буде термічний опір стіни зі звичайної керамічної цегли товщиною 380 мм? Скільки тепла втрачає така стіна розміром $5 \times 4 \text{ м}$ за 7 діб, якщо температура навколишнього середовища $-10 \text{ }^\circ\text{C}$?
26. Яким буде термічний опір стіни в дві цеглини? Яку кількість теплоти втрачає стіна розміром $3 \times 4 \text{ м}$ за добу при температурі навколишнього середовища $-20 \text{ }^\circ\text{C}$? Порівняйте втрати тепла після утеплення такої стіни 10 см пінополістиролу.

27. Яка кількість тепла потрібна для нагрівання стіни з ніздрюватого бетону площею 20 м^2 , товщиною 25 см від $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $20 \text{ }^\circ\text{C}$? Теплоємність ніздрюватого бетону становить $0,838 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.
28. Розрахувати питому теплоємність бетону такого складу, кг: цемент – 280, пісок – 650, щебінь – 1250, вода – 170. За період тверднення 40% води випарувалось. Питомі теплоємності $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$: цементу – 1, піску і щебеню – 0,92, води – 4,19. Під час розв'язування задачі можна використовувати правило адитивності, відповідно до якого показник властивостей складного матеріалу дорівнює сумі внесків його складових частин.
29. Порівняти вартість 1 Гкал теплоти, одержаної спалюванням природного газу та вугілля.
30. Скільки необхідно спалити кам'яного вугілля, щоб отримати 290 МДж теплоти?
31. Переведіть $5 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ \rightarrow ? МДж \rightarrow ? ккал .

Розділ 4

ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вологісний режим зовнішніх огороджувальних конструкцій тісно пов'язаний з теплотехнічним режимом, оскільки зі зростанням вологості збільшується теплопровідність будівельних матеріалів і за інших однакових умов зволожені огороджувальні конструкції характеризуватимуться нижчими теплотехнічними властивостями порівняно з сухими. Тому, проектуючи зовнішні огороджувальні конструкції, необхідно запобігати можливому зволоженню матеріалів огородження, використовувати матеріали з низькою сорбційною вологістю, а також враховувати не лише теплотехнічний, але й вологісний режим їхньої експлуатації.

Вологий будівельний матеріал неприйнятний і з погляду гігієни, оскільки є сприятливим середовищем для розвитку грибків, плісняви та інших небажаних біологічних процесів. Підвищена вологість огороджувальних конструкцій приводить до того, що зростає вологість у приміщенні, і може спричинити деякі захворювання людини, псування предметів, харчових продуктів.

Крім теплотехнічного і санітарно-гігієнічного аспектів, нормальний вологісний режим має суттєве технічне значення, оскільки зумовлює довговічність конструкцій. Морозостійкість будівельних матеріалів, що характеризує їхню довговічність, пов'язана зі ступенем вологості матеріалу: зі зростанням вологості знижується морозостійкість. На зовнішньому боці огороджувальних конструкцій, що зазнають поперемінного замерзання та розмерзання при підвищеному зволоженні, може спостерігатися відшарування зовнішньої штукатурки, спричинене несприятливим вологісним режимом, за якого волога, нагромаджена під штукатуркою, замерзаючи, розширюється в об'ємі та викликає відлущування штукатурки чи облицювання. Треба звертати особливу увагу на вологісний режим, якщо використовуються теплоізоляційні матеріали для утеплення зовнішніх стін, які зволожуються, а також теплоізоляційно-конструктивні матеріали для їх спорудження з метою забезпечення довговічності конструкції.

4.1. Вологість огороджувальних конструкцій

Вологісний режим зовнішніх огорожень пов'язаний з процесами зволоження і висихання використаних будівельних матеріалів, які залежать від багатьох чинників, зокрема температури і вологості матеріалу, змінності умов експлуатації – як зовнішніх, так і внутрішніх, кількості шарів матеріалів, використаних в огороженні, їхньої структури і фізичних властивостей. Зволоження матеріалів огороджувальних конструкцій пов'язане з:

- 1) технологічною вологою, зумовленою дотриманням технологічних умов виготовлення елементів будівлі (збірні залізобетонні огороджувальні конструкції, будівельні розчини);
- 2) будівельною вологою, пов'язаною з умовами транспортування, зберігання та зведення елементів на будівництві;
- 3) зволоженням від атмосферних опадів;
- 4) зволоженням за рахунок сорбції і дифузії водяної пари;
- 5) конденсацією водяної пари всередині чи на внутрішній поверхні огороження;
- 6) капілярним підсмоктуванням вологи з ґрунту.

Визначити зміну вологості будівельних матеріалів в огороджувальних конструкціях складно, враховуючи різні види зв'язку вологи з матеріалом та різні механізми її руху. Вологість будівельних матеріалів залежно від форми її зв'язку класифікують на:

- 1) хімічно зв'язану, яка характеризується міцним хімічним зв'язком. В умовах експлуатації огороджувальних конструкцій цей вид вологи не бере участі у вологообмінних процесах і не впливає на зміну вологості;
- 2) фізико-хімічно зв'язану або адсорбційну, що зв'язана з матеріалом силами Ван-дер-Ваальса і капілярними силами;
- 3) фізико-механічну або капілярну. Якщо зростає вологість, вона міститься в порах і капілярах матеріалу за межами дії сил взаємодії і може вільно переміщатися.

Сорбційна та капілярна вологість можуть перетворюватися одна на одну залежно від навколишніх умов і структури матеріалу. Наявність в будівельних матеріалах різних за розміром пор зумовлює їхні сорбційні властивості та капілярні явища (пори розміром 2–50 мкм).

Вологість характеризується наявністю у матеріалі хімічно незв'язаної води, значною мірою впливає на теплопровідність, теплоємність і має важливе значення для оцінки вологісного режиму зовнішніх огороджувальних конструкцій. Вологість будівельних матеріалів виражається у масовому або об'ємному відношенні.

Масова вологість визначається відношенням маси води в матеріалі до маси зразка в сухому стані:

$$W_m = \frac{m_g - m_c}{m_c} \cdot 100\%,$$

де m_g – маса вологого зразка; m_c – маса зразка в абсолютно сухому стані.

Об'ємна вологість – це відношення об'єму води до об'єму матеріалу:

$$W_o = \frac{V_g}{V_m} \cdot 100\%,$$

де V_g – об'єм води, що міститься в зразку матеріалу; V_m – об'єм зразка.

За однакового об'ємного вмісту води в зразках матеріалу вони матимуть різну масову вологість залежно від густини. Для матеріалів з більшою середньою густиною масова вологість є меншою порівняно з вологістю матеріалів з меншою густиною. Тому об'ємна вологість дає повніше уявлення про вміст води в матеріалі. Проте частіше визначають масову вологість, особливо коли використовують зразки неправильної геометричної форми.

Масова й об'ємна вологість матеріалу зв'язані співвідношенням:

$$W_o = \frac{W_m \cdot \rho}{1000},$$

де ρ – середня густина матеріалу, кг/м^3 .

В огорожувальних конструкціях будівельні матеріали ніколи не є абсолютно сухими, а характеризуються деякою вологістю внаслідок процесів сорбції і конденсації водяної пари, що відбуваються в приміщенні.

4.2. Характеристики вологого повітря

В атмосферному повітрі завжди міститься водяна пара, зумовлюючи його вологість. Вологість у приміщенні викликана:

1. Виділенням води людьми, що перебувають у приміщенні, і кімнатними рослинами. За годину людина в спокійному стані виділяє 45,8 г води, під час роботи 80–130 г.

2. Виділенням води під час приготування їжі, прання, сушіння білизни, миття поверхонь.

3. Виробничими умовами для промислових споруд, зумовленими специфікою технологічного процесу певного виробництва. Так, на бетонних заводах збільшена вологість, пічні та сушильні відділення характеризуються нижчою вологістю.

4. Вологістю огорожувальних конструкцій. У перший рік експлуатації будівлі після будівництва вологість повітря в приміщеннях з цегляними

стінами може досягати 70–75 %, внаслідок випаровування будівельної вологи, тому в першу зиму потрібна сильніша вентиляція.

За показниками вологості внутрішнього повітря приміщень згідно з ДБН В.2.6-31:2006 виділено чотири класи вологісного режиму приміщень (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Градація вологісного режиму приміщень

Вологісний режим (мови експлуатації)	Вологість внутрішнього повітря φ_v , %, при температурі t_v		
	$t_v \leq 12 \text{ }^\circ\text{C}$	$12 < t_v \leq 24 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_v > 24 \text{ }^\circ\text{C}$
Сухий (А)	$\varphi_v < 60$	$\varphi_v < 50$	$\varphi_v < 40$
Нормальний (Б)	$60 \leq \varphi_v \leq 75$	$50 \leq \varphi_v \leq 60$	$40 \leq \varphi_v \leq 50$
Вологий (Б)	$75 < \varphi_v$	$60 < \varphi_v \leq 75$	$50 < \varphi_v \leq 60$
Мокрий (Б)	–	$75 < \varphi_v$	$60 < \varphi_v$

Вміст водяної пари в повітрі – його вологість – характеризується низкою параметрів – абсолютною та відносною вологостями, парціальним тиском насиченої пари та точкою роси.

Абсолютна вологість f – кількість вологи (г), що міститься в 1 м^3 повітря.

Парціальний тиск. Для розрахунків, пов'язаних з конденсацією вологи, зручно користуватися величиною парціального тиску. Атмосферне повітря – це суміш газів, а кожен із газів робить свій внесок у сумарний тиск повітря. Відповідно до закону Дальтона тиск повітря, в якому є водяна пара, складається з тиску сухого повітря p_c і тиску пари води p_n , тобто атмосферний тиск дорівнює:

$$P_a = p_c + p_n,$$

p_n інакше називають парціальним тиском водяної пари.

Парціальний тиск водяної пари e – це тиск, який чинила б водяна пара, якби не було інших газів. Виражається в одиницях тиску – Па, мм рт. ст.

Чим більша абсолютна вологість повітря, тим вищий парціальний тиск водяної пари. За заданої температури і тиску парціальний тиск водяної пари має граничне значення, який він не перевищує. Ця гранична величина називається тиском насиченої пари – E , Па, мм рт. ст. Чим вища температура, тим більший тиск насиченої пари і більше повітря може містити максимально можливу кількість водяної пари. Парціальний тиск насиченої пари залежно від температури представлено в додатку Е.

Відносна вологість φ . Знаючи абсолютну вологість повітря та парціальний тиск водяної пари, неможливо зробити висновок про те, наскільки вона близька до стану насичення. Ступінь насичення повітря водяною парою показує

відносна вологість – відношення парціального тиску водяної пари за заданої температури до тиску насиченої водяної пари при тій самій температурі:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\% .$$

Від відносної вологості повітря залежить інтенсивність випаровування вологи тілом людини та підтримування сталої температури організму. Для тривалого перебування людини в приміщенні нормальна відносна вологість повинна коливатися в межах $\varphi = 30\text{--}60\%$. Якщо вологість повітря понад 60 %, віддавання вологи поверхнею шкіри людини утруднене, що негативно позначається на самопочутті. Якщо ж вологість повітря нижча за 30 %, відбувається інтенсивне випаровування з поверхні шкіри людини, що викликає неприємне відчуття сухості в роті та горлі. Для забезпечення мікроклімату в житлових та громадських приміщеннях оптимальна відносна вологість внутрішнього повітря складає 35–55 %.

З підвищенням температури відносна вологість повітря зменшується, оскільки парціальний тиск водяної пари e залишається таким самим, а величина тиску насиченої пари E зростає у разі підвищення температури. Під час охолодження відносна вологість повітря збільшується внаслідок зменшення тиску насиченої пари E . При деякій температурі тиск насиченої пари E дорівнюватиме парціальному тиску водяної пари e , а відносна вологість досягне 100 %, тобто повітря стає насиченим водяною парою.

Значення відносної вологості повітря в приміщенні для розрахунку приймають як максимальну величину допустимої в них вологості (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Розрахункові значення температури й вологості повітря приміщень

Призначення будинку	Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_{в}$, °C	Розрахункове значення відносної вологості $\varphi_{в}$, %
Житлові будинки	20	55
Громадські й адміністративні будинки	20	60
Лікувальні й дитячі навчальні установи	21	50
Дошкільні установи	22	50

Точка роси t_p – температура, при якій повітря заданої вологості досягає стану повного насичення водяною парою. Якщо повітря продовжуватиме охолоджуватися нижче від точки роси, то парціальний тиск водяної пари зменшуватиметься відповідно до значення тиску насиченої пари для цієї

температури, а при надлишку пари буде конденсуватися. Точка роси має важливе значення для оцінки вологісного режиму приміщень і визначається за заданою вологістю повітря.

4.3. Конденсація і сорбція водяної пари

4.3.1. Конденсація вологи на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції

Якщо охолоджувати поверхню предмета, що оточений повітрям заданої вологості, то при зменшенні температури нижче від точки роси на поверхні з повітря конденсуватиметься водяна пара. Аналогічне явище спостерігається, коли внести в теплу кімнату холодний предмет.

На внутрішній поверхні огороження волога з повітря конденсуватиметься, коли температура поверхні буде нижча за точку роси внутрішнього повітря. Цю вологу поглинатиме матеріал огороження, що підвищить його вологість. Зростання вологості у приміщенні погіршує умови проживання і негативно впливає на організм людини. Перш за все у приміщенні підвищується відносна вологість повітря, внаслідок чого на стінах, шпалерах, меблях, підлозі з'являється пліснява, розвиваються бактерії, грибки, які мають неприємний запах і руйнують дерев'яні деталі будівлі, меблі. Явище конденсації вологи спостерігається передусім у місцях огорожень, де температура є мінімальною: зовнішні кути, стики панелей, нижня частина стіни у разі недостатнього утеплення цоколя.

Умови конденсації вологи на поверхні огороження:

- 1) $t_{\text{вн}} < t_p$ – конденсація на всій внутрішній поверхні зовнішньої огорожувальної конструкції;
- 2) $t_{\text{вн}} > t_p > t_k$ – конденсація в місцях теплопровідних включень при відсутності конденсації на решті внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції. де $t_{\text{вн}}$ – температура внутрішньої поверхні зовнішньої огорожувальної конструкції, t_k – температура внутрішньої поверхні теплопровідного включення.

Розраховуючи теплову оболонку зовнішніх огорожувальних конструкцій, необхідно забезпечити, щоб температура їхніх внутрішніх поверхонь була вищою від температури точки роси повітря за заданої вологості. При цьому розраховують температуру не тільки стіни, а й термічних містків (теплопровідних включень). Теплопровідні включення – це ділянки зовнішніх конструкцій будівлі, через які відбуваються тепловтрати з порівняно вищою інтенсивністю, що призводить до підвищеного споживання енергії, зниження теплового комфорту та пошкодження конструкцій будівлі. До найпоширеніших терміч-

них містків належать зовнішні кути, карнизні вузли великопанельних або блокових будинків, стикові з'єднання, віконні прорізи.

Зовнішні кути стін. Зниження температури поверхні стіни в зовнішньому куті спричиняє появу конденсату й промерзання зовнішніх кутів. Це зниження температури зумовлене двома причинами:

1) геометричною формою кута, тобто нерівністю площ теплосприйняття й тепловіддачі в зовнішньому куті; тоді як на плоскій поверхні стіни площа теплосприйняття та площа тепловіддачі рівні, то зовнішній кут зазнає більшого охолодження, ніж плоска поверхня стіни;

2) зменшенням коефіцієнта теплосприйняття у зовнішньому куті порівняно з плоскою поверхнею стіни внаслідок зменшення передавання тепла випромінюванням, а також у результаті зниження інтенсивності конвекційних потоків повітря в зовнішньому куті.

Карнизні вузли. Карнизним вузлом називають вузол примикання горищного перекриття або сполученого покриття до зовнішньої стіни. Теплотехнічний режим такого вузла близький до теплотехнічного режиму зовнішнього кута, але відрізняється від нього тим, що покриття, яке примикає до стіни, має вищі теплозахисні властивості, ніж стіна, а при горищних перекриттях температура повітря на горищі буде трохи вищою від температури зовнішнього повітря.

Цокольні вузли. Аналогічним карнизному вузлу є температурний режим цокольного вузла. Зниження температури в куті примикання стіни першого поверху до поверхні зовнішньої стіни може виявитися значним і наблизитися до температури в зовнішніх кутах.

Для підвищення температури стіни перших поверхів у зовнішніх стін бажано підвищувати теплозахисні властивості його по периметру будинку. Необхідно також, щоб цоколь мав достатні теплозахисні показники.

Стикові з'єднання. У випадку, коли якийсь матеріал зовнішніх конструкцій стикається з матеріалом, що має інший коефіцієнт теплопровідності, тепло виходить через матеріал, що має більший коефіцієнт теплопровідності. Теплопровідні вclusions можуть виникати, наприклад, в елементах бетонного чи сталевих каркаса в каркасних будівлях, при зв'язуванні рядів утеплених цегляних стін і в кам'яних кладках, при вклученнях матеріалу між порожнинами чи окремими ділянками утеплювача, в наскрізних швах важких розчинів, що застосовуються при кладці каміння чи плит з менш теплопровідних матеріалів.

Проблема стикових з'єднань виникає переважно в панельному будівництві, рідше за інших конструктивних рішень будівель. У стикових з'єднаннях теплозахисні властивості конструкцій знижуються. Це викликано такими основними причинами:

- 1) заповнення стиків теплопровідним цементним розчином чи бетоном;
- 2) наявністю в стиках бетонних ребер, що охоплюють панель;

- 3) теплопровідністю плит балконів і лоджій, що виступають назовні;
- 4) проникненням повітря.

Вплив цих факторів може більш ніж на 10 % збільшити тепловтрати будівлі, а також призвести до конденсації водяної пари на внутрішніх поверхнях перегородок. Щоб не допустити цього, в зонах стиків використовують утеплювачі (пінополістирол, мінеральна вата) завтовшки 40–80 мм.

Недостатнє утеплення зовнішніх стін у міжповерховому поясі може призвести до значного зниження температури поверхні зовнішніх стін навіть у цегляних будинках. Це зазвичай спостерігається в разі утеплення зовнішніх стін із внутрішньої сторони приміщення, а в міжповерховому поясі стіна залишається неутепленою. Підвищена повітропроникність стін у міжповерховому поясі може призвести до додаткового охолодження міжповерхового перекриття.

Теплоізоляція стін будівлі ззовні дає змогу значно зменшити кількість теплопровідних включень (рис. 4.1). Неправильний монтаж теплоізоляційного матеріалу, його переуцільнення, неправильне стикування чи пропуск можуть стати причиною зайвих тепловтрат.

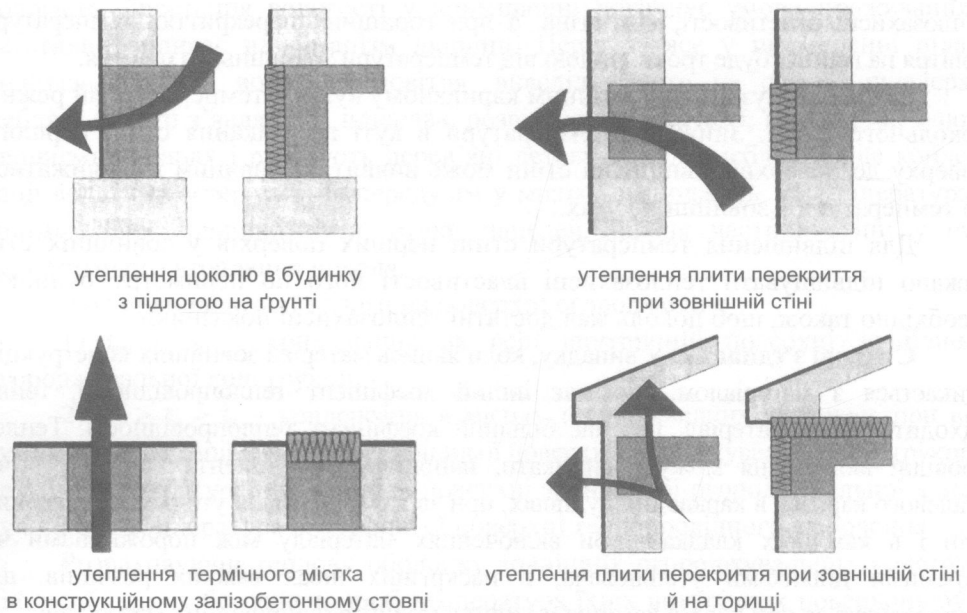


Рис. 4.1. Місця появи теплопровідних включень ("містків холоду") у будинку

Останнім часом для захисту стиків все частіше використовують поліуретанові піни різних фірм. Особливо добре ці піни проявляють себе при герметизації швів між стінною і віконною чи дверною коробкою.

Часто в горизонтальних стиках є з'єднання плити міжповерхового перекриття з балконною плитою або плитою лоджії. У проєктах звичайно передбачається заповнення проміжку між цими плитами цементним розчином, що призводить до зниження температури на внутрішніх поверхнях вузла. Щоб не допустити цього, рекомендується між плитою перекриття й балконною плитою укладати ефективний утеплювач.

Заходи для запобігання конденсації вологи на внутрішній поверхні огороження

1. Зменшення вологості в приміщенні за рахунок посилення вентиляції у разі підвищення температури внутрішнього повітря.

2. Зростання температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції вище від точки роси, що досягається збільшенням опору теплопередачі $R_{\Sigma пр}$ або зменшенням опору теплосприйняття R_v .

Збільшення опору теплопередачі забезпечується за допомогою утеплення стіни теплоізоляційними матеріалами. Зменшення опору теплосприйняття R_v залежатиме від інтенсивності руху повітря біля поверхні огорожень: чим сильніший рух повітря (вентиляція), тим менший R_v . Збільшення R_v є причиною конденсації, що спостерігається на поверхнях, заставлених меблями, килимами.

3. Якщо вологість у приміщенні є високою (наприклад, ванні кімнати, де відносна вологість повітря може досягати $\varphi = 90-95\%$), то температура точки роси у цьому випадку може наблизитися до температури внутрішнього повітря і конденсації не уникнути. Тоді треба вживати заходів, щоб волога не могла потрапити в товщу стіни і підвищити її вологість. У такому разі поверхню стіни роблять водонепроникною (керамічна плитка на цементному розчині, штукатурка з водовідштовхувальними добавками).

Характер конденсації залежить від стану внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції. На гладкій цементній штукатурці чи олійній фарбі видима конденсація з'являється відразу. На пористій вапняній вологу спочатку всмоктує штукатурка, після достатнього зволоження з'являється видима сирість. Якщо умови конденсації виникають рідко і недовго, то волога зі штукатурки встигає висихати. У цьому випадку пориста штукатурка є автоматичним регулятором вологісного режиму внутрішньої поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій. Якщо ж конденсація вологи триває довго, то пориста штукатурка стає вологою і потрібно багато часу, щоб вона висохла.

4.3.2. *Переміщення в огороженні пароподібної вологи*

Якщо на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції не конденсується волога, це не гарантує, що матеріал не зволожений, оскільки зволоження може відбуватися за рахунок сорбції і конденсації водяної пари в товщі самого огороження. Здебільшого це і є причиною збільшення вологості будівельних матеріалів огорожувальної конструкції.

Сорбція водяної пари

Зразок будівельного матеріалу, висушений до постійної маси, поміщений в атмосферу повітря, що має певний вологовміст, набуває певної вологості, причому кількість вологи в матеріалі зростає з підвищенням відносної вологості повітря та зниженням його температури, тобто відбувається процес сорбції. Сорбція – це збільшення вологості матеріалу в результаті поглинання вологи з навколишнього повітря. Це поняття поєднує два явища:

- 1) поглинання пари пористою поверхнею у результаті співударень молекул води з поверхнею пор – адсорбція;
- 2) поглинання пари, що полягає в прямому її розділенні в об'ємі твердого тіла, – абсорбція.

Оскільки ці процеси важко розділити, то їх об'єднали і назвали сорбцією.

Сорбційні процеси мають істотне значення для матеріалів з розвинутою внутрішньою поверхнею (табл. 4.3). В результаті сорбції вологість деревини може підвищуватись до 32,7 %.

Таблиця 4.3

Сорбційна вологість будівельних матеріалів

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Масова вологість матеріалу, %, при температурі 20 °С і відносній вологості повітря, %	
		60	80
Важкий бетон	2200	0,4	0,7
Керамзитобетон	900	1,7	3,3
Пінобетон	650	2,85	4,75
	850	4,7	6,6
Будівельний розчин (цементно-піщаний)	1800	1,1	1,75
Керамічна цегла	1800	0,1	0,24
Мінеральна вата	150	0,11	0,14

У процесі сорбції водяної пари розрізняють три стадії:

- 1) на поверхні пор утворюється молекулярний адсорбційний шар;
- 2) на поверхні пор виникає полімолекулярний адсорбційний шар;

3) капілярна конденсація, що на ізотермі сорбції відповідає різкому зростанню вологості матеріалу. Причиною капілярної конденсації є те, що тиск насиченої водяної пари над увігнутою поверхнею є меншим, ніж над плоскою. За рахунок цього можлива конденсація пари у порах малого діаметра, що призводить до різкого підвищення вологості матеріалу.

Гігроскопічність – умовне поняття, за допомогою якого дають порівняльну характеристику швидкості сорбції водяної пари будівельними матеріалами в перші десять днів за відносної вологості повітря 100 %.

Паропроникність у зимовий період температура повітря внутрішньої поверхні огороження значно вища від температури зовнішнього повітря. Якщо відносні вологості внутрішнього та зовнішнього повітря однакові, парціальний тиск водяної пари з внутрішнього боку огороження буде значно вищим, ніж зовнішній. Різниця величин парціальних тисків водяної пари з різних сторін огороження викликає потік водяної пари через огороження. Це явище називається дифузією водяної пари. Взимку цей потік дифундує з приміщення назовні, влітку, коли внутрішнє повітря холодніше, дифузія водяної пари може проходити у зворотному напрямі. Одночасно з дифузією водяної пари через стінку дифундує потік повітря.

За аналогією до кількості теплоти, що передається теплопровідністю (закон Фур'є), кількість водяної пари, яка дифундує в стаціонарних умовах через плоску стіну, що складається з одного шару, дорівнює:

$$P = (e_{вн} - e_{зовн}) \cdot F \cdot \tau \cdot \frac{\mu}{\delta},$$

P – кількість пари, мг; $e_{вн} - e_{зовн}$ – парціальний тиск водяної пари з внутрішньої та зовнішньої сторін огорожувальної конструкції, Па; μ – коефіцієнт паропроникності матеріалу конструкції, мг/(Па·м·год); δ – товщина конструкції, м; τ – час, год.

Коефіцієнт паропроникності матеріалу μ характеризує здатність матеріалу проводити водяну пару, яка через нього дифундує, і залежить від фізичних властивостей матеріалу. Фізичний зміст коефіцієнта паропроникності – кількість водяної пари (мг), яка дифундує за одиницю часу (1 год) через площу 1 м² плоскої стіни завтовшки 1 м при різниці парціальних тисків водяної пари 1 Па.

Розрахункові значення коефіцієнта паропроникності для деяких будівельних матеріалів і виробів, мг/(Па·м·год):

бітум покрівельний 0,008;

мінеральна вата 0,4;

пінополістирол 0,05;

цегла керамічна 0,11.

Віконне скло та метали не є паропроникними, а повітря є найбільш паропроникним.

Для того самого матеріалу коефіцієнт паропроникності може змінюватися залежно від температури і вологості матеріалу. Коли температура знижується, то коефіцієнт паропроникності теж буде зменшуватись, і навпаки. Коефіцієнт паропроникності деревини залежить від напрямку дифузії водяної пари відносно волокон деревини, мг/(Па·м·год):

впоперек 0,06;

вздвж 0,32.

При дифузії водяної пари матеріал здійснює опір потоку пари (аналогічно тепловому потоку). Цей опір називається опором паропроникності або дифузійний опір шару і показує, яку необхідно створити різницю парціальних тисків водяної пари на поверхні шару, щоб через 1 м² його площі дифундував потік пари 1 мг за 1 год:

$$R_e = \frac{\delta}{\mu} \frac{\text{Па} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^2}{\text{мг}}$$

Для багат шарової огорожувальної конструкції опір паропроникності дорівнює сумі опорів окремих шарів

$$R_{e\Sigma} = R_{e_1} + R_{e_2} + \dots + R_{e_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}$$

Парціальний тиск водяної пари, що дифундує через огороження по його товщині, зменшуватиметься від e_6 до e_3 внаслідок опору паропроникності. В одношаровій огорожувальній конструкції він зменшуватиметься по прямій, у багат шаровій – по ламаній кривій, причому найінтенсивніше зменшуватиметься в шарах з малопроникних матеріалів.

4.3.3. Розрахунок вологісного режиму за стаціонарних умов дифузії водяної пари

Для розрахунку вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій треба знати:

- температуру і вологість внутрішнього повітря (залежно від призначення будинку);
- температуру і вологість зовнішнього повітря (температуру зовнішнього повітря для розрахунків приймають вищою, ніж під час теплотехнічних розрахунків, оскільки процеси дифузії водяної пари проходять значно повільніше від процесів теплопередавання і для виникнення стаціонарних умов дифузії необхідний тривалий час. Тому для розрахунків вологісного режиму зазвичай беруть середні значення температури і відносної вологості повітря для найхолод-

нішого місяця року). Температура повітря найхолодніших діб наведена у додатку Ж.

Парціальний тиск водяної пари, що дифундує через огороження, знижуватиметься, оскільки він стикається з холоднішими шарами огороження. У деяких випадках пониження парціального тиску пари і температури в огорожувальній конструкції можуть мати такий характер, що конденсації пари не відбудеться. Якщо зниження температури у товщі шарів огорожувальної конструкції інтенсивніше порівняно зі зменшенням парціального тиску пари, можуть створюватись умови, що викликають конденсацію водяної пари в товщі огороження.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2006 для зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків, що опалюються, обов'язкове виконання умови:

$$\Delta w \leq \Delta w_d,$$

де Δw – збільшення вологості матеріалу у товщі шару конструкції, в якому можлива конденсація вологи, за холодний період року, % за масою; Δw_d – допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, в шарі якого можлива конденсація вологи, % за масою, що встановлюється згідно з табл. 4.4 залежно від виду матеріалу.

Таблиця 4.4

Допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, Δw_d , у конструкції в холодний період року

Матеріал	Значення Δw_d , мас. %
Мінераловатні та скловолокнисті вироби	2,5
Пінополістирол	2,0
Пінополіуретан	3,0
Плити з карбамідоформальдегідних пінопластів	7,0
Ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон, газосилікат тощо)	1,2
Бетони легкі	1,2
Вироби перлітові	2,0
Плити з природних органічних та неорганічних матеріалів	7,0
Цегляне мурування	1,5
Піногазоскло	1,5
Мурування з силікатної цегли	2,0
Засипки з керамзиту, шунгізиту	3,0
Важкий бетон, цементно-піщаний розчин	2,0

Зона конденсації визначається за характером розподілу парціального тиску водяної пари $e(x)$ і насиченої водяної пари $E(x)$ у товщі шарів огорожувальної конструкції.

Парціальний тиск водяної пари в товщі шару матеріалу в перерізі x огороження визначають за формулою:

$$e_x = e_g - \frac{e_g - e_3}{R_{e\Sigma}} \cdot \Sigma_{n-1} R_e ,$$

$\Sigma_{n-1} R_e$ – сума опорів паропроникності $n-1$ перших шарів, починаючи від внутрішньої поверхні; e_g – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, що визначається на підставі значень відносної вологості внутрішнього повітря $\varphi_{в0}$ з урахуванням призначення будинку (табл. 4.2) і значення тиску насиченої водяної пари E_g , що залежить від температури.

$$e_g = 0,01\varphi_{в0} E_g .$$

Конденсацію вологи в товщі шарів огорожувальної конструкції можна розрахувати графічним способом. Для цього:

1. Будують лінію зниження температури в перерізі огорожувальної конструкції $T(x)$.
2. За температурною лінією проводять лінію зміни тиску насиченої водяної пари (лінія $E(x)$).
3. Будують лінію парціального тиску водяної пари (лінія $e(x)$).

Якщо $e(x) < E(x)$ для будь-якого $x \in [0, \delta]$, тобто лінії $E(x)$ і $e(x)$ не перетинаються, то умова $\Delta w \leq \Delta w_d$ вважається виконаною.

Якщо лінії $e(x)$ і $E(x)$ перетинаються, тобто якщо в якомусь з перерізів огорожувальної конструкції $e(x) = E(x)$, то відбувається конденсація водяної пари. У такому разі парціальний тиск водяної пари в стіні знижується як за рахунок опору дифузії пари матеріалів огорожувальної конструкції, так і внаслідок процесу конденсації водяної пари. Щоб визначити область конденсації, проводять дотичні з точок на поверхні огорожувальної конструкції до лінії тиску насиченої водяної пари. Між точками дотику міститиметься зона конденсації.

Визначають приріст вологи у шарі матеріалу Δw , у якому відбувається конденсація вологи (у разі розташування зони конденсації на межі шарів приріст розраховують для шару, прилеглого до зони конденсації з боку внутрішньої поверхні) за формулою

$$\Delta w = \frac{P}{\delta_k \rho_k} 100 \% ,$$

де P – кількість вологи, яка конденсується у товщі огорожувальної конструкції за період вологонакопичення, $\text{кг}/\text{м}^2$, що обчислюється за формулою

$$P = \left(\frac{e_b - e_k}{R_{e_k}} - \frac{e_k - e_3}{R_{e\Sigma} - R_{e_k}} \right) Z \cdot 10^{-6} .$$

де e_k – парціальний тиск водяної пари у зоні конденсації, Па; R_{e_k} – опір паропроникненню частини огорожувальної конструкції від внутрішньої поверхні до зони початку конденсації, $m^2 \cdot год \cdot Па / мг$; $R_{e_{\Sigma}}$ – сума опорів паропроникності шарів огорожувальної конструкції; Z – період вологонакопичення, год, який дорівнює періоду із середньодобовими температурами зовнішнього повітря менше ніж $8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ДСТУ-НБВ.1.1-27:2010; δ_k – товщина шару матеріалу, у якому накопичується волога, що конденсується (від зони конденсації до внутрішньої поверхні шару), м; ρ_k – густина шару матеріалу, в якому відбувається конденсація вологи, $кг/м^3$.

Метод розрахунку вологісного режиму за стаціонарними умовами є орієнтовним, оскільки процеси дифузії водяної пари проходять дуже повільно. Якщо розрахунки показують, що в огорожувальній конструкції відбувається конденсація пари, то насправді її може і не бути, особливо в масивних конструкціях, оскільки для конденсації необхідний тривалий час. Чим менш масивна споруда, тим ближчі результати розрахунку до реальних. Разом з тим, цей розрахунок доволі простий і за його допомогою можна визначити:

- чи захищена огорожувальна конструкція від конденсації. Якщо в результаті розрахунку встановлено, що конденсації водяної пари немає, то її справді немає;
- баланс вологи в огорожувальній конструкції. Здійснюючи розрахунок помісячно чи для чотирьох періодів року, можна встановити річний баланс вологи в огорожувальній конструкції, тобто з'ясувати, чи відбувається систематичне накопичення вологи, чи конденсована взимку пара влітку випаровується. Отже, можна визначити, чи огорожувальна конструкція з часом зволожується, чи поступово висихає. Зауважимо, що навіть за відсутності конденсації водяної пари в зимовий період вологість матеріалів огорожувальної конструкції буде підвищеною внаслідок сорбції ними водяної пари.

Заходи проти конденсації вологи в огорожувальній конструкції

1. Основним конструктивним заходом, що дає змогу запобігти конденсації водяної пари в огорожувальній конструкції, є раціональне розміщення в ній шарів різних матеріалів. Матеріали огорожувальної конструкції повинні розташовуватись у певному порядку: ближче до внутрішньої поверхні розміщують щільні матеріали, теплопровідні і малопаропроникні, а ближче до зовнішньої поверхні – пористі малотеплопровідні і паропроникні. За такого розміщення парціальний тиск пари різко знижуватиметься на початку огорожувальної конструкції, а температура – в кінці, що захищає огорожувальні конструкції від конденсації вологи і від сорбційного зволоження.

2. Застосування пароізоляційних шарів. Якщо з технічних чи конструктивних причин таке розміщення матеріалів неможливе, то, щоб не допустити внутрішньої конденсації, використовують пароізоляційні шари, тобто шари з паронепроникних матеріалів чи тих, яким властива низька паропроникність. Шари з таких матеріалів чинять значний опір потоку водяної пари, зменшують її кількість та змінюють характер зниження парціального тиску водяної пари в огорожувальній конструкції.

При цьому пароізоляційний шар повинен розміщуватись першим у напрямку потоку водяної пари, тобто на внутрішній поверхні огорожувальних конструкцій будинків, що опалюються, не глибше від того шару, температура якого дорівнює температурі точки роси. Якщо пароізоляційний шар розміщений глибше, водяна пара конденсуватиметься на його внутрішній поверхні. У випадку розміщення пароізоляційного шару на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції погіршується вологісний режим. Кількість пари, що надходить в огороження, залишиться такою самою, що й без пароізоляційного шару, а кількість пари, яка виходить, буде меншою через значний опір пароізоляційного шару. В результаті цього процес випаровування вологи, що нагромадилась в огорожувальній конструкції упродовж зимового періоду, буде утруднений. Отже, не допускається встановлення пароізоляційного шару на зовнішній поверхні огорожувальних конструкцій, що опалюються.

Етапи розрахунку коефіцієнтів енергоефективності

I. Етап

1. Термічний опір огорожувальної конструкції

$$R_{\delta} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \text{ [м}^2 \cdot \text{К/Вт]}.$$

2. Приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_{\delta}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}.$$

Мінімально допустимі значення опорів теплопередачі для огорожувальних конструкцій наведені в табл. 3.5

3. Коефіцієнт теплопередачі $U = 1/R_{\Sigma np}$ [Вт/(м²·К)]

$$U_{max} = 0,30 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

4. Густина теплового потоку $q = U \Delta t$ [Вт/м²]

5. Потужність теплового потоку $\Phi = q F$ [Вт]

6. Витрати теплової енергії на опалення Q [кВт·год/рік]

7. Питомі тепловтрати $q_{б\text{вд}}$ [кВт·год/(м²·рік)]

II. Етап

1. Точка роси t_p .

2. Температура на внутрішній поверхні стіни $t_{cm} = t_p + 1$ °С

4.4. Приклади розв'язування задач

Приклад 1. (за Фокіним К.Ф.) Визначити точку роси для повітря з температурою $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносною вологістю 60% .

При температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ тиск насиченої пари становить $E=2338\text{ Па}$ (додаток E). Оскільки відносна вологість повітря 60% , то парціальний тиск водяної пари в повітрі

$$e = \varphi \cdot E = 2338 \cdot 0,6 = 1403 \text{ Па.}$$

Температура, при якій 1403 Па відповідатиме тиску насиченої пари, є точкою роси і становить $t_p = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Якщо відносна вологість зменшиться до $\varphi = 55\%$, тоді $e = 2338 \cdot 0,55 = 1286\text{ Па}$, для якого $t_p = 10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отже, водночас із зменшенням відносної вологості повітря відповідно знижується його точка роси.

Приклад 2. (за Фокіним К.Ф.) Температура повітря становить $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а його відносна вологість – 60% . Як зміниться відносна вологість повітря, коли:

- а) температура зросте до $22\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- б) температура знизиться до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$?

а) $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $E = 2338\text{ Па}$. Знаходимо парціальний тиск водяної пари $e = 2338 \cdot 0,6 = 1403\text{ Па}$.

При підвищеній температурі $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ тиск насиченої пари становить $E = 2644\text{ Па}$, тоді відносна вологість дорівнює:

$$\varphi = \frac{1403}{2644} = 53\%;$$

б) якщо температура $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, тиск насиченої пари становить $E = 1705\text{ Па}$, тоді відносна вологість повітря дорівнює:

$$\varphi = \frac{1403}{1705} = 82\%.$$

Отже, відносна вологість повітря неоднакова по висоті приміщення: вона зменшується у його верхніх шарах зі зростанням температури.

Приклад 3. Визначити, чи конденсується волога на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції, що складається з таких шарів:

1. Внутрішній вапняно-піщаний тиньк $1,5\text{ см}$.
2. Кладка із повнотілої керамічної цегли 50 см .
3. Зовнішній цементно-піщаний тиньк $1,5\text{ см}$.

Вологість внутрішнього повітря $\varphi = 60\%$, температура – $t_в = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура зовнішнього – $t_з = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Визначаємо точку роси внутрішнього повітря. Температурі внутрішнього повітря 22 °С відповідає тиск насиченої пари $E = 2644$ Па. Тоді парціальний тиск водяної пари $e = 2644 \cdot 0,6 = 1586$ Па. Температура, при якій 1586 Па відповідає тиску насиченої пари, є точкою роси і становить $t_p = 13,9$ °С.

Визначаємо температуру поверхні стіни та температуру зовнішнього кута.

$$t_{cm} = t_в - \frac{t_в - t_з}{R_{\Sigma np}} \cdot \frac{1}{\alpha_в},$$

де t_{cm} , $t_в$, $t_з$ – температура стінки, внутрішнього і зовнішнього повітря відповідно; $R_{\Sigma np}$ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції; $\alpha_в$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні.

Визначаємо опір теплопередачі огорожувальної конструкції:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_з},$$

де $\alpha_в$, $\alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), які приймають за ДБН В.2.6-31:2006 (табл. 3.4); λ_i – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції у розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К)

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,5}{0,81} + \frac{0,015}{0,93} + \frac{1}{23} = 0,81 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Тоді температура внутрішньої поверхні стіни

$$t_{cm} = 22 - \frac{22 - (-20)}{0,81} \cdot \frac{1}{8,7} = 16 \text{ °С}.$$

Оскільки температура зовнішнього кута за Фокіним К.Ф. є на 4–5 °С нижчою, ніж на поверхні стіни, то температура поверхні у куті $t_k = 11$ –12 °С.

Одержані значення температур порівнюємо з температурою точки роси, отримуємо $t_{cm} > t_p > t_k$. Отже, цей випадок відноситься до другої умови конденсації водяної пари на поверхні огороження, тобто водяна пара конденсується в зовнішньому куті, а на решті поверхні стіни вона відсутня.

Приклад 4. Для стіни з прикладу 3 визначити граничнодопустиму вологість повітря в приміщенні.

Температурі внутрішнього повітря 22 °С відповідає тиск насиченої пари $E_1 = 2644$ Па. Температура внутрішньої поверхні зовнішнього кута $t_k = 12$ °С, якій відповідає тиск насиченої пари $E_2 = 1403$ Па. Тоді відносна вологість повітря, за якої ще не відбувається конденсації водяної пари:

$$\varphi = \frac{1403}{2644} \cdot 100 \% = 53,9 \ \%.$$

Якщо враховувати тільки температуру внутрішньої поверхні стіни, знайдемо $t_{cm} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$, якій відповідає тиск насиченої пари $E_3 = 1817 \text{ Па}$

$$\varphi = \frac{1817}{2644} \cdot 100 \% = 68,7 \%$$

Приклад 5. Розрахувати вологісний режим зовнішньої огорожувальної конструкції житлового будинку, що складається з декількох шарів (рис. 4.2).

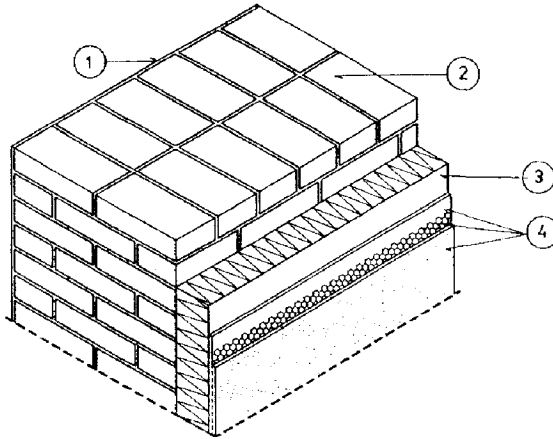


Рис. 4.2. Зовнішня огорожувальна конструкція:
 1 – внутрішній вапняно-піщаний розчин 1,5 см;
 2 – кладка із повнотілої керамічної цегли 50 см;
 3 – пінополістирол 10 см;
 4 – зовнішній цементно-піщаний розчин 1,5 см

Розрахункова вологість внутрішнього повітря житлових будинків $\varphi = 55 \%$, температура – $t_6 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, вологість зовнішнього повітря $\varphi = 80 \%$, температура зовнішнього – $t_3 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$. Властивості будівельних матеріалів огорожувальної конструкції наведено в табл. 4.5.

За даними табл. 4.5 розраховуємо термічні опори та опори паропроникності окремих шарів і усієї конструкції, результати заносимо в табл. 4.6.

Зміну температур у товщі шарів зовнішньої огорожувальної конструкції визначаємо за формулою

$$t_n = t_6 - \frac{t_6 - t_3}{R_{\Sigma np}} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_6} + \sum R_{n-1} \right),$$

де t_n , t_6 , t_3 – температура в перерізі n огорожувальної конструкції, внутрішнього і зовнішнього повітря відповідно; $R_{\Sigma np}$ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції; α_6 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції.

Властивості матеріалів шарів стіни

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт паропроникності μ , мг/ (Па·м·год)
Внутрішній вапняно-піщаний розчин	1800	0,93	0,09
Кладка з повнотілої керамічної цегли	1800	0,81	0,11
Пінополістирол	50	0,045	0,05
Зовнішній цементно-піщаний розчин	1600	0,81	0,12

Таблиця 4.6

**Розрахунок термічного опору
та опору паропроникності шарів огорожувальної конструкції**

Шар огорожувальної конструкції	Товщина δ , м	Термічний опір $R_{\delta} = \frac{\delta}{\lambda}$, м ² ·К/Вт	Опір паропро- никності $R_e = \frac{\delta}{\mu}$, Па·м ² ·год/мг
Внутрішній вапняно-піщаний розчин	0,015	0,02	0,17
Кладка з повнотілої керамічної цегли	0,5	0,62	4,55
Пінополістирол	0,1	2,22	2,0
Зовнішній цементно-піщаний розчин	0,015	0,02	0,12
Огорожувальна конструкція	0,63	2,88	6,84

Знайдемо опір теплопередачі огорожувальної конструкції:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_з},$$

де $\alpha_в$, $\alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, які приймаються згідно з ДБН В.2.6-31:2006, Вт/(м²·К); λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу i -го шару конструкції у розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К)

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,5}{0,81} + \frac{0,1}{0,045} + \frac{0,015}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,03 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Тоді температура внутрішньої поверхні стіни

$$t_1 = 20 - \frac{20 - (-10)}{3,03} \cdot \frac{1}{8,7} = 18,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Аналогічно розраховуємо температуру на межах розділу матеріалів конструкції:

– на межі між внутрішнім розчином та цегляною кладкою

$$t_2 = 20 - \frac{20 - (-10)}{3,03} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 \right) = 18,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

– на межі між цегляною кладкою та шаром пінопостиролу

$$t_3 = 20 - \frac{20 - (-10)}{3,03} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,62 \right) = 12,6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

– на межі між шаром пінопостиролу та зовнішнім цементно-піщаним розчином

$$t_4 = 20 - \frac{20 - (-10)}{3,03} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,62 + 2,22 \right) = -9,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

– на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції

$$t_5 = 20 - \frac{20 - (-10)}{3,03} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,62 + 2,22 + 0,02 \right) = -9,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тиск насиченої пари при температурі внутрішнього повітря $20 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$E_{\text{вн}} = 2338,4 \text{ Па}.$$

Тиск насиченої пари при температурі зовнішнього повітря $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$E_3 = 260,0 \text{ Па}.$$

Тоді парціальний тиск водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$e = \varphi \cdot E;$$

$$e_3 = 0,8 \cdot 260 = 208 \text{ Па};$$

$$e_{\text{вн}} = 0,55 \cdot 2338,4 = 1286,1 \text{ Па}.$$

Тиск насиченої пари на межах шарів матеріалів огорожувальної конструкції з додатку E .

$$t_1 = 18,9 \text{ } ^\circ\text{C} \quad E_1 = 2182,4 \text{ Па};$$

$$t_2 = 18,7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad E_2 = 2155,8 \text{ Па};$$

$$t_3 = 12,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad E_3 = 1458,5 \text{ Па};$$

$$t_4 = -9,4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad E_4 = 273,3 \text{ Па};$$

$$t_5 = -9,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad E_5 = 268,0 \text{ Па}.$$

Парціальний тиск водяної пари на межах шарів огороження визначають за виразами

$$e_x = e_6 - \frac{e_6 - e_3}{R_{e\Sigma}} \cdot \sum_{n-1} R_e;$$

$$e_1 = e_6 - \frac{e_6 - e_3}{R_{e\Sigma}} \cdot \sum_{n-1} R_e = 1286,1 - \frac{1286,1 - 208}{6,84} \cdot 0,17 = 1259,3 \text{ Па};$$

$$e_2 = 1286,1 - \frac{1286,1 - 208}{6,84} \cdot (0,17 + 4,55) = 542,1 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1286,1 - \frac{1286,1 - 208}{6,84} \cdot (0,17 + 4,55 + 2,0) = 266,9 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1286,1 - \frac{1286,1 - 208}{6,84} \cdot (0,17 + 4,55 + 2,0 + 0,12) = 247,9 \text{ Па}.$$

За результатами розрахунків будують схему вологісного режиму огорожувальної конструкції (рис. 4.3). У цьому випадку відсутність перетину ліній парціального тиску водяної пари e і тиску насиченої пари E показує, що конденсація вологи в стіні не відбувається. Отже, встановлення теплоізоляційного шару на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції забезпечує сприятливий вологісний режим.

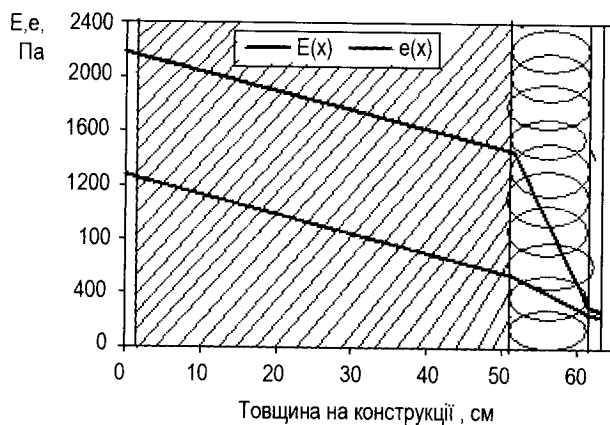


Рис. 4.3. Схема вологісного режиму утепленої огорожувальної конструкції в зимовий період

Запитання і завдання для самоконтролю

1. На які параметри огороджувальних конструкцій впливає вологісний режим?
2. Назвіть види вологості в огороджувальних конструкціях.
3. Як виражають вологість огороджувальних конструкцій?
4. Якими параметрами характеризується вологе повітря?
5. Чим зумовлена вологість повітря в приміщенні?
6. Що таке точка роси внутрішнього повітря?
7. Назвіть способи зменшення вологості внутрішнього повітря.
8. Чим зумовлена конденсація вологи на внутрішній поверхні огороджувальних конструкцій?
9. Назвіть заходи для запобігання конденсації вологи на внутрішній поверхні огороджувальних конструкцій.
10. Опишіть сорбційні процеси в товщині огороджувальних конструкцій.
11. Що таке сорбційна вологість та гігроскопічність будівельних матеріалів?
12. Чим зумовлене переміщення вологи в товщі огороджувальної конструкції?
13. Що характеризує коефіцієнт паропроникності будівельних матеріалів?
14. Що таке опір паропроникності?
15. Яка умова вологісного режиму огороджувальної конструкції повинна забезпечуватись під час проектування її теплоізоляційної оболонки?
16. Назвіть вихідні дані для розрахунку вологісного режиму огороджувальної конструкції.
17. Який порядок розрахунку вологісного режиму огороджувальної конструкції?
18. Назвіть заходи для запобігання конденсації водяної пари в товщі конструкції.
19. Чи конденсується водяна пара на поверхні стіни з температурою $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, якщо парціальний тиск пари внутрішнього повітря 10 мм рт. ст. ?
20. Розрахувати вологісний режим огороджувальної конструкції житлового будинку:
 1. Внутрішній вапняно-піщаний розчин $1,5\text{ см.}$
 2. Кладка з пустотілої керамічної цегли 38 см.
 3. Пінополістирол 10 см
 4. Зовнішній цементно-піщаний розчин $1,5\text{ см.}$
21. При $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ відносна вологість повітря 50% . Як зміниться відносна вологість, якщо температура знизиться до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$?
22. Визначити опір теплопередачі стіни з пустотілої цегли "POROTERM" ($\lambda = 0,20\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$). Товщина зовнішньої (цементно-піщаний розчин) та внутрішньої (вапняний розчин) штукатурки – 2 см. Чи відбувається конденсація на поверхні стіни, якщо відносна вологість у приміщенні 60% ? Температура зовнішнього повітря $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносна вологість – 75% .

Розділ 5

ВИМОГИ ДО СУЧАСНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

5.1. Екологічна характеристика енергозбережних технологій

У будівництві під технологією розуміють будівельні роботи на будівельному майданчику, а також виробництво елементів і виробів.

Технологія будівельних робіт – це наука про методи і способи реалізації будівельних процесів у просторі і часі, наприклад, процеси, метою яких є обробка і переробка матеріалів і напівфабрикатів у готові вироби (продукти), такі як будинки й інженерні будівлі. Технологія – це науковий опис виробничого процесу. Зв'язок між будівництвом і технологічними діями дає змогу одночасно розрахувати кількість енергії, спожитої під час будівництва, і його складових елементів (рис. 5.1).

Розвиток сучасних будівельних технологій у всіх технічно передових країнах спрямований на розроблення ефективних матеріалів, використання яких є економічно доцільним, дає змогу зменшити енергетичні затрати та витрату сировинних ресурсів.

Згідно з концепцією енергозбережних будівельних технологій, у виробничому процесі, незалежно від одержуваного продукту, зокрема і будівельної продукції, не уникнути необоротних відходів матеріалів, енергетичних витрат і витрат часу. Маса спожитої сировини завжди перевищує масу отриманого продукту. Відомо, що ККД машини або механізованого обладнання менший за 1, так само ефективне споживання енергії для реалізації технологічного процесу менше від фактичної кількості спожитої енергії. Дні, години, хвилини втрачаються безповоротно, тому люди завжди прагнуть економити час і зменшити тривалість технологічних процесів. Тому виробнича діяльність суспільства (технологія, транспорт, побут) спрямована на те, щоб одержати максимум продукту з мінімальною кількістю незворотних відпадків матеріалів, енергетичних втрат і часу і повинна передусім сприяти поліпшенню екологічної ситуації. Екологічна

характеристика енергозбережних технологій (ЕХЕТ) охоплює: фактичну кількість використаної сировини (м^3 , кг); кількість спожитої енергії на 1 м^2 поверхні ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$); тривалість виробничих процесів (год); виробництво продукту в результаті реалізації технологічних процесів, матеріальні та енергетичні витрати, витрати часу (рис. 5.2).

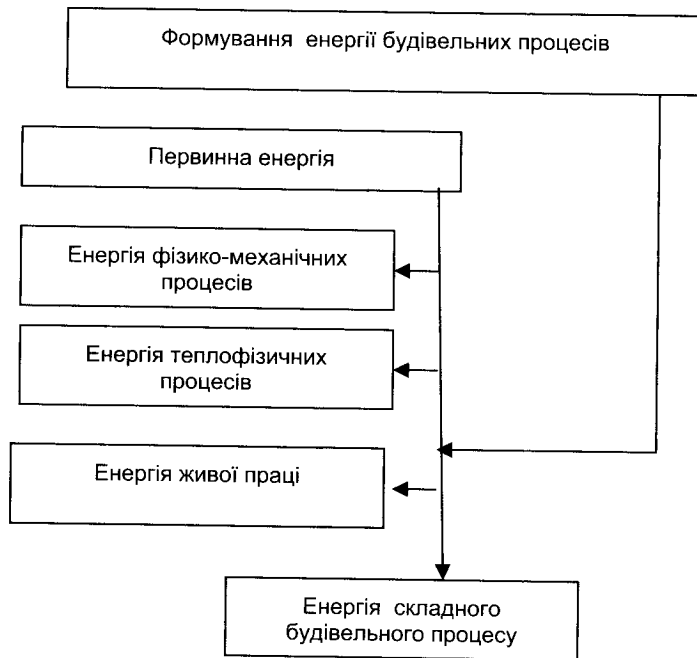


Рис. 5.1. Формування енергії будівельних процесів

ЕХЕТ завжди менша за 3. Чим вища ця характеристика, тим досконаліша технологія, організація виробничих процесів і менша шкода для навколишнього середовища. До пріоритетних напрямів належать технології, основані на використанні техногенної сировини.

Сучасні будівельні матеріали та технології будівництва на їхній основі повинні задовольняти такі вимоги:

- ✓ низький коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін;
- ✓ теплова інертність стіни;
- ✓ конструкція стін повинна створювати можливість дифузії водяної пари;
- ✓ гідроізоляція має виключати ризик зволоження стін та інших елементів будинку;
- ✓ низька енергосмність;
- ✓ мала вага будинку;
- ✓ низька ціна і нескладний спосіб монтажу.

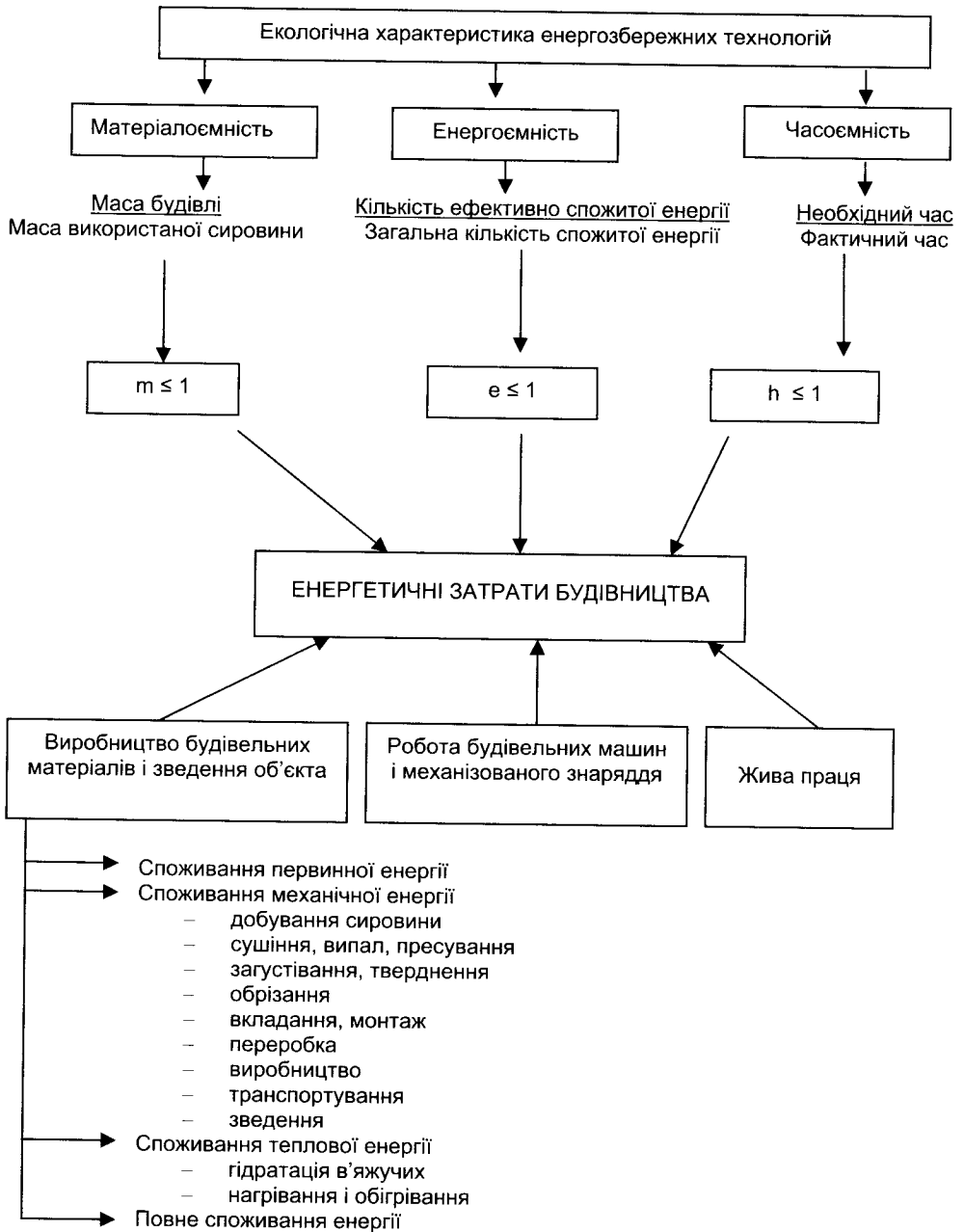


Рис. 5.2. Схема екологічної характеристики енергозберіжних технологій

Вартість будівельних матеріалів і виробів становить 50–65 % повного обсягу будівельно-монтажних робіт. Уміння оцінювати фізико-технічні властивості та енергоефективність будівельних матеріалів і раціональне їх вико-

ристання у будівництві допомагає вибрати сучасні матеріали на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням експлуатаційних вимог, зменшення матеріальних та енергетичних затрат.

Упроваджуючи будівельний енергетичний менеджмент (енергоефективність), фахівці можуть отримувати повніші відомості, з одного боку, про енергозатрати при виготовленні будівельних виробів, а з іншого – про споживання енергії в будівлях, тобто освоюють концепцію енергетичної ефективності.

Підставою для проектування енергоощадних будівельних технологій є моделювання енергоємності будівельних процесів на всіх стадіях реалізації інвестицій. Підвищити енергоощадність будівництва можна також за рахунок скорочення обсягів споживання енергії на виробництво будівельних матеріалів. Характерно, що споживання енергії на виробництво портландцементу в Україні є майже вдвічі більшим, ніж в ЄС, і сягає 6500–7200 МДж/т, оскільки виробництво портландцементу ведеться переважно мокрим способом (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Витрата енергії на виробництво деяких будівельних матеріалів

Матеріали	Витрата енергії, МДж/т
Вітчизняне виробництво	
портландцемент (мокрый спосіб)	6550
портландцемент (сухий спосіб)	4046
шлакопортландцемент	3080
гіпс будівельний	750
керамзитовий пісок	885
пилотеріали	1040
будівельний пісок	15
щебінь природний	99
товарний бетон класу В25	820
монолітний залізобетон класу В25	2001
збірний залізобетон	2897
бетонні блоки	1413
цегла	2610
будівельна сталь	32292
Країни Західної Європи	
пустотілі вироби	1620
ізоляційна цегла	1800
черепиця	1800
силікатна цегла	900
звичайний бетон	900–1080
залізобетон	1620–1800
цемент	3600
вапно	4320
газобетон	2700

У світі щорічне виробництво бетону постійно збільшується і в країнах ЄС становить близько 2000 кг на одного мешканця. На цемент припадає, як правило, 50–70 % енергоємності бетону. Тому проблема зниження енергоємності виробництва цементу – це одне з головних завдань цементної промисловості, яка є одним з найбільших споживачів як природної сировини, так і енергії. Виробництво портландцементу в Україні в 2010 р. становило близько 10 млн. тонн, а витрата енергії тільки на випал клінкеру сягала 65 млн. ГДж, або в перерахунку на природний газ – 1,6 млрд. м³.

Зазначимо, що під час виробництва цементу утворюються викиди пилу і газу, великі кількості яких потрапляють в атмосферу. Частка цементної індустрії в загальному об'ємі викидів вуглекислого газу становить близько 5%, що зумовлено згоранням викопного палива для забезпечення процесу клінкероутворення та декарбонізацією карбонатів, які є основними складовими сировинними матеріалами. Так, при виготовленні однієї тонни портландцементу ПЦ І викидається в атмосферу 1,0–1,2 тонни CO₂, тому зменшення виробництва клінкеру на кожну одну тонну цементу призводить до еквівалентного зменшення викидів CO₂. В зв'язку з введенням все жорсткішого законодавства з охорони навколишнього середовища зменшення енергетичних і матеріальних витрат у цементній промисловості в період наростання кліматичних змін і економічної кризи слід розглядати як істотний внесок у справу захисту довкілля.

Не менш важливими є такі характеристики сучасних будівельних матеріалів, як їхня звукоізоляція, міцність на удар, легкість демонтажу, можливість утримання в чистоті, вологостійкість, вогнестійкість, світловідбивання, стійкість до напружень, що дає змогу широко використовувати їх для зведення внутрішніх стін.

У сучасному будівництві переважає така конструкція зовнішніх стін, в якій розділено функції термічної ізоляції і несучої здатності. Такий розподіл зумовлений різними властивостями матеріалів:

- матеріали з добрими теплоізоляційними властивостями мають малу міцність (теплоізоляційні матеріали);
- матеріали з високою конструкційною міцністю і щільною структурою добре проводять тепло, через що погано ізолюють приміщення (стінові матеріали).

5.2. Стінові матеріали

Цегла та керамічні камені. Основні властивості цегли та каменів керамічних визначені ДСТУ Б В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ). “Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови”. За призначенням вироби поділяють на два види: рядові (Р) і лицьові (Л). Рядові вироби використовують

для мурування зовнішніх і внутрішніх стін та інших елементів будинків і споруд, для виготовлення стінових панелей і блоків, а також для мурування фундаментів. Лицьові вироби застосовують для мурування й одночасного облицювання стін та інших елементів будинків і споруд, їхні лицьові поверхні можна одержати гладкими, рифленими або офактуреними. Лицьові поверхні офактурених облицювальних виробів можуть бути одержані торкретуванням мінеральним дрібняком, ангобуванням, поливою, двошаровим формуванням або іншими способами. Крупноформатні камені виготовляють тільки рядові.

Керамічну цеглу виготовляють двох типів: повнотілою (без порожнин або з технологічними порожнинами об'ємом до 13 % для запобігання структурному свілеутворенню) або порожнистою; камінь – тільки порожнистим. Порожнини у виробах можуть розташовуватися як вертикально, так і горизонтально. Лицьову порожнисту керамічну цеглу виготовляють із порожнистістю не більше ніж 48 %. Всі вироби, за винятком призначених для мурування фундаментів, можуть виготовлятися пористими. Рекомендовані форми і розміри виробів пластичного формування та напівсухого пресування наведено на рис. 5.3. Номінальні геометричні розміри виробів повинні відповідати величинам, вказаним у табл. 5.2. На замовлення споживачів допускається виготовляти вироби іншої форми та інших розмірів відповідно до зразків-еталонів виробника за умови дотримання всіх інших вимог цього стандарту.

Таблиця 5.2

Розміри керамічної цегли та каменів

№ з/п	Тип виробу	Номінальний розмір, мм			Коефіцієнт перерахунку на умовну цеглу НФ
		довжина (L)	ширина (B)	товщина (H)	
1	2	3	4	5	6
1	Керамічна цегла нормального формату – одинарна	250	120	65	1,00
2	Керамічна цегла “євро” 1	250	90	65	0,75
3	Керамічна цегла “євро” 2	250	85	65	0,70
4	Цегла модульних розмірів одинарна	288	138	65	1,32
5	Цегла потовщена з горизонтальним розташуванням пустот	250	120	88	1,35
6	Цегла потовщена	250	120	88	1,35
7	Цегла модульних розмірів потовщена	288	138	88	1,79
8	Камінь звичайних розмірів	250	120	138	2,12
9	Камінь модульних розмірів	288	138	138	2,81
10	Камінь модульних розмірів укрупнений	288	288	88	3,74

1	2	3	4	5	6
11	Камінь укрупнений	250	250	138	4,42
12	Камінь укрупнений з горизонтальним розташуванням пустот	250	250	120	3,85
13	Камінь крупноформатний	510	250	219	14,31
		398	250	219	11,17
		380	250	219	10,66
		380	255	188	9,34
		380	250	140	6,82
		380	180	140	4,91
		250	250	188	6,02
		250	180	140	3,23
14	Камінь з горизонтальним розташуванням пустот	250	200	70	1,79

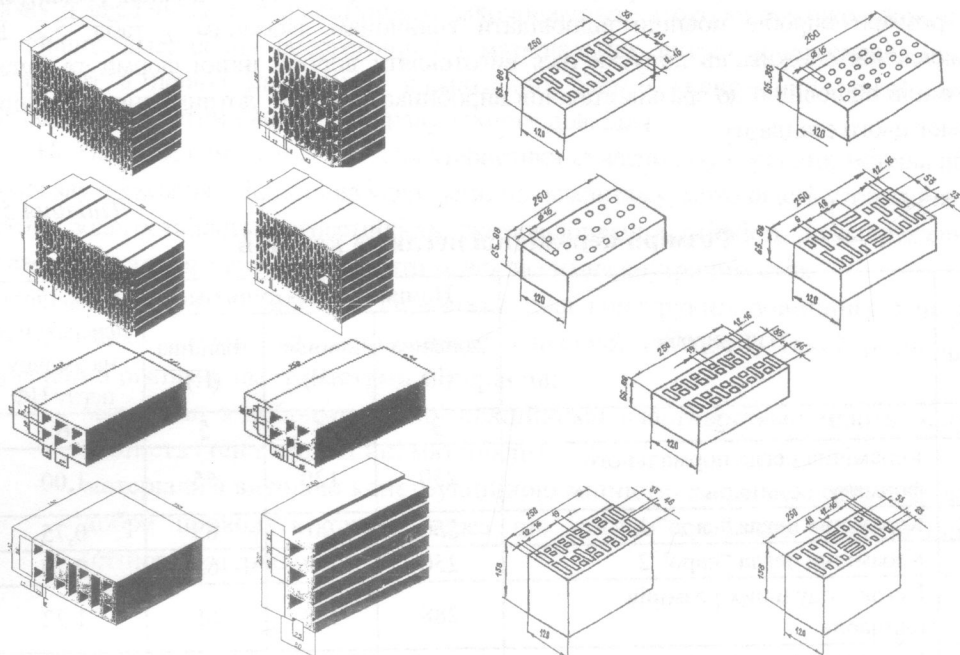


Рис. 5.3. Рекомендовані форми і розміри виробів пластичного формування та напісухого пресування

Залежно від границі міцності на стиск цеглу та камінь виготовляють: марок 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300; крупноформатні камені марок 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300; цеглу та камені з горизонтально розташовани-

ми пустотами марок 35, 50, 75, 100. За морозостійкістю вироби виготовляють марок F15; F25; F35; F50; F75; F100. Цеглу марки F15 використовують для внутрішніх конструкцій та для самонесучих огорожувальних конструкцій, які захищені від зовнішнього впливу, згідно з розробленою проектною документацією на кожен конкретний об'єкт.

За показником середньої густини виокремлюють п'ять класів виробів: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0. За теплотехнічними властивостями вироби залежно від класу середньої густини ділять на п'ять груп, наведених у табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Класифікація керамічних виробів за теплотехнічними властивостями

Група виробів за теплотехнічними властивостями	Теплопровідність виробів, Вт/(м·К)	Клас середньої густини	Середня густина виробів, кг/м ³
Високої ефективності	<0,24	0,8	<800
Збільшеної ефективності	0,24–0,36	1,0	801–1000
Ефективні	0,36–0,46	1,2	1001–1400
Умовно ефективні	0,46–0,58	1,4	1401–1600
Малоефективні	>0,58	2,0	> 1600

Одним з сучасних керамічних матеріалів є керамічні пустотні блоки “POROTHERM” (рис. 5.4). Пустотність блоків “POROTHERM” становить близько 50 %. Наявність щілиноподібних пустот, розташованих у певному порядку, значно збільшує опір теплопередачі, оскільки повітря характеризується найкращими теплоізоляційними властивостями. Середня густина виробів 735–750 кг/м³. Форма бокової поверхні забезпечує виконання позагребеневого стику, який не вимагає використання мурувального розчину, що спрощує процес кладки і поліпшує теплотехнічні показники стін.

Переваги стіни з блоків “POROTHERM”:

- високі теплоізоляційні властивості: термічний опір 3,44–2,44 м²·К/Вт, що перевищує вимоги норм;
- висока міцність на стиск (10 МПа), що дає змогу зводити несучі стіни висотою в декілька поверхів;
- довговічність і вогнестійкість;
- простота виконання робіт;
- висока швидкість будівництва;
- низькі витрати на матеріали і роботи;
- економія мурувального розчину;

- мала вага стін – економія на вартості фундаментів;
- забезпечення сприятливого мікроклімату і акумулювання тепла.

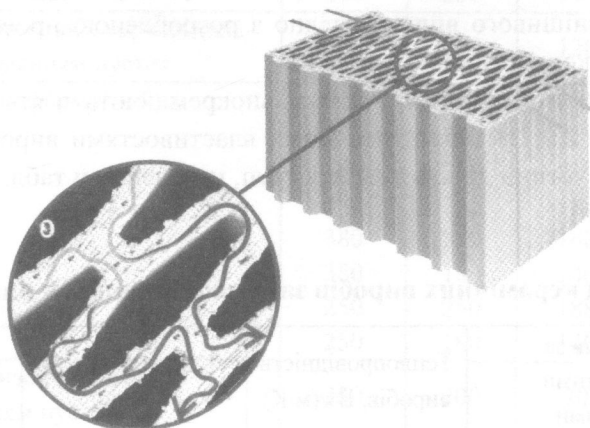
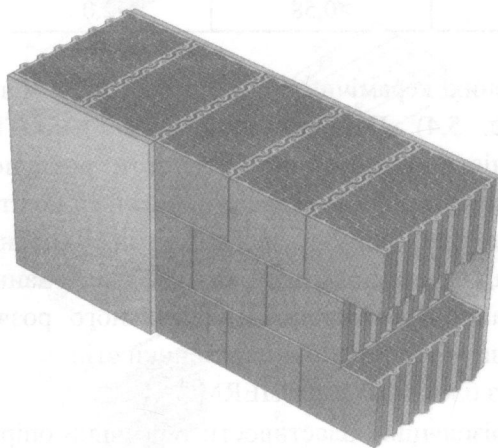


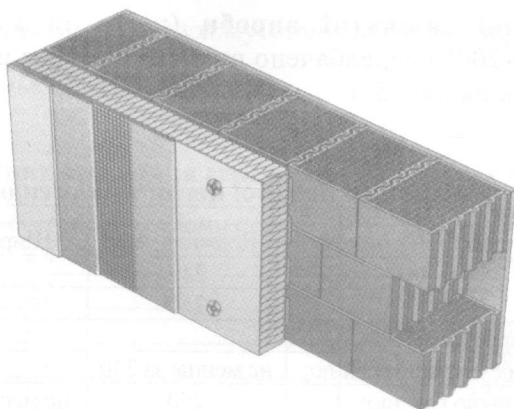
Рис. 5.4. Керамічний пустотний блок "POROTHERM"

Використання блоків "POROTHERM" передбачає влаштування одношарових (рис. 5.5), двошарових (рис. 5.6) та тришарових стін (рис. 5.7).



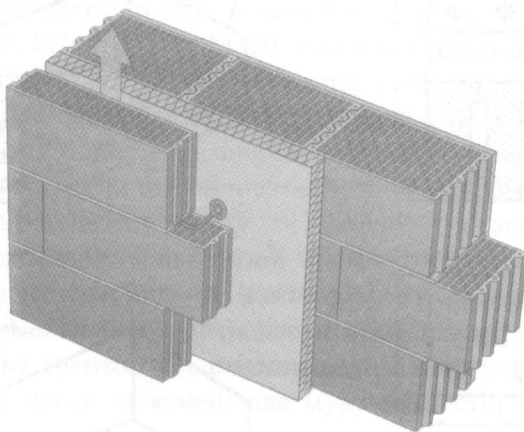
Назва	Товщина стіни, см	Термічний опір, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$	
		Теплоізоляційний розчин*	Цементно-піщаний розчин
"POROTHERM" 50 P+W	50	3,44	2,94
"POROTHERM" 44 P+W	44	3,22	2,78
"POROTHERM" 44 P+W	38	2,86	2,44

Рис. 5.5. Одношарова стіна з використанням блоків "POROTHERM"
(теплоізоляційний розчин $\lambda = 0,2 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$)



Назва	Товщина стіни, см	Термічний опір, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, при товщині (x) ізоляції			
		6 см	8 см	10 см	12 см
POROTHERM 30 P+W	30+x	2,97	3,47	3,97	4,47
POROTHERM 25 P+W	25+x	2,33	2,83	3,33	3,83

Рис. 5.6. Двошарова стіна з використанням блоків "POROTHERM" (утеплювач $\lambda=0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$)



Назва	Товщина стіни, см	Термічний опір, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, при товщині (x) ізоляції			
		6 см	8 см	10 см	12 см
"POROTHERM" 30 P+W Клінкерна цегла Terca	30+x+3+12	2,97	3,47	3,97	4,47
"POROTHERM" 25 P+W Клінкерна цегла Terca	25+x+3+12	2,33	2,83	3,33	3,83

Рис. 5.7. Тришарова стіна з використанням блоків "POROTHERM" (утеплювач $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$)

Дрібноштучні силікатні вироби (цегла та камені). Стандартом (ДСТУ Б В.2.7-80-2008) передбачено випуск виробів з розмірами, зазначеними у табл. 5.4 та на рис. 5.8.

Таблиця 5.4

Розміри силікатної цегли та каменю

Вид виробу	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм
Цегла одинарна	250	120	65
Цегла потовщена	250	120	88
Сколота цегла одинарна:			
– зі сколотою поперечиковою гранню;	не менше за 230	120	65
– зі сколотою ложковою гранню;	250	не менше за 100	65
– зі сколотими поперечиковою і ложковою гранями	не менше за 230	не менше за 100	65
Камінь	250	120; 240	138; 248

Примітка. За погодженням із споживачем допускається випускати вироби з іншими розмірами за умови дотримання обов'язкових вимог цього стандарту.

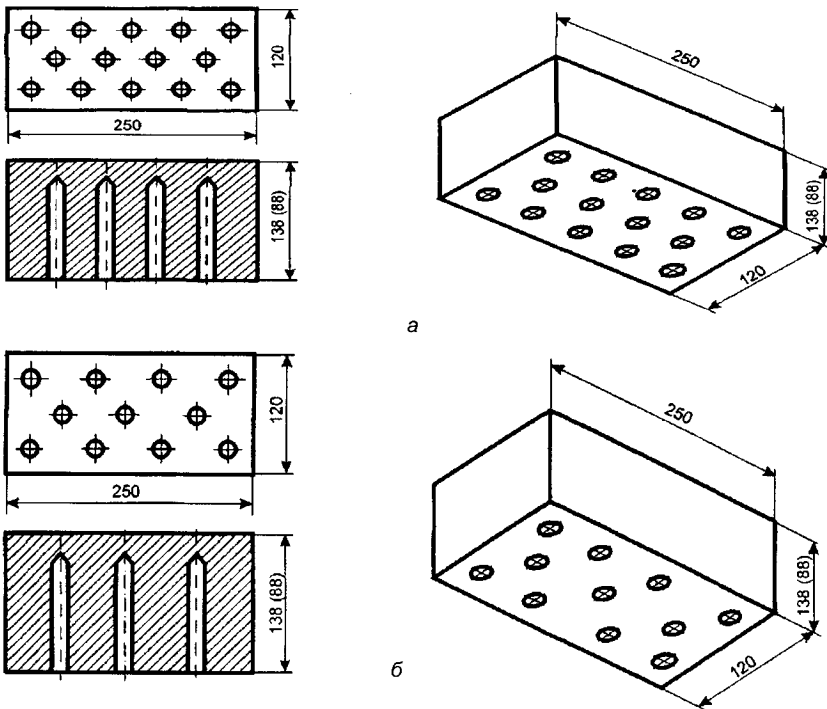


Рис. 5.8. Порожнисті вироби:

а – камінь (цегла) із 14-ма пустотами (пустотність 28...31 %, діаметр отворів 30... 32 мм);
 б – камінь (цегла) з 11-ма пустотами (пустотність 22... 25 %, діаметр отворів 27... 32 мм)

За середньою густиною у сухому стані силікатні вироби поділяють на класи відповідно до табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Класи силікатних виробів за середньою густиною у сухому стані

Клас за середньою густиною у сухому стані	Середня густина, кг/м ³
2,4	Понад 2200
2,2	Понад 2000 до 2200 включно
2,0	» 1800 » 2000 »
1,8	» 1600 » 1800 »
1,6	» 1400 » 1600 »
1,4	» 1200 » 1400 »
1,2	» 1000 » 1200 »
1,0	» 900 » 1000 »
0,9	» 800 » 900 »
0,8	» 700 » 800 »
0,7	» 600 » 700 »
0,6	» 500 » 600 »
0,5	До 500

За міцністю силікатну цеглу та камені поділяють на марки: М75; М100; М125; М150; М175; М200; М250; М300. Лицьові вироби повинні мати марки: цегла – не менше ніж М125 і камені – не менше за М100.

За морозостійкістю силікатну цеглу та камені поділяють на марки F15, F25, F35 і F50; морозостійкість лицьових виробів має бути не нижчою за F25.

Водопоглинання цегли та каменів має бути не меншим за 6 %.

Застосовують силікатну цеглу та камені для зведення кам'яних і армокам'яних конструкцій у надземній частині будівель із нормальним та вологим режимами експлуатації. Не можна застосовувати силікатну цеглу для влаштування фундаментів і цоколів будівель нижче від гідроізоляційного шару, які зазнають впливу ґрунтових і стічних вод. Також недопустимо використовувати силікатну цеглу та камені для мурування стін будівель із мокрим режимом експлуатації (лазні, пральні, пропарювальні відділення) без спеціальних заходів захисту стін від зволоження.

Ніздрюваті силікатні вироби (газо- та піносилікати) поділяють на:

- теплоізоляційні, середньою густиною до 500 кг/м³, що застосовують для утеплення будівельних конструкцій (стін, покриттів), теплових установок (печей, котлів);
- конструкційно-теплоізоляційні середньою густиною 500–900 кг/м³, міцністю 2,5–7,5 МПа – у конструкціях зовнішніх стін у вигляді великих стінових блоків та панелей;

- конструкційні, середньою густиною 900–1200 кг/м³, міцністю 7,5–20,0 МПа, які випускають армованими у вигляді панелей перекриттів та покриттів. Вироби з ніздрюватих силікатних бетонів ефективніші, ніж аналогічні за призначенням вироби з легких бетонів на пористих заповнювачах (теплопровідність 0,10–0,45 Вт/(м·К), морозостійкість понад 15 циклів).

З теплоізоляційного піносилікату виготовляють термовкладиші, які використовують для утеплення стін, а також плити, сегменти та короби для ізоляції теплопроводів та інші теплоізоляційні вироби.

Для мурування несучих стін малоповерхових будинків застосовують дрібні офактурені блоки середньою густиною 600–700 кг/м³ з конструкційно-теплоізоляційного піно- та газосилікату. Піно- та газосилікат із середньою густиною 900–1100 кг/м³ і міцністю на стиск 6–10 МПа використовують для виготовлення великорозмірних виробів внутрішніх стін, перекриттів житлових будинків, перегородок тощо.

Для покриттів промислових споруд застосовують армовані прямокутні плити, виготовлені з конструкційного піно- та газосилікату. Такі плити на відміну від звичайних залізобетонних, не потребують теплоізоляції і водночас достатньо міцні та довговічні. Їх укладають поверх залізобетонних чи металевих прогонів, а зверху вимощують шаром гідроізоляційних рулонних матеріалів. Одними з провідних виробників ніздрюватого силікатного бетону є фірми АЕРОК, УТОНГ.

Ніздрюватий бетон – це легкий бетон з великою кількістю (до 85 % від загального об'єму бетону) дрібних та середніх повітряних комірок розміром до 1–1,5 мм. Пористість ніздрюватим бетонам надається:

а) механічним способом, коли тісто, що складається із в'язучого, дрібного піску, води та приготованою піною; після затвердіння одержують пористий матеріал, який називається пінобетоном;

б) хімічним способом, коли у в'язуче вводять спеціальні газоутворювальні добавки. В результаті цього в тісті в'язучої речовини проходить реакція газоуворення, воно спучується і стає пористим. Затверділий матеріал називають газобетоном.

До основних переваг використання ніздрюватого бетону в будівництві можна зарахувати такі:

– енергоефективність

неавтоклавний пінобетон або газобетон порівняно з автоклавним дає змогу досягти істотної економії електроенергії під час його виробництва й експлуатації споруд з його використанням;

– екологічна чистота

нетоксичний, під час нагрівання не виділяє шкідливих речовин, що властиво пінопластам та мінеральній ваті; забезпечує сприятливий мікроклімат у приміщенні;

– пожежобезпечність

незаймистий, висока пожежостійкість – зовнішній бік стіни з ніздрюватого бетону завтовшки 150 мм нагріли до 1200 °С, при цьому внутрішній мав температуру 46 °С після 5 годин випробування;

– високі теплоізоляційні властивості

завдяки пористій структурі має низьку теплопровідність порівняно з такими традиційними будівельними стіновими матеріалами, як звичайний бетон, керамзитобетон, цегла; переважно не потребує додаткової теплоізоляції;

– високі акустичні (звукоізоляційні) властивості

висока звукопоглинальна здатність на низьких частотах порівняно з бетоном і цеглою; ніздрюватий бетон широко застосовується як звукоізоляційний прошарок на плитах перекриття у багатоповерхових житлових і адміністративних будівлях;

– довговічність

теплоізоляційні та міцнісні характеристики бетону з часом тільки покращуються;

– економічна доцільність

сировинні компоненти недефіцитні, ніздрюватий бетон неавтоклавного тверднення має істотні переваги за вартістю виробництва і використання над традиційними будівельними матеріалами; неавтоклавний пінобетон або газобетон порівняно з автоклавним дає змогу значно знизити витрати на утеплення підлог, горищ і покрівель будинків; скоротити терміни будівництва; забезпечує 20–25 % зниження експлуатаційних витрат на опалення.

Сфери застосування ніздрюватого бетону:

- зовнішні стіни;
- тепло- та звукоізоляція стін;
- внутрішні перегородки;
- теплоізоляція горищ і покрівель;
- теплозвукоізоляція підлог;
- термовкладиші.

Ніздрюватий бетон є оптимальним матеріалом для будівництва завдяки тому, що в достатньо великому діапазоні можна змінювати його густину і міцність, що важливо для розв'язання різних конструктивних задач у будівництві. Порівняння основних фізико-механічних показників традиційних будівельних матеріалів з неавтоклавним ніздрюватим бетоном наведено в додатку 3.

Композитний брус. Відомо, що найекологічнішим матеріалом природного походження для будівництва житла є деревина. За натуральним біогенетичним та енергетично-польовим наповненням житло із деревини найорганічніше поєднується із людським організмом, найповніше гармонізує житловий простір та довкілля.

Вибір стінових матеріалів для будівництва передусім визначається приведеною вартістю одиниці житлової площі, залежно від умов забезпечення температурних режимів внутрішнього середовища та міцності споруди.

Одним із таких матеріалів є композитний будівельний брус. Його основою є композитна монолітна маса з деревної стружки, лушпиння рису, соняшника, соломи, льону, хвойних шишок та інших чистих органічних матеріалів.

У варіанті влаштування зовнішньої стіни будівлі конструкція бруса складається з вітро- та вологозахисної панелі, власне композиційного матеріалу та внутрішнього декоративного покриття. Отвори всередині бруса дають можливість закладати арматуру та виготовляти вертикальні опорні стовпи за умов каркасного багатопверхового будівництва. Такий брус пройшов експертизу на відповідність вимогам будівництва, а його конструкція за новизною отримала патент.

Стінові композитні бруси можна успішно використовувати у будівництві житла, господарських приміщень та у шумозахисних конструкціях. Довжина брусів – 900 мм, висота – 150–200 мм, ширина – 100–300 мм. Перевірка їх на протипожежну стійкість, теплопровідність та механічну міцність дала позитивні результати. Композитний брус не підтримує горіння, і згідно з ГОСТ 12.1.044-89 належить до групи важкогорючих матеріалів. До цієї ж групи входить цегла. Середня густина композиту становить 700–800 кг/м³, що є кращим за нормативні значення показника, які стандарт встановив на рівні 1200 кг/м³. Міцність на стиск становить 2,6–2,8 МПа, що відповідає марці 25.

Важливим для практичного використання композитного бруса є коефіцієнт теплопровідності 0,184 Вт/(м·К). Для товщини бруса в межах 150 мм середнє значення приведеного термічного опору становить 0,812 м²·К/Вт. Останні два показники характеризують здатність композитного бруса зберігати тепло, захищати приміщення від холоду, а також свідчать про економічну доцільність. Якщо порівнювати основні експлуатаційні, фізико-механічні та економічні показники композитного бруса з традиційними будівельними матеріалами, то за такими показниками, як вартість, теплопровідність, технологічна завершеність, швидкість будівництва, він має переваги над іншими традиційними виробами. Зокрема, товщина зовнішніх стін житлової будівлі з такого композитного матеріалу в умовах України має становити 250–300 мм. Середня густина не перевищує 700–800 кг/м³, що практично збігається з деревиною. Відповідно і маса та вартість фундаменту житла будуть меншими. Параметри композитного бруса наведено в табл. 5.6. За рівнем екологічності житло з нового будівельного бруса посідає друге місце після дерев'яних будинків, а за параметрами звуко- та теплопровідності воно є значно кращим від житла з деревини.

Порівняльна характеристика традиційних та ефективних стінових матеріалів наведена в табл. 5.7.

Характеристики композитного бруса

Назва показника	Одиниці вимірювання	Величина	
		нормована	фактична
Міцність на стиск	кг/см ²	ГОСТ 19222-84 25,0	26,7
Клас міцності на стиск		B2,0	B2,0
Середня густина	кг/м ³	1200	739
Коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м·К)	–	0,184
Група горючості матеріалу		п. 3 ГОСТ 12.1.004-89	Група важкогорючих матеріалів

Порівняльна характеристика традиційних та ефективних стінових матеріалів

Показник	Цегла керамічна	Високоєфективні стінові матеріали
Середня густина, кг/м ³	1400–1800	400–700
Розміри, см	25×12×6,5	24×24×40
Маса виробу, кг	2,5–3,5	15–20
Маса 1 м ² стіни, кг	700–900	200–350
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,5–0,8	0,12–0,20

З вищеведеного випливає, що крім експлуатаційної енергоємності (кошти на обігрівання) важливе значення для розрахунку вартості будівництва також має енергоємність, пов'язана з виробництвом будівельних матеріалів, їхнім транспортуванням та працею на будівельному майданчику. Вага будівельних матеріалів є також важливим чинником для аналізу витрат будівництва. Наприклад, індивідуальний будинок з мурованими стінами і площею 140–200 м² важить 500–700 т (маса стін 550–700 кг/м², маса перекриття 300–400 кг/м²), тоді як маса аналогічного будинку з енергоощадних блоків становить 150–250 т. Ціна будівництва також зменшується завдяки зниженню вартості робіт нульового циклу (зокрема за рахунок зменшення обсягу необхідних земляних робіт і вкладеного бетону), а також використання технологій, що не вимагають висококваліфікованих працівників. Щоб здешевити будівельні технології, використовують вироби, що не потребують спеціалізованого обладнання для монтажу і які можна доставити за допомогою звичайних транспортних засобів.

5.3. Теплоізоляційні матеріали

Теплоізоляційними називають будівельні матеріали для теплової ізоляції огорожувальних конструкцій будівель, промислового та енергетичного обладнання й трубопроводів. Їхній коефіцієнт теплопровідності не повинен перевищувати $0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а середня густина – $500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Для виготовлення теплоізоляційних матеріалів витрата палива в 10–11, а трудомісткість у 20–25 разів нижчі порівняно із взаємозамінюваною за тепловим опором кількістю керамічної цегли, а маса готової продукції майже в 20 разів менша.

Водночас за термічним опором, наприклад, мінераловатний утеплювач, товщина якого 1 см, замінює цегляну кладку завтовшки 10–12 см, а керамзитобетон – завтовшки 5–7 см. Використання теплоізоляційних матеріалів дає змогу виготовляти стінові панелі та конструкції покриттів, що знижує матеріаломісткість та масу будівель.

Теплоізоляційні матеріали можна класифікувати:

за призначенням – будівельна та технічна ізоляція (які, своєю чергою, можна поділити за вужчими сферами застосування: для покрівлі, стін, підлоги тощо);

за формою виконання – у вигляді матів, плит та циліндрів;

за характером обробки – фольговані, гідрофобізовані, з паперовим покриттям, металевою сіткою, пластиком, склополотном тощо);

за стійкістю до впливу вогню – негорючі та важкогорючі;

за щільністю – м'які, напівжорсткі, жорсткі.

Головним показником теплоізоляційних матеріалів є *коефіцієнт теплопровідності* λ , за значенням якого їх поділяють на три класи:

А – малотеплопровідні [$\lambda < 0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$];

Б – середньотеплопровідні [$\lambda = 0,058 \dots 0,116 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$];

В – підвищеної теплопровідності [$\lambda = 0,116 \dots 0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$].

Теплоізоляційні матеріали класифікують за середньою густиною, яка дає наближене уявлення про теплопровідність. За цим показником матеріали поділяють на марки, $\text{кг}/\text{м}^3$:

ОЛ (особливо легкі) – 15, 25, 35, 50, 75, 100;

Л (легкі) – 125, 150, 175, 200, 250, 300;

Т (важкі) – 400, 450, 500, 600.

Пористість теплоізоляційних матеріалів, як правило, вища ніж 50 %, а деякі матеріали, наприклад ніздрюваті пластмаси, мають пористість 90–98 %.

Наближеність теплопровідності матеріалу, оцінюваної середньою густиною, пояснюється впливом хімічного складу, молекулярної будови та характеру пористості (табл. 5.8).

Наближеність теплопровідності матеріалу

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/(м·К)
Скловолокно	100–150	0,045–0,060
Мінеральна вата	15–300	0,042–0,050
Пінополістирол	10–45	0,038–0,05
Пінополіуретан	20–80	0,036
Деревина	300–900	0,10–0,23
Цегла	980–2000	0,45–0,90
Легкий бетон	300	0,10
	900	0,35
	1000–1500	0,38–0,60
Важкий бетон	2400	1,74

Водонасичення і особливо замерзання води в порах матеріалу призводить до різкого збільшення теплопровідності, оскільки теплопровідність води приблизно в 25, а льоду в 100 разів вища, ніж повітря. Тому теплоізоляційний шар потрібно обов'язково захищати від зволоження.

Саме тому теплоізоляційні матеріали повинні мати такі властивості:

- ✓ низька теплопровідність;
- ✓ стійкість до коливань температур під час експлуатації;
- ✓ однорідність властивостей;
- ✓ оптимальна густина;
- ✓ низький рівень займистості та вибухонебезпечності;
- ✓ міцність під час транспортування і монтажу;
- ✓ волого- та водостійкість;
- ✓ стійкість до атмосферних впливів;
- ✓ стійкість до впливу комах;
- ✓ хімічна стійкість;
- ✓ нешкідливість для людини;
- ✓ термін ефективної експлуатації не менше, ніж 25 років.

5.3.1. Неорганічні теплоізоляційні матеріали та виробы

До неорганічних теплоізоляційних матеріалів належать штучні, рулонні, шнурові, сипкі матеріали і виробы з волокнистою і комірковою структурою, призначені для утеплення конструкцій і споруд.

Мінеральна вата – це волокнистий матеріал, який отримують з розплавів гірських порід (зокрема базальту), металургійних шлаків та їхніх

сумішей. Провідні світові виробники мінеральної вати як сировину використовують тільки гірські породи, що дає змогу отримувати продукцію вищої якості з тривалим періодом експлуатації. Мінеральна вата, одержана з відходів металургійного виробництва, має набагато гірші експлуатаційні властивості, тому її доцільно застосовувати лише для спорудження тимчасових будівель та конструкцій. В Україні базальтових порід, необхідних для виробництва мінеральної вати, особливо багато в Рівненській області.

Основною властивістю мінеральної вати є негорючість у поєднанні з високою тепло- та звукоізолювальною здатністю, стійкістю до температурних деформацій, негігроскопічністю, хімічною та біологічною стійкістю, екологічністю та легкістю виконання монтажних робіт. Вироби з мінеральної вати належать до класу негорючих матеріалів. Вони ефективно протидіють поширенню полум'я, їх використовують як протипожежну ізоляцію для вогнезахисту. Мінеральні волокна здатні витримувати температуру понад 1000 °С, однак зв'язувальний компонент починає руйнуватися вже при 250 °С.

Важливим параметром мінераловатних матеріалів є здатність зберігати свої геометричні розміри впродовж всього періоду експлуатації. Це запобігає утворенню містків холоду на стиках ізоляційних плит.

Мінеральна вата негігроскопічна, вміст вологи у виробі з неї за нормальних умов експлуатації становить 0,5 % від об'єму. Щоб мінімізувати водопоглинання, мінеральну вату, як правило, обробляють спеціальними водовідштовхувальними розчинами.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-94-2000 “Будівельні матеріали. Вата мінеральна. Технічні умови” вату залежно від діаметра волокна поділяють на три види: **ВМСТ** – вата мінеральна із супертонкого волокна діаметром від 0,5 до 3 мкм; **ВМТ** – вата мінеральна із тонкого волокна діаметром від 3 до 6 мкм; **ВМ** – вата мінеральна діаметром волокна від 6 до 12 мкм.

Вату виду **ВМ** залежно від значення модуля кислотності (відношення вмісту кислотних оксидів до вмісту основних оксидів) поділяють на три типи: **А** – з модулем кислотності понад 1,6; **Б** – з модулем кислотності понад 1,4 до 1,6; **В** – з модулем кислотності понад 1,2 до 1,4. Вата виду **ВМСТ** і **ВМТ** належить до типу **А**.

Вата виду **ВМ** повинна відповідати вимогам, що наведені у табл. 5.9, видів **ВМСТ** і **ВМТ** – у табл. 5.10.

Виробам з мінеральної вати притаманна висока паропроникність. Щоб мінімізувати можливість накопичення водяної пари й утворення конденсату, мінераловатний утеплювач захищають з внутрішньої сторони пароізолювальним бар'єром. Із зовнішнього боку, навпаки, слід створити умови для вільного виходу пари (висихання утеплювача). За нормальних умов експлуатації теплозвукоізоляційні та механічні властивості виробів з мінеральної вати зберігаються на початковому рівні упродовж кількох десятків років.

Таблиця 5.9

Технічні вимоги до мінеральної вати виду ВМ

Показники	Значення для вати виду ТМ типу		
	А	Б	В
Водостійкість, рН, не більше за	4	5	7
Середній діаметр волокна, мкм, не більше за	6	8	12
Вміст неволокнистих включень розміром понад 0,25 мм, % за масою, не більше за	12	20	25
Середня густина, кг/м ³ , не більше за	80	90	100
Теплопровідність, Вт/(м·К), не більше, ніж при температурі:			
(298±5) К	0,045	0,045	0,050
(398±5) К	0,064	0,065	0,066
(573±5) К	0,110	0,112	0,116
Вологість, % за масою, не більше ніж	1	1	1
Вміст органічних речовин, % за масою, не більше ніж	2	2	2

Таблиця 5.10

Технічні вимоги до мінеральної вати видів ВМСТ і ВМТ

Показники	Значення для вати виду	
	ВМСТ	ВМТ
Водостійкість, рН, не більше ніж	4	4
Середній діаметр волокна, мкм	від 0,5 до 3 включ.	понад 3 до 6 включ.
Вміст неволокнистих включень розміром понад 0,25 мм, % за масою, не більше ніж	5	8
Густина під питомим навантаженням (98±1,5) Па, кг/м ³ , не більше ніж	35	50
Теплопровідність при температурі (25±5) °С, Вт/(м·К), не більше ніж	0,041	0,041
Вологість, % за масою, не більше ніж	1	1
Вміст органічних речовин, % за масою, не більше ніж	2	2

Серед знаних у світі виробників мінераловатних матеріалів, найпоширеніших на українському ринку, можна назвати такі компанії, як PAROC (Фінляндія), ROCKWOOL (Данія), SAINT-GOBAIN ISOVER (Франція, заводи в Польщі та Чехії), IZOMAT (Словаччина). Зокрема, компанія PAROC виготовляє з мінеральної вати теплозвукоізоляційні плити та мати різного призначення. Їх можна застосовувати практично в будь-яких системах утеплення огорожувальних

конструкцій (TEX-COLOR, HECK, DRYVIT, ALSECCO, BAYOSAN, TERANOVA, PRO TERMO WALL SYSTEM та інших).

На ринку України широкий спектр мінераловатних утеплювачів пропонує ISOVER, серед них матеріали для утеплення фасадів “контактним методом” (Fascoterm, Orsil) і фасадів, що вентилюються (Polterm, Ventiterm). Широку гаму (понад 40 різновидів) теплоізоляційних матеріалів з базальтових волокон пропонує й ROCKWOOL. Для навісних фасадів рекомендовано використовувати плити PANELROCK, а для стін з тинькуванням – ROCKMUR. Асортимент виробів широкий – мінераловатні плити різної густини та призначення, рулонні мати для ізоляції трубо- і паропроводів, шкаралупи для труб, виконаних на замовлення.

Теплоізоляційні матеріали з базальтових волокон поставляє на ринок ряд вітчизняних виробників (нині їх налічується 8, загальна проектна потужність – до 1 млн. м³ вати на рік). Так, ірпінський комбінат “Прогрес” першим в Україні (з 1969 р.) розпочав випуск надтонких волокон на основі гірських порід базальту (мінеральна вата БСТВ). Крім цього матеріалу, він виробляє м’які теплоізоляційні плити ПМТБ-2 та мати МТПБ і МПБА. Білицький завод “Теплозвукоізоляція” випускає мати мінераловатні прошивні будівельні, плити жорсткі гідрофобізовані ПЖТЗ-14(19), придатні для утеплення зовнішніх стін. Ірпінський комбінат “Перемога” освоїв виробництво плит теплозвукоізоляційних ПМТБ завтовшки 40 мм. Київський комбінат “Будіндустрія” виготовляє прошиті склониткою мати зі шлакобазальтового волокна у склополотні. Конкурентоспроможну продукцію випускає чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів “Ротис”. У перелік його продукції входять мати прошивні в обкладці із склотканини та безобкладинкові, плити м’які теплоізоляційні ПМТБ-2Б, ПМТБ-2А, мати м’які звукопоглинальні БЗМ, плити жорсткі теплоізоляційні ПЖТЗ. Житомирський завод мінераловатних виробів виготовляє мінераловатні плити гофрованої структури, які призначені для ізоляції будівельних конструкцій та трубопроводів.

Скловата за технологією виробництва та властивостями має багато спільного з мінеральною ватою. Для отримання скловолкна використовують ту саму сировину, що й для виробництва звичайного скла. Щоправда, для спеціальної теплоізоляції застосовують каолінову та кварцову вату, яким притаманна підвищена термостійкість. Волокна скловати зв’язуються за допомогою спеціальної в’язучої речовини (як правило, фенол-формальдегідної смоли), яка надає матеріалу потрібної жорсткості. Вироби зі скловати вкривають алюмінієвою фольгою, склоповстю, склотканиною, різними нетканими матеріалами тощо. Скловата є більш міцною, пружною та вібростійкою. Вона не боїться вогню й належить до категорії негорючих матеріалів. Разом з тим, термостійкість звичайної (без спеціальних добавок) скловати дещо нижча від базальтової, хоча гранична температура використання волокнистої ізоляції на основі скляної і мінеральної вати зумовлена наявністю синтетичного зв’язуючого і становить

250 °С. Середня густина скляної вати до 125 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності до 0,052 Вт/(м·К). Скляна вата майже не виявляє усадки в теплоізоляційному шарі конструкцій і не руйнується під час вібрації, малогіроскопічна, морозостійка.

Скловатні вироби використовуються поряд з мінераловатними для теплової ізоляції будівельних конструкцій, але, окрім цього, застосовують для ізоляції холодильного та промислового обладнання, що працює в умовах вібрації, трубопроводів і транспортних засобів. В європейських країнах частка скловолоконних теплоізоляційних матеріалів сягає 65 %, однак в Україні вона є дещо нижчою.

Найпоширеніші в Україні утеплювачі зі скловати торгової марки ISOVER (Фінляндія), що є підрозділом теплоізоляційних матеріалів концерну SAINT-GOBAIN.

Також добре відомі на українському ринку м'які теплоізоляційні мати зі скляного штапельного волокна URSA, що виробляються за технологією німецької фірми PFLEDERER у м. Чудово (Росія). Представником цієї торгової марки в Україні є ВАТ "Флайдер-Чудово".

Скловатні утеплювачі вітчизняні підприємства не виробляють.

Робота з мінеральною ватою та скловатою (обробка та обрізання плит) може спричинити шкоду здоров'ю: подразнення шкіри і очей, а також легенів, алергії, тому необхідний додатковий захист (рукавиці). Мінеральна вата менш стійка в умовах підвищеної вологості, тому потрібно запобігати намоканню під час роботи, складування і монтажу. Крім цього, мінеральна вата містить як зв'язку фенолформальдегідні смоли, що спричиняє тривалу емісію в повітря вільного формальдегіду (0,02 мг/м² поверхні плит за годину). Показники середньої густини та теплопровідності волокнистих теплоізоляційних матеріалів наведено в табл. 5.11.

Таблиця 5.11

**Показники середньої густини
та теплопровідності волокнистих теплоізоляційних матеріалів**

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/(м·К)
1	2	3
ISOVER KL	17	0,041
ISOVER RKL	60	0,03
ISOVER SKL	50	0,031
ISOVER OL-LA	140	0,035
PAROCAL	40	0,035
PAROCSE	40	0,035
PAROCEL	60	0,034
PAROCTL	115	0,032

1	2	3
ROCKWOOL (Rockmin)	29–35	0,038
ROCKWOOL (Panelrock)	70	0,037
ROCKWOOL (Rockton)	45	0,04
ROCKWOOL (Dachrock)	200	0,041
URSA П- 15	13–16	0,046
URSAп-30	26–32	0,038
URSA П-45	38–45	0,038
URSA П-75	66–75	0,037

Ніздрювате скло (піноскло) також виробляють зі склобою або сировинних матеріалів, які використовують і для виготовлення віконного скла. Можуть також застосовуватись гірські породи: трахіти, сієніти, нефеліни, обсидіани. Газоутворювач – порошок вапняку, коксу, антрациту. Закрита пористість піноскла становить 80–90 %. Середня густина ніздрюватого скла 150–600 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності 0,06–0,14 Вт/(м·К), границя міцності на стиск 2–6 МПа, робоча температура скла звичайного складу 300–400 °С, безлужного – до 1000 °С.

Фольга алюмінієва є прокатним м'яким листовим матеріалом марок А00, А0 і А1 завтовшки від 5 до 40 мкм у рулонах, ширина яких 460 мм. Для теплової ізоляції фольгу доцільно застосовувати у поєднанні з повітряними прошарками, причому рух повітря біля поверхні має бути мінімальним. Фольгу застосовують в багат шарових огорожувальних конструкціях для того, щоб зменшити теплові втрати за рахунок великої відбивної здатності теплових променів. Використовуючи фольгу в конструкціях, слід уникати контакту з вологими металами або лужними матеріалами (цемент, штукатурка), оскільки це може призвести до корозії алюмінію.

5.3.2. Теплоізоляційні матеріали зі спучених гірських порід

Спучений перліт виробляють подрібненням, а відтак випалюванням перліту – гірської породи з групи вулканічних стекол, які містять гідратну воду (3–5 %). Швидке нагрівання до 900–1200 °С розм'якшує подрібнену породу, вода перетворюється на пару й спучує зерна, збільшуючи об'єм у 5–10 разів. Пористість зерен становить 80–90 %. Насипна густина спученого перлітового піску залежно від родовища становить 75–250 кг/м³, а щебеню – до 500 кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності 0,046–0,80 Вт/(м·К) при 25 °С.

На основі спученого перлітового піску створюють різні композиційні матеріали для теплової ізоляції залежно від зв'язуючої речовини: на бітумній зв'язці – бітумперліт, на керамічній – керамоперліт, на рідкому склі – склоперліт, на синтетичній зв'язці – пластперліт, на гіпсі – гіпсоперліт. Ці композиції застосовують для виготовлення теплоізоляційних виробів – плит, шкаралуп, цегли, сегмента. Цільове призначення матеріалу залежить від температури стійкості зв'язуючої речовини: від 60 °С для гіпсоперліту до 900 °С для керамоперліту.

Спучений перліт використовують як легкий заповнювач для теплоізоляційних штукатурок та легких бетонів. Спучені перлітові піски та щебінь можна застосовувати як теплоізоляційну засипку з робочою температурою до 800 °С, але слід враховувати, що спучений перліт добре поглинає воду і важко віддає її.

Спучений вермикуліт виготовляють подрібненням, а потім прискореним випалюванням природної гідрослюди (гідратований біотит), яка містить зв'язану воду між пластинками слюди. Швидко пароутворення під час нагрівання спучує пакети пластинок у 15–20 разів порівняно з початковим об'ємом зерна.

Насипна густина спученого вермикуліту з розмірами зерен 15–20 мм становить 80–150 кг/м³, а в піску зростає до 400 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності 0,048–0,100 Вт/(м·К) при температурі 100 °С, а при температурі до 400 °С збільшується і становить 0,14–0,18 Вт/(м·К).

Застосовують спучений вермикуліт як ефективну теплоізоляційну засипку за робочої температури до 1100 °С, а також як основу для виготовлення теплоізоляційних виробів на різних зв'язках.

5.3.3. Органічні теплоізоляційні матеріали

Теплоізоляційні матеріали на основі рослинної і тваринної сировини

Плити деревоволокнисті (ДВП) виготовляють за допомогою гарячого пресування рівномірно розмолотої деревної маси (найчастіше малоцінної деревини), змішаної з в'язучою речовиною. В'язучим, як правило, є синтетичні смоли. Залежно від виду деревини та в'язучого ДСП мають різну середню густина і гідрофобність, які значно впливають на їхні експлуатаційні якості. Залежно від границі міцності на вигин виділяють ДВП чотирьох марок: М – м'які, ПТ – напівтверді, Т – тверді та СТ – надтверді. Тверді плити випускають з лакофарбовим покриттям, нанесеним у заводських умовах на лицьову поверхню. М'які плити мають велику пористість і використовуються переважно для ізоляційних цілей. М'які ДВП поділяють на три марки: М-4; М-12; М-20.

Плити фібролітові на портландцементі виготовляють із суміші деревної стружки, портландцементу і хімічних добавок за допомогою пресування і

подальшого тверднення. Сировиною для виготовлення цементного фіброліту є деревна стружка завдовжки 300–500 мм, завширшки 1–6 мм і завтовшки 0,1–0,8 мм, поргландцемент використовується марки не нижче ніж 400, мінералізаторами слугують хлористий кальцій і сірчаноокислий глинозем або рідке скло. Теплопровідність плит в сухому стані становить від 0,08 Вт/(м·К), границя міцності на вигин залежно від товщини плит (30–100 мм) коливається від 0,7–1,1 до 1,0–1,3 МПа. Фібролітові плити важкогорючі та біостійкі. Їх застосовують для теплової ізоляції стін, утеплення покриттів з відносною вологістю повітря в приміщенні не вище за 75 %.

Повсть технічну грубошерсту отримують у вигляді полотен із суміші відходів шерстеобробної, хутряної і бавовняної галузей промисловості. Повсть застосовують для ізоляції стиків щитів у збірних будинках, кінців балок у кам'яних стінах, ізоляції холодних трубопроводів, вентиляційних каналів, температура в яких може коливатися в межах від – 60 до +100 °С. Перед застосуванням повсть обробляють антисептиком від тлі й антипіреном від займання.

Ековата – екологічно чистий утеплювач, використовується у скандинавських країнах понад 20 років, у Фінляндії існує більше ніж 15 заводів з виробництва ековати. Як сировина застосовується деревнопаперова макулатура, подрібнена до волокон. Енергозатрати на виробництво ековати становлять приблизно 5 кВтгод/т, що в 36 разів менше, ніж на виготовлення мінеральної вати. Під дією вологи на поверхні ековати утворюється тонка папероподібна плівка, яка запобігає її проникненню вглиб теплоізоляційного шару, тому, використовуючи ековату, не передбачають пароізоляції.

До основних властивостей ековати належать: низька теплопровідність, шумопоглинання, екологічна чистота, вогнестійкість, біостійкість. Застосування ековати є безвідхідним – немає обрізків. Розсипний утеплювач під час реконструкції чи перебудови можна використати вдруге, трохи розпушивши. Утеплення дерев'яних будинків ековатою додатково захищає від мікроорганізмів. Ековату наносять напиленням або укладанням. Утеплюють підлоги, стіни, схиліві покрівлі, внутрішні перегородки, ремонтують старі будівлі, що мають неутеплені порожнини, які потрібно заповнити теплоізоляційним матеріалом без розбирання конструкції. Напилення використовують у промислових умовах, якщо обсяги робіт великі, за допомогою спеціальних установок, якщо необхідно проникнути у важкодоступні місця й утворити щільний безшовний шар ізоляції.

Теплоізоляційні матеріали на основі пластмас бувають пористі (поропласти), комірчасті або піняві (пінопласти). Їх виготовляють з різних полімерів і залежно від виду полімерної основи поділяють на полістирольні, фенолформальдегідні, карбамідні, поліуретанові та полівінілхлоридні. Пінопласти можна

виготовляти на основі суміщених композицій, а також з використанням органічних і мінеральних наповнювачів. Теплоізоляційні пластмаси виготовляють пресовим і беспресовим способами, заливкою і напиленням на ізольовану поверхню.

Пресовий спосіб полягає у змішуванні смоли з газоутворювачами та іншими компонентами, пресуванні отриманої маси в прес-формах при температурі 120–180 °С і під тиском 120–180 МПа. Вибір температури залежить від того, який полімер застосовують і яку марку пінопласту треба одержати. Безпресовий спосіб полягає у змішуванні смоли з газоутворювачем, затверджувачем та іншими добавками з подальшою тепловою обробкою. У вільному стані (без прес-форм) заготовки нагрівають парою, водою або гарячим повітрям до температури 80–120 °С. В результаті теплової обробки маса спінюється і затвердіває.

Спосіб заливки полягає в змішуванні маси (смола, газоутворювач, затверджувач та інші добавки), заливанні її у форму, спінюванні за рахунок розкладання газоутворюючих речовин під час тверднення. Спосіб напилення полягає в змішуванні початкових компонентів у спеціальній установці й нанесенні їх за допомогою пістолета або форсунки тонким шаром на ізольовану поверхню. Нанесена маса спінюється, оскільки виділяються газоутворюючі речовини, і застигає у вигляді пористого матеріалу з низькою теплопровідністю. Теплоізоляційні матеріали на основі пластмас мають низьку тепло- і звукопровідність, низьку густину, незначну гігроскопічність за достатньої міцності, довговічності та формостійкості.

Пінопласти – газонаповнені пластмаси з пористою структурою, які складаються з комірок, що не сполучаються, характеризуються тепло- і звукоізоляційними властивостями. Пінопласти поділяють на поліуретанові, полівінілхлоридні, поліетиленові, карбамід-формальдегідні, полістиролфенольні, формальдегідні.

Пінопласт на основі полістиролу (пінополістирол) – екологічно чистий, нетоксичний тепло- та звукоізоляційний матеріал. У будівельній практиці він застосовується вже протягом 40 років і зарекомендував себе як найекономічніший та найзручніший у роботі утеплювач. Шар з пінополістиролу завтовшки 12 см за показниками теплозбереження еквівалентний шару дерев'яного бруса завтовшки 50 см, двометровій стіні з цегли. Експлуатаційні витрати на опалення будинку, який утеплений пінополістиролом, втричі менші, ніж на опалення, наприклад, цегляного будинку.

Згідно із ДСТУ Б В.2.7-8-94 “Плити пінополістирольні. Технічні умови” плити пінополістирольні, які виготовляються беспресовим способом із суспензійного полістиролу, що спінюється, залежно від наявності антипірену виготовляють двох типів: **ПСБ-С** – з антипіреном; **ПСБ** – без антипірену.

Плити залежно від граничного значення середньої густини поділяються на марки 15, 25, 35 і 50. Номінальні розміри плит повинні бути, мм:

- за довжиною – від 800 до 5000 з інтервалом через 50;
- за шириною – від 500 до 1300 з інтервалом через 50;
- за товщиною – від 20 до 500 з інтервалом через 10.

Показники фізико-механічних властивостей плит повинні відповідати нормам, наведеним у табл. 5.12.

Таблиця 5.12

Показники фізико-механічних властивостей плит пінополістирольних

Показники	Норма для плит марок			
	15	25	35	50
Середня густина, кг/м ³	До 15	Від 15,1 до 25,0	Від 25,1 до 35,0	Від 35,1 до 50,0
Міцність на стиск при 10 % лінійній деформації, МПа, не менше за	0,05	0,10	0,16	0,20
Границя міцності на згин, МПа, не менше за	0,07	0,18	0,25	0,35
Теплопровідність у сухому стані при температурі (25±5) °С, Вт/(м·К), не більше за	0,042	0,039	0,037	0,037
Вологість плит, відвантажуваних споживачеві, %, не більше за	12	12	12	12
Водопоглинання через 24 год, % за об'ємом не більше за	3,0	2,0	2,0	1,8

У полістирольну групу утеплювачів входять такі різновиди ізоляційних матеріалів, як СТИРОДУР, ІЗОФОМ, СТИРОФОМ, СТИРІЗОЛ та багато інших. Всі вони відповідають вимогам чинних норм щодо теплозахисних властивостей будівельних матеріалів і межі їхнього застосування визначаються міркуваннями пожежної безпеки. Пінопласт можна використовувати для утеплення стін “легким мокрим” способом, всередині пустотілої цегляної кладки, а також у навісних вентиляльованих фасадах. Пінополістирольні матеріали використовуються й під час спорудження монолітних будинків в опалубці, що не знімається, тобто методом, який отримав назву “термобудинок”.

Низькі температури не впливають на фізико-технічні властивості пінополістиролу. Він зберігає свою форму й у разі тривалого нагрівання до 90 °С. Високі теплозахисні властивості матеріалу виключають негативний вплив циклів заморожування–розморожування, які могли б спричинити виникнення тріщин у несучих конструкціях. Це, відповідно, подовжує термін їхньої

експлуатації. Крім того, зовнішні огорожувальні конструкції з використанням елементів пінополістиролу мають низьку середню густину, що дає можливість уникнути зайвих витрат на підсилення фундаментів під час реконструкції та надбудови будинків, а також значно заощадити кошти на нове будівництво. Підприємств, що виробляють пінополістирол, в Україні 15, їхня встановлена потужність – понад 1,8 млн. м³ на рік. Житомирський завод силікатних виробів випускає екструзійний пінополістирол, горлівський концерн “Стирол” – плити за пресовою технологією.

Пінополістирол екструдований – характеризується рівномірною мікрокомірчастою закрито-пористою структурою (рис. 5.9) і максимальною стабільністю теплотехнічних і фізико-механічних властивостей в часі порівняно з іншими видами утеплювачів. Унікальні фізико-механічні і теплотехнічні властивості екструдованого пінополістиролу забезпечує технологічний процес, що дає змогу отримувати з розплаву жорстку піну з рівномірною мікрокомірчастою структурою і нульовою капілярністю. Спосіб екструзії виробництва у цьому випадку зумовлює найважливіші особливості структури одержуваного полістирольного пінопласту, які не можна досягти ніякими іншими методами переробки полімерної композиції на пінопласт.

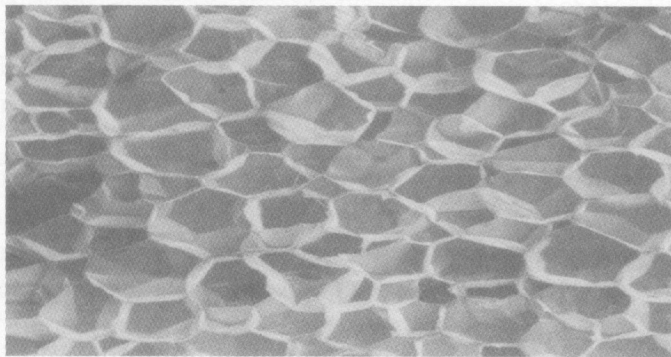


Рис. 5.9. Структура екструдованого пінополістиролу

Екструдований пінополістирол має такі переваги:

- низька теплопровідність – 0,028 Вт/(м·К);
- міцність на стиск при 10 % лінійній деформації – 0,3 МПа;
- висока морозостійкість;
- діапазон робочих температур – від -50 до +75 °С;
- паропроникність – 0,06 мг/(м·год·Па);
- закритопориста структура (розмір пор від 80 до 180 мкм);
- екологічність;
- практично нульове водопоглинання, за винятком поверхневої сорбції.

Порівняльна характеристика екструдованого пінополістиролу та пінополістирольних плит наведена в табл. 5.13.

Таблиця 5.13

**Порівняльна характеристика
екструдованого пінополістиролу та пінополістирольних плит**

Характеристика	Екструдований пінополістирол	Пінополістирольні плити
Середня густина, кг/м ³	30–35	10–50
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,028–0,033	0,045–0,055
Термін експлуатації, роки	50–100	10–15
Міцність на стиск при 10 % лінійній деформації, МПа	0,3–0,5	0,06–0,23
Водопоглинання через 24 години, об. %	0,1–0,2	0,5–2

Обмеження застосування пінополістиролу

Застосування пінополістиролу обмежує його низька стійкість до дії високих температур. Без додаткового навантаження пінополістирол нетривало витримує температуру 100 °С, а при механічних навантаженнях довготривала термічна стійкість, яка залежить від густини, – приблизно 80 °С. За високих температур токсичність пінополістиролу зростає. Під час згорання пінополістиролу виділяється вуглекислий газ. У зв'язку з цим, застосування пінополістирольних плит обмежується: для утеплення існуючих будинків – до II поверхів, а для новозбудованих – на висоту до 25 м. Пінополістирол нестійкий щодо органічних розчинників.

Пінопласти на основі поліуретанів (пінополіуретан) отримують в результаті реакцій, які відбуваються під час змішування простого або складного полієфіру і води у присутності каталізатора – речовини, що регулює процес спінування. Якщо як полієфір використовують диізоціанат або поліізоціанат (речовину, що містить уретан), то отримують пінопласт марки ППУ-3, який є жорстким газонаповненим пластиком з дрібнопористою структурою і переважанням закритих пор. Його застосовують як заливний матеріал у тришарових конструкціях, а як теплоізоляційний матеріал – за температури ізольованих поверхонь від – 180 до +120 °С. ППУ-3С – жорсткий матеріал із закритою комірковою структурою, який виготовляють на місці застосування, змішуючи вихідні компоненти. Утеплювач наносять на ізольовану поверхню напиленням, після чого він спучується і твердне. Матеріал випускають у вигляді блоків розміром, мм: довжина 80 (±15); ширина 600 (±15); товщина 100 (±15). Застосовують утеплювач як теплову ізоляцію при температурі ізольованої поверхні – 180...+ 60 °С.

Пінополіуретан у вигляді монтажно́ї піни (аерозольне пакування) зручно наносити розпиленням. Використовується для монтажу і ущільнення дверних коробок, віконних рам, ізоляції, ущільнення швів і тріщин. Переваги пінополіуретану: низька теплопровідність, а отже, і товщина нанесення; зручність нанесення при теплоізоляції покрівлі, економія часу; тривалий час залишається в рідкому стані, заповнюючи щілини і мікроотвори; спінюючись і полімеризуючись в точці нанесення, стає єдиним цілим зі стіною (запобігаючи проникненню вологи); негігроскопічний, хімічно стійкий (не гниє). Середня густина пінополіуретану – в межах 20–50 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності 0,045–0,05 Вт/(м·К). Водопоглинання через 24 год – 0,04 %. Діапазон застосування від – 250 до +180 °С. Важкозаймистий, горіння не підтримує. Недолік: використання фреонів як спінювального агента, що під час експлуатації може виділятися в атмосферу, під дією сонячного проміння темніє.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Які вимоги ставлять до сучасних будівельних матеріалів?
2. Що включає екологічна характеристика енергозбережних технологій?
3. Порівняйте енергоємність виробництва будівельних матеріалів в Україні та Європі.
4. Охарактеризуйте і порівняйте властивості керамічних стінових матеріалів.
5. Переваги використання ефективних будівельних матеріалів.
6. Класифікація, властивості та застосування дрібноштучних силікатних виробів.
7. Класифікація, властивості та використання ніздрюватих бетонів.
8. Вимоги до теплоізоляційних матеріалів.
9. За якими ознаками класифікують теплоізоляційні матеріали?
10. Основні властивості теплоізоляційних матеріалів.
11. Органічні теплоізоляційні матеріали і їхнє застосування.
12. Чим відрізняється екструдований пінополістирол від кулькового?
13. Назвіть матеріали і вироби з мінеральної вати і вкажіть області, де їх застосовують.
14. Що таке піноскло? Охарактеризуйте його властивості.
15. Матеріали на основі алюмінієвої фольги.
16. Які переваги мають неорганічні теплоізоляційні матеріали порівняно з органічними?
17. Переваги та недоліки використання пінопластів на основі поліуретанів.

Розділ 6

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ БУДИНКІВ – ОСНОВНИЙ РЕЗЕРВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

6.1. Термомодернізація. Передумови термомодернізації. Основні терміни та визначення

Житлові та громадські будинки – головні споживачі енергії, на них витрачається понад 40 % її загального обсягу, що споживається в Європі та Північній Америці, причому основна частка припадає на системи опалення та охолодження. Потенціал енергозбереження величезний і практично ще не задіяний. Водночас технологія енергозбереження повністю реальна, доступна та доцільна, крім цього, вона поліпшує якість життя.

Характерно, що кожного року тільки в країнах ЄС втрачається 270 млрд. євро (або понад 600 євро на особу) тільки тому, що під час реконструкції будинків їх не доведено до сучасних енергетичних стандартів. Враховуючи динаміку зростання цін на енергоносії, кожен інвестований євро дає 11-кратний прибуток. Якщо не вживати ніяких заходів, то викиди вуглекислого газу в Європі зростатимуть на 400 млн. тонн за рік (це більше ніж визначено Кіотським протоколом), при цьому регіон втратить 530 тисяч додаткових робочих місць.

Сучасна технологія енергоефективного будівництва дає змогу зекономити до 90 % енергії, що витрачається на опалення. Новий будинок може простояти понад 100 років. Існуючі будинки модернізуються тільки раз на 30 років, тобто всього 3–4 рази за період існування. Тому рішення про термомодернізацію матиме довгострокові економічний та екологічний ефекти в майбутньому.

З позицій **стратегії сталого розвитку** для раціонального використання матеріальних і енергетичних ресурсів та підвищення енергозбереження в житлово-комунальному секторі України необхідне відповідне економічне обґрунтування та розроблення сучасної науково-нормативної бази проектування енергоефективних будинків і термомодернізації наявного житлового фонду.

Тому доволі цінним є досвід наших сусідів, які вже досягли помітних успіхів у цьому напрямі. Так, Європейський парламент і Рада Європейського Союзу в 1990-х роках розробили низку директив (законів) для стандартизації у країнах ЄС будівельних норм, метою яких було підвищення енергоефективності будинків (далі ЕєБд). Основною мотивацією розроблення цих директив стало ефективніше використання енергетичних ресурсів цих країн.

Нафтопродукти, природний газ і тверді горючі копалини є не тільки важливими джерелами енергії, а й джерелами виділення вуглекислого газу, про що вже згадувалось вище. Управління ЕєБд визнається дуже важливим інструментом, що впливає на глобальний енергетичний ринок і на безпеку постачання енергії в цих країн у найближчій та довготривалій перспективах.

Перший закон такого роду – Директива 93/76/ЄС від 13 вересня 1993 р. щодо обмеження викидів вуглекислого газу за рахунок підвищення енергетичної ефективності – був успішно реалізований, хоча й мав рекомендаційний характер. Тому Європейський парламент і Рада ЄС в лютому 2000 р. прийняли Рішення 647/2000/ЄС про багаторічну (з 1998 до 2002 р.) програму сприяння енергетичній ефективності. Вони підкресливали, що програма повинна бути відкритою для участі в ній центрально- і східноєвропейських країн. Рішення 647/2000/ЄС стимулювало розроблення принципово нових норм щодо ЕєБд в Німеччині, Франції, Нідерландах та в інших країнах. Та оскільки ініціатором розроблення програми була Німеччина, то нові німецькі норми ЕпЕУ-2002 (Постанова ЕпЕУ про енергозбережний тепловий захист і енергоощадне опалювальне устаткування будинку) викликають найбільший інтерес.

Головна мета нових норм – суттєве зниження обсягів споживання первинної енергії в будівлях (до 30 %) порівняно з раніше чинними нормами. В цих нормах заходи з енергозбереження в опалювальних системах і системах теплопостачання прирівнюються до заходів зі збереження енергії за допомогою теплового захисту будинків.

Другий закон – Директива 2002/91/ЄС щодо енергетичної ефективності будівель – прийнятий у грудні 2002 р., набрав чинності в січні 2003 р. Ця директива вводить принцип повної енергетичної ефективності та встановлює спільні цілі й принципи стосовно ЕєБд для держав-членів ЄС. Зрозуміло, що детально виконуватиме їх кожна з держав на національному і регіональному рівнях з урахуванням конкретної ситуації. Директива зобов'язує країни-члени ЄС застосовувати загальні принципи методології обчислення ЕєБд, що враховують: теплотехнічні характеристики будівлі, опалювальні установки й системи гарячого водопостачання, механічну вентиляцію, освітлювальну апаратуру, орієнтацію будівлі, кліматичні параметри, пасивні системи використання сонячної радіації, сонцезахист, природну вентиляцію, параметри внутрішнього мікроклімату. Мета нової директиви – допомогти в уніфікації національних

нормативів і процедур, що стосуються енергоспоживання будівель, оскільки ситуація в європейських країнах є різною.

Щодо Росії, то від 1994 р. НДІ будівельної фізики Російської академії архітектурно-будівельних наук спільно з Держбудом РФ та декількома організаціями розробляли, апробували та впроваджували нові підходи до нормування будівель з ефективним використанням енергії. Спочатку в 1992–1993 роках була розроблена нова ідеологія нормування будівель з енергетичних позицій, потім – розроблені й затверджені в 1994 р. перші територіальні норми для Москви. В 1995 р. у федеральні норми з будівельної теплотехніки внесено принципові зміни. В 1996 р. НДІБФ спільно з низкою організацій вперше розробив, а Держбуд РФ затвердив стандарт (ГОСТ 30494-96) щодо параметрів внутрішнього мікроклімату житлових і громадських будівель, що забезпечують для людей комфортні умови.

У 1998–2005 рр. НДІБФ сумісно з регіональними спеціалістами розробили і впровадили в 50 регіонах РФ територіальні будівельні норми з енергозбереження в будівлях. Водночас у 1998–1999 рр. було розроблено і затверджено нову редакцію норм із енергозбереження для Москви (МГСН 2.01-99). Новий федеральний СНиП 31-02-01 “Будинки житлові одноквартирні”, розроблений у 2001 р. також з участю НДІБФ, містив як альтернативу нормативні вимоги до питомого енергоспоживання для малоповерхових будівель. У цей самий період НДІБФ розробив затверджений Держбудом РФ комплекс із трьох стандартів з енергетичного аудиту експлуатованих будівель (ГОСТ 311-66-03, ГОСТ 31167-03, ГОСТ 31168-03). І, нарешті, на основі набутого в регіонах досвіду РФ НДІБФ з участю низки організацій розробив і Держбуд РФ у 2003 р. затвердив новий СНиП 23-02-04 “Тепловий захист будівель” і відповідний йому “Свод” правил СП 23-101-04 “Проектування теплового захисту будівель”, а також новий СНиП 31-01-03 “Будівлі житлові багатоквартирні” з розділом “Енергоефективність”. В результаті створено нове покоління системи нормативних документів для проектування та експлуатації будівель зі зниженим споживанням енергії. Новий СНиП 23-02-04 “Тепловий захист будівель” є основою цієї системи. За закладеними в ньому принципами це зовсім новий документ – як за структурою і сферою застосування, так і за критеріями теплозахисту, які він встановлює, методами контролю, характером і рівнем енергоаудиту, узгодженістю з європейськими стандартами.

Як бачимо, будівельна індустрія вказаних держав має непоганий інструментарій нормативної документації для ведення ефективної політики енергозбереження. В цьому переконали економічний ефект, отриманий від впровадження у практику нових норм, і контроль за їхнім виконанням. Так, у 2001–2005 рр. у Росії збудовано 185,7 млн. м² житлових будинків. Розрахунковий сумарний ефект енергозбереження за паливом становив приблизно 240 ПДж (8,6 млн. т

умовного палива у вугільному еквіваленті), що також сприяло сумарному зниженню викидів парникових газів в об'ємі 16,4 млн. т.

З метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрівання, дотримання нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків та споруд в Україні введено ДБН В.2.6-31:2006 “Теплова ізоляція будівель”. Ці норми встановлюють вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій (теплоізоляційної оболонки) будинків і споруд і порядку їх розрахунку. Положення норм мають використовуватися під час проектування будинків і споруд, що опалюються, у разі нового будівництва, реконструкції й капітального ремонту (термомодернізації), складання енергетичного паспорта, визначення витрат паливно-енергетичних ресурсів для опалення будинків розрахунково-аналітичним методом, виконання енергетичного обстеження будівель та споруд.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2006 “Теплова ізоляція будівель” прийнято наведені нижче визначення.

Термореновація – комплекс ремонтно-будівельних робіт, спрямованих на відновлення до проектного рівня теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій будинків, втрачених під час кліматичної деструкції матеріалів.

Термомодернізація – комплекс ремонтно-будівельних робіт, спрямованих на підвищення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій і забезпечення їхньої відповідності сучасним нормам.

Термореконструкція – комплекс ремонтно-будівельних робіт, спрямованих на підвищення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій та інженерного устаткування для забезпечення вимог з енергоефективності будинку.

Коефіцієнт паропроникності μ – визначає кількість вологи (мг), що передається у вигляді пари через одиницю площі (м^2) шару матеріалу за одиницю часу (год) при одиничному градієнті перепаду парціальних тисків водяної пари (1 Па/м).

Опір теплопередачі – величина, обернена до коефіцієнта теплопередачі.

Основне поле конструкції – масив огорожувальної конструкції, що визначає її опір теплопередачі.

Теплопровідне включення – ділянка огорожувальної конструкції, що розташована паралельно до напрямку теплового потоку, з теплопровідністю, що перевищує теплопровідність матеріалу основного поля більш ніж на 20 %.

Термічна неоднорідність – наявність зон на внутрішній поверхні конструкції з температурами, що відрізняються від температур основного поля більш ніж на 2 °С.

Термічно однорідна огорожувальна конструкція – одношарова чи багатшарова огорожувальна конструкція, у перетині якої немає теплопровідних включень.

Термічно неоднорідна огорожувальна конструкція – огорожувальна конструкція, у перетині якої є теплопровідні включення, що призводять до термічної неоднорідності.

Багатшарова огорожувальна конструкція – огорожувальна конструкція, що складається по перетину з шарів матеріалу, теплофізичні характеристики яких відрізняються один від одного більш ніж на 20 %.

Розрахункові умови експлуатації – температура і вологість матеріалу, що визначають перенесення тепла і вологи через матеріал під час його експлуатації в огорожувальних конструкціях.

Питомі витрати теплової енергії – показник енергетичної ефективності будинку, що визначає витрати теплової енергії на забезпечення оптимальних теплових умов мікроклімату в приміщеннях і відноситься до одиниці опалюваної площі або об'єму будинку.

6.2. Теплові втрати через елементи конструкції будинку

Термомодернізація в галузі зовнішніх конструкцій охоплює такі питання:

- ✓ утеплення дахів-покрівель або покрівель піддаштя;
- ✓ утеплення зовнішніх стін, а також стін, що розділяють приміщення, в яких різна внутрішня температура;
- ✓ утеплення покрівель над підвалами або над проїздами;
- ✓ утеплення підлоги на ґрунті та стін, що стикаються з ґрунтом;
- ✓ ущільнення віконних елементів, зокрема реставрація або заміна столярних елементів, встановлення додаткового скла, зменшення поверхні засклення, монтаж екранів за радіаторами.

Ефективність термореставрації тим більша, чим гіршою є теплоізоляція зовнішніх конструкцій. Для житлових будинків, особливо тих, які побудовані з готових елементів, з огляду на приховані технологічні недоліки систем, термомодернізація зовнішніх конструкцій є основним методом скорочення теплових втрат. Однак зауважимо, що термомодернізаційні заходи не можуть бути відділеними від пристосування інсталяцій та систем опалення до нових параметрів попиту на тепло, а також від питань, пов'язаних з економічною рентабельністю інвестицій.

Наприклад, у приміщеннях, перегрітих повністю або частково, після їх утеплення спостерігається збільшення витрат енергії, зате у недогрітих приміщеннях саме лише погодне регулювання може призвести до того, що

температура буде нижчою від бажаної для мешканців, з огляду на великі втрати через зовнішні конструкції. Кожному заходу, спрямованому на енергетичні заощадження, повинен передувати ґрунтовний аналіз, що виконується за допомогою енергетичних досліджень.

На рис. 6.1 зображено схему втрат тепла будинком взимку. Величина енерговитрат залежить від багатьох чинників: від площі поверхні, матеріалу і конструкції огорожень (стін, стель, даху), наявності підвалів, цокольної частини, мансарди, конструкції і матеріалів окремих елементів (вікон, дверей, влаштування системи вентиляції), площі всіх цих компонентів, якості виконання елементів будівлі та споруди загалом. Тільки через зовнішні стіни втрати і проникнення тепла можуть досягати 30–40 %. До них додаються теплові потоки тепла через дах, цокольну частину будівлі, стіни підвалів, вікна, двері, комини, вентиляційні системи, досконалість виконання яких також визначається ефективністю конструкцій, вибором матеріалу і якістю виготовлення.

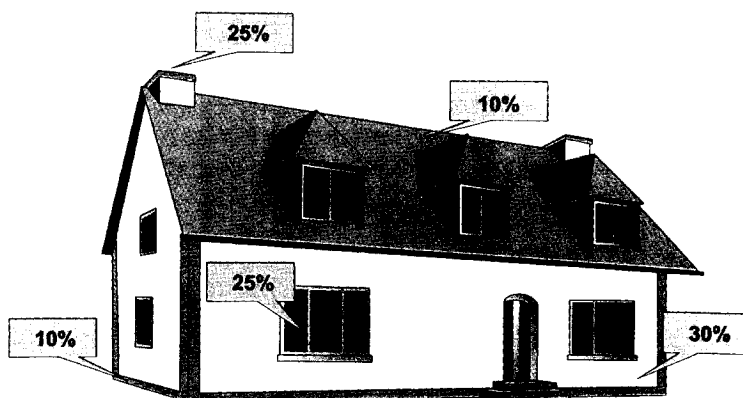


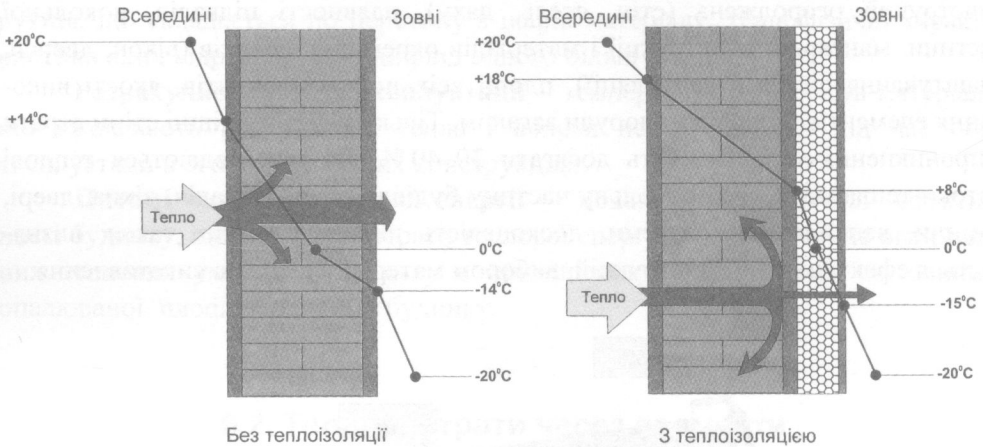
Рис. 6.1. Втрати тепла будинком

Та все ж основні теплові потоки напрямлені через зовнішні огорожувальні конструкції. Їх величина зв'язана безпосередньо або з показником термічного опору матеріалу, з якого виконані огорожувальні конструкції (бетон, цегла, дерево тощо), або, якщо конструкція огорожень комбінована, із сумарним термоопором.

Зауважимо, що такі потоки (рис. 6.2) будуть меншими там, де, за інших однакових умов, коефіцієнт теплопровідності матеріалу огорожень або комбінації матеріалів (за однакової загальної товщини огороження) матиме менше значення. Цей коефіцієнт визначає термічний опір матеріалу і характеризується кількістю тепла, що проходить через цей матеріал за одиницю часу. Так, значення коефіцієнта теплопередачі неутепленої стіни, виконаної із силікатної

цегли, становить $1,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Величина його у разі використання теплоізоляції, в якій утеплювачем слугує пінополістирольна плита ПСБ-С-25 завтовшки 100 мм, знизиться до $0,32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, тобто в 5,2 рази. Відповідно зменшаться і втрати тепла.

У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД



У ЛІТНІЙ ПЕРІОД

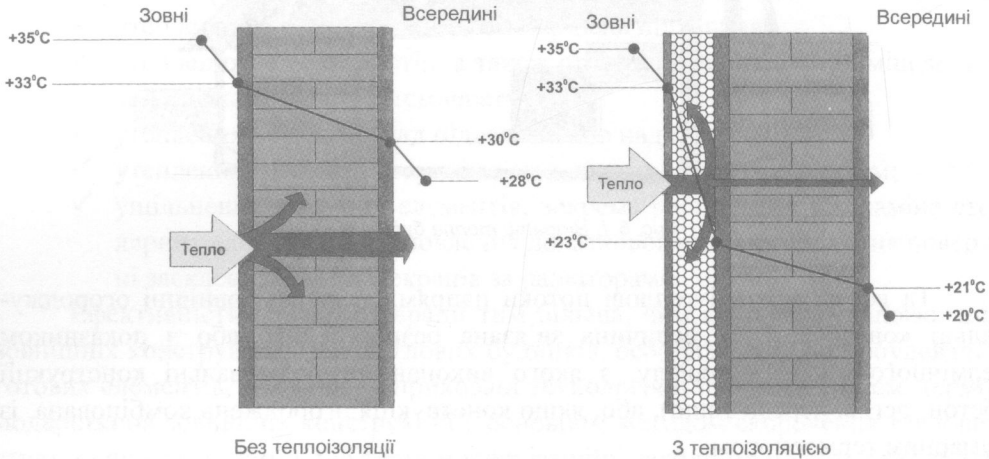


Рис. 6.2. Схема розподілу теплових потоків у стінах різних конструкцій

Ще більший ефект досягається за умови комплексного вирішення питання теплозахисту будівлі використанням систем утеплення в поєднанні з енергоефективними системами віконних і дверних блоків і раціональними системами опалювання і вентиляції.

6.3. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією

Поліпшення теплозахисних властивостей стінових огорожувальних конструкцій полягає в збільшенні їх опору теплопередачі до нормативних значень, чинних на певний час. Це досягається їх утепленням теплоізоляційними матеріалами, які повинні захищатися від зовнішніх впливів декоративно-захисним шаром, здатним, якщо необхідно, зберегти або покращити архітектурно-художній вигляд споруди. Конкретний варіант влаштування теплозахисту вибирають, проаналізувавши всі можливі способи його розташування, з урахуванням переваг та недоліків.

Згідно з ДСТУ Б В.2.6-34:2008. “Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги” зовнішні стіни з фасадною теплоізоляцією класифікують за конструктивними ознаками за класами та підкласами відповідно до табл. 6.1. Класифікація збірних систем залежно від конструкції та матеріалу несучої частини стіни, матеріалу теплоізоляційного шару системи наведена в табл. 6.2.

Таблиця 6.1

Класи та підкласи збірних систем

Класи	Класи	Підкласи
Клас А	Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою	А.1. З опорядженням тонкошаровими штукатурками А.2. З опорядженням товстошаровими штукатурками А.3. З опорядженням дрібнорозмірною плиткою
Клас Б	Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням цеглою	Б.1. З опорядженням керамічною цеглою Б.2. З опорядженням силікатною цеглою Б.3. З опорядженням пресованим каменем
Клас В	Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з вентиляваним повітряним прошарком та опорядженням індустриальними елементами	В.1. З опорядженням керамічними плитами В.2. З опорядженням плитами з природного каменю В.3. З опорядженням металевими дрібноштучними та великорозмірними панелями В.4. З опорядженням плитами з цементно-волокнистих матеріалів В.5. З опорядженням композитними алюмінієвими матеріалами В.6. З опорядженням виробами із дрібнозернистого бетону В.7. З опорядженням полімербетонними панелями В.8. З опорядженням ламінованими панелями В.9. З опорядженням керамогранітом В.10. З опорядженням іншими індустриальними елементами

Класи	Класи	Підкласи
Клас Г	Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням прозорими елементами	Г.1. З опорядженням склом будівельним Г.2. З опорядженням склом загартованим будівельним Г.3. З опорядженням склом з енергозбережним покриттям Г.4. З опорядженням склом сонцезахисним Г.5. З опорядженням склом фасадним з нанесеним емалевим покриттям Г.6. З опорядженням склом візерунковим Г.7. З опорядженням склом армованим Г.8. З опорядженням ламінованим склом (триплексом) Г.9. З опорядженням склом, забарвленим у масі Г.10. З опорядженням гідрофобним склом Г.11. З опорядженням іншими типами скла, що дозволені для застосування у будівництві

Таблиця 6.2

Класифікація збірних систем за конструктивними елементами

Класи	За сприйняттям стіною навантажень в конструктивній схемі будинку	За матеріалом стіни	За матеріалом теплоізоляційного шару
Клас А	1. Несучі 2. Самонесучі 3. Навісні	1. Із цегли 2. Із монолітного або збірного залізобетону, керамзитобетону	З плит із базальтової вати З плит зі скляного штапельного волокна З плит зі спінених полімерних матеріалів або торкретаційного шару З блоків із легких бетонів
Клас Б		3. З блоків із важких бетонів, зокрема із порожнинами 4. З блоків із легкого конструктивного бетону	З плит із базальтової вати З плит зі скляного штапельного волокна З плит зі спінених полімерних матеріалів З блоків із легких бетонів
Клас В			З плит із базальтової вати З плит зі скляного штапельного волокна
Клас Г	2. Самонесучі 3. Навісні	1. З комбінованим світло-прозорим фасадом 2. З суцільним світлопрозорим фасадом	З плит із базальтової вати З плит зі скляного штапельного волокна З плит зі спінених полімерних матеріалів З блоків із легких бетонів Зі склопакетів З подвійним склінням

Конструкції фасадної теплоізоляції залежно від їхнього класу класифікуються за наведеними нижче конструктивно-технологічними ознаками.

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками та дрібноштучними виробами (клас А):

за способом кріплення теплоізоляційного шару до зовнішньої поверхні стіни поділяють на конструкції:

- склеєні (К);
- з дюбельною фіксацією (Д);
- комбіновані дюбельно-склеєні (ДК);
- торкретаційні системи (Т);

за типом арматурної сітки збірні системи поділяють на конструкції:

- з використанням сітки зі скловолокна або полімерних волокон;
- з використанням металеві сітки;

залежно від матеріалу в'язучого штукатурних шарів поділяють на конструкції:

- з мінеральними в'язучими;
- з полімерними в'язучими;
- з полімер-мінеральними в'язучими.

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням цеглою або стіновими каменями (клас Б) залежно від конструкції зв'язку опоряджувальних шарів з плитами перекриття поділяють на конструкції з:

- обпиранням опоряджувального шару на консольну частину плит;
- обпиранням опоряджувального шару на металеві кронштейни.

Конструкції фасадної теплоізоляції з вентиляльованим повітряним прошарком та опорядженням індустриальними елементами (клас В)

за матеріалом повітрязахисного шару поділяють на конструкції з:

- повітрогідрозахисною мембранною плівкою;
- повітрязахисним шаром із волокнистого щільного матеріалу з гідрофобною поверхнею;

за матеріалом кріпильного каркаса поділяють на конструкції з елементами:

- із нержавіючої сталі;
- з алюмінієвих сплавів;
- сталевими з антикорозійним покриттям;

за конструктивним виконанням шару теплоізоляції поділяють на конструкції з:

- двошаровою тепловою ізоляцією;
- одношаровою тепловою ізоляцією.

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням прозорими елементами (клас Г)

за конструктивним рішенням та технологією зведення світлопрозорого опоряджувального захисного шару поділяють на конструкції:

- стояково-ригельні з рамним склінням;

- зі структурним, напівструктурним, спайдерним склінням;
- з подвійним фасадом;

за матеріалом заповнення непрозорих ділянок стін із прозорим захисним опоряджувальним шаром збірної системи поділяють на конструкції:

- із тришаровими панелями з металевою обшивкою;
- із плитами з базальтової вати або скляного штапельного волокна, що розташовані на зовнішній поверхні стіни з цегли або бетону;
- із плитами або блоками з легких або ніздрюватих бетонів, що є матеріалом стіни;
- із плитами з пінополістиролу або інших спінених полімерних матеріалів, що розташовані на зовнішній поверхні стіни з цегли або бетону (за умови погодження з органами державного пожежного нагляду);

за кількістю шарів скла поділяють на конструкції:

- одношарові;
- двошарові;
- тришарові;

за видом заповнення прошарку між шарами скла збірної системи поділяють на конструкції:

- повітрянаповнені;
- аргоннаповнені;
- криптоннаповнені;
- наповнені сумішшю газів.

Умовне позначення збірних систем або конструкцій фасадної теплоізоляції, що використовуються в проектній та технічній документації, містять літери або цифрові елементи, які відокремлюються рискою згідно з наведеною схемою:

1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6

1 – назва об'єкта;

2 – шифр підкласу збірної системи відповідно до табл. 6.1;

3 – вид теплоізоляційного матеріалу та його теплопровідність в розрахункових умовах, яка наводиться в знаках після коми в системній одиниці вимірювання теплопровідності. У разі використання двошарової теплоізоляції значення теплопровідності в розрахункових умовах наводиться для обох шарів;

4 – товщина теплоізоляційного шару в мм;

5 – інші конструктивні особливості (за їх наявності);

6 – позначення ДСТУ.

В умовних позначеннях вживають такі скорочення:

Б – теплоізоляційний шар із мінераловатних виробів на основі базальтових волокон;

М – теплоізоляційний шар із мінераловатних виробів зі скловолокна;

П – теплоізоляційний шар із виробів на основі спінених пластичних матеріалів;

Д – двошаровий теплоізоляційний шар;

Тб – теплоізоляційний бетон;

Нб – ніздрюватий бетон;

С – суцільний світлопрозорий фасад;

СК – комбінований світлопрозорий фасад;

ii – інші конструктивні характеристики (можна використовувати характерні літери конструктивної ознаки, за винятком наведених літер).

Залежно від об'єкта проектування – збірної системи, або об'єкта постачання – конструкції фасадної теплоізоляції – умовні позначення можуть складатися тільки з підкласу відповідно до табл. 6.1 (наприклад, А.1 – клас А з опорядженням тонкошаровими штукатурками) або підкласів згідно з табл. 6.1 та 6.2 (наприклад, А.1.1 – конструкції зовнішньої стіни з фасадною теплоізоляцією та опорядженням тонкошаровою штукатуркою з несучими стінами, А. 1.1.1 – конструкції зовнішньої стіни з фасадною теплоізоляцією та опорядженням тонкошаровою штукатуркою з несучими стінами з цегли).

Приклади умовного позначення збірної системи:

- назва об'єкта – підклас А.2.1.3 (з товстошаровою штукатуркою та несучими стінами з блоків із важких бетонів) – теплоізоляційний шар з плит із пінополістиролу (П) з розрахунковою теплопровідністю 0,05 Вт/(м·К) (05) – товщина теплоізоляційного шару 100 мм (100) – позначення нормативного документа:

xxx – А.2.1.3 – П05 – 100 – ДСТУ Б В. 2.6-36;

- назва об'єкта – підклас Б.3.2.4 (з опорядженням пресованим каменем з самонесучими стінами) – теплоізоляційний шар із блоків із ніздрюватого бетону (Нб) з розрахунковою теплопровідністю 0,11 Вт/(м·К) (11) – товщина теплоізоляційного шару 300 мм (300) – позначення нормативного документа:

xxx – Б.3.2.4 – Нб11 – 300 – ДСТУ Б В. 2.6-34;

- назва об'єкта – підклас В.2.1.2 (з опорядженням плитами з природного каменю та несучими стінами з монолітного залізобетону) – з двошаровою тепловою ізоляцією (Д) з виробів мінераловатних зі скляного волокна (М) з розрахунковою теплопровідністю шарів 0,052 Вт/(м·К) (052) та 0,042 Вт/(м·К) (042) – загальна товщина теплоізоляційного шару 120 мм (120) – позначення нормативного документа:

xxx – В.2.1.2 – М 052 Д 042 – 120- ДСТУ Б В. 2.6-35;

- назва об'єкта – підклас В.5.3 (з опорядженням композитними алюмінієвими матеріалами та навісними стінами) – з одношаровою тепловою ізоляцією з виробів мінераловатних із базальтового волокна (Б) з розрахунковою теплопровідністю шарів 0,043 Вт/(м·К) (043) – загаль-

на товщина теплоізоляційного шару 120 мм (120) – позначення нормативного документа:

xxx – В.5.3 – Б043 – 120- ДСТУ Б В. 2.6-35;

- назва об'єкта – підклас Г.3.3.1 (з опорядженням склом з енергозберезним покриттям, навісний, комбінований) – з теплоізоляційним матеріалом із виробів мінераловатних із базальтового волокна (Б) з розрахунковою теплопровідністю шарів 0,043 Вт/(м·К) (043) – товщина 80 мм (80) – з стояковоригельною системою каркаса з рамним склінням (Р) – позначення нормативного документа:

xxx – Г.3.3.1 – Б043 – 80 – Р – ДСТУ Б В. 2.6-34.

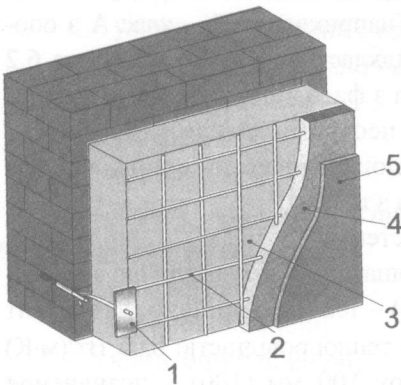


Рис. 6.3. Система влаштування фасаду системи скріпленої теплоізоляції:

- 1 – кріплення; 2 – штукатурна сітка;
- 3 – мінераловатна теплоізоляція;
- 4 – ґрунтувальний і вирівнювальний розчин; 5 – кольорові обробні склади

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками та дрібноштучними виробами складаються зі штукатурних складів, кріпильних елементів спеціальної конструкції, сталевій зварної гарячеоцинкованої сітки і мінеральної теплоізоляції (рис. 6.3 і 6.4).

Розташування теплозахисту із зовнішньої сторони стіни має такі переваги:

- ✓ створення термооболонки, яка запобігає утворенню “містків холоду”;
- ✓ немає потреби влаштовувати пароізоляційний шар;
- ✓ можливість захищати стики великопанельних будинків від протікання;
- ✓ створення нового архітектурно-художнього вигляду будинку;
- ✓ можливість одночасно з влаштуванням теплоізоляції виправляти дефекти стіни;
- ✓ розташування матеріалу стіни, який добре акумулює тепло, в зоні позитивних температур. Це підвищує теплову інерцію огороження, сприяє покращанню його теплозахисних властивостей за нестаціонарної теплопередачі, а також збереженню таких переваг високих теплоакумулювальних властивостей стіни: коливання рівня тепловіддачі систем опалення, які працюють у певному режимі, майже не впливають на температуру повітря усередині приміщення; короточасні притоки холодного повітря не приводять відразу до охолодження приміщення; температурні коливання зовнішнього повітря неістотно позначаються на внутрішньому кліматі приміщення;

- ✓ якщо теплоізоляція влаштована із зовнішнього боку стіни, не зменшується площа приміщення;
- ✓ відсутні незручності, пов'язані з влаштуванням теплоізоляції в місцях розташування пристроїв опалення і в межах товщини підлоги.

Істотними недоліками цього варіанта є те, що по теплоізоляції потрібно влаштувати надійний захисний шар, а також використовувати під час виконання робіт дорогі засоби підмоцнення.

Переваги фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками та дрібноштучними виробами: простота, ефективність, універсальність і доступність використовуваних у конструкції системи елементів, різноманітність варіантів оформлення, техніко-економічна привабливість, надійність і стабільність в експлуатації, незмінність “квадратури” внутрішніх приміщень.

Збірні системи з вентиляваним повітряним прошарком та непрозорим індустріальним опорядженням відповідно до ДСТУ Б В.2.6-34 належать до конструктивного класу В та класифікуються за підкласами (згідно з ДСТУ Б В.2.6-35:2008 “Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляваним повітряним прошарком. Загальні технічні умови”)

за матеріалом опоряджувального шару:

- В.1 – керамічними плитами;
- В.2 – плитами з природного каменю;
- В.3 – металевими дрібноштучними та великорозмірними панелями;
- В.4 – плитами з цементно-волокнистих матеріалів;
- В.5 – композитними алюмінієвими матеріалами несучих стін;
- В.6 – виробами із дрібнозернистого бетону;
- В.7 – полімербетонними панелями;
- В.8 – ламінованими панелями;
- В.9 – керамогранітом;
- В.10 – іншими індустріальними елементами;

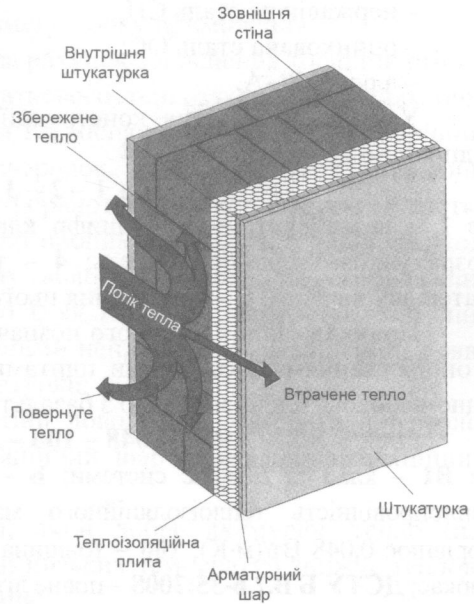


Рис. 6.4. Схема теплових потоків при влаштуванні зовнішньої системи скріплювальної теплоізоляції

за типом теплоізоляції:

- двошарова – Д;
- одношарова – без позначення;

за матеріалом теплоізоляції з плит:

- із базальтової вати – Б;
- зі скляного штапельного волокна – М;

залежно від матеріалу каркаса:

- нержавіюча сталь СН;
- оцинкована сталь ОС;
- алюміній -А.

Умовне позначення конструкції фасадної теплоізоляції слід приймати відповідно до схеми

1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6

де **1** – назва системи; **2** – шифр класу та підкласу; **3** – тип теплоізоляції, розрахункова теплопровідність; **4** – товщина теплоізоляції; **5** – позначення матеріалу каркаса; **6** – позначення цього стандарту.

Приклад запису умовного позначення конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням керамічними плитами з каркасом із алюмінієвих профілів з одношаровою теплоізоляцією з базальтових плит:

XXX – В1 – Б048 – 100 – А – ДСТУ Б В.2.6-35:2008,

де **В1** – клас та підклас системи; **Б** – тип теплоізоляційного матеріалу; **048** – теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в розрахункових умовах, що дорівнює 0,048 Вт/(м·К); **100** – товщина шару теплоізоляції, мм; **А** – алюмінієвий каркас; **ДСТУ Б В.2.6-35:2008** – повне літерно-цифрове позначення стандарту.

Іноді застосовується вимушено система утеплення, влаштована на внутрішній поверхні захисної конструкції (стіни) (рис. 6.5).

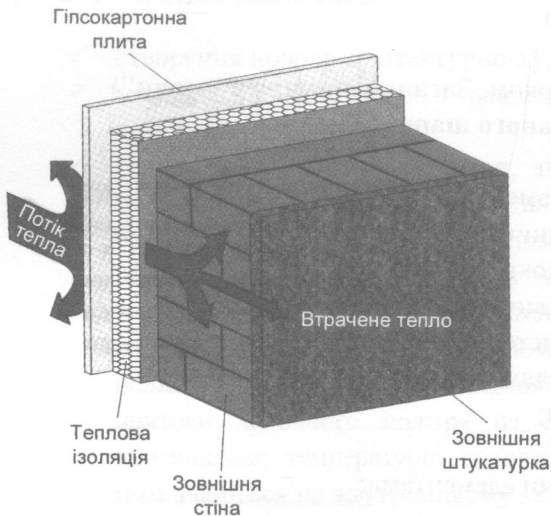


Рис. 6.5. Розподіл теплових потоків при внутрішній теплоізоляції приміщення

Таке влаштування теплоізоляції має певні переваги:

- ✓ теплоізоляційний матеріал, який не має достатньої здатності до опору дії навколишнього середовища, перебуває у сприятливих умовах, і не потребує додаткового захисту;
- ✓ роботи з влаштування теплозахисту можна виконувати в будь-яку пору року незалежно від способу кріплення, не застосовуючи дорогих засобів підмошування.

Недоліками розташування теплозахисту з боку приміщення є:

- ✓ зменшення площі приміщення за рахунок збільшення товщини стіни;
- ✓ необхідність влаштування додаткового теплозахисту в місцях опирання на стіни плит перекриття і в місцях примикання до зовнішніх стін внутрішніх стін та перегородок для запобігання випадання конденсату. У місцях стику утворюються термічні містки (“містки холоду”) – місця, крізь які тепло проникає практично без перешкод. Це може спричинити постійну вологість матеріалів огороження стіни (залізобетон, цегла тощо) і, як наслідок, додаткове зниження ефекту теплоізоляції з відповідними неприємними наслідками: поява цвілі, грибка, руйнування штукатурки;
- ✓ теплоізоляційний матеріал і стіни доводиться захищати від зволоження, влаштовуючи пароізоляційний шар перед теплоізоляційним матеріалом;
- ✓ розташування матеріалу стіни, який добре акумулює тепло (наприклад, цегляна кладка), в зоні низьких температур знижує теплову інерцію зовнішнього огороження;
- ✓ неможливо захистити стики великопанельних будинків від протікання;
- ✓ неможливо змінювати архітектурно-художній вигляд споруди;
- ✓ потрібно відселяти мешканців;
- ✓ теплоізоляцію складно влаштовувати в місцях розташування пристроїв опалення, а також у межах товщини підлоги.

Цей спосіб утеплення можна застосовувати лише у випадках, коли обов’язково треба зберегти первинний вигляд фасаду, наприклад, пам’ятників архітектури. При цьому слід ретельно перевірити тепловологісні показники конструкції огороження і проаналізувати всі можливі негативні наслідки вибраного способу утеплення.

Нанесення на зовнішню поверхню стіни **спеціальної теплоізоляційної (“теплої”) штукатурки** на основі пористих сипких заповнювачів (перліт тощо) є дещо обмеженим, оскільки товщину такого штукатурного шару не можна збільшувати довільно, ізоляційний ефект є меншим, ніж у разі використання типового ізоляційного матеріалу (рис. 6.6). Отже, і втрати тепла скрізь стіни залишаються достатньо високими. Різновидом подібного варіанта можна вважати влаштування зовнішньої кладки з блоків, виготовлених з (або) доданням матеріалів

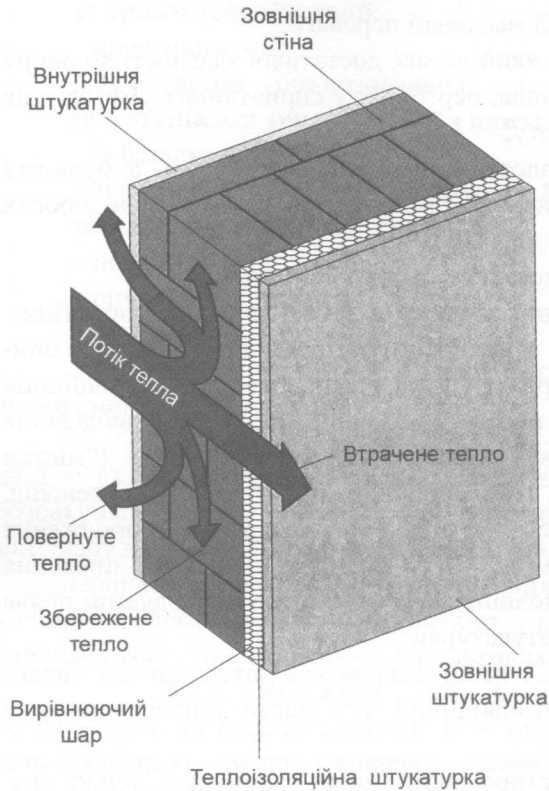


Рис. 6.6. Схема теплових потоків при обробці фасаду теплоізоляційною штукатуркою

Порівнюючи із прийнятою сьогодні пошаровою системою виконання робіт, що складається із десяти операцій, пропонується система утеплення ЕКОТЕМП (у найпростішому варіанті) вимагає лише операції кріплення панелі до стіни, чого достатньо, якщо надалі наклеюватимуть шпалери або використовуватимуть панелі з відкритим декором.

На практиці традиційна технологія – це велика кількість різного роду компонентів (клеї, замазки, розчини), зокрема із агресивними характеристиками, значні терміни виконання робіт з достатньо високими вимогами до кваліфікації виконавців (від чого великою мірою залежить якість робіт) та відповідною вартістю. Пропонується система ЕКОТЕМП основана на принципово новому виробі з унікальними питомими та конструкційними властивостями, що кардинально змінює технологію виконання робіт.

Призначення: теплоізоляція (для зменшення загальних тепловтрат приміщення), захист від зовнішніх (ізоляція) та внутрішніх (демпфірування) шумів, забезпечення біологічного комфорту. Може використовуватися замість

зниженої теплопровідності (піногазобетон, перліт, ізопор тощо). Спорудження будинків такої конструкції потребує ретельного порівняльного конструктивного і економічного опрацювання, а також оцінки, з погляду взаємозалежності міцнісних і теплофізичних характеристик, застосовуваних для облицювання матеріалів.

Системи панельного утеплення, на прикладі системи ЕКОТЕМП: система утеплення стін будинків, яка забезпечує винятковий комфорт завдяки кардинальним змінам у технології утеплення приміщень будь-якого технологічного призначення. Основою пропозиції є виготовлена за спеціальною технологією теплошумоізоляційна панель, що є невід'ємним конструкційним елементом системи утеплення.

традиційної штукатурки, для вирівнювання стін та міжкімнатного поділу, зокрема, якщо недостатні несучі здатності наявного перекриття. При цьому відчуття комфортності досягається завдяки зменшенню балансу теплового обміну (поглинання–випромінювання) у парі “людина – маса, споруди”.

Конструкційна універсальність визначається варіантами кріплення (за мурувальними технологіями або механічним кріпленням до стіни) та варіантами експлуатації (з відкритим декором, фарбування, шпалери тощо). Підтримання (стабілізації) рівня вологості досягнуто конструктивно за рахунок спеціального гідроакумулятора та використання природної властивості гіпсу зв’язувати повітряну вологу в разі її надлишку та віддавати її при зменшенні вологості повітря. Розширений діапазон регулювання вологості забезпечено без зменшення проектної міцності виробу, а достатня пористість гіпсу створює умови для швидкого поглинання води у рідкій та газовій формах.

Конструкційно плита – це композитний, армований з двох сторін скловолоконною сіткою пазогребневий блок зовнішнім розміром 1020×520 мм із запресованим у медичний гіпс ізоляційним матеріалом, завтовшки від 25 до 80 мм. Плити вогнетривкі та міцні, а пресована лицьова поверхня – чудова основа для будь-якого оздоблювального матеріалу (штукатурка, шпалери, фарба, керамічна плитка). За призначенням плита – ефективний негорючий енергозберігаючий матеріал з добрими звукоізоляційними властивостями.

Перевагами плити є її здатність поглинати вологу при її надлишку у повітрі і віддавати її, якщо повітря занадто сухе, а її кислотність відповідає кислотності людської шкіри, що дає змогу природним шляхом регулювати мікроклімат у приміщенні і значною мірою сприяє створенню гармонійної атмосфери. Плити належать до категорії нових інноваційних продуктів, спеціально створених під жорсткі умови експлуатації. Їх застосовують як утеплювач, шумоізолятор, перегородки, “суху штукатурку” для внутрішнього оздоблення та вирівнювання стін. Без будь-якої підготовки плити можна фарбувати, обклеювати шпалерами, оздоблювати керамічною плиткою. Незамінні плити і для так званих “евроремонтів” з їхніми підвищеними вимогами до геометрії приміщень та якості поверхні. До того ж якщо за традиційними технологіями стики стають ідеально рівними після ретельної роботи штукатурка, який може виправити становище і надати поверхні належну геометрію, то у новій технології необхідна геометрія – результат, який забезпечують матеріалом. Система скріпленої теплоізоляції повністю відповідає цим вимогам: всі елементи системи і система загалом мають необхідний рівень паропроникності і зберігають його протягом всього терміну експлуатації – не менше, ніж 20 років.

Ізоляція за системою скріпленої теплоізоляції не тільки знижує затрати палива на обігрівання будівлі, але і дає змогу, як вже згадувалося, обійтися опалювальною і кондиційною системою меншої потужності, а значить, і її габаритів і

вартості. При хорошій ізоляції стін можливе встановлення агрегатів з меншою енергопродуктивністю, а також зменшення розмірів і кількості секцій радіаторів. Знижується також і необхідна температура нагріву радіаторів: з 55–60 °С до 40–45 °С.

Використовуючи ізоляцію стін, цілком можливо переходити і на альтернативні джерела енергії, зокрема відновлювані, тобто вживання ізолювальних систем і енергозберігаючих технологій багато в чому сприяє вирішенню екологічних проблем. Теплотехнічні показники термомодернізації стін будівель наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Теплотехнічні показники термомодернізації стін існуючих будівель

До термомодернізації				Після термомодернізації			
Матеріал стіни	Товщина, см	Термічний опір, $\frac{m^2 \cdot K}{Вт}$	Теплові втрати, $\frac{ГДж}{m^2 \cdot рік}$	Товщина шару мінеральної вати, мм	Термічний опір, $\frac{m^2 \cdot K}{Вт}$	Теплові втрати, $\frac{ГДж}{m^2 \cdot рік}$	Річна економія, $\frac{ГДж}{m^2 \cdot рік}$
Цегла	38	0,63	0,48	50	1,69	0,18	0,30
				100	2,30	0,13	0,35
	51	0,79	0,38	50	1,62	0,19	0,19
				100	2,46	0,12	0,26
	64	0,95	0,32	50	1,78	0,17	0,15
				100	2,62	0,12	0,20
Керамзитобетон	30	0,89	0,34	50	1,72	0,18	0,16
				100	2,56	0,12	0,22
	35	1,01	0,30	50	1,85	0,16	0,14
				100	2,68	0,11	0,19

Терміни окупності заходів з утеплення будинків та квартир наведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Терміни окупності заходів з утеплення будинків та квартир

Заходи	Термін окупності, роки
Теплоізоляція даху мінеральною ватою (200 мм)	2
Збільшення теплоізоляції з 100 до 200 мм	3
Теплоізоляція зовнішніх стін (80 мм)	3,5
Встановлення додаткових рам на вікна з одним склом	3
Встановлення додаткових рам на вікна з кращими теплоізоляційними властивостями (склопакети з тепловідбивним склом)	10

Теплові та вологісні явища тісно пов'язані. Під час проектування термоізоляційної оболонки необхідно розглядати як теплову ізоляцію, так і явища, пов'язані

з рухом водяної пари. Багат шарові стіни слід конструювати так, щоб шар з великим дифузійним опором (погано пропускає водяну пару) був найближче до внутрішньої теплої поверхні стіни (рис. 6.7). В такому разі, водяна пара може випаровуватись із стіни в такій кількості, в якій вона туди потрапляє, без конденсації всередині огороження. Застосовувані ізоляційні матеріали мають різний дифузійний опір – від дуже великого для пінополістиролу до малого – для м'якої мінеральної вати. Така різниця має велике значення під час проектування огорожень, в яких повинен бути такий порядок шарів, щоб всередині огороження не затримувалася і не нагромаджувалася волога.

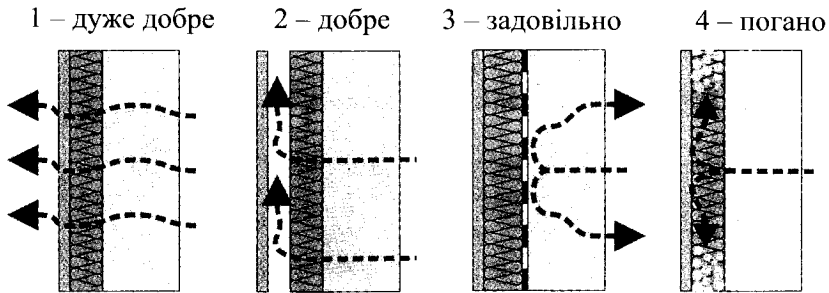


Рис. 6.7. Рух водяної пари в огорожувальній конструкції

Якщо неможливо влаштувати зовнішні шари огороження так, щоб їх опір був менший або дорівнював опору ізоляційного шару, необхідно влаштовувати пароізоляцію. Завданням пароізоляції є блокування проходження пари через товщину стіни. Пароізоляція влаштовується на стіні з внутрішньої сторони. Якщо застосовують пароізоляційні екрани, важливо забезпечити максимальну щільність пароізоляції. Навіть незначна щілина може спричинити значне зниження ізоляційності огороження, коли водяна пара почне конденсуватися в товщині теплової ізоляції.

Великопанельні п'ятиповерхові житлові будинки типових проектів серії 1-464, розроблені інститутом "КиївЗНДІЕП", є найпоширенішими повнозбірними будинками першого покоління на території України. У 60-х роках найпоширенішим був п'ятиповерховий чотирисекційний 80-квартирний будинок. В основу рішення будинків серії 1-464 покладено перехресно-стінову конструкційну систему.

У великопанельних будинках застосовували зовнішні стінові панелі трьох типів: одношарові, двошарові та тришарові з різних матеріалів і утеплювачів. Одношарові панелі – легкобетонні несучі та самонесучі із заповнювачем у вигляді щебеню і гравію з керамзиту, перліту, термозиту, пемзи натуральної, котельного і вулканічного шлаку. Термографія зовнішніх стін панелей виявила їхні значні теплозахисні дефекти, особливо великі ділянки втрати тепла спостерігаються в панелях, розміщених у торцях, у місцях примикання стінових панелей з плитами перекриття і в кутах будинку. Аналіз термографії свідчить про вкрай незадовільні

теплотехнічні характеристики кутових елементів і місць примикань панелей, де утворюються так звані “містки холоду”. Аналогічна ситуація спостерігається і для великопанельних дев’ятиповерхових житлових будинків типових масових серій.

За допомогою комп’ютерної програми SALTA.1 фірми “Атлас” розраховано розподіл температур (рис. 6.8, табл. 6.5) та тиск водяної пари (рис. 6.10, табл. 6.8) по товщині стіни в зовнішній огорожувальній конструкції великопанельного п’ятиповерхового житлового будинку типових масових серій. Згідно з результатами розрахунків, опір теплопередачі зовнішньої стіни становить $0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, температура всередині стіни нижча за $0 \text{ }^\circ\text{C}$, область конденсації водяної пари розміщена безпосередньо в керамзитобетонній стіні, що призводить до недостатнього обігрівання будинку взимку, а також до промерзання зовнішніх стін.

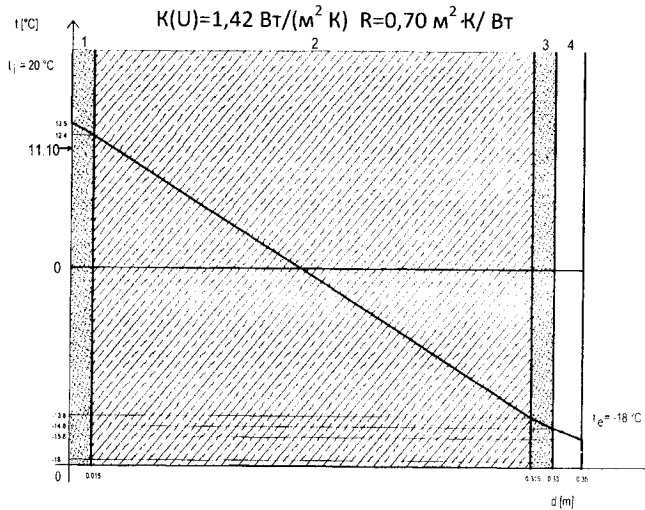


Рис. 6.8. Розподіл температур у зовнішній огорожувальній конструкції до термомодернізації будинку

Таблиця 6.5

Теплофізичні характеристики зовнішньої огорожувальної конструкції до утеплення

Назва шару	$\delta, \text{ м}$	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$R_{\delta}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$
Всередині				20
Вапняна штукатурка	0,015	0,70	0,021	13,51
Керамзитобетон	0,30	0,62	0,484	12,35
Цементний розчин	0,010	0,82	0,012	-13,82
Керамічна плитка	0,015	1,05	0,014	-14,81
Зовні				-15,84
				-18

Підвищення теплозахисних властивостей стінових огорожувальних конструкцій полягає в збільшенні їх опору теплопередачі до нормативних значень (2,2–2,5 м²·К/Вт), чинних нині. Це досягається за допомогою утеплення стін теплоізоляційними матеріалами, які потрібно захищати від зовнішніх дій захисним декоративним шаром, здатним за необхідності зберігати або поліпшувати архітектурно-художній вигляд будівлі.

Утеплення стін типових житлових будинків пінополістиролом завтовшки 10 см забезпечує збільшення термічного опору стіни до 3,18 м²·К/Вт, а область конденсації водяної пари міститься в шарі пінополістиролу (рис. 6.9, 6.11, табл. 6.6, 6.9). Теплоізоляція зовнішніх огорожувальних конструкцій дає змогу знизити втрати тепла та підтримувати необхідні температуру і вологість у приміщенні зі значно меншими енергозатратами на обігрівання і кондиціонування повітря. Теплотехнічні показники реконструкції стін великопанельного п'ятиповерхового житлового будинку типових масових серій наведено в табл. 6.7.

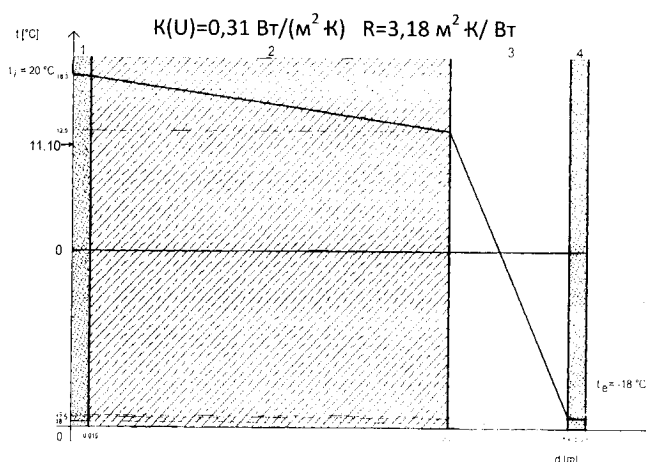


Рис. 6.9. Розподіл температур у зовнішній огорожувальній конструкції після термомодернізації будинку

Таблиця 6.6

**Теплофізичні характеристики
зовнішньої огорожувальної конструкції після утеплення**

Назва шару	$\delta, м$	$\lambda, \frac{Вт}{м \cdot К}$	$R_{\delta}, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$	$t, ^\circ C$
Всередині				20
Вапняна штукатурка	0,015	0,70	0,021	18,57
Керамзитобетон	0,30	0,62	0,484	18,31
Пінополістирол	0,10	0,04	2,50	12,54
Зовнішня штукатурка	0,015	0,82	0,018	-17,30
Зовні				-17,52
				-18

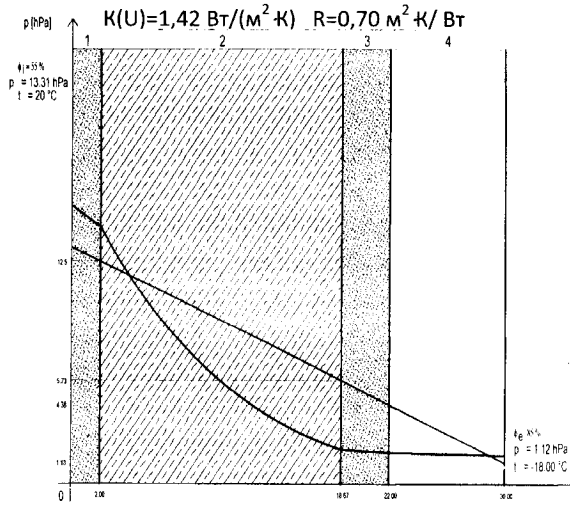


Рис. 6.10. Розподіл тиску водяної пари в зовнішній огорожувальній конструкції до термомодернізації будинку

Таблиця 6.7

Теплотехнічні показники стін великопанельного п'ятиповерхового житлового будинку типових проектів серії 1-464

До реконструкції		Після реконструкції			
Термічний опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	Теплові втрати, ГДж/рік	Термічний опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	Теплові втрати, ГДж/рік	Річна економія, ГДж/рік	Річна економія, тис. м^3 природного газу
0,70	697,8	3,18	162,2	535,6	15,3

Таблиця 6.8

Опір паропроникності шарів огорожувальній конструкції до термомодернізації будинку

Назва шару	δ , м	μ , $\frac{\text{г}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}$	R_{δ} , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{г}}$	φ , %
Всередині				55
Вапняна штукатурка	0,015	75,0	2,00	
Керамзитобетон	0,30	180,0	16,67	
Цементний розчин	0,10	45,0	3,33	
Керамічна плитка	0,015	25,0	8,00	
Зовні			Σ 30,00	85

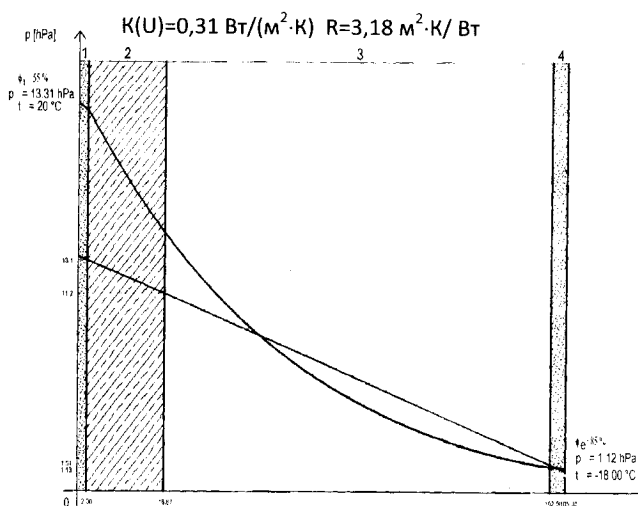
У разі застосування систем теплоізоляції житлових будинків масової забудови загальна ефективність її влаштування доволі істотна і має різнобічний характер. Так,

за рахунок підвищення теплозахисту (збільшення термічного опору) зовнішніх огорожувальних поверхонь досягається істотна економія енергії і витрати палива; завдяки зменшенню продуктів згорання знижується загальне забруднення навколишнього середовища.

Таблиця 6.9

**Опір паропроникності шарів
огорожувальної конструкції після термомодернізації будинку**

Назва шару	δ , м	μ , $\frac{z}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}$	R_{δ} , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{z}$	Φ , %
Всередині				55
Вапняна штукатурка	0,015	75,0	2,00	
Керамзито-бетон	0,30	180,0	16,67	
Пінополістирол	0,10	12,0	83,33	
Зовнішня штукатурка	0,015	45,0	3,33	
Зовні			Σ 105,30	85



*Рис. 6.11. Розподіл тиску водяної пари
в зовнішній огорожувальній конструкції
після термомодернізації будинку*

Зменшення теплових втрат дає змогу знизити температуру обігрівальних приладів і зменшити потужність систем кондиціонування і енергозатрати, одночасно поліпшивши санітарно-гігієнічні умови у приміщенні. Ізольовані стіни характеризуються властивістю акумулювати тепло, а організація теплових потоків в об'ємі приміщення і паропроникність системи утеплення забезпечують комфортний мікро-

клімат у приміщенні. Завдяки термомодернізації підвищується надійність і довговічність огорожувальних конструкцій будівлі, оскільки зовнішня теплоізоляція зміщує “точку роси” з внутрішнього перерізу стіни назовні, а всередині її не утворюється конденсату, який руйнує матеріали огороження і збільшує тепловтрати.

Отже, тепла реконструкція одного великопанельного п’ятиповерхового житлового будинку типових проєктів серії 1-464 дасть змогу зекономити 535,6 ГДж теплової енергії за опалувальний сезон, яка витрачається на опалювання приміщень, що еквівалентно 15,3 тис. м³ природного газу.

6.4. Підвищення теплозахисних властивостей вікон

Вікна – це найслабші в термічному плані місця в будинку, через які втрачається багато тепла (18–30 % теплової енергії), а якщо вікна неякісні, втрати зростають ще більше. Найважливіші способи обмеження цих втрат такі:

- зменшення поверхні вікон;
- додаткові шиби;
- ущільнення;
- спеціальні сорти скла;
- штори, жалюзі;
- заміна вікон.

Замінюючи вікна, варто звернути увагу, що постачальники часто подають завищені дані відносно параметрів пропонованих вікон, наприклад, коефіцієнт теплопередачі на рівні 1,1 або 1,2 Вт/(м²·К). Необхідно надати замовнику документи (атестати, сертифікати), що підтверджують ці дані. Найчастіше подаються дані, що відповідають тільки прозорій частині вікна або поєднанню шиб, водночас коефіцієнт теплопередачі для усього вікна значно вищий внаслідок меншої термічної ізоляції віконних рам, а також термічних містків на стику шиби і рами. Як наслідок, вікно, прозора частина якого має коефіцієнт теплопередачі $U = 1,1$ Вт/(м²·К), загалом має коефіцієнт 1,3–1,5 Вт/(м²·К).

Істотно впливає на термічну ізоляцію вікон різновид застосованих шиб. Чим менший коефіцієнт теплопередачі вікна U , тим менші втрати тепла. Так, для одиначної шиби коефіцієнт U перевищує 5,0 Вт/(м²·К). На поверхні скла вже при температурі зовні 0 °С створюється можливість конденсації водної пари, якщо зростає відносна вологість повітря в приміщенні (рис. 6.12, 6.13).

У кліматичних умовах України традиційно застосовують вікна з двошаровим склінням, і тому тут відсутній той великий резерв енергозбереження, яким скористалися в більшості країн Європи, де упродовж короткого часу замінили вікна з одношаровим склінням відразу після того, як виростили ціни на паливо. Нині через вікна втрачається близько половини того тепла, яке

надходить від опалювальних приладів системи опалювання багатоповерхового житлового будинку, враховуючи повітря, що виноситься через нещільність віконних притворів. Частина цього повітря потрібна для вентиляції, але зазвичай через нещільність надходить значно більше повітря, ніж необхідно згідно з санітарними нормами. Крім того, в перехідний період року, коли з системи централізованого теплопостачання подається тепла більше ніж достатньо для нормального опалювання, значну його частку мешканці випускають через відкриті квартирки вікон.

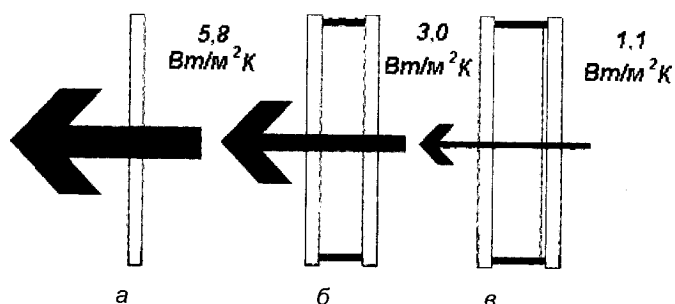


Рис. 6.12. Проходження тепла через шиби:
а – одинарну; б – подвійну; в – подвійну з низькоемісійною плівкою

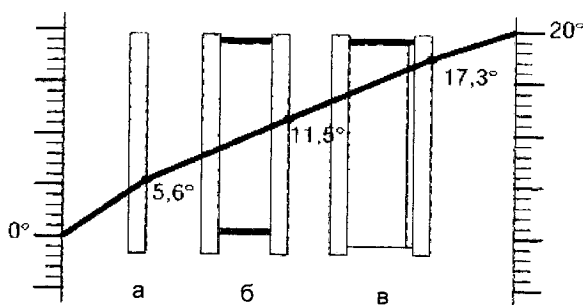


Рис. 6.13. Температура на внутрішній поверхні шиби:
а – одинарної 4 мм; б – подвійної з флоат-скла 4/12/4; в – подвійної 4/15/4 з низькоемісійною плівкою та порожниною, заповненою газом

Поліпшити теплозахисні властивості вікон можна, збільшивши термічний опір і поліпшивши якість ущільнення притворів. Введеними з 1 січня 2008 р. нормативами на більшій території України встановлено мінімальний опір теплопередачі вікон $0,45 м^2 \cdot К/Вт$.

У європейських країнах також відбувся перехід до масового застосування досконаліших у теплотехнічному аспекті вікон, а термічний опір кращих конструкцій майже удвічі перевищує новий український норматив. Стає очевидним, що, застосовуючи покращені конструкції, загальний рівень тепловтрат через

вікна можна істотно знизити. У табл. 6.10 показана структура втрат енергії через звичайні та поліпшені вікна двокімнатної квартири багатоповерхового житлового будинку.

Покращити теплоізоляційні властивості вікон можна, збільшивши кількість шарів скла. Економія енергоресурсів з розрахунку на 1 м² вікна за рік наведена в табл. 6.11.

Разом з тим, сучасні технології відкривають нові можливості модернізації вікон без збільшення їхньої масивності. Одна з таких можливостей полягає в нанесенні на скло тепловідбивного покриття, яке прозоре для видимої частини спектра денного світла, але характеризується, водночас, високим коефіцієнтом відбивання в тепловому діапазоні випромінювання, спрямованого зсередини назовні.

Таблиця 6.10

**Втрати тепла через звичайні та поліпшені вікна
двокімнатної квартири багатоповерхового житлового будинку**

Види втрат	Величина втрат за рік, виражена в					
	літрах мазуту		ГДж		%	
	звичайні	поліпшені	звичайні	поліпшені	звичайні	поліпшені
Загальні втрати	790	530	31,4	21,1	100	100
Зокрема						
теплообмін	480	290	19,1	11,6	61	55
повітрообмін	310	240	12,3	9,5	39	45
Зокрема						
нормативний	240	240	9,5	9,5	30	45
інфільтрація	32	–	1,3	–	4	–
через кватирки (при перегріванні)	38	–	1,5	–	5	–

Таблиця 6.11

Економія енергоресурсів з розрахунку на 1 м² вікна за рік

Тип вікна, що замінюється на герметизовані склопакети з тепловідбивною плівкою або склом	Економія на 1 м ²		
	мазут, л	газ, м ³	теплота, Гкал
Одинарне скло	55	50	0,43
Подвійне скло	26	23	0,20
Потрійне скло	17	15	0,13
Подвійне низькоенергетичне скло	13	11	0,10
Потрійне низькоенергетичне скло	11	10	0,09

Звичайно теплові промені від радіаторів опалювання і від нагрітих ними внутрішніх стін приміщень безперешкодно проникають через стекла вікон

назовні, збільшуючи тепловий потік з опалюваної будівлі в навколишнє середовище. Тепловідбивні покриття стають бар'єром на шляху цих втрат.

Покращити якість вікон також можна, створивши герметизований простір між склом. Два скла, встановлені на оптимальній з погляду теплозахисних властивостей відстані (переважно близько 19 мм) і сполучені за допомогою спеціальних деталей в єдину герметичну конструкцію, зазвичай називають склопакетом. Теплозахисні властивості склопакета ще більш покращуються, якщо простір між склом заповнити аргоном або іншим газом, що зменшує теплопровідність міжскляного простору і пригнічує конвекцію всередині нього.

Отже, конструктори сучасних вікон володіють декількома способами поліпшення теплозахисних властивостей світлопрозорих конструкцій, що дає змогу виробляти різноманітні вікна. У табл. 6.8 наведено теплозахисні властивості деяких найпоширеніших типів вікон. Для вікон пасивного будинку коефіцієнт теплопередачі становить близько $0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Таблиця 6.12

Теплозахисні властивості вікон

Тип вікна	Температура на внутрішній поверхні, °C	Опір теплопередачі, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	Теплові втрати, $\text{ГДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$	Економія за рік	
				тепла, $\text{ГДж}/\text{м}^2$	мазуту, л
Подвійне в дерев'яних рамах	6	0,39	0,792	-	-
Потрійне в дерев'яних рамах	10	0,55	0,562	0,230	5,8
Склопакет з тепловідштовхувальним покриттям	9	0,54	0,572	0,220	5,5
Те саме з аргоном між склом	11	0,69	0,448	0,344	8,6
Те саме з двома тепловідштовхувальними покриттями	12	0,78	0,396	0,396	9,9

Незважаючи на постійне вдосконалення конструкцій вікон, вони залишаються найбільш теплопровідним місцем в системі захисних конструкцій будівлі. Їхня роль зростає ще і тому, що через нещільність притворів віконних рам у приміщення проникає холодне повітря, що є причиною додаткових тепловтрат.

6.5. Підвищення теплозахисних властивостей підлог

Підлоги відіграють істотну роль у збереженні тепла усередині будинків. У звичайному будинку втрати тепла через підлоги без теплоізоляції можуть досягати 20 % від загального обсягу тепловтрат, оскільки через неізольовані підлоги тепло передається в ґрунт, у неопалювані приміщення й у навколишній простір. Крім зменшення втрат тепла, теплоізоляція підлог дає змогу ефективніше використати їхню теплоємність. Температура на поверхні підлоги є основним чинником, що визначає ступінь комфортності приміщення. Температурний режим людського тіла вимагає, щоб температура на внутрішніх поверхнях приміщення не відрізнялася від температури повітря усередині приміщення більш ніж на 2 °С. Якщо врахувати, що причиною втрати близько 50 % тепла нашого організму є тепловипромінювання, очевидно, що ці втрати визначають насамперед температурою будівельних конструкцій, таких як стіни, підлоги, плити тощо.

Проектуючи підлоги, треба враховувати можливу конденсацію вологи на їхній низькотемпературній поверхні, а також у “містках холоду” в місцях сполучення стін і підлог. Наслідком конденсації може стати поява грибкових організмів і цвілі, які руйнують будівельні конструкції й несприятливо впливають на здоров’я людей, що перебувають у приміщенні. Найефективніший спосіб боротьби із цими небажаними явищами полягає в грамотному проектуванні й ретельному виконанні теплоізоляції підлог. Оптимальні результати досягаються, якщо поряд з теплоізоляцією підлоги є можливість ізоляції підвальної стіни, що сполучається з підлогою, цоколю, кільцевої балки тощо.

Теплоізоляція підлог є важливим завданням не тільки з погляду скорочення тепловтрат, але і з погляду звукоізоляції. Згідно зі статистичними даними, мільйони людей в світі страждають від шуму, який створюють сусіди. Замість того, щоб збільшувати масу міжповерхових перекриттів для забезпечення необхідного рівня звукоізоляції, можна просто використовувати ізоляційні матеріали.

Матеріали, які застосовують для теплоізоляції підлог, зазнають впливу підвищених навантажень. Тому серед вимог до них, крім теплопровідності, вирізняють високу міцність на стиск і низький ступінь деформації під час стиску. Іншими важливими характеристиками теплоізоляційного матеріалу, що допомагають зменшити до мінімуму товщину будівельних конструкцій, є низька теплопровідність і здатність зберігати вихідні теплоізолювальні параметри впродовж практично необмеженого періоду часу навіть у разі впливу вологи й механічних навантажень. Теплоізоляційний матеріал повинен бути зручним у роботі. У ці параметри входить легкість розрізування, простота й швидкість укладання з невеликою кількістю відходів, що зумовлює мінімальну вартість робіт з теплоізоляції.

Для теплоізоляції підлог застосовують мінеральну вату, скловату, пінополістирол, зокрема екструдований, спінене (ніздрювате) скло тощо. Для кожного із цих матеріалів розроблено конструктивні схеми влаштування підлог, що враховують особливості їхнього використання.

У разі середньої і великої інтенсивності впливу рідин на підлогу необхідно забезпечити влаштування гідроізоляції. Для захисту від проникнення води, нейтральних і хімічно агресивних рідин застосовують ізол, гідроізол, бризол, поліізобутилен. За середньої інтенсивності впливу рідини на підлогу обклеювальну гідроізоляцію з матеріалів на основі бітуму укладають у два шари, з полімерних матеріалів – в один. У разі великої інтенсивності впливу рідини на підлогу, а також під стічними лотками, каналами, трапами й у радіусі 1 м від них, кількість шарів гідроізоляції з матеріалів на основі бітуму збільшують на два, а з полімерних матеріалів – на один.

Гідроізоляція в конструкції підлоги повинна бути безперервною. У місцях, де підлога примикає до стін та інших конструкцій, що виступають над підлогою, гідроізоляцію варто безупинно продовжувати на висоту не менш ніж 300 мм від рівня покриття підлоги. Якщо низ бетонного підстильного шару розташований у зоні небезпечного капілярного підняття ґрунтових вод, де на підлогу не впливають стічні води середньої й великої інтенсивності, також варто передбачати гідроізоляцію.

Крім високого термічного опору, мінеральна вата характеризується добрими звукоізолювальними властивостями. Застосовують мінеральну вату для тепло- і звукоізоляції підлог за декількома схемами.

Розроблено багато конструкцій підлоги. Найтипівіша конструкція у приватному житловому будівництві – **підлоги по лагах**. Їх використовують у новобудовах над холодними приміщеннями, а також для додаткового утеплення підлоги. Також поширеною є конструкція **перекриття по балках**. Ці підлоги зручні, коли необхідний швидкий монтаж з мінімальним навантаженням на конструкцію перекриття. У цих випадках використовують теплоізоляційні матеріали низької щільності на основі скловолкна.

У житловому висотному і комерційному будівництві найчастіше застосовується конструкція **підлоги під стяжку**. Основним критерієм вибору ізоляційного матеріалу для конструкцій підлоги є навантаження для різних за призначенням приміщень (житло, виробничі, спортивні споруди тощо). Важливим критерієм для вибору матеріалу, окрім теплопровідності, є характеристики середньої густини. Для цього використовуються матеріали вищої середньої густини на основі базальту.

6.6. Підвищення теплозахисних властивостей покрівель

Схилкові покрівлі, наприклад мансарди, традиційно мають каркасну несучу систему, що складається із крокв, коника, різних підкосів, решетування тощо. Матеріалом для несучих елементів може бути дерево або металевий профіль. Така покрівля є багатошаровою конструкцією, теплоізоляційний шар у якій укладається всередину несучого каркаса. Для цього найкраще підходять мінераловатні плити. У типовому випадку вкладають такі шари (перераховано зсередини назовні):

- внутрішня обробка приміщення, набита по невеликому каркасі;
- повітряний прошарок 1–2 см, для видалення вологи;
- пароізоляційний шар – поліетиленова плівка 200 мкм або спеціальна мембрана;
- теплоізоляційний шар (утеплювач) – мінераловатні плити, покладений між кроквами;
- вітрозахисний шар – вітрозахисна паропроникна мембрана;
- повітряний прошарок 4–5 см;
- решетування з дощок;
- покрівельний матеріал.

Якщо висота крокв не дає змоги укласти необхідну товщину шару утеплювача й залишити повітряний зазор, то можна використати двошарове рішення, вклавши частину утеплювача зсередини на додатковому каркасі, набитому по кроквах.

Несуча частина плоскої покрівлі – плита покриття, виконана із *залізобетону* або *профільованого металевого листа*. Схил покрівлі можна створити різними способами: конструктивно, за допомогою залізобетонних стяжок, засипання керамзитом тощо. Основна особливість конструкції – жорсткі вимоги до всіх елементів, оскільки на теплоізоляційний шар (утеплювач) діятимуть різні навантаження: вітрові, снігові, експлуатаційні, монтажні тощо. Очевидно, що матеріал повинен мати задовільні фізико-механічні характеристики, тому що не можна повністю виключити можливість потрапляння вологи усередину покрівлі, тому теплоізоляційний шар (утеплювач) повинен бути гідрофобізованим.

Для утеплення схилених дахів і перекриттів застосовують матеріали з густиною 35–125 кг/м³. Номенклатура вітчизняних виробів обмежується м'якими плитами марки 50 і 75, напівжорсткими 125, матами мінераловатними прошивними марки 100. Вироби негорючі. Проте рекомендується застосовувати гідрофобізовані вироби з мінеральної вати з гірських порід або, в крайньому випадку, з гірських порід з додаванням доменних шлаків.

Довговічність конструкцій із використанням негідрофобізованих виробів зі шлакової вати залежить від конструктивних рішень, умов і якості виконання робіт, умов експлуатації, і не може бути гарантована.

Варто також зупинитися і на такому матеріалі, як екструдований пінополістирол. Це матеріал з практично нульовим водопоглинанням, він чудово підходить для теплоізоляції схилових дахів. Незважаючи на високу ціну виробів з екструдованого пінополістиролу, конструкція покрівлі з їх застосуванням загалом коштує ненабагато дорожче, ніж з використанням традиційних теплоізоляційних матеріалів. Це пояснюється тим, що не потрібно дорогої пароізоляції і спрощується система вентиляції покрівлі. Проте, застосовуючи екструдований пінополістирол у конструкціях схилових дахів, необхідно враховувати той факт, що несучі конструкції схилових покрівель здебільшого дерев'яні. Це, у поєднанні з горючістю пінополістиролу, зумовлює підвищені вимоги до протипожежних заходів, а саме: антипіренове просочення дерев'яних конструкцій, влаштування вогнезахисних шарів тощо.

З теплоізоляційних матеріалів, які можна застосовувати як основу під рулонну або мастичну покрівлю за показниками міцності, можна назвати: мінераловатні плити підвищеної жорсткості та жорсткі, скловолокнисті мати, пінополістирольні плити (з обов'язковим влаштуванням цементної стяжки, щоб уникнути їх спалаху), спінене скло, пінобетон (але за теплопровідністю він поступається іншим теплоізоляційним матеріалам).

Плоскі покрівлі можна розділити на *експлуатовані* й *неексплуатовані*. На експлуатованих можна влаштовувати паркінги, кафе, пішохідні зони тощо. У таких конструкціях поверх утеплювача укладають бетонну стяжку. Основні елементи конструкції плоскої покрівлі (перераховано зсередини назовні):

- плита покриття (з/б або профлист);
- пароізоляційний шар;
- теплоізоляційний матеріал (утеплювач);
- залізобетонна стяжка (якщо необхідно);
- гідроізоляція.

Зазначимо, що необхідне механічне кріплення теплоізоляційних плит (утеплювача) до несучої основи. Для цього найчастіше використовують спеціальні дюбелі. Допускається приклеювати теплоізоляційні плити (утеплювач) до залізобетонної основи, якщо міцність клейового з'єднання вища, ніж міцність на відрив шарів теплоізоляційного матеріалу.

6.7. Мікроклімат усередині приміщення

Людина проводить у приміщенні близько 80 % життя. Житло призначене для захисту людей від впливу несприятливих метеорологічних факторів: холоду, спеки, вітру, атмосферних опадів. Тому в приміщенні треба створити оптимальні умови перебування, які відповідають фізіологічним та культурним потребам людини і запобігають захворюванням.

Мікроклімат приміщень – це сукупність фізичних чинників, умов навколишнього середовища, які зумовлюють його тепловий стан та впливають на теплообмін людини. Інтенсивність тепловіддачі людини залежить від мікроклімату приміщень, що характеризуються температурою внутрішнього повітря, радіаційною температурою, швидкістю руху повітря та його відносною вологістю. Поєднання цих параметрів мікроклімату, за яких зберігається теплова рівновага в організмі людини і відсутнє напруження в її системі терморегулювання, називають комфортним або оптимальним. Кожній людині властиві власні межі комфортних параметрів, які залежать від ступеня її активної діяльності. Завдання інженера – створити комфортні умови, які були б сприятливі для переважної кількості людей, що перебувають у приміщенні.

Життєдіяльність людини супроводжується утворенням теплоти у результаті біохімічних процесів, які відбуваються в тканинах та органах. У стані спокою доросла людина випромінює в середньому 3,34–6,27 кДж теплоти/кг маси тіла за 1 год. Залежно від характеру роботи теплопродукція може коливатися в широких межах. Так, під час виконання важкої роботи вона становить 2000 кДж/(кг·год). Якщо не буде можливості віддавати теплоту в навколишнє середовище, температура тіла людини підвищиться до 40–42 °С, що може призвести до денатурації білків.

Температурні перепади в захисних конструкціях будівлі, зумовлені інтенсивністю теплових потоків, призводять до формування особливого мікроклімату в приміщенні, пов'язаного з розподілом температури і вологості в його об'ємі. Для оцінювання мікрокліматичних умов житла основне значення має його температурний режим. Так, взимку оптимальна температура в приміщенні повинна становити 18–20 °С. Середню температуру приміщення визначають на рівні зросту людини (1,5 м від підлоги) у п'яти точках: у центрі приміщення та по кутах. Перепад температур по горизонталі одержують, знайшовши різниці температур у трьох точках: на відстані 0,5 м від зовнішньої стіни, в центрі приміщення, на відстані 0,5 м від внутрішньої стіни. Перепад температур по вертикалі характеризується різницею у показниках термометрів, які розташовані відповідно на відстані 10 см від підлоги, 1,5 м від підлоги та 10 см від стелі. Відносна вологість повітря (якщо температура повітря 18–20 °С) має бути в межах 40–60 %. Третій компонент мікроклімату – швидкість руху повітря, яка в зимову пору року не повинна перевищувати 0,2–0,3 м/с. Рух повітря в приміщенні виникає внаслідок конвекції, інфільтрації, роботи системи повітряного опалення, системи вентиляції чи кондиціонування. Якщо тепловий потік спрямований на потилицю людини, то його швидкість не повинна перевищувати 0,15 м/с. Під час виконання фізичної роботи людина нормально сприймає швидкість повітря до 0,5 м/с.

Вимоги до мікроклімату в житлових приміщеннях зводяться до того, щоб людина у легкому одязі і взутті, яка тривалий час перебуває у малорухливому стані, не мала неприємних відчуттів: охолодження чи перегрівання. Рівень

теплого комфорту, прийнятий в європейських країнах, наведено у табл. 6.13. Розрахункові температури повітря і вимоги до повітрообміну в приміщеннях згідно з ДБН В.2.2-15-2005 “Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення” слід приймати згідно з табл. 6.14.

Таблиця 6.13

Рівень теплового комфорту, прийнятий в європейських країнах

Кімната	Температура, °С	Різниця температур, °С, між повітрям і стіною і за висотою приміщення	Відносна вологість, %	Швидкість повітряного потоку, м/с
Житлова кімната	21	< 3	30-70	Взимку <0,15
Спальня	18		Взимку < 50	Влітку <0,25
Ванна	22			
Туалет	18			
Сходова клітка	16			

Таблиця 6.14

Розрахункові температури повітря і вимоги до повітрообміну в приміщеннях (ДБН В.2.2-15-2005)

Приміщення	Розрахункова температура взимку, °С	Вимоги до повітрообміну	
		Приплив	Витяжка
Загальна кімната, спальня, кабінет	20	1-кратн.	–
Кухня	18	–	за повітряним балансом квартири, але не менше за, м ³ /год: 90 25 50 50
Кухня-їдальня	20	1–	
Ванна	25	–	
Вбиральня	20	–	
Суміщений санвузол	25	–	50
Басейн	25	За розрахунком	
Приміщення для пральної машини в квартирі	18	–	0,5-кратн.
Гардеробна для чищення і прасування одягу	18	–	1,5-кратн.
Вестибюль, загальний коридор, сходова клітка, передпокії квартири	16	–	–
Приміщення чергового персоналу (консьержа/консьержки)	18	1-кратн.	–
Незадимпована сходова клітка типу Н1	14	–	–
Машинне приміщення ліфтів	5	–	0,5-кратн.

Відомо, що коли температура поверхні будь-якого тіла відмінна від температури поверхонь, які його оточують, то теплообмін проходить за рахунок випромінювання тепла від нагрітішого тіла. Тому коли людина сидить біля холодного вікна чи холодної стіни, то вона відчуває протяг, хоч повітря навколо неї зовсім нерухоме. Щоб не допустити цього неприємного відчуття, опалювальні прилади зазвичай розміщують під вікнами. Але це не завжди допомагає, і, щоб не було дискомфорту, часто доводиться підвищувати температуру повітря, що призводить до збільшеного споживання енергії.

Якісно і правильно ізольовані зовнішні стіни і вікна дають змогу знизити температуру повітря всередині приміщення, не порушуючи теплового комфорту. Незадовільний тепловий режим може бути зумовлений також зайвою різницею температури повітря по висоті приміщення, а також підвищеною вологістю і швидкістю повітря. Вимоги до теплового комфорту визначаються фізіологічною потребою людини, і у всіх країнах світу вони практично однакові, відрізняються лише в деталях, що відображають кліматичні особливості регіонів чи звички громадян.

Збільшення термічного опору зовнішніх конструкцій будівель дасть змогу зробити комфортнішими умови всередині приміщень без підвищення температури повітря, оскільки при цьому зростає радіаційна температура приміщення. Під радіаційною температурою t_R розуміють середню температуру всіх поверхонь приміщення:

$$t_R = \frac{\sum F_i \cdot t_i}{\sum F_i},$$

де F_i – площа елемента поверхні, m^2 ; t_i – температура поверхні елемента, $^{\circ}C$.

У будівлях з низьким рівнем теплоізоляції зовнішніх стін і вікон радіаційна температура понижена. Тому, щоб зберегти рівень теплового комфорту, доводиться додатково підвищувати температуру повітря в приміщенні, що збільшує використання теплової енергії.

Зв'язок температури повітря t_n і радіаційної температури t_R , $^{\circ}C$, що зумовлюють комфортні умови для холодного періоду року в приміщеннях житлових та громадських будівель, виражається рівнянням:

$$t_R = 29 - 0,57 \cdot t_n \pm 1,5.$$

Отже, підвищення радіаційної температури приміщення на $1^{\circ}C$ за умови покращання теплотехнічних характеристик зовнішніх конструкцій дасть змогу досягти такого ж рівня теплового комфорту, який можна було б забезпечити збільшенням температури повітря у приміщеннях приблизно на $2^{\circ}C$.

Порівняємо, як змінюється температура і напрям теплових потоків у захисній конструкції (стіні) і як ця зміна впливає на формування мікроклімату всередині приміщення у варіанті для звичайної неізольованої середньо-

статистичної цегляної стіни завтовшки 38 см (рис. 6.14, а) і аналогічної стіни, але покритої зовнішнім шаром теплоізоляції (рис. 6.14, б), за однакових початкових температурних умов зовні та всередині приміщення взимку.

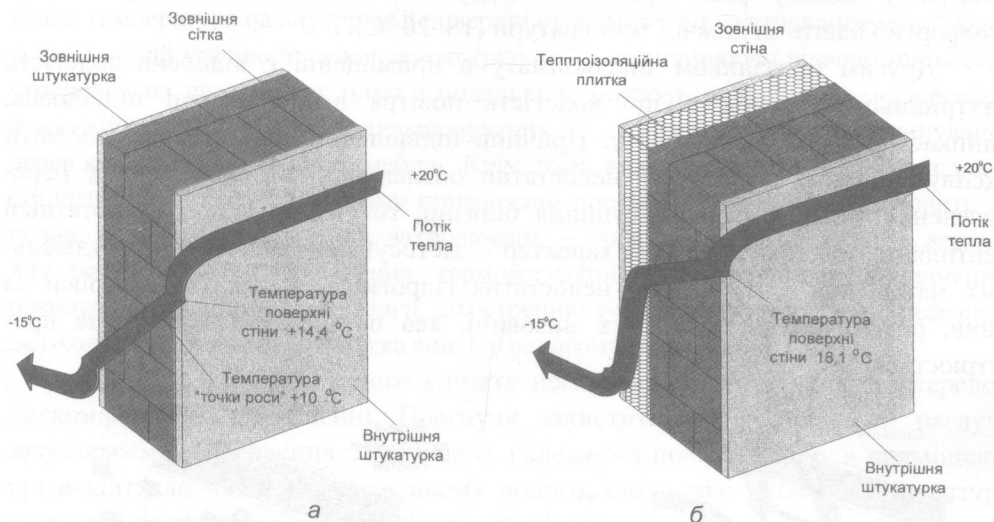


Рис. 6.14. Розподіл температур у стіні без теплоізоляції (а) та з зовнішньою теплоізоляцією(б)

Зовнішня температура повітря становить (-15 °С), внутрішня, в приміщенні, – (+20 °С). З рис. 6.12, а видно, що температура на внутрішній поверхні неізольованої стіни – (+14,4 °С) і в міру наближення до зовнішньої рівномірно знижується, наближаючись до температури атмосферного повітря. Абсолютно інша картина розподілу температури в зрізі стіни, покритої теплоізоляцією (рис. 6.14, б). Для неї характерне різке зниження температурної кривої на стику поверхні стіни з теплоізоляційним шаром. У цьому випадку вся товщина стіни залишається нагрітою, а температура внутрішньої поверхні стіни, що дорівнює (+18,1 °С), трохи відрізняється від температури повітря у приміщенні (+20 °С). Природно, така стіна втрачає тепло назовні значно менше, ніж у попередньому випадку; крім того, вона випромінює тепло всередину приміщення.

Якщо термоопір зовнішніх огорожень (неізольованої стіни) низький, температура внутрішньої поверхні встановлюється на рівні, значно нижчому за розрахункову температуру повітря в центрі приміщення, відповідно (+14,4 °С) і (+20 °С). Такий температурний перепад створює умови для інтенсивного повітрообміну (циркуляції) повітря у приміщенні зі швидкістю руху потоку приблизно 1,5 м/с. Мешканець сприймає це як протяг (рис. 6.15, а) і вимушений, задля компенсації, піднімати температуру повітря всередині приміщення

до (23–25)°C і вище з відповідним зростанням енергоспоживання. Ізоляція стін створює умови, за яких внутрішня різниця температур між поверхнею стіни і рештою частини приміщення становитиме всього 1,9 °C (рис. 6.15, б); потік повітря у такому разі, практично відсутній, і мешканець відчуває себе комфортно навіть за нижчої температури (18–20 °C).

Другим показником мікроклімату в приміщенні є відносна вологість внутрішнього повітря. Якщо вологість повітря в приміщенні підвищена, виникає відчуття дискомфорту. Причини підвищеної вологості можуть мати експлуатаційний характер – недостатнє опалення у зимовий період, пере-населення житла, прання і сушіння білизни, готування їжі за недостатньої вентиляції; або технологічний характер – застосування вологоємних будівельних матеріалів, відсутня або недостатня гідроізоляція, дефекти покрівлі та ринв, розташування будинку в низовині, яка погано освітлюється та про-вітрюється.

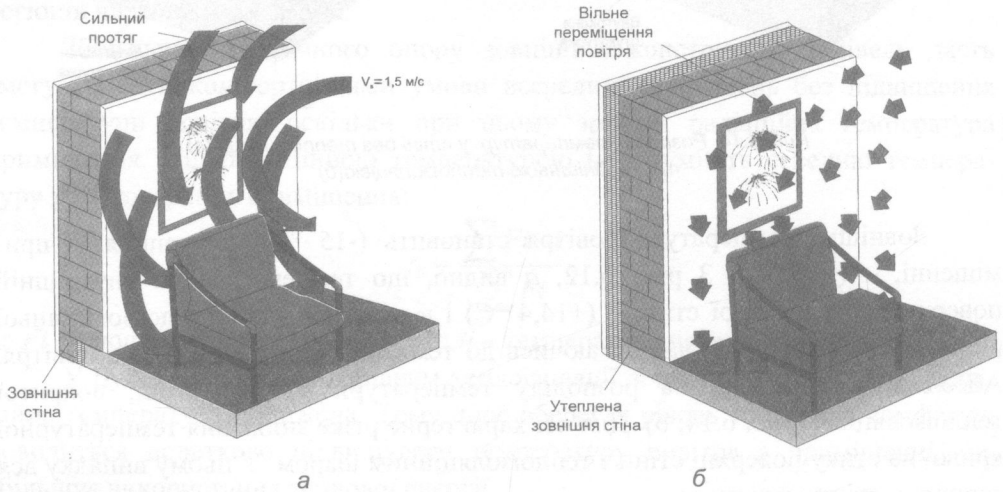


Рис. 6.15. Циркуляція потоків повітря в неізольованому утепленому (а) та утепленому (б) приміщенні

Здебільшого і зовнішне, і внутрішнє повітря житлових приміщень містить вологи менше від граничного значення для його температури (відносна вологість повітря менша за 100 %). Досягнення ступеня повного насичення повітря вологою (вологість 100 %) неоднакове для різних температур і залежить від рівня вмісту водяної пари в повітрі (відносної вологості ϕ_v) і температури повітря (t_v). Так, за нормальних умов ($t_v = 20$ °C, $\phi_v = 55$ %) в повітрі міститься 9,48 г/м³ вологи. Зі зниженням температури повітря до 10 °C відносна вологість повітря зростає до 100 % з випаданням конденсату. За більшої початкової вологості температура випадання конденсату t_p – “точка роси” відповідно

підвищується, тобто “точка роси” зміщується на внутрішню поверхню стіни. Те саме явище можливе у разі зниження зовнішньої температури.

В умовах недостатнього термоопору стін, зниження зовнішньої температури і високої відносної вологості повітря в приміщенні (особливо в кухнях, ваннах тощо) температура на внутрішній поверхні стіни може опускатися нижче за “точку роси” і на ній утворюється конденсат (рис. 6.16), спричиняючи відволоження стін, утворення на них мокрих плям з подальшою появою цвілі, грибка, водоростей, руйнування штукатурки, відшаровування і псування шпалер, руйнування дерев'яних деталей будівлі, меблів. Крім того, вологість підвищує тепловіддачу організму – людина у вологому приміщенні постійно мерзне. Це призводить до появи та загострення різних захворювань – тонзилітів, ангін, катарів верхніх дихальних шляхів. Порушення терморегуляції загалом сприяє виникненню ревматизму, радикуліту, невралгії, загостренню туберкульозу. Особливо небезпечне охолодження для людини, яка спить у вологому приміщенні.

Улітку в умовах жаркого клімату неізольовані стіни також є джерелом дискомфорту в приміщенні. Прагнучи захиститися від спеки, ми наглухо закупорюємо приміщення. Відсутність належного повітрообміну в приміщенні призводить до накопичення в ньому вологи, що у разі високої температури усередині приміщення створює “парниковий ефект”, недопустимий для нормальної життєдіяльності мешканців. Кондиціонування повітря в неізольованих приміщеннях потребує значних енерговитрат.

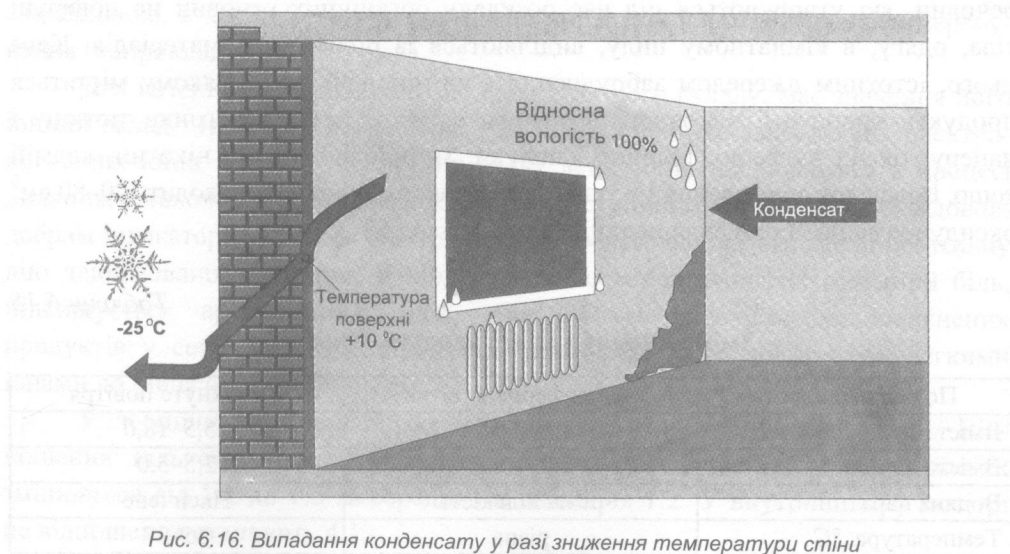


Рис. 6.16. Випадання конденсату у разі зниження температури стіни усередині приміщення

Якщо з'явилися перші ознаки вологості, приміщення треба добре опалювати і провітрювати, регулярно витирати воду з предметів і стін. Не слід

заставляти вологі стіни меблями, завішувати килимами, заклеювати шпалерами, тому що це перешкоджає доступу повітря до стін. Заклеєна шпалерами стіна “не дихає”, тобто немає обміну між внутрішнім повітрям і зовнішнім. Щоб об’єктивно оцінити ступінь зволоження стін, визначають вміст води в штукатурці, він не повинен перевищувати 2 %.

На чистоту повітря в житлових приміщеннях впливають кількість людей, які перебувають у приміщенні, інтенсивність виконуваної ними роботи, температура внутрішніх приміщень. Різноманітні побутові процеси – приготування їжі, прання білизни, опалювання тощо також призводять до погіршення якості повітря. Повітряне середовище зовні та всередині приміщень оцінюється хімічним складом, об. %: 21 кисню, 78 азоту, 0,03–0,04 вуглекислого газу, менше ніж 1 % – озону, водню, гелію, неону, криптону, радону і аргону, водяної пари.

У результаті дихання людини склад повітря змінюється – зменшується вміст кисню і збільшується кількість вуглекислого газу та водяної пари (табл. 6.15). У закритих, недостатньо вентиляованих приміщеннях погіршується самопочуття людей і з’являється відчуття нечистого (спертого) повітря. Паралельно зі збільшенням кількості CO₂ в повітрі зростає вміст інших продуктів життєдіяльності людей, які одержали назву антропоксинів. Понад 30 сполук входять до складу антропоксинів: оксид вуглецю, аміак, ацетон, сірководень, вуглеводні, альдегіди, органічні кислоти, діетиламін, крезол, фенол тощо. Крім згаданих сполук, у повітря закритих приміщень може надходити понад 100 летких речовин, які утворюються під час розкладу органічних речовин на поверхні тіла, одягу, в кімнатному пилу, виділяються із полімерних матеріалів. Крім цього, істотним джерелом забруднення є тютюновий дим, в якому містяться продукти повного й неповного згоряння, а також сухої перегонки тютюну і паперу: оксид вуглецю, ціаністі сполуки, метиловий спирт, нікотин, кадмій тощо. Внаслідок спалювання 1 г тютюну в цигарках у повітря надходить 20–80 см³ оксиду вуглецю, а при спалюванні в люльці – від 53 до 109 см³.

Таблиця 6.15

Зміна складу і властивостей повітря

Показники якості	Атмосферне повітря	Видихнуте повітря
Вміст кисню, об. %	близько 21	15,5–18,0
Вміст CO ₂ , об. %	0,03–0,04	2,5–5,0
Водяна пара	різна кількість	Насичене
Температура, °C	різна	35–37

Одним із показників забруднення повітря є вміст мікроорганізмів (бактерії, спори, цвілеві грибки). Найчастіше вони містяться на поверхні пилинок, які переносять потоки повітря. У повітрі закритих приміщень може

бути значна кількість мікроорганізмів, зокрема патогенних. Встановлено, що при чханні здорова людина може виділити в повітря до 20000 мікробів, а хвора – до 150000. Тривалість перебування краплинок у завислому стані залежить від їхнього розміру: великі краплини діаметром до 0,1 мм утримуються в повітрі тільки декілька секунд, найдрібніші краплини, внаслідок малої маси, можуть залишатися в повітрі у завислому стані декілька годин і переноситися повітряними потоками на велику відстань.

Щоб запобігти бактеріальному забрудненню повітря і його негативному впливу, вживають профілактичних заходів: забезпечують вентиляцію приміщень, вологе прибирання з використанням дезінфікуючих речовин, забезпечення достатнього природного освітлення, ізоляцію хворих, опромінення повітря бактерицидними лампами.

У разі проникнення продуктів неповного згорання палива в печах або газу в газових установках повітря може містити продукти сірки, чадний газ. Забруднене повітря негативно впливає на центральну нервову систему і на фізіологічні функції всього організму, що проявляється у вигляді головного болю, погіршення апетиту, швидкої втомлюваності.

Оскільки в практичних умовах визначати всі фактори, які можуть забруднювати повітря, складно і нераціонально, гігієністи ввели доволі зручний показник – вміст вуглекислого газу. Прийнято вважати: якщо концентрація CO_2 в повітрі менша за 0,07 %, то вентиляція у приміщенні є доброю; до 0,1 % – задовільною, а до 0,15 % – допустимою лише для короткотривалого перебування (наприклад, у кінотеатрах).

Для гігієнічної оцінки повітря, крім хімічного складу, має значення його іонний склад. Чим чистіше повітря, тим більше воно містить легких електровід'ємних іонів. У закритих приміщеннях легкі іони поглинаються в процесі дихання, а також пилом, одягом тощо. Тому ступінь іонізації вважають доволі добрим індикатором чистоти повітря. Експериментально підтверджено негативну дію деіонізованого повітря. У людей з'являються сонливість, головний біль, підвищується артеріальний тиск, збільшується кількість недоокиснених продуктів у сечі. Для поліпшення якості повітря його збагачують легкими іонами до рівня 4000–5000 в 1 см^3 .

У зовнішньому повітрі переважають негативно заряджені іони. Відношення кількості позитивно заряджених іонів до негативно заряджених змінюється від 1:1 до 1:5 за середнього значення 1:2. У внутрішньому повітрі це відношення становить 4:1.

Одним із важливих заходів щодо збереження чистоти повітря у житлах є вентиляція, тобто заміна забрудненого повітря чистим, атмосферним.

Вентиляція приміщень – це видалення використаного повітря і введення на це місце свіжого повітря іззовні.

Вентиляція відбувається у випадку:

- відведення використаного повітря через відвісні приводи вентиляційні, при цьому вентиляція може бути гравітаційна або механічна, вимушена;
- введення свіжого повітря через вікна або отвори в зовнішніх стінах.

Правильна вентиляція є дуже важливою для видалення таких забруднень, таких як вуглекислий газ, водяна пара, різні запахи.

Несправність вентиляції призводить до того, що:

- швидко збільшується кількість вуглекислого газу і водяної пари, зменшується кількість кисню. Вміст вуглекислого газу в кількості 1 % спричиняє погіршення самопочуття і утруднює дихання, збільшення концентрації становить загрозу для життя;
- недостатня кількість кисню зменшує ефективність згорання газу в колонках;
- водяна пара за недостатньої вентиляції спричиняє збільшення вологості повітря, що створює сприятливі умови для розвитку плісняви та грибків.

Інфільтрація – це проникнення повітря – через нещільності у віконній столярці та пори в стінах. Згідно з польськими нормами, показник інфільтрації повітря в приміщеннях з гравітаційною вентиляцією лежить у межах 0,5–1,0 м³. Для приміщень з акліматизацією або з механічною вентиляцією цей показник повинен бути меншим за 0,3 м³.

За нормами ЄС величина обміну повітря повинна становити:

- у кухні з газовою плитою і зовнішнім вікном – 70 м³/год;
- у кухні з електричною плитою і зовнішнім вікном – 30 м³/год;
- у ванні – 50 м³/год;
- у туалеті – 30 м³/год;
- кількість повітря, потрібного для однієї особи, – 20 м³/год.

Вентиляцію (повітрообмін) характеризують вентиляційний об'єм і кратність повітрообміну.

Вентиляційний об'єм – це кількість повітря (в м³), яке надходить у приміщення протягом 1 години. Він складається з інфільтраційного і вентиляційного повітря. Інфільтрація – це проникнення повітря через стіни, пори будівельних матеріалів, щілини в будівельних конструкціях тощо. Найбільш повітропроникними є шлакоблокові, керамзитобетонні, цегляні, дерев'яні стіни, найменш повітропроникними – гранітні, мармурові. Другою складовою частиною вентиляційного об'єму є повітря, яке надходить у приміщення через спеціально передбачені для цього вентиляційні пристрої: кватирки, фрамуги, вікна, вентиляційні канали.

Відношення вентиляційного об'єму до об'єму приміщення характеризує інтенсивність вентиляції. Кратність повітрообміну – це показник, який показує, скільки разів упродовж години змінюється повітря в приміщенні.

Природна вентиляція приміщень зумовлена різницею температур зовнішнього і внутрішнього повітря. Для посилення природної вентиляції приміщення провітрюють через вікна, кватирки, фрамуги. Кватирки в житлових приміщеннях роблять розміром не менше за $0,3 \text{ м}^2$. Коефіцієнт аерації (відношення площі підлоги до площі кватирки) повинен бути не меншим ніж 1:50.

Найкращий ефект природної вентиляції досягається за допомогою наскрізного провітрювання, коли вікна розкриті на протилежних сторонах будинку. Тоді кратність повітрообміну може досягати 25–100 разів на годину. На інтенсивність вентиляції також впливає різниця температур зовні та всередині приміщення, а також напрям вітру. Вітровий тиск з одного боку “заганяє” з допомогою інфільтрації повітря через пори і нещільності будівельного матеріалу і будівельних конструкцій, а з протилежного (підвітряного) “відсмоктує” його із приміщення.

До засобів, які посилюють природну вентиляцію, належать внутрішньостінні вентиляційні канали. У житлових квартирах їх доцільно влаштовувати у всіх приміщеннях, особливо на кухні, у ванній, туалеті. Істотним недоліком природної вентиляції є її нерівномірність, тому радикально покращити повітрообмін можна штучною вентиляцією. Особливо це стосується кухні або приміщення, де тривалий час перебуває велика кількість людей.

Штучна вентиляція може бути припливною, витяжною або припливно-витяжною. Найдосконалішою системою штучної вентиляції є кондиціонування, тобто очищення повітря, створення та автоматичне регулювання у приміщенні оптимальних мікрокліматичних параметрів: температури, вологості, швидкості руху повітря. Є різні системи кондиціонерів. У найдосконаліших приладах можна регулювати іонний склад, ароматизувати повітря.

Кондиціонери бувають місцеві й центральні. Місцеві, або кімнатні, кондиціонери називають ще кліматизерами, вони передбачають лише охолодження повітря. Під час кондиціонування повітря у приміщеннях для перебування великої кількості людей (аудиторії, кінозали, театри тощо) рекомендовано створювати пульсуючий мікроклімат для підтримання тонізувального ефекту: кожні 15 хвилин на дві хвилини знижувати температуру повітря на 3–4 °С. Цей захід запобігає виникненню сонливості від дії монотонного мікроклімату.

6.8. Результати термомодернізаційних заходів

Роботи з термомодернізації будівель і систем їхнього теплопостачання, в основному житлового фонду країн ЄС, виконуються вже понад 15 років. Оскільки ці дії спрямовані не на відновлення, а на покращення енергетичних параметрів будівель, тобто зниження споживання енергії, передовсім тепла, їх називають термомодернізацією.

Результати термомодернізаційних заходів багатогранні, не у всіх об'єктів позитивні, але загалом їх можна класифікувати на декілька груп:

Зміна умов експлуатації приміщень

У результаті цих дій в житлових приміщеннях покращуються умови теплового комфорту. За рахунок зміни радіаційної температури на поверхні огорожень (підвищення в зимовий час і зниження в літній час – останнє стосується в основному перекриттів) можна добитися зменшення області термічного дискомфорту біля зовнішніх огорожень. У зв'язку з підвищенням температури на поверхні зовнішніх огорожень доцільно низити температуру повітря в приміщенні, зберігаючи належний тепловий комфорт з одночасним зниженням втрат тепла.

Зміна умов експлуатації зовнішніх огорожень

Результатом утеплення зовнішніх огорожень із зовнішнього боку є покращення їх параметрів і умов експлуатації, а саме:

- ✓ більші можливості використання акумулювальної (тепло) здатності огорожень;
- ✓ запобігання утворенню конденсаційної вологи всередині та на їхніх поверхнях;
- ✓ зменшення термічної напруги в зовнішньому шарі конструкції;
- ✓ затримання процесу корозії і зволоження дошовою водою завдяки закриттю нещільностей;
- ✓ продовження терміну експлуатації.

Зміни в роботі системи опалення і вентиляції

Утеплення огорожень й інші термомодернізаційні дії зменшують потребу приміщень у теплі. До цієї нової потреби необхідно пристосувати систему опалювання. Якщо цього не зроблено, можуть виникати періоди, коли в будівлі встановлюватиметься підвищена температура. Це, своєю чергою, призводить до більших втрат тепла через інтенсивнішу вентиляцію. У такому разі важко сподіватись на економію тепла.

Якщо вікна замінено на щільніші, часто підвищується вологість повітря, що призводить до погіршення якості повітря, а інколи до утворення конденсату на поверхні огорожень. У цій ситуації треба застосовувати рішення, що

стосуються забезпечення припливу свіжого повітря у приміщення іншим шляхом, минаючи вікна.

При хорошій, новій теплоізоляції зовнішніх огорожень (зокрема і вікон) виникає можливість розміщення в іншому місці – не на зовнішній стіні, що не дуже раціонально – опалювальних пристроїв.

Системи опалювання доцільно оснащувати системою автоматичного регулювання (нині це вже вимога) і програмними пристроями, оскільки це забезпечує додаткову економію енергії.

Економія теплової енергії

Головний сенс термомодернізації полягає в покращенні експлуатаційних умов і економії тепла. Проте реальні заощадження тепла в житлових, багатоквартирних будинках можна отримати і ретельно визначити тільки в разі застосування лічильників тепла (у будинку) і індивідуальної системи розрахунку за тепло (по квартирах). Сьогодні це вже вимога будівельних правил.

Вибір рішення конструкції утеплень

Принципи будівельної фізики і досвід експлуатації огорожень, які утеплюють, показує, що найраціональнішим є їх утеплення із зовнішнього боку. Однак зазвичай товщину шару утеплювача приймали мінімальною, щоб задовольнити будівельні вимоги щодо теплоізоляції. Часто ця товщина недостатня, оскільки не проводиться ретельна діагностика огорожень і в розрахунках не враховується дійсна (знижена) теплоізоляція огорожень, “містки холоду” тощо. До того ж, як правило, прийняті товщини шару утеплювача не є оптимальними з погляду економіки, тобто при їх визначенні не враховано перспективного зростання цін на енергію.

Вдосконалення конструкції зовнішніх огорожень

Одним з найпомітніших результатів процесу утеплення зовнішніх стін будівель є все ширше застосування в новому будівництві, замість тришарової, двошарової конструкції стін. У двошаровій конструкції зовнішній шар утеплювача захищається зовні тонкою штукатурною оболонкою і виконується за технологією, прийнятою для утеплень.

Зміна архітектурного вигляду будівель

Проведення термомодернізації будівель дає змогу змінити або оновити архітектурний вигляд будівель. Завдяки широкій гамі барвників для штукатурних шарів і різних архітектурних деталей будівлі можна надати абсолютно нового, сучасного вигляду. Незважаючи на доволі тривалий період проведення термомодернізаційних дій у житловому секторі, результати могли б бути кращими. Це особливо стосується економії теплової енергії, вона могла б бути значно більшою, якби термомодернізацію здійснювали комплексно, із застосуванням оптимальних рішень.

6.9. Принципи енергозберігаючих заходів

Термомодернізаційні дії найефективніші, якщо охоплюють як конструкцію зовнішніх огорожень, так і інженерні комунікації і системи, що забезпечують будівлю теплом, повітрям, водою, електроенергією. У зв'язку з цим термомодернізацію рекомендується виконувати комплексно, тобто охоплюючи всі ланки будівлі, що впливають на енергоспоживання. **Комплексність** дій під час термомодернізації, є її **першим принципом**. У цій сфері останнім часом помітний прогрес. У процесі термомодернізації житлового сектору переважно прагнуть дотримуватися цього принципу, паралельно модернізуючи будівельні конструкції і системи теплопостачання будівлі.

У період проведення термомодернізаційних дій, паралельно з безпосереднім (пов'язаним із зростанням цін на енергію) економічним стимулюванням термомодернізації, вводилися нові, жорсткіші будівельні вимоги до теплового захисту будівель. Вимоги ці, з 1998 р. встановлені ухвалою уряду, містять новий параметр, який характеризує теплотрати всієї будівлі. Тому в будівельних правилах стосовно житлових будівель і будівель загального мешкання (гуртожиток, притулок, інтернат-будинки для людей похилого віку тощо) передбачено два різні критерії теплового захисту:

- критерій першого ряду – U_{\max} , Вт/(м²·К) – допустимий коефіцієнт теплопередачі окремих огорожень;
- критерій другого ряду – E_o , кВт·год/(м³·рік) – показник кінцевої витрати тепла на опалювання 1 м³ інтер'єру, за опалювальний період у межах будівлі.

Виконання критерію другого ряду є обов'язковим для багатоквартирних будівель і будівель загального мешкання.

Термомодернізаційні дії в Польщі реалізували за деякої фінансової підтримки держави. Спочатку, до середини 90-х років, держава виділяла житловим кооперативам у формі дотації кошти на фінансування частки робіт. Результати цих дій могли б бути відчутнішими, якби проектні рішення, що стосуються модернізації, спиралися на економічну ефективність. На жаль, ці рішення охоплювали лише технічно-енергетичні параметри. З 1997 р. пропонується державою допомога ґрунтується на нових принципах, вона можлива тільки в разі проведення аналізу (аудиту) з вибором оптимального варіанта і розрахунку можливості погашення частки кредиту, призначеного на термомодернізацію, за рахунок заощаджень в оплаті за тепло. Пропонується методика вибору рішення враховує, окрім технічного, і економічний аспект термомодернізації, і на цій основі визначає оптимальний діапазон дій. **Оптимальність** дій під час термомодернізації є її **другим принципом**.

Сучасне будівництво завдає величезних збитків навколишньому середовищу. У повному циклі технічного життя будівельного об'єкта, враховуючи виробництво матеріалів, зведення, експлуатацію і знищення будови, є період експлуатації, пов'язаний з величезним споживанням енергії і забрудненням середовища під час її

виробництва. Останнім часом перед будіндустрією все рідше постає проблема впровадження таких рішень, які могли б припинити негативний вплив будівель на навколишнє середовище, в повному циклі їхнього технічного життя. Наголошується, що необхідне введення збалансованих принципів дій, всіх галузей, зокрема і будівельної, у вигляді т.зв. збалансованого будівництва. Отже, аналіз прийнятих нині будівельних рішень повинен враховувати, окрім енергетичного й економічного, також екологічний аспект. Сьогодні цей аспект повинен ставати провідним.

З вищевказаних аспектів підходу до енергозбереження в будівництві впливають три основні принципи. **Третім принципом**, що стосується екології, є принцип збалансованого впливу будівлі на навколишнє середовище. Всіх цих принципів необхідно дотримуватись, не лише вирішуючи питання термомодернізації будівель, а й реалізуючи об'єкти нового будівництва.

Схема взаємозв'язку між основними аспектами і принципами, а також аудитом в енергозбережних діях у будівництві наведена на рис. 6.17.

Аспект	Зв'язок	Принцип	Аудит
Технічний	→	Комплексності	Енергетичний
Економічний	→	Оптимальності	
Екологічний	→	Збалансованості	Екологічний

Рис. 6.17. Схема взаємозв'язку між основними аспектами і принципами, а також аудитом в енергозбережних діях у будівництві

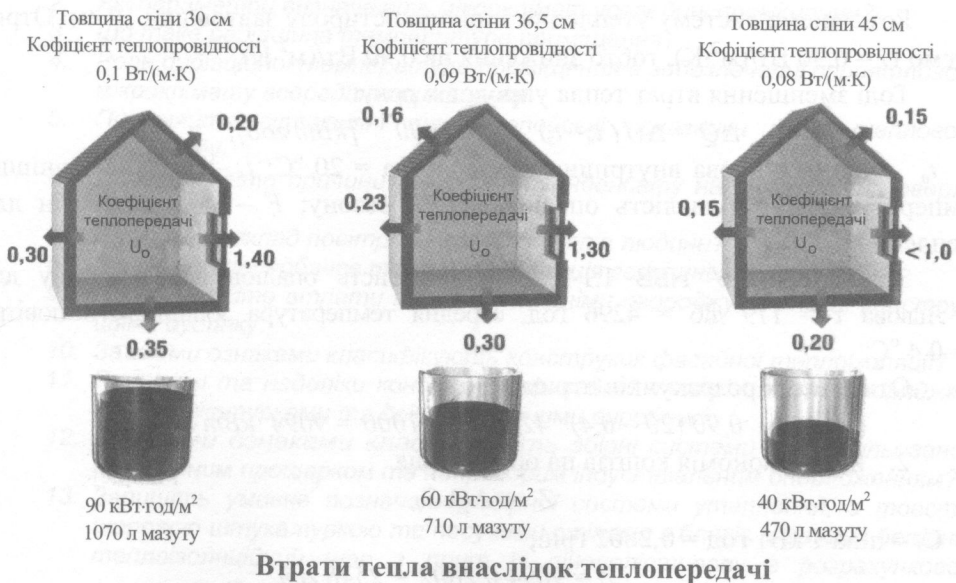


Рис. 6.18. Потреба в первинній енергії на опалення

Енергію на опалення можна скоротити на 70–90 %. На рис. 6.18 наведена приблизна залежність потреби енергії на обігрівання від основних термічних параметрів (коефіцієнт теплопередачі U) будинку площею 130 м² (Німеччина).

6.10. Визначення ефективності термомодернізації

Висновок про доцільність термомодернізації та її напряму щодо конкретного будинку розглядають після аналізу того, скільки коштів інвестувати, та який очікуваний економічний ефект. Передусім слід реалізувати тільки такі напрями реконструкції, які економічно доцільні.

Оцінка економічної доцільності термомодернізації полягає в порівнянні передбачуваних інвестиційних вкладень з економічною ефективністю. Таке порівняння можна виконати спрощеним способом, розраховуючи так званий простий час повернення коштів SPBT (англ. Simple Pay Back Time). Це час (в роках), протягом якого сума отриманого економічного ефекту зрівняється з сумою витрачених інвестиційних коштів.

$$SPBT = I / Z, \quad (\text{років})$$

де I – величина інвестованих коштів, грн.; Z – річний економічний ефект, грн.

Приклад. Утеплення зовнішніх стін

1. Зменшення витрати тепла

Під час розрахунків встановлено, що для стіни з повнотілої цегли, товщина якої 50 см (дві цегли), коефіцієнт теплопередачі $U = 1,20$ Вт/(м²·К).

Розглянемо систему утеплення з пінополістиролу завтовшки 10 см. Отримуємо $U = 0,30$ Вт/(м²·К), тобто зниження на 0,90 Вт/(м²·К).

Тоді зменшення втрат тепла упродовж року:

$$\Delta Q = \Delta U (t_e - t_3) \cdot F \cdot \tau / 1000 \quad [\text{кВт} \cdot \text{год}],$$

де t_e – розрахункова внутрішня температура = 20 °С; t_3 – середня зовнішня температура; τ – тривалість опалювального сезону; F – поверхня стін для утеплення = 120 м².

Згідно з ДСТУ НБВ 1.1-27:2010 тривалість опалювального сезону для м. Львова $\tau = 179$ діб = 4296 год, середня температура зовнішнього повітря $t_3 = 0,4$ °С.

Отже, після розрахунків отримуємо

$$\Delta Q = 0,90 (20 - 0,4) \cdot 4296 \cdot 120 / 1000 = 9094 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2. Річна економія коштів на обігрівання

$$Z = \Delta Q \cdot C_1,$$

де C_1 – ціна 1 кВт·год = 0,2802 грн.;

$$Z = 9094 \cdot 0,2802 = 2548 \text{ грн.}$$

3. Інвестиційні витрати

$$I = A \cdot C_2,$$

де A – поверхня зовнішніх стін = 120 м^2 ; C_2 – вартість 1 м^2 утеплення $C_2 = 155 \text{ грн./м}^2$.

Отже, $I = 120 \cdot 155 = 18600 \text{ грн.}$;

$$SPBT = 18600 : 1548 = 7,3 \text{ років.}$$

Якщо ціни на енергоносії зростатимуть надалі, термін окупності термомодернізації відповідно зменшується. Так, в Польщі за останні десять років після зростання ціни на енергоносії в середньому в три рази термін окупності термомодернізації становить 3–5 років.

Енергоефективні будинки з низьким рівнем споживання енергії стають все популярнішими також у регіонах з жарким кліматом, оскільки потреба в комфорті та в кондиціонуванні повітря невинно зростає, що призводить до перебоїв у постачанні електроенергії. Але в таких регіонах теплоізоляційні стандарти часто низькі. Разом з тим, інвестиції в кондиціонування призводять до суттєвого зростання витрат на енергоспоживання. Підрахунки Єврокомісії показали, що нарощування потужностей виробництва енергії вимагає зростання витрат на 50–400 % порівняно з економією енергії.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Чим пояснюється необхідність термомодернізації житлового фонду?
2. Які параметри визначають мікроклімат усередині приміщення?
3. Що таке радіаційна температура приміщення?
4. Роль радіаційної температури приміщення в забезпеченні сприятливого мікроклімату всередині приміщення.
5. Порівняйте вітчизняні та європейські показники рівня теплового комфорту.
6. Проаналізуйте причини утворення конденсату на внутрішній поверхні стіни.
7. Як впливає склад повітря на самопочуття людини?
8. Які заходи передбачає термомодернізація зовнішніх конструкцій?
9. Проаналізуйте втрати тепла зовнішніми огорожувальними конструкціями будинку.
10. За якими ознаками класифікують конструкції фасадної теплоізоляції?
11. Переваги та недоліки конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками та дрібноштучними виробами.
12. За якими ознаками класифікують збірні системи з вентиляльованим повітряним прошарком та непрозорим індустриальним опорядженням?
13. Запишіть умовне позначення збірної системи утеплення, з товстошаровою штукатуркою та несучими стінами з блоків із важких бетонів, теплоізоляційний шар з плит із пінополістиролу з розрахунковою теплопровідністю $0,05 \text{ Вт/(м·К)}$, товщиною теплоізоляційного шару 100 мм .

14. В яких випадках застосовується система утеплення, влаштована на внутрішній поверхні захисної конструкції?
15. Обґрунтуйте доцільність термореконструкції стін будівель з використанням теплоізоляції.
16. Як можна зменшити втрати тепла вікнами будинку?
17. Порівняйте теплозахисні властивості вікон різних конструкцій.
18. Способи поліпшення теплозахисних властивостей підлог.
19. Способи поліпшення теплозахисних властивостей покрівель.
20. Проаналізуйте позитивні та негативні наслідки термомодернізації.
21. Які основні принципи енергозбережних заходів?

Розділ 7

ПАСИВНЕ БУДІВНИЦТВО – ТЕХНОЛОГІЯ МАЙБУТНЬОГО

7.1. Етапи розвитку ідеї пасивного будинку

Постійне зростання вартості експлуатації будинків схиляє інвесторів до пошуку дешевих рішень, які можна впроваджувати вже на етапі проектування інвестицій. Одночасно зі зменшенням споживання енергоносіїв (електроенергії, рідкого палива, газу) зменшується і емісія забруднень в атмосферу. В галузі енергоощадного будівництва використовуються так звані інтелегентні технології, що забезпечують високий рівень теплового комфорту в будинку, який характеризується низьким споживанням енергії і, відповідно, низькими експлуатаційними витратами. Такого результату можна досягнути обмеженням витрат електроенергії, енергії для обігрівання і для приготування гарячої води. У нашому кліматі найголовнішим завданням є обмеження теплових втрат. Порівняно з традиційним будинком, у пасивному втрати тепла радикально зменшені. Серед найважливіших технічних рішень їхньої мінімізації, які застосовуються на практиці:

- термоізоляція стандартних зовнішніх огорожень;
- обмеження можливості виникнення термічних містків;
- ущільнення зовнішнього покриття будинку;
- застосування спеціальної віконної і дверної столярки для пасивних будинків;
- високоефективна продуктивність відбору тепла з використаного вентиляційного повітря.

Найважливішою метою енергоощадного і пасивного будівництва є досягнення якнайвищого теплового комфорту отриманням вищих температур внутрішніх і зовнішніх поверхонь будівельних огорожень. Температура на рівні 19...20 °С у приміщеннях добре ізольованого будинку практично є середньоарифметичною температурою навколишніх поверхонь і температури внутрішнього повітря. Завдяки цьому всі приміщення однаково теплі, а різниця

температур не перевищує декількох градусів Кельвіна. У пасивних будинках завдяки інноваційним технологіям і матеріалам забезпечується однаковий тепловий комфорт як взимку, так і влітку.

Традиційні будинки, споруджені з перевищеннями нормативів якості характеризуються потребою в тепловій енергії на рівні 120 кВт·год/(м²·рік), тобто близько 12 літрів рідкого палива (еквівалентно 12 м³ природного газу) на 1 м² опалюваної площі на рік; об'єкти великої кубатури, наприклад спортивні зали, характеризуються показником споживання, який значно перевищує наведені дані.

Потреба в тепловій енергії **енергоощадних будинків без механічної вентиляції** близько 70 кВт·год/(м²·рік), тобто близько 7 літрів рідкого палива на 1 м² опалюваної площі на рік. Цей показник може стосуватися і будинків великої кубатури, таких як спортивні зали. Для цього необхідно застосовувати рекомендовані рішення та ізоляцію товщиною не меншою, ніж наведені нижче величини:

- зовнішня стіна – керамічний блок завтовшки 18 см, ізоляція – 20 см (пінополістирол або мінеральна вата);
- дах – ізоляція завтовшки 20 см (мінеральна вата);
- підлога на ґрунті – ізоляція завтовшки 10 см (пінополістирол);
- вікна – рама з коефіцієнтом теплопередачі $U = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, шибка з $U = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- природна вентиляція – гравітаційна.

В **енергоощадних 5-літрових будинках** на компенсацію теплових втрат витрачається 5 літрів рідкого палива на 1 м² опалюваної площі протягом року, тобто їх характеризує потреба в тепловій енергії на рівні 50 кВт·год/(м²·рік). Для цього потрібно застосувати рекомендовані рішення та ізоляцію завтовшки не меншою, ніж подана нижче для окремих будівельних огорожень:

- зовнішня стіна – керамічний блок завтовшки 18 см, ізоляція – 25 см (пінополістирол або мінеральна вата);
- дах – ізоляція завтовшки 25 см (мінеральна вата);
- підлога на ґрунті – ізоляція завтовшки 16 см (пінополістирол);
- вікна – рама з коефіцієнтом теплопередачі $U = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, шибка з $U = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ трикамерне вікно);
- природна вентиляція – гравітаційна.

В **енергоощадних 3-літрових будинках** на компенсацію теплових втрат витрачається 3 літри рідкого палива на 1 м² опалюваної площі протягом року, тобто їх характеризує потреба в тепловій енергії на рівні 30 кВт·год/(м²·рік). Для цього потрібно застосувати рекомендовані рішення та ізоляцію завтовшки не меншою, ніж подана нижче для окремих будівельних огорожень:

- зовнішня стіна – керамічний блок завтовшки 18 см, ізоляція завтовшки 20 см (пінополістирол або мінеральна вата);
- дах – ізоляція завтовшки 25 см (мінеральна вата);

- підлога на ґрунті – ізоляція завтовшки 16 см (пінополістирол);
- вікна – рама з коефіцієнтом теплопередачі $U = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, шибка з $U = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (трикамерне вікно, заповнення газом криптоном);
- механічна вентиляція з відбором тепла – рекуперація тепла понад 75 %;
- забезпечення щільності зовнішнього покриття будинку;
- продумана експлуатаційна програма, наприклад: підвал не обігрівається, якщо він використовується тільки для складування.

7.2. Концепція пасивного будинку

Найбільше енергії у традиційному будівництві витрачається саме на обігрівання. Тому спеціалісти вже багато років працюють над можливостями покращення термічної ізоляції будинків і зменшення вартості їх обігрівання. Варто зазначити, що у новобудовах вже істотно зменшилася потреба в тепловій енергії. А тепер цього замало, і дослідники працюють над проектами, які б в умовах центральноєвропейського клімату взагалі не потребували додаткового обігрівання.

Наприкінці 80-х років Вольфганг Фауст з колективом фахівців із німецького Інституту житлового будівництва і довкілля розпочав пошуки практичного розв'язання цього завдання. Він перший розробив і реалізував стандарт пасивного будівництва.

У пасивних будинках теплові втрати настільки обмежені, що для їхньої компенсації цілком достатньо так званих пасивних джерел енергії: сонячного випромінювання, що потрапляє крізь вікна, тепла від мешканців чи від побутових приладів, які працюють. Тільки під час морозів іноді доводиться користуватися системою допоміжного обігрівання – найчастіше повітрям, яке подається вентиляційними каналами.

Пасивне будівництво – це гарантія чималої економії фінансових видатків на енергію і зменшення негативного впливу на довкілля. Пасивний будинок – це об'єкт із низькою енергетичною потребою (щонайбільше $15 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ упродовж року). Для порівняння: будинки, що зводилися у Польщі до 1966 р., потребують для обігрівання $240\text{--}350 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ на рік, тобто у 16–23 рази більше, ніж пасивні будинки. Будинки 1993–1997-х років споживають $120\text{--}160 \text{ кВт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$ енергії, тобто у 8–10 разів більше. Навіть так звані енергоощадні будинки споживають у 5 разів більше енергії для обігрівання, ніж пасивні. Тут варто окремо зауважити, що в пасивному будинку економія енергії для обігрівання не спричиняє теплового дискомфорту. Температура тут цілорічно утримується на оптимальному рівні, незважаючи на відсутність спеціальних систем опалення і кліматизації. Це означає, що у пасивному будинку всі побутові комунальні навантаження (опалення, гаряча вода, освітлення, приготування їжі, електро-

пристрої) приведені до мінімальної витрати енергії. Це менше ніж сьогодні в середньому споживається в домашньому господарстві тільки на електричну енергію для побутових пристроїв і на опалення (рис. 7.1, 7.2).

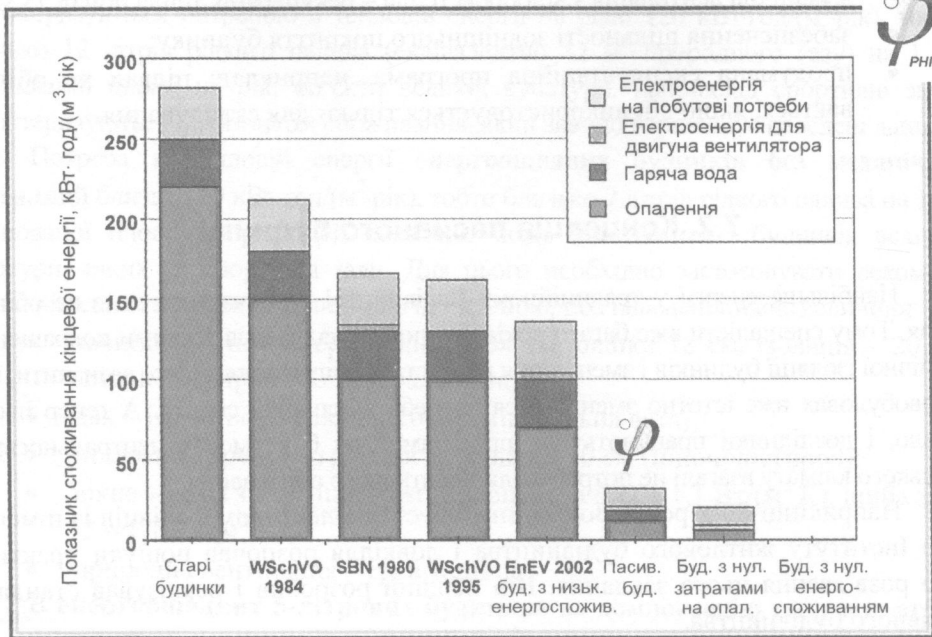


Рис. 7.1. Порівняння показників споживання кінцевої енергії (Постанова з теплового захисту (ФРН); SBN 1980 – Шведські будівельні норми 1980 р.; Постанова з енергозбереження 2002 р.)

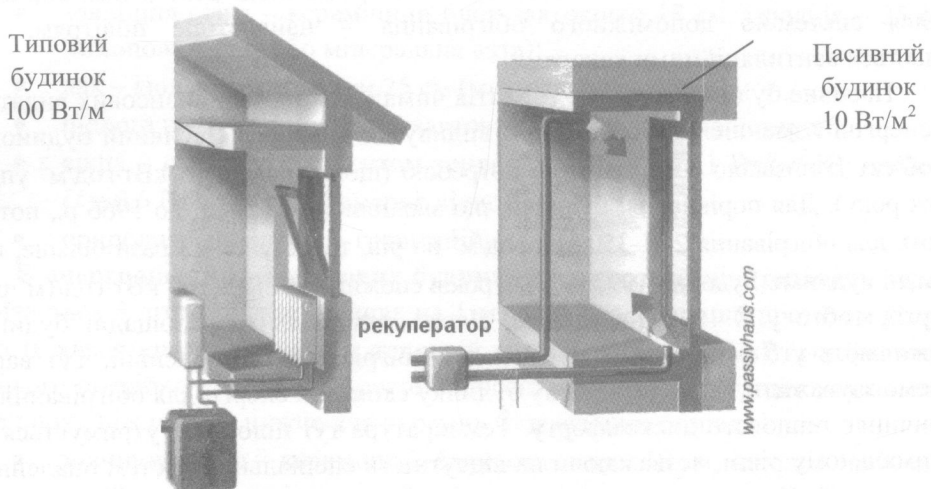


Рис. 7.2. Споживання енергії та система опалення у типовому та пасивному будинках

Інноваційні пасивні будинки роблять нас незалежними від підвищення цін на енергію і забезпечують комфортніше повсякденне життя. Всупереч поширеній думці, пасивний будинок не повинен бути дорожчим, ніж будинок з погано ізольованими стінами і застарілою технологією опалення. Тільки справедливе порівняння вартості будівництва пасивного будинку і всіх витрат, пов'язаних з його поточною експлуатацією, дозволяє нам оцінити його вартість. Такий стан можна порівняти з купівлею автомобіля, наприклад, за 20 тис. доларів США, який споживає 15 літрів бензину на 100 км з автомобілем за 25 тисяч доларів США, який споживає 1,5 літри бензину на 100 км. Очевидно для всіх, який з цих автомобілів дійсно дешевший.

Історія виникнення пасивного будинку:

1988 р. – засновник “Інституту пасивного будинку” (Німеччина) др. В. Файста та професор Лундського університету (Швеція) Бо Амстронг запропонували концепцію пасивної будівлі.

1991 р. – побудовано перший пасивний будинок в Німеччині з енергетичною потребою 10 кВт·год/(м²·рік).

1998 р. – з'явився перший пасивний будинок в Австрії.

1999–2001 рр. – побудовано 221 пасивний будинок у Німеччині, Австрії, Швейцарії, Швеції, Франції.

2010 р. – побудовано близько 2500 пасивних будинків, зокрема житлових, громадських, адміністративних у всьому світі. Так, в Австрії здано в експлуатацію 3 млн. м² житлової площі, що відповідає стандартам пасивного будинку (рис. 7.3).

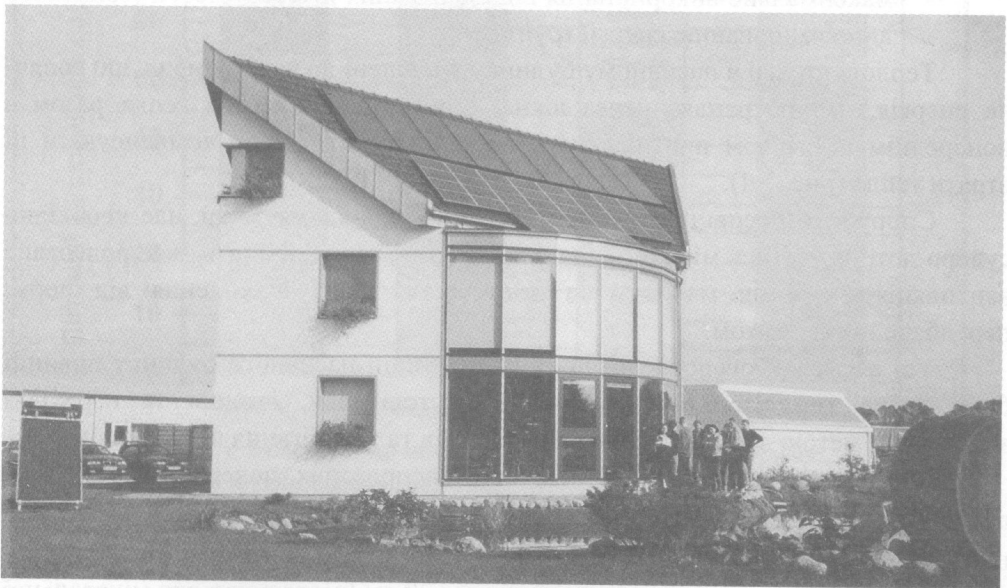


Рис. 7.3. Пасивний будинок ($E_A = 5-10 \text{ кВт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$)

Перша пасивна будівля в Україні зведена у 2008 р. у Києві (“Будинок сонця”). Її занесено в базу даних Інституту пасивного будинку в Дармштадті. У 2010 р. таких будівель в Україні стало чотири:

- “Будинок сонця”, м. Київ;
- пасивний будинок у Чернігові;
- “Солітер” – пасивний будинок у Василькові;
- “Екодім в пагорбі” – пасивний дитячий будинок сімейного типу в с. Михайлівка під Каневом.

Однак поняття “пасивний будинок” зовсім не означає, що це будинок із нульовою потребою в енергії.

Пасивні будинки повинні відповідати таким параметрам енергоспоживання:

- на опалення – не більше як $15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$. Для порівняння: щоб обігріти двокімнатну квартиру в сучасній багатоповерхівці, потрібно щонайменше $210 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$;
- загальне споживання первинної енергії на опалення, нагрівання води й електрику не повинно перевищувати $120 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$. Для порівняння: в Україні ця цифра більша за $360 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$;
- для нормального функціонування системи вентиляції атмосферний тиск у приміщенні має бути нижчим від тиску назовні в 0,6 раза завдяки дверям спеціальної конструкції.

Зниження енергетичної потреби досягається за рахунок двох принципів:

- у таких будівлях забезпечується майже повне усунення тепловтрат;
- максимальне використання відновлюваних джерел енергії (сонячного випромінювання, енергії ґрунту).

Теплові втрати в пасивному будинку зменшені до такого рівня, що сонячна енергія, яка потрапляє через вікна, і внутрішні джерела тепла разом з попереднім підігрівом притікального повітря достатні, щоб компенсувати ці втрати тепла (рис. 7.4).

Спорудити пасивний будинок можна в будь-якому місці, але необхідно суворо дотримуватись мікроумов (теплоізоляція, герметичність, контрольована вентиляція), тоді як макроумови допускають деякі відхилення від норм, передбачених проектом.

Усі елементи огорожувальних конструкцій пасивного будинку повинні бути добре **теплоізовані**, особливо кутові шви, стикові та перехідні з’єднання з метою ліквідації термічних містків та запобігання витоку тепла.

Коефіцієнт теплопередачі всіх світлонепрозорих поверхонь огорожувальних конструкцій не повинен перевищувати $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, в ідеалі цей показник досягає $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; товщина ізоляції стін – більш ніж 30 см, даху – щонайменше 35 см, підлоги над ґрунтом – від 20 см (розрахунок для мінеральної

вати або пінополістиролу) (рис. 7.5). Фірми, які спеціалізуються на серійному виробництві пасивних конструкцій, виготовляють стіни, виконані з трьох шарів: середнього бетонного або керамзитобетонного завтовшки 15 см та полістирольного з обох боків завтовшки по 12,5 см. Коефіцієнт теплопередачі для такої стіни $U=0,09 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Порівняння різних типів стін та максимальний показник коефіцієнта теплопередачі для різних типів огорожувальних конструкцій наведено в табл. 7.1 і 7.2.

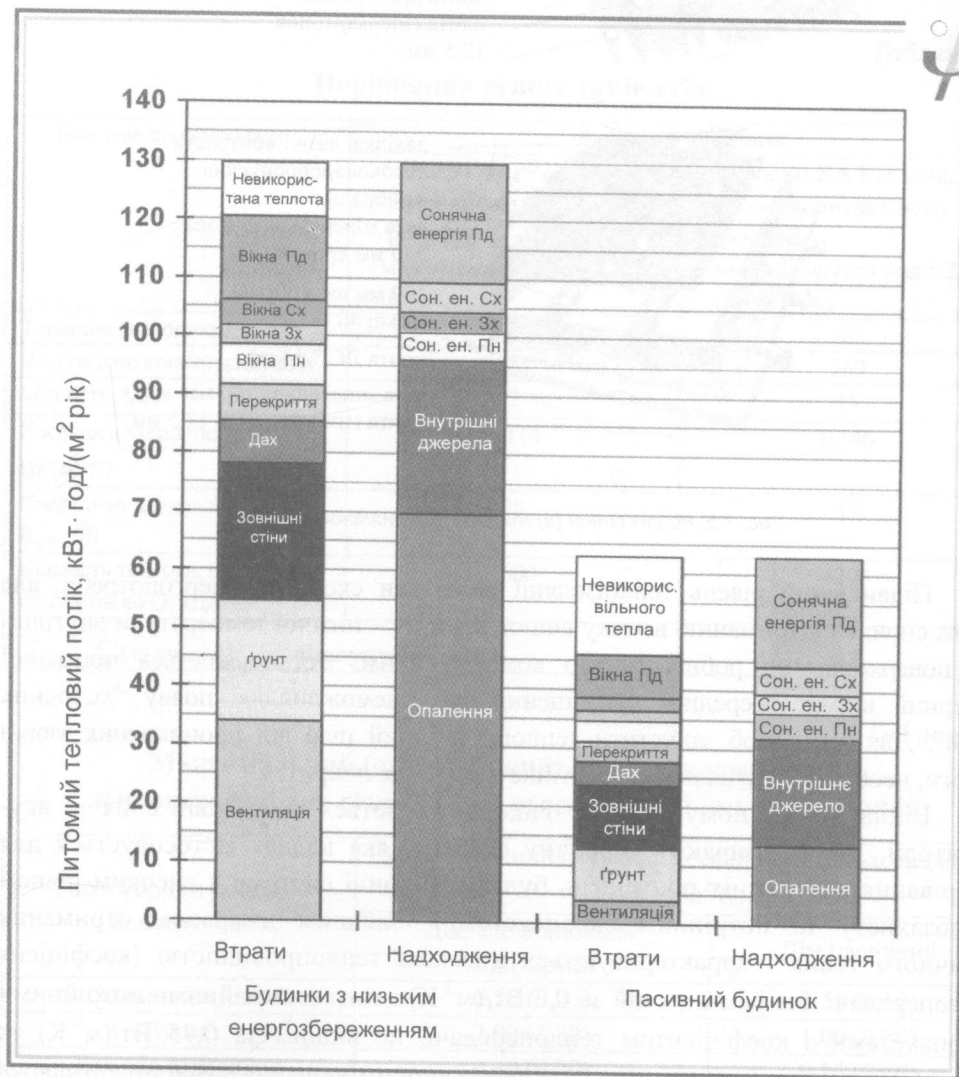
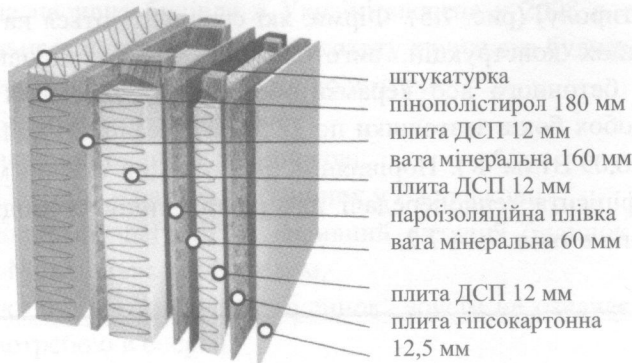


Рис. 7.4. Баланс втрат та надходжень тепла в стандартному будинку з низьким енергоспоживанням і в пасивному будинку



а



б

Рис. 7.5. Розріз стіни (а) та даху (б) пасивного будинку

Підвищений рівень теплоізоляції не тільки скорочує енергопотреби, але також сприяє підтриманню взимку вищої, а влітку – нижчої температури внутрішніх поверхонь, що робить житло комфортнішим. Встановлюється приємний помірний клімат всередині приміщення, що унеможливує появу “холодних кутів”. Для того, щоб захистити теплоізоляційний шар від проникнення зовні вологи, необхідне спеціальне вітростійке дифузійне покриття.

Вікна в пасивному будинку використовуються як пасивні сонячні акумулятори. Вони “збирають” сонячну енергію, яка надалі застосовується для обігрівання внутрішніх приміщень будівлі. Віконні системи з високим рівнем теплозахисту та потрійним склопакетом є значним джерелом отримання сонячного тепла і характеризуються низькою теплопровідністю (коефіцієнт теплопередачі для рам нижчий за $0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ з низькоемісійними потрійними склопакетами з коефіцієнтом теплопередачі, не вищим за $0,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ та понад 50 % рівнем пропускання сонячного випромінювання). Віконна столярка повинна бути без мікровентиляції, тому що будинок треба герметично ізолювати. За останні роки виробники віконної продукції добились значних

якісних змін: простір між склом заповнюється спеціальними газами, такими як аргон, криптон або ксенон, а для підвищення ефективності віконних рам комбінують різні теплоізоляційні матеріали. Спеціальні покриття пропускають короткохвильове сонячне випромінювання і слугують захистом від інфрачервоних довгохвильових випромінювань, забезпечуючи оптимальне накопичення сонячного тепла. Під час монтажу необхідно приділяти особливу увагу належному встановленню віконних конструкцій, щоб забезпечити герметичне і щільне приєднання на стиках.

Таблиця 7.1

Порівняння різних типів стін

Властивості огорождень	Будова огородження	
	– блоки Ytong PP2/0,40 товщ. 24 см на спеціальному розчині – мінеральна вата товщ. 27 см – штукатурка	– блоки SILKA E18 товщ. 18 см на спеціальному розчині – мінеральна вата товщ. 27 см – штукатурка
Товщина огородження, см	52	46
Власна вага конструкції, кг/м ²	184	260
Міцність, МПа	2	15
Коефіцієнт теплопередачі U, Вт/(м ² ·К)	0,114	0,146
Коефіцієнт звукової ізоляції, R _{a2R} , Дб	38	45
Кількість теплоти, що утримується стіною Q, кДж/м ² *	1600	4200
* Для діапазону температур від 0 до 20 °С.		

Таблиця 7.2

Максимальний (оптимальний) показник коефіцієнта теплопередачі для різних типів огороджувальних конструкцій

Тип огороджувальної конструкції	Максимальний показник коефіцієнта теплопередачі, U, [Вт/(м ² ·К)]*	
	Дім, що відповідає стандартам	Дім пасивний
Зовнішні стіни	0,30 (0,25)	0,15 (0,10)
Вікна	2,00 (1,30)	1,00 (0,80)
Дах або піддашся	0,30 (0,20)	0,15 (0,10)
Перекрыття над підвалом	0,60 (0,33)	0,15
* У таблиці подані значення, близькі до відповідних		

Зазори і щілини в пасивному будинку усунуті. Хороша **герметичність** (інфільтраційна щільність) запобігає неконтрольованому повітрообміну, що знижує сумарні тепловтрати житлового будинку. Однією з найважливіших умов, яка враховується ще на етапі проектування, є підвищена теплоізоляція зовні (з урахуванням дифузії) та створення герметичної “оболонки” зсередини будівлі. Забороняється так зване “дихання” стін, всі отвори і з’єднання повинні бути щільно ізольованими.

Для того, щоб перевірити якість виконаних теплоізоляційних робіт, у процесі будівництва проводять випробування на герметичність огорожувальних конструкцій будівлі (метод “Blower – Door”). Нагнітаючи і відкачуючи повітря у приміщення за заданої різниці тисків всередині і зовні будівлі, вимірюють загальну об’ємну і масову витрату повітря для всього будинку. Повітрообмін вважається оптимальним, коли все повітря в приміщенні замінюється протягом однієї години при тиску 50 Па, а витoki через неконтрольовані щілини і нещільності в “оболонці” будівлі не повинні перевищувати 0.6 (60 %) від загального об’єму приміщення.

Непродуктивні втрати тепла звичайного житлового будинку складаються з тепловтрат через огорожувальні конструкції і вентиляцію. Оскільки в супертепленому пасивному будинку втрати тепла через стіни, дах і вікна максимально зменшені, то подальше енергозбереження забезпечуватиметься завдяки скороченню тепловтрат через **вентиляцію**.

У звичайних будинках під час провітрювання втрачається близько 50 % накопиченого тепла. У пасивних будинках провітрювання здійснюється через систему примусової вентиляції. Для зниження енерговитрат, необхідних на забезпечення вентиляції, слід використовувати устаткування з рекуперативною функцією (ступінь рекуперації не нижчий за 75 %). Оптимального енергозбереження досягають за допомогою двох ефектів. З одного боку, регульована система вентиляції подає оптимальну кількість свіжого повітря, що запобігає утворенню протягів і неприємних холодних потоків у приміщенні. З іншого боку, надходить свіже повітря, яке нагрівається в теплообміннику потоком відпрацьованого повітря. Отже, накопичене тепло не втрачається, а повертається споживачам.

Оптимальний повітрообмін дуже важливий для збереження помірного клімату та комфорту в приміщенні. Залишати вікна привідчиненими, що сприяє витоку цінного тепла, взагалі не рекомендується. Очищене свіже повітря в пасивних будинках система вентиляції регулярно подає у житлові приміщення, а відпрацьоване повітря з туалету, ванної кімнати, кухні системою вентиляції витягується назовні. Так відбувається гігієнічний повітрообмін. Схема вентиляції пасивного будинку показана на рис. 7.6.

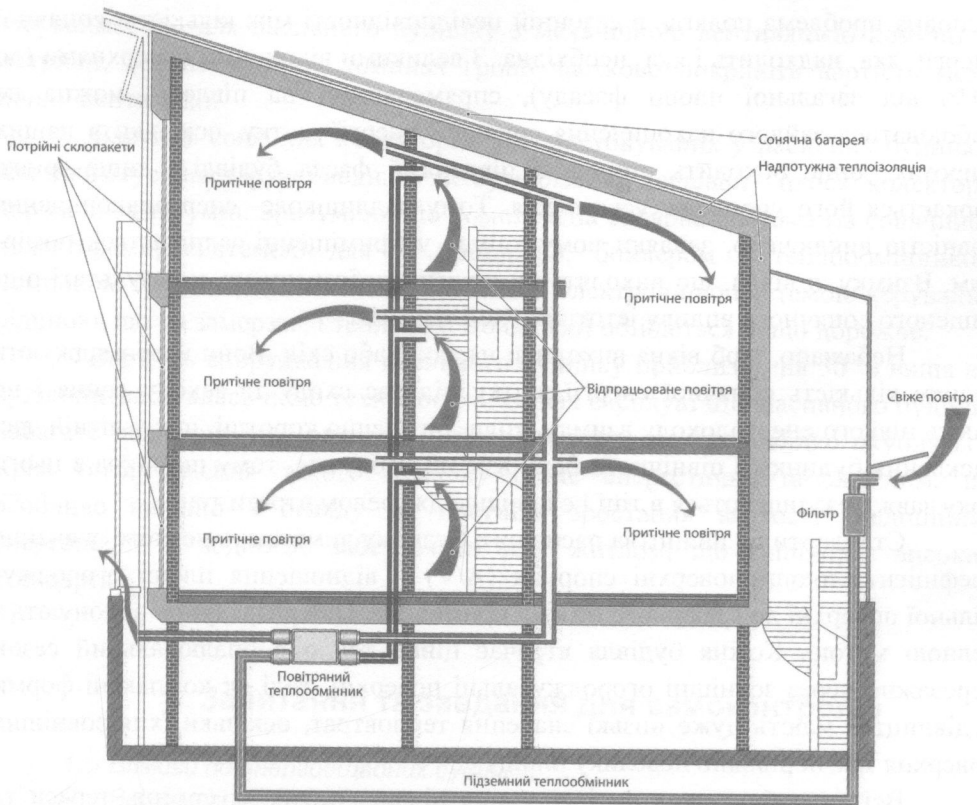


Рис. 7.6. Схема вентиляції пасивного будинку

Одним з вирішальних факторів функціонування пасивного будинку є кваліфіковане виконання всіх перерахованих вище технічних вимог. Якісна реалізація проекту залежить також від злагодженої роботи та правильного розуміння поставлених завдань кожною окремою ланкою будівельного процесу.

Для досягнення найефективнішого енергобалансу в пасивному будинку недостатньо тільки високої теплоізоляції огорожувальних конструкцій та супергерметичних віконних систем. Оптимальне накопичення сонячної енергії, що надходить крізь заklenі поверхні, і дуже низькі трансмісійні енерговтрати істотно знижують загальні енерговитрати будівлі. Тому вибір місця для будівництва нового об'єкта відіграє дуже важливу роль.

Завдяки підвищеному сонячному впливу південний бік схилу є ідеальним місцем для побудови пасивного будинку, тоді як у низинах і на височинах зазвичай переважають низькі температури, зумовлені сезонними туманоутвореннями і вітрами. Південна орієнтація головного фасаду будівлі (можливе відхилення від осі на 30 % у західному або східному напрямках) найоптимальніше забезпечує активне і водночас пасивне надходження сонячної енергії.

Основна проблема полягає в сезонній невідповідності між кількістю сонячної енергії, яка надходить і яка необхідна. З великими віконними поверхнями (до 40 % від загальної площі фасаду), спрямованими на південь, можна не побоюватися зайвого накопичення сонячної енергії влітку, оскільки в наших широтах сонце обходить стороною південний фасад будівлі і лише зрідка торкається його упродовж усього дня. Тому надлишкове енергонакопичення повністю виключено, завдяки чому клімат у приміщенні залишається помірним. Взимку ж вікна, що виходять на південь, забезпечують у результаті підвищеного сонячного впливу істотний енергопритік.

Небажано, щоб вікна виходили на захід або схід. Вони нагромаджують велику кількість сонячної енергії влітку під час сходу та заходу сонця і не дають ніякого енергодоходу взимку, коли дні значно коротші, ніж у літній час. Засклення будинку з північного боку взагалі небажане, тому що вікна з цього боку завжди залишаються в тіні і є швидше джерелом втрати тепла.

Стандарти будівництва пасивного будинку вимагають певного значення коефіцієнта площі поверхні споруди (A/V) – відношення площі огороджувальної поверхні до сумарного об'єму приміщень. Цей розрахунок виконують з певною метою. Кожна будівля втрачає цінне тепло в опалювальний сезон переважно через зовнішні огороджувальні поверхні, тоді як компактні форми будівництва мають дуже низькі значення тепловтрат, оскільки їхня зовнішня поверхня має порівняно невелику площу.

Всі види будь-яких архітектурних рішень, таких як еркери, тераси та інші виступи збільшують площу зовнішньої поверхні будинку, тоді як загальний обсяг не змінюється. Завдяки нижчим значенням коефіцієнта площі поверхні багатоквартирні будинки та будинки рядової забудови мають переваги над одноквартирними будинками. Не тільки компактність форми і хороший доступ сонячної енергії забезпечують високий рівень енергозбереження пасивного будинку. Навіть за не зовсім сприятливих умов розташування завжди можна реалізувати проект пасивного будинку, про що свідчить велика кількість вже побудованих об'єктів.

У пасивному будинку немає традиційної системи опалення, котла, радіаторів. Однак більше коштів витрачається на те, щоб забезпечити відповідну ізоляцію і герметичність об'єкта (шар пінопласту чи мінеральної вати повинен бути на кільканадцять сантиметрів товщим від традиційної технології) та придбати високоякісні вікна. Додаткових витрат потребують і високо-ефективна система механічної вентиляції з рекуперацією, сонячні колектори й батареї, теплові помпи. На перший погляд здається, що все це астрономічно дорого. Проте ще у проекті пасивного будинку можна передбачити систему механічної вентиляції з рекуперацією, яка потребуватиме невеликих коштів, адже можна придбати продукцію вітчизняних виробників. До того ж не

забуваймо, що для пасивного будинку з механічною вентиляцією комини не потрібні. Зекономлені на комінах гроші частково покривають вартість механічної вентиляції.

Вартість сонячних колекторів, використовуваних у пасивних будинках для приготування гарячої води, може бути різною: дешевші – плоскі колектори, дорожчі – вакуумні. Зрозуміло, що комплексна солярна система (із сонячними колекторами, системою для їх кріплення, бойлером з теплообмінником, помповою групою із запобіжним клапаном, електронною системою керування, рідиною, що не замерзає, і тепловою ізоляцією) обійдеться дещо дорожче.

Вартість спорудження пасивного будинку приблизно на 30 % вища від будівництва за класичною технологією. Однак експлуатація пасивного будинку набагато дешевша, тож вкладені у його зведення кошти швидко окупляться. Крім того, власник такого будинку стане енергетично незалежним, що особливо вигідно з огляду на постійне зростання вартості традиційних енергоносіїв, і водночас забезпечить себе житлом, що відповідає високим стандартам.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. *Вимоги до енергоощадних будинків.*
2. *Які вимоги ставлять до пасивних будинків?*
3. *За рахунок чого досягається зниження енергетичної потреби у пасивному будинку?*
4. *Яка товщина утеплення зовнішніх конструкцій в пасивному будинку?*
5. *Особливості системи вентиляції пасивного будинку.*
6. *Які оптимальні вимоги щодо географічного розташування пасивного будинку?*
7. *Порівняйте баланс надходження і втрат теплоти в традиційному та пасивному будинках.*

Розділ 8

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАСПОРТ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ БУДИНКІВ

8.1. Структура енергетичного паспорта будинку

Зважаючи на необхідність економії енергії і теплоізоляції будинків, у країнах ЄС розробили спеціальні директиви, призначені для стандартизації будівельних нормативів з підвищення енергоефективності будівель. Це зроблено для того, щоб ефективніше використовувати природні енергетичні ресурси у цих країнах, які є не тільки важливими джерелами енергії, але і найсуттєвішими джерелами виділення вуглекислого газу. Зменшити виділення вуглекислого газу та інших парникових газів можна, ефективно використовуючи енергію за рахунок розроблення енергетичних паспортів будівель; визначення фактичних енергетичних витрат на опалення, кондиціонування повітря і гаряче водопостачання помешкань; ефективної теплоізоляції нових збудованих будівель; регулярного огляду і контролю опалювальних котлів (потужністю понад 15 кВт); регулярного аналізу статей витрат енергії промисловими підприємствами і підвищення ефективності використання енергії; надання субсидій на державному рівні однієї третьої витрат, спрямованих на економію енергії.

Від 1 січня 2008 року новими нормами проектування теплової ізоляції будинків вперше в Україні передбачено складання енергетичного паспорта.

Енергетичний паспорт будинку – документ, що містить геометричні, енергетичні й теплотехнічні характеристики будинку, що проектується або експлуатується, та встановлює їхню відповідність вимогам нормативних документів.

Енергетична ефективність будинку – властивість теплоізоляційної оболонки будинку та його інженерного обладнання забезпечувати оптимальні мікрокліматичні умови приміщень під час фактичних або розрахункових витрат теплової енергії на опалення будинків.

Питомі витрати теплової енергії – показник енергетичної ефективності будинку, що визначає витрати теплової енергії на забезпечення оптимальних

теплових умов мікроклімату в приміщеннях і відноситься до одиниці опалюваної площі або об'єму будинку.

Клас енергетичної ефективності – рівень енергетичної ефективності будинку за інтервалом значень питомої витрати теплової енергії на опалення будинку за опалювальний період.

Замовники будівництва, як правило, стурбовані єдиним фізичним параметром проєктованого будинку, а саме – його площею, тоді як, спостерігаючи за нестримним зростанням вартості палива, їм варто було б звертати більше уваги на енергетичні параметри майбутньої споруди. З кожним роком сплачувати за опалення будинку й за кондиціонування повітря в ньому доведеться все більше. Втім, дорікати замовникам за відсутність інтересу до енергетичних характеристик будинку було б не зовсім правильно, адже його найголовніші енергетичні параметри в проєктах не фіксуються. Тільки після того, як енергетична паспортизація будинків стане реальністю, буде створена основа для проєктування й будівництва будинків з низьким споживанням енергії.

Разом з тим, документ, обов'язкове складання якого під час проєктування регламентується новим нормативом, було б правильніше назвати не енергетичним паспортом, а свідченням про теплоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій будинку. Він повинен містити дуже докладну інформацію про термічний опір стін, вікон і покриттів будинку, але особливості його інженерного обладнання, що споживає під час експлуатації теплову й електричну енергію, у документі не відображені. Будинки, які споруджувались раніше, споживають багато теплової енергії не тільки тому, що недостатньо захищені від зимової холоднечі, а й тому, що їхнє інженерне обладнання недосконале. Будинки, які зводяться тепер, незважаючи на те, що їхній тепловий захист надійніший, споживають багато енергії, оскільки системи інженерного обладнання цих будинків ще далекі від досконалості.

Впливаючи на споживання енергії будинками удосконалюванням норм їхнього проєктування, можна лише частково вирішити проблему, тому що енергія витрачається упродовж всього періоду експлуатації будинків, і проєктні рішення, якими б досконалими вони не були, не є визначальними, хоча їхня важливість незаперечна.

Енергетична ефективність будинків залежить передовсім від якості їхньої експлуатації, що визначається не тільки наявністю сучасних приладів, а й відповідною організацією експлуатаційних служб. Можна спорудити сучасний, добре захищений від теплових втрат будинок, обладнаний найкращими інженерними системами з автоматикою найвищого технологічного рівня, але якщо ця автоматика не працюватиме, будинок споживатиме більше енергії, ніж старі будинки.

Разом з тим, проєктні рішення повинні створювати можливості для організації ефективного використання енергії всюди, де ця енергія витрачається.

І якщо енергетичний паспорт будинку не відобразатиме ступеня досконалості його інженерних систем, то він потрапить у довгий ряд рутинних документів, які складають “для галочки” і на які мало хто звертає увагу.

У Директиві Європейського парламенту й Ради Європи 2002/91/ЄС від 16 грудня 2002 року про енергетичну ефективність будинків у пункті 10 преамбули записано:

Енергетичну ефективність будинків необхідно розраховувати на підставі методик, які можуть відрізнятися за регіонами, але повинні містити не тільки фактори теплової ізоляції будинків, а й інші фактори, значення яких з часом все більше зростає, а саме: ефективність систем опалення, кондиціонування й устаткування, що використовує відновлювані джерела енергії.

Звідси випливає, що енергетичний паспорт будинку повинен відображати рівень споживання енергії його інженерними системами, з урахуванням можливостей сучасних технологій теплового захисту, застосування й бездоганного функціонування ефективного устаткування, здатного забезпечити рівень комфорту, властивий будинкам, що будуються в наш час.

Саме такий підхід до складання енергетичного паспорта будинку є основою Національного стандарту України ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 “Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції”, який набув чинності 1.07.2008 р. Енергетичний паспорт будинку розробляється для підтвердження відповідності показників енергетичної ефективності конструкцій будинків і споруд вимогам ДБН В.2.6-31:2006 “Теплова ізоляція будівель”.

Енергетичний паспорт заповнюють під час розроблення проектів будинків та споруд у разі нового будівництва, реконструкції чи капітального ремонту, під час приймання будинку в експлуатацію, а також у процесі експлуатації раніше зведених будинків. Енергетичний паспорт потрібен у разі подання технічної документації на санітарно-епідеміологічну експертизу. Енергетичний паспорт повинен бути включений як окремий документ до складу розділу проєктної документації, що стосується реалізації вимог із енергозбереження та оцінки енергетичної ефективності будинку.

Енергетичний паспорт будинку заповнюють проєктні організації:

- під час розроблення проєкту і прив'язування його до умов конкретного будівельного майданчику;
- під час здавання будівельного об'єкту в експлуатацію з урахуванням відступів від початкових технічних рішень, узгоджених під час будівництва будинку. При цьому враховуються: дані технічної документації (виконавчі креслення, акти на приховані роботи, паспорти, довідки, надані приймальними комісіями тощо); підсумки поточних і цільових перевірок дотримання теплотехнічних характеристик об'єк-

та, відповідності інженерних систем шляхом технічного і авторського нагляду, контролю Державною архітектурно-будівельною інспекцією, робочими комісіями тощо;

- при відхиленнях від проекту, відсутності необхідної технічної документації, наявності браку, тощо, замовник і Державна архітектурно-будівельна інспекція можуть вимагати проведення експертизи, включаючи натурні визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будинку за ГОСТ 26254 акредитованими лабораторіями;
- на стадії експлуатації – вибірково після річної експлуатації будинку на підставі результатів енергетичного аудиту будинку, проведеного ліцензованими організаціями та установами;
- під час експлуатації обов'язково після завершення терміну ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонки та її елементів;
- під час експлуатації обов'язково після порушень встановлених умов експлуатації будинку, які супроводжуються пошкодженнями огорожувальних конструкцій в цілому або їх складових.

Необхідний клас енергетичної ефективності будинку задається у завданні на проектування.

Енергетичний паспорт складається з п'яти таблиць, у яких вказують:

- загальну інформацію про будинок та розробника проекту (дата заповнення, адреса будинку, адреса і телефон розробника проекту, рік будівництва);
- основні розрахункові параметри (розрахункова температура внутрішнього та зовнішнього повітря, розрахункова температура теплового горища, розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду), а також відомості про функціональне призначення, тип і конструктивне рішення будинку;
- геометричні (загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку (стін, вікон, покриття, підлог), площа опалюваних приміщень, площа житлових приміщень і кухонь, опалюваний об'єм тощо), теплотехнічні (приведені опори теплопередачі зовнішніх огорожень) та енергетичні показники (розрахункові питомі тепловитрати, максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку, клас енергетичної ефективності, термін ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонки та її елементів);
- клас енергетичної ефективності будинку;
- висновки за результатами оцінки енергетичних параметрів будинків.

Вихідними даними для розроблення енергетичного паспорта є робочі креслення проектної документації згідно з ДСТУ Б А.2.4-4:

- архітектурні рішення;

- технологія виробництва;
- архітектурно-будівельні рішення;
- водопровід та каналізація;
- опалення, вентиляція та кондиціонування;
- тепломеханічні рішення котельних.

Енергетичний паспорт повинен складати головний інженер проекту, відповідальний за розділ ОВ, після розроблення робочої документації на об'єкт. Алгоритм визначення розрахункових параметрів та складання енергетичного паспорта наведено в додатку І. Енергетичний паспорт будинку, яким би досконалим він не був, не може зменшити витрати палива, але він може стати рушієм стимулювального механізму. Задіяти механізм можуть тільки два стимули. Необхідно, щоб будувати енергоефективні будинки було вигідно й престижно. Перший із цих стимулів почне працювати сам по собі через кілька років, коли ціни на паливо в Україні досягнуть європейського рівня. Але щоб цей механізм запрацював уже сьогодні, варто подумати про організаційні заходи, які сприятимуть підвищенню престижності будівництва споруд з низьким споживанням енергії.

8.2. Класи енергетичної ефективності будинків

Житлові будинки проектують і будують, щоб забезпечити охорону людини від впливу зовнішніх кліматичних чинників та отримати всередині приміщень необхідний тепловий комфорт та якість повітря. Тому для кожного будинку треба запроектувати і виконати:

- зовнішні огорожувальні конструкції, що задовольняють вимоги теплової ізоляції будівель;
- відповідну систему опалення;
- відповідну систему вентиляції.

На рис. 8.1 показано етапи проектування енергоощадних будинків.

Енергетичну ефективність будинку визначають такі показники:

- питомі тепловитрати на опалення будинку за опалювальний період;
- загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку;
- приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку;
- умовний коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будинку, що враховує тепловитрати за рахунок інфільтрації та вентиляції;
- середня кратність повітрообміну за опалювальний період;
- коефіцієнт скління фасадів будинку;
- показник компактності будинку.

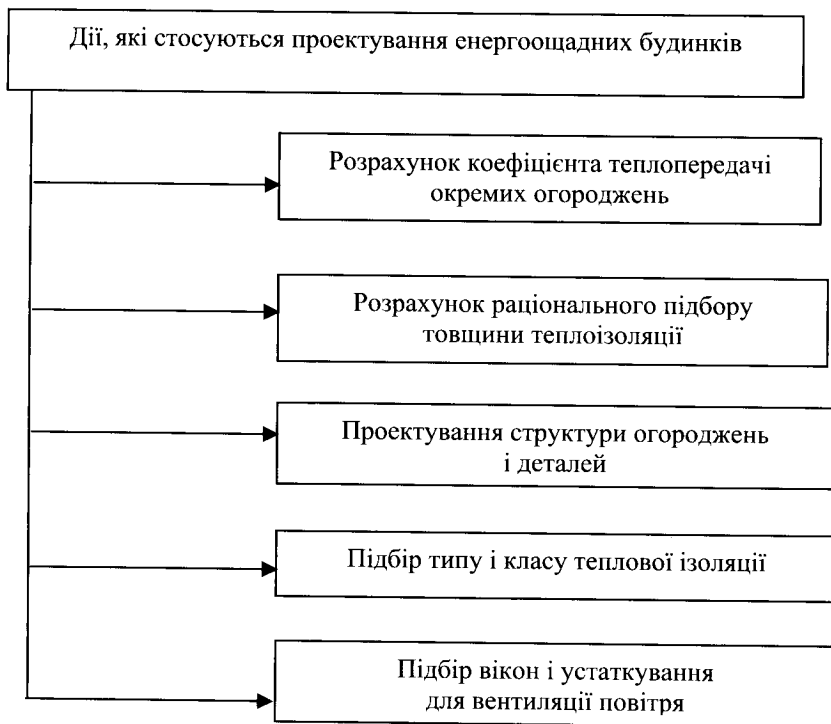


Рис. 8.1. Етапи проектування енергоощадних будинків

Клас енергетичної ефективності будинку встановлюють під час проектування, введення будинку до експлуатації та за даними контролю і оцінки фактичного рівня тепловитрат на опалення будинку, що експлуатується. Клас енергетичної ефективності будинку може бути уточнений за результатами експлуатації та впровадження заходів із енергозбереження. В основу класифікації будинків за енергетичною ефективністю покладено рівень відносного відхилення розрахункових та нормативних значень питомих витрат теплової енергії на опалення (табл. 8.1). Вимоги до класу енергетичної ефективності будинку встановлюються замовником у завданні на проектування та реалізуються під час проектування у відповідних розділах проекту.

Визначення фактичних значень показників енергетичної ефективності існуючих будинків та присвоєння їм класу енергетичної ефективності здійснюється за результатами енергетичних обстежень (енергоаудиту). У випадку отримання результатів, які відповідають класам “D”, “E”, “F”, необхідно розробити заходи щодо підвищення енергетичної ефективності будинку з доведенням до класу не нижче “C”, для чого здійснюється відповідний запис до розділу “Висновки за результатами оцінки енергетичних параметрів будинку” енергетичного паспорта. Висновки можуть містити кілька варіантів технічних рекомендацій щодо рентабельності

запропонованих заходів із підвищення рівня енергозбереження, тому замовник матиме змогу визначати найбільш ефективні з них.

Таблиця 8.1

Класифікація будинків за енергетичною ефективністю

Класи енергетичної ефективності будинку	Різниця у відсотках розрахункового або фактичного значення питомих тепловитрат, $q_{\text{буд}}$, від максимально допустимого значення, E_{max} , $[(q_{\text{буд}} - E_{\text{max}}) / E_{\text{max}}] 100 \%$
A	мінус 50 та менше
B	від мінус 49 до мінус 10
C	від мінус 9 до плюс 5
D	від плюс 6 до плюс 25
E	від плюс 26 до плюс 75
F	плюс 76 та більше

У табл. 8.2 наведено енергетичну класифікацію будинків за європейською енергоіндексацією.

Таблиця 8.2

Енергетична класифікація будинків

Енергетична оцінка	Показник ЕА (кВт·год/м ² ·рік)
Пасивний	до 15
Низькоенергетичний	від 15 до 45
Енергоощадний	45 до 80
Середньоенергоощадний	80 до 100
Середньосенергоємний	100 до 150
Енергоємний	150 до 250
Високосенергоємний	понад 250

З 1 січня 2009 р. відповідно до Європейської директиви 2002/91/WE є обов'язковим складання енергетичного сертифікату будинків. Сертифікат, що підтверджує таку характеристику, буде чинним протягом десяти років. Європейський енергетичний сертифікат будинку визначає, скільки енергії споживається насправді або необхідно для забезпечення різних потреб, пов'язаних з нормальним функціонуванням будинку. Енергетичний сертифікат містить інформацію про необхідну кількість невідновлюваної первинної енергії та кінцевої енергії.

Потреба невідновлюваної первинної енергії – це величина, що виражає енергію, яку необхідно добути з родовища, щоб забезпечити опалення будинку,

нагрівання води, механічну вентиляцію та охолодження, а також роботу електричного обладнання (рис. 8.2). Її значення показує, скільки фактично споживаємо первинної невідновлюваної енергії, щоб покрити ці потреби, наприклад, скільки вугілля або газу необхідно видобути.

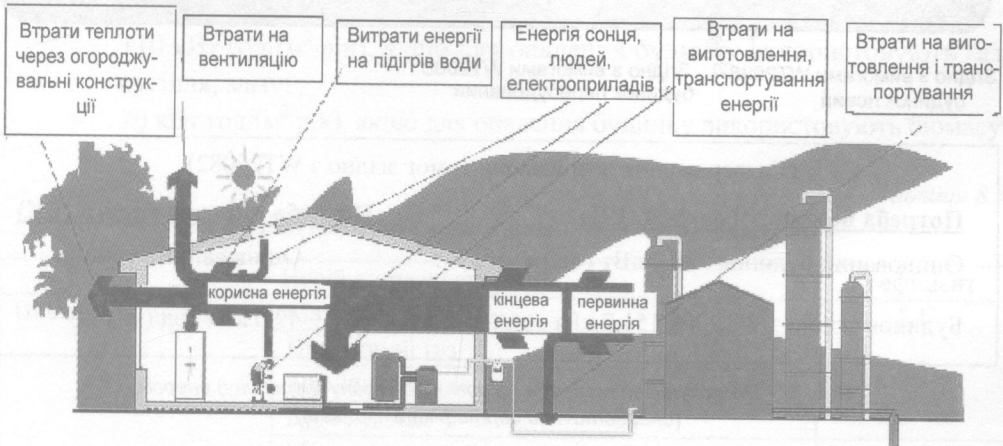


Рис. 8.2. Відмінності між первинною, кінцевою і корисною енергіями

Розрахункова потреба в невідновлюваній первинній енергії є найвагомішою величиною. При складанні енергетичного паспорту вона розташовується в центрі першої сторінки сертифікату. На кольоровому повзунку потреба в первинній енергії для будинку порівнюється з потребою в первинній енергії для стандартного будинку (рис. 8.3).

Потреба в кінцевій енергії, тобто в тій, що купується, визначається кількістю енергії, необхідної щороку для опалення (включаючи вентиляцію), нагрівання води в перерахунку на 1 м^2 площі, а в будинках з кліматизацією додатково на охолодження. У кінцеву енергію також входять надбавки енергії, потрібні з огляду на те, що системи опалення перетворюють енергію, що міститься в паливі, на тепло з ККД нижче за 100 %.

Корисна енергія враховує:

- втрати тепла через огороджувальні конструкції;
- енергію, необхідну для нагрівання води;
- енергію на нагрівання вентиляційного повітря або на роботу механічної вентиляції;
- енергію, що використовується для охолодження в будинку з кліматизацією.

Кінцева енергія додатково враховує коефіцієнт корисної дії систем опалення і нагрівання води.

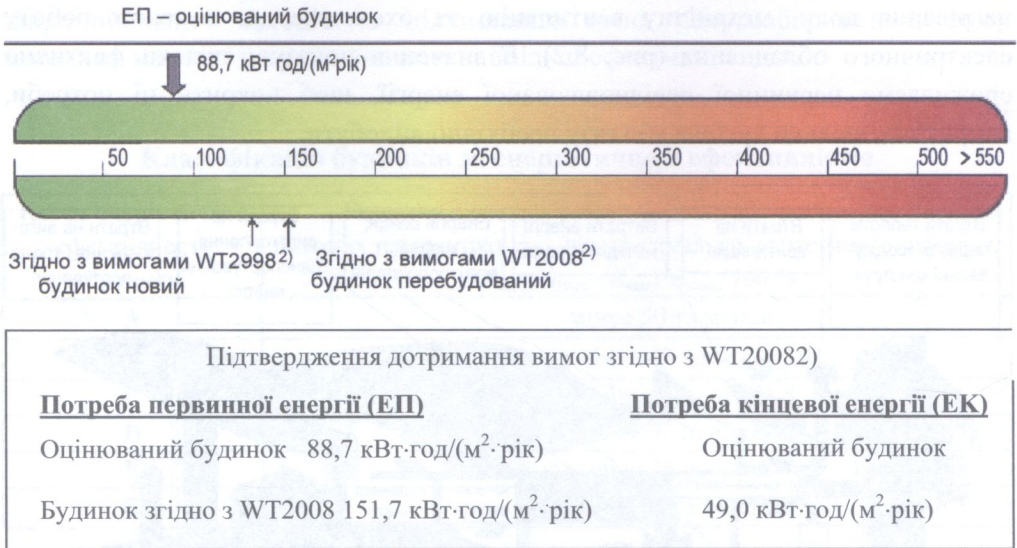


Рис. 8.3. Розрахункова потреба на невідновлювану (первинну) енергію (енергетичний сертифікат, Польща)

Первинна енергія відрізняється від кінцевої тим, що враховує втрати енергії на етапі її виробництва і транспортування. Різниця між кінцевою і первинною енергією залежить від теплоносія. Первинна енергія може бути вища від кінцевої від 10 % (для газу) до 300 % (для електроенергії) (рис. 8.4). Вона може бути менша, якщо теплоносієм є біомаса (дерево).

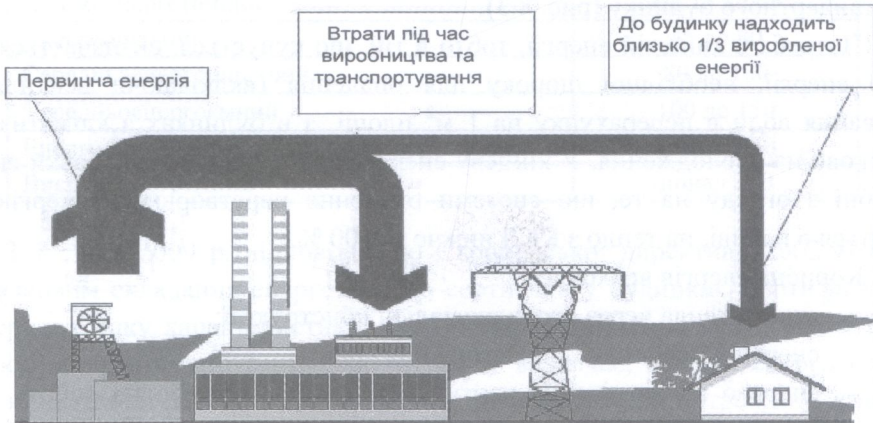


Рис. 8.4. Втрати первинної енергії

Показник споживання первинної енергії значною мірою залежить від того, чим опалюється будинок. Він показує, насамперед, який вплив на навколишнє середовище має будинок. Кількість первинної енергії отримується множенням

кінцевої енергії на коефіцієнти невідновлюваної первинної енергії (табл. 8.3), необхідної для одержання і транспортування носія енергії або самої енергії до будинку. Наприклад, якщо потреба в кінцевій енергії становить 100 кВт·год/(м²·рік), то потреба в невідновлюваній первинній енергії така:

- 300 кВт·год/(м²·рік), якщо для опалення будинку використовують електроенергію;
- 110 кВт·год/(м²·рік), якщо для опалення будинку використовують газ, вугілля, мазут;
- 20 кВт·год/(м²·рік), якщо для опалення будинку використовують біомасу.

Таблиця 8.3

Коефіцієнти невідновлюваної первинної енергії*

	Носій кінцевої енергії	Коефіцієнт
Паливо	Мазут	1,1
	Природний газ	
	Кам'яне вугілля	
	Буре вугілля	
	Біомаса	0,2
Локальні теплові системи	Тепло з котельні, що працює на вугіллі	1,3
	Тепло з котельні, що працює на газі/мазуті	1,2
	Тепло з котельні, що працює на біомасі	0,2
Електрика (мережеве живлення системи)		3,0
* На виробництво та транспортування енергоносіїв або ж енергії в будинок.		

Загальним енергетичним показником будинку є питома річна витрата первинного палива (виражена в кілограмах нафтового еквівалента), віднесена до 1 м² загальної площі будинку. При цьому потрібно враховувати витрати палива не тільки на опалення, а й на вентиляцію і гаряче водопостачання, а також на виробництво електроенергії, яку споживають двигуни вентиляторів pomp і компресорів, використовуваних у системах інженерного обладнання будинку.

В оцінюванні сучасних проектів важливим фактором є екологічна чистота споруди. Тому до контрольних показників відносять кількість вуглекислого газу, що викидається в атмосферу під час згорання палива, тепло якого використовується в системах інженерного обладнання будинку. Ця величина, визначена безпосередньо з обсягу витрати первинного палива, є важливим показником, що показує вплив на забруднення навколишнього середовища.

8.3. Контроль теплозахисту

У процесі зведення будинків, а також під час здавання будинку в експлуатацію нові європейські норми вимагають здійснювати для кожного об'єкта тепловізійний контроль якості теплозахисту для виявлення будівельних дефектів. Правила контролю дають змогу за інтенсивністю теплового випромінювання поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків дистанційно виявляти в них термічні неоднорідності, зокрема не передбачені проектом, для того, щоб усунути приховані дефекти під час будівельних робіт.

Метод базується на вимірюванні інтенсивності теплового випромінювання як функції температури поверхні огорожувальної конструкції та фіксації її за допомогою тепловізора у вигляді термограми. Тепловізійному контролю підлягають зовнішні та внутрішні поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій. Спочатку виконують загальний тепловізійний контроль зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, щоб виявити аномальні зони з порушеними теплозахисними властивостями, а тоді отримують детальнішу термограму виявлених зон методом тепловізійного знімання теплових випромінювань з зовнішньої та внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій. На рис. 8.5 подано дані тепловізійного контролю житлових будинків в м. Івано-Франківську (рис. 8.5, *а*) та м. Карлсруе (Німеччина) (рис. 8.5, *б*).

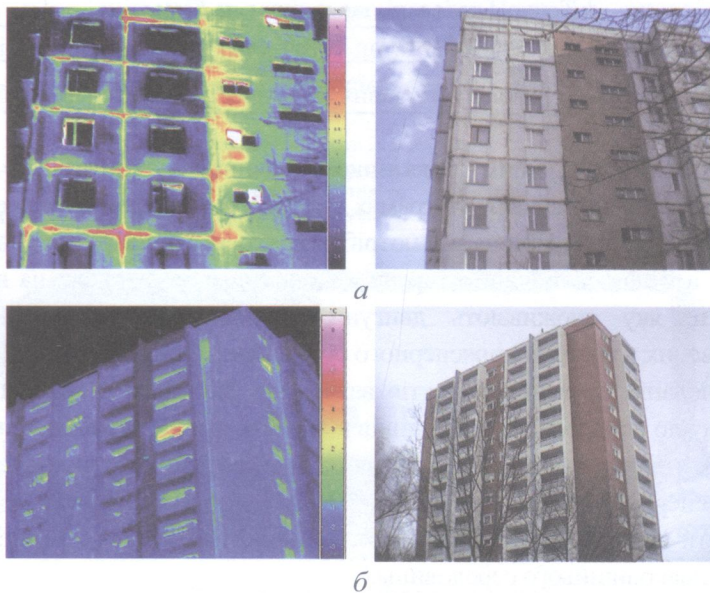


Рис. 8.5. Тепловізійний контроль зовнішніх огорожувальних конструкцій

Вибірковий енергоаудит будівель проводиться у формі натурних випробувань (моніторингу) для визначення їхніх фактичних теплотехнічних та

енергетичних параметрів. Енергоаудит будинку складається з послідовних заходів, спрямованих на збирання фактичних даних (моніторинг), їхню обробку та визначення нормалізованих, приведених до розрахункових умов) значень показників енергетичної ефективності та теплозахисних властивостей будівлі. Енергетичний аудит будинку проводиться не раніше, ніж на наступний опалювальний період і за заселеності квартир будинку не менше ніж 70 %. Результатом енергоаудиту є встановлення класу енергетичної ефективності будівлі.

Отже, з розробленням нових енергозбережних норм Україна вступає на шлях створення енергоефективних будівель, що сприяє енергетичній безпеці України. Нові норми стимулюють промисловість будівельних матеріалів України випускати нові прогресивні будівельні матеріали та виробити на рівні світових стандартів, зокрема збільшувати випуск високоякісних ефективних стінових та теплоізоляційних матеріалів, енергозбережних огорожувальних конструкцій та енергоефективних вікон, що сприяє зростанню зайнятості населення, суттєвому енергозбереженню, підвищує тепловий комфорт у приміщеннях будинків та знижує залежність внутрішнього середовища будинків від аварійних та екстремальних ситуацій.

Ефективне використання енергоресурсів у житлово-комунальному секторі надовго залишатиметься надзвичайно важливим завданням на шляху до забезпечення соціально-економічного розвитку Львівщини та енергетичної незалежності України загалом.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. *Енергетичний паспорт будинку. Чому його необхідно створювати?*
2. *З яких розділів складається енергетичний паспорт будинку?*
3. *Етапи проектування енергоощадних будинків.*
4. *Як визначити клас будинку на основі робочого проекту?*
5. *Контроль теплозахисту будівель.*
6. *Що таке первинна енергія?*
7. *Що покладено в основу класифікації будинків за енергетичною ефективністю?*
8. *Які основні показники визначають енергетичну ефективність будинків?*
9. *Яка інформація вказується в енергетичному сертифікаті?*
10. *В чому відмінність між первинною і кінцевою енергіями?*
11. *Як співвідносяться кінцева енергія та первинна енергія, одержані з різних не відновлювальних джерел?*
12. *Що є показником екологічної чистоти споруди?*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Багрійчук В.О. Філософія здорового довкілля / В.О. Багрійчук // Перспективи фінансування ЕКО-Будівництва та енергозбереження із зарубіжних фондів: Інформаційні матеріали Міжнародної науково-практичної конференції за проектом “ЕКО-Будівництво” енергозберігаюче та екологічне будівництво в умовах трансформації економіки (Львів, 7–8 грудня 2006 р.) / Упор. І.І. Кульчицький. – Львів : ЛьвЦНТЕІ, 2006. – 121 с.
2. Барабаш І.В. Механохимическая активация в технологи приготовления бетонных смесей. / Барабаш Иван Васильевич // Вісник ОДАБА. – Одеса : ОДАБА, 2004. – Вип. 13. – С. 16–23.
3. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд / З.Я. Бліхарський – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – 337 с.
4. Будівельне матеріалознавство / [П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський та ін.] – К.: ТОВ УВПК “ЕксОб”, 2004. – 704 с.
5. Будинки майбутнього. Пасивне будівництво // Ринок інсталяцій. – № 5. – 2007. – С. 50–51.
6. Ванькович Р. Безальтернативна альтернатива / Р. Ванькович // Ринок інсталяцій. – 2006. – № 2. – С. 6–8.
7. Вата мінеральна. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-94-2000. – [Чинний від 2000-07-01]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 14 с. – (Національний стандарт України).
8. Використання техногенних продуктів у будівництві : навч. посіб. / [Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, К.К. Пушкарьова та ін.]. – Рівне : Вид-во Національного університету водного господарства та природокористування, 2009. – 339 с.
9. Впровадження бетонів і технологій нового покоління на об'єктах будівництва АТ ХК “Київміськбуд” / [П.С. Шилюк, В.Н. Старчук, Р.Ф. Рунова, В.І. Гоц] // Колега. – 2008. – № 6. – С. 11–20.
10. Вуйцікевич М. Аналіз енергетичних показників індивідуальних будинків / М. Вуйцікевич М. Саницький, Р. Секрет // ЕКОінформ. – 2011.– № 3 (263). – С. 50-51.
11. Гавриляк А.І. Основи технічної експлуатації будівель та інженерних систем : навч. посіб. / А.І. Гавриляк. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2009. – 292 с.
12. Гершкович В.Ф. Яким повинен бути енергетичний паспорт будинку / В.Ф. Гершкович // Ринок інсталяцій. – 2008. – № 1. – С. 25–29.

13. Гоц В.І. Виробнича база будівництва / В.І. Гоц, Н.О. Неліна, В. Г. Нестеров. – К.: КНУБА, 2010. – 312 с.
14. Дворкін Л.Й. Будівельне матеріалознавство [підручник] / Дворкін Леонід Йосипович. – Рівне : НУВГП, 2009. – 309 с.
15. Дворкін Л.Й. Використання техногенних продуктів у будівництві / [Дворкін Л.Й., Пушкарьова К.К., Дворкін О.Л. та ін.]. – Рівне: НУВГП, 2009. – 339 с.
16. Денис О. Промоція використання відновлюваних джерел енергії в Україні / О. Денис // Перспективи фінансування ЕКО-Будівництва та енергозбереження із зарубіжних фондів: Інформаційні матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. за проектом “ЕКО-Будівництво” енергозберігаюче та екологічне будівництво в умовах трансформації економіки (Львів, 7–8 грудня 2006 р.) / Упор. І.І. Кульчицький. – Львів: ЛьвЦНТЕІ, 2006. – 121 с.
17. Дерев’яно В.М. Регулювання властивостей розчинів та бетонів для опорядження будинків / В.М. Дерев’яно, О.В. Шаповалова // Структура, свойства и состав бетона. – Ровно, 2003. – С. 73–76.
18. Деякі аспекти енергоощадного будівництва / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак, Р.Я. Сидорович // Ринок інсталяцій. Теплотехніка, сантехніка, газопостачання. – 2007. – № 2. – С. 6–9.
19. Дудикевич Ю. Енергоощадні котеджі: методика проектування будинків без газу / Ю. Дудикевич. – Львів: СПОЛОМ, 2011. – 192 с.
20. Еколого-економічні аспекти енергозбереження в будівництві / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, О.Т. Мазурак, Ю.Б. Федунь // Ринок інсталяцій. Теплотехніка, сантехніка, газопостачання. – 2007. – № 12 (128). – С. 6–10.
21. Енергозбереження у житловому фонді: проблеми, практика, перспективи: довідник. – НДІПРОЕКТРЕКОНСТРУКЦІЯ. – 138 с.
22. Енергоефективні будинки з використанням сонячних колекторів / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, С.П. Шаповал, М. Войцікевич // 36. наук.х статей П’ятої міжнар. наук.-практ. конф. “Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні”. – Львів, 2009. – С. 239–242.
23. Ефективність термореновації великопанельних будинків / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, О.С. Завалій, В.М. Мельник // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2004. – № 520: Теорія і практика будівництва. – С. 174–178.
24. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15-2005. – [Чинні від 2006-01-01]. – К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. – 36 с. – (Державні будівельні норми України).
25. Іванов-Костецький С.О. Методичний посібник з термореновації застарілого житлового фонду житлових будівель / С.О. Іванов-Костецький / Головне управління економіки та інвестицій ЛОДА. – Львів: Редакція “Стріха”, Видавець ФОП Тиркало А.В., 2011. – 200 с.
26. Інженерна екологія. Аспекти енергозбереження / В.В. Снітинський, М.А. Саницький, О.Т. Мазурак, А.В. Мазурак]. – Львів : Априорі, 2008. – 221 с.
27. Інженерна екологія: Підручник з теорії і практики сталого розвитку / [В.А. Баженов, В.М. Ісаєнко, Ю.М. Саталкін та ін.] під ред. чл.-кор. НАНУ В.П. Бабака. – К.: НАУ, 2006. – 492 с.

28. Карапузов Є.К. Утеплення фасадів: підруч. / Є.К. Карапузов, В.Г. Соха. – К.: Вища освіта, 2007. – 319 с.
29. Керш В.Я. Енергозберігаючі технології у міському будівництві і господарстві: навч. посіб. / В.Я. Керш. – Одеса : Астропринт, 2007. – 124 с.
30. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації: ДБН В.2.6-33:2008. – [Чинні з 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 21 с. – (Державні будівельні норми України).
31. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги: ДСТУ Б В.2.6-34:2008. – [Чинний від 2009-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 11 с. – (Національний стандарт України).
32. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.6-35:2008. – [Чинний від 2009-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 25 с. – (Національний стандарт України).
33. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.6-36:2008. – [Чинний від 2009-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 31 с. – (Національний стандарт України).
34. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво / [Р.Ф. Рунова, В.І. Гоц, І.І. Назаренко та ін.] – К.: УВПК “ЕксОб”. – 2008. – 360 с.
35. Кривенко П.В. Долговечность шлакощелочных бетонов / П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарєва. – К.: Будівельник, 1993. – 224 с.
36. Ланцов А. Енергозбереження у вашому помешканні / А. Ланцов // Ринок інсталяцій. Теплотехніка, сантехніка, газопостачання. – 2006. – № 11. – С. 22.
37. Маляренко В.А. Енергетика, доквілля. Енергозбереження / В.А. Маляренко, Л.В. Лисак. – Харків: Рубікон, 2004. – 368 с.
38. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження: підруч. / Маляренко В.А. – Харків : Вид-во САГА, 2006. – 484 с.
39. Мартиненко В.О. Виробництво виробів з ніздрюватого бетону в Україні / В.О. Мартиненко // Будівництво України. – 2005. – № 2. – С. 3-4.
40. Матросов Ю.А. Повышенная теплозащита и энергоэффективность зданий: проблемы и решения. Опыт России / Ю.А. Матросов // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Czestochowa, 2007. – S. 201–217.
41. Методичні рекомендації щодо впровадження заходів з енергозбереження в житлово-комунальному господарстві міста Львова. – Львів : ЗАТ “Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв”, 2009. – 80 с.
42. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий: учеб. пособие / П.В. Монастырев. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 160 с.
43. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников / Н.М. Мхитарян. – К.: Наук. думка, 1999. – 314 с.
44. Мхитарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве / Н.М. Мхитарян. – К.: Наук. думка, 2000. – 412 с.

45. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с. – (Національний стандарт України).
46. Некоторые аспекты стратегии сбалансированного развития в строительстве / М. Sanytsky, W. Bialczak, O. Pozniak, U. Marushchak // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Czestochowa, 2005. – S. 343–350.
47. Новое поколение норм и стандартов теплозащиты зданий обеспечивает переход к энергоэффективному строительству // Бюллетень строительной техники. – 2004. – № 7. – С. 9–11.
48. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів: [підруч.] / Р.Ф. Рунова, Л.О. Шейніч, О.Г. Гелевера, В.І. Гоц – К.: КНУБА, 2001. – 354 с.
49. Основи реконструкції будівель і споруд: навч. посіб. / [І.Г. Іваник, С.І. Віхоть, Р.С. Пожар та ін.] за ред. І.Г. Іваника. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 276 с.
50. Пашенко А.А. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ / А.А. Пашенко, Ю.Р. Евсютин. – К.: Вища шк., 1990. – 223 с.
51. Плити пінополістирольні. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-8-94 – [Чинний від 1994-07-01]. – К.: Міністерство України у справах будівництва і архітектури, 1994. – 22 с. – (Національний стандарт України).
52. Підвищення ефективності використання паливо-енергетичних ресурсів у міських будівлях та зменшення шкідливого впливу на довкілля : [Практичний poradnik]. – Херсон, 2009. – 238 с.
53. Проблеми енергозбереження в будівництві / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, Б.В. Федунь, Р.Я. Сидорович // Будівельні матеріали та вироби. – 2008. – № 1(48). – С. 9–11.
54. Проблемы энергосбережения // Оконные технологии. – 2000. – № 5. – С. 29–31.
55. Програма енергозбереження для бюджетної сфери і населення на 2006–2008 роки. – Львів, 2005. – 86 с.
56. Промышленность Украины: путь к энергетической эффективности, ТАСИС, 1995. – 199 с.
57. Рылевский Е. Энергия для человека. Современная конструкция здания с низким потреблением энергии / Е. Рылевский; пер. с англ. – 2003. – 79 с.
58. Рунова Р.Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів / Р.Ф. Рунова, Ю.Л. Носовський. – К.: КНУБіА, 2007. – 256 с.
59. Савйовский В.В. Ремонт и реконструкция гражданских зданий / В.В. Савйовский, О.Н. Болотских. – Харьков: Ватерпас, 1999. – 287 с.
60. Энергозбереження в сучасному житловому будівництві / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак // Ринок інсталяцій. Теплотехніка, сантехніка, газопостачання. – 2005. – № 11. – С. 46–48.
61. Саницький М.А. Критерії оцінки будівельних об'єктів згідно з вимогами сталого розвитку / М.А. Саницький, М. Войцікевич // "ЕКОІнформ". – 2011. – № 2 (262). – С. 6–7.
62. Саницький М.А. Проблеми енергозбереження в сучасному житлово-цивільному будівництві / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак // Будівельні конструкції: Міжвідом. наук.-техн. зб. – 2005 – Вип. 63 – С. 234–239.

63. Саницький М.А. Сучасні системи енергоефективного будівництва / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, Р.В. Кузич // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Будівельні конструкції”. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 68. – С. 12–20.
64. Саницький М.А. Сучасні технології енергоощадного будівництва / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, Р.В. Кузич // Академія будівництва України: Вісник Львівського територіального відділення. – 2008. – № 4. – С. 49–56.
65. Серых Р.Л. Железобетон и защита окружающей среды / Р.Л. Серых, Т.И. Мамедов, Ю.С. Волков // Бетон и железобетон. – 1993. – № 8. – С. 2–6.
66. Твоя тепла оселя. Економіка комфорту: практ. посіб. позичальника кредиту на енергоощадні заходи. – ФОП Тиркало А.В., 2010. – 44 с.
67. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006 – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
68. Тепло- та звукоізоляційні матеріали і виробы в енергозберігаючих технологіях : [підруч. для вищих навч. закл.] / [П.В. Захарченко, Е.М. Долгий, О.М. Гаврик, Ю.О. Галаган]. – К.: Майстри, 2008. – 340 с.: 111 іл.
69. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава : OWG, 2010. – 533 с.
70. Уйма А. Збалансована термомодернізація багатоквартирного будинку / А. Уйма, А. Ліс // ЕКОінформ. – 2011. – № 4 (264). – С. 12–13.
71. Ушеров-Маршак А.В. Освоение европейских норм – этап развития технологий современного бетона в Украине / А.В. Ушеров-Маршак // IX Междунар. науч.-практ. конф. “Дни современного бетона”. – Запорожье : ООО “Будиндустрия ЛТД”, 2008. – С. 5–12.
72. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов / Вольфганг Файст; [пер. с немец. под ред. А.Е. Елохова]. – М.: Из-во АСВ, 2008. – 142 с.
73. Фаренюк Г.Г. Новые государственные нормы “Тепловая изоляция зданий” по показателям энергоэффективности / Г.Г. Фаренюк, Ю.А. Матросов // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Czestochowa, 2007. – S. 57–67.
74. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. – К.: Гама-Принт, 2009. – 216 с.
75. Фаренюк Е.Г. Теплофизические принципы проектирования энергоэффективных окон / Е.Г. Фаренюк // Оконные технологии. – 2000. – № 2. – С. 46–48.
76. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – М.: Стройиздат, 1973. – 275 с.
77. Хацко Ю.І. Енергія вашої квартири / Ю.І. Хацко. – Львів: Сполом, 2001. – 94 с.
78. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ). – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 45 с. – (Національний стандарт України).
79. Цегла та камені силікатні. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-80:2008. – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 25 с. – (Національний стандарт України).

80. Швець Я.С. Тепло у вашому домі / Я.С. Швець, О.М. Щербина [під ред. Я.С. Швеця]. – Львів: ЕКОІнформ, 2003. – 174 с.
81. Шляговскі Г. Пасивне будівництво – комфорт в будь-яку пору року / Г. Шляговскі // “ЕКОІнформ”. – 2011. – № 2 (262). – С. 48–49.
82. Шляговскі Г. Пасивне будівництво – комфорт в будь-яку пору року / Г. Шляговскі // “ЕКОІнформ”. – 2011. – № 3 (263). – С. 54–55.
83. Щербатюк Б.І. Енергоощадні системи опалення будинків: навч. посіб. / Б.І. Щербатюк. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2003. – 112 с.
84. Bobko T. Podstawy teoretyczne kształtowania technologii energooszczędnych / T. Bobko // Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna “Zagadnienia współczesnego budownictwa energooszczędnego o zoptymalizowanym zużyciu potencjału energetycznego”. – Częstochowa, 2003. – S. 21–26.
85. Bonca Z. Termorenowacja budynków mieszkalnych. Aspekt techniczny i ekonomiczny / Z. Bonca, A. Lewiński. – IPPU MASTA, 2000. – 154 s.
86. Byrdy C. Ciepłochronne konstrukcje ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych / C. Byrdy. – Krakow, 2006 – 190 s.
87. Hymers P. Ekologiczny dom / P. Hymers. – micro: Publicat wydawnictwo, pik. – 176 s.
88. Grabarczyk S. Fizyka budowli / S. Grabarczyk. – Warszawa, 2005. – 189 s.
89. Górzyński J. Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów / J. Górzyński. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2007.
90. Feist W. Podstawy budownictwa pasywnego / W. Feist a.o. – Polski Instytut budownictwa pasywnego, 2006. – 152 s.
91. Jastrzębska G. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne / G. Jastrzębska. – 240 s.
92. Jaworski J. Termografia budynków / J. Jaworski. – Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2000. – 70 s.
93. Kavalerova E.S. Alkali – Activated cement production and “Best Available Techniques” / E.S. Kavalerova // Internationale Baustofftagung “Ibausil-17”. Weimar – Bauhaus University Bundesrepublik Deutschland, 2009. – Band–1. – P.1-0469-0474.
94. Kurtz K. Certyfikacja energetyczna budynków mieszkalnych (z przykładami) / K. Kurtz, D. Gawin. – Wrocław : Wrocławskie Wydawnictwo Naukowe Atla 2, 2009. – 352 s.
95. Laskowski L. Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku / L. Laskowski. – Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005. – 173 s.
96. Laskowski L. Leksykon podstaw budownictwa niskoenergochłonnego / L. Laskowski. – Warszawa : Copy by Oficyna Wydawnicza POLCEN, 2009. – 152 s.
97. Lenkiewicz W. Konstrukcje domów jednorodzinnych I małych budynków (projektowanie i obliczanie) / W. Lenkiewicz, S. Pyrak. – Warszawa : Copyright by “Arkady”, 1989. – 183 s.
98. Markiewicz P. Prezentacja nowoczesnych technologii budowlanych / P. Markiewicz. – Krakow, 2002. – 200 s.
99. Mikoś J. Budownictwo ekologiczne / J. Mikoś. – Gliwice, wydawnictwo politechniki śląskiej, 2000. – 492 s.

100. Piasecki M. Kryteria oceny wyrobów i obiektów budowlanych pod kątem zgodności z wymaganiami zrównoważonego rozwoju / M. Piasecki. – Budownictwo, technologie, architektura. – 2010. – № 2.
101. Piotrowski R. Budowa Domu Pasywnego. Krok po Kroku. Przewodnik Budowlany. Piotrowski R., Dominiak P. – 250 s.
102. Ujma A. Основные принципы энергосберегающих действий в строительстве / A. Ujma // Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna “Zagadnienia współczesnego budownictwa energooszczędnego o zoptymalizowanym zużyciu potencjału energetycznego”. – Częstochowa, 2003. – S. 304–311.
103. Ulbrich R. Audyt energetyczny a dom energooszczędny / R. Ulbrich. – Opole, 2001. – 141 s.
104. Wiley J. Environmental Physics / J. Wiley. – Second edition. – New York, 1999. – 287 p.
105. Wnuk R. Budowa Domu Pasywnego w praktyce // Przewodnik BUDOWLANY. – 180 s.
106. Wójcikiewicz M. Analiza Zewnętrznych przegród budowlanych w domach energooszczędnych. / M., Wójcikiewicz M. Sanytsky, O. Pozniak // Energia I Budynek. – 2009. – № 06 (27). – S. 31–33.
107. Wójcikiewicz M. Wpływ Parametrów Systemu Instalacyjnego na Wskaźniki Energetyczne Budynków Jednorodzinnych / M. Wójcikiewicz, M. Sanytsky, R. Sekret // I Konferencja Naukowa Budownictwo Energooszczędne: Materiały Konferencyjne. – Suwałki, 2010.
108. Zrównoważone budownictwo. Seria Dokumenty Unii Europejskiej dotyczące budownictwa. – Warszawa: ITB, 2010.

ДОДАТКИ

Додаток А

Ч.ч.	Призначення будівлі	Значення E_{max} , кВт год/м ² [кВт год/м ²], для температурної зони України	
		I	II
1	Житлові будинки поверховістю:		
	1	$600 \times F_h^{-1/4}$	$500 \times F_h^{-1/4}$
	від 2 до 3	$470 \times F_h^{-1/4}$	$400 \times F_h^{-1/4}$
	від 4 до 9	55	48
	від 10 до 16	48	42
	від 17 до 24	43	38
	25 і більше	40	35
2	Громадські будівлі та споруди, окрім груп будівель за позиціями 3-6, поверховістю:		
	від 1 до 3	$[230 \times V_h^{-1/3}]$	$[200 \times V_h^{-1/3}]$
	від 4 до 9	[15]	[13]
	від 10 до 16	[14]	[12]

Розрахункові теплофізичні характеристики будівельних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Характеристика в сухому стані			Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації w, %		Розрахункові характеристики в умовах експлуатації				
		густина ρ_0 , кг/м ³	питома теплоємність c_0 , кДж/(кг·К)	теплопровідність λ_0 , Вт/(м·К)			Теплопровідність λ_p , Вт/(м·К)		коефіцієнт теплозасвоєння s, Вт/(м ² ·К)		коефіцієнт паропроникності μ , мг/(м·год·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ											
1.1. Волокнисті матеріали											
1	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому негофрованої структури	75	0,84	0,047	2	5	0,055	0,062	0,55	0,61	0,55
		125	0,84	0,049	2	5	0,060	0,070	0,73	0,82	0,49
		150	0,84	0,044	2	5	0,055	0,066	0,75	0,87	0,45
		175	0,84	0,046	2	5	0,058	0,072	0,83	0,98	0,41
		200	0,84	0,049	2	5	0,064	0,081	0,93	1,11	0,37
2	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому гофрованої структури	175	0,84	0,051	2	5	0,065	0,079	0,88	1,04	0,40
		200	0,84	0,053	2	5	0,071	0,087	0,98	1,16	0,36
3	Плити мінераловатні гофрованої структури	70	0,84	0,042	2	5	0,050	0,055	0,49	0,54	0,54
		100	0,84	0,043	2	5	0,053	0,060	0,60	0,68	0,48
		170	0,84	0,045	2	5	0,059	0,070	0,82	0,97	0,41
4	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому (вміст зв'язуючого за масою від 6,5 % до 8,0 %)	150	0,84	0,044	2	5	0,054	0,064	0,76	0,88	0,45
		170	0,84	0,045	2	5	0,055	0,065	0,82	0,97	0,42
		180	0,84	0,046	2	5	0,056	0,066	0,86	1,02	0,40
5	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому (вміст зв'язуючого за масою від 4,0 % до 5,0 %)	20	0,84	0,044	0,5	1,0	0,048	0,049	0,25	0,26	0,56
		30	0,84	0,043	0,5	1,0	0,046	0,047	0,30	0,31	0,55
		50	0,84	0,042	0,5	1,0	0,045	0,046	0,39	0,40	0,54
		80	0,84	0,041	0,5	1,0	0,044	0,045	0,50	0,53	0,49
		110	0,84	0,042	0,5	1,0	0,045	0,047	0,56	0,57	0,45
		190	0,84	0,043	0,5	1,0	0,047	0,052	0,78	0,82	0,32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому (вміст зв'язуючого за масою від 3,5 % до 4,2 %)	30	0,84	0,04	0,5	1,0	0,044	0,045	0,29	0,30	0,55
		50	0,84	0,039	0,5	1,0	0,041	0,042	0,36	0,37	0,52
		70	0,84	0,037	0,5	1,0	0,039	0,040	0,42	0,43	0,50
		110	0,84	0,038	0,5	1,0	0,043	0,044	0,55	0,56	0,45
		140	0,84	0,039	0,5	1,0	0,044	0,045	0,62	0,61	0,41
		180	0,84	0,040	0,5	1,0	0,047	0,048	0,72	0,75	0,34
7	Плити негорючі теплоізоляційні базальто-волокнисті	40	0,84	0,045	2	5	0,053	0,059	0,58	0,66	0,53
		90	0,84	0,041	2	5	0,050	0,054	0,48	0,54	0,50
8	Мати прошивні з мінеральної вати теплоізоляційні	75	0,84	0,048	2	5	0,060	0,064	0,55	0,61	0,49
		125	0,84	0,050	2	5	0,064	0,070	0,73	0,82	0,30
9	Мати мінераловатні прошивні будівельні	70	0,84	0,041	2	5	0,049	0,054	0,48	0,54	0,49
		95	0,84	0,043	2	5	0,053	0,059	0,58	0,66	0,40
10	Мати прошивні теплоізоляційні	50	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,39	0,43	0,59
11	Плити зі скляного штапельного волокна	30	0,84	0,047	2	5	0,061	0,065	0,35	0,39	0,61
		75	0,84	0,047	2	5	0,062	0,067	0,56	0,62	0,58
		160	0,84	0,052	2	5	0,064	0,070	0,83	0,93	0,53
		190	0,84	0,057	2	5	0,070	0,073	0,95	1,03	0,50
12	Плити зі скляного штапельного волокна (вміст зв'язуючого за масою, від 3,5 % до 4,0 %)	15	0,84	0,040	1	4	0,050	0,051	0,21	0,23	0,61
		55	0,84	0,038	1	4	0,045	0,048	0,38	0,42	0,49
		140	0,84	0,040	1	4	0,049	0,051	0,66	0,73	0,41
13	Плити зі скляного штапельного волокна (вміст зв'язуючого за масою від 4,0 % до 4,5 %)	20	0,84	0,039	1	3	0,043	0,047	0,25	0,27	0,55
		80	0,84	0,035	1	4	0,042	0,049	0,48	0,52	0,47
14	Мати зі скляного штапельного волокна (вміст зв'язуючого за масою від 3,5 % до 4,0 %)	10	0,84	0,043	1	4	0,050	0,053	0,18	0,19	0,55

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	Мати зі скляного штапельного волокна (вміст зв'язуючого за масою від 4,0 % до 4,5 %)	10	0,84	0,046	1	3	0,051	0,054	0,19	0,20	0,69
		15	0,84	0,043	1	3	0,047	0,052	0,23	0,24	0,60
16	Мати зі скляного штапельного волокна (вміст зв'язуючого за масою від 5,0 % до 5,5 %)	25	0,84	0,047	2	5	0,061	0,065	0,32	0,35	0,62
		35	0,84	0,047	2	5	0,060	0,064	0,38	0,41	0,60
		50	0,84	0,047	2	5	0,061	0,065	0,45	0,49	0,60
17	Вироби теплоізоляційні скловолкнисті	45	0,84	0,037	2	5	0,044	0,046	0,36	0,40	0,60
18	Вата мінеральна	80	0,84	0,045	2	5	0,060	0,064	0,55	0,61	0,40
		100	0,84	0,050	2	5	0,064	0,070	0,71	0,80	0,30
1.2. Полімерні матеріали											
19	Плити пінополістирольні	15	1,34	0,040	2	10	0,045	0,055	0,28	0,33	0,05
		25	1,34	0,038	2	10	0,043	0,053	0,34	0,40	0,05
		35	1,34	0,037	2	10	0,041	0,050	0,40	0,46	0,05
		50	1,34	0,034	2	10	0,040	0,045	0,46	0,53	0,05
20	Плити пінополістирольні екструзійні	50	1,34	0,033	2	10	0,038	0,043	0,47	0,54	0,02
		80	1,34	0,035	2	10	0,041	0,049	0,59	0,73	0,02
21	Плити пінополістирольні екструзійні	20	1,34	0,037	2	10	0,039	0,041	0,29	0,32	0,02
		25	1,34	0,036	2	10	0,038	0,040	0,32	0,36	0,02
		30	1,34	0,035	2	10	0,037	0,039	0,34	0,39	0,02
22	Плити пінополістирольні екструзійні	39	1,45	0,034	1	2	0,037	0,037	0,40	0,40	0,025
23	Блоки пінополістирольні	20	1,45	0,038	2	10	0,044	0,045	0,24	0,35	0,04
		30	1,45	0,035	2	10	0,041	0,043	0,29	0,42	0,04
24	Вироби з жорсткого пінополіуретану	40	1,47	0,029	2	5	0,040	0,040	0,40	0,42	0,05
		60	1,47	0,035	2	5	0,041	0,041	0,53	0,55	0,05
		80	1,47	0,041	2	5	0,050	0,050	0,67	0,70	0,05

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	Плити з резольно-формальдегідного пінопласту	40	1,68	0,038	5	20	0,041	0,060	0,48	0,66	0,23
		50	1,68	0,041	5	20	0,050	0,064	0,59	0,77	0,23
		100	1,68	0,047	5	20	0,052	0,076	0,85	1,18	0,15
26	Вироби зі спіненої карбамідно-формальдегідної смоли	15	1,68	0,047	7	30	0,058	0,064	0,27	0,34	0,51
		25	1,68	0,043	7	30	0,063	0,074	0,36	0,47	0,42
		30	1,68	0,041	7	30	0,070	0,085	0,42	0,56	0,40
27	Вироби зі спіненого пінополіетилену	30	1,34	0,043	2	5	0,044	0,047	0,30	0,33	0,02
		50	1,34	0,039	2	5	0,042	0,045	0,38	0,41	0,02
28	Вироби зі спіненого хімічно зшитого пінополіетилену	30	1,34	0,038	2	5	0,042	0,043	0,38	0,40	0,02
1.3. Вироби з природної органічної та неорганічної сировини											
29	Вироби перлітофосфогельові	200	1,05	0,064	3	12	0,070	0,090	1,10	1,43	0,23
		300	1,05	0,076	3	12	0,080	0,120	1,43	2,02	0,20
30	Блоки полістиролбетонні стінові	200	1,06	0,065	4	8	0,070	0,080	1,12	1,28	0,12
		300	1,06	0,085	4	8	0,090	0,110	1,55	1,83	0,10
		600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,200	3,07	3,49	0,068
31	Вироби теплоізоляційні перлітоцементні та перлітогіпсові	300	0,84	0,075	10	15	0,098	0,108	0,92	1,26	0,198
		450	0,84	0,086	10	15	0,118	0,202	1,89	2,63	0,18
32	Вироби перлітобентонітові теплоізоляційні	250	0,84	0,072	10	15	0,083	0,091	1,38	1,55	0,20
		300	0,84	0,082	10	15	0,098	0,110	1,64	1,85	0,15
		400	0,84	0,110	10	15	0,140	0,160	2,26	2,59	0,10
33	Блоки перлітобетонні стінові	500	0,84	0,084	10	15	0,110	0,130	2,24	2,63	0,33
		600	0,84	0,090	10	15	0,120	0,140	2,57	3,01	0,30
		650	0,84	0,093	10	15	0,130	0,150	2,78	3,22	0,29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
34	Вироби цементно-полістирольні	250	0,84	0,066	4	8	0,09	0,1	1,29	1,45	0,1
		300	0,84	0,076	4	8	0,10	0,11	1,53	1,74	0,095
		400	0,84	0,096	4	8	0,12	0,15	2,02	2,33	0,08
		500	0,84	0,116	4	8	0,14	0,19	2,53	2,95	0,070
		550	0,84	0,126	4	8	0,15	0,21	2,78	3,28	0,068
35	Піноскло	160	0,84	0,059	0,5	1	0,060	0,061	0,80	0,81	0
36	Блоки кремнезитоцементні	300	0,84	0,073	3	6	0,08	0,086	1,30	1,43	0,29
		400	0,84	0,083	3	6	0,09	0,096	1,59	1,75	0,23
		500	0,84	0,093	3	6	0,10	0,11	1,87	2,1	0,17
37	Вироби з арболіту на портландцементі	300	2,30	0,07	10	15	0,11	0,14	2,56	2,99	0,30
		400	2,30	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
		600	2,30	0,12	10	15	0,18	0,23	4,63	5,43	0,11
		800	2,30	0,16	10	15	0,24	0,3	6,17	7,16	0,11
		1000	2,30	0,21	10	15	0,31	0,39	8,17	9,43	0,11
38	Плити теплоізоляційні очеретяні	200	2,30	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96	0,49
		300	2,30	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99	0,45
39	Вироби перлітобітумні теплоізоляційні	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95	0,04
		400	1,68	0,111	1	2	0,12	0,13	2,45	2,59	0,04
40	Плити деревоволокнисті та деревостружкові	200	2,30	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
		400	2,30	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
		600	2,30	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
		800	2,30	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
		1000	2,30	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,7	0,12
1.4. Бетони теплоізоляційні											
41	Бетони ніздроваті	200	0,84	0,065	4	6	0,069	0,074	1,01	1,08	0,28
		300	0,84	0,08	4	6	0,09	0,10	1,41	1,48	0,26
		400	0,84	0,10	4	6	0,11	0,13	1,84	2,1	0,23
		500	0,84	0,12	4	6	0,15	0,16	2,38	2,48	0,20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
42	Вермикулітобетон	400	0,84	0,09	8	13	0,11	0,13	1,94	2,29	0,19
		600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21	0,15
		800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58	0,12
1.5. Матеріали теплоізоляційні засипні											
43	Щебінь перлітовий	300	0,84	0,112	1	2	0,115	0,12	1,42	1,51	0,26
44	Гравій шлаковий	300	0,84	0,112	1	3	0,12	0,13	1,56	1,65	0,22
45	Щебінь шлаковий	350	0,84	0,162	1	3	0,17	0,19	2,00	2,16	0,21
46	Щебінь вермикулітовий	250	0,84	0,112	2	3	0,13	0,15	1,48	1,62	0,26
47	Гравій керамзитовий	200	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,26
		300	0,84	0,14	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
		400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99	0,24
		600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,2	2,62	2,91	0,23
		800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,23	3,36	3,6	0,21
48	Щебінь шлакопемзовий	400	0,84	0,17	2	3	0,21	0,23	2,35	2,52	0,24
49	Пісок вермикулітовий	100	0,84	0,064	1	3	0,076	0,08	0,7	0,75	0,3
		200	0,84	0,076	1	3	0,09	0,11	1,08	1,24	0,23
50	Пісок для будівельних робіт	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
1.6. Розчини теплоізоляційні											
51	Розчини цементно-перлітові	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17
		800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16
		1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,30	4,64	5,42	0,15
52	Розчини гілсоперлітові	400	0,84	0,09	6	10	0,13	0,15	2,03	2,35	0,53
		500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95	0,43
53	Розчини цементно-кременезитові	200	0,84	0,063	4	8	0,072	0,08	1,03	1,17	0,35
		300	0,84	0,073	4	8	0,082	0,09	1,34	1,52	0,29
54	Розчини цементно-шлакові	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15	0,14
		1400	0,84	0,41	2	4	0,52	0,64	7,0	8,11	0,11
55	Розчини цементно-пінополістирольні	600	0,84	0,10	4	10	0,12	0,17	2,33	3,06	0,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. КОНСТРУКЦІЙНО - ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ											
2.1. Бетони підрюваті											
56	Бетони підрюваті	500	0,84	0,12	4	6	0,15	0,16	2,38	2,48	0,20
		600	0,84	0,13	4	6	0,16	0,18	2,65	2,9	0,17
		700	0,84	0,18	6	8	0,24	0,27	3,66	3,98	0,16
		800	0,84	0,21	6	8	0,27	0,30	4,16	4,51	0,14
		900	0,84	0,24	6	8	0,33	0,36	4,82	5,23	0,12
		1000	0,84	0,29	8	12	0,38	0,44	5,72	6,59	0,11
		1100	0,84	0,34	10	15	0,45	0,51	6,74	7,74	0,1
57	Газо- та пінозобетон	1000	0,84	0,23	15	22	0,44	0,5	6,86	8,01	0,098
		1200	0,84	0,29	15	22	0,52	0,58	8,17	9,46	0,075
2.2. Бетони легкі											
58	Керамзитобетон на керамзитовому піску	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,3
		600	0,84	0,16	5	10	0,20	0,26	3,03	3,78	0,26
		800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19
		1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
		1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
		1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
		1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09
		1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09
59	Керамзитобетон на кварцовому піску з поризацією	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,9	0,075
		1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
		1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
60	Керамзитобетон на перлітовому піску	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32	0,17
		1000	0,84	0,28	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43	0,15
61	Керамзитшлакобетон	1000	0,84	0,25	4	8	0,33	0,41	5,06	5,91	0,15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
62	Перлігобетон	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,3
		800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26
		1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,5	6,38	0,19
		1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,5	6,96	8,01	0,15
63	Шлакопемзобетон	1000	0,84	0,23	5	8	0,31	0,37	4,87	5,63	0,11
		1200	0,84	0,29	5	8	0,37	0,44	5,83	6,73	0,11
		1400	0,84	0,35	5	8	0,44	0,52	6,87	7,9	0,098
		1600	0,84	0,41	5	8	0,52	0,63	7,98	9,29	0,09
64	Бетон на доменних гранульованих шлаках	1200	0,84	0,35	5	8	0,47	0,52	6,57	7,31	0,11
		1400	0,84	0,41	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,098
		1600	0,84	0,47	5	8	0,58	0,64	8,43	9,37	0,09
65	Бетон на зольному гравії	1000	0,84	0,24	5	8	0,30	0,35	4,79	5,48	0,12
		1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95	0,11
		1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09
2.3. Вироби гіпсові											
66	Плити з гіпсу	1000	0,84	0,23	4	6	0,29	0,35	4,62	5,28	0,11
		1200	0,84	0,35	4	6	0,41	0,47	6,01	6,7	0,1
67	Листи гіпсокартонні	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075
2.4. Вироби бетонні											
68	Блоки кремнезитоцементні	700	0,84	0,2	4	8	0,21	0,23	3,28	3,63	0,19
		800	0,84	0,21	4	8	0,22	0,24	3,59	4,05	0,17
		1000	0,84	0,23	4	8	0,23	0,27	4,28	4,81	0,13
		1200	0,84	0,25	4	8	0,27	0,29	4,87	5,45	0,11
2.5. Деревина та вироби з неї											
69	Сосна та ялина поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
70	Сосна та ялина уздовж волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
71	Дуб поперек волокон	700	2,3	0,10	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
72	Дуб уздовж волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3
73	Фанера клеєна	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
74	Картон облицовальний	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06
75	Картон будівельний багатошаровий	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083
2.6. Цегляна кладка з порожнистої цегли											
76	Керамічної порожнистої густиною 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
77	Керамічної порожнистої густиною 1300 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16
78	Керамічної порожнистої густиною 1000 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17
2.7. Кладка з виробів бетонних											
79	3 блоків керамзитшлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 850 кг/м ³ (брутто) густиною 800 кг/м ³ (брутто)	1350	0,88	0,34	1	2	0,46	0,51	5,95	6,41	0,15
		1400	0,88	0,31	1	2	0,37	0,43	5,06	5,91	0,15
80	3 блоків кремнезитоцементних на вапняному розчині із сіопорового та кварцового піску	400	0,88	0,085	3	6	0,09	0,092	1,62	1,74	0,22
3. МАТЕРІАЛИ КОНСТРУКЦІЙНІ											
3.1. Бетони конструкційні											
81	Залізобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
82	Бетон на гравію або щебені з природного каменю	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03
3.2. Розчини будівельні											
83	Розчин цементно-піщаний	1600	0,84	0,47	2	4	0,70	0,81	8,69	9,76	0,12
84	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,70	0,87	8,95	10,42	0,098
85	Розчин вапняно-піщаний	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
3.3. Облицювання природним каменем та керамічною плиткою											
86	Плити та вироби з природного каменю: граніт, гнейс та базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
87	мармур	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
88	вапняк	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75	0,09
		1800	0,88	0,70	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77	0,075
		2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
89	туф	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,2	4,8	0,11
		1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25	0,11
		1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,6	0,098
		1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09
		1800	0,88	0,56	3	5	0,7	0,81	9,61	10,76	0,083
		2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92	0,075
90	Плити керамічні для підлоги	2000	0,88	0,89	3	5	0,96	1,1	11,63	12,55	0,06
3.4. Кладка цегляна з повнотілої цегли											
91	Глиняної звичайної на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,2	10,12	0,11
92	Глиняної звичайної на цементно-шлаковому розчині	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
93	Глиняної звичайної на цементно-перлітовому розчині	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,70	8,08	9,23	0,15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
94	Силкатної на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,70	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
95	Трепельної на цементно-піщаному розчині	1000	0,88	0,29	2	4	0,41	0,47	5,35	5,96	0,23
		1200	0,88	0,35	2	4	0,47	0,52	6,26	6,49	0,19
96	Шлакової на цементно-піщаному розчині	1500	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,70	8,12	8,76	0,11
3.5. Матеріали покрівельні, гідроізоляційні та покриття полімерні для підлог											
97	Листи азбестоцементні	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,8	0,03
		1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
98	Матеріали бітумні, бітумно-полімерні покрівельні та гідроізоляційні	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	4,56	4,56	0,008
		1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,008
		1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,8	6,8	0,008
99	Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008
100	Руберойд, пергамін	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	-
101	Лінолеум полівінілхлоридний на теплоізоляційній підоснові	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52	0,002
		1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56	0,002
102	Лінолеум полівінілхлоридний на тканинній основі	1400	1,47	0,23	0	0	0,23	0,23	5,87	5,87	0,002
		1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	7,05	0,002
103	Лінолеум полівінілхлоридний багатшаровий та одношаровий без підоснови	800	1,47	0,17	0	0	0,17	0,17	3,32	3,32	0,002
		1200	1,47	0,21	0	0	0,21	0,21	4,51	4,51	0,02
3.6. Метали											
104	Сталь арматурна	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
105	Чавун	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	112,5	0
106	Алюміній	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6	0
107	Латунь, мідь	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	326	0
108	Скло віконне	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0

**Ціни та тарифи на газ природний, що використовується населенням
на побутові потреби (згідно з постановою НКРЕ від 13.07.2010 р.)**

Споживання природного газу	За наявності газових лічильників		За відсутності газових лічильників			
	Ціна газу, грн. за 1 м ³	Ціна газу, грн. за 1 м ³	Тариф на місяць в квартирах, які мають:			На індивідуальне опалення будинків в опалювальний період, грн. на 1 м ²
			плиту газу за наявності гарячого водопостачання, грн. на 1 людину	плиту газу за відсутності гарячого водопостачання і газового водонагрівача, грн. на 1 людину	плиту газу і газовий водонагрівач, грн. на 1 людину	
Норма споживання природного газу на 1 місяць, м ³	-	-	9,8	18,3	23,6	11,0
Річний обсяг споживання газу не перевищує 2500 м ³	0,7254	0,7980	7,82	14,60	18,83	8,78
Річний обсяг споживання газу не перевищує 6000 м ³	1,0980	1,2078	11,84	22,10	28,50	13,29
Річний обсяг споживання газу не перевищує 12000 м ³	2,2482	2,4732	24,24	45,26	58,37	27,21
Річний обсяг споживання газу перевищує 12000 м ³	2,6856	2,9541	28,95	54,06	69,72	32,50

**Вартість 1 кВт-год електроенергії,
що відпускається населенню та населеним пунктам
(згідно з постановою НКРЕ від 17.03.2011 р.)**

Категорія споживачів	Вартість 1 кВт-год електроенергії з урахуванням ПДВ, коп.
1. Електроенергія, що відпускається:	
1.1. Населенню	
за обсяг, спожитий до 150 кВт-год електроенергії на місяць (включно)	28,02
за обсяг, спожитий понад 150 кВт-год електроенергії на місяць	36,48
для багатодітних, прийомних сімей та дитячих будинків сімейного типу незалежно від обсягів споживання електроенергії	28,02
1.2. Населенню, яке проживає у сільській місцевості	
за обсяг, спожитий до 150 кВт-год електроенергії на місяць (включно)	25,92
за обсяг, спожитий понад 150 кВт-год електроенергії на місяць	33,72
для багатодітних, прийомних сімей та дитячих будинків сімейного типу незалежно від обсягів споживання електроенергії	25,92
1.3. Населенню, яке проживає в будинках, обладнаних кухонними електроплитами, електроопалювальними установками (зокрема у сільській місцевості)	
за обсяг, спожитий до 250 кВт-год електроенергії на місяць (включно)	21,54
за обсяг, спожитий понад 250 кВт-год електроенергії на місяць	28,02
для багатодітних, прийомних сімей та дитячих будинків сімейного типу незалежно від обсягів споживання електроенергії	21,54
1.4. Населенню, яке проживає в багатоквартирних будинках населених пунктів (міст, сіл, селищ), не газифікованих природним газом і в яких відсутні або не функціонують системи централізованого теплопостачання	21,54
2. Електроенергія, що відпускається:	
2.1. Населеним пунктам (крім гуртожитків сімейного типу)	36,48
гуртожиткам сімейного типу	28,02
2.2. Населеним пунктам у сільській місцевості, крім гуртожитків сімейного типу	33,72
гуртожиткам сімейного типу в сільській місцевості	25,92
2.3. Населеним пунктам з будинками, обладнаними кухонними електроплитами, електроопалювальними установками (зокрема у сільській місцевості), крім гуртожитків сімейного типу	28,02
гуртожиткам сімейного типу, що розташовані в будинках, обладнаними кухонними електроплитами, електроопалювальними установками (зокрема у сільській місцевості),	21,54

**Парціальний тиск насиченої пари Е, Па,
залежно від температури для температур від 0 до -30 °С**

T	E	t	E	t	E	T	E
0	610,6	-6,0	368,0	-12,0	217,3	-18,0	125,3
-0,2	601,3	-6,2	362,6	-12,2	213,3	-18,2	122,6
-0,4	591,9	-6,4	356,0	-12,4	209,3	-18,4	120,0
-0,6	581,3	-6,6	350,6	-12,6	206,6	-18,6	116,0
-0,8	573,3	-6,8	344,0	-12,8	202,6	-18,8	114,7
-1,0	562,6	-7,0	337,3	-13,0	198,6	-19,0	113,3
-1,2	553,3	-7,2	332,0	-13,2	194,6	-19,2	110,7
-1,4	543,9	-7,4	326,6	-13,4	190,6	-19,4	109,3
-1,6	534,6	-7,6	320,6	-13,6	188,0	-19,6	106,7
-1,8	526,6	-7,8	314,6	-13,8	184,0	-19,8	105,3
-2,0	517,3	-8,0	309,3	-14,0	181,3	-20,0	102,7
-2,2	509,3	-8,2	304,0	-14,2	178,6	-20,5	98,7
-2,4	499,9	-8,4	298,6	-14,4	174,6	-21,0	93,3
-2,6	491,9	-8,6	293,3	-14,6	172,0	-21,5	89,3
-2,8	483,9	-8,8	289,3	-14,8	168,0	-22,0	85,3
-3,0	475,9	-9,0	284,0	-15,0	165,3	-22,5	81,3
-3,2	467,9	-9,2	278,6	-15,2	162,6	-23,0	77,3
-3,4	459,9	-9,4	273,3	-15,4	158,6	-23,5	73,3
-3,6	451,9	-9,6	268,0	-15,6	156,0	-24,0	69,3
-3,8	445,3	-9,8	264,0	-15,8	153,3	-24,5	65,3
-4,0	437,3	-10,0	260,0	-16,0	150,6	-25,0	62,7
-4,2	429,3	-10,2	254,6	-16,2	148,0	-25,5	60,0
-4,4	422,6	-10,4	250,6	-16,4	145,3	-26,0	56,0
-4,6	414,6	-10,6	245,3	-16,6	142,6	-27,0	50,7
-4,8	408,0	-10,8	241,3	-16,8	140,0	-28,0	45,3
-5,0	401,3	-11,0	237,3	-17,0	137,3	-29,0	41,3
-5,2	394,6	-11,2	233,3	-17,2	134,6	-30,0	37,3
-5,4	388,0	-11,4	229,3	-17,4	132,0		
-5,6	381,3	-11,6	225,3	-17,6	129,3		
-5,8	374,6	-11,8	221,3	-17,8	128,0		

**Парціальний тиск насиченої пари Е, Па,
залежно від температури для температур від 0 до 30 °С**

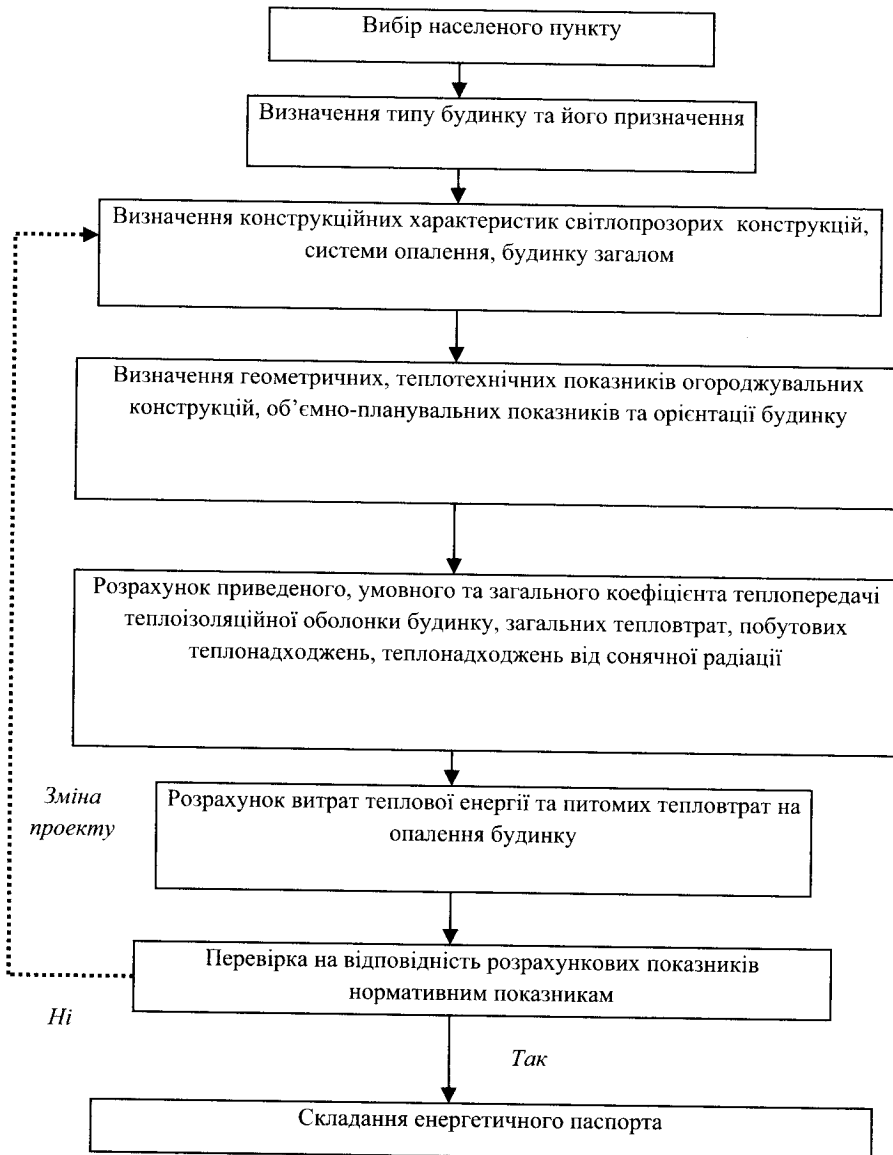
t	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065
8	1072	1080	1088	1095	1103	1109	1117	1125	1132	1140
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220
10	1228	1236	1244	1253	1261	1269	1279	1287	1295	1304
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1393
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2012	2025	2037	2050
18	2064	2077	2089	2102	2115	2129	2142	2156	2169	2182
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471
21	2488	2502	2517	2538	2542	2564	2580	2596	2612	2628
22	2644	2660	2676	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544
27	3567	3586	3608	3628	3649	3672	3692	3714	3736	3758
28	3782	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3937	3960	3982
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466

Температура повітря найхолодніших діб

Область, пункт	Температура повітря найхолодніших діб, °С, забезпеченістю			
	0,8	0,7	0,6	0,5
Вінницька обл., м. Вінниця	—24	—21	—20	—18
Волинська обл., м. Луцьк	—22	—20	—19	—17
Дніпропетровська обл., м. Дніпропетровськ	—24	—22	—20	—18
Донецька обл., м. Донецьк	—25	—23	—21	—19
Житомирська обл., м. Житомир	—23	—22	—20	—19
Закарпатська обл., м. Ужгород	—19	—17	—15	—13
Запорізька обл.				
м. Бердянськ	—19	—18	—16	—15
м. Запоріжжя	—22	—20	—18	—17
Івано-Франківська обл., м. Івано-Франківськ	—22	—20	—18	—17
Київська обл., м. Київ	—23	—21	—19	—18
Кіровоградська обл., м. Кіровоград	—23	—21	—19	—18
Кримська обл.				
м. Джанкой	—18	—16	—14	—13
м. Євпаторія	—16	—14	—12	—11
м. Севастополь	—12	—11	—9	—8
м. Сімферополь	—18	—16	—14	—13
м. Феодосія	—17	—15	—18	—11
м. Ялта	—7	—6	—5	—4
Львівська обл., м. Львів	—20	—19	—17	—16
Луганська обл., м. Луганськ	—27	—25	—22	—21
Миколаївська обл., м. Миколаїв	—21	—19	—16	—15
Одеська обл.				
м. Любашівка	—21	—19	—17	—15
м. Одеса	—18	—16	—14	—12
Полтавська обл., м. Полтава	—25	—23	—21	—21
Рівненська обл., м. Рівне	—23	—21	—19	—17
Сумська обл., м. Суми	—26	—24	—22	—20
Тернопільська обл., м. Тернопіль	—22	—20	—18	—16
Харківська обл., м. Харків	—26	—23	—22	—21
Херсонська обл., м. Херсон	—21	—19	—16	—15
Хмельницька обл., м. Хмельницький	—22	—20	—18	—16
Черкаська обл., м. Черкаси	—24	—22	—20	—19
Чернігівська обл., м. Чернігів	—25	—23	—21	—20
Чернівецька обл., м. Чернівці	—21	—19	—16	—15

**Порівняння основних показників традиційних
будівельних матеріалів з неавтоклавним ніздрюватим бетоном**

Показники	Од. вим.	Цегла		Керамзито- бетон	Газобетон	Пінобетон не авто- клавний
		керамічна	силікатна			
Середня густина	кг/м ³	1600–1800	1800	800–1800	600–800	300–1800
Маса 1 м ² у “півцеглини”	кг	1200–1800	1450–2000	500–900	90–900	90–900
Теплопровідність	Вт/(м·К)	0,60–0,95	0,85–1,15	0,75–0,95	0,07–0,38	0,07–0,38
Морозостійкість	марка	F25	F25	F25	F35	F35
Водопоглинання	% за масою	12	16	18	20	8–10
Границя міцнос- ті при стиску	МПа	3,5–30	7,5–30	3,5–7,5	0,5–25,0	0,25–12,5

**АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ
ТА СКЛАДАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАСПОРТА**

Одиниці вимірювання фізичних величин

Фізична величина	Позначення	Одиниці вимірювання		
		назва	позначення	співвідношення одиниць
Довжина	s, l	метр	м	1 м = 100 см
		кілометр	км	1 км = 1000 м
		сантиметр	см	1 см = 0,01 м
		міліметр	мм	1 мм = 0,001 м
Площа	A, S, F	метр квадратний	м ²	1 м ² = 100 дм ²
		дециметр квадратний	дм ²	1 дм ² = 0,01 м ²
		сантиметр квадратний	см ²	1 см ² = 0,0001 м ²
Об'єм	V	метр кубічний	м ³	1 м ³ = 1000 дм ³
		дециметр кубічний	дм ³	1 дм ³ = 0,001 м ³
		сантиметр кубічний	см ³	1 см ³ = 0,000001 м ³
		літр	л	1 л = 0,001 м ³
Час	t, τ	секунда	с	1 с = 1/60 хв = 1/3600 год
		хвилина	хв	1 хв = 60 с
		година	год	1 год = 3600 с = 60 хв
Маса	m	кілограм	кг	1 кг = 1000 г
		грам	г	1 г = 0,001 кг
		тонна	т	1 т = 1000 кг
Густина	ρ	кілограм на метр кубічний	кг/м ³	1000 кг/м ³ = 1 кг/дм ³ =
		кілограм на дециметр куб.	кг/дм ³	= 1 г/см ³ =
		грам на сантиметр кубічний	г/см ³	= 1 т/м ³
Сила	F, Q	Ньютон	Н	1 Н = 0,102 кгс
		кілограм сила	кгс	0,102 кгс = 1 Н
Тиск, напруження	P	Паскаль атмосфера технічна	Па	1 Па = 1 Н/м ²
			ат; кгс/см ²	1 кгс/см ² = 1 ат ≈ 0,1 МПа
			мм Н ₂ O	1 кгс/мм ² = 9,80665 МПа ≈ 10 МПа
				1 ат (фізич.) = 101,325 кПа ≈ 0,1 МПа
				1 Н/м ² = 1 Па
				1 МН/м ² = 1 Н/мм ² = 1 МПа = 10 ⁶ Па
				1 ат = 1 кгс/см ² = 98066 Па ≈ 0,1 МПа
1 мм Н ₂ O = 9,807 Па				
Робота енергія, тепло (ентальпія)	W, A, L, E	Джоуль	Дж	1 кВт·год = 3,6 · 10 ⁶ Дж =
		Кіловатт-година	кВт·год	= 3,6 МДж
		калорія	кал	1 кал = 4,19 Дж
Потужність	P, N	Ват кілокалорія на годину	Вт, ккал/год	1 Вт = 1 Дж/с 1 ккал/год = 1,163 Вт
Температура	T, t	Кельвін градус Цельсія	К °С	0 °С = 273,15 К ΔT = 1 °С = 1 К
Теплоємність	c	Джоуль на кілограм Кельвін калорія на грам Кельвін	кДж/(кг·К) кал/(г·К)	1 кДж/(кг·К) = = 0,239 ккал/(кг·К) 1 кал/(г·К) = 4,187 Дж/(г·К)

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Саницький Мирослав Андрійович
Позняк Оксана Романівна
Марущак Уляна Дмитрівна

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ
ТЕХНОЛОГІЇ
В БУДІВНИЦТВІ**

Редактор *Оксана Чернигевич*
Коректор *Наталія Колтун*
Технічний редактор *Лілія Саламін*
Комп'ютерне верстання *Галини Сукмановської*
Художник-дизайнер *Галина Суха*

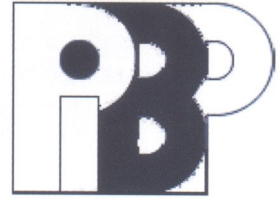
Здано у видавництво 14.10.2013. Підписано до друку 20.11.2013.
Формат 70×100^{1/16}. Папір офсетний. Друк на різнографі.
Умовн. друк. арк. 18,9. Обл.-вид. арк. 16,4.
Наклад 300 прим. Зам. 131013.

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.

вул. Ф. Колесси, 2, Львів, 79000
тел. +380 32 2582146, факс +380 32 2582136
vlp.com.ua, ел. пошта: vmr@vlp.com.ua

ВІДКРИТИЙ ЛИСТ

Звернення до преси,
політичних партій та урядовців



Запрошую всіх до інтерактивного діалогу



Часто висловлюється думка про необхідність розвитку атомної енергетики як моста в майбутнє, проте при цьому не враховуються можливості одночасного подолання причин високого споживання енергії. В такий спосіб і надалі підтримується енергетичне лобі, якому вигідне велетенське споживання енергії. Разом з тим, можемо вибрати інший шлях, оснований на обміні знаннями й безперервному навчанні. Цей шлях дає реальні переваги та забезпечує справді збалансований розвиток.

Закликаю підтримати поширення знань, які уможливають подальший прогрес завдяки інноваційним рішенням.

Найбільші резерви енергії на Землі – в енергетичній ефективності в усіх сферах життя, завдяки якій ми можемо заощадити більше енергії,

ніж одержати зі всіх відомих викопних джерел енергії на планеті (вугілля, нафта, газ). Тоді нам не буде потрібна атомна енергія.

Будинки

Найбільшим є споживання енергії і тому найвищий потенціал його зниження в будинках, де ми проводимо часто до 90 % нашого життя.

Досягти високої енергетичної ефективності будинків не тільки можливо, але й вкрай необхідно. Енергозберігаючі заходи підвищують комфортність і покращують санітарно-гігієнічні умови перебування людей у будинках.

Власне, у приміщеннях споживається близько 40 % всієї первинної енергії. Цей рівень можна знизити до 4 %, заощадивши до 90 % первинної енергії. Таке значне зниження споживання енергії в будинках дасть змогу заощадити 36 % кількості енергії, що споживається в усій Європейській спільноті.

Лише забезпечивши ощадність на такому рівні, можна повністю задовольнити енергетичні потреби будинків за рахунок відновлюваних джерел енергії. Вирішенням цієї проблеми є спорудження **пасивних та нульенергетичних будинків**. Це стало очевидним у країнах ЄС, а Європейський парламент вже прийняв відповідні рішення, а саме:

- резолюція Європарламенту від 31 січня 2008 року про план заходів із раціоналізації споживання енергії визначає способи використання енергетичного потенціалу, зокрема пункт 29: “закликає Комісію до розроблення вимоги, яка зобов’язує з 2011 року всі нові будинки, які потребують опалення чи кондиціонування, споруджувати відповідно до стандартів “пасивних будинків” або згідно з відповідними стандартами нежитлових будинків, а від 2008 року

виконувати вимоги щодо застосування пасивних рішень для опалення теплопостачання і кондиціонування”;

- директива Європарламенту і Ради Європи від 19 травня 2010 року щодо енергетичної характеристики будинків, версія зі змінами, стаття 9, пункт 1, зобов’язує країни-члени ЄС “**від 31 грудня 2018 року нові будинки, які є власністю органів громадської влади, споруджувати як будинки з майже нульовим споживанням енергії**”, щоб до 31 грудня 2020 року усі новобудови були спорудами з майже нульовим споживанням енергії”.

Упровадження технологій пасивних і нульенергетичних будинків можливе також і під час термомодернізації та реновації старих, наявних об’єктів. Будинки спричиняють довготривалий вплив на споживання енергії і тому будівельні об’єкти, що підлягають реновації, повинні відповідати підвищеним вимогам щодо енергетичної ефективності.

Варто зауважити, що, модернізуючи старі будинки, тим самим можна швидко та суттєво зменшити безробіття. Про масштабність проблеми модернізації старих будівель може свідчити приклад Німеччини. Саме ця тенденція може стати дієвим імпульсом до подальшого економічного розвитку країни, а також зменшення безробіття у регіонах.

Транспорт

Другим за величиною джерелом енергії, що “дрімає”, є транспорт, який в ЄС поглинає близько 30 % первинної енергії. У цьому випадку потреба в первинній енергії може зменшитись на 30–70 %, тобто в середньому на 50 %. Загалом досягається зменшення до 15 % первинної енергії, яку споживає транспорт. Такого результату можна досягти, уникаючи за змогою бізнесових і навчальних відряджень та багатьох інших зайвих поїздок, які цілком можна замінити ефективним інноваційним способом – контактами через Інтернет.

Такі бізнесові зустрічі сьогодні у світі вже стали стандартом, який використовують провідні фірми міжнародного ринку, що прагнуть бути прогресивними й інноваційними. За допомогою Інтернету можна реалізувати ідею постійного навчання протягом всього життя. Все залежить тільки від нас самих.

ПІДСУМОК

Завдяки наведеним рішенням можна за дуже короткий період заощадити 51% (36 + 15) всієї первинної енергії, яка споживається сьогодні в ЄС. Ми заборгували її нашій матінці-Землі і майбутнім поколінням.

Завжди потрібно керуватися принципами, що “майбутнє – це прогрес через інновації” і “виробництво з пониженим споживанням енергії”. Єдиною перешкодою для такого розвитку є потужне енергетичне лобі, яке має великі кошти, щоб забезпечити власні нагальні інтереси. Іронією долі є те, що ми всі разом фінансуємо це лобі і групи його впливу.

Потрібен час для поширення інформації, яка дасть конкретні позитивні результати. Бажаю всім оптимізму в суспільній діяльності задля щастя і добробуту нашого та прийдешніх поколінь. Впевнений, що разом досягнемо значного успіху! Тільки від нас залежить, наскільки швидко.

*Гюнтер Шляговски
Директор Польського інституту
пасивного будівництва*

Dipl. Ing. Günter Schlagowski,
Beratungs – Büro und Wissenstransfer
Schwachhauser Ring 103
D 28213 Bremen
www.schlagowski.de

PIBP – Polski Instytut Budownictwa Pasywnego
Dipl. Ing. Günter Schlagowski Sp z o.o.
ul. Homera 55
PL 80-299 Gdańsk
www.pibp.pl



Саницький Мирослав Андрійович

Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки 2008 року, відмінник освіти України, дійсний член Академії будівництва України, Академії наук вищої школи, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельного виробництва Національного університету "Львівська політехніка".

Автор понад 370 опублікованих робіт, зокрема 11 монографій і навчальних посібників, 34 патентів та авторських свідоцтв.

Основний напрям наукової діяльності – будівельне матеріалознавство, розроблення ресурсощадних технологій будівельного виробництва, концепції енергоощадного та екологічного будівництва.



Позняк Оксана Романівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного виробництва Національного університету "Львівська політехніка".

Автор 100 наукових праць, зокрема одного посібника, 3 патентів.

Основний напрям наукової діяльності – енерго- та ресурсощадні технології будівництва, хімія та технологія модифікованих цементуючих систем та високофункціональних бетонів.



Марущак Уляна Дмитрівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного виробництва Національного університету "Львівська політехніка".

Автор 60 наукових праць, зокрема одного посібника, 3 патентів.

Основний напрям наукової діяльності – сучасні технології енергоефективних будівель та споруд, хімія та технологія цементів і бетонів.

ISBN 978-617-607-514-1



9 786176 075141 >