

Міністерство освіти і науки України
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка

О.І. Філоненко, О.І. Юрін

**БУДІВЕЛЬНА ТЕПЛОФІЗИКА ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ**

Навчальний посібник

Полтава 2015

УДК 697.1:536.2:69.022

Будівельна теплофізика огорожувальних конструкцій будівель:
Навч. посібник / О.І. Філоненко, О.І. Юрін. – Полтава: Полтавський
національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2015. – 328 с.

Рецензенти:

Г.Г. Фаренюк – доктор технічних наук, старший науковий
співробітник, директор Державного підприємства "Державний науково-
дослідний інститут будівельних конструкцій" (ДП НДІБК)

Т.А. Галинська – кандидат технічних наук, доцент кафедри
архітектури та міського будівництва Полтавського національного
технічного університету імені Юрія Кондратюка

У навчальному посібнику викладені основні дані про теплофізичні
властивості будівельних матеріалів, основи теплопередачі методики
теплотехнічних розрахунків зовнішніх огорожувальних конструкцій,
наведені приклади розрахунків та задачі для самостійної роботи студентів.

Посібник призначений для студентів спеціальності "Міське
будівництво і господарство", "Промислове та цивільне будівництво",
"Містобудування", "Архітектура будівель і споруд" та інженерно-
технічних працівників.

Відповідальний за випуск:

О.В. Семко – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
архітектури та міського будівництва Полтавського національного
технічного університету імені Юрія Кондратюка

Затверджено радою університету
Протокол № 10 від 21.04.2015 р.

ВСТУП

За останні роки проблема поліпшення теплофізичних якостей огорожувальних конструкцій будівель стала одною з найважливіших. Більшість будівель, що експлуатуються, вимагають великої кількості теплоти на опалення тому, що вони зводились у період, коли низькі ціни на енергоносії і занижені нормативи опору теплопередачі огорожувальних конструкцій поєднувались з вимогами прискорення темпів, зниження матеріалоємності будівництва та підвищення продуктивності праці. В наш час, в умовах необхідності жорсткої економії енергоресурсів, неможливе просте збільшення теплової та електричної потужності на опалення будинків. Тому зросли вимоги щодо точності прогнозування теплового і вологісного стану огорожувальних конструкцій на стадії їх проектування. Підвищення теплозахисту будівель та споруд є найбільш ефективним шляхом економії паливно-енергетичних ресурсів.

Споживання енергії в будівельній галузі складає 2,6 мільярди ГДж/год у рік, що складає 30% всієї споживаної енергії в Україні. Структура споживання енергії в будівельній галузі наступна: будівельні організації – 2%, підприємства промбудматеріалів – 11%, енергопостачання будинків – 87%. Величезна витрата палива поєднувалася з низькими вимогами до теплозахисту будівель. Так, наприклад, мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх огорожень будівель значно менше ніж в скандинавських країнах. Доля споживання енергії будівлями переважаюча, тому саме тут знаходиться основний резерв енергозбереження.

Будівельна теплофізика вивчає явища передачі тепла, переносу вологи, фільтрації повітря стосовно до будівництва.

Будівельна теплофізика, як наукова почала розвиток з 20-х років 20 століття (виділилась як окрема дисципліна з розділу загальної будівельної науки). Значний внесок в її розвиток зробили інженери-будівельники та інженери-теплотехніки: В.М. Мачинський, К. Ф. Фокін, В.М. Ільїнський, Б.Ф. Васильєв та ін. В 50-х роках в будівельній теплофізиці в зв'язку з дослідженнями А.В. Ликова та його фізико-математичної школи відбулися якісні зміни. Складні теплофізичні задачі в будівництві починають розв'язувати сучасними математичними і фізичними методами з використанням теорії подібності, методів аналогії і т.д. В цій дисципліні фізичні питання тісно пов'язані з технічними тому, що розрахунки можливого розвитку фізичних процесів потребують прийняття оптимального технічного рішення.

Знання будівельної теплофізики особливо важливе в сучасних умовах, при широкому використанні індустріальних багатошарових конструкцій, ефективних утеплювачів, підвищених вимогах до рівня теплозахисту будівель.

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Амплітуда коливань температур внутрішньої поверхні

максимальний відхил температури внутрішньої поверхні непрозорої огорожувальної конструкції від середньодобового значення при дії сонячної радіації в літніх умовах експлуатації

Анізотропні матеріали

матеріали, що відрізняються неоднаковими (механічними, оптичними, магнітними і ін.) властивостями по різних напрямках

Багатошарова огорожувальна конструкція.

огорожувальна конструкція, що складається по своєму перерізу з шарів матеріалу, теплофізичні характеристики яких відрізняються одне від одного не менше ніж на 20%

Відбивна ізоляція

дво- або тришаровий матеріал, до складу якого входить теплоізоляційний шар з теплопровідністю не більше $0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ з приформованим до його поверхні тонкого шару (шарів) матеріалів з високою відбивною властивістю (коефіцієнт чорноти $0,04-0,05$)

Енергетична ефективність будинку

властивість теплоізоляційної оболонки будинку та його інженерного обладнання забезпечувати оптимальні мікрокліматичні умови приміщень при фактичних або розрахункових витратах теплової енергії на опалення будинків

Енергетичний паспорт будинку

документ, що містить геометричні, енергетичні й теплотехнічні характеристики будинку, що спроектований або експлуатується, теплоізоляційної оболонки будинку, та встановлює їх відповідність до вимог нормативних документів

Ізотермічне зображення

теплове зображення з ізотермами

Ізотерма

область на тепловому зображенні, що складається з сукупності точок, ліній чи ділянок, які мають однакову густину інфрачервоного випромінення

IR камера

система для сприйняття інфрачервоного випромінення, що створює теплові зображення на базі дійсної радіаційної температури

Замкнений повітряний прошарок

прошарок, що надійно огорожений від повітря приміщення чи вулиці конструктивними шарами зі спеціальною герметизацією притворів і швів

Клас енергетичної ефективності

рівень енергетичної ефективності будинку за інтервалом значень питомої витрати теплової енергії на опалення будинку за опалювальний період

Коефіцієнт паропроникності

коефіцієнт, що визначає кількість вологи, що передається у вигляді пари через одиницю площі (m^2) шару матеріалу за одиницю часу (год.) при стаціонарному градієнті перепаду парціальних тисків водяної пари (1 Па/м)

Коефіцієнт повітропроникності

коефіцієнт, що визначає кількість повітря, що передається через одиницю площі (m^2) шару матеріалу за одиницю часу (год.) при стаціонарному градієнті перепаду тисків повітря (1 Па/м)

Коефіцієнт скління

відношення площі світлопрозорих конструкцій до загальної площі фасадної частини будинку

Коефіцієнт тепловіддачі

коефіцієнт, що визначає кількість теплоти, яка сприймається чи віддається одиницею площі (m^2) конструкції за одиницю часу при різниці температури середовища і температури поверхні конструкції, яка дорівнює 1 К

Коефіцієнт теплозасвоєння матеріалу

коефіцієнт, що визначає величину зміни теплового потоку, що проходить через поверхню матеріалу значної товщини при амплітуді коливання температури цієї поверхні на 1 °С з періодом 24 год.

Коефіцієнт теплопередачі

коефіцієнт, що визначає кількість теплоти, що передається через одиницю площі (m^2) конструкції за одиницю часу при різниці температур середовищ, що їх розділяє конструкція, яка дорівнює 1 К

Коефіцієнт теплопропускання сонцезахисного пристрою

величина, що дорівнює відношенню кількості тепла, що проходить через світловий проріз з сонцезахисним пристроєм, до кількості тепла, що проходить через відповідний світловий проріз без сонцезахисного пристрою

Коефіцієнт теплостійкості

коефіцієнт, що визначає величину зміни температури у матеріалі при гармонійній зміні температури зовнішнього середовища з періодом 24 год.

Лабораторні випробування

випробування ОК у кліматичних камерах у спеціальних випробувальних установках

Лінійний коефіцієнт теплопередачі

поправковий член для визначення впливу лінійного теплопровідного включення термічно неоднорідної огорожувальної конструкції на її теплоізоляційні характеристики, що враховує кількість теплоти у Ватах, яка передається через теплопровідне включення довжиною 1 м при різниці температур по обидві сторони конструкції в 1 К та визначається на підставі двомірних розрахунків

Лінійна масова повітропроникність

маса повітря, яке проникає за одиницю часу через 1 пог. м елемента огорожувальної конструкції

Масова повітропроникність

маса повітря, яке проникає за одиницю часу через 1 м² огорожувальної конструкції

Натурні випробування

випробування ОК в умовах експлуатації будинків або в умовах спеціально збудованих павільйонів

Непрозорі конструкції

ділянки теплоізоляційної оболонки будинку (стіни, покриття, перекриття тощо), до складу яких входить один і більше шарів матеріалів, що не пропускають видиме світло

Опір теплопередачі

величина, що визначає здатність конструкції чинити опір тепловому потоку, що через неї проходить, та є зворотною до коефіцієнту теплопередачі

Основне поле конструкції

масив огорожувальної конструкції, що визначає її опір теплопередачі і не має теплопровідних включень

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

Повітропроникність

властивість огорожувальної конструкції пропускати повітря під дією різниці тиску

Показник теплосвоєння шару матеріалу

показник, що визначає величину зміни теплового потоку, що проходить через внутрішню поверхню шару матеріалу в конструкції при амплітуді коливання температури зовнішньої поверхні конструкції на 1 °С за період 24 год.

Показник теплосвоєння поверхнею підлоги

показник, що визначає тепловий потік, що проходить через поверхню підлоги при підвищенні температури поверхні на 1 °С при безперервному тепловому контакті з її поверхнею

Приведений опір теплопередачі

середньозважений по площі опір теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, в якому враховується двомірне у перерізі конструкції перенесення теплоти і який визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань конструкції

Розрахункові значення параметрів навколишнього середовища

значення температури та вологості повітря, які встановлено в ДБН В.2.6-31 залежно від призначення досліджуваної ОК та температурної зони експлуатації будинку з ОК

Розрахункові теплові умови

сумісна тепла дія зовнішнього середовища на конструкцію, характерна для найбільш жаркого місяця, що враховує добову зміну температури зовнішнього повітря, особливості сонячного опромінювання зовнішньої поверхні конструкції та умови теплообміну між зовнішньою поверхнею конструкції та зовнішнім повітрям

Розрахункові умови експлуатації

розрахункові температура і вологість матеріалу, які визначають перенесення тепла і вологи через матеріал при його експлуатації в огорожувальних конструкціях

Світлопрозорі конструкції

ділянки теплоізоляційної оболонки будинку (вікна, балконні та вхідні двері, вітражі, фасадні системи, вітрини, ліхтарі тощо), що пропускають видиме світло

Теплова інерція конструкції

безрозмірний показник, який відображає швидкість поширення теплових хвиль у конструкції

Теплоємність масова

кількість теплоти, яку необхідно підвести чи відібрати від 1 кг матеріалу, щоб змінити його температуру на 1 К

Теплоізоляційна оболонка будинку

система огорожувальних конструкцій будинку, що забезпечує збереження теплоти для опалення приміщень

Теплопровідне включення

елемент огорожувальної конструкції, що розташований в її об'ємі паралельно напрямку теплового потоку, який має термічний опір менший від термічного опору основного поля більш ніж на 20 %

Теплопровідність

кількість теплоти, що передається через одиницю площі (m^2) шару матеріалу за одиницю часу (с) при стаціонарному градієнті температур 1К/м

Теплостійкість огорожувальної конструкції

властивість зберігати відносну стабільність температури на поверхні, орієнтованій у приміщення, при періодичних коливаннях теплової дії зовнішнього середовища

Термін ефективної експлуатації (розрахункова довговічність) теплоізоляційних виробів

експлуатаційний період, протягом якого виробни зберігають свої теплоізоляційні властивості на рівні проектних показників, що підтверджується результатами лабораторних випробувань і зазначено в умовних роках експлуатації (терміну служби)

Термічна неоднорідність

наявність зон загальною площею більш ніж 2% від внутрішньої поверхні конструкції з температурами, відмінними від середньозваженої температури основного поля більше ніж на 2 °С

Термографія

визначення та представлення розподілу поверхневої температури шляхом вимірювання густини потоку інфрачервоного випромінювання від поверхні, включаючи інтерпретацію випадкових механізмів, що створюють викривлення в теплових зображеннях

Теплове зображення

зображення, що створене за допомогою системи для сприйняття інфрачервоного випромінювання, яке представляє розподіл дійсної радіаційної температури поверхні

Термограма

теплове зображення, задокументоване фотографією дисплею камери, записане на відео, дискету чи у файл на жорсткий диск

Термомодернізація

комплекс ремонтно-будівельних робіт, спрямованих на підвищення теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій і забезпечення їхньої відповідності чинним нормам

Точковий коефіцієнт теплопередачі

поправковий член для визначення впливу точкового теплопровідного включення термічно неоднорідної огороджувальної конструкції на її теплоізоляційні характеристики, що враховує кількість теплоти у Ватах, яка передається через теплопровідне включення при різниці температур по обидві сторони конструкції в 1 К та визначається на підставі тримірних розрахунків.

1 ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ БУДИНКІВ

При архітектурно-конструктивному проектуванні будинків, зокрема їх огороджувальних конструкцій, розглядаються питання, пов'язані з явищами і законами фізики. Будівельна теплофізика вивчає процеси, що безпосередньо проходять в огороджувальних конструкціях в умовах експлуатації будинків, та встановлює методи розрахунків, які забезпечують необхідну довговічність і високу експлуатаційну надійність огорожень при найменших будівельних й експлуатаційних витратах.

Зовнішні огороджувальні конструкції будинків у теплотехнічному відношенні повинні задовольняти таким вимогам:

а) мати достатні теплозахисні властивості, що забезпечують зберігання теплоти в приміщеннях у холодний період року і захист приміщень від перегріву сонцем у теплий період року;

б) для виключення появи конденсату на внутрішніх поверхнях зовнішніх стін та стель верхніх поверхів і переохолодження тіла людини від тепловтрат випромінюванням, температура внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожень не повинна значно відрізнятись від температури внутрішнього повітря;

в) для зменшення охолодження приміщень і людей повітропроникність зовнішніх огорожень не повинна перевищувати припустимої межі;

г) вологість матеріалів огорожень не повинна перевищувати розрахункову (нормативну), тому що значне зволоження знижує теплозахисні властивості, довговічність огорожень і санітарно-гігієнічні якості приміщень.

За функціональним призначенням будинки поділяють на цивільні і промислові.

У групу цивільних входять житлові і громадські, у групу промислових – будинки, у яких проходять різноманітні виробничі процеси.

Будинки та їх окремі приміщення повинні задовольняти вимоги, що обумовлюють їх функціональне призначення. Виконання вимог до температурно-вологісного, світлового режиму, рухливості повітря в приміщеннях багато в чому визначається конструктивним рішенням зовнішніх огорожень. До зовнішніх огороджувальних конструкцій відносять зовнішні стіни, суміщені покриття, горищні покриття та перекриття неопалювальних горищ, перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами, світлопрозорі огороджувальні конструкції та входні двері.

Зовнішні огороджувальні конструкції, крім сприйняття статичних та динамічних навантажень від конструкцій будинку і технологічних

процесів, захищають приміщення від атмосферних впливів, вітру, температури, сонячної радіації, міського шуму.

За матеріалом розрізняють такі основні типи конструкцій стін: бетонні, кам'яні, дерев'яні, багатошарові з використанням ефективних утеплювачів.

Зовнішні огороження можуть бути одношарової і багатошарової конструкції. У багатошарових стінах і перекриттях виконання різних функцій покладається на різні матеріали. Функції міцності забезпечують бетон, камінь, дерево, метал тощо; функції теплоізоляції – ефективні утеплювачі з мінераловатних плит, пінополістиролу, легких засипок із шлаку, керамзиту й інших матеріалів; функції пароізоляції – рулонні матеріали (руберойд, фольга, поліетиленові плівки), щільний бетон, бітумні та інші мастики.

Експлуатаційні якості зовнішніх огорожень визначаються матеріалом, конструктивним рішенням огороження і значною мірою надійністю стикових з'єднань окремих його елементів.

2 МІКРОКЛІМАТ ПРИМІЩЕНЬ

Приміщення, у яких працюють люди, повинні забезпечувати визначений рівень комфорту. Стан комфорту – це суб'єктивне відчуття, що виникає у людей під комплексним впливом таких основних чинників: акустичної обстановки, кольору, температури, вологості, рухливості повітря тощо. При цьому необхідно враховувати економічну доцільність прийнятих технічних рішень.

Самопочуття й працездатність людини залежить від збалансованості виробітку тепла організмом та його втрат. У протилежному випадку може спостерігатися накопичення тепла і як наслідок перегрів організму або його дефіцит, що призводить до переохолодження організму.

Інтенсивність віддачі тепла людиною визначається станом мікроклімату приміщення.

Мікроклімат приміщень — це сукупність фізичних чинників та умов навколишнього середовища, які зумовлюють його тепловий стан і впливають на теплообмін людини.

Основними інструментами для створення в приміщенні оптимального мікроклімату є опалення, вентиляція і кондиціонування. У поєднанні з сучасними енергозберігаючими технологіями у будівництві, техніці та елементами автоматики ці системи дозволяють створити в приміщенні будь-якого типу здорове середовище, сприятливе для роботи і відпочинку людини.

Основними чинниками, які формують мікроклімат приміщень, є: температура, швидкість руху та вологість повітря, а також радіаційна

температура, тобто середня температура поверхонь огорожувальних конструкцій і предметів.

Температура повітря визначається термометрами (ртутними, спиртовими й електричними) та термографами в градусах за шкалою Цельсія.

Санітарні норми оптимального мікроклімату в житлових приміщеннях диференціюють для теплого і холодного періодів року і становлять:

температура в теплий період – 23–25 °С, в холодний – 20–22 °С;

відносна вологість повітря – 60–30% в теплий період, 45–30% у холодний період;

швидкість руху повітря в теплий період – не більше 0,25 м/с, у холодний період – не більше 0,1–0,15 м/с.

Допустимі санітарні норми мікроклімату в житлових приміщеннях:

температура в теплий період року – не більше 28 °С, у холодний період – 18–22 °С;

відносна вологість повітря 65% (в районах з відносною розрахунковою вологістю повітря більше 75% ця цифра становить, відповідно – до 75%);

швидкість руху повітря в теплий період – не більше 0,5 м/с, у холодний період – не більше 0,2 м/с.

Гradient температур повітря по висоті приміщення і по горизонталі не повинен перевищувати 2°С. Температура на поверхні стін житлового приміщення може бути нижче температури повітря в приміщенні не більше ніж на 4 °С, підлоги – на 2°С. Мінімальна температура на внутрішній поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків повинна бути не менше ніж 6 °С, а для непрозорих зон та елементів, включаючи стулки, імпости, стійки, ригелі тощо – не менше ніж температура точки роси, t_p , за розрахунковими значеннями температури й відносної вологості внутрішнього повітря.

Тепловий вплив на поверхню тіла людини потоку інфрачервоного випромінювання від нагрітих опалювальних конструкцій – 0,1 кал/см²хв.

Загальний тепловий баланс людини зумовлюється кількістю енергії, вироблюваною організмом, тепловіддачею людини, конвекцією, випромінюванням і витратами тепла на випаровування вологи, витратою теплоти (енергії) на механічну роботу, на протікання фізіологічних процесів (нагрів вдихуваного повітря, природний обмін речовин та ін.).

Кількість теплоти, вироблювана організмом, в основному залежить від інтенсивності виконуваної людиною роботи.

Роботи, які виконуються людьми, за ступенем інтенсивності поділяються на три категорії:

а) легкі, без систематичної фізичної напруги (робота швачки, робота на обчислювальній машині) – витрати енергії до 175 Вт;

б) середньої інтенсивності, пов'язані з ходьбою, перенесенням невеликих вантажів, виконувани стоячи (читання лекцій в аудиторії, механічна обробка деревини, робота зварника), – витрати енергії до 290 Вт:

в) важкі, пов'язані з постійною фізичною напругою (робота грабаря, коваля, спортивне плавання, підйом угору), – витрати енергії більше ніж 290 Вт.

Для створення комфортних умов при роботах, що не потребують значної фізичної напруги, температура повітря повинна бути більш високою, при важких роботах більш низькою.

Температура повітряного середовища залежить від теплоізолюючих якостей огорожувальних конструкцій, зовнішніх кліматичних умов, внутрішніх тепловиділень у приміщенні (опалення, технологічних процесів, людей) і повітрообміну.

Вплив зовнішнього клімату на тепловий режим огорожень та приміщень комплексне. Він визначається спільною дією декількох метеорологічних параметрів, котрі метеорологи спостерігають роздільно. Для зими такими параметрами клімату найчастіше є температура зовнішнього повітря і швидкість вітру. Для літнього періоду основними характеристиками клімату можна вважати сонячну радіацію й температуру зовнішнього повітря.

У холодний період року зовнішні огороження захищають приміщення від низьких зовнішніх температур і вітру, а система опалення підтримує в ньому визначену температуру.

У теплий період року огорожувальні конструкції повинні забезпечити необхідну теплостійкість будинку, тобто не припускати значних добових коливань температури у середині приміщення.

Зовнішні огорожувальні конструкції повинні мати необхідний опір теплопередачі і повітропроникнення, припустимий вологісний режим, відповідати вимогам гігієни й економіки.

Питання для самоперевірки

1. Чинники, що впливають на комфортність приміщень.
2. Чинники, що зумовлюють тепловий баланс організму людини.
3. Основні кліматичні параметри, що впливають на тепловий режим приміщень у холодний та теплий періоди року.

3 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Надійність результатів теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій забезпечується достовірністю вибору теплотехнічних показників (коефіцієнта теплопровідності λ , коефіцієнта теплозасвоєння S) використаних будівельних матеріалів. Ці показники залежать від виду матеріалу, пористості, вологості, інших чинників і визначаються, як правило, експериментально.

3.1. Пористість і густина

Більшість будівельних матеріалів – це пористі тіла. У загальному випадку зі збільшенням пористості матеріалу зменшується його теплопровідність і підвищується можливість його зволоження.

Густина матеріалу ρ характеризується масою матеріалу в об'ємі 1 м^3 , кг/м^3 .

Питома маса матеріалу g виражається масою одиниці об'єму речовини, з якої складається матеріал, за умови, що в матеріалі зовсім немає пор.

Густина матеріалу залежить від питомої маси матеріалу й пористості, а для сипучих матеріалів від ступеня ущільнення. Для будівельних матеріалів густина може коливатися від 40 до 7800 кг/м^3 , пористість – від 5 до 98%.

Пористість, густина і питома маса зв'язуються відношенням

$$p = \frac{g - \rho}{g} 100, \quad (3.1)$$

Чим більше пористість матеріалу, при фіксованій питомій масі, тим менше його густина і навпаки.

Задача 3.1 *Визначити густину матеріалу, коли відомо, що пористість матеріалу складає $p = 40\%$, а питома маса $g = 2400\text{ кг/м}^3$.
За формулою (3.1)*

$$\rho = \frac{p \cdot g}{100} = 2400 - \frac{40 \times 2400}{100} = 1440\text{ кг/м}^3$$

Задача 3.2 *Визначити пористість керамзитобетону, якщо відомо, що густина матеріалу складає $\gamma = 600\text{ кг/м}^3$, а питома маса матеріалу $g = 1440\text{ кг/м}^3$.*

За формулою (3.1):

$$p = \left(\frac{1440 - 600}{1440} \right) 100 = 58 \%$$

3.2. Вологість

Матеріал огорожувальних конструкцій унаслідок процесів сорбції і конденсації водяної пари завжди має деяку вологість, що впливає на теплозахисні якості огороження. Розрізняють вологість за масою та об'ємом.

Масове відношення води в матеріалі, %:

$$\omega_m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} 100, \quad (3.2)$$

де m_1, m_2 – маса матеріалу відповідно до та після висушування.
Об'ємна вологість, %:

$$\omega_o = \frac{V_1}{V_2} 100, \quad (3.3)$$

де V_1, V_2 – відповідно об'єм води, що утримується в матеріалі, і об'єм матеріалу.

При однаковому значенні об'ємної вологості для двох матеріалів з різною густиною величина масової вологості буде різною: для матеріалу з меншою густиною масова вологість більше, ніж для матеріалу з більшою густиною.

Якщо відома масова вологість матеріалу ω_m і його густина ρ , об'ємну вологість визначають за формулою

$$\omega_o = \frac{\omega_m \cdot \rho}{1000}, \quad (3.4)$$

де ρ – густина матеріалу в сухому стані, кг/м³.

Задача 3.3 Зразок матеріалу до висушування мав масу 600 г, після висушування – 560 г. Визначити масове відношення води в матеріалі.

За формулою (3.2.)

$$\omega_m = \frac{600 - 560}{560} 100 = 7,1 \%$$

3.3. Теплопровідність

Теплопровідність – це властивість матеріалу проводити теплоту крізь свою масу. Теплопровідність виражається коефіцієнтом теплопровідності λ , чисельно рівним кількості теплоти, яка сприймається чи віддається одиницею площі (м^2) конструкції за одиницю часу при різниці температури середовища і температури поверхні конструкції, яка дорівнює 1 К. Кількість теплоти Q , що проходить крізь однорідну плоску стінку товщиною δ , площею F при різниці температур на поверхнях $(\tau_1 - \tau_2)$ за час Z , визначається за формулою

$$Q = (\tau_1 - \tau_2)F \cdot Z \cdot \frac{\lambda}{\delta}, \quad (3.5)$$

звідки

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{(\tau_1 - \tau_2)F \cdot Z}. \quad (3.6)$$

Розрахункове значення λ матеріалів приймається з урахуванням умов експлуатації огорожувальних конструкцій, зумовлених вологісним режимом приміщень і зоною вологості території будівництва [18].

Для нових матеріалів коефіцієнти теплопровідності визначаються експериментально на зразках відповідно до [17].

Суть методу полягає у створенні стаціонарного теплового потоку, що проходить крізь плоский зразок визначеної товщини і направлений перпендикулярно до лицьових (найбільших) граней зразка, вимірюванні щільності цього теплового потоку, температури протилежних лицьових граней і товщини зразка.

Випробування теплопровідності та терміну ефективної експлуатації виконують на зразках у вигляді прямокутного паралелепіпеда, лицьові грані якого мають форму квадрата з довжиною сторони не менше ніж 300 мм. Під час проведення випробувань для визначення теплопровідності матеріалів допускається застосовувати зразки, лицьові грані яких мають форму квадрата з довжиною сторони не менше ніж 250 мм. Товщина зразка може становити від 20 мм до 50 мм.

Число зразків, необхідне для визначення ефективної теплопровідності або термічного опору, і порядок відбору зразків повинні бути вказані у стандарті на конкретний матеріал або виріб. Якщо у стандарті на конкретний матеріал або виріб не вказане число зразків, що підлягають випробуванню, ефективну теплопровідність або термічний опір визначають на п'яти зразках.

Коефіцієнт теплопровідності λ обчислюють за [17].

Величина коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів змінюється в досить широких межах – від $\lambda = 0,025$ Вт/(м·К) (мінеральна вата) до $\lambda = 3,49$ Вт/(м·К) (граніт, гнейс, базальт). Теплопровідність металів, що застосовуються у будівництві, ще вище: для чавуну – 50, сталі – 58, алюмінію – 221, міді – 407 Вт/(м·К). Величина коефіцієнта теплопровідності для одного й того ж матеріалу не є постійною величиною і залежить від його вологості та температури, а також напрямку теплового потоку.

Визначати коефіцієнт теплопровідності матеріалів можливо за емпіричними формулами.

Так в ISO/FDIS 10456:2007(E) пропонується визначати коефіцієнт теплопровідності за формулою:

$$\lambda = \lambda_o \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a, \quad (3.7)$$

де λ_o – коефіцієнт теплопровідності при вологості за першого набору умов, Вт/(м·К);

γ – щільність матеріалу, кг/м³;

F_T – коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнта теплопровідності від температури, визначаємо за формулою:

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)}, \quad (3.8)$$

де f_T – коефіцієнт перетворення температури;

T_1, T_2 – температура, °С, першого та другого набору умов;

F_m – коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнта теплопровідності від вологості за об'ємом, визначаємо за формулою:

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}, \quad (3.9)$$

де f_ψ – коефіцієнт перетворення вологості за об'ємом, за джерелом [43] для мінеральної вати $f_\psi = 4$;

ψ_1, ψ_2 – вологість за об'ємом, м³/м³, першого та другого набору умов визначається за формулами:

$$\psi_1 = \frac{U_1}{1000} \gamma;$$

$$\psi_2 = \frac{U_2}{1000} \gamma; \quad (3.10)$$

$U_1; U_2$ – вагова вологість, кг/кг,

F_a – коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнта теплопровідності при старінні матеріалу.

У формулі (3.9) коефіцієнти, що враховують зміну коефіцієнта теплопровідності від температури та старіння матеріалу не враховуємо.

У джерелі [45] пропонується визначати коефіцієнт теплопровідності за формулою:

$$\lambda = \lambda_o(1 + \Delta\lambda_w), \quad (3.11)$$

де λ_o – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·К), у сухому стані;

$\Delta\lambda_w$ – частка збільшення коефіцієнта теплопровідності матеріалу в залежності від зміни вологості визначаємо за формулами:

- для мінеральної вати

$$\Delta\lambda_w = 3,64 \cdot W^{0,65}$$

- для пінополістиролу

$$\Delta\lambda_w = 1,54 \cdot W^{0,4}$$

За нормами [44] вологість мінеральної вати та пінополістиролу за умовами експлуатації А складає 2 %, а за умовами експлуатації Б для мінеральної вати 5 %, а пінополістиролу 10 %. Використовуючи наведені формули визначаємо значення коефіцієнтів теплопровідності при цій величині вологості матеріалів. Результати розрахунку наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати

Розрахунок за	Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати, Вт/(м·К), при ваговій вологості, %		
	0	2	5
ДБН В.2.6-31:2006	0,049	0,064	0,081
ISO/FDIS 10456:2007(E)	0,049	0,04979	0,051
формулою (3.11)	0,049	0,063027	0,074446

На рисунку 3.1 наведені графіки залежності коефіцієнта теплопровідності мінеральної вати від вологості за різними джерелами.

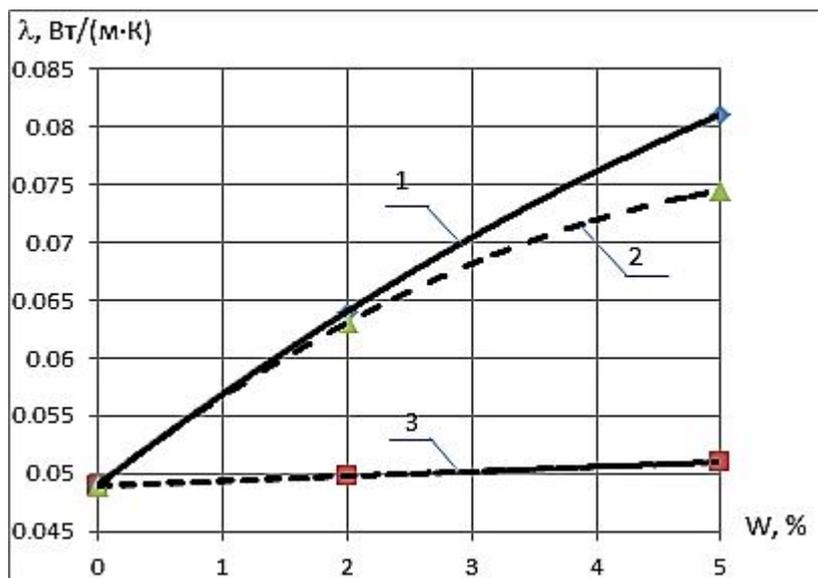


Рис. 3.1 Залежність коефіцієнта теплопровідності мінеральної вати від вологості за:

- 1 – ДБН В.2.6-31:2006;
- 2 – ISO/FDIS 10456:2007(E);
- 3 – джерело [45]

Як видно з графіків, на рисунку 3.1 значення коефіцієнта теплопровідності, що визначені за формулою (3.10), більш наближені до значень за ДБН В.2.6-31:2006.

Залежність коефіцієнта теплопровідності матеріалу від густини. Для одного й того ж виду будівельного матеріалу з різною густиною коефіцієнт теплопровідності не постійний. Для матеріалу з меншою густиною він менший, з більшою густиною – більший. Для прикладу на рис. 3.2 показана залежність коефіцієнта теплопровідності газобетону від його густини. Як видно, зміна коефіцієнта теплопровідності пов'язана зі зміною пористості будівельного матеріалу. Більшість будівельних матеріалів складаються з основи (кварцу, глинозему, кальциту і т.д.) і повітря, що знаходиться в порах.

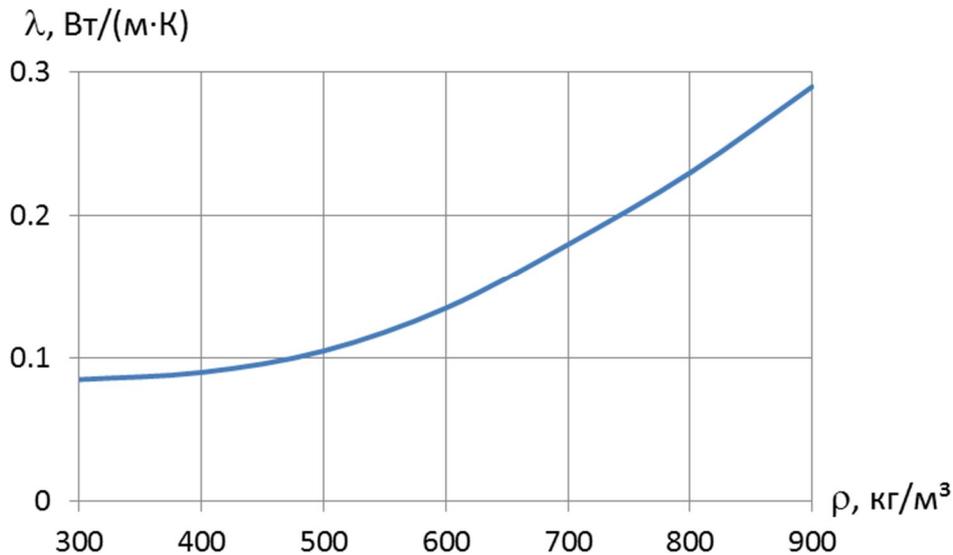


Рис. 3.2 Залежність коефіцієнта теплопровідності газобетона від густини

Коефіцієнт теплопровідності основи матеріалу має значення наведені в табл. 3.2, теплота в ньому передається тільки теплопровідністю. У дрібних порах теплота передається теплопровідністю і випромінюванням. При збільшенні розміру пор збільшується і наведений коефіцієнт теплопровідності повітря. Наприклад, при розмірі пор 0,1 мм $\lambda = 0,024$ Вт/(м · К), при розмірі пор 2 мм $\lambda = 0,031$ Вт/(м · К).

Наведений коефіцієнт теплопровідності матеріалу складається з коефіцієнтів теплопровідності основи матеріалу і повітря, що утримується в порах, пропорційно об'ємним концентраціям цих компонентів.

Таблиця 3.2

Коефіцієнт теплопровідності основи матеріалу

№	Будівельний матеріал	Значення коефіцієнту теплопровідності λ , Вт/(м · К)
1	Для органічних матеріалів	0,29 – 0,41
2	Для неорганічних матеріалів	3,25
3	Для кристалічних матеріалів	4,65 – 7,0
4	Кристалічних, при потоці тепла паралельно кристалічній поверхні	14,0
5	Для пластмас	0,17 – 0,35

Крім того, на теплопровідність матеріалу впливає величина контактних площадок між окремими частками матеріалу: чим більше площа таких площадок, тим вище коефіцієнт теплопровідності. Це

справедливо і для сипучих матеріалів. При зменшенні щільності й величини зерен зменшується величина повітряних прошарків між зернами і, як наслідок, знижується коефіцієнт теплопровідності. При збільшенні розмірів зерен коефіцієнт теплопровідності підвищується.

Залежність коефіцієнта теплопровідності матеріалу від його вологості. Як було сказано вище, будівельні матеріали в експлуатаційних умовах мають певну вологість. Волога, що потрапила в матеріал, утримується в порах. Коефіцієнт теплопровідності води $\lambda = 0,55 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, тобто в 20 разів більше, ніж коефіцієнт теплопровідності повітря в порах середнього розміру. Крім того, вода в порах збільшує розміри контактних площадок, що збільшує ефективний коефіцієнт теплопровідності.

Механізм заповнення матеріалів вологою такий, що більш інтенсивно заповнюються дрібні капіляри. Чим дрібніші капіляри, тим інтенсивніше відбувається капілярне всмоктування рідини. Тому якщо розглядати залежність теплопровідності від вологості, то найбільш інтенсивне збільшення коефіцієнта теплопровідності відбувається на початковій стадії зволоження, коли заповнюються саме дрібні капіляри, які є найбільш ефективними теплоізоляторами матеріалу в сухому стані.

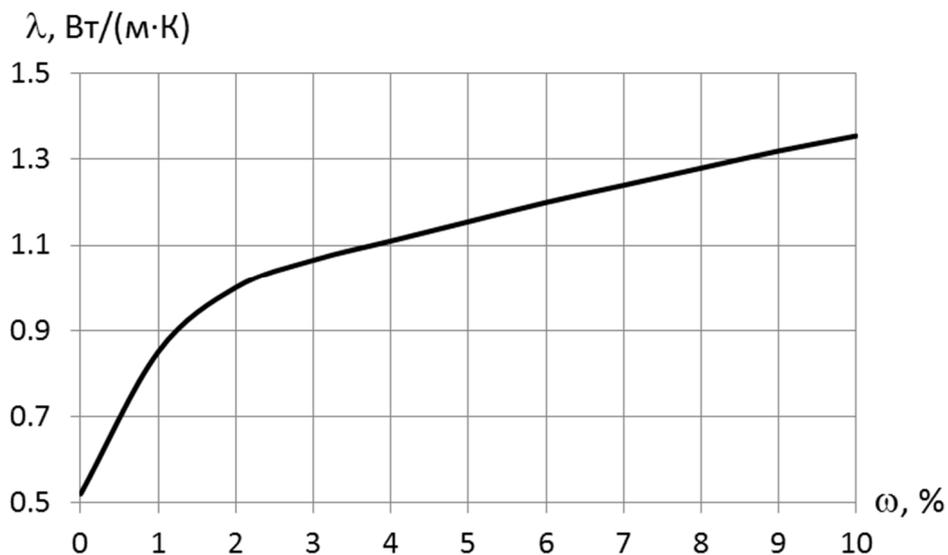


Рис. 3.3 Залежність теплопровідності керамічної цегли

При температурі нижче температури початку замерзання рідини в порах матеріалу утворюється кріофаза (іній, лід), що призводить до збільшення теплопровідності системи основа – рідина – кріофаза. Відбувається це тому, що коефіцієнт теплопровідності льоду становить $\lambda = 2,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, тобто в 5 разів більше ніж коефіцієнт теплопровідності води і в 100 разів більше коефіцієнта теплопровідності повітря в порах середнього розміру. При утворенні в порах матеріалу інею величина

коефіцієнта теплопровідності системи може знижуватися, оскільки теплопровідність пухкого інею менша теплопровідності води і льоду і становить $\lambda = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Температура фазового переходу вода – лід у порах матеріалу залежить від енергії зв'язку вологи з основою матеріалу, а отже і від його вологості. Причому чим вище енергія зв'язку, тим нижче температура замерзання рідини. Або чим сильніше зволожений матеріал, тим більше рідини перетвориться в лід за інших рівних умов.

При малій вологості матеріалу волога в порах може не замерзати і при $-40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Дані про величину коефіцієнта теплопровідності матеріалів у сухому стані, тобто величину коефіцієнта теплопровідності системи: основу матеріалу – повітря, наведені в ДСТУ Б В.2.6-189:2013.

Оцінка впливу величини вологості й криофази на теплопровідність матеріалу наведена в підручнику [39].

Теплопровідність збільшується з підвищенням вологості матеріалу. Тому значення коефіцієнтів теплопровідності наводяться в ДБН В.2.6-31-2006 для умов експлуатації огорожувальних конструкцій "А" і "Б", які визначають за таблицею 5.10 або [6], додатком К залежно від вологісного режиму приміщення (табл. 5.9 або [6], табл. Г.1). Режим приміщень може бути сухий, нормальний, вологий і мокрий.

Умови експлуатації "Б" характеризуються більшою вологістю матеріалів, унаслідок чого коефіцієнт теплопровідності за графою "Б" більший, ніж за графою "А": для бетонів на 10-15 %, цегляної кладки – 16-20 %, фанери – 20 %, сосни впоперек волокон – 21 %, уздовж волокон – 28 %.

Залежність коефіцієнта теплопровідності матеріалу від температури. Теплопровідність будівельних матеріалів зростає при підвищенні температури, що пов'язано зі збільшенням кінетичної енергії молекул основи матеріалу. Крім цього при збільшенні температури також зростає теплопровідність повітря, що знаходиться в порах будівельних матеріалів, а також інтенсивність передачі тепла в порах матеріалу випромінюванням (рис. 3.4).

Зміна теплопровідності внаслідок коливань температури має невелике значення в будівельній практиці, тому що перепади температур при експлуатації конструкцій не перевищують 100°C . При застосуванні ж будівельних матеріалів для теплоізоляції поверхонь, що мають високу температуру, вплив температури на коефіцієнт теплопровідності доводиться враховувати.

Залежність коефіцієнта теплопровідності матеріалу від напрямку теплового потоку. Цей ефект спостерігається тільки для анізотропних матеріалів. Значення коефіцієнта теплопровідності для деревини залежно від напрямку теплового потоку наведені у таблиці 3.3.

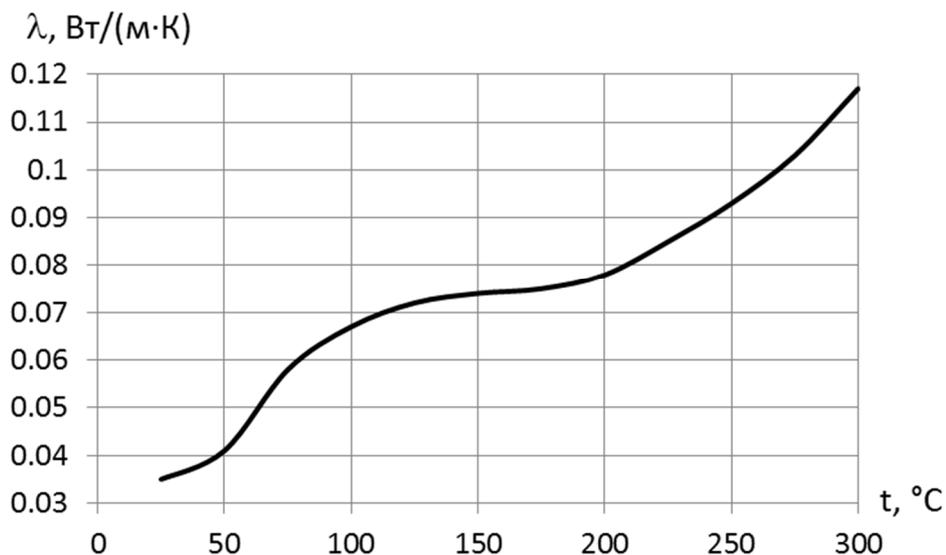


Рис. 3.4 Залежність теплопровідності мінераловатних матів від температури

Таблиця 3.3

Коефіцієнти теплопровідності деяких анізотропних матеріалів

Найменування матеріалу	Густина ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м · К)
Сосна і ялина поперек волокон	500	0,14
Сосна і ялина вздовж волокон	500	0,29
Дуб поперек волокон	700	0,18
Дуб вздовж волокон	700	0,35

Дане явище пояснюється тим, що при напрямку перпендикулярно до волокон тепловому потоку доводиться долати опір великої кількості дрібних капілярів з повітрям. При русі потоку теплоти уздовж волокон теплота проходить по стінках капілярів. Це явище треба враховувати при проектуванні теплозахисних конструкцій з деревини і шаруватих матеріалів.

Задача 3.4 Визначити кількість теплоти, що проходить крізь 1м² зовнішнього огороження за 1 годину. Товщина огороження $\delta = 0,35$ м, коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,33$ Вт/(м · К), температура внутрішньої поверхні $\tau_{вн} = 12$ °С, зовнішньої поверхні $\tau_{зн} = -25$ °С.

$$Q = (\tau_{вн} - \tau_{зн})F \cdot Z \cdot \frac{\lambda}{\delta} = (12 + 25) \times 1 \times 1 \times \frac{0,33}{0,35} =$$

$$= 35 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 126 \text{ кДж.}$$

Задача 3.5 *Визначити коефіцієнт теплопровідності матеріалу зовнішнього огородження товщиною $\delta = 0,3$ м, якщо через 1 м^2 його поверхні проходить тепловий потік 60 Вт при різниці температур на поверхнях огородження 40°C .*

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{(\tau_1 - \tau_2) F \cdot Z} = \frac{60 \times 0,3}{40 \times 1 \times 1} = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

3.4. Теплоємність

Теплоємність – це властивість матеріалів поглинати теплоту при підвищенні температури. Показником теплоємності є питома теплоємність матеріалу c , що дорівнює кількості теплоти в джоулях, необхідної для підвищення температури 1 кг матеріалу на 1 К .

У [18] питомі теплоємності наведені для будівельних матеріалів у сухому стані. Для матеріалів із заданою вологістю розрахункові значення питомої теплоємності

$$c = \frac{c_o + 0,0419\omega}{1 + 0,01\omega}, \quad (3.12)$$

де c_o – питома теплоємність матеріалу в сухому стані, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

ω – масове відношення води в матеріалі, %.

Якщо будівельний матеріал складається з декількох матеріалів, його питома теплоємність

$$c = \frac{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (3.13)$$

де c_1, c_2, \dots, c_n – питомі теплоємності складових матеріалів;

$m_1, m_2 \dots m_n$ – маси складових матеріалів.

Найбільшу теплоємність з будівельних матеріалів має дерево – $2,3 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, найменшу сталь і мідь – $0,42 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Теплоємність повітря при температурі $+20^\circ\text{C}$ становить $1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, теплоємність води $4,183 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Задача 3.6 *Визначити розрахункове значення питомої теплоємності керамзитобетону при його вологості 5% .*

$$c = \frac{c_0 + 0,0419\omega}{1 + 0,01\omega} = \frac{0,84 + 0,0419 \times 5}{1 + 0,01 \times 5} = 1 \text{ кДж/(кг/К)}$$

де $c_0 = 0,84 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ – питома теплоємність матеріалу в сухому стані [18].

Задачі для самостійного розв’язання

Задача 3.7 *Визначити дійсну густину матеріалу, якщо відомо, що середня його густина складає 800 кг/м^3 , а пористість – 40 %.*

Задача 3.8 *Зразок матеріалу до висушування мав масу 1 кг, після висушування 0,9 кг. Визначити масове відношення вологи в матеріалі.*

Задача 3.9 *Визначити, яка кількість теплоти проходить за добу крізь 1 м^2 зовнішнього огороження товщиною 0,3 м, якщо середня за добу різниця температур на його поверхнях складає $38 \text{ }^\circ\text{C}$, а коефіцієнт теплопровідності матеріалу огороження дорівнює $0,33 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.*

Задача 3.10 *Із зовнішньої огорожувальної конструкції вирубили зразок розміром $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$, маса якого 8 кг. У результаті лабораторних випробувань було визначено масове відношення вологи в матеріалі $\omega = 5\%$. Визначити пористість матеріалу, якщо відомо, що дійсна його щільність дорівнює 2400 кг/м^3 .*

Задача 3.11 *Тепловий потік, що проходить через 1 м^2 огорожувальної конструкції, дорівнює 30 Вт. Перепад температур на протилежних поверхнях огороження склав 30°C . Визначити коефіцієнт теплопровідності λ матеріалу огорожувальної конструкції, якщо її товщина 0,3 м.*

3.5. Теплозасвоєння матеріалів

Коефіцієнт теплозасвоєння матеріалу огороження S характеризує його здатність сприймати теплоту при коливанні температури на поверхні. Значення цього коефіцієнта залежно від теплофізичних властивостей матеріалу (λ , c , ρ) і циклічної частоти коливання температури $\omega = 2\pi/Z$

$$S = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho}{Z}}, \quad (3.14)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$; c – теплоємність, $\text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; ρ – щільність матеріалу, кг/м^3 .

Коефіцієнт S в заданий розрахунковий період часу Z залежить тільки від властивостей матеріалу, тому його можна вважати фізичною характеристикою матеріалу огороження.

Звичайно в теплотехнічних розрахунках огорожень крім підлоги приймають період коливання $Z = 24$ години, тоді

$$S_{24} = 0,51\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}, \quad (3.15)$$

При розрахунку теплозасвоєння підлоги період нестационарних теплових впливів умовно приймається рівним 6 годин замість 24 годин. При $Z = 6$ годин :

$$S_6 = 1,02\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho} = 2S_{24}, \quad (3.15)$$

Властивість теплозасвоєння матеріалу наочно ілюструє наступний приклад. Якщо стати босою ногою на підлогу із соснових дощок ($S_{24} = 3,6$ Вт/(м² · К)), а потім на бетонну ($S_{24} = 11,2$ Вт/(м² · К)), то в першому випадку здається, що підлога тепла, а в другому – холодна, хоч температура поверхні підлоги в обох випадках однакова. Це явище пояснюється тим, що організм людини реагує не на температуру навколишнього середовища, а на інтенсивність віддачі тепла тілом, тобто на тепловий потік. У випадку з дерев'яною підлогою буде відводитись менша кількість теплоти внаслідок невеликої величини теплозасвоєння деревини, що й дає відчуття теплої підлоги (табл. 3.4)

Таблиця 3.4

Коефіцієнти теплозасвоєння матеріалів

Назва матеріалу	Коефіцієнт теплозасвоєння S , Вт/(м ² · К)
Лінолеум	8,5
Залізобетон	17,9
Плити мінераловатні	0,6

Питання для самоперевірки

1. Пористість і густина будівельних матеріалів.
2. Вологість будівельних матеріалів та її вплив на теплопровідність.
3. Теплопровідність будівельних матеріалів.
4. Теплоємність та теплозасвоєння будівельних матеріалів.

4 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ ПОТОЦІ ТЕПЛОТИ

4.1. Теплопередача теплопровідністю

При наявності різниці температур у якомусь середовищі (твердому, газоподібному або рідкому) спостерігається процес передачі теплоти в напрямку від більш високої до більш низької температури.

Передача теплоти крізь огорожувальні конструкції проходить при нестационарному тепловому потоці, що зумовлюється нестационарністю зовнішніх і внутрішніх кліматичних впливів.

У холодний період року в опалюваних будинках теплота передається через зовнішні огороження з будинку. У приміщеннях, що охолоджуються, наприклад у низькотемпературних камерах холодильників, у теплий період року теплота передається в зворотному напрямку – в середину будинку.

Зважаючи на те, що розрахунок при стаціонарному тепловому потоці значно спрощується і забезпечує достатню точність, нормами будівельного проектування [6] припускається: розрахунки огорожувальних конструкцій для холодного періоду року виконувати за умови сталості в часі теплового потоку і температури огороження.

Для теплого періоду року розрахунок може проводитись як при стаціонарних, так і при нестационарних умовах залежно від задачі, яка вирішується.

Розрахунок теплопередачі огорожень, що мають виступи або кути, теплопровідні вкраплення, а також у місцях примикання їх до інших огорожень, виконується на підставі побудови температурного поля [41].

Теплопередача може здійснюватися теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням.

Теплопровідність як вид передачі теплоти характерна для твердого, рідкого і газоподібного середовищ.

Будівельні матеріали найчастіше бувають пористими. У їх порах можливі всі три види теплопередачі. При теплотехнічних розрахунках можна вважати, що розподіл теплоти в будівельних матеріалах відбувається лише за законами теплопровідності.

Процес теплопровідності в матеріальних прошарках огорожувальної конструкції підпорядковується закону Фур'є, який стверджує, що тепловий потік пропорційний градієнту температури.

Кількість теплоти, яка передається теплопровідністю через плоске однорідне огороження площею 1 м^2 за 1 годину, називається щільністю теплового потоку, Вт/м^2 :

$$q = \frac{\lambda}{\delta} = (\tau_1 - \tau_2), \quad (4.1)$$

де δ – товщина огороження, м;

τ_1, τ_2 – температура протилежних поверхонь огороження, °С.

Із (4.1) видно, що щільність теплового потоку прямо пропорційна теплопровідності матеріалу огороження, температурному напорові й обернено пропорційна товщині огороження.

4.2. Теплопередача конвекцією

Природна і вимушена конвекція може відбуватися в рідких та газоподібних середовищах. Перенос теплоти здійснюється частинками рідини або газу, що рухаються. Якщо рух частинок зумовлюється різною густиною речовини, викликані наявністю різниці температур у середовищі, має місце природна конвекція. Вимушена конвекція спостерігається, якщо рух частинок викликаний зовнішніми силами (загальною рухливістю повітря за рахунок аерації, штучним перемішуванням середовища і т.п.).

Кількість теплоти, яка передається конвекцією, залежить від режиму руху газу або рідини, їх щільності, в'язкості, від положення поверхні теплообміну в просторі, стану цієї поверхні й інших чинників.

У граничному прошарку рідини або газу передача теплоти відбувається конвекцією і теплопровідністю. Спільний вплив конвекції та теплопровідності називається конвективним теплообміном.

Відповідно до формули Ньютона тепловий потік при конвективному теплообміні повітря з поверхнею огороження

$$Q_k = \alpha_k(t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}})F, \quad (4.2)$$

де α_k – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, рівний тепловому потокові, переданому 1 м^2 поверхні огороження протягом 1 години при різниці температур між повітрям і поверхнею 1 °С , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$);

$t_{\text{вн}}, \tau_{\text{вн}}$ – температура відповідно повітря і поверхні, °С;

F – площа поверхні огороження, м^2 .

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією для вертикальних внутрішніх поверхонь зовнішніх стін і підлоги в опалюваних приміщеннях

$$\alpha_k = 1,66\sqrt{\Delta t}, \quad (4.3)$$

де $\Delta t = t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}$ – температурний перепад між температурою повітря і температурою внутрішньої поверхні огороження, °С.

Для горизонтальних поверхонь стель значення α_k , знайдене за (4.3), рекомендується збільшувати на 30 %.

Задача 4.1 *Визначити конвективний тепловий потік, переданий від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні вертикального огороження площею 10 м^2 , якщо температурний перепад між температурою повітря в приміщенні і температурою внутрішньої поверхні огороження $6 \text{ }^\circ\text{C}$.*

Конвективний тепловий потік за формулою (4.2):

$$Q_k = \alpha_k(t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}})F = 4,1 \times 6 \times 10 = 246 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній вертикальній поверхні зовнішнього огороження визначаємо за формулою (4.3)

$$\alpha_k = 1,66\sqrt{6} = 4,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

4.3. Теплопередача випромінюванням

Теплове випромінювання властиве всім тілам, що мають температуру вище від абсолютного нуля (-273°C).

Променева енергія поширюється в газовому середовищі або в пустоті. При взаємному променевому теплообміні двох поверхонь відбувається подвійне перетворення енергії: теплової у променисту на поверхні, що випромінює, і променевої в теплову на поверхні тіла, яке поглинає променеве тепло. Аналогічне перетворення променевої енергії має місце й у повітряному середовищі, до складу якого входять багатоатомні гази.

Щільність теплового потоку, переданого випромінюванням між двома поверхнями, що розташовані довільно в просторі,

$$q_{1-2} = \varepsilon_{\text{пр}1-2} \cdot c_o \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \phi_{1-2}, \quad (4.4)$$

де $\varepsilon_{\text{пр}1-2}$ – приведений відносний коефіцієнт випромінювання поверхонь, що знаходяться в променевому теплообміні;

$c_o = 5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

T_1, T_2 – абсолютні температури поверхонь, що знаходяться в променевому теплообміні, К;

ϕ_{1-2} – коефіцієнт опромінення, що виражає частку променевого тепла, що падає на поверхню 2, від усього потоку, який випромінюється поверхнею 1.

Значення відносного коефіцієнта випромінювання ε поверхонь різноманітних будівельних матеріалів приводяться в [1] (наприклад, цегла

– 0,93; фарби масляні – 0,81; гладка поверхня бетону – 0,62; алюміній матовий – 0,055).

При визначенні $\varepsilon_{\text{пр}}$ можливе взаємне розташування поверхонь у просторі зводиться до трьох випадків.

1. Дві паралельні поверхні, відстань між якими мала порівняно з їх розмірами

$$\varepsilon_{\text{пр1-2}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}. \quad (4.5)$$

2. Поверхня F_1 з усіх боків оточена поверхнею F_2

$$\varepsilon_{\text{пр1-2}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}. \quad (4.6)$$

3. Променевий теплообмін відбувається між поверхнями малої площі або велика відстань між цими поверхнями

$$\varepsilon_{\text{пр1-2}} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2. \quad (4.7)$$

Значення коефіцієнта опромінення φ не залежать від температури поверхонь, а визначаються тільки взаємним розташуванням і геометричними розмірами поверхонь, що беруть участь у променевому теплообміні [1].

4.4. Нормативні коефіцієнти теплосприйняття і тепловіддачі

Загальний коефіцієнт теплообміну α на поверхнях зовнішніх огорожувальних конструкцій дорівнює сумі коефіцієнтів конвективного $\alpha_{\text{к}}$ і променевого $\alpha_{\text{п}}$ теплообміну:

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{п}}, \quad (4.8)$$

Нормовані значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішніх $\alpha_{\text{в}}$ та зовнішніх $\alpha_{\text{зн}}$ поверхонь огорожувальних конструкцій наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої $\alpha_{\text{в}}$ та зовнішньої $\alpha_{\text{зн}}$ поверхонь огорожувальних конструкцій (дод. Б, [18])

№.	Тип конструкції	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К)	
		$\alpha_{\text{в}}$	$\alpha_{\text{зн}}$
1	Зовнішні стіни, суміщені покриття, перекриття над проїздами	8,7	23
2	Перекриття над холодними підвалами, що межують з холодним повітрям	8,7	17
3	Горищні покриття, перекриття над неопалюваними підвалами зі світловими прорізами у стінах, а також зовнішні стіни з вентиляльованим повітряним прошарком, що вентилюються зовнішнім повітрям	8,7	12
4	Горищні перекриття та перекриття над неопалюваними підвалами та техпідпіллями, що не вентилюються зовнішнім повітрям	8,7	6
5	Вікна, двері балконні та входні, вітражі, зовнішні стіни з опорядженням світлопрозорими елементами	8,0	23
6	Зенітні ліхтарі	9,9	23

4.5. Математичне формулювання задачі

Стаціонарний процес передачі тепла через огороження, коли всі параметри залишаються незмінними в часі, є найбільш простим випадком теплопередачі. В огорожувальних конструкціях, виконаних з твердих матеріалів, передача тепла від теплої поверхні конструкції до холодної здійснюється переважно шляхом теплопровідності.

В загальному вигляді кількість теплоти Q , яка передається теплопровідністю, виражається як

$$Q = -\lambda \cdot \text{grad } t \cdot F \cdot \tau, \quad (4.9)$$

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу конструкції, Вт/м · К;
 $\text{grad } t$ – градієнт температури у напрямку x , зворотному потоку тепла, °С;

F – площа, м²;

t – час, год.

Знак мінус відповідає тому положенню, що потік теплоти завжди направлений в бік зниження температур.

Для вирішення питань будівельної теплотехніки та для визначення температур в елементах конструкцій розраховують температурне поле.

Найпростішим є одновимірне стаціонарне температурне поле, яке для багат шарового огороження може визначатися диференціальним рівнянням

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right] = 0, \quad (4.10)$$

де $\lambda(x)$ – теплопровідність матеріальних шарів огороження.

Якщо лінійний масштаб перерізу огороження замінити масштабом термічних опорів $R = x/\lambda$, то вище наведене рівняння можна переписати у вигляді

$$\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} = 0. \quad (4.11)$$

Розподіл температур в огороженні визначається за формулою

$$t_x = t_{\text{вн}} - \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}}{R_{\Sigma}} \left(R_{\text{вн}} + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{x + \sum_{i=1}^m \delta_i}{\lambda_{(m+1)p}} \right), \quad (4.12)$$

де t_x – температура у довільному перерізі x огороження;

$t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{зн}}$ – температура внутрішнього і зовнішнього середовищ;

R_{Σ} – опір теплопередачі огороження;

t – кількість повних шарів огороження від внутрішньої поверхні до перерізу x ;

δ_i, λ_{ip} – відповідно товщина та коефіцієнт теплопровідності повних шарів огороження від внутрішньої поверхні до перерізу x ;

$\lambda_{(m+1)p}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару, де розташований переріз x .

В реальних конструкціях зовнішніх огорожень фактично не можна виділити площу, в межах якої забезпечується одновимірність температурного поля. Наявність в конструкції огороження теплопровідних включень у вигляді внутрішніх і зовнішніх виступаючих частин, примикань внутрішніх конструкцій призведе до виникнення в них складних дво- і тримірних температурних полів.

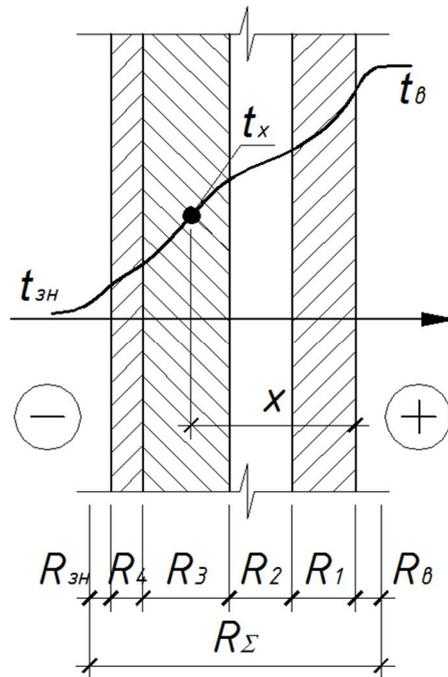


Рис. 4.1 Одномірне температурне поле багат шарового огородження

Диференціальне рівняння Лапласа для двомірного плоского температурного поля (при встановленому розподілі температур в однорідному температурному середовищі), розгляд якого часто є достатнім при рішенні задач будівельної теплотехніки, має вигляд

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0, \quad (4.13)$$

В неоднорідному матеріальному середовищі диференціальне рівняння плоского температурного поля має вигляд

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) = 0, \quad (4.14)$$

де λ – задане значення теплопровідності окремих частин двомірного перерізу огородження.

Рішення цього рівняння складніше, ніж рівняння для одновимірного температурного поля. Аналітичні методи можуть бути використані для обмеженого кола задач. Для переважної кількості практичних задач, коли поряд з двовимірністю поля приходиться враховувати його неоднорідність, аналітичні методи не можуть використовуватись. В цьому випадку використовуються чисельні методи, які достатньо точні та прості для розрахунку. До таких методів належить метод скінчених різниць або метод скінчених елементів. Для розрахунку потрібно визначити область моделювання та граничні умови [38].

Граничні умови I роду – завдання розподілу температури по поверхні тіла в будь-який момент часу. В окремому випадку $t_n(\tau) = const$, тобто температура на поверхні стала на протязі всього процесу теплообміну. В даній моделі сталою прийнято температуру ґрунту на глибині 6 м від денної поверхні, як середньорічну для відповідних кліматичних умов.

Гранична умова II роду – завдання щільності теплового потоку для кожної точки поверхні тіла, як функції часу. Окремий випадок складає сталість щільності теплового потоку $q_n(\tau) = const$. Ця умова прийнята для перерізів де температурне поле одномірне і $q_n(\tau) = 0$.

Гранична умова III роду – завдання температури навколишнього середовища і закону теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем. Тобто кількість тепла, яка передається в одиницю часу з одиниці поверхні тіла в навколишнє середовище з температурою t_c , наприклад, в процесі охолодження ($t_n > t_c$), прямо пропорційна різниці температур між поверхнею тіла і навколишнім середовищем $t_c(\tau)$, яка в загальному випадку є функцією часу

$$q_n(\tau) = \alpha[t_n(\tau) - t_c(\tau)],$$

де α – коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт теплообміну).

Граничні умови IV роду відповідають теплообміну поверхні тіла з обмежувачим середовищем (конвективний теплообмін тіла з рідиною) чи теплообміну контактуючих твердих тіл, коли температура контакту поверхонь однакова. При обтіканні твердого тіла потоком рідини (газу) передача тепла від рідини (газу) до поверхні тіла на незначній відстані від поверхні тіла відбувається по закону теплопровідності, тоді

$$T_{cm}(t) = [T_{cp}(t)]_{cm}$$

Крім рівності температур, має місце рівність потоків тепла, тобто

$$\lambda_{cp} \left(\frac{\partial t_{cp}}{\partial n} \right)_{cm} = \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_{cm}$$

4.6. Опір теплопередачі огородження

Для плоских огорожень або огорожень, які мають круговий обрис, кількість теплоти, що рухається крізь них,

$$Q = k_o(t_B - t_{зв})F \cdot Z, \quad (4.15)$$

де k_o – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² · К);

$t_{\text{в}}, t_{\text{зв}}$ – температура відповідно внутрішнього і зовнішнього повітря, °С;

F – площа огороження, м²;

Z – тривалість передачі теплоти, год.

Тепловий потік, що походить крізь огороження, переборює деякий опір R_o , який характеризується величиною, оберненою коефіцієнту теплопередачі $R_o = \frac{1}{k_o}$, і називається опором теплопередачі, м² · К/Вт.

Якщо замість різниці температур повітря підставити температуру внутрішньої $\tau_{\text{в}}$ і зовнішньої $\tau_{\text{зв}}$ поверхні, формула набуде вигляду

$$Q = k(\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{зв}})F \cdot Z, \quad (4.16)$$

де k – коефіцієнт теплопроникнення огороження, Вт / (м² · К).

Величина, обернена коефіцієнту теплопроникнення, називається термічним опором теплопередачі огороження $R = \frac{1}{k_o}$, м² · К/Вт.

При стаціонарних умовах теплопередачі тепловий потік, що проходить крізь огороження в будь-якому його перетині, не змінний. Температура буде знижуватися від $t_{\text{в}}$ до $t_{\text{зв}}$ (рис. 4.2).

Зниження температури викликано відповідним опором теплопередачі.

Загальний опір теплопередачі визначається формулою:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{в}} + R_{\text{к}} + R_{\text{зв}}, \quad (4.17)$$

де $R_{\text{в}}$ – опір тепловіддачі внутрішньою поверхнею, м² · К/Вт;

$$R_{\text{в}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}$$

$R_{\text{зв}}$ – опір тепловіддачі зовнішньою поверхнею, м² · К/Вт;

$$R_{\text{зв}} = \frac{1}{\alpha_{\text{зв}}}$$

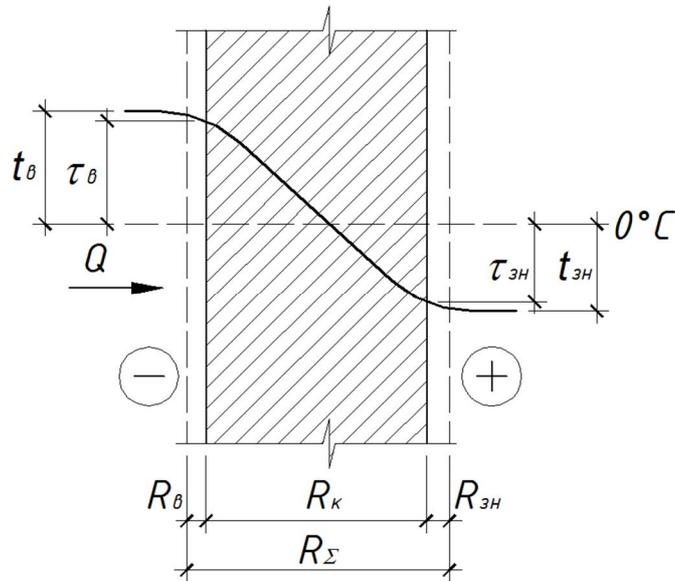


Рис. 4.2 Графік зниження температури в однорідному огороженні

R_{κ} – термічний опір огороження, $\text{м}^2\text{К/Вт}$.

Термічний опір огороження прямо пропорційний його товщині δ , м і обернено пропорційний коефіцієнту теплопровідності λ :

$$R_{\kappa} = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4.18)$$

Для багат шарового огороження термічний опір дорівнює сумі термічних опорів окремих прошарків:

$$R_{\kappa} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (4.19)$$

Термічний опір огороження не залежить від порядку розташування прошарків, проте теплостійкість огороження, розподіл температур та вологості по товщині огороження залежать від порядку розташування прошарків.

Задача 4.2 Визначити термічний опір прошарку м'яких мінераловатних плит товщиною 0,1 м (при умовах експлуатації А).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,1}{0,052} = 1,92 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $\lambda = 0,052 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – розрахунковий коефіцієнт теплопровідності мінераловатних плит (приймаємо за додатком А або таблицею А1 [18]).

Задача 4.3 *Визначити опір теплопередачі зовнішньої двошарової стінової панелі, внутрішній шар якої виконаний із важкого бетону $\rho_0 = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$, товщиною 0,1 м; теплоізоляційний – із керамзитобетону на керамзитовому піску $\rho_0 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, товщиною 0,18 м; зовнішній фактурний – із цементно-піщаного розчину $\rho_0 = 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$, товщиною 0,02 м. Умови експлуатації огорожувальної конструкції А.*

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{1,92} + \frac{0,18}{0,33} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} = 0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

де $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, приймаємо за табл. 4.1 або дод. Б., [18];

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – товщина відповідно внутрішнього, теплоізоляційного і зовнішнього фактурного шару стінової панелі, м;

$\lambda_1 = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\lambda_2 = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\lambda_3 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнти теплопровідності відповідно внутрішнього, теплоізоляційного і фактурного шару стінової панелі (додаток А. або таблиця А1., [18]).

$\alpha_{\text{зн}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції (табл. 4.1 або дод. Б., [18]).

4.7. Розрахунок температури по перетину огорожувальної конструкції

При оцінці теплотехнічних властивостей огорожувальної конструкції необхідно знати розподіл температури по їх перетину і на поверхнях. Температура внутрішньої поверхні огородження впливає на можливість конденсаційного зволоження поверхні огородження, що неприпустимо за санітарно-гігієнічними вимогами. Знати температури по перерізу необхідно для розрахунку вологісного режиму огородження.

Щільність теплового потоку q , що проходить крізь огородження прямо пропорційна температурному напорові $(t_{\text{в}} - t_{\text{зн}})$ і обернено пропорційна опору теплопередачі R_{Σ} огородження

$$q = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{зн}}}{R_{\Sigma}} \quad (4.20)$$

За аналогією щільність теплового потоку, що сприймається внутрішньою поверхнею,

$$q_{\epsilon} = \frac{t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon}}{R_{\text{в}}} \quad (4.21)$$

Оскільки при стаціонарних умовах теплопередачі крізь будь-який шар однорідний у площині, перпендикулярній до теплового потоку, проходить однаковий за щільністю тепловий потік $q = q_{\epsilon}$, прирівнюємо праві частини формул (4.20) – (4.21)

$$\frac{t_{\epsilon} - t_{\text{зн}}}{R_{\Sigma}} = \frac{t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon}}{R_{\epsilon}}$$

Звідки одержимо розрахункову формулу температури внутрішньої поверхні огороження τ_{ϵ}

$$\tau_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\text{зн}}}{R_{\Sigma}} R_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\text{зн}}}{R_{\Sigma} \cdot \alpha_{\epsilon}}. \quad (4.22)$$

У загальному вигляді формула для визначення температури в будь-якому перетині n по товщині огороження має вигляд

$$\tau_i = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\text{зн}}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \Sigma R_i \right) \quad (4.23)$$

де ΣR_i – термічний опір шарів огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, розташованих між внутрішньою поверхнею огороження та перетином де визначається температура.

Із цієї формули можна зробити важливий висновок, що підвищенню температури в шарах, розташованих із внутрішньої сторони огороження, сприяє виконання цих шарів із матеріалів із великими коефіцієнтами теплопровідності. Шари огороження з меншими коефіцієнтами теплопровідності варто розташовувати із зовнішньої сторони огороження. Такий принцип конструювання зовнішніх огорожень сприяє також поліпшенню вологісного режиму огорожувальної конструкції.

Щільність теплового потоку, що проходить крізь будь-який i -й шар багатошарового огороження визначається за формулою

$$q = \frac{\tau_i - \tau_{i+1}}{R_i} = \text{tq} \beta \quad (4.24)$$

де τ_i, τ_{i+1} – температури, $^{\circ}\text{C}$, на поверхнях шару матеріалу огороження;

R_i – термічний опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, i -го шару огорожувальної конструкції;

де β – кут нахилу лінії розподілу температури у товщі огороження, поданого в масштабі термічних опорів.

Більш наочним є графічний метод розрахунку температури в огороженнях.

Побудова лінії розподілу температур виконується в такий послідовності (див. рисунок 4.3):

1. Визначаємо опір тепловіддачі на внутрішній $R_{\text{в}}$ та зовнішній $R_{\text{зв}}$ поверхні огороження;

2. Визначаємо термічний опір шарів огорожувальної конструкції R_i ;

3. Поряд зі схемою огороження виконаною у лінійному масштабі будуємо схему де замість товщини шарів відкладають у масштабі величину термічного опору цих шарів R_i ;

4. З боків огороження відкладають величини опору теплообміну на внутрішній $R_{\text{в}}$ та зовнішній $R_{\text{зв}}$ поверхні;

5. На крайніх лініях схеми відкладають по вертикалі в масштабі значення температур $t_{\text{в}}$ та $t_{\text{зв}}$ та з'єднують їх прямою лінією. Точки перетину цієї лінії з вертикальними лініями є значеннями температури на межі шарів огороження та її поверхнях.

6. Переносимо отримані температури на схему виконану у лінійному масштабі;

7. З'єднуємо отримані точки та отримуємо графі розподілу температури по перетину огороження.

Нахил лінії більший (тобто спостерігається більш інтенсивне зниження температури) у матеріалах, що мають малу теплопровідність, і менший – у матеріалах, які мають більшу теплопровідність.

а)

б)

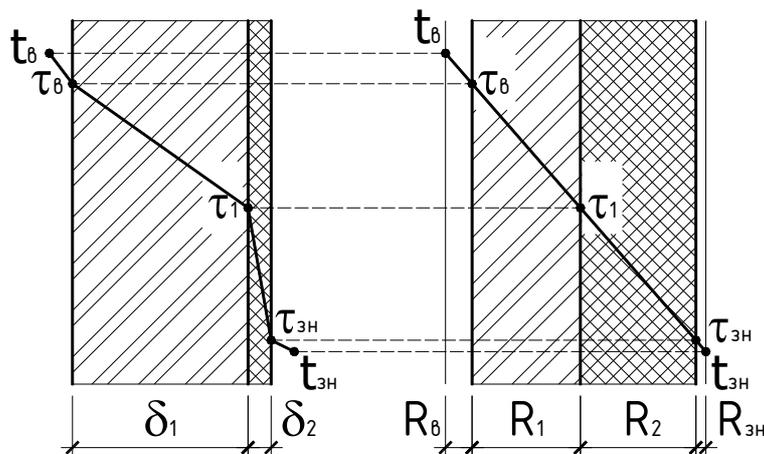


Рис. 4.3 Графічний метод визначення температур в огороженні:
а) схема перетину огороження в лінійному масштабі; б) схема перетину огороження в масштабі термічних опорів теплопередачі

Задача 4.10 Побудувати графоаналітичним методом графік розподілу температури по перетину зовнішньої стіни житлового будинку. Схема огороження наведена на рисунку 4.4. Кліматичні умови прийняти для міста Полтава.

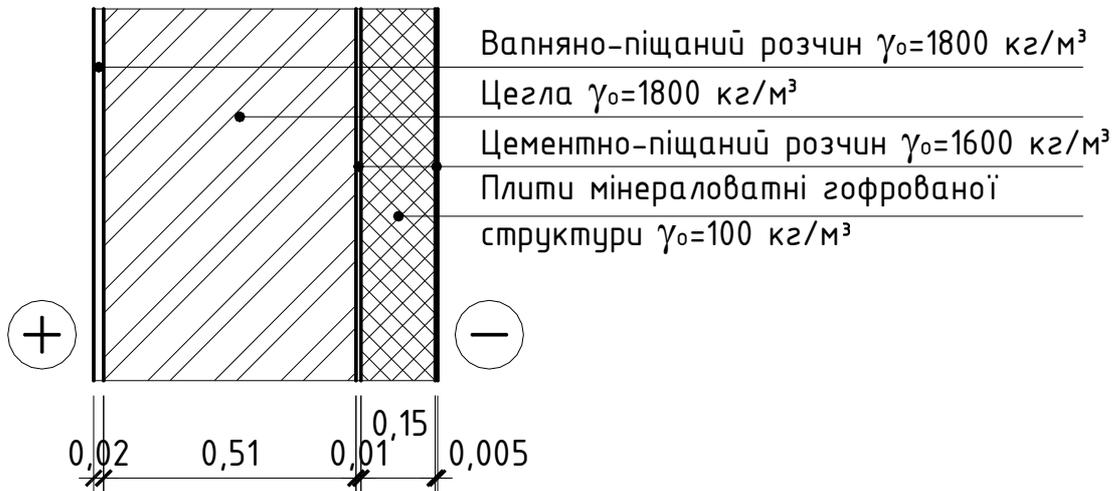


Рис.4.4 Розрахункова схема огороження

За таблицею 5.7 або дод. Г табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову температуру внутрішнього повітря – $t_g = 20^\circ\text{C}$.

За таблицею 5.7 або дод. Г табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову відносну вологість внутрішнього повітря – $\phi_g = 55\%$.

За таблицею 5.9 або дод. Г табл. Г.1 [6] визначаємо тепловологісний режим приміщення – нормальний;

За таблицею 5.10 або дод. К [6] визначаємо вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції – Б;

По додатком А або таблицею А1 [18] визначаємо розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції:

- | | |
|---------------------------|----------------------------------------------------------|
| - вапняно-піщаний розчин | $\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |
| - цегла | $\lambda_2 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |
| - цементно-піщаний розчин | $\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |
| - мінеральна вата | $\lambda_4 = 0,06 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |
| - цементно-піщаний розчин | $\lambda_5 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$ |

За таблицею 5.8 або дод. Ж [6] визначаємо розрахункову температуру зовнішнього повітря – $t_{\text{зн}} = -22^\circ\text{C}$.

Визначаємо термічний опір шару:

- вапняно-піщаного розчину за формулою

$$R_{\text{в.н}} = \frac{\delta_{\text{в.н}}}{\lambda_{\text{в.н}}} = \frac{0,02}{0,93} = 0,022 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

- цегли за формулою

$$R_{ц} = \frac{\delta_{ц}}{\lambda_{ц}} = \frac{0,51}{0,81} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

- цементно-піщаного розчину за формулою

$$R_{ц.п} = \frac{\delta_{ц.п}}{\lambda_{ц.п}} = \frac{0,01}{0,81} = 0,012 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

- мінеральної вати за формулою

$$R_{м.в} = \frac{\delta_{м.в.}}{\lambda_{м.в.}} = \frac{0,15}{0,06} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

- цементно-піщаного розчину за формулою

$$R_{ц.п} = \frac{\delta_{ц.п}}{\lambda_{ц.п}} = \frac{0,005}{0,81} = 0,006 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Визначаємо опір теплообміну на:

- внутрішній поверхні огородження за формулою

$$R_{в} = \frac{1}{\alpha_{в}} = \frac{1}{8,7} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де $\alpha_{в}$ – коефіцієнт теплообміну на внутрішній поверхні огородження. За таблицею 4.1 або дод. Б, [18] $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

- зовнішній поверхні огородження за формулою

$$R_{зн} = \frac{1}{\alpha_{зн}} = \frac{1}{23} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

$\alpha_{зн}$ – коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні огородження. За таблицею 4.1 або дод. Б, [18] $\alpha_{зн} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Поряд з огородженням виконаним у лінійному масштабі будуємо огородження у масштабі термічного опору (див. рисунок 4.4).

На крайніх лініях отриманої схеми відкладаємо температури внутрішнього та зовнішнього повітря. З'єднуємо ці температури прямою лінією. Точки перетину цієї лінії з вертикальними лініями є значеннями температури на межі шарів огородження та її поверхнях. Переносимо

отримані температури на схему виконану у лінійному масштабі. З'єднуємо отримані точки та отримуємо графік розподілу температури по перетину огороження.

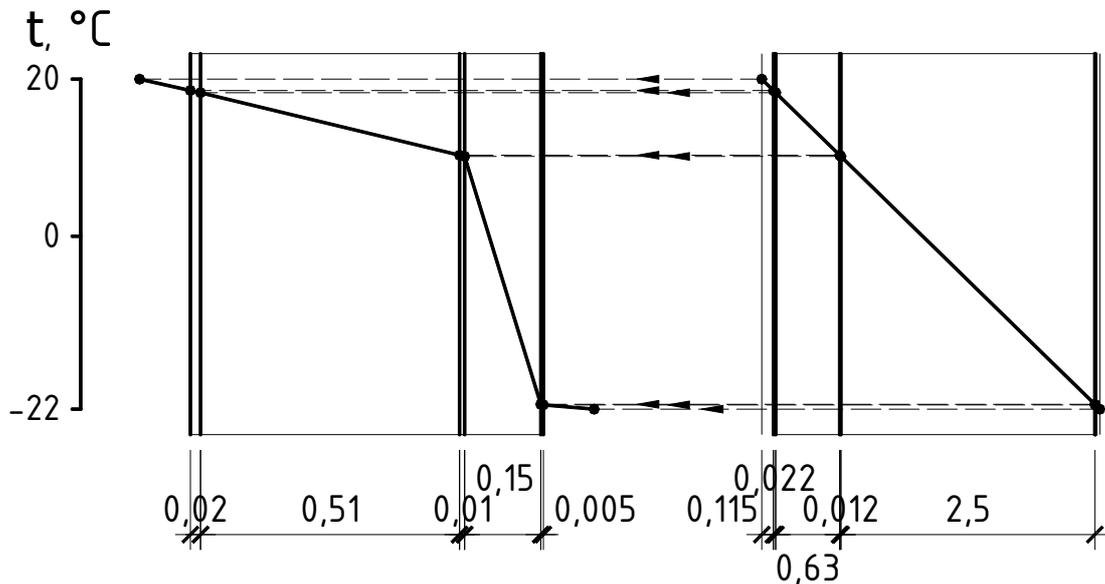


Рис.4.5 Побудова графіку розподілу температури по перетину огороження

Задача 4.11 Використовуючи дані задачі 4.10, обчислити температури на поверхнях огороження і в місцях сполучення шарів із різних матеріалів.

Визначаємо ці температури за формулами

- на внутрішній поверхні огороження

$$\tau_6 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_6} \right) = 20 - \frac{20 - (-22)}{3,316} \left(\frac{1}{8,7} \right) = 18,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- між вапняно-піщаним розчином та цеглою

$$\tau_1 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) = 20 - \frac{20 - (-22)}{3,316} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} \right) = 18,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- між цеглою та цементно-піщаним розчином

$$\tau_2 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) =$$

$$20 - \frac{20 - (-22)}{3,316} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,51}{0,81} \right) = 10,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- між цементно-піщаним розчином та мінеральною ватою

$$\tau_3 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) =$$

$$20 - \frac{20 - (-22)}{3,316} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} \right) = 10,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- між мінеральною ватою та цементно-піщаним розчином

$$\tau_3 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) =$$

$$= 20 - \frac{20 - (-22)}{3,316} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,15}{0,06} \right) = -21,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- на зовнішній поверхні огородження

$$\tau_{3H} = t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) =$$

$$= 20 - \frac{20 - (-22)}{3,316} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,005}{0,81} \right) = -21,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Питання для самоперевірки

1. Теплопередача теплоти теплопровідністю.
2. Теплопередача теплоти конвекцією.
3. Теплопередача теплоти випромінюванням.
4. Опір теплопередачі огорожувальної конструкції.
5. Алгоритм розрахунку температури по перетину огорожувальної конструкції.

5 ТЕПЛОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

При впливі різних за величиною температур на поверхні огородження необхідний і фактичний їх опір теплопередачі визначається за теплотехнічним розрахунком.

Відповідно до діючих директив теплотехнічні розрахунки виконуються для будівель цивільного та промислового призначення відповідно до вимог [6].

Кінцевою метою теплотехнічного розрахунку є визначення товщини утеплювача для прийнятого конструктивного рішення огородження та конкретних умов експлуатації.

5.1. Загальні положення вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель

Теплоізоляційні матеріали, як правило, застосовують для теплоізоляції зовнішніх огороджувальних конструкцій. У багатошарових огороджувальних конструкціях теплоізоляційні матеріали застосовують як теплоізоляційний шар. Теплоізоляційний шар у залежності від типу та густини теплоізоляційних виробів, що використовують, може виконуватись:

- одношаровим – на основі теплоізоляційних виробів одного типу та густини;
- багатошаровим – на основі двох або більше теплоізоляційних виробів різної густини та/або типу;
- комбінованим – на основі багатошарових теплоізоляційних виробів одного типу, виконаних із шарів різної густини, що сполучені між собою за рахунок як хімічної, так і фізичної адгезії.

У загальному випадку теплоізоляційні матеріали повинні відповідати вимогам нормативних документів на відповідний тип продукції: вироби з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому – ДСТУ Б В.2.7-167, ДСТУ Б В.2.7-169; вироби з мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна – ДСТУ Б В.2.7-56; вироби зі спіненого пінополістиролу – ДСТУ Б EN 13163; вироби з екструдованого пінополістиролу – ДСТУ Б EN 13164; вироби перлітобентонітові – ДСТУ Б В.2.7-15; вироби з ніздрюватих бетонів – ДСТУ Б В.2.7-45, ДСТУ Б В.2.7-164; пінополіуретани – ДСТУ Б В.2.7-150, ДСТУ Б В.2.6-187; вермикуліт спучений – ДСТУ Б В.2.7-280; пісок і щебінь перлітовий спучені – ДСТУ Б В.2.7-157; теплоізоляційні розчини та вироби з піноскла – вимогам чинної нормативно-технічної документації.

Вибір теплоізоляційного матеріалу здійснюють для наступних типів непрозорих конструкцій будівлі:

- заглиблених конструкцій будівлі, цокольних конструкцій;
- підлог по ґрунту;
- зовнішніх стін;
- перекриттів (цокольних, міжповерхових, горищних);
- покриття.

Визначальними при виборі теплоізоляційного матеріалу є наступні фізико-технічні показники якості згідно з ДСТУ Б В.2.7-195:

- гранична температура застосування;
- вологість;
- водопоглинання;
- морозостійкість;
- паропроникність;
- група горючості;
- міцність на стиск/границя міцності при стиску;
- стисливість;
- границя міцності при зсуві;
- границя міцності при розтягу у напрямку, перпендикулярному до поверхні;
- густина;
- правильність геометричної форми.

Додатково до перелічених вище показників необхідно керуватися наступними показниками якості:

- розрахункова теплопровідність;
- термін ефективної експлуатації.

Узагальнені технічні вимоги до фізико-технічних показників якості теплоізоляційних матеріалів у залежності від типу конструкції, де вони використовуються, наведені в таблиці 5.1.

Строк ефективної експлуатації теплоізоляційних виробів, що використовують для теплоізоляції заглиблених конструкцій будівлі, цокольних конструкцій, а також конструкцій фасадної теплоізоляції з опорядженням цеглою, повинен становити не менше ніж 50 років. Для інших конструкцій необхідно використовувати теплоізоляційні вироби зі строком ефективної експлуатації не менше ніж розрахунковий строк служби збірної конструктивної системи, але у всіх випадках не менше ніж 25 років.

Вибір теплоізоляційних матеріалів за показником горючості необхідно здійснювати за вимогами ДБН В.1.1-7, для конструкцій фасадної теплоізоляції – додатково за вимогами ДБН В.2.6-33, а для конструкцій покриттів – додатково за вимогами ДБН В.2.6-14.

Теплоізоляційний шар необхідно розташовувати із зовнішньої сторони несучої частини огорожувальної конструкції.

Товщину теплоізоляційного шару визначають за результатами розрахунку опору теплопередачі згідно пунктом 5.5 цього посібника.

Таблиця 5.1

Технічні вимоги до теплоізоляційних матеріалів (табл. 1, [18])

№	Найменування показника	Тип конструкції											
		Заглиблені конструкції будинку, цокольні конструкції	Зовнішні стіни з фасадною ізоляцією згідно з ДБН В.2.6-33				Підлоги по ґрунту та перекриття		Покриття			Тришарові конструкції ²⁾	
			класу А	класу Б	класу В	класу Г	по лагах	по монолітній стяжці	горищні	суміщені			
1	Гранична температура застосування °С, не менше	-	60	-	-	-	-	-	-	-	70	70	-
2	Вологість, %, не більше	0,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0
3	Водопоглинання при частковому зануренні, % за об'ємом, не більше	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Морозостійкість, циклів, не менше	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Паропроникність, мг/(м·год·Па), не менше	-	0,05	0,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Група горючості	-	Згідно з вимогами 5.3 ДБН В.2.6-33				НГ	-	Згідно з вимогами ДБН В.2.6-14			-	

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	Міцність на стиск/ границя міцності при стиску, МПа, не менше	0,2	0,03	0,01	0,01	-	-	0,025	-	0,04	0,05 ³⁾	0,06
8	Стисливість під навантаженням 2000 Па, %, не більше	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
9	Границя міцності при зсуві, МПа, не менше	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05
10	Границя міцності при розтягу у напрямку перпендикулярном у до поверхні, МПа	-	0,012	-	-	-	-	0,005	-	0,005	0,005	0,1
11	Густина, кг/м ³ , не менше	-	-	18	18	18	-	-	-	-	-	-
12	Строк ефективної експлуатації, умовних років, не менше	50	25	50	25	25	25	25	25	25	25	25

¹⁾ За кількістю шарів теплоізоляції різної густини.

²⁾ Конструкції заводського виготовлення з внутрішнім теплоізоляційним шаром.

³⁾ Для плит верхнього шару.

"-" означає, що показник не є визначальним для даного типу конструкції.

Характеристики теплопровідності теплоізоляційних матеріалів конкретного виробника в розрахункових умовах експлуатації необхідно приймати за результатами випробувань згідно з ДСТУ Б В.2.7-182. Результати проведених випробувань повинні підтверджуватися кожних п'ять років.

За відсутності даних теплопровідності теплоізоляційного матеріалу конкретного виробника в розрахункових умовах експлуатації допускається приймати значення розрахункової теплопровідності згідно з додатком А.

Розрахункові теплофізичні характеристики будівельних матеріалів при проектуванні необхідно приймати згідно з додатком А або таблицею А1 [18].

Емісія шкідливих хімічних речовин в атмосферне повітря від теплоізоляційних матеріалів, які використовують у конструкціях теплоізоляційної оболонки житлових та громадських будівель, не повинна перевищувати граничнодопустимих концентрацій (ГДК) і повинна відповідати вимогам ДСП 201.

Теплоізоляційні матеріали, що використовують у конструкціях теплоізоляційної оболонки будинків, повинні відповідати вимогам ДГН 6.6.1.-6.5.001, ДБН В.1.4-0.01, ДБН В.1.4-0.02, ДБН В.1.4-1.01, ДБН В.1.4-2.01 та супроводжуватися висновками державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ України.

5.2. Тепловий опір замкнених повітряних прошарків

Огороджувальні конструкції можуть мати вентилявані і невентильовані прошарки.

Вентильовані прошарки доцільні як своєрідний екран із зовнішньої сторони огороження для захисту його від перегріву при впливі сонячної радіації в теплий час року. Конструкції фасадної теплоізоляції з вентиляваним повітряним прошарком (рис. 5.1) за принципом організації руху повітря у прошарку поділяються на слабо вентилявані та вентилявані. Саме повітряний прошарок, який забезпечує відповідні експлуатаційні властивості конструкції в цілому, і є основним конструктивним елементом цього конструктивного принципу.

Вентильований повітряний прошарок є конструктивним елементом системи, який створюється між теплоізоляційним шаром та облицювальним шаром для запобігання вологонакопиченню в товщі конструкцій, видалення вологи із товщі конструкцій за рахунок організації руху повітря в прошарку, що створюється при відповідних геометричних розмірах вентиляційних отворів у облицювальному шарі. Встановлено, що вентиляваним повітряним прошарком є такий повітряний прошарок в конструкції, де площа вентиляційних отворів в облицювальному шарі не менша ніж 1500 мм^2 на один квадратний метр площі стіни. Слабо вентиляваним повітряним прошарком є повітряні прошарки в

конструкції, де площа вентиляційних отворів в облицювальному шарі складає від 500 мм² до 1500 мм², а неventильованим – менше ніж 500 мм² на один квадратний метр стіни.

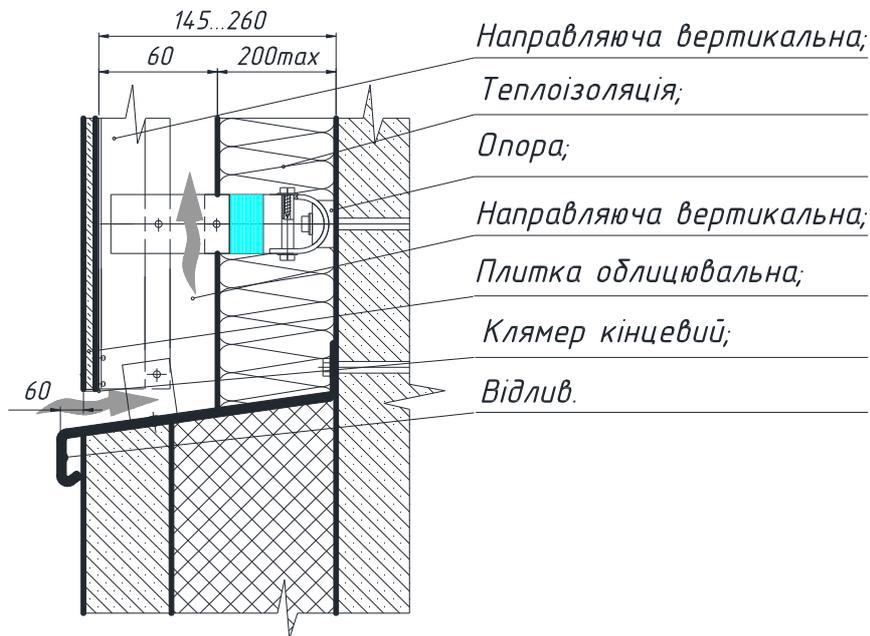


Рис. 5.1 Конструкція фасадної теплоізоляції з вентиляльованим повітряним прошарком (примикання до цоколю)

Вентильовані повітряні прошарки мають бути завтовшки не менше ніж 40 мм і не більше ніж 150 мм. Оптимальна товщина вентильованого повітряного прошарку у стінах становить від 60 мм до 100 мм. Поверхню теплоізоляції, що повернена у бік вентильованого прошарку, потрібно захищати повітрогідрозахисним шаром. До системи з повітряним вентильованим прошарком ставляться вимоги пожежної безпеки з негорючості. Це обумовлює застосування в її конструкції тільки матеріалів на основі плит із мінеральної вати або скляного штапельного волокна. Існують вимоги до фізичних характеристик цих виробів, що стосуються густини, повітропроникності, аеродинамічної стійкості тощо.

За типом індустріальних облицювальних тонкостінних елементів конструкції підрозділяються на облицювання з плитних металевих елементів або на основі цементно-волокнистих матеріалів та елементів керамічних, або бетонних дрібноштучних. Основне призначення облицювальних елементів – захист теплоізоляційного шару від кліматичних впливів у вигляді дощу та снігу та надання відповідного архітектурного вигляду будинкам. Довговічність цих елементів значно вища, ніж теплоізоляційного шару, тому спеціального аналізу їх властивостей не проводиться.

Невентильовані (замкнуті) повітряні прошарки підвищують опір теплопередачі внаслідок малості коефіцієнта теплопровідності повітря ($\lambda_{\text{пов}} \approx 0,023 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$). Якщо розглядати передачу теплоти тільки теплопровідністю, то очікуваний опір теплопередачі прошарку товщиною 0,1 м $R_{\text{нов.п}} = 0,1/0,023 = 4,35 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Проте очікуваного підвищення опору теплопередачі за рахунок повітряного прошарку не спостерігається. Це пояснюється тим, що передача теплоти в повітряному прошарку відбувається не тільки теплопровідністю, але і конвекцією і випромінюванням при наявності різниці температур на поверхнях стінок, що обмежують прошарок. Причому зі збільшенням товщини прошарку збільшується конвекційна складова передачі теплоти. Перевагу варто віддавати декільком тонким повітряним прошаркам, а не одному товстому або виконувати засипання прошарку пористим сипучим матеріалом.

У випадку шаруватого огородження термічний опір огородження дорівнює сумі термічних опорів окремих i -х шарів та термічного опору замкнених повітряних прошарків між елементами огородження $R_{\text{п.пр}}$ (якщо такі є):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{\text{п.пр}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}}, \quad (5.1)$$

де n – кількість однорідних шарів у конструкції;

$R_{\text{п.пр}}$ – термічний опір замкнених повітряних прошарків, який визначають за табл. 5.2, 5.3.

Таблиця 5.2

Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$), залежно від розміщення прошарку (табл. В1, [18])

Товщина повітряного прошарку, м	Розміщення прошарку			
	горизонтальне при потоці тепла знизу вгору та вертикальне		горизонтальне при потоці тепла згори донизу	
	середня температура повітря у прошарку			
	$\geq 0^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$	$\geq 0^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Таблиця 5.3

Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку, (м²·К)/Вт, при встановленні відбивної ізоляції (табл. В2, [18])

Тип відбивної ізоляції	Товщина спіненого шару, мм	Кількість прошарків (товщиною від 10 мм до 20 мм)	Середня температура повітря в прошарку, °С	R, (м ² ·К)/Вт
ТИП А (одностороння при встановленні ізоляції відбивним шаром у бік приміщення)	3	1	≥0	0,34
	3	1	<0	0,30
	4	1	≥0	0,41
	4	1	<0	0,36
	5	1	≥0	0,48
	5	1	<0	0,40
	8	1	≥0	0,70
	8	1	<0	0,65
	10	1	≥0	0,84
	10	1	<0	0,79
ТИП Б (двостороння)	3	2	≥0	0,85
	3	2	<0	0,82
	4	2	≥0	1,22
	4	2	<0	1,09
	5	2	≥0	1,39
	5	2	<0	1,25
	8	2	≥0	1,49
	8	2	<0	1,37
	15	2	≥0	1,67
	15	2	<0	1,60

5.3. Нормування опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q.min} , \quad (5.2)$$

$$\Delta t_{пр} \leq \Delta t_{cr} , \quad (5.3)$$

$$\tau_{в.min} > t_{min} , \quad (5.4)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – 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, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$R_{q.min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

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

$\Delta t_{сг}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

$\tau_{в.min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Основним документом, що нормує теплозахист житлових і громадських будівель є ДБН В.2.6-31-2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель зі зміною №1 від 1 липня 2013 року.

Мінімально допустиме значення $R_{q.min}$ опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків встановлюється згідно з таблицею 5.4 залежно від температурної зони експлуатації будинку.

Територію України розбито на 2 температурні зони (рис. 5.2) за кількістю градусо-днів опалювального періоду (НГД). До 2-ї зони (НГД < 3500 гд) віднесено Ужгород, Одеса, Миколаїв, Херсон, Запоріжжя і Крим; до 1-ї зони (НГД \geq 3501) – територію областей України, що не наведені вище.

Мінімально допустиме значення $R_{q.min}$ опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей промислових будинків встановлюється згідно з таблицею 5.5 залежно від температурної зони експлуатації будинку, тепловологісного режиму внутрішнього середовища та теплової інерції огорожувальних конструкцій D , що розраховується за формулою:

**Мінімально допустиме значення
опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та
громадських будинків, $R_{q.min}$, (табл. 1, [6])**

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q.min}$, $m^2 \cdot K / Wt$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	5,35	4,9
3	Горищні покриття та перекриття неопалювальних горищ	4,95	4,5
4	Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	3,3
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
6	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,44	0,39
7	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,6	0,54



Рис. 5.2 Температурні зони території України

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_{ip}, \quad (5.5)$$

де R_i – термічний опір i -го шару конструкції, що розраховується за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}, \quad (5.6)$$

де δ_i – товщина i -го шару конструкції, м,
 λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К), що приймають згідно додатку А;

S_{ip} – коефіцієнт теплосвоєння матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м² · К), що приймають згідно з додатком А;

n – кількість шарів в конструкції за напрямком теплового потоку.

Мінімально допустиме значення, $R_{q.min}$, опору теплопередачі внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розмежують приміщення з розрахунковими температурами повітря, які відрізняються більше ніж на 3 °С (стіни, перекриття), і приміщень з поквартирним регулюванням теплоспоживання визначають за формулою:

$$R_{q.min} = \frac{t_{в1} + t_{в2}}{\Delta t_{сг} \cdot \alpha_{в1}}, \quad (5.7)$$

де $t_{в1}$, $t_{в2}$ – розрахункові температури повітря в приміщеннях, °С, що приймаються згідно з таблицею 5.6 або розраховуються згідно з п. 5.4;

$\Delta t_{сг}$ – те саме, що в формулі (5.3);

$\alpha_{в1}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкцій, Вт/(м² · К), що приймається згідно з таблицею 4.1 або додатком В [18].

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\Delta t_{сг}$, °С, встановлюється залежно від призначення будинку і виду огорожувальної конструкції згідно з таблицею 5.5.

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 згідно з таблицею

5.8, повинна бути не менше ніж температура точки роси, t_p , за розрахунковими значеннями температури й відносної вологості внутрішнього повітря, які приймаються залежно від призначення будинку згідно з таблиці 5.7.

Таблиця 5.5

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, $\Delta t_{ст}$, °С, (табл. 3, [6])

Призначення будинку	Вид огороджувальної конструкції		
	Стіни (зовнішні, внутрішні)	Покриття та перекриття гориз	Перекрытия 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 виключенням приміщень з вологим або мокрим режимом експлуатації	5,0	4,0	2,5
Виробничі будинки з сухим та нормальним режимом експлуатації	7,0	5,0	
Виробничі будинки з вологим та мокрим режимом експлуатації	$t_b - t_p$	$0,8(t_b - t_p)$	
Виробничі будинки з надлишками тепла (більше 23 Вт/м ³)	12	12	

Мінімальна температура на внутрішній поверхні, t_{min} , світлопрозорих огороджувальних конструкцій житлових і громадських будинків при розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря, прийнятого згідно з таблицею 5.8, повинна бути для коробок та штапиків, а також світлопрозорих зон, включаючи зони дистанційних рамок, не менше ніж 6 °С, для виробничих будинків – не менше ніж 0 °С, а для непрозорих зон та елементів, включаючи стулки, імпости, стійки, ригелі тощо – не менше ніж температура точки роси, t_p , за розрахунковими значеннями температури й відносної вологості внутрішнього повітря, прийнятого залежно від призначення будинку відповідно до таблиці 5.7.

Зовнішні заглиблені стінові конструкції, що контактують з ґрунтом,

у будівлях без підвалу необхідно утеплювати теплоізоляційними матеріалами на глибину 0,5 м нижче поверхні ґрунту, у будівлях з підвалом – на глибину 1,0 м нижче поверхні ґрунту. Товщину теплоізоляційного матеріалу визначають за умови забезпечення вимоги (5.4) для огорожувальних конструкцій опалюваних приміщень, але не менше ніж 50 мм.

Підлоги по ґрунту необхідно утеплювати теплоізоляційними матеріалами товщиною, що забезпечує виконання вимог (5.3), (5.4), (11.1), але не менше ніж 50 мм.

Таблиця 5.6

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків ($R_{q.min}$) [6, табл. 2]

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будинків	Значення $R_{q.min}$, $m^2 \cdot K / Wt$, для температурної зони	
	I	II
Зовнішні непрозорі стіни будинків: - з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м^3)	1,7 2,2 1,8 2,4 0,55	1,5 2,0 1,6 2,2 0,45
Покриття та перекриття неопалювальних горищ будинків: - з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м^3)	1,7 2,2 1,7 1,9 0,55	1,6 2,1 1,6 1,8 0,45
Перекриття над проїздами й неопалювальними підвалами з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$	1,9 2,4	1,8 2,2
Двері й ворота будинків: - з сухим і нормальним режимом - з вологим і мокрим режимом - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м^3)	0,6 0,75 0,2	0,55 0,70 0,2
Вікна й zenітні ліхтарі будинків: - із сухим і нормальним режимом - з вологим і мокрим режимом - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м^3)	0,45 0,5 0,18	0,42 0,45 0,18

5.4. Розрахункове визначення температури приміщень, що не опалюються

Розрахункова температура, $^{\circ}\text{C}$, у приміщенні або об'ємі, що не опалюється або може не опалюватися за умови поквартирного регулювання теплоносія, визначається за формулою:

$$t_{\text{в}2} = \frac{t_{\text{в}1}(K_1F_1 + K_2F_2 + \dots + k_{11}L_{11} + k_{22}L_{22} + \dots) + t_3(K_aF_a + K_bF_b + \dots + k_{aa}L_{aa} + k_{bb}L_{bb} + \dots) + (K_TF_T)t_T}{(K_1F_1 + K_2F_2 + \dots + k_{11}L_{11} + k_{22}L_{22} + \dots) + (K_aF_a + K_bF_b + \dots + k_{aa}L_{aa} + k_{bb}L_{bb} + \dots) + (K_TF_T)}, \quad (5.8)$$

де L_{11}, L_{22}, \dots – довжина теплопровідних включень, м, які межують з об'ємом, що опалюється з температурою повітря $t_{\text{в}1}$;

L_{aa}, L_{bb}, \dots – довжина теплопровідних включень, м, що межують із зовнішнім повітрям з температурою t_3 ;

K_1, K_2, \dots – коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, із площею F_1, F_2, \dots , які межують з об'ємом, що опалюється;

K_a, K_b, \dots – коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, із площею F_a, F_b, \dots , які граничать із зовнішнім повітрям з температурою t_3 ;

k_{11}, k_{22}, \dots – лінійний коефіцієнт теплопередачі вузлів, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, довжиною L_{11}, L_{22}, \dots , які межують з об'ємом, що опалюється з температурою повітря $t_{\text{в}1}$;

k_{aa}, k_{bb}, \dots – лінійний коефіцієнт теплопередачі вузлів, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, довжиною L_{aa}, L_{bb}, \dots , які межують із зовнішнім повітрям з температурою t_3 ;

K_T – коефіцієнт теплопередачі трубопроводу, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, із площею поверхні F_T ;

t_T – температура теплоносія, $^{\circ}\text{C}$.

5.5. Методика теплотехнічного розрахунку зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель

На основі вихідних даних про будівлю та місце її будівництва приймаємо конструктивну схему зовнішнього огороження й розрахункові параметри внутрішнього (таблиця 5.7) і зовнішнього повітря (таблиця 5.8).

При проектуванні огорожувальних конструкцій окремих приміщень розрахункові параметри температури й вологості повітря уточнюються з урахуванням вимог інших чинних нормативних документів.

Таблиця 5.7

**Розрахункові значення
температури й вологості повітря приміщень [6, табл. Г.2]**

Призначення будинку	Розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_B, ^\circ\text{C}$	Розрахункове значення відносної вологості, $\varphi_B, \%$
Житлові будинки	20	55
Громадські і адміністративні будинки	20	60
Лікувальні й дитячі навчальні установи	21	50
Дошкільні установи	22	50

Таблиця 5.8

Розрахункові температури зовнішнього повітря [6, дод. Ж]

Температурна зона	I	II
Розрахункова температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$	мінус 22	мінус 19

За табл. 5.9 визначаємо вологісний режим приміщення.

Таблиця 5.9

Градація вологісного режиму приміщень [6, табл. Г.1]

Вологісний режим	Вологість внутрішнього повітря, $\varphi_B, \%$, при		
	$t_B \leq 12 ^\circ\text{C}$	$12 < t_B \leq 24 ^\circ\text{C}$	$t_B > 24 ^\circ\text{C}$
Сухий	$\varphi_B < 60$	$\varphi_B < 50$	$\varphi_B < 40$
Нормальний	$60 \leq \varphi_B \leq 75$	$50 \leq \varphi_B \leq 60$	$40 \leq \varphi_B \leq 50$
Вологий	$75 < \varphi_B$	$60 < \varphi_B \leq 75$	$50 < \varphi_B \leq 60$
Мокрий	-	$75 < \varphi_B$	$60 < \varphi_B$

За табл. 5.10 визначаємо умови експлуатації огорожувальної конструкції.

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

За додатком А визначаємо розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції λ .

За рис. 5.2 визначаємо температурну зону району будівництва.

**Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних
конструкціях [б, дод. К]**

Вологісний режим приміщень	Умови експлуатації
Сухий	А
Нормальний	Б
Вологий	Б
Мокрий	Б

За таблицею 5.4 визначаємо $R_{q.min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорій огорожувальній конструкції чи непрозорій частини огорожувальній конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорій огорожувальній конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Якщо розрахункова температура внутрішнього повітря t_B не дорівнює 20°C , тоді величину $R_{q.min}$ збільшують або зменшують на 5 % на кожний градус відхилення за формулою

$$R_{q.min} = R_{q.min}(1 + 0,05(t_B - 20)). \quad (5.9)$$

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалювальних будинків та споруд і внутрішніх конструкцій, що розділяють приміщення, температура повітря в яких відрізняється на 3°C та більше обов'язкове виконання умов формули (5.2). Тоді, з врахуванням формули (5.1):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + R_{п.пр} + \frac{1}{\alpha_{зН}} \geq R_{q.min}$$

звідси мінімально необхідна товщина огороження або шару утеплювача, м,

$$\delta_{ут} \geq \lambda_{ут} \left[R_{q.min} - \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + R_{п.пр} + \frac{1}{\alpha_{зН}} \right) \right], \quad (5.10)$$

Наступним кроком є призначення найближчої більшої уніфікованої товщини шару утеплювача δ_x збірної конструкції за відповідним ГОСТ або ДСТУ чи уніфікованої товщини шару утеплювача $\delta_{ут}$. Для насипних утеплювачів, спінених пластмас товщина приймається з градацією $0,01$ м, а для мінераловатних жорстких і напівжорстких плит – $0,02$ м.

Нормування опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель в Україні здійснюється диференційовано, залежно від призначення будівель та споруд.

Задача 5.1 Перевірити виконання умов нормування теплозахисту зовнішньої стіни.

Вихідні данні:

район будівництва – м. Полтава;

призначення будівлі – лікувальна.

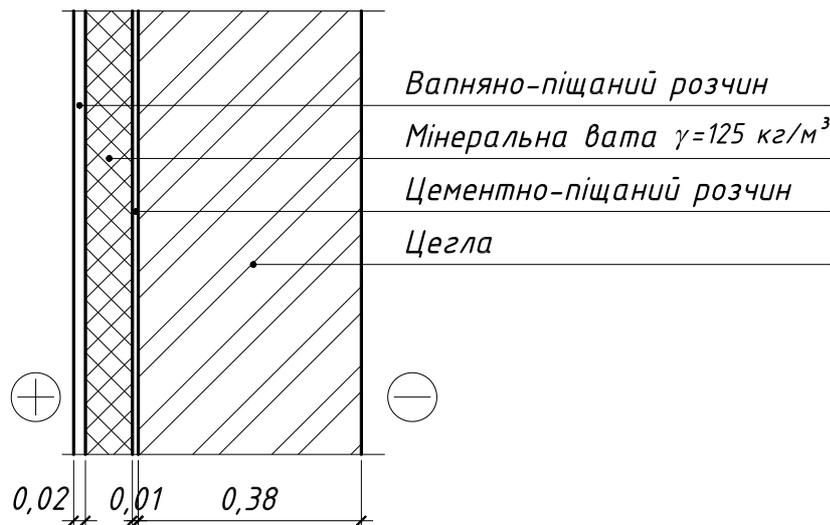


Рис. 5.3 Розрахункова схема

За таблицею 5.7 або дод. Г табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову температуру внутрішнього повітря – $t_g = 21^\circ\text{C}$

За таблицею 5.7 або дод. Г табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову відносну вологість внутрішнього повітря – $\phi_g = 55\%$

За таблицею 5.9 або дод. Г табл. Г.1 [6] визначаємо тепловологісний режим приміщення – нормальний;

За таблицею 5.10 або дод. К [6] визначаємо вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції – Б;

По додатку А або таблиці А1 [18] визначаємо розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції:

- вапняно-піщаний розчин $\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- мінеральна вата $\lambda_{ym} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- цементно-піщаний розчин $\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- цегла $\lambda_4 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

За рис. 5.2 або дод. В [6] визначаємо температурну зону району будівництва – І.

За таблицею 5.4 або таблицею 1 [6] визначаємо мінімально-допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{q.min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

За таблицею 5.5 або таблицею 3 [6] визначаємо допустиму за санітарно-гігієнічними вимогами різницю між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції

$$\Delta t_{c_2} = 4^\circ\text{C}$$

Визначаємо необхідну товщину утеплювача виходячи з вимог виконання мінімально-допустимого значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції за формулою

$$\begin{aligned} \delta_{ym} &= \lambda_{ym} \left(R_{q.min} - \frac{1}{\alpha_6} - \frac{1}{\alpha_3} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) = \\ &= 0,07 \left(3,3 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,01}{0,81} - \frac{0,38}{0,81} \right) = 0,1847 \text{ м} \end{aligned}$$

де α_6 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18].

$$\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Приймаємо найближчу більшу за $\delta_{ym} = 0,1847 \text{ м}$ уніфіковану товщину утеплювача $\delta_{ym}^{yn} = 0,19 \text{ м}$.

Визначаємо опір теплопередачі огорожувальної конструкції за формулою

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= \frac{1}{\alpha_6} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \\ &= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} = 3,376 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} \end{aligned}$$

Так як $R_{\Sigma} = 3,376 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} > R_{q.min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ то перша вимога теплозахисту виконується.

Визначаємо температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та температурою на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції за формулою

$$\Delta t_{np} = \frac{t_6 - t_{3н}}{R_{\Sigma} \times \alpha_6} = \frac{21 - (-22)}{3,376 \times 8,7} = 1,5^\circ\text{C}$$

де t_{zn} – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, приймаємо за таблицею 5.8 або дод. Ж [6].

$$t_{zn} = -22\text{ °С}$$

Так як $\Delta t_{np} = 1,5\text{ °С} < \Delta t_{c2} = 4\text{ °С}$ то друга вимога теплозахисту виконується.

Визначаємо мінімальну температуру внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за формулою

$$\tau_{e.min} = t_e - \frac{t_e - t_{zn}}{R_{\Sigma np} \times \alpha_e} = 20 - \frac{21 - (-22)}{3,376 \times 8,7} = 18,5\text{ °С}$$

За п.2.7 [6] мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції дорівнює температурі точки роси t_p .

Визначаємо температуру точки роси t_p в наступній послідовності:

За таблицею 13.2 або табл. Б1, [37] при температурі повітря $t_e = 21\text{ °С}$ парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює $E_e = 2486\text{ Па}$.

Визначаємо парціальний тиск водяної пари за формулою

$$e_e = E_e \times \varphi_e \times 0,01 = 2486 \times 55 \times 0,01 = 1286\text{ Па}$$

де φ_e – відносна вологість внутрішнього повітря, %, визначаємо за таблицею 5.7 або табл. Г.2 [6], для житлових будинків $\varphi_e = 55\%$.

За таблицею 13.2 або табл. Б1, [37] парціальному тиску водяної пари $e_e = 1286\text{ Па}$ відповідає температура точки роси $t_p = 10,7\text{ °С}$.

Так як $\tau_{e.min} = 18,6\text{ °С} > t_p = 10,7\text{ °С}$ то третя вимога теплозахисту виконується.

Задача 5.2 Теплотехнічний розрахунок зовнішньої цегляної стіни в м. Полтава

Вихідні дані:

розрахункова температура внутрішнього повітря $t_B = 20\text{ °С}$ (таблиця 5.7 або [6], таблиця Г.2);

відносна вологість внутрішнього повітря $\varphi_B = 55\%$ (таблиця 5.7 або [6], таблиця Г.2);

район будівництва м. Полтава.

Вологісний режим приміщення – нормальний (таблиця 5.9 або [6], таблиця Г.2).

Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях – Б (таблиця 5.10 або [6], дод. К).

Місто Полтава належить до I температурної зони України (рис. 5.2 або [6], дод. В), для якої мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{q.min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \text{ (таблиця 5.4 або [6], таблиця 1).}$$

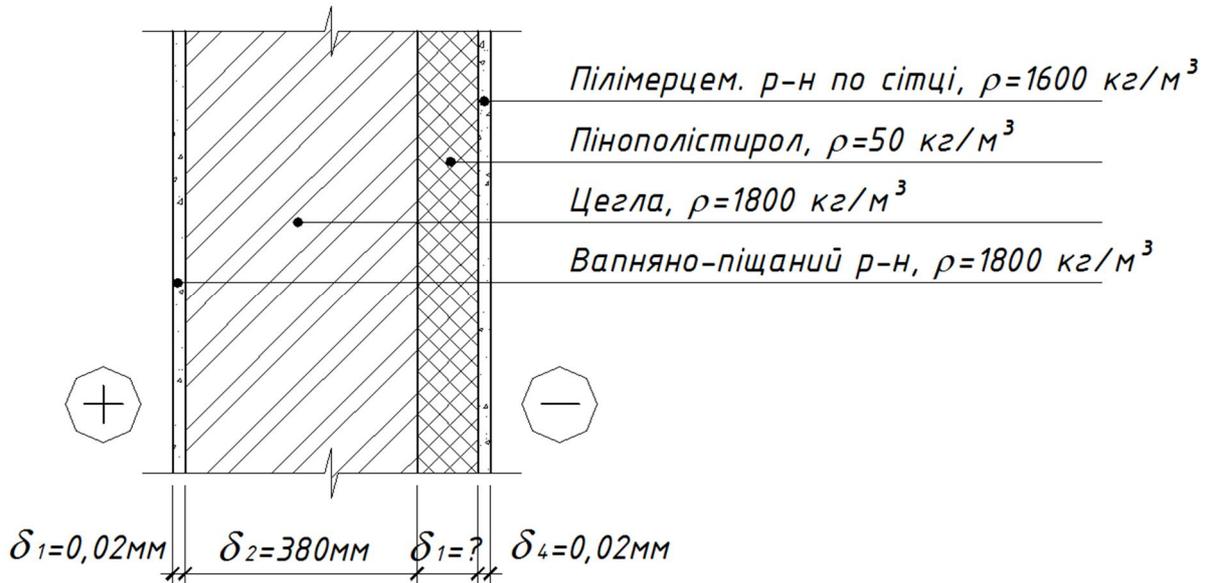


Рис. 5.4 Розрахункова схема

Розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції (для умов експлуатації Б) за додатком А або [18], таблицею А1:

вапняно-піщаний розчин – $\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

керамічна цегла – $\lambda_2 = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

пінополістирол – $\lambda_3 = 0,045 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

цементний розчин – $\lambda_4 = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Мінімально необхідна товщина утеплювача

$$\delta_3 = \lambda_3 \left(R_{q.min} - \frac{1}{\alpha_B} - \frac{1}{\alpha_{зН}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) =$$

$$= 0,045 \left(3,3 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,38}{0,81} - \frac{0,02}{0,81} \right) = 0,118 \text{ м}$$

де α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} ;$$

$\alpha_{зН}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_{зН} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} ;$$

Приймаємо найближчу більшу уніфіковану товщину утеплювача
 $\delta_3 = 0,12 \text{ м}$

Визначаємо опір теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_{3H}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,12}{0,045} + \frac{0,02}{0,81} = 3,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Оскільки $R_{\Sigma} = 3,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} > R_{q,\text{min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, то товщина утеплювача визначена правильно.

Загальна товщина зовнішньої стіни $20 + 380 + 120 + 20 = 540 \text{ мм}$.

Задача 5.3 Теплотехнічний розрахунок горищного перекриття в м. Полтава

Вихідні дані:

розрахункова температура внутрішнього повітря $t_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (таблиця 5.7 або [6], таблиця Г.2);

відносна вологість внутрішнього повітря $\varphi_B = 55\%$ (таблиця 5.7 або [6], таблиця Г.2);

район будівництва – м. Полтава.

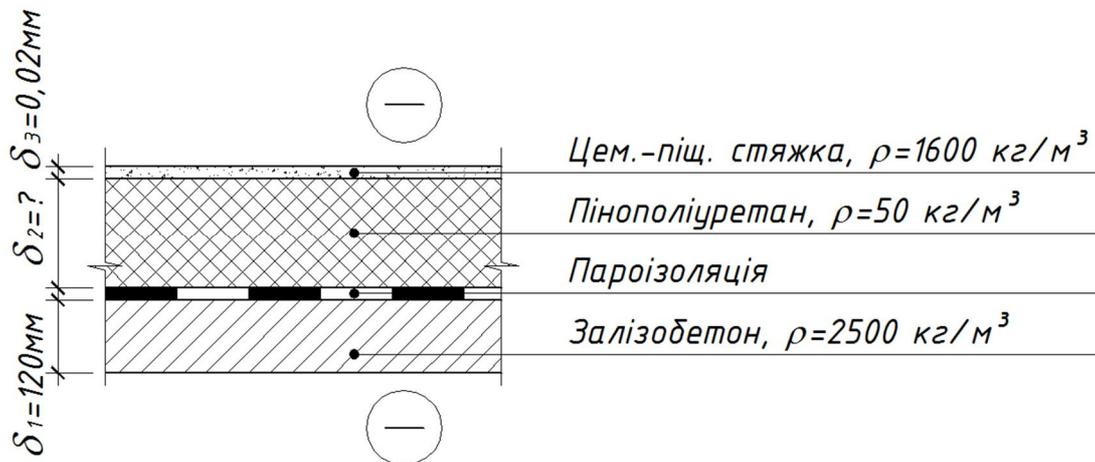


Рис. 5.5 Розрахункова схема

Вологісний режим приміщення – нормальний (таблиця 5.9 або [6], таблиця Г.2).

Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях – Б (таблиця 5.10 або [6], дод. К).

Місто Полтава належить до I температурної зони України (рис. 5.2 або [6], дод. В), для якої мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{q.min} = 4,95 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \text{ (таблиця 5.4 або [6], таблиця 1).}$$

Розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції (для умов експлуатації Б) за додатком А або [18], таблицею А1:

Залізобетон – $\lambda_1 = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

жорсткий пінополіуретан – $\lambda_2 = 0,045 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

цементно-піщана стяжка – $\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Необхідна товщина утеплювача

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \lambda_2 \left(R_{q.min} - \frac{1}{\alpha_B} - \frac{1}{\alpha_{3H}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = \\ &= 0,045 \left(4,95 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - \frac{0,12}{2,04} - \frac{0,02}{0,81} \right) = 0,213 \text{ м} \end{aligned}$$

де α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ;$$

α_{3H} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_{3H} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ;$$

Приймаємо найближчу більшу уніфіковану товщину утеплювача

$$\delta_2 = 0,22 \text{ м.}$$

Визначаємо опір теплопередачі огорожувальної конструкції

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= \frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_{3H}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \\ &= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,12}{2,04} + \frac{0,22}{0,045} + \frac{0,02}{0,81} = 5,07 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} . \end{aligned}$$

Оскільки $R_{\Sigma} = 5,07 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} > R_{q.min} = 4,95 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, то товщина утеплювача визначена правильно.

Загальна товщина покриття $120 + 220 + 20 = 420 \text{ мм}$.

Задача 5.4 Теплотехнічний розрахунок перекриття над холодними підвалами в м. Полтава

Вихідні дані:

розрахункова температура внутрішнього повітря $t_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (таблиця 5.7 або [6], таблиця Г.2);

відносна вологість внутрішнього повітря $\varphi_B = 55\%$ (таблиця 5.7 або [6], таблиця Г.2);

район будівництва – м. Полтава.

Вологісний режим приміщення – нормальний (таблиця 5.9 або [6], таблиця Г.2).

Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях – Б (таблиця 5.10 або [6], дод. К).

Місто Полтава належить до I температурної зони України (рис. 5.2 або [6], дод. В), для якої мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{q.min} = 3,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \text{ (таблиця 5.4 або [6], таблиця 1).}$$

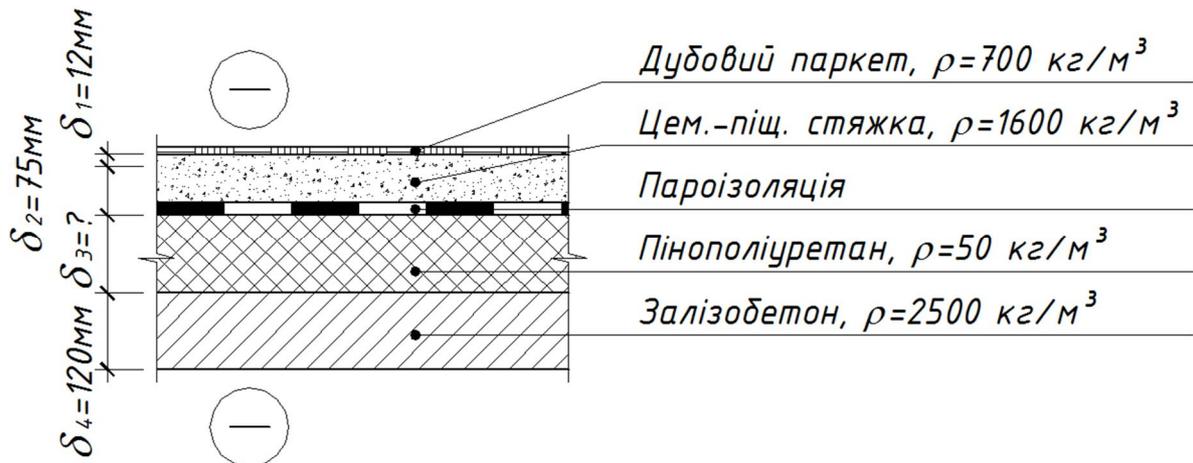


Рис. 5.6 Розрахункова схема

Розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції (для умов експлуатації Б) за додатком А або [18], таблицею А1:

$$\text{дуб} - \lambda_1 = 0,23 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$\text{цементно-піщана стяжка} - \lambda_2 = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$\text{жорсткий пінополіуретан} - \lambda_3 = 0,045 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$$

$$\text{залізобетон} - \lambda_4 = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

Необхідна мінімальна товщина утеплювача

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \lambda_3 \left(R_{q.min} - \frac{1}{\alpha_B} - \frac{1}{\alpha_{зН}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) = \\ &= 0,045 \left(3,75 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - \frac{0,012}{0,23} - \frac{0,075}{0,81} - \frac{0,12}{2,04} \right) = 0,152 \text{ м} \end{aligned}$$

де α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$\alpha_{зН}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_{3H} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) .$$

Приймаємо найближчу більшу уніфіковану товщину утеплювача

$$\delta_3 = 0,16 \text{ м}.$$

Визначаємо опір теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_{3H}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,075}{0,81} + \frac{0,16}{0,045} + \frac{0,12}{2,04} = 3,91 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} .$$

Оскільки $R_{\Sigma} = 3,91 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} > R_{q.min} = 3,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ то товщина утеплювача визначена правильно.

$$\text{Загальна товщина покриття } 12 + 75 + 160 + 120 = 367 \text{ мм}.$$

Задача 5.5 Визначити товщину керамзитобетонної стінової панелі промислового будинку.

Вихідні дані:

розрахункова температура внутрішнього повітря $t_B = 16 \text{ }^\circ\text{C}$;

відносна вологість внутрішнього повітря $\varphi_B = 55\%$;

район будівництва м. Полтава.

Вологісний режим приміщення – нормальний (таблиця 5.9 або [6], таблиця Г.2).

Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях – Б (таблиця 5.10 або [6], дод. К).

Величину теплової інерції прийнято в межах $D > 1,5$.

Місто Полтава належить до I температурної зони України (рис. 5.2 або [6], дод. В), для якої мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{q.min} = 1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} \text{ (таблиця 5.6 або [6], таблиця 2)}.$$

Розрахункові коефіцієнти теплопровідності і теплосасвоєння матеріалів шарів огорожувальної конструкції (для умов експлуатації Б) за додатком А або [18], таблицею А1:

цементно-піщаний розчин

$$\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

$$S_1 = 11,09 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

керамзитобетон

$$\lambda_{ут} = 0,36 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

$$S_{ут} = 5,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

цементно-піщаний розчин

$$\lambda_3 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

$$S_3 = 11,09 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

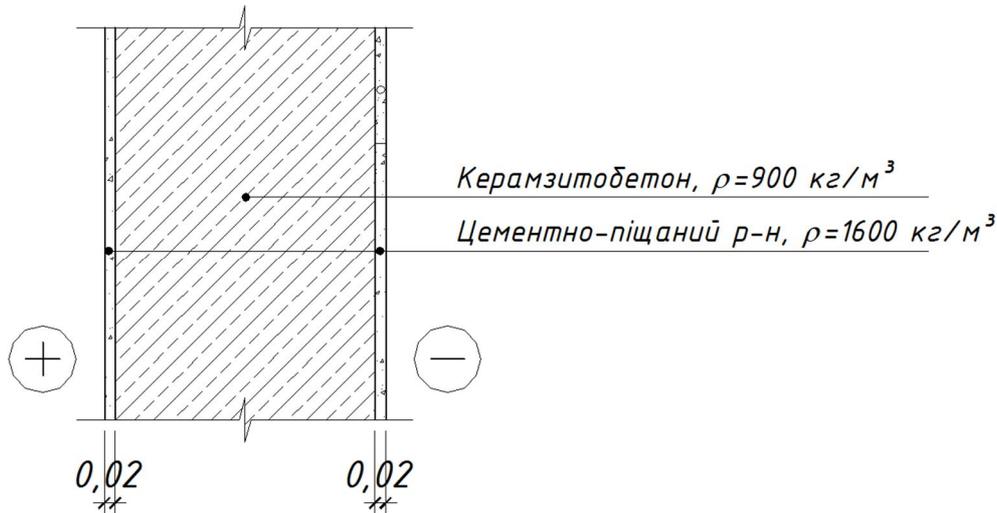


Рис. 5.7 Розрахункова схема огорожувальної конструкції

Необхідна мінімальна товщина утеплювача

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ут}} &= \lambda_{\text{ут}} \left(R_{q.\text{min}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) = \\ &= 0,36 \left(1,8 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,02}{0,93} \right) = 0,575 \text{ м} \end{aligned}$$

де $\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} ;$$

$\alpha_{\text{зн}}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_{\text{зн}} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} .$$

Визначаємо величину теплової інерції огорожувальної конструкції, за формулою

$$D = \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} S_{\text{ут}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} S_3 = \frac{0,575}{0,36} 5,45 + \frac{0,02}{0,93} 11,09 + \frac{0,02}{0,93} 11,09 = 9,73 ,$$

Оскільки величина теплової інерції $D = 9,73$ знаходиться в межах які були прийняті на початку розрахунку ($D > 1,5$), то мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції визначено правильно.

Приймаємо найближчу більшу уніфіковану товщину утеплювача

$$\delta_{\text{ут}} = 0,6 \text{ м.}$$

Визначаємо опір теплопередачі огорожувальної конструкції

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,6}{0,36} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,02}{0,93} = 1,87 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Оскільки $R_{\Sigma} = 1,87 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} > R_{q,\text{min}} = 1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ то товщина утеплювача визначена правильно.

Загальна товщина покриття $20 + 600 + 20 = 640 \text{ мм}$.

5.6 Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховують за формулою:

$$R_{\Sigma\text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j \cdot L_j + \sum_{k=1}^K \Psi_k \cdot N_k}, \quad (5.11)$$

де F_{Σ} – загальна площа конструкції, м^2 ;

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -ої термічно однорідної частини конструкції, ($\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$), визначають згідно з формулою (5.1);

F_i – площа i -ої термічно однорідної частини конструкції, м^2 ;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го лінійного теплопровідного включення, м ;

L_j – лінійний розмір (проекція) j -го лінійного теплопровідного включення, м ;

Ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі k -го точкового теплопровідного включення, Вт/К ;

N_k – загальна кількість k -их точкових теплопровідних включень, шт.

Визначення лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі необхідно здійснювати на підставі розрахунків двовірних та тримірних температурних полів відповідно. Методика розрахунків встановлена згідно з ДСТУ ISO 10211-1, ДСТУ ISO 10211-2.

Лінійні коефіцієнти теплопередачі поширених лінійних теплопровідних включень наведені в додатку Г [18], точкові коефіцієнти теплопередачі – в додатку Д [18].

Приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, що контактують із ґрунтом $R_{\Sigma\text{пр ц}}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$), визначають за зонами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам за формулою:

$$R_{\Sigma\text{пр ц}} = R_{\Sigma\text{ц}} + \frac{\delta}{\lambda}, \quad (5.12)$$

де $R_{\Sigma c}$ – опір теплопередачі, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$), що приймають 2,1 для першої зони; 4,6 – для другої зони; 8,6 – для третьої зони; 14,2 – для площі, що залишилась. Зони шириною 2 м починають намічати від лінії контакту стіни підвалу з ґрунтом вниз по стіні з переходом на підлогу підвалу. Зони визначають послідовно від усього периметра контакту стін з ґрунтом в напрямку середини будівлі;

δ – товщина тепло ізолюючого шару, м, при теплопровідності утеплювача $\lambda < 1,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

При визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару враховують лише термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями відповідного типу непрозорої конструкції. Термічний вплив теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі, при визначенні необхідної товщини теплоізоляційного шару не враховують. Даний термічний вплив враховують при визначенні енергопотреб для опалення та охолодження згідно з ДСТУ Б ENISO 13790 та загальних тепловитрат будинку через огорожувальну конструкцію згідно з ДСТУ-Н Б А.2.2-5.

Примітка 1. Теплопровідними включеннями, що відносяться до відповідного типу непрозорої огорожувальної конструкції, є: з'єднувальні елементи, дубелі, кронштейни, закладні деталі, арматурні сітки, віконні відкоси, стики між елементами непрозорої огорожувальної конструкції, елементи жорсткості тощо.

Примітка 2. До теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями будівлі, відносяться міжповерхові та балконні перекриття, колони, пілони, кутові примикання тощо.

Задача 5.6 *Визначити приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції. Схема огороження представлена на рисунку 5.8. Зона 1 має термічний опір $R_1 = 3,05 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а зона 2 відповідно $R_2 = 2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.*

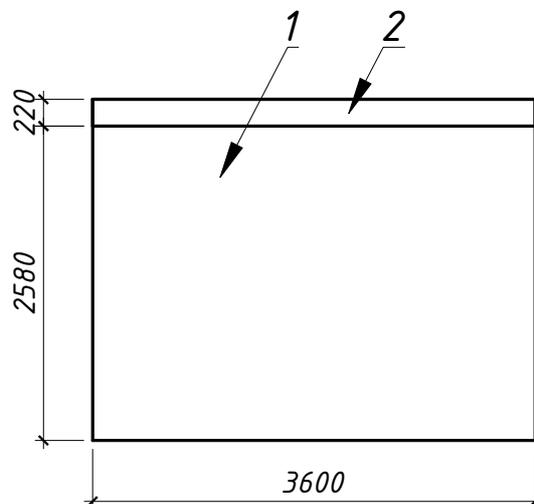


Рис. 5.8 Розрахункова схема огорожувальної конструкції

Визначаємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції за формулою:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{j=1}^j \frac{F_i}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_j + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}}}} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{F_1}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_1 + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}}} + \frac{F_2}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_2 + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}}}} =$$

$$= \frac{10,08}{\frac{9,288}{\frac{1}{8,7} + 3,05 + \frac{1}{23}} + \frac{0,792}{\frac{1}{8,7} + 2,8 + \frac{1}{23}}} = 3,187 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де F_{Σ} – площа огорожувальної конструкції, м^2 , визначаємо за формулою

$$F_{\Sigma} = a \times h = 3,6 \times 2,8 = 10,08 \text{ м}^2$$

де a – ширина розрахункової схеми огорожувальної конструкції, м

$$a = 3,6 \text{ м}^2$$

h – висота розрахункової схеми огорожувальної конструкції, м

$$h = 2,8 \text{ м}^2$$

F_1 – площа 1-ї зони огорожувальної конструкції, м^2 визначаємо за формулою

$$F_1 = a_1 \times h_1 = 3,6 \times 2,58 = 9,288 \text{ м}^2$$

де a_1 – ширина зони 1 огорожувальної конструкції, м

$$a_1 = 3,6 \text{ м}^2$$

h_1 – висота зони 2 огорожувальної конструкції, м

$$h_1 = 2,58 \text{ м}^2$$

F_2 – площа 2-ї зони огорожувальної конструкції, м^2 визначаємо за формулою

$$F_2 = a_2 \times h_2 = 3,6 \times 0,22 = 0,792 \text{ м}^2$$

де a_1 – ширина зони 1 огорожувальної конструкції, м

$$a_2 = 3,6 \text{ м}^2$$

h_1 – висота зони 2 огорожувальної конструкції, м

$$h_2 = 0,22 \text{ м}^2$$

$\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{зн}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, які приймають згідно з таблицею 4.1 або дод. Б [18]

$$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); \alpha_{\text{зн}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Задача 5.7 Визначити приведений опір теплопередачі огородження з визначеним значенням лінійного коефіцієнта теплопередачі теплопровідного включення. Схема огородження представлена на рисунку 5.9.

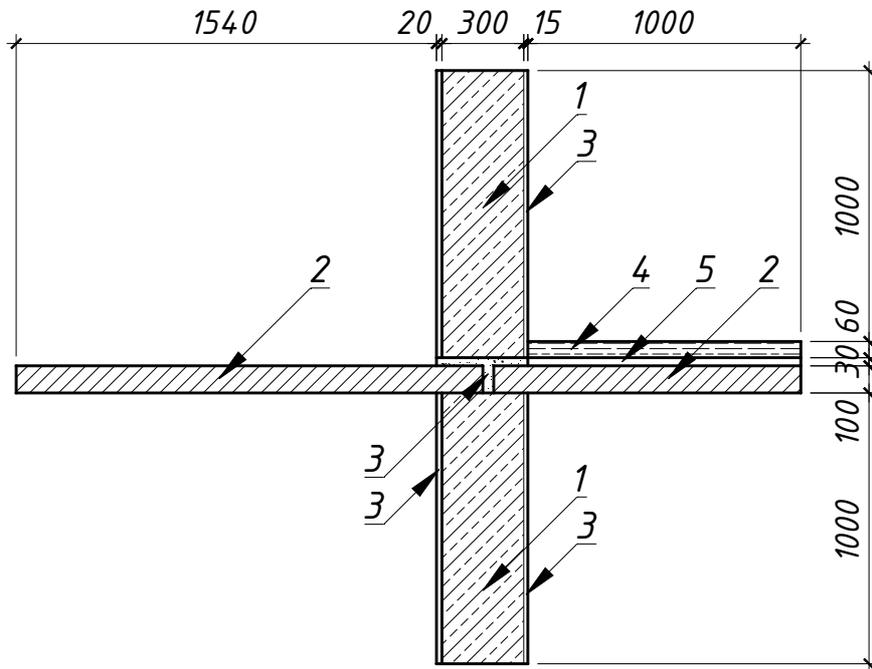


Рис. 5.9 Розрахункова схема огорожувальної конструкції:
 1 – керамзитобетон $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$; 2 – залізобетон $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$;
 3 – цементно-піщаний розчин $\rho_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$; 4 – гіпсова плита
 $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$; 5 – повітряний прошарок.

Визначаємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції за формулою:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\Sigma i}} F_i + \sum_{j=1}^m k_j L_j} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{1}{R_{\Sigma 1}} F_1 + k_1 L_1} = \frac{2,19}{\frac{1}{0,779} 2 + 0,44 \times 1} = 0,728 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

F_{Σ} – площа огорожувальної конструкції, м^2 , визначаємо за формулою

$$F_{\Sigma} = h \times b = 2,19 \times 1 = 2,19 \text{ м}^2$$

де h – висота розрахункової схеми, м

$$h = 2,19 \text{ м}$$

b – ширина розрахункової схеми, м , приймаємо

$$b = 1 \text{ м}$$

$R_{\Sigma 1}$ —опір теплопередачі термічно однорідної частини конструкції (керамзитобетонна панель), $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, визначаємо за формулою

$$R_{\Sigma 1} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,3}{0,52} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 0,779 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

де $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ — товщина відповідно внутрішнього цементно-піщаного шару, керамзитобетону та зовнішнього цементно-піщаного шару, м, керамзитобетонної панелі

$$\delta_1 = 0,015 \text{ м}; \delta_2 = 0,3 \text{ м}; \delta_3 = 0,02 \text{ м}$$

$\lambda_{1p}, \lambda_{2p}, \lambda_{3p}$ — теплопровідність відповідно внутрішнього цементно-піщаного шару, керамзитобетону та зовнішнього цементно-піщаного шару, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, керамзитобетонної панелі приймаємо за додатком А або [18], таблиця А1.

$$\lambda_{1p} = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \lambda_{2p} = 0,52 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}); \lambda_{3p} = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$\alpha_{\text{в}}, \alpha_{\text{зн}}$ — коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, які приймають згідно з таблицею 4.1 або [18], додатком В.

$$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); \alpha_{\text{зн}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

F_1 — площа термічно однорідної частини огорожувальної конструкції (керамзитобетонна панель), м^2 , визначаємо за формулою

$$F_1 = h_1 \times b_1 = 2 \times 1 = 2 \text{ м}^2$$

де h_1 — висота термічно однорідної частини огорожувальної конструкції, м

$$h_1 = 2 \text{ м}$$

b_1 — ширина термічно однорідної частини огорожувальної конструкції, м, приймаємо

$$b = 1 \text{ м}$$

k_1 — лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, визначаємо за табл. II.3 [6]

$$k_1 = 0,44 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

L_1 — лінійний розмір лінійного теплопровідного включення (дорівнює ширині розрахункової схеми), м

$$L_1 = 1 \text{ м}$$

Задача 5.8 Визначити приведенний опір теплопередачі огороження з не визначеним значенням лінійного коефіцієнта теплопередачі

теплопровідного включення. Схема огородження представлена на рисунку 5.10.

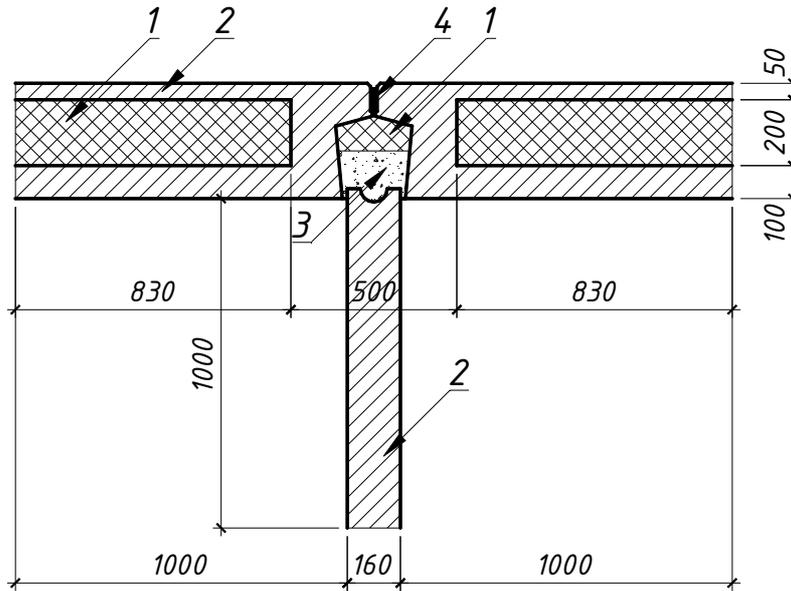


Рис. 5.10 Розрахункова схема огороджувальної конструкції:
 1 – мінеральна вата $\rho_0 = 150 \text{ кг/м}^3$; 2 – залізобетон $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$;
 3 – бетон замонолічування $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$; 4 – герніт $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$

Визначаємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огороджувальної конструкції за формулою:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\Sigma i}} F_i + \sum_{j=1}^m k_j L_j} = \frac{F_{\Sigma}}{\frac{1}{R_{\Sigma 1}} F_1 + k_1 L_1} =$$

$$= \frac{6,048}{\frac{1}{3,262} \times 4,648 + 0,1735 \times 2,8} = 3,165 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

F_{Σ} – площа огороджувальної конструкції, м^2 , визначаємо за формулою

$$F_{\Sigma} = h \times b = 2,8 \times 2,16 = 6,048 \text{ м}^2$$

де h – висота розрахункової схеми, м, дорівнює висоті поверху

$$h = 2,8 \text{ м}$$

b – ширина розрахункової схеми, м

$$b = 2,16 \text{ м}$$

$R_{\Sigma 1}$ – опір теплопередачі термічно однорідної частини конструкції (тришарова панель), $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, визначаємо за формулою

$$R_{\Sigma 1} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{3H}} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{1}{\alpha_{3H}} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,2}{0,066} + \frac{0,05}{2,04} + \frac{1}{23} = 3,262 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – товщина відповідно внутрішнього шару з залізобетону, мінеральної вати та зовнішнього шару залізобетону, м, тришарової панелі

$$\delta_1 = 0,1 \text{ м}; \delta_2 = 0,2 \text{ м}; \delta_3 = 0,05 \text{ м};$$

$\lambda_{1p}, \lambda_{2p}, \lambda_{3p}$ – теплопровідність відповідно внутрішнього шару з залізобетону, мінеральної вати та зовнішнього шару з залізобетону, м, Вт/(м · К), тришарової панелі приймаємо за додатком А або [18], табл. А1

$$\lambda_{1p} = 2,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \lambda_{2p} = 0,066 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \lambda_{3p} = 2,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)};$$

α_B, α_{3H} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), які приймають згідно з таблицею 4.1 або додатком Б [18]

$$\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}; \alpha_{3H} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

F_1 – площа термічно однорідної частини огорожувальної конструкції (керамзитобетонна панель), м², визначаємо за формулою

$$F_1 = h_1 \times b_1 = 2,8 \times 1,66 = 4,648 \text{ м}^2;$$

де h_1 – висота термічно однорідної частини огорожувальної конструкції, м

$$h_1 = 2,8 \text{ м},$$

b_1 – ширина термічно однорідної частини огорожувальної конструкції, м

$$b_1 = 0,83 \times 2 = 1,66 \text{ м},$$

k_1 – лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення, Вт/(м · К), визначаємо за формулою:

$$k_1 = \frac{\overline{q_{TB}} \cdot A}{t_B - t_{3B}} = \frac{0,347 \times 0,5}{1} = 0,1735 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

де $\overline{q_{TB}}$ – середнє значення густини теплового потоку, що проходить через теплопровідне включення, Вт/м², визначаємо за формулою

$$\overline{q_{TB}} = q_{заг} - (\overline{q_1} + \overline{q_2}) = 0,961 - 0,307 - 0,307 = 0,347 \text{ Вт/м}^2$$

де $\overline{q_1}$, $\overline{q_2}$ – густина теплового потоку через дві термічно однорідні частини огорожувальної конструкції, визначаємо за формулами

$$\overline{q_1} = \frac{t_B - t_{3B}}{R_{\Sigma 1}} = \frac{1 - 0}{3,262} = 0,307 \text{ Вт/м}^2$$

$$\overline{q_2} = \frac{t_B - t_{3B}}{R_{\Sigma 1}} = \frac{1 - 0}{3,262} = 0,307 \text{ Вт/м}^2$$

де t_B , t_{3B} – температура, °С, відповідно внутрішнього та зовнішнього повітря, приймаємо

$$t_B = 1 \text{ °С}; t_{3B} = 0 \text{ °С}$$

$q_{\text{заг}}$ – густина теплового потоку, Вт/м², що проходить крізь всю огорожувальну конструкцію, визначаємо за розрахунками температурного поля.

Температурне поле огорожувальної конструкції наведено на рисунку 5.11.

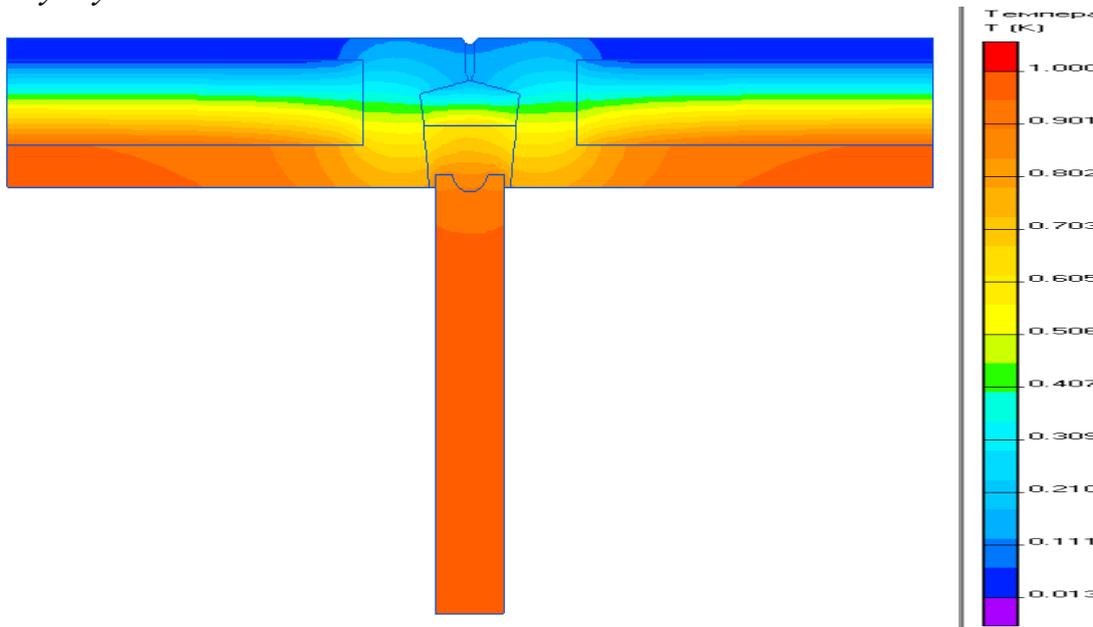


Рис. 5.11 Температурне поле огорожувальної конструкції

За результатами розрахунку температурного поля $q_{\text{заг}} = 0,961 \text{ Вт/м}^2$.

A – ширина теплопровідного включення, м

$$A = 0,5 \text{ м}$$

L_1 – лінійний розмір лінійного теплопровідного включення, м

$$L_1 = 2,8 \text{ м}$$

5.7. Комп'ютерні технології при дослідженні теплового режиму огорожувальних конструкцій

В наш час існують програмні комплекси, що дозволяють розрахувати температурне поле. Однією з найбільш поширених в Україні є програма ELCUT [44].

ELCUT дозволяє вирішувати задачі теплопередачі (стаціонарні та нестаціонарні) в лінійній та нелінійній постановках. При вирішенні теплових задач використовується рівняння теплопровідності в одному з видів:

для лінійних завдань:

- у плоскому випадку

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q - c\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

- у симетричному випадку

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q - c\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

для нелінійних задач:

- у плоскому випадку

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q(T) - c(T)\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

- у симетричному випадку

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q(T) - c(T)\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

де T – температура, °C;

t – час, год.;

$\lambda_{x(y,z,r)}$ – компоненти тензора теплопровідності (у лінійній постановці), $Вт/(м \cdot К)$;

$\lambda(T)$ – теплопровідність, як функція температури, представлена кубічним сплайном (анізотропія не підтримується у нелінійній постановці), $Вт/(м \cdot К)$;

q – питома потужність тепловиділення, в лінійній постановці - константа, в нелінійній постановці – задається кубічним сплайном функція температури;

$c(T)$ – питома теплоємність, в лінійній постановці - константа, в нелінійній постановці – задається кубічним сплайном функція температури;

ρ – щільність, $кг/м^3$.

У стаціонарній задачі останній доданок в правій частині рівнянь дорівнює нулю.

Всі параметри рівнянь в лінійній постановці постійні у межах кожного блоку моделі.

Постановка задачі розподілу температурного поля в тонких пластинах досить схожа на формулювання плоско-паралельної задачі.

ELCUT дозволяє задати джерела тепла в блоках, ребрах або окремих вершинах моделі. Джерело, задане в конкретній точці площини $xу$, описує нагрівач у вигляді струни, слідом якої служить дана точка площині, і задається потужністю тепловиділення на одиницю довжини. У осісиметричному випадку точкове джерело поля представляє нагрівач у вигляді кола навколо осі симетрії або точкове джерело, розташований на осі. Щоб охопити обидва ці випадки, точкове джерело в симетричному випадку завжди описується повною тепловою потужністю, яка для окружності пов'язана з лінійною щільністю тепловиділення співвідношенням $q = 2\pi r \cdot q_l$. Джерело тепла, задане на ребрі моделі, відповідає тепловиділяючій поверхні в тривимірному світі. Віно характеризується поверхневою щільністю тепловиділення і описується за допомогою граничної умови другого роду для ребра. Густина тепловиділення, що задана для блоку моделі, відповідає об'ємному джерелу тепла.

На зовнішніх і внутрішніх гранях розрахункової області можуть бути задані наступні види граничних умов.

Умова заданої температури задає на ребрі або у вершині моделі відоме значення температури T_o (наприклад, при інтенсивному омивання поверхні рідиною постійної температури). Значення T_o на ребрі може бути задане у вигляді лінійної функції координат. Параметри функції можуть мінятися від ребра до ребра, але повинні бути узгоджені так, щоб функція T_o не змінювалася у точках дотику ребер.

Умова заданого теплового потоку описується наступними співвідношеннями:

- на зовнішніх межах

$$F_n = -q_s$$

- на внутрішніх межах

$$F_n^+ - F_n^- = q_s$$

де F_n – нормальна компонента вектора щільності теплового потоку, індекси «+» і «-» означають «зліва від межі» і «праворуч від межі» відповідно.

Для внутрішньої межі q_s означає поверхневу потужність джерела, для зовнішньої – відоме **значення теплового потоку** через межу. Якщо q_s дорівнює нулю, гранична умова називається однорідною. Однорідна умова другого роду на зовнішній межі означає відсутність теплового потоку через зазначену поверхню. Однорідна умова другого роду є природною, вона встановлюється за умовчанням на всіх тих сторонах, складових зовнішньої межі, де явно не вказано інша гранична умова. Цей вид граничної умови вживається в двох випадках: на площині симетрії задачі (якщо через симетричність геометрії та джерел задача вирішується тільки на частині області), а також для опису адіабатичної межі.

Якщо потужність тепловиділення задана на зовнішньому ребрі, що є площиною симетрії задачі, справжнє значення потужності тепловиділення слід розділити навпіл.

Гранична умова конвекції може бути задана на зовнішній межі моделі. Вона описує конвективний теплообмін і визначається наступним чином:

$$F_n = \alpha(T - T_o)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, $m^2 \cdot K/Wm$;

T_o – температура навколишнього середовища, °C.

Параметри α і T_o можуть мінятися від ребра до ребра.

Гранична умова радіації може бути задана на зовнішній межі моделі. Вона описує радіаційний теплообмін і визначається наступним чином:

$$F_n = k_{SB} \cdot \beta(T^4 - T_o^4)$$

де k_{SB} – константа Стефана-Больцмана,

β – коефіцієнт поглинання поверхні,

T_o – температура поглинаючого середовища.

Параметри β і T_o можуть змінюватися від ребра до ребра

Щоб задача розрахунку температурного поля була поставлена коректно, необхідно поставити хоча б в одній вершині умову заданої температури, або хоча б на одному ребрі умову конвекції або радіації.

Гранична умова рівної температури може бути використана для опису тіл з дуже високою, в порівнянні оточуючими тілами, теплопровідністю. Внутрішність такого тіла може бути виключена з розрахунку температурного поля, за умови опису всій його поверхні як поверхні рівної температури. Дана умова відрізняється від умови першого роду тим, що температура на описуваній поверхні не відома заздалегідь.

Ребро, описане умовою рівної температури, не повинно стикатися з будь-яким ребром, де температура задана явно. В останньому випадку ребро з умовою рівної температури повинно бути перевизначено за допомогою граничної умови першого роду з відповідним значенням температури.

При аналізі результатів задачі розтікання струмів ELCUT дозволяє оперувати з наступними локальними і інтегральними фізичними величинами.

Локальні величини:

- температура T , °C;
- вектор щільності теплового потоку $F = -\lambda \text{ grad}T$;
- у площинному випадку

$$F_x = -\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}, \quad F_y = -\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}$$

- у симетричному випадку

$$F_z = -\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}, \quad F_r = -\lambda_r \frac{\partial T}{\partial r}$$

Інтегральні величини:

- потік тепла через задану поверхню

$$\Phi = \int F \cdot n ds$$

де n – одиничний вектор нормалі до поверхні. Поверхню інтегрування задається контуром в площині моделі, що складається з відрізків та дуг окружностей.

Задача 5.9 Виконати розрахунок температурного поля і визначити:

• *приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни житлового будинку;*

• *приведену та мінімальну температуру на поверхнях огороження;*

• *щільність теплового потоку;*

Отримати картину:

• *температурного поля;*

• *температурного поля з ізотермами;*

• *температурного поля з ізотермами та векторами;*

• *градієнту температури (градієнт G);*

- градієнту температури (градієнт G_x);
- градієнту температури (градієнт G_y);
- теплового потоку (тепловий потік F);
- теплового потоку (тепловий потік F_x);
- теплового потоку (тепловий потік F_y);

Побудувати графіки розподілу температури та теплового потоку по поверхнях огороження.

Схема перерізу стіни показана на рис. 5.12.

Розрахунок виконати для кліматичних умов Полтавської області.

За таблицею 5.7 або дод. Г табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову температуру внутрішнього повітря – $t_g = 20^\circ\text{C}$

За таблицею 5.7 або дод. Г табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову відносну вологість внутрішнього повітря – $\phi_g = 55\%$

За таблицею 5.9 або дод. Г табл. Г.1 [6] визначаємо тепловологісний режим приміщення – нормальний;

За таблицею 5.10 або дод. К [6] визначаємо вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції – Б;

По додатком А або табл. А1 [18] визначаємо розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції:

- вапняно-піщаний розчин	$\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- мінеральна вата	$\lambda_{ym} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- цементно-піщаний розчин	$\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- цегла	$\lambda_4 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

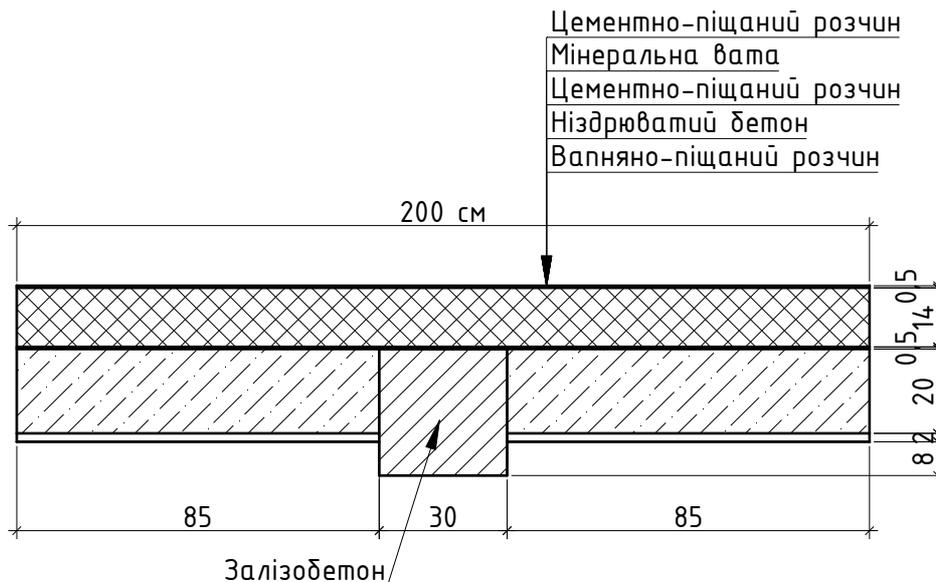


Рис. 5.12 Розрахункова схема огорожувальної конструкції

Методика розрахунку температурного поля з використанням програмного комплексу ELCUT наведена у [44].

На рисунку 5.13 показана картина температурного поля розрахункової ділянки.

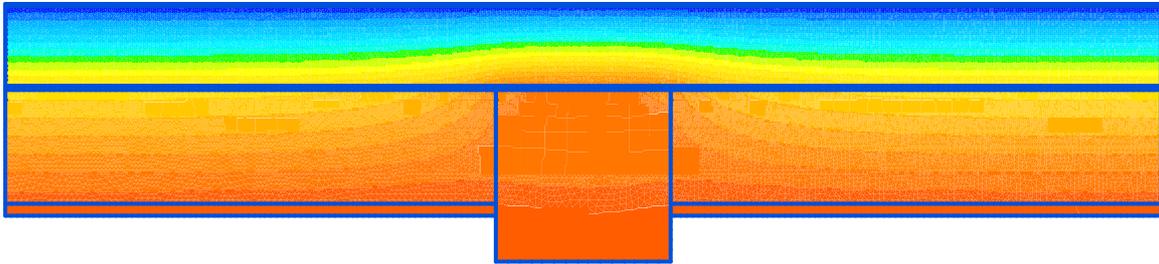


Рис. 5.13 Результат розрахунку температурного поля

Температурне поле з ізотермами наведено на рисунку 5.14.

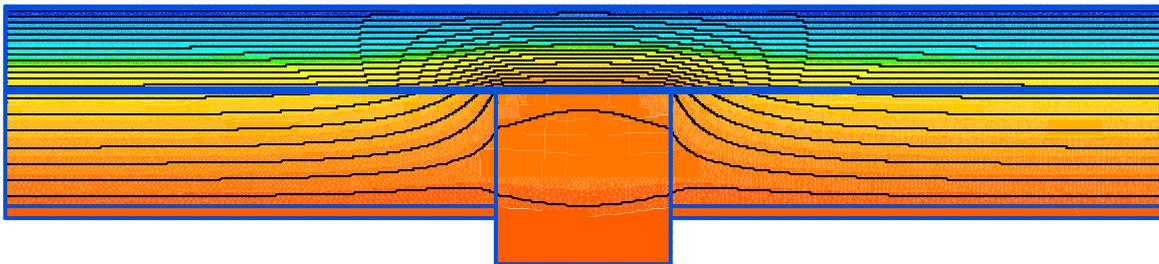


Рис. 5.14 Температурне поле з ізотермами

Температурне поле з ізотермами та векторами наведено на рисунку 5.15.

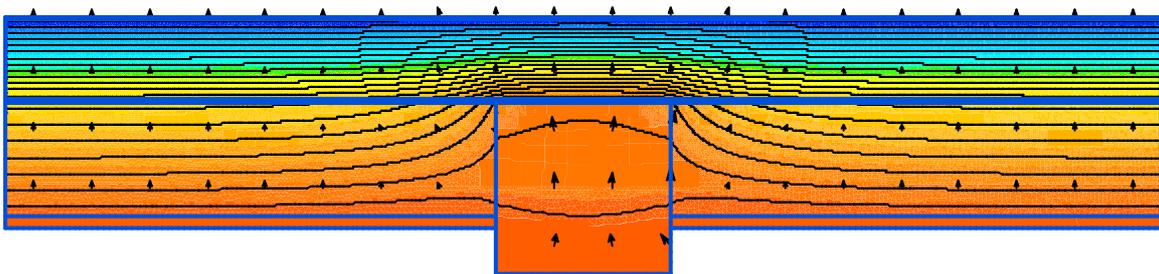


Рис. 5.15 Температурне поле з ізотермами та векторами

Температурне поле з градієнтами температури наведено на рисунку 5.16.

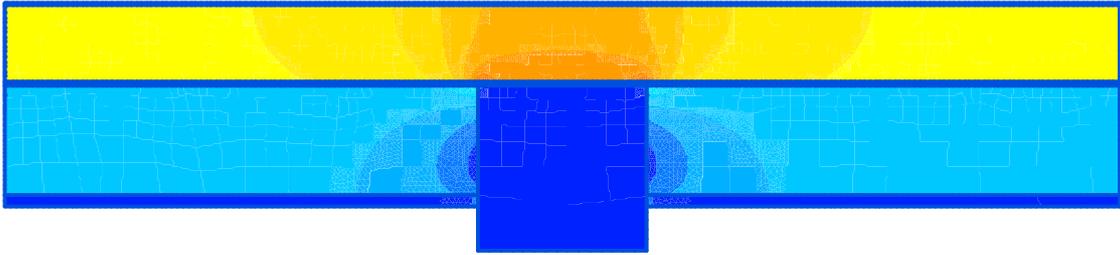


Рис. 5.16 Градієнт температури. Градієнт G

Температурне поле з градієнтами температури (градієнт G_x) наведено на рисунку 5.17.

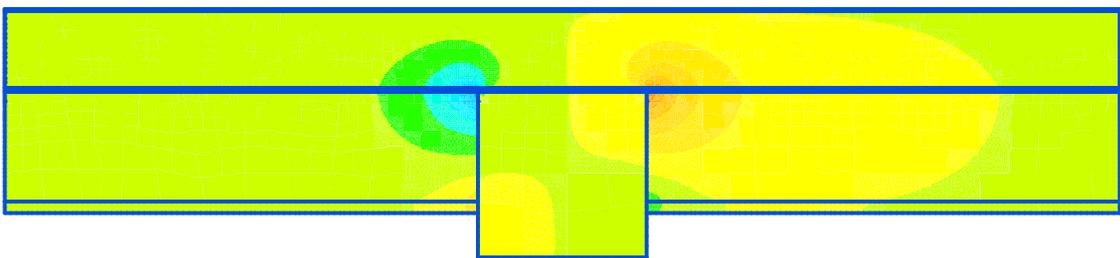


Рис. 5.17 Градієнт температури. Градієнт G_x

Температурне поле з градієнтами температури (градієнт G_y) наведено на рисунку 5.18.

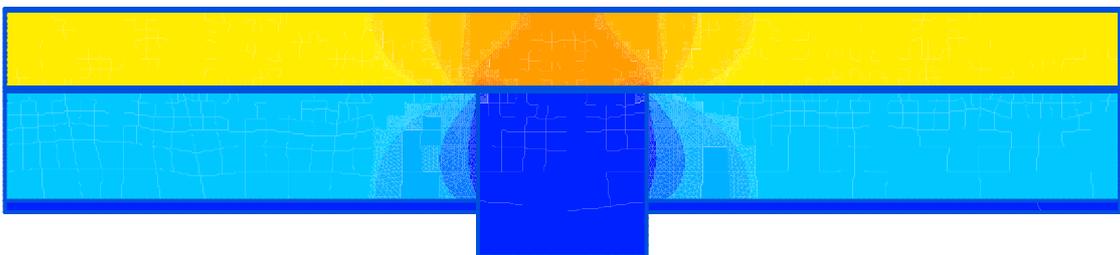


Рис. 5.18 Градієнт температури. Градієнт G_y

Картина поля теплового потоку F наведена на рисунку 5.19.

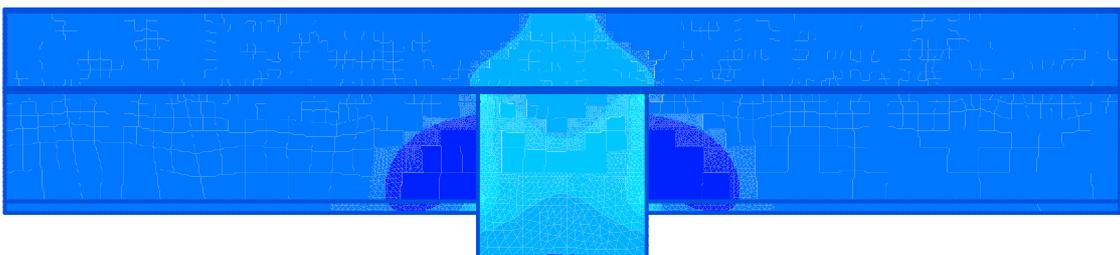


Рис. 5.19 Тепловий потік. Тепловий потік F

Картина поля теплового потоку F_x наведена на рисунку 5.20.

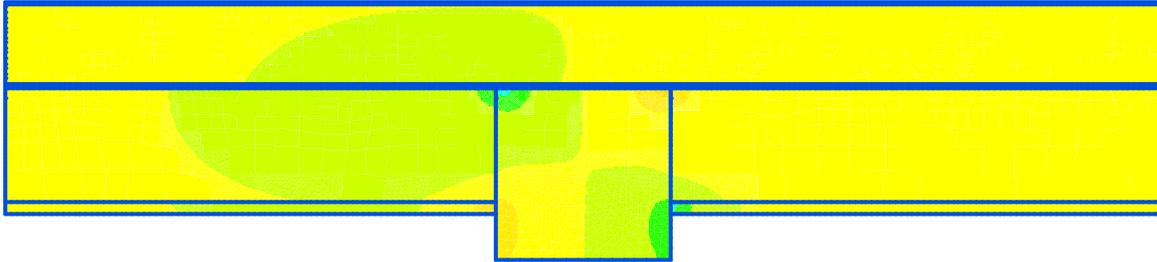


Рис. 5.20 Тепловий потік. Тепловий потік F_x

Картина поля теплового потоку F_y наведена на рисунку 5.21.

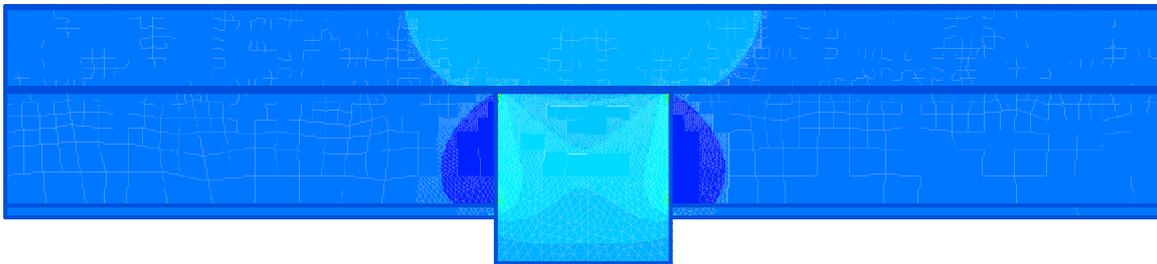


Рис. 5.21 Тепловий потік. Тепловий потік F_y

За результатами розрахунку температурного поля отримуємо у ELCUT Розподіл температури та щільності теплового потоку по внутрішній грані стіни (таблиця 5.11).

Для наочності в таблиці залишені колонки L (відстань від крайньої точки, що розташована праворуч по внутрішній грані огородження, до точок, в яких наведені значення температури та щільності теплового потоку), x та y (координати цих точок), T (температура в точках), F (щільність теплового потоку). Інші колонки видалені.

Таблиця 5.11

Розподіл температури та щільності теплового потоку по внутрішній грані стіни

L (см)	x (см)	y (см)	T (К)	F (Вт/м ²)
0.00000	190.000	80.0000	18.5437	12.6713
10.8000	179.200	80.0000	18.5453	12.6561
21.6000	168.400	80.0000	18.5511	12.6054
32.4000	157.600	80.0000	18.5648	12.4872
43.2000	146.800	80.0000	18.5944	12.2342
54.0000	136.000	80.0000	18.6544	11.7285

L (см)	x (см)	y (см)	T (К)	F (Вт/м ²)
64.8000	125.200	80.0000	18.7556	10.8698
75.6000	114.400	80.0000	18.7789	10.7811
86.4000	105.000	78.6000	17.9199	28.4889
97.2000	100.800	72.0000	18.2489	17.6487
108.000	90.0000	72.0000	18.0334	17.1093
118.800	79.2000	72.0000	18.2491	17.6434
129.600	75.0000	78.6000	17.9198	28.5223
140.400	65.6000	80.0000	18.7789	10.7753
151.200	54.8000	80.0000	18.7556	10.8701
162.000	44.0000	80.0000	18.6544	11.7286
172.800	33.2000	80.0000	18.5944	12.2342
183.600	22.4000	80.0000	18.5648	12.4872
194.400	11.6000	80.0000	18.5511	12.6054
205.200	0.800000	80.0000	18.5453	12.6561
216.000	-10.0000	80.0000	18.5437	12.6713

ELCUT дозволяє отримати графік розподілу температури (рисунок 5.22) та щільності теплового потоку по внутрішній грані стіни (рисунок 5.23).

Також ELCUT дозволяє визначити:

- *середню температуру поверхні $\tau_{в.пр} = 18,8$ °С;*
- *тепловий потік $Q_в = 27,97$ Вт;*
- *мінімальне значення температури на внутрішній поверхні стіни $\tau_{в.min} = 17,8$ °С.*

Аналогічно виконуємо побудову графіків розподілу температури та теплового потоку на зовнішній поверхні стіни та визначаємо:

- *середню температуру зовнішньої поверхні $\tau_{зн.пр} = -21,3$ °С;*
- *тепловий потік, що проходить крізь зовнішню поверхню огороження $Q_{зн} = 28$ Вт;*
- *мінімальну температуру на зовнішній поверхні стіни $\tau_{зн.min} = -24,4$ °С.*

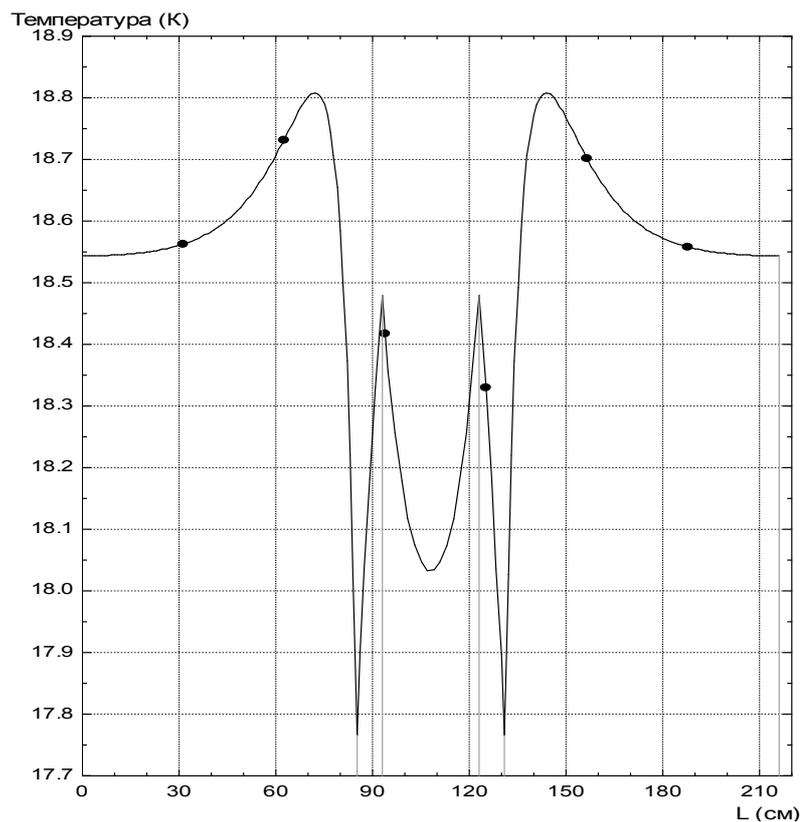


Рис. 5.22 Графік розподілу температури по внутрішній грані стіни

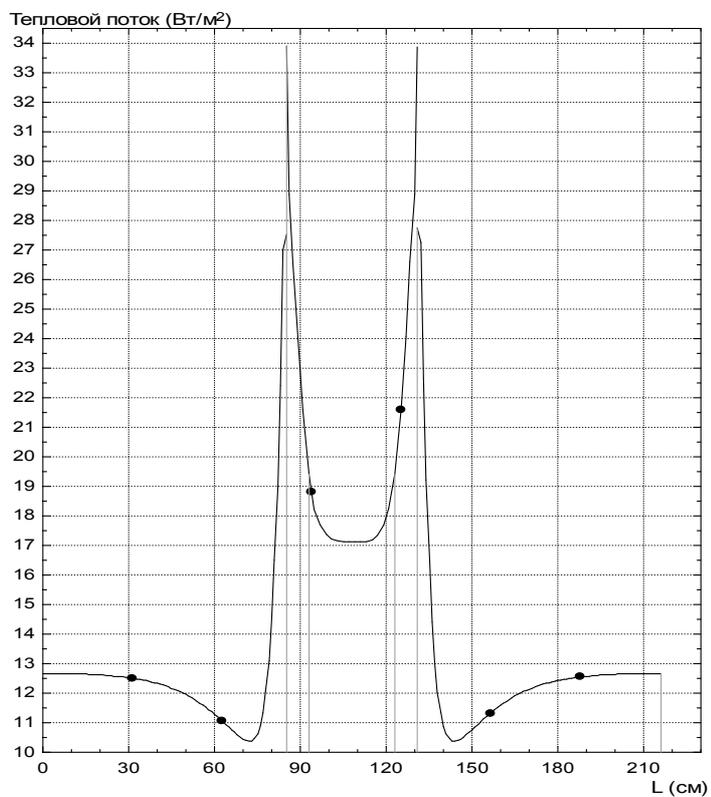


Рис. 5.23 Графік розподілу щільності теплового потоку по внутрішній грані стіни

Використовуючи дані отримані у попередньому розділі, визначаємо $R_{\Sigma np}$ за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{(t_g - t_{zn})}{q_{cp}} = \frac{(20 - (-22))}{14} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

де q_{cp} – щільність теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$, визначаємо за формулою

$$q_{cp} = \frac{q_g + q_{zn}}{2} = \frac{13,99 + 14}{2} = 14 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

q_g та q_{zn} – щільність теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$, що проходить крізь внутрішню та зовнішню поверхню огороження, визначаємо за формулами:

$$q_g = \frac{Q_g}{L \times h} = \frac{27,97}{2 \times 1} = 13,99 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

$$q_{zn} = \frac{Q_{zn}}{L \times h} = \frac{28}{2 \times 1} = 14 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

де Q_g та Q_{zn} – тепловий потік, Вт , що проходить крізь внутрішню та зовнішню поверхню огороження, $Q_g = 27,97 \text{ Вт}$, $Q_{zn} = 28 \text{ Вт}$;

L – довжина розрахункової схеми, м , $L = 2 \text{ м}$;

h – висота розрахункової схеми, м , $h = 1 \text{ м}$.

Так як $R_{\Sigma np} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} < R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, то перша вимога теплозахисту не виконується. Необхідно збільшити товщину утеплювача, або застосувати утеплювач з меншим коефіцієнтом теплопровідності.

За таблицю 5.5 або [6], табл.3 для стін житлових будинків $\Delta t_{ce} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Визначаємо температурний перепад Δt_{np} між температурою внутрішнього повітря t_g і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\tau_{g np}$ за формулою:

$$\Delta t_{np} = t_g - \tau_{g np} = 20 - 18,8 = 1,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Так як $\Delta t_{np} = 1,2 \text{ }^\circ\text{C} < \Delta t_{ce} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$, то друга вимога теплозахисту виконується.

За даними розрахунку температурного поля $\tau_{v \text{ min}} = 17,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Визначаємо температуру точки роси t_p в наступній послідовності:

1. За таблицю 13.2 при температурі повітря $t_g = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює $E_g = 2338 \text{ Па}$.

2. Визначаємо парціальний тиск водяної пари за формулою:

$$e_g = E_g \times \varphi_g \times 0,01 = 2338 \times 55 \times 0,01 = 1286 \text{ Па}$$

де φ_g – відносна вологість внутрішнього повітря, %, визначаємо за таблицею 5.7 або таблицею Г.2 [6], для житлових будинків $\varphi_g = 55 \%$.

За таблицею 13.2 парціальному тиску водяної пари $e_g = 1286 \text{ Па}$ відповідає температура точки роси $t_p = 10,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Так як $\tau_{в, \min} = 17,9 \text{ }^\circ\text{C} > t_p = 10,7 \text{ }^\circ\text{C}$, то третя вимога теплозахисту виконується.

Висновок:

1. Перша вимога теплозахисту не виконується

$$R_{\Sigma np} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} < R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

2. Необхідно прийняти утеплювач з меншим коефіцієнтом теплопровідності або збільшити товщину утеплювача.

Задача 5.10. Привести теплозахисні властивості огорожувальної конструкції розглянутої у прикладі 5.9 до вимог діючих норм.

Із висновків попередньої задачі видно, що для приведення теплозахисних властивостей огороження, що розглядається, до норм, необхідно прийняти утеплювач з меншим коефіцієнтом теплопровідності або збільшити товщину утеплювача.

Змінюємо коефіцієнт теплопровідності утеплювача та виконуємо розрахунок температурного поля огорожувальної конструкції за методикою, наведеною раніше, до тих пір, поки огорожувальна конструкція не буде відповідати всім вимогам теплозахисту.

Розрахунки температурного поля показали, що необхідно зменшити коефіцієнт теплопровідності утеплювача з $\lambda_{ут} = 0,07 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ до $\lambda_{ут} = 0,061 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$. На рисунку 5.24 наведено температурне поле огороження після зменшення коефіцієнта теплопровідності утеплювача.

Визначаємо приведенний опір теплопередачі огороження після зменшення коефіцієнта теплопровідності утеплювача $R_{\Sigma np}$ за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{(t_g - t_{зн})}{q_{cp}} = \frac{(20 - (-22))}{12,71825} = 3,302 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} ,$$

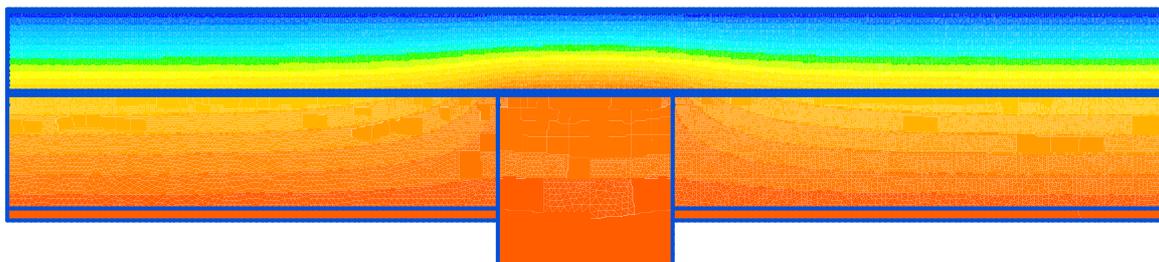


Рис. 5.24 Температурне поле огорожувальної конструкції після зменшення коефіцієнта теплопровідності утеплювача

де q_{cp} – щільність теплового потоку, $Вт/м^2$, визначаємо за формулою:

$$q_{cp} = \frac{q_в + q_{зн}}{2} = \frac{12,7135 + 12,724}{2} = 12,71825 \text{ Вт/м}^2$$

$q_в$ та $q_{зн}$ – щільність теплового потоку, $Вт/м^2$, що проходить крізь внутрішню та зовнішню поверхню огороження, визначаємо за формулами:

$$q_в = \frac{Q_в}{L \times h} = \frac{25,427}{2 \times 1} = 12,7135 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_{зн} = \frac{Q_{зн}}{L \times h} = \frac{25,448}{2 \times 1} = 12,724 \text{ Вт/м}^2,$$

де $Q_в$ та $Q_{зн}$ – тепловий потік, $Вт$, що проходить крізь внутрішню та зовнішню поверхню огороження, $Q_в = 25,427 \text{ Вт}$, $Q_{зн} = 25,448 \text{ Вт}$;

L – довжина розрахункової схеми, $м$, $L = 2 \text{ м}$;

h – висота розрахункової схеми, $м$, $h = 1 \text{ м}$.

Так як $R_{\Sigma np} = 3,302 \text{ м}^2 \cdot К/Вт > R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot К/Вт$, то перша вимога теплозахисту виконується.

Збільшуємо товщину утеплювача та виконуємо розрахунок температурного поля огорожувальної конструкції до тих пір, поки огорожувальна конструкція не буде відповідати всім вимогам теплозахисту.

Розрахунки температурного поля показали, що необхідно збільшити товщину утеплювача на 3 см. На рисунку 5.25 наведено температурне поле огороження після збільшення товщини утеплювача.

Визначаємо приведений опір теплопередачі огороження після збільшення товщини утеплювача $R_{\Sigma np}$ за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{(t_в - t_{зн})}{q_{cp}} = \frac{(20 - (-22))}{12,225} = 3,436 \text{ м}^2 \cdot К/Вт ,$$

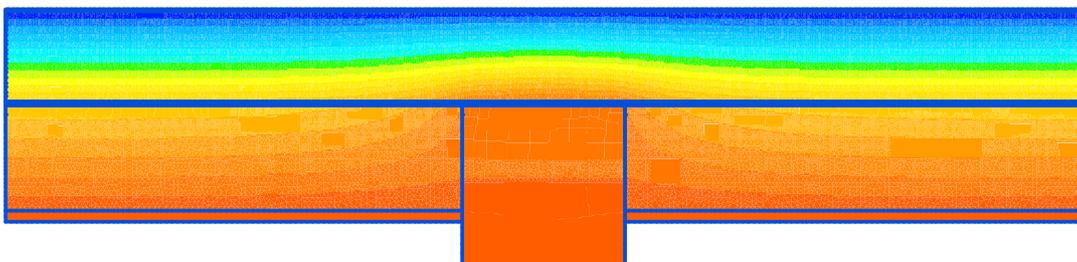


Рис. 5.25 Температурне поле огорожувальної конструкції після збільшення товщини утеплювача

де q_{cp} – щільність теплового потоку, $Вт/м^2$, визначаємо за формулою

$$q_{cp} = \frac{q_в + q_{зн}}{2} = \frac{12,22 + 12,23}{2} = 12,225 \text{ Вт/м}^2$$

$q_в$ та $q_{зн}$ – щільність теплового потоку, $Вт/м^2$, що проходить крізь внутрішню та зовнішню поверхню огороження, визначаємо за формулами:

$$q_в = \frac{Q_в}{L \times h} = \frac{24,44}{2 \times 1} = 12,22 \text{ Вт/м}^2$$
$$q_{зн} = \frac{Q_{зн}}{L \times h} = \frac{24,46}{2 \times 1} = 12,23 \text{ Вт/м}^2,$$

де $Q_в$ та $Q_{зн}$ – тепловий потік, $Вт$, що проходить крізь внутрішню та зовнішню поверхню огороження, $Q_в = 24,44 \text{ Вт}$, $Q_{зн} = 24,46 \text{ Вт}$;

Так як $R_{\Sigma np} = 3,436 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} > R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, то перша вимога теплозахисту виконується.

Висновок:

1. При зменшенні коефіцієнтом теплопровідності утеплювача з $\lambda_{ут} = 0,07 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ до $\lambda_{ут} = 0,061 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ $R_{\Sigma np} = 3,302 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} > R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;

2. При збільшенні товщини утеплювача з $0,14 \text{ см}$ до $0,17 \text{ см}$ $R_{\Sigma np} = 3,436 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} > R_{q \text{ min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Питання для самоперевірки

1. Фізико-технічні показники якості теплоізоляційних матеріалів.
2. Вплив повітряних прошарків на теплозахисні властивості зовнішніх огорожувальних конструкцій.
3. Нормування опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій.
4. Температурні зони за кількістю градусо-днів опалювального періоду.
5. Алгоритм теплотехнічного розрахунку зовнішніх огорожувальних конструкцій.
6. Розрахунок температурного поля програмою ELCUT.

6 ПРОЕКТУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

6.1. Визначення основних експлуатаційних показників вікон

Визначення опору теплопередачі вікна проводиться шляхом підбору комбінації прозорої (склопакет) і непрозорої (профіль ПВХ, алюмінієвий профіль, або дерев'яні елементи) частин вікна за виконання умови:

$$R_{\text{пр}} \geq R_{q \text{ min}} , \quad (6.1)$$

де $R_{\text{пр}}$ – приведений опір теплопередачі вікна;

$R_{q \text{ min}}$ – мінімальне допустиме значення приведенного опору теплопередачі.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{q \text{ min}}$ приймають відповідно до таблиць 5.4–5.5.

Визначення опору теплопередачі вікна треба проводити за формулою (6.2).

Опір теплопередачі профілів з ПВХ, алюмінієвих профілів, або дерев'яних деталей повинна надати фірма, яка їх виготовляє. Дані щодо опору теплопередачі профілів та деталей повинні бути підтверджені протоколами випробувань.

Приведений опір теплопередачі склопакетів визначають згідно з додатком Б або за [6] ДБН В.2.6-31 або на підставі протоколу випробувань.

Лінійний коефіцієнт теплопередачі k_j визначають згідно з таблицею 6.1 або [34], додатком К.

Визначення раціонального розташування віконного блоку по товщині стінової конструкції проводять розрахунковим методом згідно з додатком В [34].

Клас повітропроникності визначають згідно з ДСТУ Б В.2.6-23 на підставі вимог розділу 5 ДБН В.2.6 -31.

6.2. Розрахункове визначення приведенного опору теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій та температурного перепаду конструкцій в залежності від коефіцієнту скління

Приведений опір теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій розраховується за формулою:

$$R_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{сп}} + \sum_{i=1}^n F_i}{\frac{F_{\text{сп}}}{R_{\Sigma\text{сп}}} + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^m k_j \cdot L_j}, \quad (6.2)$$

де $R_{\Sigma\text{сп}}$ – приведений опір теплопередачі світлопрозорої ділянки, що приймається залежно від характеристик скління (склопакетів) – відстані між шарами скла, виду газонаповнення та ступеня чорноти поверхні скла згідно з додатком Б або [6], табл. М.1,

$F_{\text{сп}}$ – площа світлопрозорої частини, м²;

$R_{\Sigma i}, F_i$ – опір теплопередачі та площа i -го непрозорого елемента;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м·К), j -го теплопровідного включення, що визначаються п. 6.3 на підставі розрахунків двовірних (тримірних) температурних полів або згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-146;

L_j – лінійний розмір, м, j -го конструктивного непрозорого елемента (імпосту, стулок, рами, ригелів, стійок тощо) світлопрозорої конструкції.

Температурний перепад, $\Delta t_{\text{пр}}$, для огорожувальних конструкцій з коефіцієнтом скління не більше ніж 0,18 при визначенні щодо виконання умови за формулою (5.3) розраховується тільки для непрозорої частини огороження за формулою:

$$\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{в}} - \tau_{\text{в пр}}, \quad (6.3)$$

де $\tau_{\text{в пр}}$ – приведена температура внутрішньої поверхні, °С, термічно неоднорідної непрозорої конструкції, що розраховується при розрахунковому значенні температури внутрішнього повітря, $t_{\text{в}}$, прийнятому залежно від призначення будинку за таблицею 5.6, і розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря, $t_{\text{з}}$, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будинку за таблицею 5.7, за формулою:

$$\tau_{\text{в пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{\tau_{\text{в}i}} \cdot F_i}{F_{\Sigma}}. \quad (6.4)$$

Для огорожувальних конструкцій з коефіцієнтом скління 0,18 і більше температурний перепад $\Delta t_{\text{пр}}$ при визначенні виконання умови за формулою (5.3) розраховується за формулою:

$$\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{в}} - \frac{\tau_{\text{в пр}} \cdot F_{\text{н}} + \tau_{\text{всп пр}} \cdot F_{\text{сп}}}{F_{\Sigma}}. \quad (6.5)$$

де $\tau_{впр}$, F_H – приведена температура внутрішньої поверхні, °С, та площа, м², непрозорої частини огорожувальної конструкції;

$F_{сп}$ – площа світлопрозорої частини, м²;

$\tau_{всппр}$ – приведена температура внутрішньої поверхні, °С, світлопрозорої частини огорожувальної конструкції, що розраховується за формулою:

$$\tau_{всппр} = \frac{\sum_{i=1}^I \tau_{спi} \cdot F_{спi} + \sum_{j=1}^J \tau_j \cdot F_j}{F_{сп}}, \quad (6.6)$$

де $\tau_{спi}$, $F_{спi}$ – відповідно середня температура внутрішньої поверхні, °С, та площа, м², i -го склопакету чи скла;

τ_j , F_j – середня температура внутрішньої поверхні, °С, та площа, м², j -го конструктивного непрозорого елемента (імпосту, стулок, рами, дистанційних рамок склопакету, ригелів, стійок тощо) світлопрозорої конструкції, відповідно.

6.3. Значення лінійного коефіцієнту теплопередачі світлопрозорих конструкцій

Порядок визначення лінійного коефіцієнту теплопередачі, k , Вт/(м · К), за ДБН В.2.6-31:2006:

Визначають густину теплового потоку \bar{q}_1 і \bar{q}_2 , Вт/м², через кожний вузол (стик) конструкції огороження, утворений перетином суміжних термічно однорідних конструкцій, протяжністю L , м, з відомими теплотехнічними характеристиками (рис. 6. 1).

Густину теплового потоку, що проходить через огорожувальну конструкцію з теплопровідним включенням, $q_{заг}$, Вт/м², визначають на підставі результатів розрахунків двовірного температурного поля. Середнє значення густини теплового потоку, що проходить через теплопровідне включення (вузол, стик), $\bar{q}_{ТВ}$, Вт/м², визначають за формулою:

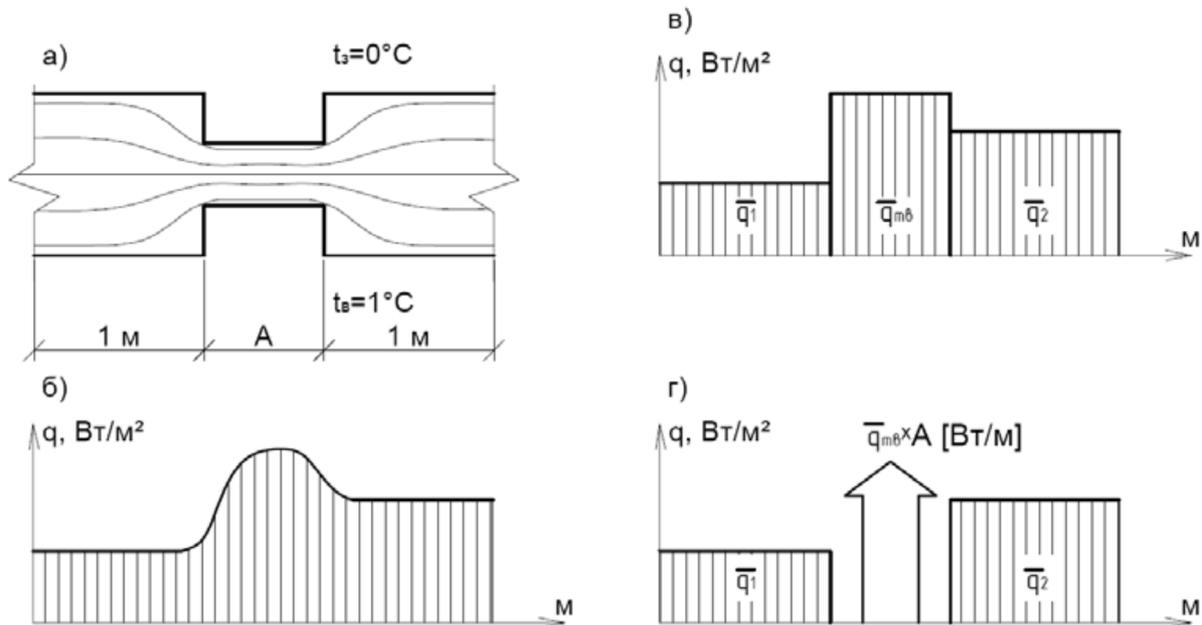
$$\bar{q}_{ТВ} = q_{заг} - (\bar{q}_1 + \bar{q}_2). \quad (6.7)$$

Лінійний коефіцієнт теплопередачі визначають за формулою:

$$k = \frac{\bar{q}_{ТВ} \cdot A}{t_{вн} - t_{зн}} \quad (6.8)$$

де A – ширина теплопровідного включення, м;

$t_{вн}$, $t_{зн}$ – відповідно внутрішня та зовнішня температури повітря, °С.



- а) температурне поле вузла;
 б) еюра густини теплового потоку вузла;
 в) модель визначення густини теплового потоку вузла;
 г) густина теплового потоку з використанням поняття лінійного коефіцієнта теплопередачі)

Рис. 6.1 Принципи моделювання при визначенні лінійного коефіцієнта теплопередачі

За ДСТУ-Н Б В.2.6-146 лінійний коефіцієнт теплопередачі визначають за таблицею 6.1.

Значення k_j наведені в таблиці відповідають дистанційним рамкам з товщиною стінок: із алюмінію та нержавіючої сталі – 0,25 мм, із ПВХ – 1,0 мм та TPS – 5–7 мм.

Значення k_j наведені в таблиці розраховані для віконних блоків з деревини та ПВХ. Для віконних блоків з алюмінієвих сплавів з термовставками представлені значення необхідно збільшити на 15%.

Для віконних блоків з алюмінієвих сплавів без термовставок $k_j = 0$.

Таблиця 6.1

Значення коефіцієнту k_j (табл. К.1, [34])

Ширина дистанційних рамок	Значення лінійного коефіцієнта теплопередачі k_j при різній ступені заглиблення дистанційної рамки відносно штапика С								
	Дистанційні рамки з алюмінієвих сплавів			Дистанційні рамки з нержавіючої сталі			Дистанційні рамки з ПВХ, Termis, TPS і т.п.		
	С=0	С=5	С=10	С=0	С=5	С=10	С=0	С=5	С=10
Однокамерні склопакети									
6	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
10	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
14	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03
18	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
22	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04
Двокамерні склопакети									
6	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02
10	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03
14	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03
18	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,04	0,04	0,03
22	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04

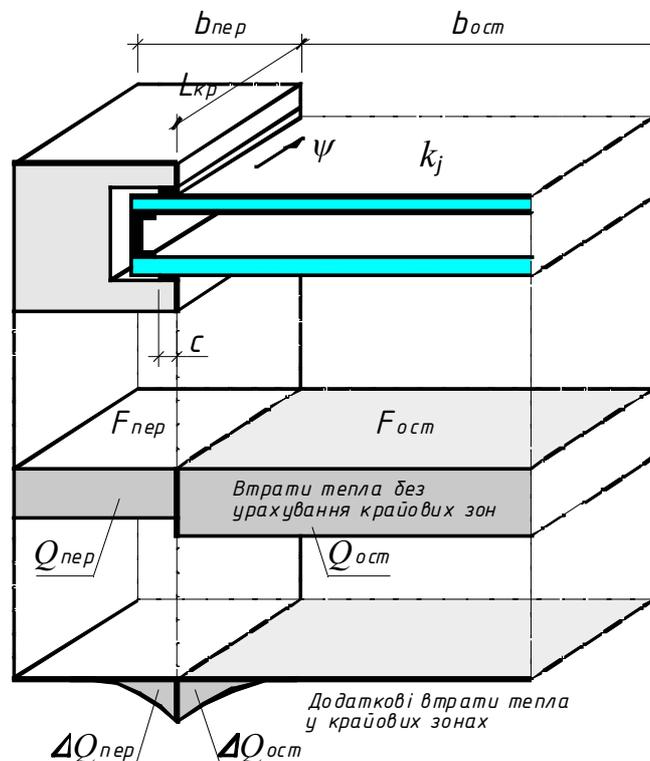


Рис. 6.2 Схема розподілення теплових потоків скрізь засklenня та непрозору частину віконних блоків з урахуванням крайових зон

Задача 6.1 Визначити приведений опір теплопередачі двостулкового віконного блока 1,5 м x 1,5 м з одною глухою та одною поворотно-відкидною стулками із ПВХ-профілів фірми profine торгівельної марки Kommerling серії EuroFutur standard з двокамерними склопакетами 4M₁ – 12Ar – 4M₁ – 12Ar – 4K (рис. 6.3). Дистанційні рамки склопакетів із алюмінію.

Приведений опір теплопередачі профільної системи приймають за результатами сертифікаційних випробувань і складають $\Sigma R_i = 0,85 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Приведений опір теплопередачі центральної зони склопакетів приймають за додатком Б або [34], таблицею М1 в залежності від конструкції склопакета і у нашому випадку складає $\Sigma R_{\text{сп}} = 0,68 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

У відповідності до початкових даних (див. рис. 6.3) визначаємо: $F_{\text{бл.}} = 2,146 \text{ м}^2$; $F_{\text{сп.}} = 1,529 \text{ м}^2$; $\Sigma F_i = 0,617 \text{ м}^2$; $\Sigma L_j = 7,5 \text{ м}$.

За таблицею 6.1 для двокамерного склопакета з дистанційними рамками із алюмінію при глибині посадки склопакета у рамі $s = 5 \text{ мм}$ приймаємо $k_j = 0,06 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Розраховуємо величину приведенного опору теплопередачі віконного блока у цілому:

$$R_{\text{пр}} = \frac{2,146}{\frac{0,617}{0,85} + \frac{1,529}{0,68} + 0,06 \cdot 7,5} = 0,63 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

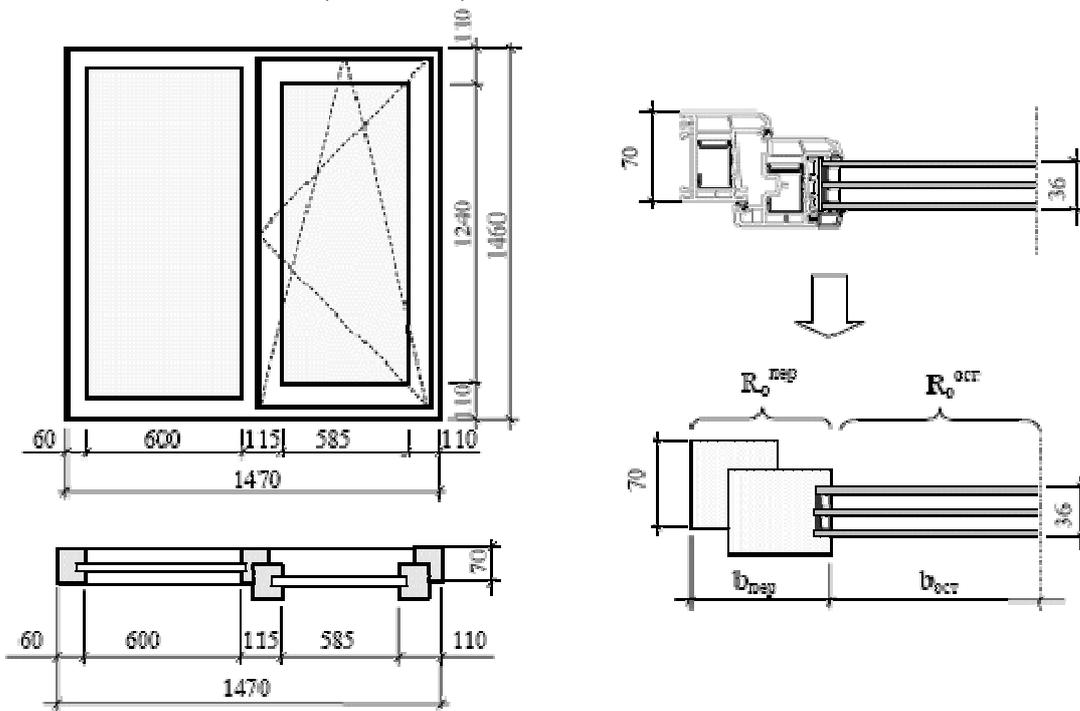


Рис. 6.3 Основні розміри віконного блока з ПВХ-профілів торгівельної марки Kommerling серії EuroFutur standard с двокамерними склопакетами

Задача 6.2 Визначити приведений опір теплопередачі дверного балконного блока із ПВХ-профілів фірми profine торгівельної марки КВЕ серії ElitaOptima з двокамерними склопакетами 4М1 – 12 – 4М1 – 12 – 4R (рис. 6.4).

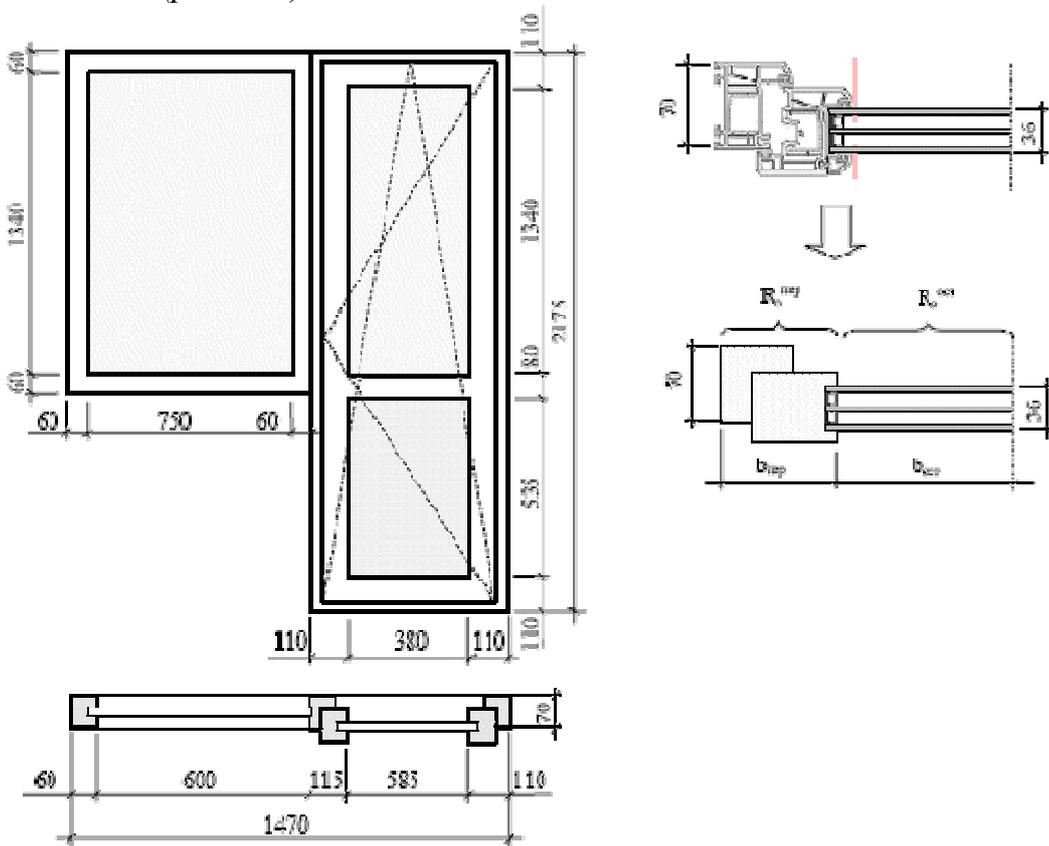


Рис. 6.4 Основні розміри балконного дверного блоку з ПВХ-профілів КВЕ серії ElitaOptima із двокамерними склопакетами.

Дистанційні рамки склопакетів із алюмінію.

Нижня частина полотна дверного блоку заповнена теплоізоляційною плитою «Stadur» товщиною 36 мм.

Приведений опір теплопередачі профільної системи за результатами випробувань складає $\Sigma R_i = 0,91 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Приведений опір теплопередачі центральної зони склопакетів приймають за додатком Б або таблицею М1 ДБН В 2.6-31 в залежності від конструкції склопакета:

$$R_{\text{сп}} = 0,61 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

Приведений опір теплоізоляційної плити визначаємо за формулою:

$$R_{\text{пл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{пл}}}{\lambda_{\text{пл}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,034}{0,037} + \frac{1}{23} = 1,09 \text{ м}^2 \text{ К/Вт},$$

де $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{зн}}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), які приймаються згідно таблиці 4.1 або дод. Б [18];

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з додатком А або [18], табл. А1), Вт/(м · К).

У відповідності до початкових даних (див. рис. 6.4) визначаємо: $F_{\text{бл.}} = 2,71 \text{ м}^2$; $F_{\text{сп.}} = 1,51 \text{ м}^2$; $\Sigma F_i = 1 \text{ м}^2$; $\Sigma F_{\text{пл}} = 0,2 \text{ м}^2$; $L_j = 7,6 \text{ м}$.

За таблицею 6.1 приймаємо для двокамерного склопакета з дистанційними рамками із алюмінію при глибині посадки склопакета $c = 5 \text{ мм}$, $k_j = 0,06 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

Розраховуємо величину приведенного опору теплопередачі балконного блока у цілому:

$$R_{\text{бл}} = \frac{2,71}{\frac{1,00}{0,91} + \frac{1,51}{0,61} + \frac{0,20}{1,09} + 0,06 \cdot 7,6} = 0,64 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

Задача 6.3 Вибрати склопакет вікон житлового будинку м. Полтава
Вихідні дані:

розрахункова температура внутрішнього повітря $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ [6, таблиця Г.2];

відносна вологість внутрішнього повітря $\varphi_{\text{в}} = 55 \%$ [6, таблиця Г.2];

район будівництва – м. Полтава.

Місто Полтава належить до I температурної зони України (рис.5.2), для якої мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції

$R_{q,\text{min}} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ за таблицею 5.4 або [6], таблиця 1.

За додатком Б або [6], табл. М1 підібрано варіант скління 4і – 10 – 4М1 – 10 – 4і (подвійний склопакет з двох шарів енергозберігаючого скла з м'яким покриттям і одного листового стандартного скла та з заповненням середовища камер повітрям). Приведений опір теплопередачі такого склопакета $R_{\Sigma\text{пр.в}} = 0,93 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Питання для самоперевірки

1. Основні експлуатаційні показники вікон.
2. Приведений опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій.
3. Визначення лінійного коефіцієнту теплопередачі світлопрозорих конструкцій.

7 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ ЗА ТЕПЛОВТРАТАМИ БУДИНКУ НА ОПАЛЕННЯ

7.1. Загальні положення із забезпечення енергоефективності

При проектуванні будинку визначається розрахунковий показник питомих втрат теплової енергії, як функція від теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій, об'ємно-планувальних рішень будинку, тепловиділень і кількості сонячної енергії, що попадає у приміщення будинку, ефективності інженерних систем підтримки необхідного мікроклімату приміщень і систем тепlopостачання. Цей розрахунковий показник не повинен перевищувати нормований показник. У нормуванні цього комплексного показника й полягає основна відмінність норм від колишніх нормативних документів з будівельної теплотехніки.

Новизна підходу в нормах полягає в можливості використання резервів, що були не задіяні в колишніх нормативних документах. Згідно з новим принципом регламентуються вимоги не до окремих частин будинку (стіни, перекриття, вікна тощо), що формують тепловий баланс будинку, а до будинку в цілому з енергетичної точки зору. Основним критерієм є комплексний показник питомого енергоспоживання (на один кв. м корисної площі або на один куб. м опалювального об'єму за градусо-добу опалювального періоду) на опалення будинку за опалювальний період. Цей показник є основною нормою для теплотехнічного проектування й має розмірність, як це прийнято в європейській нормативній базі, кВт·год/(м²·°·доба) або кВт·год/(м³·°·доба). При виконанні цього нормативного принципу можна:

- не виконувати жорстких вимог забезпечення поелементного нормативного рівня;
- забезпечувати рівний із поелементними вимогами енергозберігаючий ефект за рахунок комплексного проектування теплоізоляції будинку й обліку систем тепlopостачання;
- мати можливість більшого вибору проектних рішень при проектуванні в порівнянні із поелементним нормуванням, що обумовлює підвищення якості проектування.

Вибір рівня для окремих елементів теплоізоляційної оболонки здійснюють таким шляхом, коли комбінація цих рівнів приводить до одного головного результату – забезпечення питомих витрат корисної теплової енергії на опалення. Це означає, що рівень теплоізоляції для окремих зовнішніх конструкцій може бути нижче, рівним або вище поелементного рівня. Інша можливість – це компенсація зниженого в порівнянні із поелементним рівнем теплоізоляції для одних елементів теплоізоляційної оболонки за рахунок підвищення для інших.

Така можливість виникає тому, що враховується вплив факторів, які не враховуються при поелементному нормуванні. Наприклад, об'ємно-планувальні рішення і, зокрема, ширина будинку впливають на питомі втрати теплової енергії. У нормах наведені рекомендовані значення щодо співвідношення площі поверхні огорожувальних конструкцій до замкнутого в них об'єму, при яких забезпечується енергоефективне компонування будинків. Ці вимоги є рекомендовані і тому вони не обмежують вибір архітектурних рішень будинку. У випадку, якщо архітектурне рішення будинку не енергоефективне за цими параметрами, то необхідно вибрати підвищені вимоги до теплоізоляції огорожувальних конструкцій.

Іншим прикладом є вплив ефективності систем тепlopостачання. Норматив питомих витрат теплової енергії на опалення встановлений з розрахунку підключення будинку до централізованої системи тепlopостачання. При підключенні будинку до більш ефективних систем тепlopостачання цей норматив буде вищим, а до менш ефективних – нижчим. У нормах наведені формули, що забезпечують такий облік. У першому випадку вимоги до окремих елементів зовнішніх огорожувальних конструкцій можуть бути знижені, а в другому – повинні бути підвищені. Слід підкреслити, що цей напрям поки не має достатнього розвитку. Будинок є єдиною енергетичною системою і в залежності від характеристик енергоефективності підсистем визначається загальна енергетична ефективність будинку, що дає можливість оптимізувати властивості кожної підсистеми в залежності від особливостей об'єкту проектування. Тому нагальним завданням є вивчення та введення в практику проектування оцінювання енергоефективності інженерних систем та впливу цих характеристик на проектування рівня теплоізоляції будинків.

Третім прикладом є вибір орієнтації будинку. При більш вдалій орієнтації будинку стає істотним вплив сонячної радіації, й у цьому випадку рівень теплоізоляції як у цілому, так і по окремих елементах може бути знижений.

З наведених вище прикладів видно, що досягти вимоги норм можливо різними шляхами або їхніми комбінаціями. Норми стимулюють проектувальника до пошуку найбільш вигідних комбінацій залежно від поставленого перед ним завдання. Наприклад, поставлене завдання встановити новий рівень теплоізоляції для зовнішніх стін на 20% нижче рівня, встановленого при поелементному нормуванні. Таке завдання можна вирішити декількома шляхами. Перший шлях – вибрати більш ефективне об'ємно-планувальне рішення. Наприклад, збільшити ширину будинку з 12 м до 16 м. Якщо цього буде недостатньо, то можна спробувати встановити підвищений, у порівнянні із поелементним, рівень теплоізоляції для горіщних або цокольних перекриттів, або провести

заміну вікон на більш енергоефективні, або знизити площу застосування фасаду будинку. Іншою можливістю буде використання децентралізованої системи теплопостачання, наприклад, газової котельні, встановленої на даху будинку, замість підключення до централізованої системи теплопостачання [40].

7.2. Енергетична паспортизація будинків

Енергетична паспортизація будинків є обов'язковою умовою забезпечення їх енергоефективності. Енергетичний паспорт повинен містити три аспекти енергетичної ефективності будинків: доказ відповідності проекту нормативним вимогам, контроль енергоефективності в процесі експлуатації, мотивація власників будинків до зниження енергоспоживання. Крім того, цей документ повинен підтверджувати енергетичну якість будинку при оцінці його вартості на ринку житла [40].

Паспорт енергетичної ефективності будівлі – документ встановленої форми, в якому зазначаються енергетичні характеристики під час проектування об'єкту будівництва, обраховані відповідно до вимог.

Загальна структура енергетичної паспортизації (рис. 7.1), включає:

1) визначення:

загальних будівельних даних про геометрію та орієнтацію будинку, його поверховість та об'єм, площу зовнішніх огорожувальних конструкцій, площу підлоги опалювальних приміщень;

кліматичних характеристик району будівництва, у тому числі детальні дані про опалювальний період, розрахункову температуру внутрішнього повітря;

даних про системи підтримки мікроклімату приміщень і способів їхнього регулювання залежно від зміни кліматичних впливів та інших джерел надходження теплової енергії до будинку;

проектних даних про теплоізоляцію будинку та енергетичні параметри – значення приведенного опору теплопередачі як окремих елементів, так і теплоізоляційної оболонки будинку в цілому; зведених енергетичних параметрів будинку – питомі витрати енергії на опалення будинку;

відповідності теплотехнічних та енергетичних параметрів будинку нормативним вимогам;

2) встановлення:

змін (об'ємно-планувальних, конструктивних, систем підтримки мікроклімату) побудованого будинку в порівнянні із проектом;

фактичних параметрів енергоспоживання та теплотехнічних показників будинку після річного періоду його експлуатації;

порівняння проектних і експлуатаційних теплотехнічних і енергетичних характеристик;

3) маркування:

присудження категорій по енергетичній ефективності з відповідними пільгами або санкціями, енергетична сертифікація будинку;

розробка заходів щодо підвищення енергетичної ефективності.

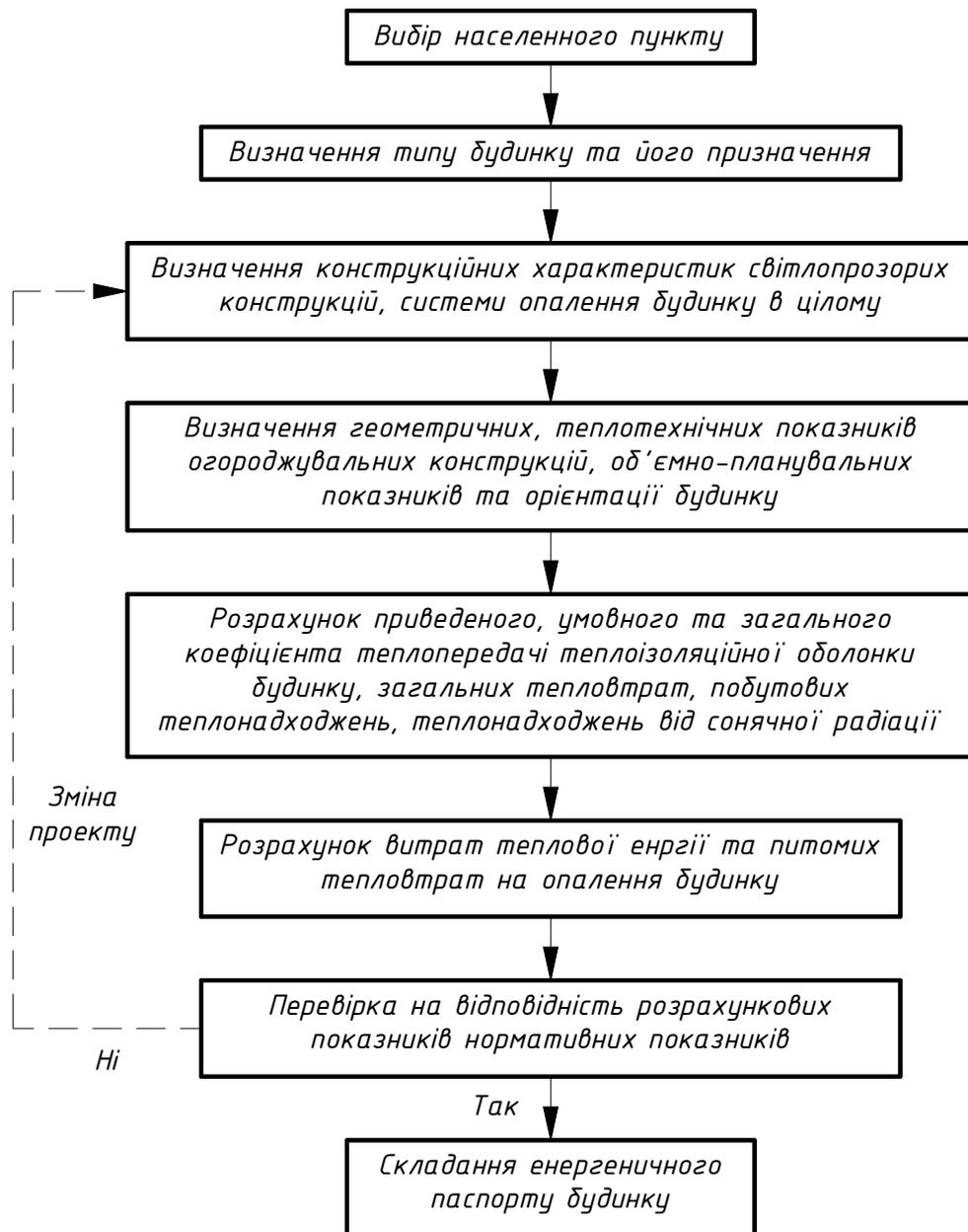


Рис. 7.1 Алгоритм визначення розрахункових параметрів та складання енергетичного паспорту

Енергетичний паспорт за своєю методичною суттю базується на двох методиках: методиці теплотехнічного проектування будинку та методиці контролю енергетичних параметрів будинку, що експлуатується.

Приведений коефіцієнт теплопередачі будинку, визначений в енергетичному паспорті згідно з ДБН В.2.6-31:2006, характеризує як трансмісійну, так і інфільтраційну складові тепловтрати будинку. При оцінці енергоспоживання будинку в натурних умовах враховуються не тільки витрати тепла, що подається в будинок системою опалення, але й інші джерела енергії, які виділяють тепло усередині будинку: гаряче водопостачання, електричні, освітлювальні й побутові прилади, газові плити.

З введенням ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 енергетичний паспорт з 01.01.2009 став обов'язковою частиною проектної документації. Положення стандарту застосовують юридичні та фізичні особи (незалежно від форм власності), які здійснюють діяльність щодо енергозбереження під час проектування нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації) і проведення енергетичного обстеження будинків. Стандарт визначає процедуру енергетичного обстеження або енергетичного аудиту (енергоаудит) будинку, як визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на обігрівання будинку під час його експлуатації, що включає проведення аналізу архітектурно-планувальних рішень, інструментального встановлення теплотехнічних показників теплоізоляційної оболонки будинку та енергетичних характеристик інженерного обладнання, структури енерговитрат упродовж опалювального періоду, визначення відповідності фактичних питомих тепловитрат нормативним значенням, визначення потенціалу енергозбереження, Надання обґрунтованих заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності будинку.

Підвищення енергетичної ефективності будинку – це комплекс конструктивних заходів, які приводять до зниження витрат теплової енергії на опалення будинку при обов'язковому забезпеченні оптимальних мікрокліматичних умов приміщень.

Стандарт вводить нове поняття – термін ефективною експлуатації теплоізоляційної оболонки та її елементів, який визначається експлуатаційним періодом, упродовж якого шар теплової ізоляції конструкцій теплоізоляційної оболонки будинку зберігає свої теплоізоляційні властивості на рівні проектних показників, що підтверджується результатами лабораторних випробувань, і зазначено в умовних роках експлуатації (терміну служби).

Енергетичний паспорт будинку розробляється для підтвердження відповідності показників енергетичної ефективності будинку вимогам ДБН В.2.6-31:2006, на підставі якого здійснюється класифікація будинку за його енергоефективністю.

Енергетичний паспорт повинен бути включений як окремий документ до розділу проектною документації, який стосується реалізації

вимог з енергозбереження та оцінки енергетичної ефективності будинку. Енергетичну ефективність будинку визначають такі показники:

- питомі тепловитрати на опалення будинку за опалювальний період $q_{\text{буд}}, \text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ [$\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3$];
- загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку $K_{\text{буд}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку $k_{\Sigma \text{пр}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- умовний коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будинку $k_{\text{інф}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що враховує тепловитрати за рахунок інфільтрації та вентиляції;
- середня кратність повітрообміну за опалювальний період $n_{\text{об}}, \text{год}^{-1}$
- коефіцієнт скління фасадів будинку $m_{\text{ск}}$;
- показник компактності будинку $\Lambda_{\text{к буд}}, \text{м}^{-1}$.

Енергетичний паспорт будинку складають проектні організації, які мають відповідні ліцензії.

7.3. Класи енергетичної ефективності

У ДБН В.2.6-31:2006 та ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 встановлено 6 класів енергетичної ефективності будинку (табл.7.1). Наявність 6-ти класів на шкалі маркування надає можливість уніфікації відповідних економічно обґрунтованих заходів із заощадження енергії в будинках різних за періодом будівництва, конструктивними та інженерними рішеннями, нормами проектування, умовами експлуатації, а також оцінки інвестиційної привабливості будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації) та експлуатації 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. Цей клас може бути уточнений за результатами експлуатації та впровадження заходів з енергозбереження.

В основу класифікації будинків за енергетичною ефективністю покладено рівень відносного відхилення розрахункових та нормативних значень питомих витрат теплової енергії на опалення.

Вимоги до класу енергетичної ефективності будинку встановлюються замовником у завданні на проектування та реалізуються під час проектування у відповідних розділах проекту згідно з ДБН А.2.2-3-2004 «Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектною документації для будівництва».

**Класифікація будинків за енергетичною ефективністю
(табл. Ф4, [6])**

Класи енергетичної ефективності будинку	Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомих тепловитрат, $q_{б\ddot{y}д}$, від максимально допустимого значення, $E_{max} \cdot [(q_{б\ddot{y}д} - E_{max}) / E_{max}] / E_{max} \cdot 100 \%$
А	мінус 50 та менше
В	від мінус 49 до мінус 10
С	від мінус 9 до 0
D	від плюс 1 до плюс 25
Е	від плюс 26 до плюс 75
F	плюс 76 та більше

Будинкам, що проектуються, надається клас не нижчий від «С». Відповідність вимогам ДБН В.2.6-31:2006 має бути підтверджена після завершення будівництва.

Для будинків, що експлуатуються, енергетичний паспорт розробляється на замовлення організації, що здійснює нагляд за їх експлуатацією, або власника будинку. Для будинків, виконавча документація на будівництво яких не збереглася, енергетичні паспорти складають організації та установи, що мають відповідні ліцензії, на основі матеріалів бюро технічної інвентаризації, натурних технічних обстежень і вимірювань фактичних теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будинку. ефективності здійснюється за результатами енергетичних обстежень (енергоаудиту), які проведено незалежними організаціями та установами, акредитованими у встановленому порядку. У випадку отримання результатів, які відповідають класам «D», «E», «F», необхідно розробити заходи щодо підвищення енергоефективності будинку з доведенням до класу, не нижче від «С», для чого здійснюється відповідний запис до розділу енергетичного паспорту «Висновки за результатами оцінки енергетичних параметрів будинку».

При проектуванні теплоізоляційної оболонки будинку необхідно враховувати вимоги 1.15 ДБН В.2.6-31:2006 щодо терміну ефективної експлуатації складових теплоізоляційної оболонки будинку, який встановлюється за мінімальним терміном ефективної експлуатації шару теплової ізоляції її елементів.

7.4. Проектування теплоізоляційної оболонки за тепловтратами будинку на опалення

Питомі тепловтрати на опалення будинків повинні відповідати умові

$$q_{\text{буд}} \leq E_{\text{max}}, \quad (7.1)$$

де $q_{\text{буд}}$ – розрахункові або фактичні питомі тепловитрати, за формулою (7.2).

E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалюваний період кВт · год/м² або кВт · год/м³, що встановлюється згідно таблиці 7.2 залежно від призначення будинку, його поверховості та температурної зони експлуатації будинку.

Таблиця 7.2

Нормативні максимальні теплові витрати житлових і громадських будинків (E_{max}) (табл. 4, [6])

Ч.ч.	Призначення будівлі	Значення E_{max} , кВт · год/м ² [кВт · год/м ³], для температурної зони України	
		I	II
1	Житлові будинки поверховістю:		
	1	$600 \times F_h^{-\frac{1}{4}}$	$500 \times F_h^{-\frac{1}{4}}$
	від 2 до 3	$470 \times F_h^{-\frac{1}{4}}$	$400 \times F_h^{-\frac{1}{4}}$
	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	$\left[230 \times V_h^{-\frac{1}{3}} \right]$	$\left[200 \times V_h^{-\frac{1}{3}} \right]$
	від 4 до 9	[15]	[13]
	від 10 до 16	[14]	[12]
	від 17 до 24	[13]	[11]
	25 і більше	[12]	[11]
3	Будинки та споруди навчальних закладів	[31]	[28]
4	Будинки та споруди дитячих дошкільних закладів	[36]	[33]
5	Заклади охорони здоров'я	[47]	[42]
6	Підприємства торгівлі	[15]	[12]
7	Готелі	51	44

Примітка: F_h – опалювана площа житлового будинку, m^2 ;

V_h – опалюваний об'єм громадського будинку або споруди, m^3

Виконання умови (7.1) для будинку, що проектується або експлуатується, перевіряється на підставі результатів енергетичного аудиту будинку, або з використанням математичних моделей теплового режиму будинку, а також за результатами розрахунків згідно з п. 6.5.

При виконанні умови за формулою (7.1) допускається застосовувати окремі конструктивні елементи теплоізоляційної оболонки із зниженими значеннями опору теплопередачі – до рівня 75 % від $R_{q.min}$ для непрозорих частин зовнішніх стін і до рівня 80 % від $R_{q.min}$ для інших огорожувальних конструкцій відповідно до умови за формулою (5.2), при обов'язковому виконанні умов для цих елементів теплоізоляційної оболонки за формулами (5.3) та (5.4).

7.5. Методика визначення розрахункових тепловитрат на опалення будинку

Теплове навантаження будь-якої опалювальної установки складається з корисного навантаження, тобто тієї кількості тепла, яке повинно бути доставлено в приміщення, яке опалюється, і неминучих втрат тепла при його транспортуванні від місць виробітки до місць споживання. Втрати теплоти при транспортуванні складають порівняно малу частину загальної теплопродуктивності установки. В кожному приміщенні, в якому повинна підтримуватись певна температура, неминуча витрата тепла на відшкодування його крізь зовнішні огороження. Тепловтрати приміщення залежать від зовнішніх температурних умов, конструкції огорожень і їх теплозахисних якостей.

Розрахункове значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період $q_{буд}$, кВт · год/ m^2 або кВт · год/ m^3 , визначається за формулою

$$q_{буд} = Q_{рік}/F_h \text{ або } q_{буд} = Q_{рік}/V_b, \quad (7.2)$$

де $Q_{рік}$ – витрати теплової енергії на опалення будинку протягом опалювального періоду року, кВт · год, що визначається на підставі результатів енергетичного аудиту будинку або за результатами розрахунків;

F_h , V_h – опалювана площа або об'єм будинку, m^2 або m^3 , що визначається згідно з положеннями:

Розрахункові витрати теплової енергії $Q_{рік}$ визначаються за формулою

$$Q_{\text{рік}} = [Q_k - (Q_{\text{вн.п}} + Q_s) \cdot \nu \cdot \zeta] \cdot \beta_h, \quad (7.3)$$

де Q_k – загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку будинку, кВт · год, визначаються за формулою (7.4);

$Q_{\text{вн.п}}$ – побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт, що визначаються за формулою (7.10);

Q_s – теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, кВт · год, визначаються за формулою (7.11);

ν – коефіцієнт, що враховує здатність огорожувальних конструкцій будинків акумулювати або віддавати тепло при періодичному тепловому режимі і визначається згідно ДБН В.2.5-24; за відсутності точних даних слід приймати $\nu = 0,8$;

ζ – коефіцієнт авторегулювання подавання тепла в системах опалення; рекомендовані значення $\zeta = 1$ – в однотрубній системі з термостатами та з пофасадним авторегулюванням в індивідуальні теплові пункти (ІТП) або поквартирним горизонтальним розведенням $\zeta = 0,95$ – у двотрубній системі опалення з термостатами та з центральним авторегулюванням на ІТП; $\zeta = 0,9$ – в однотрубній системі з термостатами та з центральним авторегулюванням на ІТП, а та $\zeta = 0,85$ – в однотрубній системі опалення з термостатами і без авторегулювання на ІТП $\zeta = 0,7$ – у системі без термостатів та з центральним авторегулюванням на ІТП з коригуванням за температурою внутрішнього повітря; $\zeta = 0,5$ – у системі без термостатів та б« авторегулювання на ІТП (регулювання центральне в ІТП або котельні);

β_h – коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системою опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів додатковими тепловтратами через зарадіаторні ділянки огорож, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення: для багатосекційних та інших протяжних будинків $\beta_h = 1,13$, для будинків баштового типу $\beta_h = 1,11$.

Загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку будинку, Q_k , кВт·год, визначаються за формулою

$$Q_k = \chi_1 \cdot K_{\text{буд}} \cdot D_d \cdot F_{\Sigma}, \quad (7.4)$$

де $\chi_1 = 0,024$ – розмірний коефіцієнт;

$K_{\text{буд}}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, Вт/(м² · К), визначається за формулою

$$K_{\text{буд}} = k_{\Sigma\text{пр}} + k_{\text{інф}}, \quad (7.5)$$

де $K_{\Sigma\text{пр}}$ – приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, Вт/(м² · К), що визначається за формулою

$$k_{\Sigma\text{пр}} = \xi (F_{\text{нп}}/R_{\Sigma\text{пр.нп}} + F_{\text{сп}}/R_{\Sigma\text{пр.сп}} + F_{\text{д}}/R_{\Sigma\text{пр.д}} + F_{\text{пк}}/R_{\Sigma\text{пр.пк}} + F_{\text{ц}}/R_{\Sigma\text{пр.ц}})/F_{\Sigma}, \quad (7.6)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, пов'язані з орієнтацією огорож за сторонами світу, наявністю кутових приміщень, надходженням холодного повітря через входи в будинок; для житлових будинків $\xi = 1,13$, для інших будинків 1,1;

$F_{\text{нп}}$, $F_{\text{сп}}$, $F_{\text{д}}$, $F_{\text{пк}}$, $F_{\text{ц}}$ – площа відповідно стін (непрозорих частин), світлопрозорих конструкцій (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольних перекриттів, м²;

$R_{\Sigma\text{пр.нп}}$, $R_{\Sigma\text{пр.сп}}$, $R_{\Sigma\text{пр.д}}$, $R_{\Sigma\text{пр.пк}}$, $R_{\Sigma\text{пр.ц}}$ – приведений опір теплопередачі відповідно стін, світлопрозорих конструкцій (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, покриттів (горищних перекриттів), цокольних перекриттів, м²·К/Вт; підлог по ґрунту – з урахуванням їх поділу на зони із значенням опору теплопередачі;

F_{Σ} , – внутрішня загальна площа огорожувальних конструкцій частини будинку, що опалюється з урахуванням покриття (перекриття) верхнього поверху й перекриття підлоги нижнього опалюваного приміщення, м²;

Для перекриттів теплих горищ та цокольних перекриттів над техпідпіллям відношення $F_{\text{пк}}/R_{\Sigma\text{пр.пк}}$, $F_{\text{ц}}/R_{\Sigma\text{пр.ц}}$ у формулі (7.6) необхідно помножити на показник n , що визначається за формулою

$$n = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{х}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}, \quad (7.7)$$

$t_{\text{з}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, що визначається за таблицею 5.8 або [6] дод. Ж, °С;

$t_{\text{в}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря основної частини приміщень будинків, що визначається залежно від призначення будинку за таблицею 5.7 або [6] табл. Г2, °С;

$t_{\text{х}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря теплового горища або технічного підпілля, °С;

$k_{\text{інф}}$ – умовний коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будинку, Вт/(м² · К), що враховує тепловтрати за рахунок інфільтрації та вентиляції, визначається за формулою

$$k_{\text{інф}} = \chi_2 \cdot c \cdot n_{\text{об}} \cdot v_{\text{в}} \cdot V_{\text{н}} \cdot \gamma_3 \cdot \frac{\eta}{F_{\Sigma}}, \quad (7.8)$$

де $\chi_2 = 0,278$ – розмірний коефіцієнт;

c – питома теплоємність повітря, приймається $1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

$n_{об}$ – середня кратність повітрообміну будинку за опалювальний період, год^{-1} , що визначається експериментально або приймається за нормами проектування будинків;

Середня кратність повітрообміну житлового будинку за опалювальний період $n_{об}$, год^{-1} , визначається за формулою:

$$n_{об} = \frac{3 \cdot F_{іж}}{v_v \cdot V_h} \quad (7.9)$$

де $F_{іж}$ – площа квартир житлового будинку, м^2 , що визначається згідно з ДБН В.2.2-15;

v_v – те саме, що у формулі (7.8);

V_h – те саме, що у формулі (7.2), м^3 .

Середня кратність повітрообміну громадського будинку за опалювальний період $n_{об}$, год^{-1} , визначається за сумарним повітрообміном за рахунок вентиляції та інфільтрації за формулою:

$$n_{об} = \frac{\left[\left(\frac{L_v \cdot n_v}{168} \right) + \left(\frac{P_{інф} \cdot \eta \cdot n_{інф}}{168 \cdot \gamma_3} \right) \right]}{v_v \cdot V_h}, \quad (7.10)$$

де L_v – кількість припливного повітря в будинок у разі природної вентиляції або нормативне значення під час механічної вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$, і дорівнює для: будинків науково-дослідних установ, проектних і громадських організацій та управління – $4F_{іп}$; будинків підприємств роздрібною торгівлі, закладів охорони здоров'я, будинків підприємств побутового обслуговування, музеїв та виставок – $5F_{іп}$; дитячих дошкільних закладів, шкіл, професійно-технічних та вищих навчальних закладів – $7F_{іп}$; фізкультурно-оздоровчих та спортивних будинків та споруд, будинків дозвілля, будинків підприємств громадського харчування, вокзалів усіх видів транспорту – $10F_{іп}$, де $F_{іп}$ – розрахункова площа громадських будинків, м^2 , що визначається з ДБН В.2.2-9;

n_v – кількість годин роботи механічної або природної вентиляції протягом тижня;

168 – кількість годин у тижні;

η – те саме, що у формулі (7.8);

$P_{інф}$ – кількість повітря, що інфільтрується в будинок через огорожувальні конструкції в неробочий час, $\text{кг}/\text{год}$, приймається $P_{інф} = 0,5 \cdot v_v \cdot V_h$;

γ_3 – те саме, що у формулі (7.8), $\text{кг}/\text{м}^3$;

V_h – те саме, що у формулі (7.2), м³;

v_v – коефіцієнт зниження об'єму повітря у будинку, яким враховується наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій. За відсутності точних даних приймається $v_v = 0,85$;

V_h – те саме, що у формулі (7.2), м³;

γ_3 – середня густина повітря, що надходить до приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції, кг/м³, визначається за формулою

$$\gamma_3 = \frac{353}{[273 + 0,5 \cdot (t_{\text{вн}} + t_{\text{опз}})]}, \quad (7.11)$$

$t_{\text{вн}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря приміщень будинків, що визначається за таблицею 5.7 або [6] табл. Г2, °С;

$t_{\text{опз}}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С, що визначається згідно додатку Г або [33], таблиці 2;

η – коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку в огорожувальних конструкціях, що приймається 0,7 – для стиків панелей стін, а також для вікон із ПВХ-профілів, з дерев'яних блоків та з алюмінієвих профілів з заповненням склопакетами; 0,8 – для вікон у роздільних плетіннях; 1,0 – для вікон у спарених плетіннях; при цьому коефіцієнт η приймається за найбільшим значенням, єдиним для всього будинку;

F_Σ – те саме, що у формулі (7.4);

D_d – кількість градусо-днів опалювального періоду, що визначається залежно від температурної зони експлуатації будинку згідно з рис 5.1 або [6], дод. В. Для I температурної зони приймається $D_d = 3750$ °С · днів, для II температурної зони приймається $D_d = 2250$ °С · днів;

Побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, $Q_{\text{вн.п}}$, кВт, що визначаються за формулою:

$$Q_{\text{вн.п}} = \chi_1 \cdot q_{\text{вн.п}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot F_f, \quad (7.12)$$

де $\chi_1 = 0,024$ – розмірний коефіцієнт;

$q_{\text{вн.п}}$ – величина побутових теплонадходжень на 1 м² житлової площі будівлі або розрахункової площі громадського будинку, Вт/м², визначається для:

а) житлових будинків $q_{\text{вн.п}} = 10$ Вт/м²;

б) громадських та адміністративних будинків величина побутових теплонадходжень враховується за розрахунковою кількістю людей (90 Вт/чол), що знаходяться в будинку, освітленням (за встановленою потужністю) та офісної техніки (у разі відсутності точних даних

приймається 10 Вт/м^2) з урахуванням кількості робочих годин на тиждень;

$Z_{\text{оп}}$ – тривалість, діб, опалювального періоду, що визначається згідно додатку Г або [33], таблиці 2 для періоду з середньодобовою температурою зовнішнього повітря не більше ніж $10 \text{ }^\circ\text{C}$ – у разі проектування лікувально-профілактичних та дитячих закладів, та не більше ніж $8 \text{ }^\circ\text{C}$ – в інших випадках;

F_f – для житлових будинків – площа квартир, для громадських будинків – розрахункова площа, м^2 .

Теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, Q_s , кВт · год, для чотирьох фасадів будинків, орієнтованих за чотирма сторонами світу – північ (Пн), схід(С), південь (Пд) і захід (З), або за проміжними напрямками (північ – захід (ПнЗ), північ – схід (ПнС), південь – схід (ПдС) і південь – захід (ПдЗ), визначаються за формулою

$$Q_s = \zeta_v \cdot \varepsilon_v (F_{\text{Пн}} \cdot I_{\text{Пн}} + F_{\text{С}} \cdot I_{\text{С}} + F_{\text{Пд}} \cdot I_{\text{Пд}} + F_{\text{З}} \cdot I_{\text{З}}) + \zeta_{\text{зл}} \cdot \varepsilon_{\text{зл}} \cdot F_{\text{спл}} \cdot I_{\text{Г}}, \quad (7.13)$$

де ζ_v , $\zeta_{\text{зл}}$ – коефіцієнти, що враховують затінення світлового прорізу відносно вікон і Zenітних ліхтарів непрозорими елементами заповнення, що приймаються за таблицею 7.3 або [32], табл. 1;

ε_v , $\varepsilon_{\text{зл}}$ – коефіцієнти відносного проникнення сонячної радіації для світлопрозорих заповнень вікон і Zenітних ліхтарів, що приймаються за паспортними даними відповідних світлопрозорих конструкцій або за таблицею 7.3 або [32], табл. 1; мансардні вікна з кутом нахилу заповнень до обрїю 45° і більше варто вважати як вертикальні вікна, з кутом нахилу менше 45° – як Zenітні ліхтарі;

$F_{\text{Пн}}$, $F_{\text{С}}$, $F_{\text{Пд}}$, $F_{\text{З}}$ – площа світлових прорізів фасадів будинку, відповідно орієнтованих за чотирма сторонами світу, м^2 ;

$F_{\text{спл}}$ – площа світлових прорізів Zenітних ліхтарів будинку, м^2 ;

$I_{\text{Пн}}$, $I_{\text{С}}$, $I_{\text{Пд}}$, $I_{\text{З}}$ – середня величина сонячної радіації за опалювальний період, спрямована на вертикальну поверхню за умов хмарності, відповідно орієнтована за чотирма фасадами будинку, $\text{кВт} \cdot \text{год/м}^2$, за таблицею 7.4 або [33], табл. 9;

$I_{\text{Г}}$ – середня величина сонячної радіації за опалювальний період, спрямована на горизонтальну поверхню, за умов хмарності, $\text{кВт} \cdot \text{год/м}^2$, за таблицею 7.4 або [33], табл. 9;

Таблиця 7.3

Значення коефіцієнтів затінення світлового прорізу ζ_v і $\zeta_{зл}$ та відносного проникання сонячної радіації ε_v і $\varepsilon_{зл}$ відповідно вікон і zenітних ліхтарів ([32], табл. 1)

Заповнення світлового прорізу	Коефіцієнти			
	при дерев'яних або ПВХ плетіннях		при алюмінієвих плетіннях	
	ζ_v і $\zeta_{зл}$	ε_v і $\varepsilon_{зл}$	ζ_v і $\zeta_{зл}$	ε_v і $\varepsilon_{зл}$
1	2	3	4	5
Подвійне скління з 4M ₁ скла в спарених плетіннях	0,75	0,62	0,70	0,62
Подвійне скління із селективним покриттям на внутрішньому склі в спарених плетіннях	0,75	0,65	0,70	0,65
Подвійне скління з 4M ₁ скла в роздільних плетіннях	0,65	0,62	0,60	0,62
Подвійне скління із селективним покриттям на внутрішньому склі в роздільних плетіннях	0,65	0,60	0,60	0,60
Потрійне скління з 4M ₁ скла в окремо спарених плетіннях	0,50	0,70	0,50	0,70
Потрійне скління із селективним покриттям в окремо спарених плетіннях	0,50	0,67	0,50	0,67
Однокамерні склопакети в одинарних плетіннях із:				
- 4M ₁ скла	0,80	0,76	0,80	0,76
- 4К скла	0,80	0,75	0,80	0,75
- 4І скла	0,80	0,54	0,80	0,54
Двокамерні склопакети в одинарних плетіннях із:				
- 4M ₁ скла	0,80	0,74	0,80	0,74
- 4К скла	0,80	0,68	0,80	0,68
- 4І скла	0,80	0,48	0,80	0,48
Одинарне скління з 4M ₁ скла й однокамерні склопакети у роздільних плетіннях із:				
- 4M ₁ скла	0,60	0,63	0,60	0,63
- 4К скла	0,60	0,58	0,60	0,58
- 4І скла	0,60	0,51	0,60	0,58

Кінець таблиці 7.3

1	2	3	4	5
Одинарне скління з 4М ₁ скла й двокамерні склопакети у роздільних плетіннях із:				
- 4М ₁ скла	0,60	0,60	0,60	0,60
- 4К скла	0,60	0,56	0,58	0,56
- 4І скла	0,60	0,36	0,58	0,56
Подвійне скління з органічного скла для zenітних ліхтарів	0,90	0,90	0,90	0,90
Потрійне скління з органічного скла для zenітних ліхтарів	0,90	0,83	0,90	0,83

7.6. Об'ємно-планувальні характеристики

Коефіцієнт скління фасадів будинку $m_{ск}$ за формулою:

$$m_{ск} = \frac{F_{сп}}{(F_{нп} + F_{д} + F_{сп})} \quad (7.14)$$

де $F_{нп}$, $F_{сп}$, $F_{д}$ – площа відповідно стін (непрозорих частин), світлопрозорих конструкції (вікон, ліхтарів), зовнішніх дверей і воріт, м²;

Розрахунковий показник компактності будинку, $\Lambda_{к буд}$, визначається за формулою

$$\Lambda_{к буд} = \frac{F_{\Sigma}}{V_h}, \quad (7.15)$$

де F_{Σ} – загальна площа внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій, включаючи покриття (перекриття) верхнього поверху і переkritтя (підлоги) нижнього опалювального приміщення, м²;

V_h – опалюваний об'єм будівлі, рівний об'єму, обмеженому внутрішніми поверхнями зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків, м³.

Рекомендовані значення щодо показника компактності, які слід виконувати при проектуванні житлових будинків, $\Lambda_{к буд}$, не більше:

- 0,25-для 16-поверхових будівель і вище;
- 0,29-для будівель від 10 до 15 поверхів включно;
- 0,32-для будівель від 6 до 9 поверхів включно;
- 0,36-для 5-поверхових будівель;
- 0,43-для 4-поверхових будівель;
- 0,54-для 3-поверхових будівель;

- 0,61; 0,54; 0,46-для дво-, три- і чотириповерхових блокувальних і секційних будівель відповідно;
- 0,9-для дво – і одноповерхових будівель з мансардою;
- 1,1-для одноповерхових будівель.

Таблиця 7.4

Доза сумарної сонячної радіації за опалювальний період, що надходить на горизонтальну та вертикальну поверхні різної орієнтації за середніх умов хмарності ([33], табл. 9)

Місто	Сумарна сонячна радіація за опалювальний період, МДж/ м ²								
	орієнтація								
	вертикальна								Горизон- тальна
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
Вінниця	310	354	523	788	942	808	538	355	933
Дніпропетровськ	275	318	496	782	952	809	521	321	899
Донецьк	278	324	507	800	968	825	524	326	926
Житомир	308	352	514	762	898	761	510	352	909
Запоріжжя	260	308	468	745	907	774	491	305	867
Івано-Франківськ	297	338	491	732	879	750	526	339	891
Київ	299	338	500	764	916	782	516	339	864
Кіровоград	299	344	525	816	987	816	544	344	946
Луганськ	260	303	484	769	959	795	501	305	861
Луцьк	284	321	467	696	822	708	482	322	836
Львів	303	341	491	719	860	736	501	341	869
Миколаїв	255	294	454	727	932	752	477	295	862
Одеса	248	296	454	725	881	743	480	295	876
Полтава	288	336	520	808	990	838	538	336	922
Рівне	295	337	485	716	844	730	498	337	860
Сімферополь	262	300	455	731	895	746	480	301	883
Суми	302	356	552	855	1021	870	564	355	945
Тернопіль	310	353	512	755	897	771	524	353	912
Ужгород	225	254	380	603	739	629	405	255	704
Харків	288	336	527	936	997	842	540	337	908
Херсон	264	309	469	745	911	765	496	307	899
Хмельницький	307	352	514	763	908	787	521	352	914
Черкаси	299	344	518	797	963	816	535	344	924
Чернівці	294	332	484	721	861	745	499	333	878
Чернігів	305	352	517	781	921	796	524	352	903

7.7. Приклад складання розділу "Енергоефективність"

1 Загальні дані

Об'єкт – житловий будинок в м. Київ.

Замовник –

2 Вихідні дані

2.1 Загальна характеристика будинку

Двадцятидвоповерховий житловий будинок.

Будинок односекційний, трипроменеий, окремо розташований. На першому поверсі розташовані приміщення допоміжного призначення та вбудовані нежитлові приміщення громадського призначення (розділ «Енергоефективність» для даної частини будинку складено окремо).

Схема розташування будинку та орієнтація за сторонами світу наведені на рисунку 7.2.

Загальна кількість квартир – 126. Загальна висота будинку – 67,49 м. У будинку передбачено одну сходову клітку та три підйомних ліфти.

2.2 Вихідні дані для розрахунків

Будинок збірний великопанельний залізобетонний. Фундаменти пальові.

Конструкція зовнішніх стін першого, типового та горищного поверхів є збірною системою, що складається з залізобетонних панелей завтовшки 160 мм та конструкцій фасадної теплоізоляції з вентиляльованим повітряним прошарком та індустриальним опорядженням. Як теплоізоляційний шар використовуються мінераловатні плити густиною 90 кг/м³, завтовшки 120 мм. Конструктивне рішення зовнішніх стін наведено на рисунку 7.3.

Зовнішні стіни лоджій виконані з тришарових стінових панелей загальною товщиною 300 мм із теплоізолюючим шаром із пінополістиролу густиною 40 кг/м³.

Горище – холодне, перекриття горища – залізобетонні плити завтовшки 160 мм утеплені мінераловатними плитами густиною від 170 кг/м³ до 190 кг/м³, завтовшки 150 мм та цементно-піщаною стяжкою по теплоізоляційних плитах.

Техпідпілля – з розводкою трубопроводів системи опалення та гарячого водопостачання. Перекриття над техпідпіллям утеплюється мінераловатними плитами густиною від 170 кг/м³ до 190 кг/м³, завтовшки 50 мм. Розрахункова температура в технічному підпіллі становить 5 °С, що забезпечується тепловіддачею трубопроводів систем опалення та гарячого водопостачання.

Світлопрозорі конструкції (вікна, балконні двері) виконані з ПВХ-профілів із заповненням двокамерними склопакетами з енергозберігаючим покриттям на внутрішньому склі (4М1-10-4М1-10-4і).

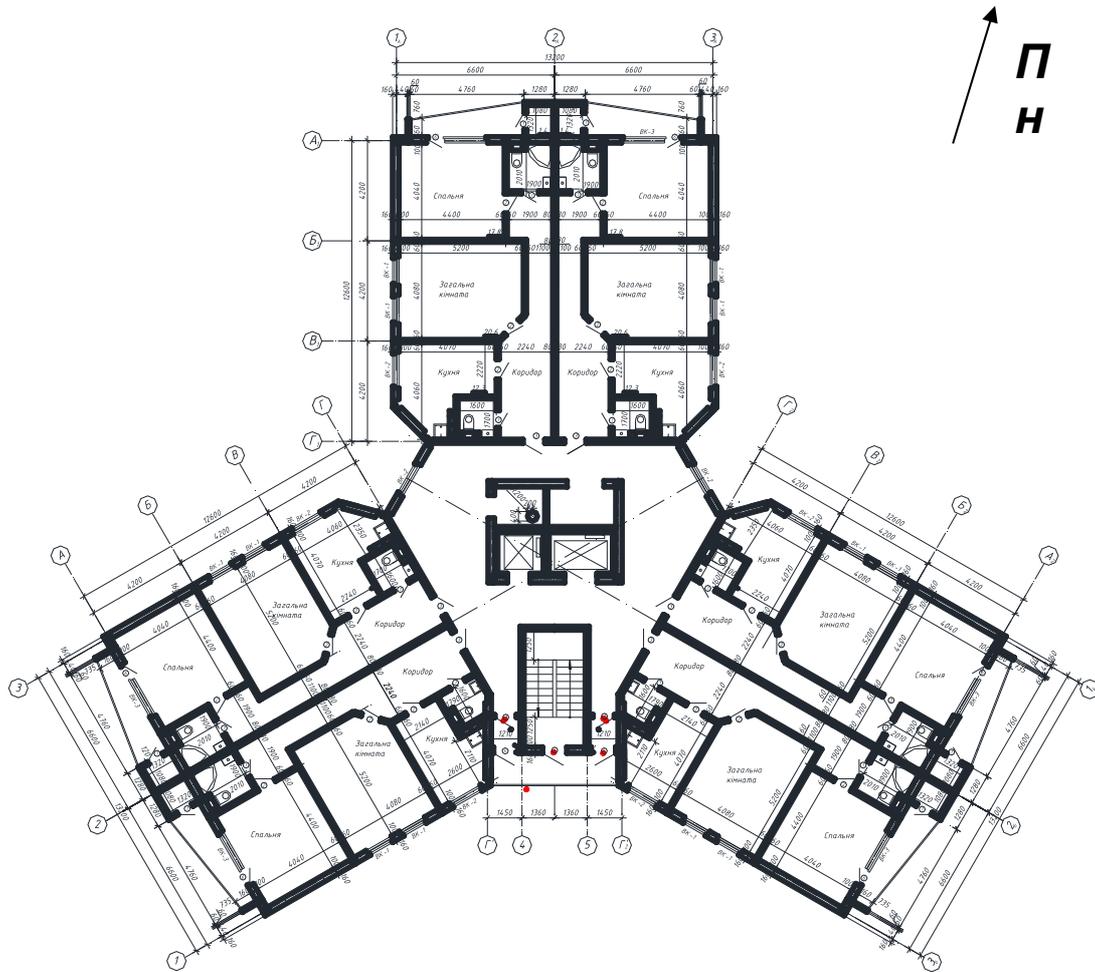


Рис. 7.2 Схема розташування будинку та орієнтація за сторонами світу

У будинку передбачено водяне опалення, гаряче водопостачання, підключення до системи централізованого тепlopостачання. Вентиляція в будинку припливно-витяжна з природним спонуканням.

2.3 Розрахункові кліматичні та теплоенергетичні параметри

Згідно з ДБН В.2.6-31 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $t_B = 20\text{ }^\circ\text{C}$, розрахункова температура зовнішнього повітря для умов м. Києва $t_{\text{зн}} = -22\text{ }^\circ\text{C}$. Розрахункове значення відносної вологості приміщень 55 %, мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні $t_{\text{min}} = 10,7\text{ }^\circ\text{C}$.

Розрахункова температура техпідпілля згідно з проектом $t_{\text{ц}} = 5\text{ }^\circ\text{C}$.

Кількість градусо-днів опалювального періоду для I температурної зони – $D_d = 3750$ градусо-днів.

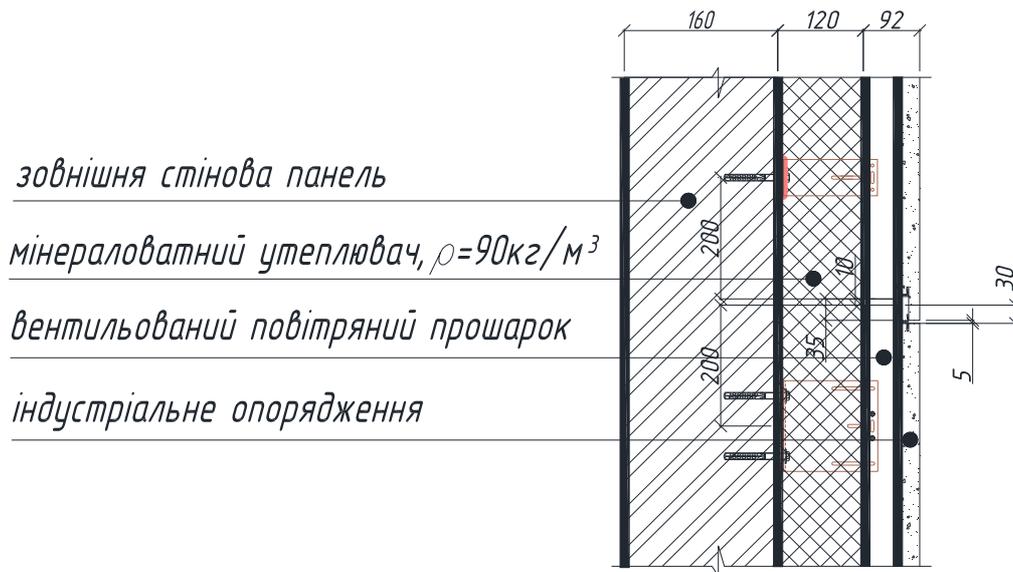


Рис.7.3 Принципове конструктивне рішення зовнішніх стін будинку

Згідно з додатком Г або [33], таблицею 2 тривалість опалювального періоду для м. Києва складає $z_{оп} = 187$ діб, середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{опз} = -1,1$ °С.

Згідно таблиці 5.4 або [6], таблиці 1 нормативне значення приведенного опору теплопередачі $R_{q.min}$, $m^2 \cdot K/Вт$, становить:

- для зовнішніх стін – $3,3 m^2 \cdot K/Вт$;
- для перекриття холодного горища – $4,95 m^2 \cdot K/Вт$;
- для перекриттів над техпідпіллям – $3,75 m^2 \cdot K/Вт$;
- для світлопрозорих огорожувальних конструкцій – $0,75 m^2 \cdot K/Вт$.

Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період згідно таблиці 7.2 або табл. 4, [6] $43 kВт \cdot год/m^2$.

2.4 Основні об'ємно-планувальні показники:

- опалювана площа будинку $F_h = 12612,42 m^2$, в т.ч. площа квартир житлового будинку $F_{іж} = 8788,08 m^2$;
- розрахункова площа приміщень 1-го поверху $F_{lp} = 374,09 m^2$;
- опалюваний об'єм будинку $V_h = 35223,08 m^3$;
- загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій – $F_{\Sigma} = 9198,8 m^2$.

3 Визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій

3.1 Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно з п. 5.6.

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, визначені на підставі протоколів випробувань або згідно з додатком А або табл. А1, [18]:

- $\lambda = 0,047$ Вт/(м · К) – мінераловатні плити;
- $\lambda = 0,93$ Вт/(м · К) – цементно-піщаний розчин;
- $\lambda = 2,04$ Вт/(м · К) – залізобетон.

3.1.1 Зовнішні стіни

Зовнішні стіни двох типів. Перший тип – основні стіни будинку, виконані з залізобетонних панелей завтовшки 160 мм із системою фасадного утеплення. Другий тип – зовнішні стіни лоджій, виконані з тришарових панелей.

Опір теплопередачі зовнішніх стін першого типу по основному полю за формулою (5.1) або [6], формулою (И.1):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,16}{2,04} + \frac{0,12}{0,047} = 2,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Приведений опір теплопередачі зовнішніх стін у зоні влаштування фасадної теплоізоляції визначається за формулою:

$$R_{\Sigma\text{пр}1} = R_{\text{пр}} \cdot r,$$
$$R_{\Sigma\text{пр}1} = 2,72 \times 0,86 = 2,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Приведений опір теплопередачі зовнішніх стін другого типу становить $2,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ згідно з протоколом випробувань № 7/2-06 від 03.11.2006 р., проведених атестованою випробувальною лабораторією.

Приведений опір теплопередачі всієї площі фасаду будинку (непрозорої її частини) визначається згідно за формулою (5.1) або [6], формулою (И.2)

$$R_{\Sigma\text{пр}} = \sum_{i=1}^n \frac{R_{\Sigma i} \cdot F_i}{F_{\Sigma}}$$

Тоді приведений опір теплопередачі зовнішніх стін

$$R_{\Sigma\text{пр}} = 2,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

3.1.2 Переkritтя холодного горища

Переkritтя холодного горища виконане з залізобетонних плит завтовшки 160 мм з теплоізоляцією мінераловатним утеплювачем густиною від 170 кг/м^3 до 190 кг/м^3 , завтовшки 150 мм та цементно-піщаною стяжкою по теплоізоляційних плитах.

Опір теплопередачі переkritтя холодного горища по основному полю визначений за формулою (5.1) або [6], формулою (И.1):

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,16}{2,04} + \frac{0,15}{0,047} + \frac{0,2}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності r , що визначає термічний вплив стінових панелей на холодному горищі, враховуючи планувальні характеристики будинку, становить 0,85.

Тоді приведений опір теплопередачі перекриття холодного горища становить:

$$R_{\Sigma\text{пр}} = R_{\Sigma} \cdot r = 3,45 \times 0,85 = 2,93 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

3.1.3 Перекриття над техпідпіллям

Перекриття над техпідпіллям утеплюється мінераловатними плитами густиною від 170 кг/м^3 до 190 кг/м^3 , завтовшки 50 мм. Розрахункова температура в технічному підпіллі $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опір теплопередачі перекриття над техпідпіллям по основному полю визначений за формулою (5.1) або [6], формулою (И.1): $R_{\Sigma} = 1,37 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Беручи до уваги коефіцієнт теплотехнічної однорідності, що враховує термічний вплив елементів кріплення утеплювача та стінових панелей в техпідпіллі, приведений опір теплопередачі перекриття над техпідпіллям становить:

$$R_{\Sigma\text{прц1}} = 1,37 \times 0,85 = 1,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

3.1.4 Світлопрозорі конструкції

Світлопрозорі конструкції (вікна, балконні двері) виконані з ПВХ-профілів із заповненням двокамерними склопакетами з енергозберігаючим покриттям на внутрішньому склі (4М1-10-4М1-10-4і).

Опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій становить $0,68 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

3.1.5 Мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{q.min}$ зовнішніх огорожувальних конструкцій згідно таблиці 5.4 або [6], таблиці 1 та приведений опір теплопередачі видів огорожувальних конструкцій будинку наведені в таблиці 7.5.

3.2 Приведений коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку $k_{\Sigma\text{пр}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначений за формулами (7.6 – 7.7). При цьому загальна площа зовнішніх стін, перекриття холодного горища, перекриття над техпідпіллям, світлопрозорих огорожувальних конструкцій, вхідних дверей в будинок становить:

Таблиця 7.5

Величини нормативних $R_{q.min}$ та фактичних $R_{\Sigma пр}$ показників з опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальної конструкції	$R_{q.min}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$R_{\Sigma пр}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$
Зовнішні стіни	3,3	2,3
Перекрыття холодного горища	4,95	2,93
Перекрыття над техпідпіллям	3,75	1,16
Світлопрозорі конструкції	0,75	0,68

$$F_{\text{нп}} = 6996,49 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{пк хр}} = 583,14 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{ц1}} = 577,74 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{сп в}} = 1017,19 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{д}} = 24,24 \text{ м}^2$$

$$n = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ц}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}} = \frac{20 - 5}{20 + 22} = 0,357$$

$$k_{\Sigma пр} = \frac{1,13 \left(\frac{6996,49}{2,3} + \frac{1017,19}{0,68} + \frac{24,24}{0,6} + \frac{583,14}{2,93} + \frac{577,74 \times 0,357}{1,16} \right)}{9198,8} =$$

$$= 0,609 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

3.3 Умовний коефіцієнт теплопередачі будинку, що враховує тепловтрати за рахунок інфільтрації й вентиляції $k_{\text{інф}}$, Вт/(м² · К), визначається за формулою (7.8).

При цьому питома теплоємність повітря $c = 1$ кДж/(кг · К); $\nu_{\text{в}} = 0,85$; середня густина повітря, що надходить до приміщення за рахунок інфільтрації, кг/м³, за формулою (7.11):

$$\gamma_{\text{з}} = \frac{353}{[373 + 0,5(t_{\text{в}} - t_{\text{опз}})]} = \frac{353}{[273 + 0,5 \times (20 - 1,1)]} = 1,25 \text{ кг/м}^3$$

$$\eta = 0,7$$

Враховуючи громадське призначення приміщень 1-го поверху, кратність повітрообміну визначена окремо для житлової частини будинку та для приміщень 1-го поверху.

Середня кратність повітрообміну житлового будинку за опалювальний період визначена за формулою (7.9) з урахуванням опалюваного об'єму житлової частини будинку ($V_{hж} = 33605,41 \text{ м}^3$):

$$n_{об-1} = \frac{3F_{лж}}{v_v \cdot V_{hж}} = \frac{3 \times 8788,08}{0,85 \times 33605,41} = 0,923$$

Тоді умовний коефіцієнт теплопередачі житлової частини будинку:

$$k_{інф-1} = \frac{0,278 \times 1 \times 0,923 \times 0,85 \times 35233,08 \times 1,25 \times 0,7}{8255,7} \\ = 0,777 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Середня кратність повітрообміну приміщень громадського призначення за опалювальний період $n_{об}$, год^{-1} , визначена за сумарним повітрообміном за рахунок вентиляції та інфільтрації за формулою (7.10).

При цьому кількість припливного повітря в будинок у разі природного спонукання, $\text{м}^3/\text{год}$, $L_v = 4F_{tp}$; $n_v = 168 \text{ год}$; кількість повітря, що інфільтрується в будинок через огорожувальні конструкції в неробочий час, $\text{кг}/\text{год}$, прийнято $P_{інф} = 0,5 \cdot v_v \cdot V_h$; опалюваний об'єм приміщень громадського призначення становить $V_h = 1617,67 \text{ м}^3$; $n_{інф} = 168 \text{ год}$.

Отже,

$$n_{об2} = \frac{\left[\left(\frac{4 \times 374,09 \times 168}{168} \right) + \left(\frac{0,5 \times 0,85 \times 1617,67 \times 0,7 \times 168}{168 \times 1,25} \right) \right]}{0,85 \times 1617,67} = \\ = 1,368 \text{ год}^{-1}$$

Умовний коефіцієнт теплопередачі приміщень громадського призначення першого поверху житлового будинку

$$k_{інф-2} = \frac{0,278 \times 1 \times 1,368 \times 0,85 \times 1617,67 \times 1,25 \times 0,7}{943,1} = \\ = 0,485 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Для будинків, що складаються з різних за призначенням об'ємно-планувальних елементів, умовний коефіцієнт теплопередачі, що враховує

тепловтрати за рахунок вентиляції та вентиляції для всього будинку $k_{\text{інф}}$, розрахований за формулою (7.8):

$$k_{\text{інф}} = \frac{0,777 \times 8255,7 \times 0,485 \times 943,1}{9198,8} = 0,747 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

3.4 Загальний коефіцієнт теплопередачі будинку $K_{\text{буд}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначений за формулою (7.5):

$$K_{\text{буд}} = k_{\Sigma\text{пр}} + k_{\text{інф}} = 0,609 + 0,747 = 1,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

3.5 Об'ємно-планувальні характеристики

Коефіцієнт скління фасадів будинку $m_{\text{ск}}$ за формулою (7.14):

$$m_{\text{ск}} = \frac{F}{(F_{\text{нп}} + F_{\text{д}} + F_{\text{спв}})} = \frac{1017,19}{(6996,47 + 24,42 + 1017,19)} = 0,13$$

Показник компактності будинку $\Lambda_{\text{к буд}}$, м^{-1} , за формулою (7.15):

$$\Lambda_{\text{к буд}} = \frac{F_{\Sigma}}{V_h} = 0,26 \text{ м}^{-1}$$

4 Оцінка вологісного режиму огорожувальних конструкцій

4.1 Оцінка вологісного режиму конструкцій здійснена згідно з вимогами розділу 6 ДБН В.2.6-31 для глухих ділянок основного поля зовнішніх стін.

4.2 Розрахункова оцінка проведена за допомогою програмного продукту "Вологісний режим огорожувальних конструкцій" 482.02495431.00002-01, розробленого ДП НДІБК, згідно з алгоритмом ДБН В.2.6-31.

На рисунку 7.4 наведено схему тепловологісного режиму стінових огорожувальних конструкцій з фасадною теплоізоляцією з повітряним прошарком та індустриальним опорядженням (лінією 3 надано розподіл температури, t , $^{\circ}\text{C}$, в перерізі конструкції; лінією 2 – розподіл насиченої водяної пари, E , Па; лінією 1 показаний розподіл парціального тиску водяної пари, e , Па).

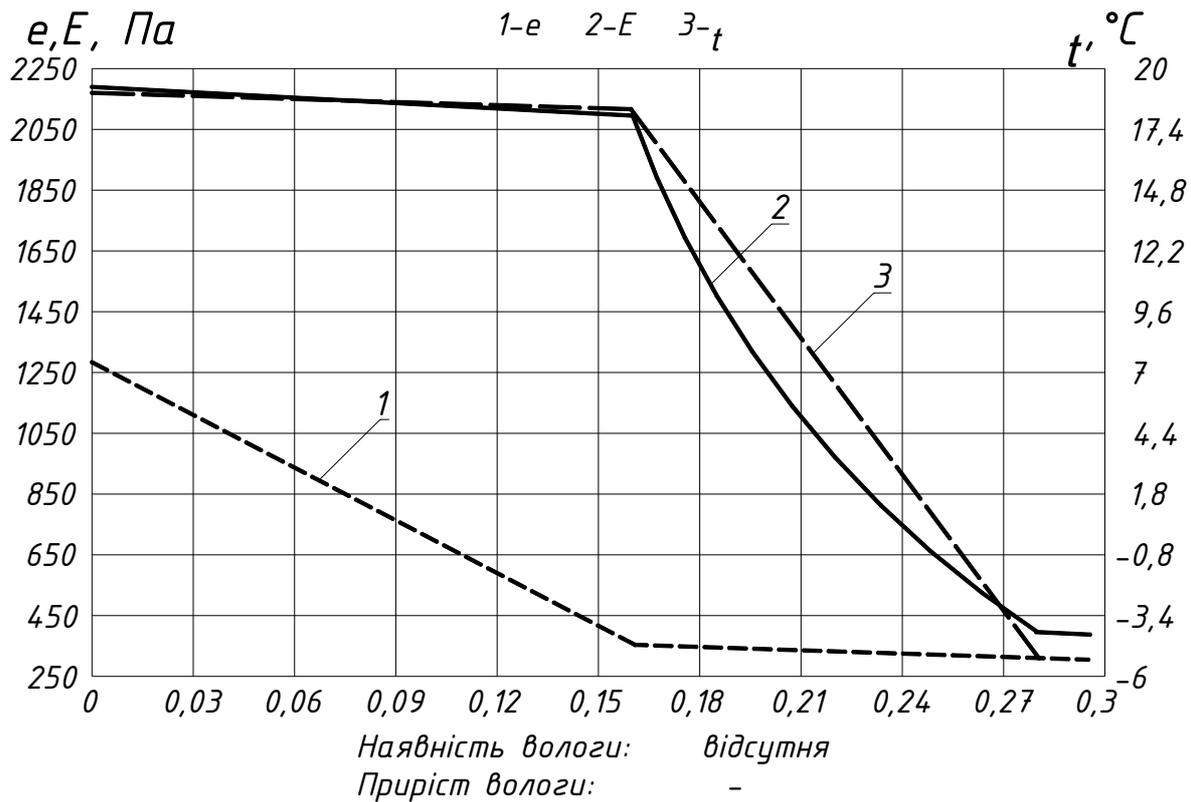


Рис.7.4 Схема тепловологісного режиму основного проектного рішення зовнішніх стін

4.3 Для розглянутого конструктивного рішення не виникає конденсації вологи у товщі конструкції, тобто виконується нормативна вимога 6.1 ДБН В.2.6-31.

5 Визначення показників теплостійкості

5.1 Визначення показників теплостійкості здійснено згідно з вимогами розділу 4 ДБН В.2.6-31.

5.2 Оцінка теплостійкості в літній період

5.2.1 Розрахунок проводиться згідно з п. 10.2 або [35].

5.2.2 Розрахункові параметри для умов м. Києва визначені згідно з додатками Г-Ж або ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010:

- мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, м/с, повторюваність яких складає 16 % і більше, $v = 1$ м/с;

- максимальне значення сумарної сонячної радіації

$$I_{max} = 775 \text{ Вт/м}^2;$$

- середнє значення сумарної сонячної радіації $I_{сер} = 187 \text{ Вт/м}^2;$

- максимальна амплітуда добових коливань температури

зовнішнього повітря в липні $A_{t_3} = 18,4 \text{ }^\circ\text{C}.$

5.2.3 Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції згідно з таблицею 10.1 $\chi = 0,7.$

5.2.4 Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної

конструкції за літніми умовами, Вт/(м² · К), визначається за формулою (10.7):

$$\alpha_{3,л} = 1,16(5 + 10\sqrt{v}) = 1,16(5 + 10\sqrt{1}) = 17,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

5.2.5 Розрахункова амплітуда поливань температури зовнішнього повітря, $A_{t_{роз}}$, °С за формулою (10.7)

$$A_{t_{роз}} = 0,5A_{t_3} + \frac{\chi(I_{max} - I_{cp})}{\alpha_{3,л}} = 0,5 \times 18,4 \times \frac{0,7 \times (775 - 187)}{17,4} = 32,9 \text{ }^\circ\text{С,}$$

5.2.6 Термічні опори шарів стінової огорожувальної конструкції, починаючи з боку приміщення згідно, становлять:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,16}{2,04} = 0,078 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,12}{0,047} = 2,553 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,015}{0,2} = 0,075 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02}{0,81} = 0,025 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

5.2.7 Теплова інерція шарів стінової огорожувальної конструкції, починаючи з боку приміщення, становить:

$$D_1 = R_1 \times S_1 = 0,078 \times 17,98 = 1,41 > 1;$$

$$D_2 = R_2 \times S_2 = 2,553 \times 0,56 = 1,43 > 1;$$

$$D_3 = R_3 \times S_3 = 0,075 \times 0,787 = 0,059 < 1;$$

$$D_4 = R_4 \times S_4 = 0,025 \times 9,2 = 0,227 < 1$$

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = 1,41 + 1,43 + 0,059 + 0,227 = 3,126$$

5.2.8. Коефіцієнти теплосвоєння зовнішньою поверхнею окремих шарів огорожувальної конструкції Y формулами (10.10) або (10.9)

$$Y_1 = S_1 = 17,98 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$Y_2 = S_2 = 0,56 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$Y_3 = \frac{R_3 \cdot S_3^2 + Y_2}{1 + R_3 \cdot Y_2} = \frac{0,075 \times 0,787^2 + 0,56}{1 + 0,075 \times 0,56} = 0,582 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$Y_4 = \frac{R_4 \cdot S_4^2 + Y_3}{1 + R_4 \cdot Y_3} = \frac{0,025 \times 9,2^2 + 0,582}{1 + 0,025 \times 0,82} = 2,634 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

5.2.9 Величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огорожувальній конструкції за формулою (10.6):

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_{\text{в}})(S_2 + Y_1)(S_3 + Y_2)(S_4 + Y_4)(\alpha_{\text{зл}} + Y_4)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2)(S_3 + Y_3)(S_4 + Y_4)\alpha_{\text{зл}}} = 94,406$$

Амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні стінових огорожувальних конструкцій за формулою (10.4):

$$A_{\tau_{\text{в}}} = \frac{A_{\text{троз}}}{\nu} = \frac{32,9}{94,406} = 0,35 \text{ }^\circ\text{C}$$

Отже амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні непрозорих стінових огорожувальних конструкцій становить $0,35 \text{ }^\circ\text{C}$, що відповідає нормативним вимогам (10.1).

5.3 Оцінка теплостійкості в зимовий період

5.3.1 Розрахунок проводиться згідно з п. 10.3 або [35].

Як типове приміщення обране кутове приміщення двокімнатної квартири будинку типового поверху.

5.3.2 Геометричні та теплотехнічні показники типового приміщення:

- площа зовнішніх непрозорих стінових огорожувальних конструкцій $F_{\text{нп}} = 19,2 \text{ м}^2$;

- площа зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій $F_{\text{с}} = 3,6 \text{ м}^2$;

- приведений опір теплопередачі зовнішніх непрозорих стінових огорожувальних конструкцій $R_{\Sigma\text{нп}} = 2,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

- приведений опір теплопередачі зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій $R_{\Sigma\text{с}} = 0,68 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

Коефіцієнт нерівномірності теплопередачі системи опалення $m = 0,1$.

5.3.3 Показник теплосвоєння внутрішньою поверхнею стінової огорожувальної конструкції $Y_{\text{вн}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, за формулами (10.16) – (10.19):

Оскільки $D_1 \geq 1$, то

$$Y_{\text{вн}} = S_1 = 17,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

5.3.4 Показник теплосвоєння внутрішньою поверхнею світлопрозорої огорожувальної конструкції за формулою (10.21):

$$Y_{bc} = \frac{1}{1,08 \cdot R_{\Sigma c}} = \frac{1}{1,08 \times 0,68} = 1,362 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

5.3.5 Коефіцієнт теплопоглинання B_j , Вт/(м² · К), внутрішньою поверхнею j-ї зовнішньої огорожувальної конструкції приміщення за формулою (10.12):

- для зовнішніх стін

$$B_{нп} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{Y_{вн}}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{17,86}} = 5,863 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

- для світлопрозорих конструкцій

$$B_c = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{Y_{вн}}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{1,362}} = 1,117 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

5.3.6 Тепловтрати приміщення $q_{буд}$, Вт згідно з положеннями СНиП 2.04.05:

$$q_{буд} = (t_v - t_3) \frac{(F_{нп} + F_c)^2}{(F_{нп} \cdot R_{\Sigma нп} + F_c \cdot R_{\Sigma c})} \cdot 1,15 =$$

$$= (20 - (-22)) \frac{(19,2 + 3,6)^2}{(19,2 \times 2,3 + 3,6 \times 0,68)} \times 1,15 = 538 \text{ Вт}$$

5.3.7 Амплітуда коливань температури приміщення $A_{тв}$, °С, за формулою (10.11):

$$A_{тв} = \frac{0,7 q_{буд} \cdot m}{B_{нп} \cdot F_{нп} + B_c \cdot F_c} = \frac{0,7 \times 538,7 \times 0,1}{5,863 \times 19,2 + 1,117 \times 3,6} = 0,32 \text{ °С}$$

5.3.8 Отже, амплітуда коливань температури приміщення становить 0,32 °С, що відповідає нормативним вимогам (10.2).

6 Визначення енергетичних показників будинку

6.1 Розрахункові витрати теплової енергії на опалення будинку протягом опалювального періоду $Q_{рік}$ згідно формули (7.3)

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{рік}} &= [Q_k - (Q_{\text{вн.п}} + Q_s) \cdot \nu \cdot \zeta] \beta_h = \\
 &= [1,123 \times 10^6 - (4,112 \times 10^5 + 6,8 \times 10^4) \times 0,8 \times 0,95] \times 1,11 = \\
 &= 8,416 \times 10^5 \text{ кВт} \cdot \text{год}
 \end{aligned}$$

де ν – коефіцієнт, що враховує здатність огорожувальних конструкцій будинків акумулювати або віддавати тепло при періодичному тепловому режимі, для даного будинку $\nu = 0,8$;

ζ – коефіцієнт авторегулювання подавання тепла в системах опалення – у двотрубній системі опалення з термостатами та з авторегулюванням $\zeta = 0,95$;

β_h – коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системою опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів додатковими тепловтратами через зарадіаторні ділянки огорож, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення: для будинків баштового типу $\beta_h = 1,11$.

6.2 Загальні тепловтрати будинку через огорожувальну оболонку будинку за опалювальний період ,кВт · год, за формулою (7.4):

$$\begin{aligned}
 Q_k &= \chi_1 \cdot K_{\text{буд}} \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \times 1,36 \times 3750 \times 9198,8 = \\
 &= 1,122 \times 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{год}
 \end{aligned}$$

6.3 Побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, кВт, за формулою (7.10):

$$Q_{\text{внп}} = 0,024 \times 10 \times 187 \times 9162,17 = 4,122 \times 10^5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

6.4 Теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, кВт · год, для чотирьох фасадів будинків, орієнтованих за чотирма сторонами світу за формулою (7.11):

При цьому враховуючи, що на горищі відсутні світлові прорізи, то $F_{\text{спп}} = 0 \text{ м}^2$; $\zeta_{\text{в}} = 0,8$; $\varepsilon_{\text{в}} = 0,48$ – для двокамерних склопакетів з 4і скла в одинарних плетіннях. Отже

$$\begin{aligned}
 Q_s &= 0,8 \times 0,48 \times 16,23 \times 140 + 110,74 \times 204 + 124,08 \times 209 + \\
 &+ 110,74 \times 153 + 69,59 \times 153 + 126,78 \times 286 + 212,37 \times 291 = \\
 &= 6,8 \times 10^4 \text{ кВт} \cdot \text{год}
 \end{aligned}$$

6.5 Розрахункове значення питомих тепловтрат на опалення будинку за опалювальний період $q_{\text{буд}}$ за формулою (7.1):

$$q_{\text{буд}} = 8,416 \times 10^5 / 12612,42 = 66,7 \text{ Вт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$$

Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період згідно таблиці 7.2 для 22-поверхового житлового будинку становить $E_{\text{max}} = 43 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$. Отже, нормативні вимоги ДБН В.2.6-31 до питомих тепловитрат на опалення будинку виконуються.

7 Визначення класу енергетичної ефективності будинку

Клас енергетичної ефективності будинку визначається згідно з таблицею 7.1 на підставі аналізу виразу

$$\left[\frac{(q_{\text{буд}} - E_{\text{max}})}{E_{\text{max}}} \right] 100 \% = \left[\frac{(66,7 - 43)}{43} \right] \times 100 = 55,1 \%$$

Згідно з таблицею 7.1 даний будинок відноситься до класу енергетичної ефективності «Е».

Енергетичний паспорт будинку наведено у п. 7.8.

7.8. Енергетичний паспорт будинку

Загальна інформація

Дата заповнення (рік місяць, число)	2008.04.10
Адреса будинку	м. Київ
Розробник проекту	-
Адреса і телефон розробника	-
Шифр проекту будинку	-
Рук будівництва	2008 р

Розрахункові параметри

Найменування розрахункових параметрів	Познач.	Одиниця виміру	Величина
Розрахункова температура внутрішнього повітря	$t_{в}$	°С	20
Розрахункова температура зовнішнього повітря	$t_{з}$	°С	-22
Розрахункова температура теплого горища	$t_{вг}$	°С	-
Розрахункова температура техпідпілля	$t_{ц}$	°С	5
Тривалість опалювального періоду	$z_{оп}$	доба	178
Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період	$t_{оп з}$	°С	-1,1
Розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду	D_d	°С · доба	3750
Функціональне призначення, тип і конструктивне рішення будинку			
Призначення	Житловий		
Розміщення в забудові	Окремо розташований		
Типовий проект, індивідуальний	22-поверховий житловий будинок на 126 квартир		
Конструктивне рішення	Збірний великопанельний залізобетонний		

Геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники

Показник	Позначення і розмірність показника	Нормативне значення показника	Розрахункове (проектне) значення показника	Фактичне значення показника
Геометричні показники				
Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку	$F_{\Sigma}, \text{м}^2$	-	9198,8	
В тому числі:				
- стін	$F_{\text{НП}}, \text{м}^2$	-	6996,5	
- вікон і балконних дверей	$F_{\text{СП}}, \text{м}^2$	-	1017,2	
- вітражів	$F_{\text{СП ВТ}}, \text{м}^2$	-	-	
- ліхтарів	$F_{\text{СП Л}}, \text{м}^2$	-	-	
- вхідних дверей та воріт	$F_{\text{Д}}, \text{м}^2$	-	24,3	
- покриттів (суміщених)	$F_{\text{ПК}}, \text{м}^2$	-	-	
- горищних перекриттів (холодного горища)	$F_{\text{ПК ХГ}}, \text{м}^2$	-	583,1	
- перекриттів теплих горищ	$F_{\text{ПК МГ}}, \text{м}^2$	-	-	
- перекриттів над техпідпіллями	$F_{\text{Ц1}}, \text{м}^2$	-	577,7	
- перекриттів над неопалюваними підвалами і підпіллями	$F_{\text{Ц2}}, \text{м}^2$	-	-	
- перекриттів над проїздами і під еркерами	$F_{\text{Ц3}}, \text{м}^2$	-	-	
- підлоги по ґрунту	$F_{\text{Ц}}, \text{м}^2$	-	-	
Площа опалюваних приміщень	$F_{\text{н}}, \text{м}^2$	-	12612,4	
Корисна площа (для громадських будинків)	$F_{\text{ІК}}, \text{м}^2$	-	-	
Площа квартир житлового будинку	$F_{\text{ІЖ}}, \text{м}^2$	-	8788,1	
Розрахункова площа (для громадських будинків)	$F_{\text{ІР}}, \text{м}^2$	-	374,1	
Опалюваний об'єм	$V_{\text{н}}, \text{м}^3$	-	35223,08	
Коефіцієнт скління фасадів будинку	$m_{\text{СК}}$	-	0,13	
Показник компактності будинку	$\Lambda_{\text{КБуд}}, \text{м}^{-1}$	-	0,26	

Закінчення таблиці

Показник	Позначення і розмірність показника	Нормативне значення показника	Розрах. (проектне) значення показника	Фактичне значення показника
Теплотехнічні та енергетичні показники				
Теплотехнічні показники				
Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій:	$R_{\Sigma np}$, $m^2 \cdot K/Вт$			
- стін	$R_{\Sigma np np}$	3,3	2,3	
- вікон і балконних дверей		0,75	0,68	
- вітражів	$R_{\Sigma np сп в}$	-	-	
- ліхтарів	$R_{\Sigma np сп л}$	-	-	
- вхідних дверей, воріт	$R_{\Sigma np л}$	0,44	0,6	
- покриттів (суміщених)	$R_{\Sigma np пк}$	-	-	
- горищних перекриттів (холодних горищ)	$R_{\Sigma np хг}$	4,95	2,93	
- перекриттів теплих горищ (включаючи покриття)	$R_{\Sigma np мп}$	-	-	
- перекриттів над техпідпіллями	$R_{\Sigma np ц1}$	3,75	1,16	
- перекриттів над неопалюваними підвалами або підпіллями	$R_{\Sigma np ц2}$	-	-	
- перекриттів над проїздами й під еркерами	$R_{\Sigma np ц3}$	-	-	
- підлоги по ґрунту	$R_{\Sigma np ц}$	-	-	
Енергетичні показники				
Розрахункові питомі тепловитрати	$Q_{буд}$ $кВт \cdot \frac{ГОД}{m^2}$ $кВт \cdot \frac{ГОД}{m^3}$		66,7 [-]	
Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку	E_{max} $кВт \cdot \frac{ГОД}{m^2}$ $кВт \cdot \frac{ГОД}{m^3}$		43	

Клас енергетичної ефективності			Е	
Термін ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонки та її елементів	рік			
Відповідність проекту будинку нормативним вимогам			Ні	
Необхідність доопрацювання проекту будинку			Так	

Висновки за результатами оцінки енергетичних параметрів будинку

Вказівки щодо підвищення енергетичної ефективності будинку
<p>Проект не відповідає вимогам змін №1 до ДБН В.2.6-31 до теплотехнічних та енергетичних показників огорожувальних конструкцій будинку. Для забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрівання приміщень будинку; нормативних показники санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень; довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинку необхідно провести додаткове утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій.</p>

Паспорт заповнений:	
Організація Адреса і телефон Відповідальний виконавець	

8 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Загальний показник енергоефективності будівлі EP повинен визначатися за умовою:

$$EP \leq EP_{max} \quad (8.1)$$

де EP – розрахункове або фактичне питоме річне енергоспоживання будівлі, що визначають згідно ДСТУ-Н Б А.2.2-XX1:201X Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні та ДСТУ-Н Б А.2.2-XX2:201X Енергетична ефективність будівель. Настанова щодо застосування методу проведення енергетичної оцінки та енергетичної сертифікації будівель.

Сертифікація енергетичної ефективності будівель (або відокремлених частин будівель) здійснюється для будівель, що експлуатується або повністю підготовлені для експлуатації, з метою отримання інформації про фактичні показники енергетичної ефективності будівель, результати проведення оцінки їх відповідності мінімальним вимогам до енергетичних характеристик будівель, а також з метою розроблення рекомендацій щодо оптимального з точки зору витрат підвищення енергетичних характеристик будівлі.

Для будинків, виконавча документація на будівництво яких не збереглася, сертифікати енергетичної ефективності будинку складають на основі матеріалів бюро технічної інвентаризації, натурних технічних обстежень, вимірювань фактичних теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будинку.

Для будинків, виконавча документація на будівництво яких є в повному обсязі, здійснюють перевірку технічного стану конструкцій теплоізоляційної оболонки та технічних систем будівель і оцінку його відповідності проектним рішенням, на підставі якої визначають метод проведення процедури енергетичної сертифікації – вимірювальний або розрахунковий

Енергетичне оцінювання будівель здійснюється з метою:

а) проведення оцінки відповідності будівельним нормам та правилам, вираженої через обмеження на використання енергії або відповідну величину;

б) забезпечення прозорості комерційних операцій за рахунок енергетичної сертифікації та/або демонстрації рівня енергетичної ефективності (сертифікація енергетичної ефективності);

в) моніторингу енергетичної ефективності будівлі та її інженерних систем;

г) допомоги при плануванні заходів з модернізації шляхом прогнозування економії енергії, яка може бути отримана від різних заходів.

У стандарті ДСТУ Б EN 15603:2013 наведено загальні положення для оцінювання загального енергоспоживання будівлі, а також алгоритм розрахунку енергетичних оцінок, виражених через первинну енергію, викиди CO₂ або параметри, визначені національною енергетичною політикою.

Це оцінювання не обмежене лише будівлею, а й враховує більш широкий вплив всього ланцюга системи енергозабезпечення на навколишнє середовище.

Для енергетичної сертифікації будівель потрібен метод, який міг би застосовуватися як для нових, так і для існуючих будівель, та рівноцінно розглядав би їх. Тому, в даному стандарті наведена така методологія для отримання рівноцінних результатів з різних наборів даних.

У цьому стандарті запропоновано два основних типи енергетичних оцінок будівель:

- а) розрахована енергетична оцінка;
- б) виміряна енергетична оцінка.

У зв'язку з відмінністю способів отримання цих двох оцінок вони не можуть бути порівняні безпосередньо. Однак, різниця між цими двома оцінками для однієї і тієї ж будівлі може бути використана для оцінки кумулятивного впливу існуючої споруди, систем та умов експлуатації порівняно зі стандартними умовами та впливу енергоспоживання, не включеного до розрахункової енергетичної оцінки.

Енергопотребу розраховують і її не можливо виміряти.

Питання для самоперевірки

1. Енергетична паспортизація будинків
2. Класи енергетичної ефективності
3. Показники енергетичної ефективності будинків
4. Енергетична сертифікація будинків

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕРТИФИКАТ ЗДАНИЯ

N° _____

Здание:
Адрес:
Назначение заполнения энергетического сертификата:
 Новое здание Энергет. ренов. здания Продажа Аренда Другое

Город: *Беларусь*
Климат. район:

Градусо-сутки:
Общая площадь пола (м²):
Коэффициент формы:
Отопление:
Горячее водоснабжение:

Оценка для разного использования

Система отопления: A

Система ГВС: A

Тип здания: Многоквартирное здание	Существующее состояние
Глобальный индикатор: Общая поставлен. энергия	кВтч/(м ² .год)
Низкое потребление энергии	A
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
Высокое потребление энергии	
Оценка факт. потребл. энергии	Г
Метод расчета:	сезонный
Мин. требуемый R_c :	
Стандартное значение R_c :	

Первичная энергия	кВтч/(м².год)	A
потребность в тепловой энергии на кВтч/(м².г)		
Выбросы CO₂	кг/(м².год)	

Меры, предлагаемые для повышения энергетической эффективности здания:

Наружные стены: Крыша: Пол: Окна: Система отопления: Система ГВС Другое	
-------------------------------------------------------------------------------------------	--

Дата:
 Подготовлен:
 Контакты: тел.:

Действителен до:
 Подпись:

e-mail:

Рис. 8.1 Загальний вигляд енергетичного сертифікату будівлі

9 ТЕПЛОВА ІНЕРЦІЯ ОГОРОДЖЕНЬ

Теплова інерція – це здатність матеріалу накопичувати і повертати тепло або холод. Теплова інерція сприяє підвищенню комфорту в будинку взимку і влітку та зменшує витрати енергії на опалення і кондиціонування. Якщо теплову інерцію не брати до уваги, то вона буде основною причиною високих витрат на опалення і зниження якості проживання. Тому важливо враховувати можливості різних матеріалів з точки зору теплової інерції з моменту проектування нового будинку.

На величину теплової інерції впливають декілька фізичних властивостей матеріалу.

Одна з них – теплоємність. Кількість тепла, яке може накопичити матеріал відносно своєї ваги або об'єму. В основному, чим масивніше і щільніше матеріал, тим більше його об'ємна теплоємність. Наприклад, бетон і камінь – матеріали з високою масою і щільністю. Вони дійсно мають високу здатність накопичувати тепло.

Теплоємність матеріалу не є єдиним параметром. Насправді, важливо знати, як тепло проникає і зберігається в матеріалі, і з якою швидкістю. Саме тому, щоб визначити теплову інерцію потрібно звернути увагу на іншу фізичну властивість – ефузивність. Це швидкість, з якою змінюється температура поверхні матеріалу. Чим більше це значення, тим швидше матеріал нагрівається і охолоджується. Якщо ми покладемо руку на метал, який має високу ефузивність, то будемо відчувати холод до тих пір, доки температура поверхні матеріалу не буде дорівнювати температурі нашої руки.

Третій параметр – диффузивність – характеризує швидкість поширення тепла не тільки по поверхні, але і всередині матеріалу. Чим вона вища, тим швидше матеріал повністю нагрівається або охолоджується.

Теплова інерція є комбінацією цих властивостей. Відбувається в уповільненому режимі або з фазовим зсувом між зміною зовнішньої і внутрішньої температурами. Розглянемо масивну не утеплену стіну. Якщо зовні холодно, необхідно деякий час, щоб стіна прийняла холодну температуру, зберегла її і віддала всередину приміщення. І, навпаки, якщо ми її нагріваємо зсередини, необхідно час, перш ніж стіна поглине тепло з приміщення і в свою чергу нагріється повністю.

Розглянемо явище зсуву фаз на прикладі літнього садового будинку з легкими не утепленими стінами. Помістимо один термометр зовні, а інший всередині будинку і накреслимо отримані криві температур (див. рисунок 9.1).

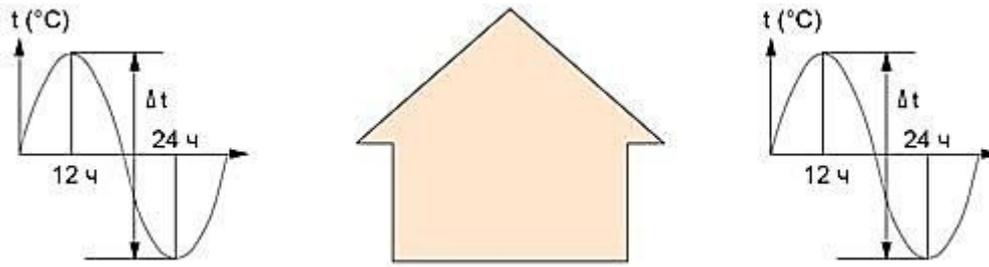


Рис.9.1 Явище зсуву фаз на прикладі літнього садового будинку з легкими не утепленими стінами

Ми бачимо, що крива температури всередині будинку практично повністю повторює криву ззовні, вони змінюються одночасно. Через легкість матеріалу стін невеликої товщини і велику ефузивність холод або тепло ззовні швидко проникають всередину приміщення. Зовнішня і внутрішня температури практично однакові протягом доби. Інерції практично не існує. Вся енергія, споживана на нагрівання або охолодження будинку, буде негайно втрачена.

Щоб температура всередині приміщення була більш комфортною для проживання потрібно утеплити стіни (див. рисунок 9.2).

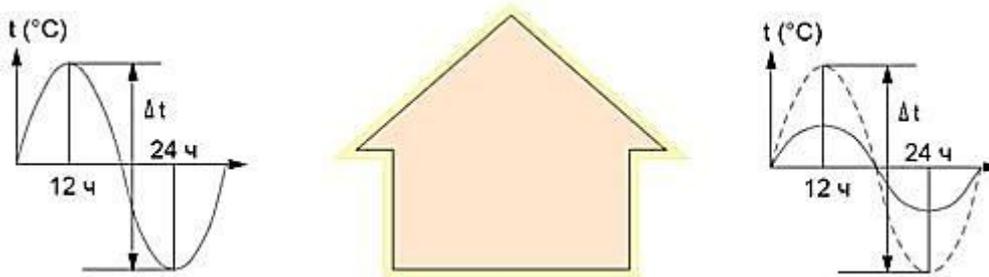


Рис. 9.2 Явище зменшення амплітуди коливань температури внутрішнього повітря у будинку з утепленими стінами

Зміна внутрішньої температури повторила графік руху температури ззовні, але з меншою амплітудою. Зміна відбувається з тією ж швидкістю, тоді як внутрішня і зовнішня температури відрізняються в кілька градусів. Температурний розрив стає можливим завдяки утепленню. Так поводитьсь «легкий» каркасний будинок.

Якщо ж побудувати масивні стіни з бетону, замінивши листові дерев'яні щити, то теплова інерція буде значно підвищуватися, що викличе зміщення фаз (див. рисунок 9.3).

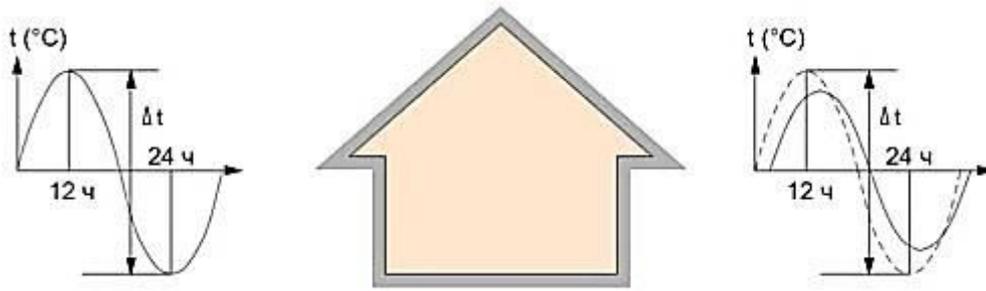


Рис.9.3 Явище зміщення фази коливання температури у будинку з бетонними стінами

Протягом усієї доби внутрішня температура буде змінюватися услід за зовнішньою, але із затримкою в кілька годин завдяки інерції стін.

Додавши до важких стін зовнішнє утеплення, будинок зможе об'єднати в собі обидві переваги: зниження амплітуди температур за рахунок утеплення, і зміщення фаз завдяки інерції матеріалу, з якого зроблені стіни (див. рисунок 9.4).



Рис.9.4 Явище зниження амплітуди та зміщення фази коливання температури у будинку з бетонними утепленими стінами

Оптимальним періодом температурного зсуву вважається 12-13 годин.

З точки зору теплової інерції таким же ефектом володіють однорідні кам'яні стіни з теплих керамічних блоків (див. рисунок 9.5).



Рис. 9.5 Явище зниження амплітуди та зміщення фази коливання температури у будинку з однорідні кам'яні стіни з теплих керамічних блоків

Теплової інерції D огороження є величиною безрозмірною. Вона визначається за формулою:

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_{i\ p}, \quad (9.1)$$

де R_i – термічний опір шарів матеріалу, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, визначається за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{i\ p}}, \quad (9.2)$$

де δ_i – товщина матеріалу i -го шару конструкції, м;
 $\lambda_{i\ p}$ – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
 $S_{i\ p}$ – розрахунковий коефіцієнт теплосвоєння i -го шару конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначається за формулою:

$$S_{i\ p} = 0,27 \sqrt{\lambda_{i\ p} \cdot \rho_{i\ o} (c_{i\ o} + 0,0417 \omega_i)}, \quad (9.3)$$

де $\rho_{i\ o}$ – густина матеріалу i -го шару конструкції, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $c_{i\ o}$ – питома теплоємність матеріалу i -го шару конструкції, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;
 ω_i – вміст вологи за масою i -го шару конструкції, %.

Задача 9.1 *Визначити теплову інерцію цегляної кладки товщиною 0,38 м якщо теплопровідність кладки $\lambda_p = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, густина $\rho_o = 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$, питома теплоємність $c_o = 0,88 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, вміст вологи за масою $\omega = 2 \%$.*

Визначаємо теплову інерцію цегляної кладки за формулою:

$$D = R_i \cdot S_p = 0,469 \times 10,12 = 4,75,$$

де R_i – теплова інерція цегляної кладки, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, визначаємо за формулою:

$$R_i = \frac{\delta}{\lambda_p} = \frac{0,38}{0,81} = 0,469 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}},$$

S_p – коефіцієнт теплосвоєння цегляної кладки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначаємо за формулою:

$$S_p = 0,27 \sqrt{\lambda_p \cdot \rho_o (c_o + 0,0417\omega)} = \\ = 0,27 \sqrt{0,81 \times 1800(0,88 + 0,0417 \times 2)} = 10,12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

Задача 9.2 *Визначити мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислового будинку розташованого у I-й температурній зоні, якщо товщина огородження $\delta = 0,25$ м, теплопровідність матеріалу огородження $\lambda_p = 0,81$ Вт/(м · К), коефіцієнт теплосвоєння $S_p = 10,12$ Вт/(м² · К).*

Визначаємо теплову інерцію огородження за формулою:

$$D = R_i \cdot S_p = 0,309 \times 10,12 = 3,13,$$

де R_i – коефіцієнт теплосвоєння огородження, Вт/(м² · К), визначаємо за формулою:

$$R_i = \frac{\delta}{\lambda_p} = \frac{0,25}{0,81} = 0,309 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

Так як $D = 3,13 > 1,5$ то за табл. 5.6 $R_{g,\min} = 1,7$ м² · К/Вт.

Питання для самоперевірки

1. Фізичний зміст теплової інерції.
2. Фізичний зміст коефіцієнта теплосвоєння матеріалу.
3. Який вплив теплової інерція огородження здійснює на вибір мінімально допустимого значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислового будинку.
4. Які величини впливають на теплової інерції огородження.

Задачі для самостійного рішення

Задача 9.3 *Визначити коефіцієнт теплосвоєння матеріалу, якщо густина матеріалу $\rho_o = 75$ кг/м³, теплопровідність матеріалу $\lambda_p = 0,062$ Вт/(м · К), питома теплоємність $c_o = 0,84$ кДж/(кг · К), вміст води за масою $\omega = 5$ %.*

Задача 9.4 *Визначити теплову інерцію огородження товщиною 0,51 м якщо теплопровідність матеріалу огородження $\lambda_p = 0,81$ Вт/(м · К), коефіцієнт теплосвоєння $S_p = 10,12$ Вт/(м² · К).*

10 ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Нестационарний тепловий режим приміщень і огорожувальних конструкцій формується під впливом змінних у часі зовнішніх теплових (температура зовнішнього повітря, сонячна радіація) й внутрішніх (нерівномірна віддача теплоти системою опалення, технологічним устаткуванням) впливів.

Ступінь впливу на амплітуду коливання температури внутрішнього повітря та температуру внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожень залежить не тільки від зовнішніх і внутрішніх періодичних впливів, але й теплостійкості огорожень та приміщення в цілому.

Під теплостійкістю варто розуміти властивість огорожувальної конструкції зберігати відносну сталість температури на поверхні зверненої в приміщення при періодичних змінах температури зовнішнього або внутрішнього повітря.

У спрощеному вигляді цю властивість можна проілюструвати, звернувши увагу на тепловий режим будинку з масивними «товстими» зовнішніми огороженнями і будинку з легкими «тонкими» зовнішніми огороженнями в спекотний період року.

У першому випадку ми відчуваємо стабільний тепловий режим приміщення при відсутності різких коливань температури протягом доби й перегріву будинку, у другому – значні коливання температури протягом доби і перегрів будинку.

10.1. Нормативні вимоги у розрахунку показників теплостійкості

Для житлових та громадських будинків, навчальних та лікувальних установ обов'язкове виконання умов:

- теплостійкості в літній період року зовнішніх огорожувальних конструкцій:

$$A_{\tau_b} \leq 2,5 \text{ } ^\circ\text{C} , \quad (10.1)$$

- теплостійкості в зимовий період року температури приміщень:
- за наявності центрального опалення:

$$A_{t_b} \leq 1,5 \text{ } ^\circ\text{C} , \quad (10.2)$$

- за наявності теплоаккумуляційного опалення:

$$A_{t_b} \leq 2,5 \text{ } ^\circ\text{C} , \quad (10.3)$$

За наявності в будинку центрального опалення з автоматичним регулюванням температури внутрішнього повітря теплостійкість приміщень в холодний період року не визначається.

де A_{t_B} – амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні непрозорих огорожувальних конструкцій, °С;

A_{t_R} – амплітуда коливань температури внутрішнього повітря, °С;

Теплостійкість огорожувальних конструкцій у літній період року дозволяється не перевіряти:

– якщо середня температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця менше ніж 21 °С;

– якщо зовнішня стіна, що розглядається, має теплову інерцію більше ніж 4;

– якщо покриття, що розглядається, має теплову інерцію більше ніж 5.

10.2. Методика визначення амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій при оцінці їх теплостійкості у літній період року

Колівання температури зовнішнього повітря (дія сонячної радіації, добова зміна температури зовнішнього повітря) ставлять додаткові вимоги до температурного режиму огорожувальних конструкцій у літній період.

Експлуатаційні якості огорожувальних конструкцій у значній мірі залежать від величини коливання температури на їх внутрішній поверхні. При значній амплітуді коливання температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції у літній час може мати місце періодичне підвищення температури внутрішнього повітря з подальшою віддачею тепла всередину будинку та перегрівом його приміщень. Для оцінки показників комфорту мікроклімату в приміщенні розраховують теплостійкість внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій.

Метою розрахунку є надання огорожувальним конструкціям необхідних теплозахисних якостей, що гарантують підтримування практично постійної температури на внутрішній поверхні конструкції при періодичній зміні параметрів зовнішнього середовища.

Теплостійкість огорожувальних конструкцій визначають такі показники:

- амплітуда коливань температури зовнішнього повітря $A_{t_{a,роз}}$, °С;

- величина затухання амплітуди коливань температури зовнішнього повітря ν ;

- коефіцієнт теплозасвоєння матеріалу окремих шарів S , Вт/(м² · К).

Алгоритм визначення теплостійкості огорожувальних конструкцій у літній період наведено на рис. 10.1

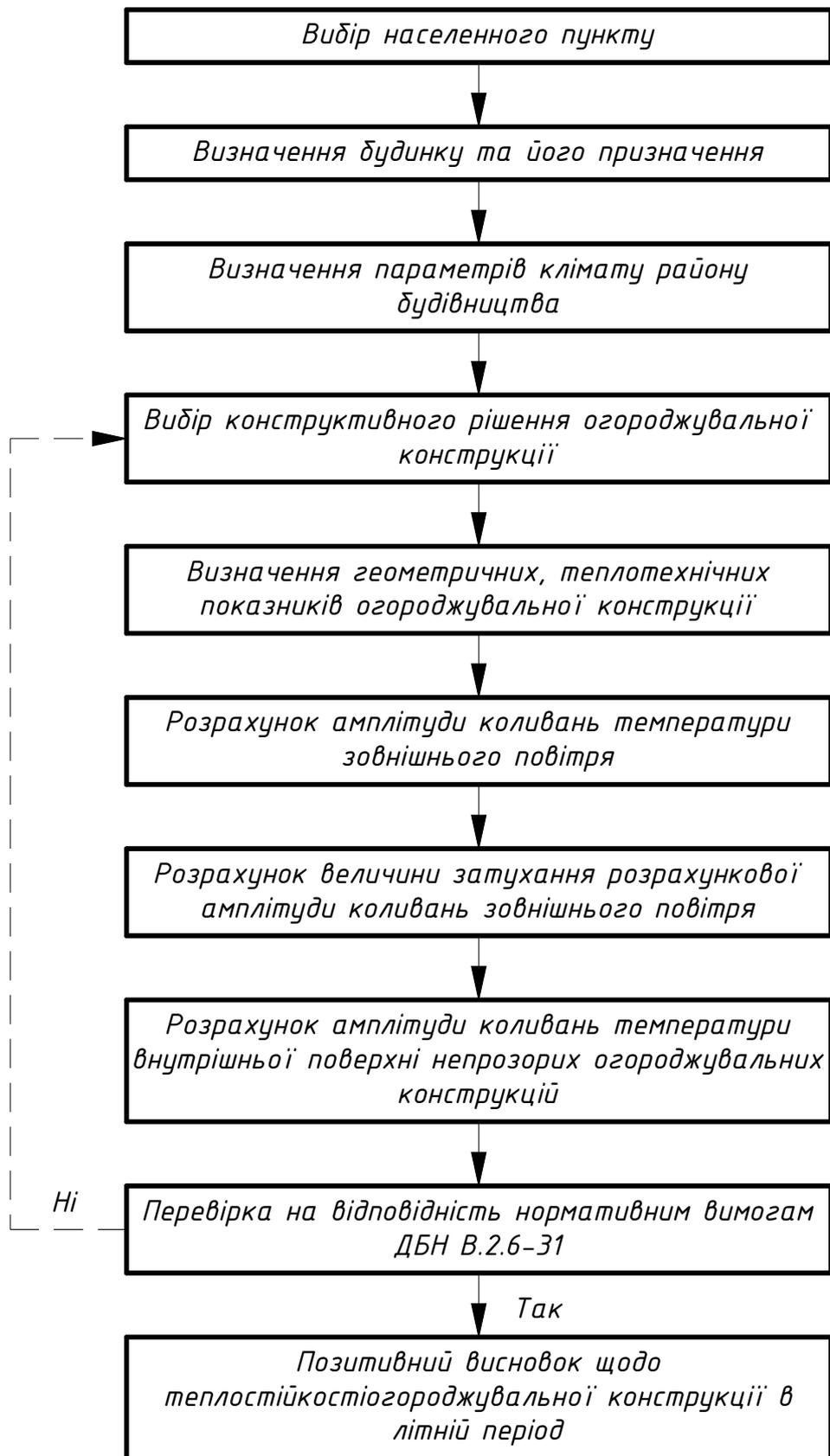


Рис. 10.1 Алгоритм визначення теплостійкості огорожувальних конструкцій у літній період

Розрахунок амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні непрозорих конструкцій, A_{τ_B} , °С, виконується за формулою:

$$A_{\tau_B} = \frac{A_{t_3\text{роз}}}{\nu}, \quad (10.4)$$

де $A_{t_3\text{роз}}$ – розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря, °С, що визначається за формулою:

$$A_{t_3\text{роз}} = 0,5A_{t_3} + \frac{\chi(I_{\text{max}} - I_{\text{cp}})}{\alpha_{3\text{л}}}, \quad (10.5)$$

ν – величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря $A_{t_3\text{роз}}$ в огорожувальній конструкції, що визначається за формулою:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_B)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_{3\text{л}} + Y_n)}{(S_1 + Y_1)(S_n + Y_2) \dots (S_n + Y_n)\alpha_{3\text{л}}}, \quad (10.6)$$

де A_{t_3} – максимальна амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні, °С, приймається згідно із додатком Г;

χ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, визначається за табл. 10.1.

I_{max} , I_{cp} – відповідно максимальне і середнє значення сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної), Вт/м², прийняті згідно із додатком Д або [33], табл. 14-17 для зовнішніх стін – як для вертикальних поверхонь західної орієнтації і для покриття – як для горизонтальної поверхні;

$\alpha_{3\text{л}}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції за літніми умовами, Вт/(м² · К), визначається за формулою:

$$\alpha_{3\text{л}} = 1,16(5 + 10\sqrt{\nu}), \quad (10.7)$$

де ν – мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, м/с, повторюваність яких складає 16 % і більше, прийнята згідно із додатком Е або [33], табл. 6, але не менше 1 м/с;

D – теплова інерція огорожувальної конструкції, що визначається за формулою:

$$D = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} S_i, \quad (10.8)$$

Таблиця 10.1

Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції (табл. Б.1, [35])

Матеріал зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції	Коефіцієнт поглинання сонячної радіації χ
Алюміній матовий	0,52
Алюміній полірований	0,26
Азбест білий	0,42
Азбестоцементні листи	0,65
Асфальтобетон	0,9
Бетони	0,7
Вапняк світлий шліфований	0,35
Вапняк темний	0,50
Граніт світло-сірий полірований	0,8
Дерево нефарбоване	0,6
Захисний шар рулонної покрівлі зі світлого гравію	0,65
Мармур сірий шліфований	0,3
Мармур темний шліфований	0,65
Облицювання природним каменем білим	0,45
Пофарбування вапняне біле	0,3
Пофарбування силікатне темно-сіре	0,7
Плитка облицювальна біла або палева	0,45
Плитка керамічна	0,8
Плитка облицювальна скляна	0,6
Руберойд із піщаною посипкою	0,9
Скло облицювальне	0,7
Сталь листовая, пофарбована білою фарбою	0,45
Сталь листовая, пофарбована зеленою фарбою	0,6
Сталь листовая, пофарбована темно-червоною фарбою	0,8
Сталь покрівельна оцинкована	0,65
Толь чорний	0,87
Фарби масляні: зелень смарагдова	0,61
кармін світлий, червоний	0,52
кобальт зелений світлий	0,58
кобальт фіолетовий	0,83
марс коричневий	0,65
охра золотиста	0,61
охра червона	0,63
ультрамарин синій	0,64
Цегла глиняна світло-коричнева	0,55
Цегла глиняна червона	0,7
Цегла керамічна	0,7
Цегла силікатна	0,6
Цегла силікатна глазурована	0,26
Штукатурка вапняна темно-сіра або теракотова	0,7
Штукатурка цементна світло-блакитна	0,3
Штукатурка цементна кремова	0,4
Штукатурка цементна темно-зелена	0,6

S_1, S_2, \dots, S_n , – розрахункові коефіцієнти теплосасвоєння матеріалу окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаються за додатком А або [18], таблицею А.1 для умов експлуатації А; для повітряних прошарків $S_i = 1$;

$Y_1, Y_1, \dots, Y_{n-1}, Y_n$, – коефіцієнти теплосасвоєння зовнішньою поверхнею окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), що визначаються за наступними вказівками.

Порядок нумерації шарів у формулі (10.6) приймається у напрямку від внутрішньої поверхні конструкції до зовнішньої.

Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні шару, Y , Вт/(м² · К), з тепловою інерцією $D \geq 1$ треба приймати рівним розрахунковому коефіцієнту теплосасвоєння S матеріалу цього шару конструкції за додатком А або [18], таблицею А.1.

Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні шару Y з тепловою інерцією $D \geq 1$ визначають розрахунком, починаючи з першого шару (розраховуючи від внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції):

а) для першого шару – за формулою:

$$Y_1 = \frac{R_1 \times S_1^2 + \alpha_B}{1 + R_1 \times \alpha_B}, \quad (10.9)$$

б) для i -го шару – за формулою:

$$Y_i = \frac{R_i \times S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i \times Y_{i-1}}, \quad (10.10)$$

де R_1, R_i – термічні опори відповідно першого та i -го шарів огорожувальної конструкції, м² · К/Вт, що визначаються за формулами:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1},$$

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

Покращити теплостійкість огорожувальних конструкцій у літній період року можливо за рахунок:

- збільшення теплового опору огорожувальних конструкцій;
- збільшення теплової інерції огорожувальної конструкції;
- використання в багатошаровій огорожувальній конструкції масивних матеріалів ближче до її внутрішньої поверхні;
- застосування конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з

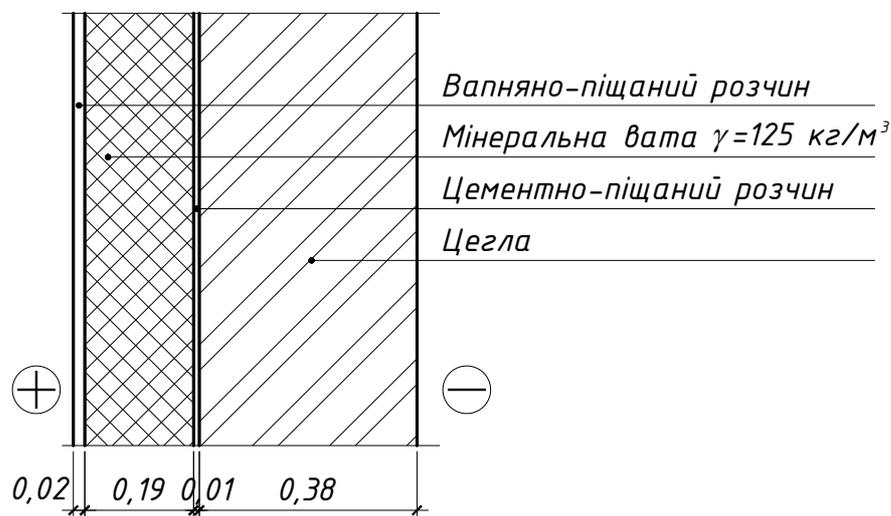
вентильованим повітряним прошарком згідно з ДСТУ Б В.2.6-35;

- застосування замкнених повітряних прошарків;
- зниження коефіцієнта поглинання сонячної радіації зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій завдяки пофарбуванню їх у світлі тони;
- екранування зовнішніх огорожувальних конструкцій від сонячної радіації сонцезахисними пристроями, зеленими насадженнями тощо.

Задача 10.1 *Визначити теплостійкість зовнішньої стіни житлового будинку у літній період року при таких вихідних даних:*

- район будівництва – м. Полтава;
- призначення будівлі – лікувальна.

Розрахункова схема



Визначаємо амплітуду коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за формулою:

$$A_{\tau_{\text{в}}} = \frac{A_{t_{3\text{роз}}}}{\nu} = \frac{26,2}{1008} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C} ,$$

де $A_{t_{3\text{роз}}}$ – розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$, що визначається за формулою:

$$A_{t_{3\text{роз}}} = 0,5A + \frac{\chi(I_{\text{max}} - I_{\text{cp}})}{\alpha_{3\text{л}}} = 0,5 \times 17,8 + \frac{0,7(772 - 186)}{23,8} = 26,2 \text{ } ^\circ\text{C} ,$$

де A_{t_3} – максимальна амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні, °С, приймається згідно із додатком Г або [33], табл. 2:

$$A_{t_3} = 17,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

χ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, визначається за таблицею 10.1 або табл. Б.1, [35]:

$$\chi = 0,7$$

I_{max}, I_{cp} – відповідно максимальне і середнє значення сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної), Вт/м², прийняті згідно зі додатком Д або [33], табл. 14-17 для зовнішніх стін – як для вертикальних поверхонь західної орієнтації і для покриття – як для горизонтальної поверхні:

$$I_{max} = 772 \text{ Вт/м}^2; I_{cp} = 186 \text{ Вт/м}^2,$$

$\alpha_{3л}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції за літніми умовами, Вт/(м² · К), визначається за формулою:

$$\alpha_{3л} = 1,16(5 + 10\sqrt{v}) = 1,16(5 + 10\sqrt{2,4}) = 23,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

де v – мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, м/с, повторюваність яких складає 16 % і більше, прийнята згідно з додатком Е або [33], табл. 6, але не менше 1 м/с:

$$v = 2,4 \text{ м/с},$$

ν – величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря $A_{t_3,роз}$ в огорожувальній конструкції, що визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \nu &= 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_B)(S_{ут} + Y_1)(S_3 + Y_2)(S_4 + Y_3)(\alpha_{3л} + Y_4)}{(S_1 + Y_1)(S_{ут} + Y_2)(S_3 + Y_3)(S_4 + Y_4)\alpha_{3л}} = \\ &= 0,9 \times 2,718^{\frac{7,68}{\sqrt{2}}} \times \\ &\times \frac{(9,6 + 8,7)(0,73 + 9,053)(8,69 + 0,73)(9,2 + 1,79)(23,8 + 9,2)}{(9,6 + 9,053)(0,73 + 0,73)(8,69 + 1,79)(9,2 + 9,2)23,8} = \\ &= 1008, \end{aligned}$$

де $e = 2,718$ – основа натуральних логарифмів;

D – теплова інерція огорожувальної конструкції, що визначається за формулою:

$$D = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} S_i = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} S_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} S_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} S_4 = \\ = \frac{0,02}{0,76} 9,6 + \frac{0,19}{0,06} 0,73 + \frac{0,01}{0,7} 8,69 + \frac{0,38}{0,7} 9,2 = 7,68 ,$$

де δ_i – товщини шарів огорожувальної конструкції, м;

λ_i – теплопровідність матеріалу шарів огорожувальної конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м·К), що приймають за додатком А або [18], табл. А1 для умов експлуатації А;

S_1, S_2, \dots, S_n – розрахункові коефіцієнти теплосвоєння матеріалу окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), приймаються за додатком А або [18], табл. А1 для умов експлуатації А;

$\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м·°С), приймаємо за таблицею 4.1 дод. Б [18]:

$$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ,$$

Y_1, Y_2, \dots, Y_n – коефіцієнти теплосвоєння зовнішньою поверхнею окремих шарів огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К).

Коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні шару, Y , Вт/(м²·К), з тепловою інерцією $D \geq 1$ треба приймати рівним розрахунковому коефіцієнту теплосвоєння S матеріалу цього шару конструкції.

Коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні шару Y з тепловою інерцією $D < 1$ визначають розрахунком, починаючи з першого шару (розраховуючи від внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції):

а) для першого шару – за формулою:

$$Y_1 = \frac{R_1 \times S_1^2 + \alpha_{\text{в}}}{1 + R_1 \times \alpha_{\text{в}}} ,$$

б) для i – го шару – за формулою:

$$Y_i = \frac{R_i \times S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i \times Y_{i-1}} ,$$

Розрахунок коефіцієнтів теплосвоєння зовнішньої поверхні шарів Y виконуємо у наступній послідовності:

1. За додатком А або [18], табл. А1 визначаємо розрахункові теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції для умов експлуатації А:

- вапняно-піщаний розчин	$\lambda_1 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- мінеральна вата	$\lambda_{\text{ут}} = 0,06 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цементно-піщаний розчин	$\lambda_3 = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цегла	$\lambda_4 = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$

2. За додатком А або [18], табл. А1 визначаємо розрахункові коефіцієнти теплозасвоєння матеріалів шарів огорожувальної конструкції для умов експлуатації А:

- вапняно-піщаний розчин	$S_1 = 9,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- мінеральна вата	$S_{\text{ут}} = 0,73 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цементно-піщаний розчин	$S_3 = 8,69 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цегла	$S_4 = 9,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$

3. Визначаємо термічні опори шарів огорожувальної конструкції за формулами:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02}{0,76} = 0,026 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,19}{0,06} = 3,167 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,01}{0,7} = 0,014 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

$$R_4 = \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} = \frac{0,38}{0,7} = 0,543 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

4. Визначаємо теплову інерцію шарів огорожувальної конструкції за формулами:

$$D_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 = \frac{0,02}{0,76} 9,6 = 0,253,$$

$$D_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} S_2 = \frac{0,19}{0,06} 0,73 = 2,312,$$

$$D_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} S_3 = \frac{0,01}{0,7} 8,69 = 0,124,$$

$$D_4 = \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} S_{\text{ут}} = \frac{0,38}{0,7} 9,2 = 4,994,$$

5. Визначаємо коефіцієнт теплозасвоєння зовнішньої поверхні 1-го шару огорожувальної конструкції так як $D_1 = 0,253 < 1$ тоді:

$$Y_1 = \frac{R_1 \times S_1^2 + \alpha_B}{1 + R_1 \times \alpha_B} = \frac{0,026 \times 9,6^2 + 8,7}{1 + 0,026 \times 8,7} = 9,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

6. *Визначаємо коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні 2-го шару огорожувальної конструкції так як $D_2 = 2,311 > 1$ тоді:*

$$Y_2 = S_2 = 0,73 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

7. *Визначаємо коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні 3-го шару огорожувальної конструкції так як $D_3 = 0,124 < 1$ тоді:*

$$Y_3 = \frac{R_3 \times S_3^2 + Y_2}{1 + R_3 \times Y_2} = \frac{0,014 \times 8,69^2 + 0,73}{1 + 0,014 \times 0,73} = 1,79 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

8. *Визначаємо коефіцієнт теплосвоєння зовнішньої поверхні 4-го шару огорожувальної конструкції так як $D_4 = 4,994 > 1$ тоді:*

$$Y_4 = S_4 = 9,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

За п.10.1 для житлових та громадських будинків, навчальних та лікувальних установ амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні непрозорих огорожувальних конструкцій в літній період року повинна бути не більше 2,5 °С.

Так як $A_{\tau_B} = 0,03 \text{ °С} \leq 2,5 \text{ °С}$ то теплостійкість огороження забезпечена.

10.3. Методика визначення амплітуди коливань температури повітря приміщення при оцінці теплостійкості в зимовий період

Значні коливання температур повітря в зимовий період року та робота опалювальних пристроїв можуть спричинити різкі перепади температури в приміщенні. Для забезпечення комфортного мікроклімату приміщення в зимовий період року необхідно розраховувати його теплостійкість.

Метою розрахунку є надання огорожувальним конструкціям необхідних теплозахисних якостей, що гарантують підтримування у приміщенні практично постійної комфортної температури повітря при періодичній зміні параметрів зовнішнього та внутрішнього середовища.

Теплостійкість приміщення визначають такі показники:

- амплітуда коливань температури приміщення $A_{t_B}, ^\circ\text{C}$;
- коефіцієнт теплопоглинання $V_j, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- коефіцієнт теплосвоєння матеріалу окремих шарів $S, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

К).

Алгоритм визначення теплостійкості приміщень у зимовий період наведено на рис. 10.2.

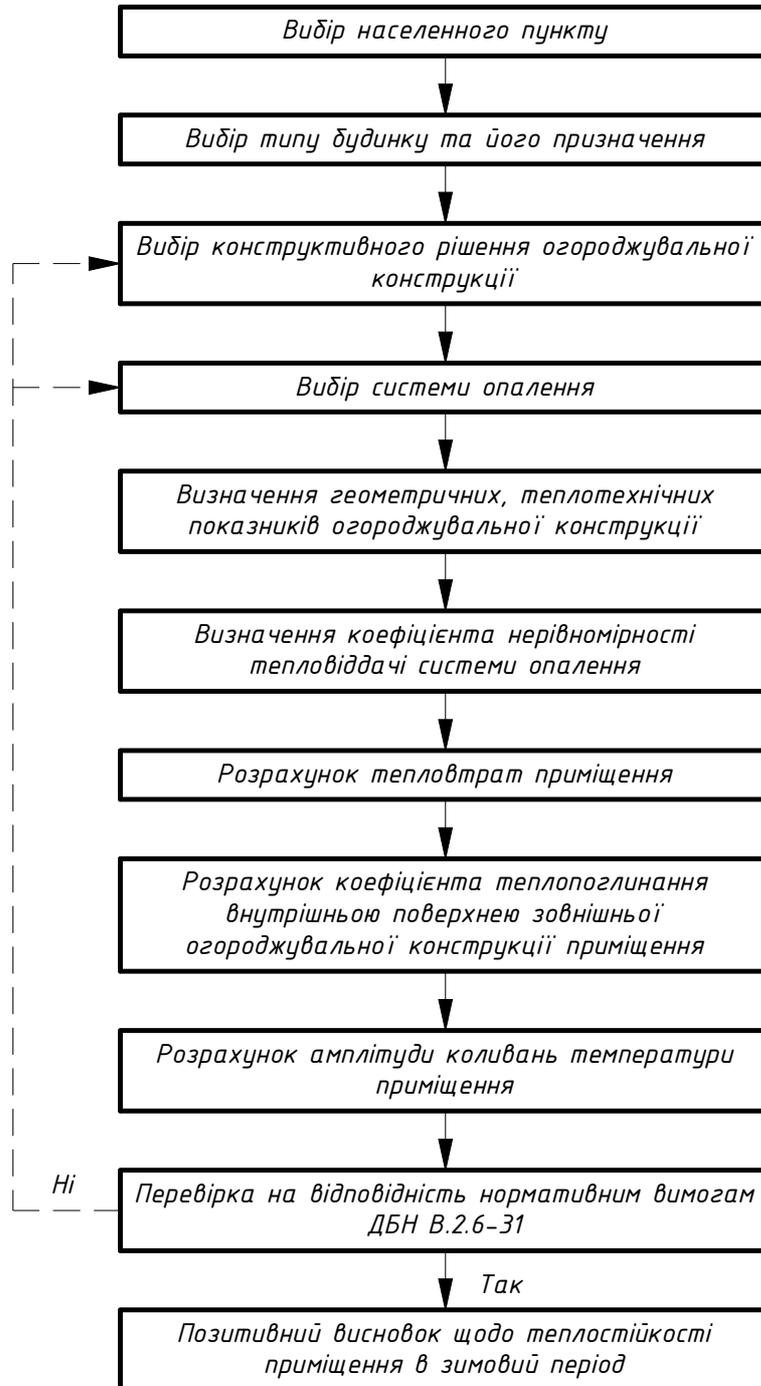


Рис. 10.2 Алгоритм визначення теплостійкості приміщень у зимовий період

Амплітуда коливань температури приміщення, A_{t_B} , °С, розраховується за формулою:

$$A_{t_B} = \frac{0,7Q_{\text{пр}} \cdot m}{\sum_{j=1}^K B_j \cdot F_j}, \quad (10.11)$$

де $Q_{\text{пр}}$ – тепловтрати приміщення, Вт, що визначаються згідно з формулою (10.13);

m – коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі системи опалення, приймається згідно з табл.10.2;

Таблиця 10.2

**Коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі систем опалення
(табл. 1, [35])**

Тип опалення	m
Водяне опалення будівель з безперервним обслуговуванням	0,1
Опалення з використанням малотеплоємних приладів:	
а) нагрівання приладів опалення на протязі 18 год., з перервою - 6 год.	0,8
б) нагрівання приладів опалення на протязі 12 год., з перервою 12 год.	1,4
в) нагрівання приладів опалення на протязі 6 год., з перервою 18 год.	2,2
Поквартирне водяне опалення (час обслуговування 6 год.)	1,5
Пічне опалення теплоємними печами під час топлення їх один раз на добу:	
- товщина стінок печі у 1/2 цегли	від 0,4 до 0,9*
- товщина стінок печі у 1/4 цегли	від 0,7 до 1,4*

Менше значення m відповідає масивним печам, більше – менш масивним легким печам. При топці печей 2 рази на добу величину m треба зменшувати у 2,5 – 3 рази для печей з товщиною у 1/2 цегли, та у 2-2,3 рази – при товщині у 1/4 цегли.

F_j – площа внутрішньої поверхні j -й зовнішньої огорожувальної конструкції, м²;

K – кількість зовнішніх огорожувальних конструкцій у приміщенні;

B_j – коефіцієнт теплопоглинання, Вт/(м² · К), внутрішньою поверхнею j -й зовнішньої огорожувальної конструкції приміщення, що визначається за формулою:

$$B_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{Y_B}}, \quad (10.12)$$

де Y_B – коефіцієнт теплосасвоєння внутрішньої поверхні огородження, Вт/(м² · К), визначається за формулами (10.16–10.18);

α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкцій, Вт/(м² · К), що приймається згідно з таблицею 4.1.

Тепловтрати приміщення $Q_{пр}$, Вт, розраховуються за формулою:

$$Q_{пр} = Q_{теп} + Q_{інф}, \quad (10.13)$$

де $Q_{теп}$ – тепловтрати приміщення через теплоізоляційну оболонку, Вт, визначаються згідно з формулою (10.14);

$Q_{інф}$ – тепловтрати приміщення за рахунок інфільтрації, Вт, визначаються згідно з формулою (10.15).

Тепловтрати приміщення через теплоізоляційну оболонку $Q_{теп}$ визначаються за формулою:

$$Q_{теп} = (t_{вн} - t_{зов}) \left[\sum_{j=1}^n \frac{F_j}{R_{\Sigma j_{ін}} \cdot k} + \frac{F_{сп}}{R_{\Sigma сп}} \right], \quad (10.14)$$

де $t_{вн}$ – температура повітря в приміщенні, °С, що приймається згідно з таблицею 5.7 або додатком Г [6];

$t_{зов}$ – температура повітря найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92, °С, що приймається згідно з додатком Г або таблицею 2 [33];

F_j – площа j – го непрозорого елемента огороджувальної конструкції, м²;

$R_{\Sigma j_{ін}}$ – опір теплопередачі j – го непрозорого елемента огороджувальної конструкції, м² · К/Вт,

k – безрозмірний коефіцієнт, що враховує неоднорідність огороджувальної конструкції, що приймається:

- для суміщених покриттів, світлопрозорих огороджувальних конструкцій, вхідних дверей у багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки, вхідних дверей у малоповерхові будинки та у квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків -1,0;
- для горіщних покриттів – 0,8;
- для конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустриальними елементами з вентиляльованим

- повітряним прошарком – 0,75;
- для всіх інших типів зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій та перекриттів неопалюваних горищ, перекриттів над проїздами та неопалюваними підвалами – 0,85;
- $F_{сп}$ – площа світлопрозорої частини огорожувальної конструкції, м²;
- $R_{Σсп}$ – приведений опір теплопередачі світлопрозорої конструкції, м² · К/Вт, приймається на підставі результатів випробувань згідно ДСТУ Б В.2.6-17 (ГОСТ 26602.1) акредитованими лабораторіями або за результатами теплових розрахунків конструкції згідно розділу 6;
- n – кількість непрозорих елементів огорожувальної конструкції.

Тепловтрати приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції $Q_{інф}$ визначаються за формулою

$$Q_{інф} = 0,27(t_{вн} - t_{зов})V, \quad (10.15)$$

де $t_{вн}$, $t_{зов}$ – те саме, що у формулі (10.14);

V – об'єм приміщення, м³.

Показник теплосвоєння внутрішньою поверхнею непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулами:

а) у разі, коли (внутрішній) шар огорожувальної конструкції має теплову інерцію $D \geq 1$, то:

$$Y_B = S_1, \quad (10.16)$$

б) якщо теплова інерція першого шару огорожувальної конструкції $D_1 < 1$, а першого і другого шарів конструкції $D_1 + D_2 \geq 1$, то коефіцієнт теплосвоєння внутрішньої поверхні розраховується за формулою:

$$Y_B = \frac{R_1 \times S_1^2 + S_2}{1 + R_1 \times S_2}, \quad (10.17)$$

де R_1 , S_1 , S_2 – термічний опір та коефіцієнти теплосвоєння відповідно, першого та другого шарів;

в) якщо теплова інерція перших n шарів конструкції $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 1$, а теплова інерція $n+1$ шарів $D_1 + D_2 + \dots + D_n + D_{n+1} \geq 1$, то коефіцієнт теплосвоєння внутрішньої поверхні потрібно визначати з урахуванням коефіцієнтів теплосвоєння n шарів за формулами для n -го шару:

$$Y_n = \frac{R_n \times S_n^2 + S_{n+1}}{1 + R_n \times S_{n+1}}, \quad (10.18)$$

для i -го шару ($i = n - 1, n - 2, \dots, 1$):

$$Y_i = \frac{R_i \times S_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i \times Y_{i+1}}, \quad (10.19)$$

Для термічно неоднорідних шарів конструкції потрібно визначати середній коефіцієнт теплозасвоєння матеріалом цього шару $S_{\text{ср}}$, Вт/(м² · К), за формулою:

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sum_{n=1}^n S_n \cdot F_n}{\sum_{n=1}^n F_n}, \quad (10.20)$$

S_1, S_2, \dots, S_n , – коефіцієнти теплозасвоєння окремих матеріалів шару, Вт/(м² · К);

F_1, F_2, \dots, F_n – площі, що займають окремі матеріали по поверхні шару, м²; N – кількість шарів.

Показник теплозасвоєння внутрішньою поверхнею світлопрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою:

$$Y_{\text{вс}} = \frac{1}{1,08 \cdot R_{\Sigma\text{сп}}}, \quad (10.21)$$

де $R_{\Sigma\text{сп}}$ – опір теплопередачі світлопрозорої конструкції, м² · К/Вт, приймається на підставі результатів випробувань акредитованими лабораторіями або за результатами теплових розрахунків конструкції за розділом 6.

Покращити теплостійкість приміщення в зимовий період року можливо за рахунок:

- зменшення тепловтрат приміщення;
- використання ефективної системи опалення;
- збільшення приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій;
- застосування конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком згідно з ДСТУ Б В.2.6-35;
- використання в багатошаровій огорожувальній конструкції масивних матеріалів ближче до її внутрішньої поверхні.

Задача 10.2 Оцінка теплостійкості кутового приміщення з двома вікнами в зимовий період

Вихідні дані

Об'єкт - житлова кімната в м. Києві. Дві зовнішні стіни з вікном на кожній. Розміри вікон 1300 мм×1500 мм, висота приміщення 2600 мм (рисунок 10.3). У приміщенні функціонує водяна система опалення з безперервним обслуговуванням.

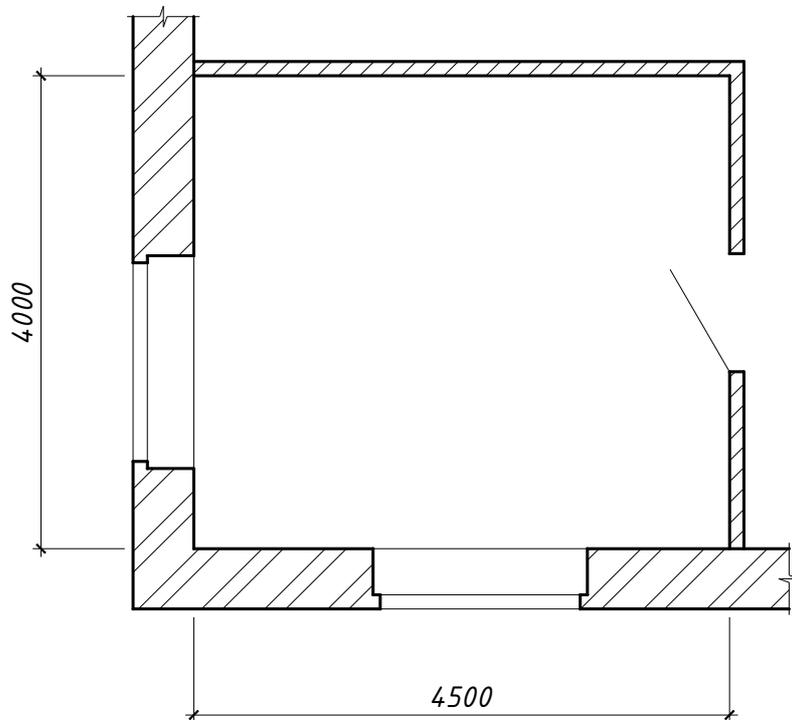


Рис.10.3 План приміщення

Параметри клімату району будівництва, мікроклімату приміщення та безрозмірні коефіцієнти наведені в таблиці 10.3.

Зовнішні стіни знаходяться під кутом 90° по відношенню одна до одної. Конструкція зовнішніх стін складається з наступних елементів:

- кладка цегляна з повнотілої цегли на цементно-піщаному розчині;
- теплоізоляційний шар з пінополістиролу;
- зовнішнє опорядження штукатуркою.

Віконні блоки виконані з ПВХ-профілів та заповнені двокамерними склопакетами (4M₁-16-4M₁-16-4i). Згідно з розрахунками за розділом 5 приведений опір теплопередачі віконного блока становить $R_{\Sigma \text{сп}} = 0,72 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Геометричні характеристики приміщення наведені в таблиці 10.4.

Таблиця 10.3

Розрахункові параметри клімату району будівництва, мікроклімату приміщення та безрозмірні коефіцієнти

Назва параметра	Значення
Температура внутрішнього повітря $t_{в}$, °С (згідно з таблицею 5.7)	20
Температура зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю $0,92 t_{зн}$, °С (згідно з додатком Г)	-22
Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\alpha_{в}$, Вт/(м ² · К) (згідно з таблицею 4.1 або додатком Б [18]): - для зовнішніх стін;	8,7
- для вікон	8,0
Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції $\alpha_{зн}$, Вт/(м ² · К) (згідно з таблицею 4.1 або додатком Б [18]): - для зовнішніх стін;	23,0
- для вікон	23,0
Коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі системи опалення m (за таблицею 10.2 або табл. 1, [35])	0,1
Коефіцієнт, що враховує неоднорідність влаштування конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками k (за пунктом 10.3)	0,85

Таблиця 10.4

Геометричні характеристики приміщення

Назва геометричної характеристики	Значення
Площа приміщення F , м ²	18
Висота приміщення h , м	2,6
Об'єм приміщення V , м ³	46,8
Площа внутрішньої поверхні непрозорих огорожувальних конструкцій $F_{нп}$, м ²	18,2
Площа внутрішньої поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій $F_{сп}$, м ²	3,9

При розрахунках враховуються основні шари конструкції (починаючи з внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції), їх теплофізичні характеристики приймаються згідно з додатком А. Теплофізичні характеристики матеріалів шарів конструкції наведені в таблиці 102.5.

Таблиця 10.5

Теплофізичні характеристики матеріалів шарів конструкції

Номер шару	Матеріал	Товщина шару δ , м	Густина матеріалу в сухому стані ρ , кг/м ³	Розрахункові характеристики в умовах експлуатації Б	
				теплопровідність λ , Вт/(м · К)	коефіцієнт теплозасвоєння S , Вт/(м ² · К)
1	Кладка з цегляна з повнотілої цегли на цементно-піщаному розчині	0,25	1800	0,81	10,12
2	Теплоізоляційний шар з екструдованого пінополістиролу	0,1	35	0,037	0,38
3	Зовнішнє опорядження штукатуркою	0,01	1800	0,93	11,09

Визначення теплових опорів шарів непрозорої огорожувальної конструкції

Теплові опори шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуються наведені в таблиці 10.6.

Таблиця 10.6

Розрахунок теплових опорів шарів непрозорої огорожувальної конструкції

Номер шару	Познака	Значення, (м ² · К)/Вт	Розрахунок
1	R_1	0,31	$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,25}{0,81} = 0,31$
2	R_2	2,7	$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,1}{0,037} = 2,7$
3	R_3	0,012	$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,01}{0,93} = 0,012$

Визначення теплових інерцій кожного шару непрозорої огорожувальної конструкції та конструкції в цілому

Розрахунок теплових інерцій кожного шару непрозорої огорожувальної конструкції та конструкції в цілому наведений у таблиці 10.7.

Таблиця 10.7

Розрахунок теплових інерцій кожного шару непрозорої огорожувальної конструкції та конструкції в цілому

Номер шару	Познака	Значення	Розрахунок
1	D_1	3,14	$D_1 = R_1 \cdot S_1 = 0,31 \times 10,12 = 3,14$
2	D_2	1,03	$D_2 = R_2 \cdot S_2 = 2,7 \times 0,38 = 1,03$
3	D_3	0,13	$D_3 = R_3 \cdot S_3 = 0,012 \times 11,09 = 0,13$
Усієї конструкції	D	4,3	$D = D_1 + D_2 + D_3 = 3,14 + 1,03 + 0,13 = 4,3$

Перший шар має теплову інерцію $D_1 > 1$, тому показник теплосасвоєння внутрішньою поверхнею непрозорої огорожувальної конструкції становить:

$$Y_B = Y_1 = S_1 = 10,12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Визначення коефіцієнта теплопоглинання внутрішньою поверхнею світлопрозорих і непрозорих конструкцій

Розрахунок коефіцієнта теплопоглинання внутрішньою поверхнею світлопрозорих і непрозорих конструкцій наведений у таблиці 10.8.

Таблиця 10.8

Розрахунок коефіцієнта теплопоглинання внутрішньою поверхнею світлопрозорих і непрозорих конструкцій

Тип огорожувальної конструкції	Познака	Одиниця виміру	Значення	Розрахунок
Непрозора	$B_{\text{нп}}$	Вт/(м ² · К)	4,68	$B = \frac{1}{\frac{1}{Y_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}} = \frac{1}{\frac{1}{10,12} + \frac{1}{8,7}} = 4,68$
Світлопрозора	$B_{\text{сп}}$	Вт/(м ² К)	1,29	$B_{\text{вс}} = \frac{1}{1,08 R_{\Sigma c}} = \frac{1}{1,08 \times 0,72} = 1,2$

Визначення тепловтрат приміщення через теплоізоляційну оболонку

Для визначення тепловтрат приміщення через теплоізоляційну оболонку потрібно розрахувати опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції. Тепловтрати приміщення через теплоізоляційну оболонку наведені в таблиці 10.9.

Таблиця 10.9

Розрахунок тепловтрат приміщення через теплоізоляційну оболонку

Теплотехнічний показник що визначається	Поз-нака	Одиниця вимі-ру	Зна-чення	Розрахунок
Опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції	$R_{\Sigma\text{нп}}$	($\text{м}^2\text{К}$)/Вт	3.18	$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} =$ $\frac{1}{8,7} + 0,31 + 2,7 + 0,012 + \frac{1}{23}$ $= 3,18$
Тепловтрати приміщення через теплоізоляційну оболонку	$Q_{\text{теп}}$	Вт	510	$Q_{\text{мен}} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}) \left[\sum_{j=1}^n \frac{F_j}{R_{\Sigma j\text{нп}} \cdot k} + \frac{F_{\text{сп}}}{R_{\Sigma\text{сп}}} \right]$ $= (20 - (-22)) \left[\frac{18,2}{3,18 \times 0,85} + \frac{3,9}{0,72} \right]$ $= 510,3$

Тепловтрати приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції становлять:

$$Q_{\text{інф}} = 0,27(t_{\text{в}} - t_{\text{зн}})V = 0,27 \times 42 \times 46,8 = 531 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення становлять:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{теп}} + Q_{\text{інф}} = 510 + 531 = 1041 \text{ Вт}$$

Амплітуда коливань температури приміщення $A_{t_{\text{в}}}$, °С, розраховується за формулою

$$A_{t_{\text{в}}} = \frac{0,7Q_{\text{пр}} \cdot t}{B_{\text{нп}} \cdot F_{\text{нп}} + B_{\text{сп}} \cdot F_{\text{сп}}} = \frac{0,7 \times 1041 \times 0,1}{4,68 \times 18,2 \times 1,29 \times 3,9} = 0,81 \text{ °С}$$

Амплітуда коливань температури приміщення не перевищує нормованого значення 1,5 °С і становить 0,81 °С, що задовольняє вимогам умови (б) п.6.1 ДБН В.2.6-31:2006.

10.4. Методика розрахунку амплітуди коливань температури на поверхні огороження складної конфігурації або з теплопровідними включеннями

Для виконання розрахунку амплітуди коливань температури на поверхні огороження складної конфігурації або з теплопровідними включеннями можливо користуватися програмою ELCUT. Для цього необхідно виконати розрахунок нестационарного температурного поля, в якому коливання температури зовнішнього повітря протягом доби прийняти:

1. За синусоїдою;
2. За формулами, що пропонуються у [33].

У першому випадку формула за якою змінюється температура зовнішнього повітря має вигляд:

$$t_{\text{зн}} = t_{\text{ср}} + \frac{A}{2} \times \sin(0,000011574 \times T \times 360), \quad (10.22)$$

де $t_{\text{ср}}$ – середня температура у липні, °С, приймається за додатком Г за дод. 2 [33];

A – максимальна амплітуда добових коливань температури, зовнішнього повітря °С, за додатком Г за дод. 2 [33];

T – час, сек.

У другому випадку за формулами:

- $0 \text{ годин} \leq x < T_{\text{min}}$:

$$t_{\text{год}} = \frac{A}{2} \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{2x - 3T_{\text{min}} - 9}{9 + T_{\text{min}}} \right] + t, \quad (10.23)$$

- $T_{\text{min}} \leq x < 15 \text{ годин}$:

$$t_{\text{год}} = \frac{A}{2} \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{2x - 15 - T_{\text{min}}}{15 - T_{\text{min}}} \right] + t, \quad (10.24)$$

- $15 \text{ годин} \leq x < 24 \text{ години}$:

$$t_{\text{год}} = \frac{A}{2} \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{2x - 21 + T_{\text{min}}}{9 + T_{\text{min}}} \right] + t, \quad (10.25)$$

де A – середня добова амплітуда середньої місячної температури повітря у липні, °С;

t – середня місячна температура повітря, °С;

T_{min} – час мінімальної температури повітря протягом доби, який приймається як час, що настає через 15 хвилин після сходу Сонця, год. Для липня $T_{min} = 4$ год або 14400 секунд;

x – потоковий час, год.

На початку розрахунку нестационарного температурного поля значення температури у вузлах розрахункової сітки приймаються $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це призводить до значної похибки при визначенні температур у початковий період часу. Уникнути цього можливо, «прив'язавши» початкові значення температур нестационарної задачі до стаціонарного температурного поля в якому температуру зовнішнього повітря прийняти рівною середній за місяць для якого виконується розрахунок.

Задача 10.3 *Визначити амплітуду коливань температури у характерних точках на внутрішній поверхні огороження зовнішньої стіни житлового будинку у липні при таких вихідних даних:*

- район будівництва – м. Полтава;
- призначення будівлі – лікувальна;
- середня температура у липні, $^{\circ}\text{C}$, $t_{cp} = 20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- максимальна амплітуда добових коливань температури, зовнішнього повітря $^{\circ}\text{C}$, $A = 21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рисунку 10.4 наведена розрахункова схема огороження.

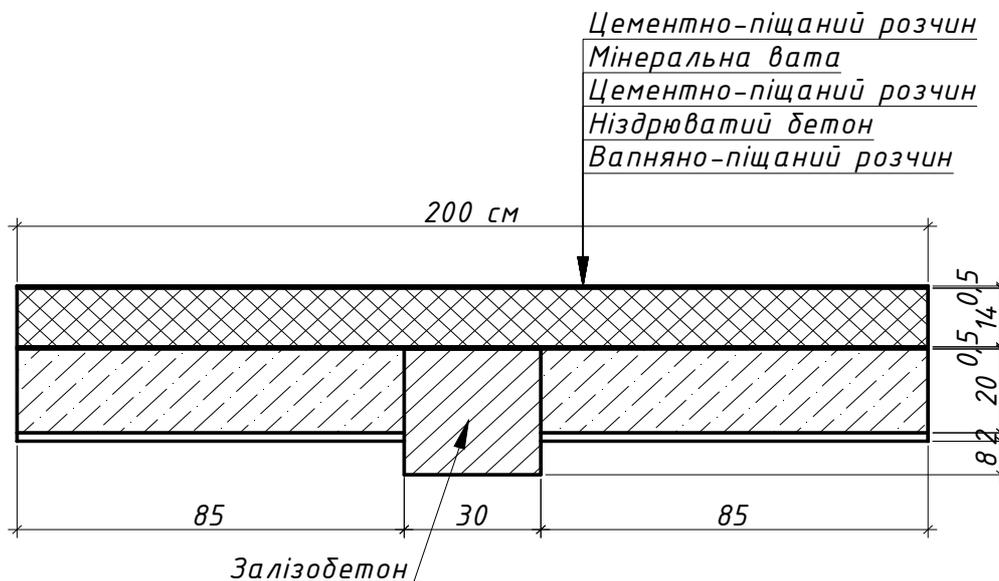


Рис.10.4 Розрахункова схема огороження для розрахунку температурного поля

Виконуємо розрахунок стаціонарного температурного поля. Так як у будинку не передбачене кондиціонування внутрішнього повітря то приймаємо його температуру рівною середній за липень.

Результати розрахунку стаціонарного температурного поля наведено на рисунку 10.5.

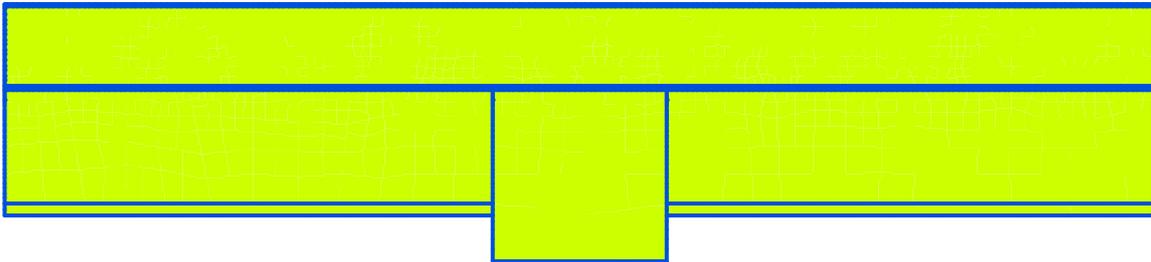


Рис.10.5 Температурне поле у липні

Результати розрахунку стаціонарного температурного поля «прив'язуємо» до нестационарного розрахунку прийнявши зміну температури зовнішнього повітря за синусоїдою.

Використовуючи правила запису формул в ELCUT, цю формулу вставляємо у наступному вигляді:

$$20.5 + 21.2/2 * \sin(0.000011574 * t \times 360) ,$$

Амплітуду коливань температури на внутрішній поверхні огороження визначаємо у характерних точках. Кількість точок приймаємо 7. Розташування точок наведено на рисунку 10.6.

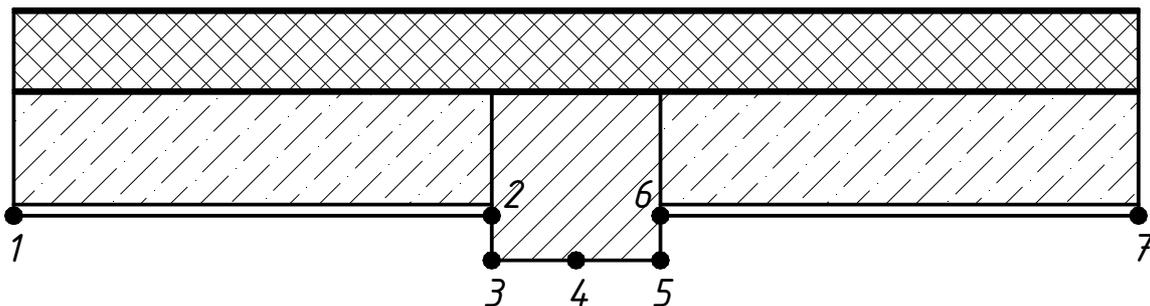


Рис. 10.6 Розташування розрахункових точок

В таблиці 10.10 наведені координати розрахункових точок.

Координати розрахункових точок

№ точки	Координата	
	x	y
1	-10	80
2	75	80
3	75	72
4	90	72
5	105	72
6	105	80
7	190	80

Графік коливань температури на внутрішній поверхні огородження в точці 1 наведено на рисунку 10.7.

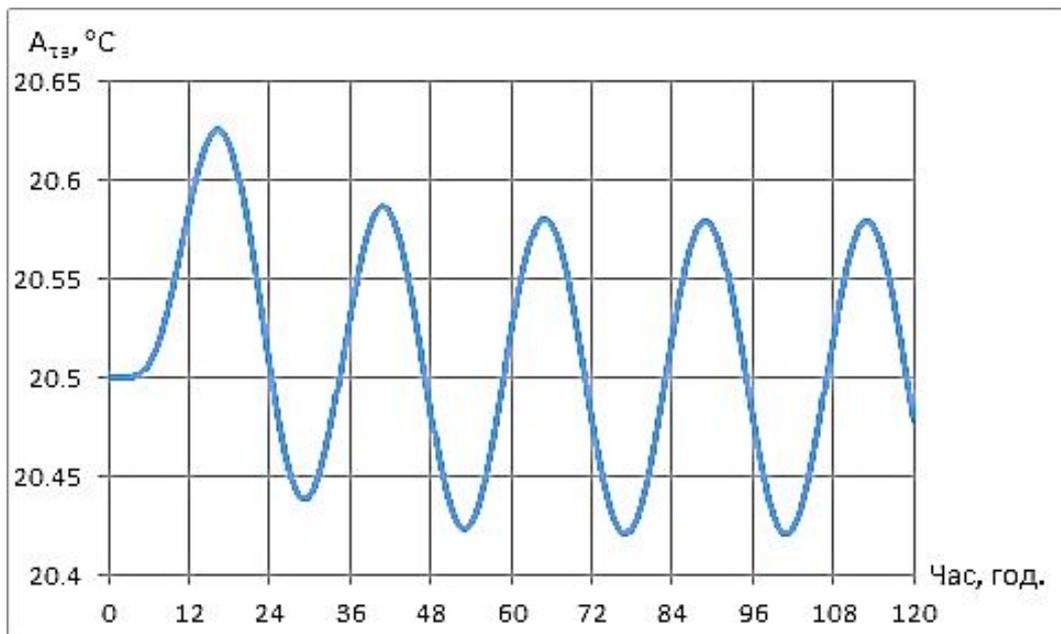


Рис. 10.7 Графік коливань температури на внутрішній поверхні огородження в точці 1

Як видно з графіку, починаючи з 3 доби настає квазістаціонарний режим. Режим, при якому зміна температури протягом доби така ж, як і в наступному. Амплітуда коливань у цей період складає $A_{\tau_b} = 0,16 \text{ } ^\circ\text{C}$, що менше нормованої $2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Аналогічні графіки будуються і для інших розрахункових точок.

Виконуємо розрахунок нестационарного температурного поля за трьома формулами (10.23-10.25).

Для першого часового відрізка формула зміни температури зовнішнього повітря має вигляд:

$$21.2/2 * \sin(90 * (2 * t/3600 - 3 * 4 - 9)/(9 + 4)) + 20.5 ,$$

Результати розрахунку температурного поля у кінці цього відрізка часу використовуємо у розрахунку нестационарного температурного поля протягом другого часового відрізка. Формула зміни температури зовнішнього повітря для другого відрізка часу має вигляд:

$$21.2/2 * \sin(90 * (2 * (t + 14400)/3600 - 15 - 4)/(15 + 4)) + 20.5 ,$$

Результати розрахунку температурного поля у кінці цього відрізка часу використовуємо у розрахунку нестационарного температурного поля протягом третього часового відрізка. Формула зміни температури зовнішнього повітря для третього відрізка часу має вигляд:

$$21.2/2 * \sin(90 * (2 * (t + 54400)/3600 - 21 + 4)/(9 + 4)) + 20.5 ,$$

Використовуючи отримані дані, будуємо графік зміни температури протягом доби у розрахунковій точці 1. На рисунку 10.8 наведено графік зміни температури у розрахунковій точці 1.

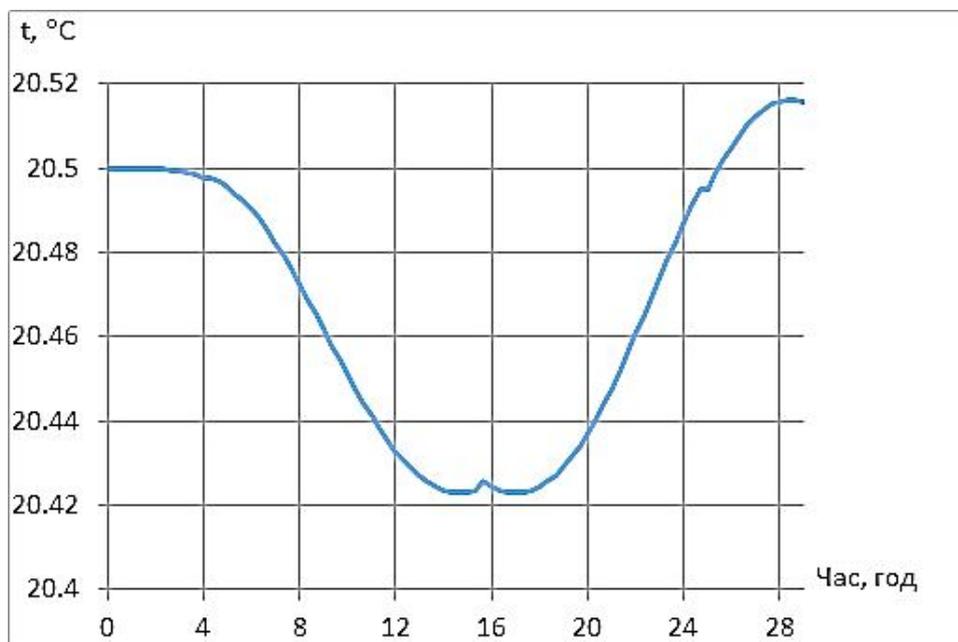


Рис. 10.8 Графік зміни температури у розрахунковій точці 1

Висновок. Амплітуда коливань у розрахунковій точці 1 дорівнює 0,1 °C.

11 ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІДЛОГ

У процесі експлуатації приміщень житлових, громадських, промислових будинків комфортні теплові умови поряд з іншими чинниками, викладеними раніше, зумовлюються контактними тепловтратами стопи людини з підлогою.

Щоб уникнути переохолодження людини при контакті з поверхнею підлоги кількість тепла, що поглинається підлогою повинна відповідати притоку тепла тіла людини при роботі системи терморегуляції організму.

У всіх випадках охолодження поверхні тіла людини не повинно бути нижче температур, що допускаються гігієнічним нормами. Наприклад, при контакті босої ноги з підлогою температура шкіри протягом двох хвилин не повинна опускатися нижче 27 °С.

Інтенсивність контактного теплообміну визначається: температурою і теплофізичними властивостями матеріалів конструкції підлоги, характером фізичного навантаження, яке виконується людиною, тривалістю та частотою контактів із підлогою й теплозахисними властивостями взуття. Тривалість контакту може бути короткочасною (босою ногою в приміщеннях житлових будинків, лікарняних і дитячих установ), більш тривалою (у легкому взутті), а також тривалою (контакт узутих ніг у громадських та промислових будинках протягом декількох годин).

У всіх випадках кількість теплоти, що віддається поверхні підлоги людською стопою, не повинна перевищувати кількості теплоти, вироблюваної теплорегулюючою системою людського організму. У протилежному випадку ноги будуть переохолоджуватися, що підвищує можливість простудних, ревматичних й інших захворювань. Температура поверхні підлоги – один з основних чинників, що визначають інтенсивність тепловіддачі ніг. Тому бажано щоб температура поверхні підлоги проміжних поверхів будинків повинна бути не нижче ніж на 1 °С температури повітря в приміщеннях, а для перших поверхів – не нижче ніж на 2,5 °С. Для промислових будинків із підлогами на ґрунті різниця температур не повинна перевищувати 3 °С.

Теплотехнічні якості підлоги оцінюються показником теплозасвоєння підлоги Y_p , Вт/(м² · К).

У приміщеннях із температурою підлоги 23 °С і вище різниця температур підошви ноги без взуття (біля 32 °С) та підлоги настільки зменшується, що дозволяє знизити вимоги до теплозахисних властивостей матеріалів підлоги шляхом відмови від нормування показника теплозасвоєння поверхні підлоги.

Із збільшенням часу (періоду) зіткнення ноги людини з підлогою збільшується товщина шару активної теплоємності конструкції (шару накопичення, поширення і віддачі теплоти), який називається шаром

різких коливань температури. Шар різких коливань температури прийнято обмежувати товщиною однорідної конструкції, у якій амплітуда коливань загасає приблизно вдвічі порівняно з амплітудою коливань на поверхні, що сприймає періодичні теплові впливи внаслідок контакту з ногою.

Шар різких коливань має характеристику теплової інерції:

$$D = R \cdot S = \frac{\delta}{\lambda} S = 1,$$

З цієї формули можна визначити товщину шару активної теплоємності (шар різких коливань):

$$\delta = \frac{\lambda}{S},$$

Межі коливань тривалості контакту ніг людини, як правило, від 1...2 хв. (підлога житлових приміщень) до 6...7 год. (підлога робочих приміщень). Найбільш не вигідні умови охолодження ніг, а отже, і залучення більшої товщини підлоги у теплообмін спостерігаються при більш тривалому періоді контакту.

Для поверхні підлог житлових, громадських будинків і приміщень промислових будинків із постійними робочими місцями обов'язкове виконання умови

$$Y_{\text{п}} \leq Y_{\text{max п}}, \quad (11.1)$$

де $Y_{\text{п}}$ – показник теплосасвоєння поверхні підлоги, Вт/(м² · К);

$Y_{\text{max п}}$ – максимальне припустиме значення показника теплосасвоєння поверхнею підлоги, Вт/(м² · К), що встановлюється згідно з табл. 11.1 в залежності від призначення будинку.

Таблиця 11.1

Максимально припустимі значення показника теплосасвоєння поверхнею підлоги (табл. 6 [6])

Призначення будівлі	Значення $Y_{\text{max п}}$, Вт/(м ² · К)
Житлові будинки, дошкільні заклади, лікувальні й дитячі навчальні заклади	12
Громадські і адміністративні будівлі	14
Ділянки з постійними робочими місцями в опалюваних приміщеннях промислових будівель	17

11.1. Розрахункове визначення показника теплосвоєння поверхнею підлоги

Підлога є особливим елементом огорожувальних конструкцій внаслідок того, що з її поверхнею контактує людина. Це обумовлює введення додаткового показника теплового комфорту - показника теплосвоєння поверхнею підлоги, який характеризує інтенсивність витрат теплоти від джерела енергії в конструкцію підлоги при безперервному тепловому контакті з її поверхнею.

Алгоритм визначення показника теплосвоєння поверхнею підлоги наведено на рис.11.1.

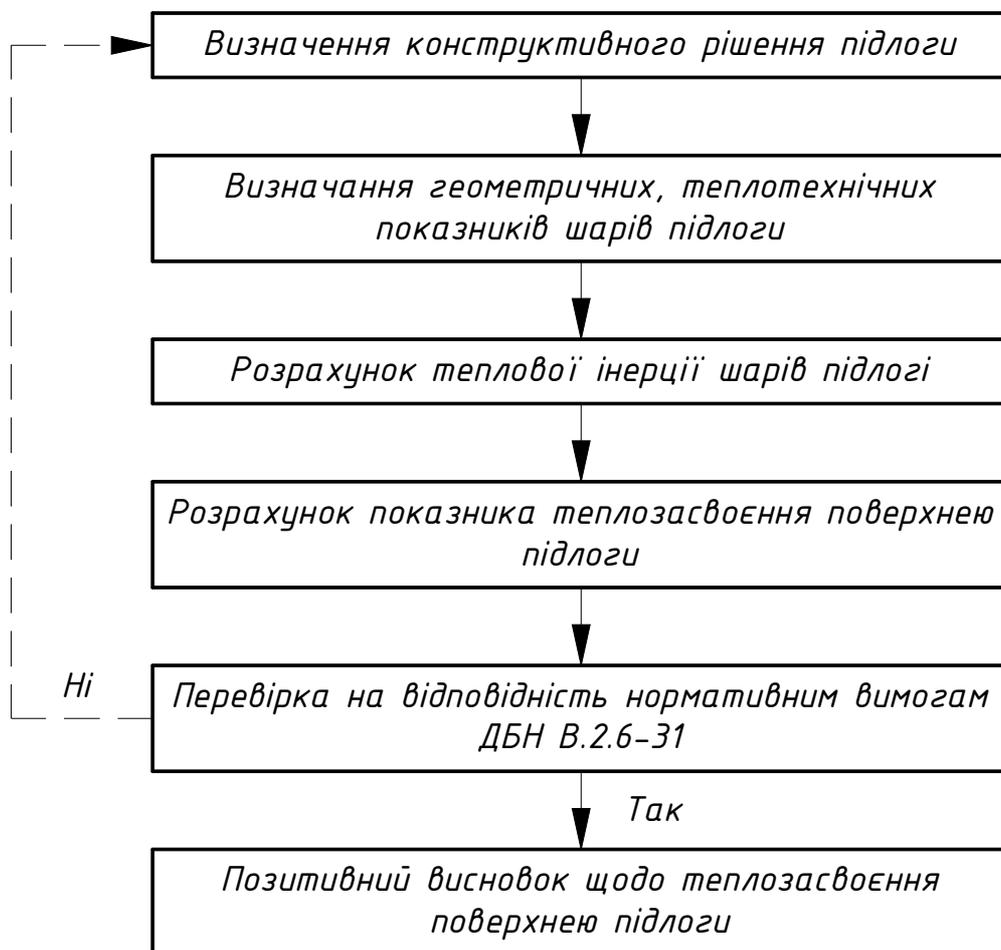


Рис.11.1 Алгоритм визначення показника теплосвоєння поверхнею підлоги

Для поверхні підлог житлових, громадських будинків і приміщень промислових будинків із постійними робочими місцями обов'язкове виконання умов теплосвоєння поверхнею підлоги згідно з ДБН В.2.6-31

Показник теплосвоєння поверхнею підлоги $Y_{п}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначають:

а) якщо покриття підлоги (перший шар конструкції підлоги) має теплову інерцію $D_1 = R_1 \cdot S_1 \geq 0,5$, показник теплосасвоєння поверхнею підлоги визначають за формулою:

$$Y_{\text{п}} = 2S_1, \quad (11.2)$$

б) якщо перші n шарів конструкції підлоги ($n \geq 1$) мають теплову інерцію $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5$, але теплова інерція $n + 1$ шарів $D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5$, показник теплосасвоєння підлоги $Y_{\text{п}}$ визначається послідовним розрахунком показників теплосасвоєння поверхнями шарів конструкції, починаючи з n -го до 1-го за формулами:

– для n -го шару – за формулою:

$$Y_{\text{п}} = \frac{2 \cdot R_{\text{п}} \cdot S_n^2 + S_{\text{п}+1}}{0,5 + R_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}+1}}, \quad (11.3)$$

– для i -го шару ($i = n - 1; n - 2; \dots; 1$) – за формулою:

$$Y_i = \frac{4 \cdot R_i \cdot S_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i \cdot S_{i+1}}, \quad (11.4)$$

Показник теплосасвоєння поверхнею підлоги $Y_{\text{п}}$ приймається рівним показнику теплосасвоєння поверхні i -го шару Y_i .

У раніше наведених формулах та нерівностях:

$D_1, D_2, \dots, D_n, D_{n+1}$ – теплова інерція відповідно 1-го, 2-го, ..., $n, (n + 1)$ -го шарів конструкції підлоги, що визначається за формулою:

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_i,$$

$R_i, R_{\text{п}}$ – термічні опори, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, i -го й n -го шарів конструкції підлоги, що визначається за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

$S_1, S_2, \dots, S_{\text{п}}, S_{\text{п}+1}$ – розрахункові коефіцієнти теплосасвоєння матеріалу 1-го, 2-го, ..., $n, (n + 1)$ -го шарів конструкції підлоги, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що приймаються згідно з додатком А або [18], табл.А1 для умов експлуатації А;

Y_{i+1} – показник теплозасвоєння поверхні $(i + 1)$ -го шару конструкції підлоги, Вт/(м² · К).

Для забезпечення виконання нормативних вимог при влаштуванні конструкції підлоги рекомендується:

- у якості першого шару покриття підлоги використовувати матеріали з малими коефіцієнтами теплозасвоєння, такі як паркет, лінолеум, ламінат тощо;

- у якості підоснови під покриття першого шару використовувати полегшену стяжку на основі ніздрюватого бетону.

Якщо під підлогою знаходиться приміщення з іншими параметрами мікроклімату або зовнішнє повітря, треба обов'язково провести розрахунок його опору теплопередачі.

Для покращення теплового комфорту у приміщенні також можливе використання опалювальних підлог.

Задача 11.1 *Визначити, чи задовольняє конструкція підлоги вимогам з теплозасвоєння поверхні при таких вихідних даних:*

1. Конструкція підлоги складається з трьох однорідних шарів і призначена для експлуатації в житловому приміщенні;

2. Матеріали конструктивних шарів підлоги:

а) лінолеум полівінілхлоридний на тканинній підоснові по шару мастики $\rho_0 = 1600$ кг/м³;

б) керамзитобетон на керамзитовому піску $\rho_0 = 1200$ кг/м³;

в) залізобетонна плита $\rho_0 = 2500$ кг/м³.

3. Пункт будівництва – м. Харків.

Схема конструкції підлоги наведена на рисунку 11.2.

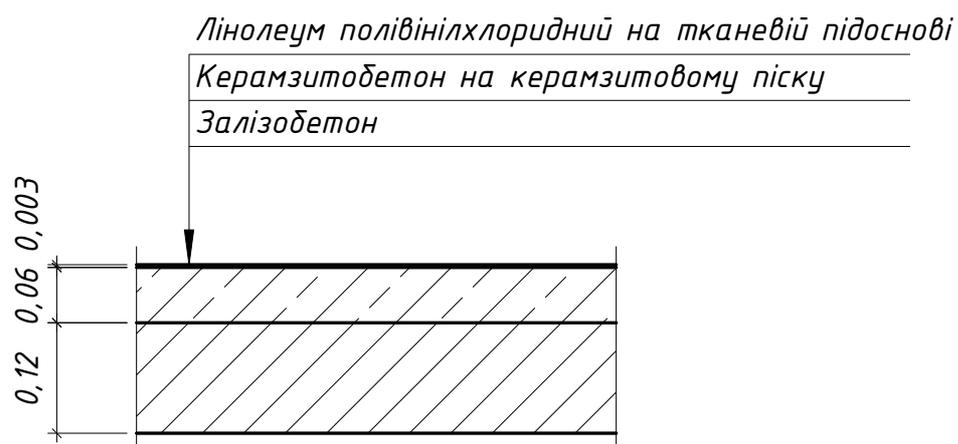


Рис. 11.2 Схема конструкції підлоги

Розрахункові коефіцієнти матеріалів шарів конструкції підлоги приймаємо за умовами експлуатації «А».

За додатком А або [18], табл.А1 приймаємо теплофізичні характеристики матеріалів шарів конструкції підлоги.

Розрахункові коефіцієнти теплопровідності:

1. Лінолеуму $\lambda_1 = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
2. Керамзитобетону $\lambda_2 = 0,44 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
3. Залізобетону $\lambda_3 = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$

Розрахункові коефіцієнти теплосасвоєння:

1. Лінолеуму $S_1 = 7,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$
2. Керамзитобетону $S_2 = 6,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$
3. Залізобетону $S_3 = 17,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$

Визначаємо теплову інерцію 1-го шару конструкції підлоги за формулою:

$$D_1 = R_1 \cdot S_1 = 0,01 \times 7,05 = 0,07 ,$$

де R_1 – термічний опір лінолеуму визначаємо за формулою:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,003}{0,29} = 0,01 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} ,$$

Оскільки $D < 0,5$, визначаємо теплову інерцію перших двох шарів за формулою:

$$D_1 + D_2 = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 = 0,01 \times 7,05 + 0,136 \times 6,36 = 0,94 ,$$

де R_2 – термічний опір керамзитобетону визначаємо за формулою:

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,06}{0,44} = 0,136 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} ,$$

Оскільки $D_1 + D_2 = 0,94 > 0,5$, показник теплосасвоєння поверхні підлоги Y_{Π} приймаємо рівним показнику теплосасвоєння поверхні 1-го шару Y_1 , який визначається за формулою:

$$Y_1 = \frac{4 \cdot R_1 \cdot S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 \cdot S_2} = \frac{4 \times 0,01 \times 7,05^2 + 9,8}{1 + 0,01 \times 9,8} = 10,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ,$$

де Y_2 – показник теплосасвоєння, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, поверхні 2-го шару, знаходимо за формулою:

$$Y_2 = \frac{2 \cdot R_2 \cdot S_2^2 + S_3}{0,5 + R_2 \cdot S_3} = \frac{2 \times 0,136 \times 6,36^2 + 17,98}{0,5 + 0,136 \times 17,98} = 9,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ,$$

За табл. 6 [6] максимально допустимі значення показника теплозасвоєння поверхнею підлоги у житлових будинках дорівнює $Y_{\max n} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Оскільки показник теплозасвоєння першого шару $Y_1 = 10,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ менше від максимально допустимого $Y_{\max n} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, то така конструкції підлоги може бути прийнята для житлового приміщення.

Задача 11.2 Визначення показника теплозасвоєння поверхнею дерев'яної підлоги на лагах

Вихідні дані

Об'єкт - дерев'яна підлога на лагах у житловому будинку (рисунки 11.3).

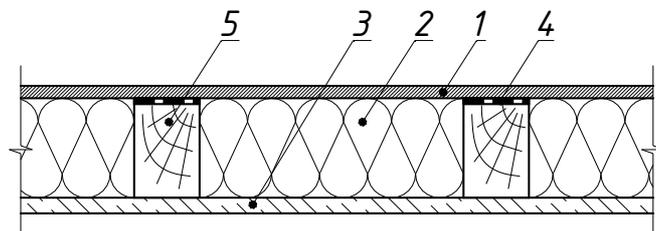


Рис. 11.3 Дерев'яна підлога на лагах у житловому будинку. 1 – покриття підлоги з дощок; 2 – скловолокнисті мати; 3 – гіпсокартонні листи; 4 – термоакустична смуга; 5 – лаги

При розрахунках враховуються основні шари конструкції (починаючи з покриття підлоги), їх теплофізичні характеристики приймаються згідно з додатком А або табл. А1 [18] та наведені в таблиці 11.2.

Таблиця 11.2

Теплофізичні характеристики конструкції підлоги

Номер шару	Матеріал	Товщина шару δ , м	Густина матеріалу в сухому стані ρ , кг/м ³	Розрахункові характеристики в умовах експлуатації А	
				Теплопровідність λ , Вт/(м · К)	коефіцієнт теплозасвоєння S , Вт/(м ² К)
1	Покриття підлоги - дошки	0,02	500	0,14	3,87
2	Скловолокнисті мати	0,1	20	0,043	0,25
3	Гіпсокартонні листи	0,0125	800	0,19	3,34

Визначення теплових опорів шарів підлоги

Теплові опори шарів підлоги наведені в таблиці 11.3.

Таблиця 11.3

Розрахунок теплових опорів шарів підлоги

Номер шару	Познака	Значення, м ² · К/Вт	Розрахунок
1	R ₁	0,143	$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02}{0,14} = 0,143$
2	R ₂	2,326	$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,1}{0,043} = 2,326$
3	R ₃	0,066	$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,0125}{0,19} = 0,066$

Визначення теплових інерцій кожного шару підлоги

Розрахунок теплових інерцій кожного шару підлоги наведений у таблиці 11.4.

Таблиця 11.4

Розрахунок теплових інерцій кожного шару підлоги

Номер шару	Познака	Значення	Розрахунок
1	D ₁	0,553	$D_1 = R_1 \cdot S_1 = 0,143 \times 3,87 = 0,553$
2	D ₂	0,581	$D_2 = R_2 \cdot S_2 = 2,326 \times 0,25 = 0,581$
3	D ₃	0,22	$D_3 = R_3 \cdot S_3 = 0,066 \times 3,34 = 0,22$

Теплова інерція першого шару покриття підлоги $D_1 = 0,553 > 0,5$, тому показник теплосвоєння поверхнею підлоги Y_{Π} визначається за формулою (11.1) і становить:

$$Y_{\Pi} = Y_1 = 2S_1 = 2 \times 3,87 = 7,74 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розрахунковий показник теплосвоєння даної конструкції $Y_{\Pi} = 7,74 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, що задовольняє умові (11.1).

Питання для самоперевірки

1. Теплотехнічні вимоги до підлог.
2. Показник теплосвоєння поверхні підлоги.
3. Поняття про шар різких коливань температури в конструкції.

Задачі для самостійного рішення

Задача 11.3 По суцільній залізобетонній плиті перекриття товщиною 0,12 м покладено шар керамзитобетону на кварцовому піску $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$. По керамзитобетону виконана стяжка з цементно-піщаного розчину $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$, товщиною 0,02 м.

Визначити, який вид лінолеуму та якої мінімальної товщини необхідно застосувати, щоб конструкція підлоги задовольняла вимоги до теплозасвоєння поверхні для підлог житлових будинків.

12 ПОВІТРОПРОНИКНЕННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Повітропроникність – фільтрація повітря через огорожувальні конструкції – відбувається під впливом різниці його тисків на протилежних поверхнях конструкцій і внаслідок пористості їх структури. Фільтрації повітря через стик або конструкцію може і не бути, якщо енергетичний рівень тиску повітря не перевищує енергетичний рівень опору потоку. Так, щільна кераміка не пропускає повітря при тиску $\Delta P < 5 \text{ Па}$. Різниця тисків виникає під впливом теплового напору (пропорційного різниці температур в будівлі і зовнішнього повітря) або при тиску вітру.

Величина теплового напору залежить від різниці температур і висоти приміщення (будівлі) і зростає в міру їх збільшення. При спільній дії теплового і вітрового напорів вплив їх підсумовується (рисунок 12.1).

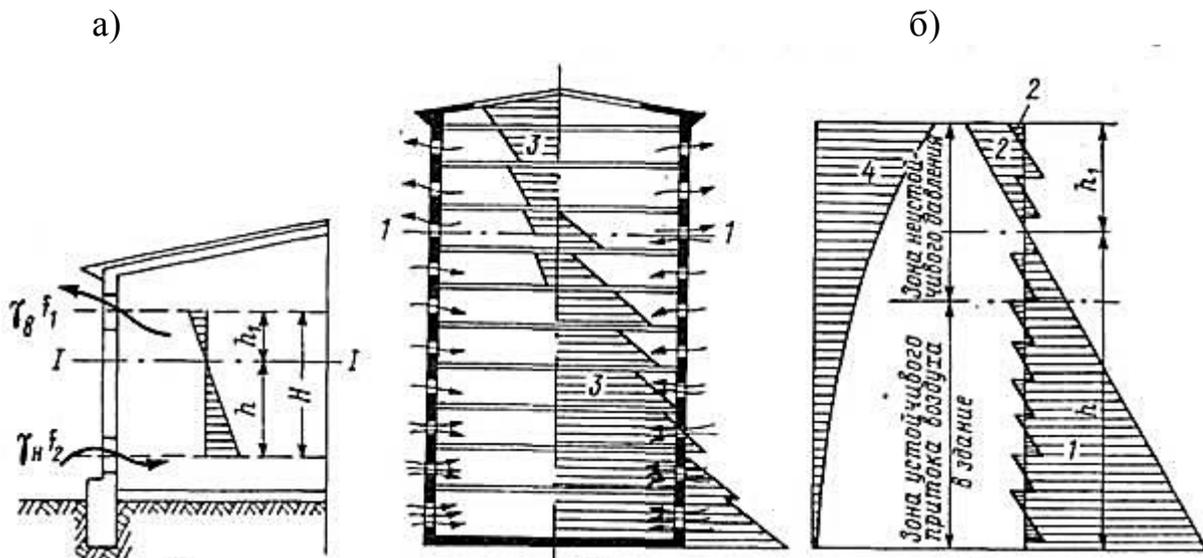


Рис.12.1 а) тепловий тиск в одноповерховій будівлі; б) тепловий та вітровий тиск у багатоповерховій будівлі:

1 – тиск зовнішнього повітря; 2 – тиск повітря у середині приміщення; 3 – сумарний тиск; 4 – вітровий тиск

Повітропроникність огорожувальних конструкцій залежить не тільки від структури їх матеріалів, та й від щільності і щільності з'єднань збірних частин (блоків, панелей, цегляної кладки), також вікон, ліхтарів і зовнішніх дверей в будівлі.

Повітряпроникність (фільтрація повітря) через огорожувальні конструкції відбувається під впливом різниці тисків на зворотних поверхнях огороження. Ця різниця з'являється під дією термічного напору маси прохолодного повітря, яка більше маси теплого повітря і

знаходиться в залежності від висоти приміщення або будови. Чим більше висота, тим більше термічний напір. З іншого боку, різниця тисків може з'явитися під дією вітру.

У нижній частині будови прохолодне повітря через щілини, нещільності і пори в огороженні проходить всередину будови (притока – інфільтрація). У верхніх поверхах або у вищій частини приміщень повітря виходить з будови (витяжка – ексфільтрація). Між цими зонами по висоті розміщена нейтральна зона – умовна горизонтальна площина, для якої внутрішній тиск на цей момент дорівнює зовнішньому. Тому на рівні цієї площини фільтрація відсутня.

Основні шляхи витоку повітря наведені на рисунку 12.2.



Рис.12.2 Основні шляхи витоку повітря

Взимку площа витяжних прорізів зазвичай більше площі припливних, тому що їх відкривають набагато рідше в цілях збереження тепла. У зв'язку з цим положення нейтральної площини зміщується догори і огорожувальні конструкції нижній частині приміщення (або нижніх поверхів) в основному піддаються інфільтрації.

При недостатній герметизації вікон на епюру тисків для будівлі в цілому накладається розподіл тисків у кожному окремо взятому поверсі. Поєднана епюра набуває пилкоподібну форму. При цьому окремі її вершини у поверхах, близьких до нейтральної поверхні, виходять за межі первісної епюри, збільшуючи число поверхів, що входять до зони нестійких тисків (близьку до нейтральної площини).

У зовнішній поверхні стін високих будівель величина різниці тисків внизу і вгорі досягає значної величини; під впливом цієї різниці біля стіни виникає потік зовнішнього повітря, що йде знизу вгору. Якщо стіна гладка,

то такі потоки значні. Вони дещо змінюють епюри тиску на поверхні фасаду. Під цим тиском будь-які нещільності в захисних конструкціях нижніх поверхів стають шляхами інфільтрації.

Балкони роблять розподіл тисків і напрямків повітряних потоків більш складним.

Вітер може сильно змінити як величини тисків, що виникають під дією теплового напору, так і загальну закономірність розподілу тисків.

В умовах щільної міської забудови значення вітрового тиску на фасадах багатопверхових будівель зменшуються у поверхні землі і суттєво збільшуються у верхніх поверхах.

У нормах швидкість визначена як максимальна із середніх швидкостей вітру по румбах за січень, повторюваність яких складає 16% і більше.

Повітропроникність захисної конструкції знаходиться в залежності від наявності в матеріалі великих сполучених між собою пір, також від наявності в них вологи. У матеріалах, в порах яких є волога, утримувана тиском у капілярах, при помірному тиску повітропроникність менше, ніж у сухих матеріалах. Якщо матеріали складаються з декількох компонентів, як, наприклад, бетон, то всередині них виникають мікроскопічні тріщини між цементними камінням і заповнювачем. Ці мікротріщини підвищують повітропроникність. Але в найбільшій мірі повітропроникність знаходиться в залежності від щільності поверхневих шарів матеріалу. Тому поняття про коефіцієнт повітряпроникності матеріалу на відміну від коефіцієнта теплопровідності має сенс тільки при сталому потоці фільтрації в матеріалах з однорідною структурою, що не мають щільних поверхневих шарів.

Коефіцієнт повітропроникності – величина, що змінюється в широких межах для різних матеріалів. Вона визначена для різних матеріалів шляхом вимірювань. Для суцільних шарів опір повітропроникності прямо пропорційно товщині шару і зворотно-пропорційний фактичному коефіцієнту повітропроникності матеріалу в шарі.

У нормах наведена таблиця опору повітряпроникненню матеріалів і конструкцій при їх певній товщині. Там же наведені опори повітряпроникненню заповнень світлових прорізів (вікон, балконних дверей і ліхтарів).

Опір повітропроникності виражається різницею тисків повітря, при якій через 1 м^2 конструктивного шару проникає 1 кг повітря за одиницю часу.

Опір повітропроникності вікон і балконних дверей житлових і громадських будинків повинен бути більше або дорівнювати необхідній величини, при якій визначається опір повітропроникності.

Для попередження надмірного охолодження захисної конструкції треба, щоб її зовнішня частина (до 0,25 загальної товщини) мала опір повітряпроникненню більше $0,33R_{g,n}$. Повітряпроникненість змінює розподіл температур всередині конструкції і зменшує її опір теплопередачі.

Температура на кордоні шару залежить не тільки від кількості повітря, що фільтрується через неї, та й від коефіцієнта теплосвоєння цього шару, а головне – вона знаходиться в залежності від напрямку потоку повітря, що фільтрується та безперешкодного його руху крізь пори утеплювача.

Посилення потоку холодного повітря через конструкцію призведе до сильного охолодження стіни, незважаючи на те що опір теплопередачі практично не змінюється і без урахування повітряпроникненості задовольняє вимогам норм.

Зменшення повітряпроникненості значно збільшує теплозахист конструкції.

Якщо в конструкції є повітронепроникний шар, то фільтрація повітря через неї припиняється і температурне поле в ній відповідає температурному полю без урахування повітряпроникнення. Практика показує, що це не зовсім так. У сучасних вентиляльованих фасадах при великому вітровому напорі у вентиляльованих повітряних прошарках рух холодного повітря в пористому утеплювачі йде не тільки лише в напрямку теплового потоку назустріч йому, та й перпендикулярно напрямку теплового потоку. При цьому не обов'язково мати фільтрацію повітря через всю конструкцію. Для значного ослаблення теплозахисних якостей достатньо, щоб холодне повітря фільтрувався через утеплювач. На практиці для захисту утеплювача у вентиляльованих огорожувальних конструкціях від продування застосовують спеціальні плівкові матеріали. У покритті їх укладають поверх утеплювача рулонами зверху вниз з проклеюванням стиків. Це значно покращує теплозахисні якості дахів при впливі вітру.

У ДСТУ Б В.2.2-19:2007 наведена методика експериментального визначення в натурних умовах повітропроникності огорожувальних конструкцій.

Стандарт не поширюється на приміщення та будівлі з відкритими за умовами технології прорізами в огорожах.

Суть методу контролю повітропроникності полягає в тому, що в випробовуваний об'єкт нагнітають або відсмоктують з нього повітря і чекають, коли встановиться стаціонарний повітряний потік через вентилятор при фіксованому перепаді тиску між випробовуваним обсягом і довкіллям. Потім вимірюють витрату повітря через вентилятор і порівнюють його до витрати повітря, що фільтрується крізь нещільності огорожень, що обмежують випробовуваний об'єкт. За результатами

вимірювань обчислюють узагальнені характеристики повітропроникності випробовуваного об'єкта.

Схема випробування наведена на рисунку 12.3.

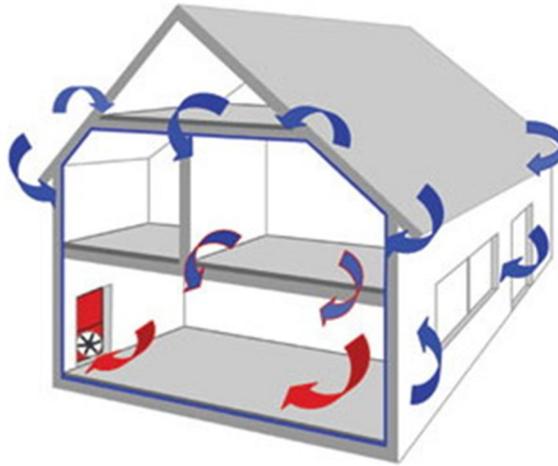


Рис. 12.3 Схема випробування на повітряпроникність

12.1. Визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій

Розрахунок повітропроникності огорожувальних конструкцій проводиться відповідно до типу конструкції:

- одношарова непрозора або світлопрозора конструкція (рис. 12.4а);
- багат шарова конструкція з послідовним розміщенням шарів (рис. 12.4б);
- багат шарова конструкція з паралельним розміщенням шарів (рис. 12.4в);
- багат шарова комбінована конструкція (рис. 12.4г).

Для огорожувальних конструкцій опалюваних будівель обов'язковим є виконання умови:

$$G^k \leq G_n^k \quad (12.1)$$

де G^k – повітропроникність огорожувальних конструкцій, кг/(м · год), яка визначається розрахунком згідно з п. 12.2 або експериментально згідно з ДСТУ Б В.2.-19 чи ДСТУ Б В.2.6-37, ДСТУ Б В.2.6-18;

G_n^k – нормативна повітропроникність огорожувальних конструкцій, кг/(м · год), яка визначається згідно з таблицею 12.1.

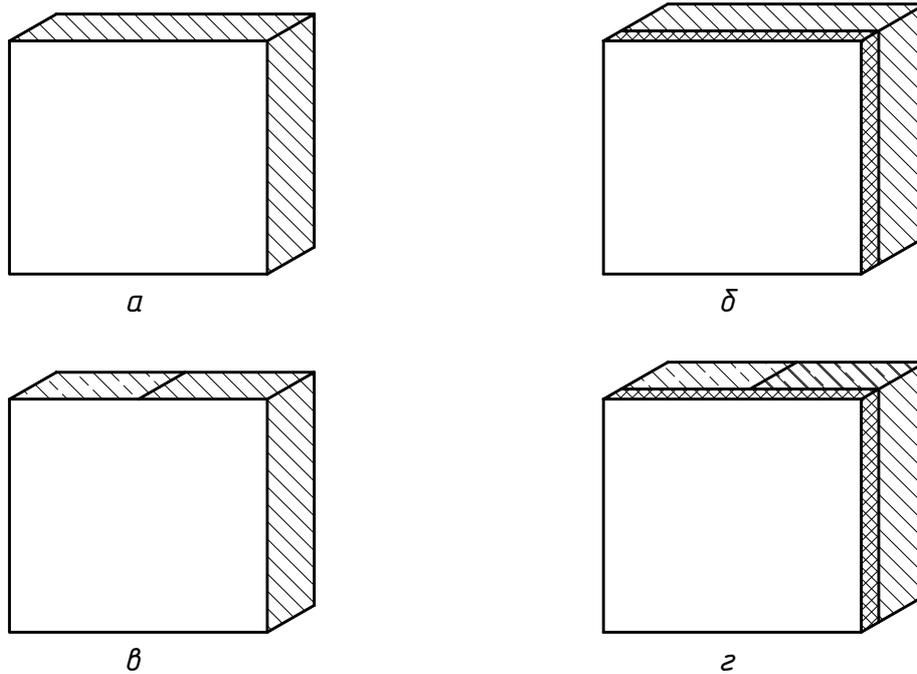


Рис. 12.4 Схематичний вигляд різних типів огорожувальних конструкцій

Таблиця 12.1

**Допустимі значення повітропроникності огорожувальних конструкцій
(табл. 1, [36])**

Вид огорожувальної конструкції	Значення допустимої повітропроникності огорожувальної конструкції G_H
Зовнішні непрозорі конструкції житлових і громадських будинків	0,4 кг/(м ² ·год)
Зовнішні непрозорі конструкції промислових будинків	0,6 кг/(м ² ·год)
Стики між елементами(панелями) непрозорих конструкцій житлових і громадських будинків	0,5 кг/(м·год)
Стики між елементами (панелями) непрозорих конструкцій промислових будівель	1,0 кг/(м·год)
Світлопрозорі конструкції житлових та громадських будинків, виробничих будівель із кондиціонування приміщень	4,0 кг/(м ² ·год)
Світлопрозорі конструкції промислових будівель	7,0 кг/(м ² ·год)
Вхідні двері до квартир	2,3 кг/(м ² ·год)

Алгоритм розрахунку масової повітропроникності огорожувальної конструкції наведено на рис. 12.5

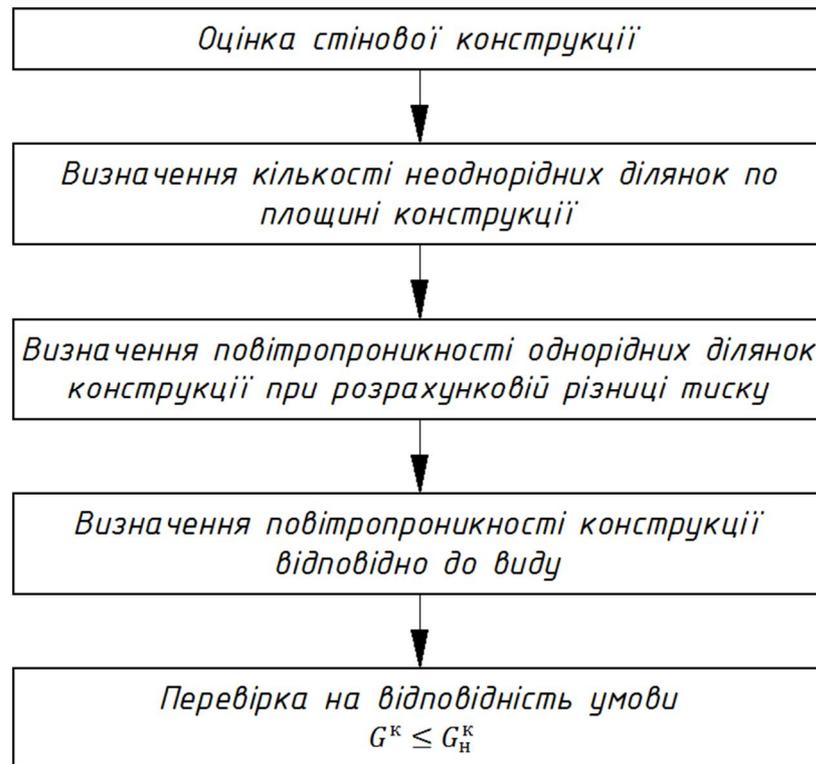


Рис. 12.5 Алгоритм розрахунку масової повітропроникності огорожувальної конструкції

12.2. Визначення повітропроникності одношарових однорідних конструкцій та світлопрозорих конструкцій

Масова повітропроникність одношарової конструкції G^k або окремого однорідного шару конструкції $G^{\Delta p}$ визначається в залежності від перепаду тиску за результатами випробувань, проведених згідно з ДСТУ Б В.2.6-37, ДСТУ Б В.2.2-19 або ДСТУ Б В.2.6-18 акредитованими лабораторіями або за формулами:

$$G^k = G^{\Delta p} = G^{\Delta p_0} \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^n, \quad (12.2)$$

де $G^{\Delta p_0}$ – масова повітропроникність огорожувальної конструкції при Δp_0 , яка визначається за результатами випробувань, проведених згідно з ДСТУ Б В.2.6-37 або ДСТУ Б В.2.2-19 або ДСТУ Б В.2.6-18 акредитованими лабораторіями або згідно з таблицею 12.3;

Δp_o – різниця тисків, за якою визначається масова повітропроникність конструкцій експериментальним шляхом ($\Delta p_o = 10$ Па);

Δp – розрахункова різниця тиску, Па, визначається згідно з формулою (12.3);

n – показник фільтрації, який визначається за результатами випробувань згідно ДСТУ Б В.2.6-37 або ДСТУ Б В.2.2-19 або ДСТУ Б В.2.6-18. За відсутності точних даних приймається: для утеплювачів з мінеральної вати $n = 1,5$; для цегляної кладки $n = 0,8$; для вікон та дверей $n = 0,67$.

Розрахункова різниця тисків Δp , Па, визначається за формулою

$$\Delta p = (H - h_i)(\gamma_z - \gamma_v) + 0,03\gamma_z v^2 \beta_v, \quad (12.3)$$

де H – висота будинку (від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти), м;

h_i – висота від рівня підлоги першого поверху до середини огорожувальної конструкції i -го поверху, для якого проводиться розрахунок, м;

γ_z, γ_v – питома вага відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, Н/м³, яка розраховується за формулами:

$$\gamma_z = \frac{3463}{273 + t_z}, \quad (12.4)$$

$$\gamma_v = \frac{3463}{273 + t_v}, \quad (12.5)$$

де t_z – розрахункове значення температури зовнішнього повітря, °С, яке приймається залежно від температурної зони згідно з таблицею 5.8 або додатком Ж [6];

t_v – розрахункове значення температури внутрішнього повітря, °С, яке приймається залежно від призначення будинку згідно з таблицею 5.7 або додатком Г2 [6];

v – максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами за січень, м/с, повторюваність яких становить 16 % та більше, яка приймається згідно додатку Е або [33], табл. 6;

Примітка 1. Для фасадів з вентиляльованим повітряним прошарком приймають $v = 1$ м/с.

β_v – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі, який приймається згідно з таблицею 12.2.

**Коефіцієнт урахування швидкості руху зовнішнього повітря
залежно від висоти будівлі (табл. 2, [36])**

Висота будівлі H , м	Коефіцієнт β_v залежно від характеристики місцевості		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
≤ 5	0,75	0,50	0,40
10	1,00	0,65	0,40
20	1,25	0,85	0,55
40	1,50	1,10	0,80
60	1,70	1,30	1,00
80	1,85	1,45	1,15
100	2,00	1,60	1,25
150	2,25	1,90	1,55
200	2,45	2,10	1,80
250	2,65	2,30	2,00
300	2,75	2,50	2,20
350	2,75	2,75	2,35

Примітка 1. *A*- відкрите узбережжя моря, озера, водосховища, поле; *B*- територія, лісовий масив тощо з рівномірно розташованими перешкодами заввишки понад 10 м; *C* - місцевість з розташованими будинками заввишки понад 25 м.

Примітка 2. Споруда вважається розташованою на місцевості даного типу, якщо ця місцевість є незмінною з навітряного боку споруди на відстань до $30h$ при висоті споруди до 60 м та 2 км - при більшій висоті будівлі.

Примітка 3. Проміжні значення коефіцієнта β_v слід визначати лінійною інтерполяцією.

12.3. Визначення повітропроникності багатошарових огорожувальних конструкцій з послідовним розміщенням шарів

Повітропроникність огорожувальних конструкцій з послідовним розміщенням шарів (наприклад, стіна з утеплювачем) розраховують за формулою:

$$G^k = \left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{G_i^{\Delta p}} \right)^{-1}, \quad (12.6)$$

де $G_i^{\Delta p}$ – повітропроникність $G^{\Delta p}$ і-го шару конструкції, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$, яка визначається згідно з таблицею 12.3;

m – кількість шарів конструкції.

12.4. Визначення повітропроникності багатошарових огорожувальних конструкцій з паралельним розміщенням шарів

Повітропроникність огорожувальних конструкцій з паралельним розміщенням шарів (наприклад, стіна з різними несучими шарами) розраховують за формулою:

$$G^k = \sum_{j=1}^m \frac{G_j^{\Delta p} F_j}{\sum F_j}, \quad (12.7)$$

де $G_j^{\Delta p}$ – повітропроникність $G^{\Delta p}$ j -го шару конструкції, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$, яка визначається згідно з таблицею 12.3;

F_j – площа j -го шару конструкції, м^2 ;

m – кількість шарів конструкції.

12.5. Визначення повітропроникності комбінованих багатошарових огорожувальних конструкцій

Повітропроникність огорожувальних конструкцій із комбінованим розміщенням шарів (наприклад, стіна з різними несучими шарами та утеплювачем) розраховують у такій послідовності:

1) визначення повітропроникності при робочому перепаді тиску згідно з таблицею 12.2;

2) визначення повітропроникності частин конструкції з послідовним розміщенням шарів;

3) визначення повітропроникності конструкції з паралельним розміщенням шарів.

Таблиця 12.3

Значення повітропроникності будівельних матеріалів та виробів (табл. 3, [36])

Матеріали та конструкції	Товщина шару d , мм	Різниця тиску Δp_0 , Па	Повітропроникність $G^{\Delta p_0}$, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$
Бетон суцільний (без швів)	100	10	0,00051
Газо- та пінозобетон суцільний (без швів)	140	10	0,48
Вапняк-черепашник	500	10	1,67
Картон будівельний (без швів)	1,3	10	0,156
Цегляне мурування із повнотілої цегли на	250 та	10	0,56

Матеріали та конструкції	Товщина шару d , мм	Різниця тиску Δp_0 , Па	Повітропроникність $G^{\Delta p_0}$, кг/(м ² ·год)
цементно-піщаному розчині товщиною в одну цеглину та більше	більше		
Цегляне мурування із повнотілої цегли на цементно-піщаному розчині товщиною в половину цеглини	120	10	5
Цегляне мурування із повнотілої цегли на цементно-шлаковому розчині товщиною в одну цеглину та більше	250 та більше	10	1,11
Цегляне мурування із повнотілої цегли на цементно-шлаковому розчині товщиною в половину цеглини	120	10	10
Цегляне мурування з керамічної пустотілої цегли на цементно-піщаному розчині товщиною в половину цеглини	120	10	5
Мурування із легкобетонного каменя на цементно-піщаному розчині	400	10	0,77
Мурування із легкобетонного каменя на цементно-шлаковому розчині	400	10	10
Листи азбестоцементні із закладенням швів	8	10	0,051
Кладка з блоків із ніздрюватого бетону розмірами 200 мм х 200 мм х 400 мм	200	10	9,6
		30	27,6
		50	43,2
		100	68,4
Кладка з блоків із ніздрюватого бетону розмірами 200 мм х 200 мм х 400 мм з внутрішнім оздобленням вапняно-цементним розчином	200	10	0,312
		30	0,9
		50	1,08
		100	1,98
Обшивка з обрізаних дощок, які з'єднані впритул у чверть або шпунт	20-25	10	6,67
Обшиття з гіпсової сухої штукатурки із закладанням швів	10	10	0,5
Плити мінераловатні, $\gamma = 80$ кг/м ³	40	10	22,4
		30	114,3
		50	244,1
		100	683,3
Целюлозний утеплювач: $\gamma = 35$ кг/м ³	60	10	125
$\gamma = 50$ кг/м ³	60	10	32,9

Матеріали та конструкції	Товщина шару d , мм	Різниця тиску Δp_0 , Па	Повітропроникність $G^{\Delta p_0}$, кг/(м ² ·год)
$\gamma = 65 \text{ кг/м}^3$	60	10	14,9
Ніздрюватий бетон автоклавний	100	10	0,005
Ніздрюватий бетон неавтоклавний	100	10	0,05
Пінополістирол (ПСБ)	50-100	10	0,127
Піноскло суцільне (без швів)	120	10	Повітро-непроникне
Плити мінераловатні жорсткі	50	10	5
Руберойд	1,5	10	Повітро-непроникне
Плити фанерні клеєні (без швів)	3-4	10	0,0034
Штукатурка на цементно-піщаному розчині по кам'яному або цегляному муруванню	15	10	0,027
Штукатурка вапняна по кам'яному або цегляному муруванню	15	10	0,07
Повітряні прошарки, мати та плити м'які з мінеральної вати та пухких матеріалів, засипки з керамзиту, піску тощо	Незалежно	10	-

Задача 12.1 Розрахунок масової повітропроникності багатошарової конструкції та перевірка відповідності нормативним вимогам

Розрахувати масову повітропроникність стінової огорожувальної конструкції, що розташована на п'ятому поверсі 9-поверхового житлового будинку (м. Київ) та провести оцінку відповідності нормативним вимогам.

Висота поверху $h = 2,7$ м. Розміри огорожувальної конструкції $3 \text{ м} \times 2,7 \text{ м}$. Стінова конструкція виконана з шару теплоізоляції мінераловатних жорстких плит 120 мм ($\rho = 80 \text{ кг/м}^3$) з кладки із блоків з ніздрюватого бетону розмірами $200 \text{ мм} \times 200 \text{ мм} \times 400 \text{ мм}$ ($\rho = 50 \text{ кг/м}^3$) з внутрішнім оздобленням вапняно-цементним розчином.

Виконання розрахунку

Визначається тип конструкції.

Дана конструкція відноситься до багатошарової конструкції з послідовним розміщенням шарів (рис. 12.4б).

Відповідно до таблиці 12.3 або за результатами випробувань визначають повітропроникність однорідних ділянок конструкції при різниці тиску $\Delta p = 10 \text{ Па}$.

Повітропроникність кладки з блоків із ніздрюватого бетону відповідно до таблиці 12.3: $d = 200 \text{ мм}$, $G_1^{\Delta p_0} = 0,312 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)}$;

мінераловатних жорстких плит відповідно до таблиці 3: $d = 40$ мм, $G_2^{\Delta p_0} = 22,4$ кг/(м² · год) .

За формулою (12.3) визначають розрахункову різницю тисків для п'ятого поверху. Для цього розраховують питому вагу відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря за формулами (12.4), (12.5):

$$\gamma_{\text{зн}} = \frac{3463}{273 + (-22)} = 13,8 \text{ Н/м}^3;$$
$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{273 + 20} = 11,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Коефіцієнт урахування швидкості руху зовнішнього повітря залежно від висоти будівлі $H = 24,3$ м та місцевості C : $\beta_v = 0,6$.

$$\Delta p = (9 \times 2,7 - 4,5 \times 2,7)(13,8 - 11,8) + 0,03 \times 13,8 \times 3^2 \cdot 0,6 = 26,3 \text{ Па}.$$

Повітропроникність при розрахунковій різниці тисків за формулою (12.2):

- повітропроникність кладки з блоків:

$$G_1^{\Delta p_0} = 0,312 \left(\frac{26,3}{10} \right)^{0,8} = 0,68 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)} ;$$

- повітропроникність мінераловатних жорстких плит:

$$G_2^{\Delta p_0} = 22,4 \left(\frac{26,3}{10} \right)^{1,5} = 95,3 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)} ;$$

Масова повітропроникність конструкції з послідовним розміщенням шарів визначається за формулою (12.6):

$$G^k = \left(\frac{1}{0,68} + \frac{3}{95,3} \right)^{-1} = 0,66 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)}$$

Нормативна масова повітропроникність стіни за таблицею 1 становить:

$$G_H^k = 0,4 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)}$$

Результат. Масова повітропроникність стінової конструкції не відповідає нормативним вимогам, про що свідчить невиконання умови (12.1).

Задача 12.2 Оцінка повітропроникності віконного блока

Визначити можливість використання віконного блока за умови забезпечення нормативних вимог з допустимої повітропроникності.

Проведення оцінки для 9-поверхового житлового будинку з висотою поверху $h = 2,7$ м (м. Полтава).

Виконання розрахунку

Дана конструкція відноситься до світлопрозорої конструкції (рис. 12.4а).

За даними результатів випробувань повітропроникність віконного блока при тиску $\Delta p = 10$ Па становить $0,32$ кг/(м² · год), показник режиму фільтрації $n = 0,6$.

За формулою (12.3) визначають розрахункову різницю тисків, що відповідає різниці тисків першого поверху та дев'ятого.

Для цього розраховують питому вагу відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря за формулами (12.4), (12.5):

$$\gamma_{\text{зн}} = \frac{3463}{273 + (-20)} = 13,8 \text{ Н/м}^3 ;$$
$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{273 + 20} = 11,8 \text{ Н/м}^3 ;$$

- для першого поверху:

$$\Delta p = (9 \times 2,7 - 0,5 \times 2,7)(13,8 - 11,8) + 0,03 \times 13,8 \times 3,6^2 \cdot 0,9 = 50,7 \text{ Па.}$$

- для дев'ятого поверху:

$$\Delta p = (9 \times 2,7 - 8,5 \times 2,7)(13,8 - 11,8) + 0,03 \times 13,8 \times 3,6^2 \cdot 0,9 = 7,5 \text{ Па.}$$

Масова повітропроникність одношарової світлопрозорої конструкції визначається за формулою (12.2):

- для першого поверху

$$G^{\text{к}} = G^{\Delta p} = 0,32 \times \left(\frac{50,7}{10}\right)^{0,6} = 0,85 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)}$$

- для дев'ятого поверху

$$G^{\text{к}} = G^{\Delta p} = 0,32 \times \left(\frac{7,5}{10}\right)^{0,6} = 0,27 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{год)}$$

Нормативна масова повітропроникність світлопрозорої конструкції за таблицею 1 становить:

$$G_H^K = 4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

За результатами проведених розрахунків визначено, що даний віконний блок може використовуватись для даного будинку на всіх поверхах.

Питання для самоконтролю

1. Фізичний зміст коефіцієнта повітропроникнення й опору повітропроникненню.
2. Вплив повітропроникнення на тепловий і вологісний режими огорожувальних конструкцій.
3. Спонукальні сили, що забезпечують фільтрацію повітря.
4. Визначення тиску повітря на огорожувальній конструкції будинків за рахунок гравітаційних сил.
5. Визначення тиску повітря на огорожувальній конструкції будинків за рахунок вітру.
6. Значення опору повітропроникненню огорожувальній конструкції.
7. Визначення необхідного опору повітропроникненню огорожувальній конструкції.
8. Вплив форми будинку на вітровий тиск на огорожувальній конструкції.

Задача для самостійного рішення

Задача 12.8 Використовуючи вихідні дані задачі 12.7, визначити необхідний опір повітропроникненню R_{gn} вікна житлового будинку.

13 ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

13.1. Причини зволоження будівельних конструкцій

Небажане зволоження матеріалів будівельних конструкцій може бути викликано такими видами вологи: будівельної (технологічної), ґрунтової, атмосферної, експлуатаційної, гігроскопічної, що конденсується.

Будівельна волога вноситься у конструкцію огородження при виготовленні елементів будинку, а також у період виконання будівельно-монтажних робіт. Для видалення надлишкової будівельної вологи бажано планувати початок експлуатації будинків із настанням теплого періоду року. У першу зиму експлуатації варто забезпечити більш інтенсивне опалення і вентиляцію. Ці заходи будуть сприяти видаленню надлишкової вологи в кам'яних будинках у перші 2-3 роки, й надалі будівельна волога не буде робити несприятливого впливу на вологісний режим огородження.

Ґрунтова волога може проникнути в огородження за рахунок капілярного всмоктування при відсутності або недостатній вологонепроникності гідроізоляції. При правильному виконанні гідроізоляції ґрунтова волога на вологісний режим огородження не впливає.

Атмосферна волога проникає в конструкції внаслідок впливу косих дощів, талих вод. Захист від атмосферної вологи забезпечується матеріалами, що мало вбирають вологу, щільною розшивкою швів цегельної кладки. У великопанельних будинках необхідно забезпечити надійну герметизацію сполучень конструктивних елементів. Легкобетонні панелі повинні мати зовнішній щільний фактурний шар.

Експлуатація будинків (лазні, деякі промислові будинки) пов'язана з мокрими технологічними процесами. Для захисту від проникнення **експлуатаційної вологи** передбачають водонепроникні підлоги, пристрої для відведення води в каналізацію, облицювання внутрішніх поверхонь стін керамічними, скляними й іншими плитками, нанесення водонепроникних штукатурок.

Будівельні матеріали мають властивість поглинати з повітря (сорбувати) вологу, яка називається **гігроскопічною**. Добавки хлористого натрію або нітрату натрію при кладці цегляних стін у холодний період року збільшують гігроскопічність, можуть призвести до зниження теплозахисних якостей стін, появи сирих плям, нальотів солей. Усунути ці явища важко. Варто уникати застосування таких добавок у розчині кладок без достатнього обґрунтування.

Конденсація вологи з повітря тісно пов'язана з температурно-вологісним режимом приміщення, а також із вологозахисними якостями

зовнішніх огорожень. Конденсація вологи можлива як на поверхні огороження, так і в його товщі.

Підвищення вологості матеріалів веде до зниження теплозахисних якостей огорожувальних конструкцій. Вологий матеріал – сприятливе середовище для розвитку грибків, цвілі й інших біологічних процесів. Вологість у приміщеннях може бути причиною ряду захворювань людей. Підвищена вологість матеріалів зовнішніх огорожувальних конструкцій знижує їх довговічність унаслідок руйнації при періодичному заморожуванні й відтаюванні, веде до розшарування конструкції через утворення прошарків із льоду. Останнє характерно для будинків холодильників із низькотемпературними камерами.

Застосування в сучасному будівництві багат шарових конструкцій, у тому числі з ефективними утеплювачами, потребує особливої уваги до прогнозування їх вологісного режиму з метою забезпечення необхідної довговічності й експлуатаційних властивостей.

Найбільшу небезпеку для огорожень становить гігроскопічне (сорбційне) і конденсаційне зволоження.

При проектуванні теплоізоляційної оболонки будинку на основі багат шарових конструкцій треба розташовувати з внутрішньої сторони конструкції шар матеріалів, що мають більш високий опір паропроникненню.

Для видалення вологи та для запобігання водонакопиченню у товщі конструкції влаштовують (за можливості) вентилявані повітряні прошарки. Вони мають бути розташовані між зовнішнім захисно-опоряджувальним шаром та шаром теплоізоляції.

Для традиційних суміщених покриттів будинків обов'язковим є встановлення пароізоляційного шару нижче шару утеплювача.

Основним заходом, що виключає конденсацію вологи в суміщених покриттях, є вентиляція їх товщі зовнішнім повітрям. Обов'язковим елементом системи вентиляції покрівель є вентиляційний прошарок, що влаштовується під покрівельним килимом та з'єднується з зовнішнім повітрям через відкриті канали по периметру покриття з робочим перерізом площею, що дорівнює $1/500$ площі поверхні покриття.

Зв'язок між внутрішнім повітрям та прошарком недопустимий.

13.2. Конденсація і сорбція водяної пари

Атмосферне повітря містить деяку кількість вологи у вигляді водяної пари, що й зумовлює його вологість. Абсолютна вологість повітря f виражається кількістю вологи в міліграмах, що утримується в 1 м^3 повітря.

Чим більша абсолютна вологість, тим більший парціальний тиск (пружність) водяної пари при однакових температурі і барометричному тиску. Для заданих температур повітря і барометричного тиску є граничне (максимальне) значення пружності водяної пари E . Чим вища

температура повітря, тим більше значення E й тим більшу кількість вологи f може містити повітря. Пружність водяної пари вимірюється в паскалях (Па).

Ступінь насичення повітря водяною паром характеризується відносною вологістю повітря φ , що визначається як відношення дійсної пружності водяної пари e до максимальної пружності E при даній температурі:

$$\varphi = \frac{e}{E} 100, \quad (13.1)$$

Від відносної вологості повітря, що оточує матеріал, залежить інтенсивність випаровування вологи зі зволжених поверхонь, а також інтенсивність сорбції (поглинання) вологи матеріалом.

При підвищенні температури значення E зростає, а значення φ зменшується і навпаки.

При зниженні температури значення E стає рівним значенню e . У цьому випадку відносна вологість $\varphi = 100\%$ (повітря має максимально можливе насичення водяною паром). Ця температура зветься точкою роси й позначається τ_p . При подальшому зниженні температури пружність водяної пари E також буде зменшуватися, а зайва волога буде виділятися у вигляді конденсату на матеріальних поверхнях або на порошинах і аерозолях, що утримуються в повітрі.

Нормальним для постійного перебування людей у приміщенні є відносна вологість $\varphi = 30 \dots 60\%$. При вологості більше ніж 60% відчувається зменшення тепловіддачі організму за рахунок випару вологи тілом людини. Зниження вологості нижче від 30% викликає посилене випарування вологи зі шкіри і слизуватих оболонок та пов'язані з цим неприємні відчуття в роті й горлі. При проектуванні огороджуючих конструкцій їх оцінюють на можливість конденсаційного зволоження поверхні. Для цього визначається температура внутрішньої поверхні за формулою:

$$\tau_e = t_e - \frac{n(t_e - t_{zn})}{R_\Sigma \cdot \alpha_e}, \quad (13.2)$$

Якщо $\tau_e > \tau_p$, конденсації вологи на поверхні огородження не буде. У протилежному випадку пароподібна волога переходить у капельно-рідкий стан із зволоженням поверхні огородження.

Конденсація в першу чергу спостерігається в місцях розташування теплопровідних включень (стики панелей, перемички і т.п.), а також на поверхнях, де знижена інтенсивність теплообміну (кути приміщень, поверхні закриті меблями, килимами тощо).

Температуру внутрішніх поверхонь по теплопровідному включенню варто визначати за [6] для інших випадків – на підставі розрахунку температурного поля конструкції.

Підвищити температуру внутрішньої поверхні і тим самим не припустити конденсації водяної пари можна, збільшивши опір теплопередачі огороження R_{Σ} або коефіцієнта тепловіддачі α_e внутрішньої поверхні. Для підвищення α_e необхідно в першу чергу вжити заходів для збільшення швидкості руху повітря у поверхні огороження.

При експлуатації нових будинків, унаслідок інтенсивного надходження вологи з конструкцій у процесі їх сушіння, абсолютна і відносна вологості внутрішнього повітря можуть бути вищими від розрахункових. Запобіганню утворенню конденсату в цьому випадку буде сприяти більш інтенсивне провітрювання приміщень. Незначна теплоємність повітря, яке використовується при цьому на повітрообмін, не приведе до істотного зниження температури приміщення.

У приміщеннях, де технологічний процес супроводжується великим виділенням вологи з високою відносною вологістю внутрішнього повітря, виключити випадання конденсату на внутрішніх поверхнях зовнішніх огорожувальних конструкцій важко або неможливо. З метою недопущення зволоження всієї товщини огорожень їх внутрішні поверхні необхідно виконувати паро-вологонепроникними.

Поява видимої конденсації залежить від структури й оздобы поверхні. Так, на пористій оштукатуреній поверхні краплі роси з'являються пізніше, ніж на поверхні, яка пофарбована олійною фарбою. Це пояснюється тим, що пориста поверхня на початку періоду конденсації поглинає вологу і тільки після насичення на ній з'являється видиме зволоження.

Поверхні значної площі, які поглинають вологу, можуть виступати як регулятор (у визначених межах) вологості в приміщеннях за рахунок періодичного поглинання при високій віддачі і при низькій відносній вологості внутрішнього повітря. Якщо конденсація продовжується довго, пориста поверхня стає сирою і для її висихання потрібен тривалий час.

Відсутність конденсації вологи на внутрішній поверхні не охороняє огороження від зволоження. Зволоження матеріалу конструкції може відбуватися внаслідок сорбції та конденсації водяної пари у товщі самого огороження. Процес поглинання матеріалом вологи з повітря називається сорбцією.

Помістивши вологий зразок у повітряне середовище з низькою вологістю, спостерігають процес десорбції, тобто віддачі вологи матеріалом навколишньому повітрю.

Кількість сорбційної вологи залежить від виду матеріалу, відносної вологості і температури повітря. Підвищення відносної вологості й

зниження температури повітря сприяють збільшенню сорбційного (гігроскопічного) зволоження матеріалів.

Залежність між масовим відношенням вологи ω у матеріалі і відносною пружністю водяної пари в матеріалі φ (при $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$) можна простежити на прикладі ізотерми сорбції водяної пари деревиною (рис. 13.1).

$\omega, \%$

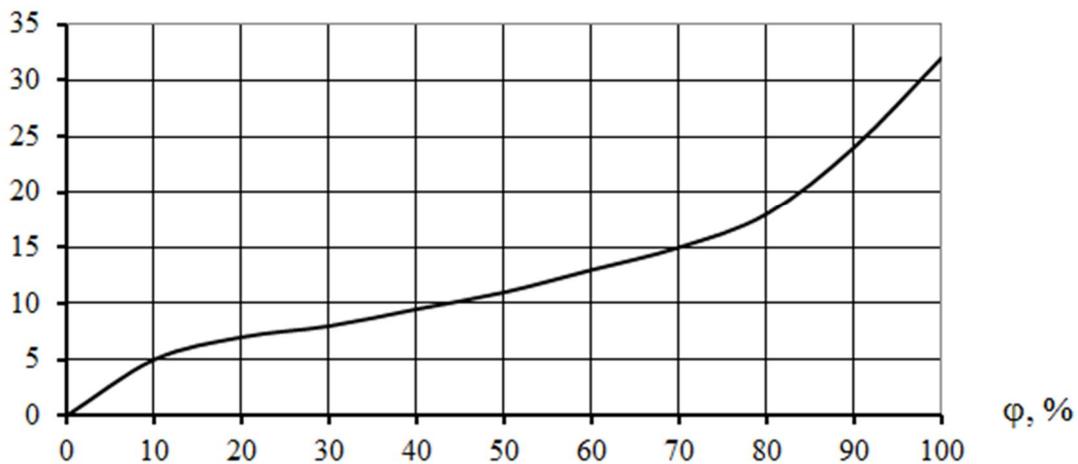


Рис. 13.1 Ізотерма сорбції водяної пари деревиною

Із рис. 13.1 видно, що при φ , близькій до 100 %, кількість вологи, яка сорбується матеріалом, різко зростає. Для інших будівельних матеріалів значення сорбційних вологостей наведені в [37].

Масове відношення вмісту вологи за рахунок сорбції в органічних матеріалах може бути значним (для деревини до 32,7 %). Неорганічні матеріали менше схильні до сорбційного зволоження, наприклад, звичайна глиняна цегла має сорбційне зволоження до 0,6 %. Спроможність матеріалу до сорбційного зволоження слід урахувувати при проектуванні для конкретних експлуатаційних (за вологістю) умов роботи конструкцій.

13.3. Паропроникнення матеріалів

При однаковій відносній вологості і барометричному тискові парціальний тиск (пружність) водяної пари буде більше в тому повітряному середовищі, температура якого вища.

Різниця значень парціального тиску водяної пари внутрішнього й зовнішнього повітря в зимовий період викликає потік водяної пари крізь зовнішні огороження опалювальних будинків у напрямку від внутрішньої їх сторони до зовнішньої. У будинках холодильників із низькотемпературними камерами рух водяної пари буде мати місце в літній період від зовнішньої сторони огороження до внутрішньої. Це

явище зветься дифузією водяної пари крізь огороження. Властивість матеріалів пропускати водяну пару називається паропроникненням.

Кількість водяної пари, що проникає (дифундує) при сталому потокові крізь однорідне огороження:

$$P = (e_e - e_{zn}) \frac{\mu}{\delta} F \cdot Z, \quad (13.3)$$

де e_e, e_{zn} – парціальний тиск водяної пари відповідно з внутрішньої і зовнішньої сторони огороження, Па;

μ – коефіцієнт паропроникності матеріалу, що виражає кількість пари в міліграмах, яка проникає крізь 1 м^2 огороження товщиною 1 м за 1 годину при різниці парціальних тисків водяної пари на поверхнях, $\text{мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$, 1 Па ;

δ – товщина огороження, м;

F – площа огороження, м^2 ;

Z – час, протягом якого відбувається процес паропроникнення, год.

Необхідні розрахункові значення коефіцієнтів паропроникності μ визначаються експериментально при відносній пружності водяної пари 100% з однієї сторони зразка і $50..60\%$ з іншої. При цьому середнє значення відносної пружності пари в зразку матеріалу складає біля $75..80\%$. Значення коефіцієнтів паропроникності μ подані у додатку А або табл. А1 [18].

Опір паропроникненню матеріального шару R_e , $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, визначається відношенням товщини шару δ до коефіцієнта паропроникності μ матеріалу:

$$R_e = \frac{\delta}{\mu}, \quad (13.4)$$

Опір паропроникненню багатошарової огорожувальної конструкції (або її частини) дорівнює сумі опорів паропроникненню складових її шарів:

$$R_{e\Sigma} = R_{e1} + R_{e2} + \dots + R_{en} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n}, \quad (13.5)$$

Опори паропроникненню листових матеріалів і тонких шарів пароізоляції наведені в [37].

13.4. Оцінка вологісного режиму огорожувальних конструкцій

При проектуванні зовнішніх огорожень слід вживати заходів щодо:

- запобігання можливості зволоження матеріалів огорожувальної конструкції;

- уникнення можливості конденсації водяної пари на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції;

- запобігання можливості конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції;

забезпечення умови від'ємного або нульового річного балансу вологи в товщі огорожувальних конструкцій (умови виведення за період вологовіддачі всієї вологи, що сконденсувалася за період вологонакопичення).

Алгоритм визначення тепловологісного стану огорожувальних конструкцій наведено на рис. 13.2 .

Згідно з [6] для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків обов'язкове виконання умови:

$$\Delta w \leq \Delta w_{\partial}, \quad (13.6)$$

де Δw – збільшення вологості матеріалу у товщі шару конструкції, в якому може відбуватися конденсація вологи, за холодний період року, % за масою;

Δw_{∂} – допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, в шарі якого може відбуватися конденсація вологи, % за масою, що встановлюється згідно з таблицею 13.1 залежно від виду матеріалу.

Для від'ємного або нульового річного балансу вологи в товщі огорожувальних конструкцій необхідне виконання наступної умови:

$$W_{zn} \leq W_{ln}, \quad (13.7)$$

де W_{zn} – кількість накопиченої в товщі огорожувальної конструкції вологи, що сконденсувалася за період вологонакопичення року, кг/м²;

W_{ln} – кількість вологи, що випаровується з огорожувальної конструкції за період вологовіддачі року, кг/м².

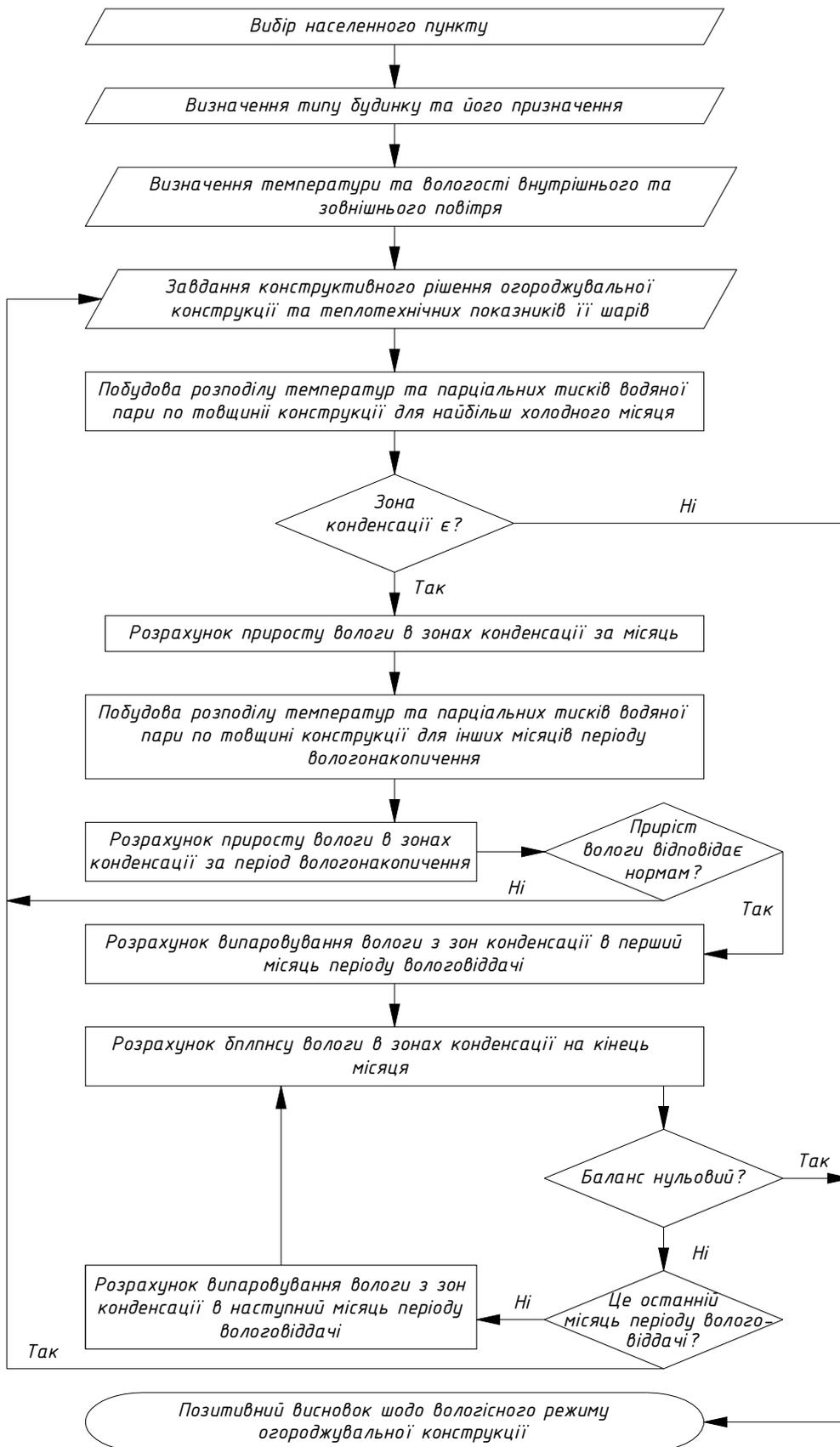


Рис. 13.2 Алгоритм визначення тепловологісного стану огороджувальних конструкцій

Таблиця 13.1

Допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, Δw_{∂} , в конструкції в холодний період року (табл. 8, [6])

Найменування матеріалу	Значення Δw_{∂} , %
Мінераловатні та скловолокнисті вироби	2,5
Пінополістирол	2,0
Пінополіуретан	3,0
Плити з карбамідо-формальдегідних 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
Вироби з кремнезиту	2,5
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

13.5. Порядок розрахунку тепловологісного стану одношарових конструкцій

Розрахунок тепловологісного стану огорожувальних конструкцій будинків та споруд слід виконувати графоаналітичним методом або за допомогою спеціального програмного забезпечення для типових конструктивних рішень огорожувальних конструкцій будинку. Розрахунок проводиться за стаціонарними умовами дифузії водяної пари. При цьому прийняті наступні допущення:

- конструкція є плоскою та термічно однорідною;
- опори паропереходу внутрішньої та зовнішньої поверхонь конструкції дорівнюють нулю;
- в межах однорідного шару конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари змінюється за криволінійним законом;
- якщо має місце конденсація вологи в товщі конструкції, то зона конденсації має товщину, що дорівнює всій товщині або частині товщини основного шару (зона конденсації – шар).
- опір паропроникності замкнутого повітряного прошарку в конструкції дорівнює нулю.

Розрахунок тепловологісного стану огорожувальної конструкції починають з аналізу умов дифузії водяної пари найбільш холодного місяця року, для чого виконують наступні розрахунки.

Визначають опори паропроникненню кожного шару R_{ex} та конструкції в цілому R_{Σ} , ($\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}$)/мг, за наступними формулами:

$$R_{e\Sigma} = \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\mu_j}, \quad (13.8)$$

$$R_{ex} = \sum_{j=1}^m \frac{\delta_j}{\mu_j} + \frac{x - \sum_{j=1}^m \delta_j}{\mu_{(m+1)}}, \quad (13.9)$$

де n – загальна кількість шарів у конструкції;

m – кількість повних шарів від внутрішньої поверхні до перерізу x ;

δ_j – товщина j -го шару, м;

x – відстань між внутрішньою поверхнею огороження та розрахунковою площиною, м;

μ_j – коефіцієнт паропроникності матеріалу j -го шару, мг/(м · год · Па), що визначають відповідно до додатку А або табл. А1[18];

$\mu_{(m+1)}$ – коефіцієнт паропроникності матеріалу шару, мг/(м · год · Па), в якому розташований переріз x .

Визначають розрахункові значення температури t_e , °С, та відносної вологості φ_e , %, внутрішнього повітря (таблиця 5.7 або додаток Г [6]).

Визначають розрахункові значення температури t_3 , °С, та відносної вологості φ_3 , %, зовнішнього повітря, як кліматичні параметри січня, згідно з додатком Г або [33].

Визначають розподіл температур $t(x)$, °С, по товщині конструкції за формулою:

$$t(x) = t_e - \frac{t_e - t_3}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right), \quad (13.10)$$

де t_e – внутрішня температура приміщення, °С, яку визначають в залежності від призначення приміщення відповідно до таблиці 5.7 або [6], табл. Г.2, додатку Г або проектної документації будинку;

t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, яку визначають відповідно до додатку Г або [33], таблиці 2 в залежності від регіону України для якого проводиться розрахунок, як середня місячна температура повітря;

R_{Σ} – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт;

α_6 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймають згідно з таблицею 4.1 або [18], додатком Б;

R_x – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, (м² · К)/Вт;

x – теж саме, що у формулі (13.9).

Розрахунок опорів теплопередачі R_{Σ} і R_x проводиться відповідно до розділу 4.

Визначають парціальний тиск насиченої водяної пари E , Па, на внутрішній (E_6) та зовнішній (E_3) поверхнях огорожувальної конструкції та розподіл парціального тиску насиченої водяної пари по товщині конструкції (E_x), за розподілом $t(x)$ згідно з табл. 13.2.

У довільному масштабі викреслюють умовний переріз огорожувальної конструкції, в якому товщина кожного шару дорівнює його значенню опору паропроникненню (див. рис. 13.3-13.4).

На осі, що паралельна ліням меж шарів задають шкалу парціального тиску p , Па, та будують розподіл E_x , точки якого з'єднуються за допомогою кривої лінії.

Кількість точок для побудови кривої розподілу E_x береться в розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температури по товщині шару.

У межах штукатурних шарів розподіл E_x будується за допомогою прямих ліній.

Визначають парціальні тиски водяної пари e , Па, на внутрішній (e_6) та зовнішній (e_3) поверхні огороження відповідно за формулами:

$$e_6 = 0,01 \cdot \varphi_6 \cdot E_6, \quad (13.11)$$

$$e_3 = 0,01 \cdot \varphi_3 \cdot E_3, \quad (13.12)$$

Отримані значення e_6 та e_3 відкладають на умовному перерізі у масштабі шкали p та з'єднуються відрізком прямої – лінією e .

У разі, якщо лінії E і e не перетинаються – то конденсація водяної пари в товщі огорожувальної конструкції відсутня, і умови (13.6) та (13.7) слід вважати виконаними.

У разі, якщо лінії E та e перетинаються, то в товщі конструкції утворюється зона конденсації водяної пари, подальший розрахунок проводять за наступною методикою.

З точок e_6 та e_3 проводять дотичні до лінії E . Точки дотику позначають як p_6 та p_3 відповідно.

Таблиця 13.2

Значення тиску насиченої водяної пари E , Па, при різних температурах повітря t , °С, за нормального атмосферного тиску (табл. Б1, [37])

Ціла частина t , °С	Дробова частина t , °С									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
30	4244	4269	4294	4319	4344	4369	4394	4419	4445	4469
29	4006	4030	4053	4077	4101	4124	4148	4172	4196	4219
28	3781	3803	3826	3848	3871	3894	3916	3939	3961	3984
27	3566	3588	3609	3631	3652	3674	3695	3717	3793	3759
26	3362	3382	3403	3423	3443	3363	3484	3504	3525	3544
25	3169	3188	3208	3227	3246	3266	3284	3304	3324	3343
24	2985	3003	3021	3040	3059	3077	3095	3114	3132	3151
23	2810	2827	2845	2863	2880	2827	2915	2932	2950	2968
22	2645	2661	2678	2695	2711	2727	2744	2761	2777	2794
21	2487	2504	2518	2535	2551	2566	2582	2598	2613	2629
20	2340	2354	2369	2384	2399	2413	2428	2443	2457	2473
19	2197	2212	2227	2241	2254	2268	2283	2297	2310	2324
18	2065	2079	2091	2105	2119	2132	2145	2158	2172	2185
17	1937	1950	1963	1976	1988	2001	2014	2027	2039	2052
16	1818	1830	1841	1854	1866	1878	1889	1901	1914	1926
15	1706	1717	1729	1739	1750	1762	1773	1784	1795	1806
14	1599	1610	1621	1631	1642	1653	1663	1674	1684	1659
13	1498	1508	1518	1528	1538	1548	1559	1569	1578	1588
12	1403	1413	1422	1431	1441	1451	1460	1470	1479	1488
11	1312	1321	1330	1340	1349	1358	1367	1375	1385	1394
10	1228	1237	1245	1254	1262	1270	1279	1287	1296	1304
9	1148	1156	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1218
8	1073	1081	1088	1096	1103	1110	1117	1125	1133	1140
7	1002	1008	1016	1023	1030	1038	1045	1052	1059	1066
6	935	942	949	955	961	968	975	982	988	995
5	872	878	884	890	896	902	907	913	919	925
4	813	819	825	831	837	843	849	854	861	866
3	759	765	770	776	781	787	793	798	803	808
2	705	710	716	721	727	732	737	743	748	753
1	675	662	667	672	677	682	687	691	696	700
0	611	616	624	626	630	635	640	645	648	653

Ціла частина $t, ^\circ\text{C}$	Дробова частина $t, ^\circ\text{C}$									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-0	611	605	600	595	592	587	582	577	572	567
-1	562	557	552	547	543	538	534	531	527	522
-2	517	514	509	505	501	496	492	489	484	480
-3	476	472	468	464	461	456	452	448	444	440
-4	437	433	430	426	423	419	415	412	408	405
-5	401	398	395	391	388	385	382	379	375	372
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	343	340
-7	337	336	333	330	327	324	321	318	315	312
-8	310	306	304	301	298	296	294	291	288	286
-9	284	281	279	276	274	272	269	267	264	262.
-10	260	258	255	253	251	249	246	244	242	239
-11	237	235	233	231	229	228	226	224	221	219
-12	217	215	213	211	209	208	206	204	202	200
-13	198	197	195	193	191	190	188	186	184	182
-14	181	180	178	177	175	173	172	170	168	167
-15	165	164	162	161	159	158	157	155	153	152
-16	150	149	148	146	145	144	142	141	139	138
-17	137	136	135	133	132	131	129	128	127	126
-18	125	124	123	122	121	120	118	117	116	115
-19	114	113	112	111	110	109	107	106	105	104
-20	103	102	101	100	99	98	97	96	95	94

Якщо точки дотику не співпадають ($p_B \neq p_3$), то лінією розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщі конструкції буде ламана $e_B p_B p_3 e$, а зона конденсації представлятиме собою шар, що знаходиться між точками p_B і p_3 .

Для зони конденсації виконують розрахунок приросту вологи за період τ , год, розрахункового місяця року. Формули для визначення кількості накопиченої огорожувальною конструкцією вологи за розрахунковий місяць W , $\text{кг}/\text{м}^2$, для можливих варіантів зон конденсації наведено на рис. 13.3 – 13.4.

У випадку наявності конденсації водяної пари при розрахунку для найбільш холодного місяця року згідно з додатком Г або [33] аналогічні графічні побудови слід робити для усіх місяців року, в яких має місце конденсація вологи в товщі огороження. Ці місяці складають період накопичення вологи у конструкції.

За результатами розрахунку для кожного місяця періоду накопичення вологи визначають сумарну кількість вологи, що накопичується в зоні конденсації за даний період W_{zn} .

На рисунку 13.3 наведена розрахункова схема при відсутності конденсації водяної пари в огороженні.

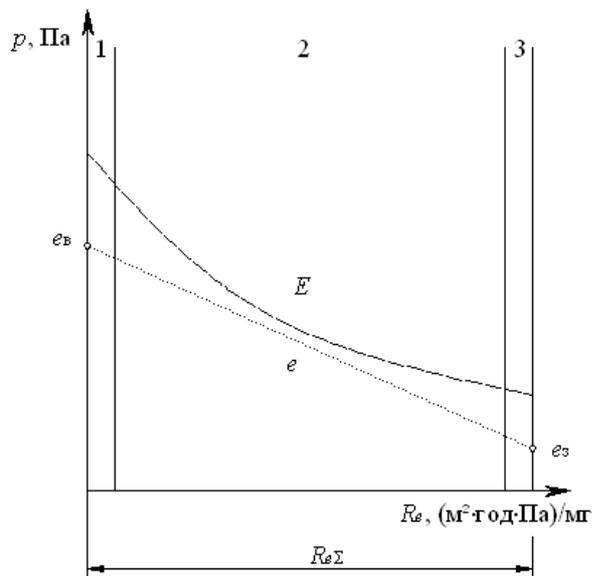


Рис. 13.3 Конденсація водяної пари в товщі конструкції відсутня.

На рисунку 13.4 наведена розрахункова схема при конденсації водяної пари в другому шарі огороження.

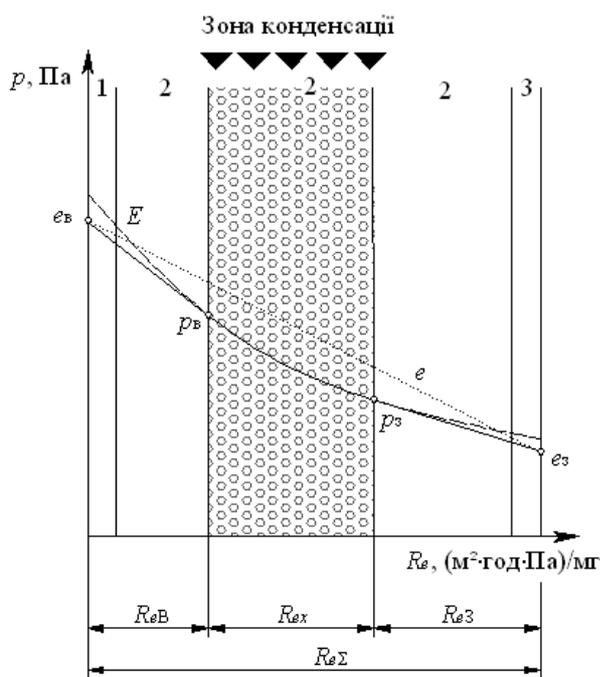


Рис. 13.4 Зона конденсації – шар 2.

Розрахункові формули для визначення кількості накопиченої шарами одношарової огорожувальної конструкції вологи, що сконденсувалася за розрахунковий місяць за розрахунковою схемою 13.4:

1. Кількість водяної пари i_e , мг/(м²·год), що надходить до зони конденсації зі сторони приміщення дорівнює:

$$i_e = \frac{p_k - e_e}{R_{e_e}},$$

2. Кількість водяної пари i_z , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації дорівнює:

$$i_z = \frac{p_k - e_z}{R_{e_z}},$$

3. Кількість вологи W , кг/м², що конденсується в конструкції за розрахунковий місяць:

$$W = \tau(i_e - i_z) \cdot 10^{-6},$$

Розрахунок приросту вологи Δw , %, у шарі матеріалу, у якому відбувається конденсація вологи, виконують за формулою:

$$\Delta w = \frac{W}{\delta_k \cdot \rho_k} 100\%, \quad (13.13)$$

де δ_k – товщина шару матеріалу, у якому відбувається накопичення вологи, що конденсується, м;

ρ_k – густина шару матеріалу, в якому відбувається накопичення вологи, що конденсується, кг/м³.

Місяці, в яких конденсація вологи не відбувається, складають період вологовіддачі. Розрахунок кількості вологи, що випаровується з конструкції за цей період, починають з першого місяця, що настає після закінчення періоду вологонакопичення.

Для розрахунку кількості вологи, що випаровується за відповідний місяць із зони конденсації, що утворилася за період накопичення вологи, приймають парціальний тиск водяної пари в межах зони рівним тиску насиченої водяної пари для середньої температури в цій зоні.

При побудові лінії падіння парціального тиску p_k відкладається посередині шару, а зона конденсації – шар, замінюється на зону конденсації – площину (рис. 13.5).

Якщо парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря e_v буде більше ніж тиск насиченої водяної пари в зоні конденсації p_k та кількість водяної пари, що надходить до зони конденсації менше ніж видаляється,

процес випаровування вологи слід вважати таким, що йде тільки у напрямку до зовнішнього повітря.

Якщо парціальні тиски водяної пари внутрішнього повітря e_v та зовнішнього повітря e_z менше ніж тиск насиченої водяної пари в зоні конденсації p_k , процес випаровування вологи слід вважати таким, що йде в обох напрямках.

Алгоритм розрахунку кількості вологи, що випаровується за розрахунковий місяць періоду вологовіддачі для найбільш розповсюджених варіантів конструкцій наведено на рисунку 13.5.

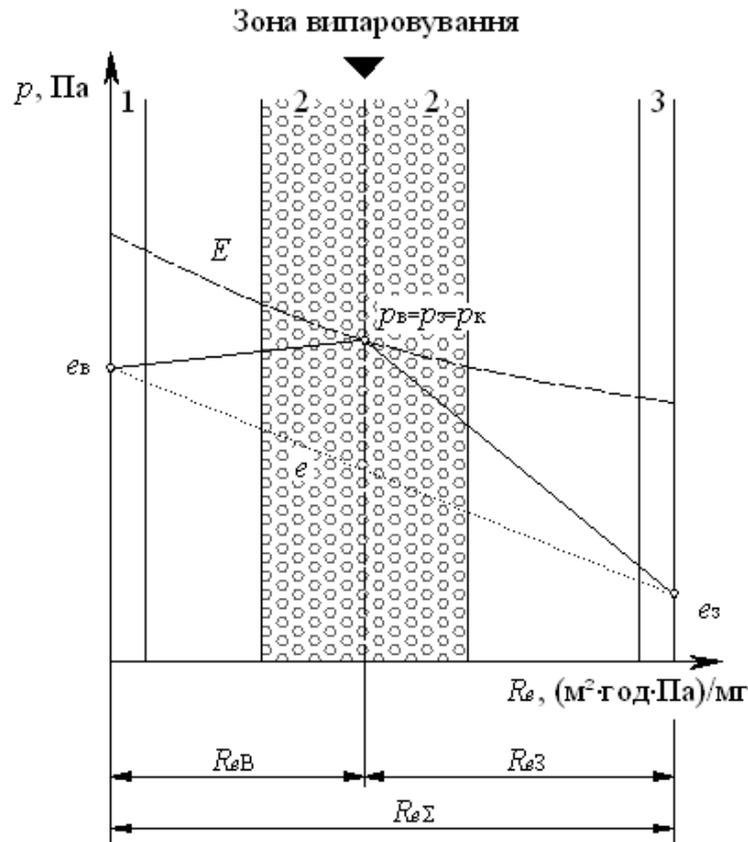


Рис. 13.5 Вологовіддача з огороження

Розрахункові формули для визначення кількості вологи, що випаровується за розрахунковий місяць періоду вологовіддачі за розрахунковою схемою 13.5:

1. Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що видаляється із зони конденсації в сторону приміщення дорівнює:

$$i_v = \frac{p_k - e_v}{R_{ev}},$$

2. Кількість водяної пари i_z , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації дорівнює:

$$i_3 = \frac{p_k - e_3}{R_{e3}},$$

3. Кількість вологи W , кг/м², що випаровується з зони конденсації за розрахунковий період дорівнює:

$$W_{лн} = \tau(i_6 + i_3) \cdot 10^{-6},$$

Після розрахунку кількості вологи, що випарилась протягом місяця з зони конденсації, підраховують баланс вологи на початок наступного місяця періоду вологовіддачі. Якщо баланс від'ємний, це свідчить, що з конструкції випарилась уся волога, що накопичилась в ній за період вологонакопичення, тобто виконується умова (13.7).

Якщо ж у конструкції залишалась волога, то визначають зону випаровування на початок наступного місяця і кількість вологи у ній. Після чого проводиться вище наведені розрахунки для наступного місяця періоду вологовіддачі.

Розрахунок закінчується місяцем, для якого виконується умова (13.7). Якщо умова (13.7) не виконується протягом періоду вологовіддачі, це свідчить, що конструкція не задовольняє вимогам ДБНВ.2.6-31.

13.6.Порядок розрахунку тепловологісного стану багат шарових конструкцій.

Розрахунок тепловологісного стану багат шарових конструкцій виконують аналогічно розрахунку тепловологісного стану одно шарових конструкцій з наступними допущеннями:

- розрахунок проводиться за стаціонарними умовами дифузії водяної пари;
- конструкція є плоскою та термічно однорідною;
- опори паропереходу внутрішньої та зовнішньої поверхонь конструкції дорівнюють нулю;
- в межах однорідного шару конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари змінюється за лінійним законом;
- якщо має місце конденсація вологи в товщі конструкції, то вона триває або на межі двох сусідніх шарів (зона конденсації – площина), або зона конденсації має товщину, що дорівнює товщині певного шару (зона конденсації – шар).
- опір паропроникності замкнутого повітряного прошарку в конструкції дорівнює нулю.

Визначають парціальний тиск насиченої водяної пари E , Па, на внутрішній (E_B) та зовнішній (E_3) поверхнях огороджувальної конструкції

та на всіх інших межах шарів (E_x), за розподілом $t(x)$ згідно з таблицею 13.2.

У довільному масштабі викреслюють умовний переріз огорожувальної конструкції, в якому товщина кожного шару дорівнює його значенню опору паропроникненню (рис.13.6-13.9).

На осі, що паралельна ліням меж шарів задають шкалу парціального тиску p , Па, та на відповідних межах відкладають значення E_x . Ці значення з'єднують ламаною – лінією E .

Визначають парціальні тиски водяної пари e , Па, на внутрішній (e_B) та зовнішній (e_3) поверхні огороження відповідно за формулами:

$$e_B = 0,01 \cdot \varphi_B \cdot E_B, \quad (13.11)$$

$$e_3 = 0,01 \cdot \varphi_3 \cdot E_3, \quad (13.12)$$

Отримані значення e_B та e_3 відкладають на умовному перерізі у масштабі шкали p та з'єднуються відрізком прямої – лінією e .

У разі, якщо лінії E і e не перетинаються – то конденсація водяної пари в товщі огорожувальної конструкції відсутня, і умови (13.6) та (13.7) слід вважати виконаними.

У разі, якщо лінії E та e перетинаються, то в товщі конструкції утворюється зона (або зони) конденсації водяної пари, подальший розрахунок проводять за наступною методикою.

З точок e_B та e_3 проводять дотичні до лінії E . Точки дотику позначають як p_B та p_3 відповідно:

1. Якщо точки дотику співпадають ($p_B = p_3 = p_K$), то ламана $e_B p_K e_3$ являє собою лінію розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщі конструкції, а зона конденсації представлятиме собою площину, що проходить через точку p_K .

2. Якщо точки дотику не співпадають ($p_B \neq p_3$), але вони належать одній ланці лінії E , то лінією розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщі конструкції буде ламана $e_B p_B p_K e_3$, а зона конденсації представлятиме собою шар, що знаходиться між точками p_B і p_3 .

3. Якщо точки дотику обох дотичних не співпадають ($p_B \neq p_3$) та знаходяться на різних ланках лінії E , то в товщі огороження утворюються окремі ізольовані зони конденсації водяної пари.

Для зони (або зон) конденсації виконують розрахунок приросту вологи за період τ , год, розрахункового місяця року. Формули для визначення кількості накопиченої огорожувальною конструкцією вологи за розрахунковий місяць W , $кг/м^2$, для можливих варіантів зон конденсації наведено рис. 13.6-13.9.

У випадку наявності конденсації водяної пари при розрахунку для найбільш холодного місяця року згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27аналогічні графічні побудови слід робити для усіх місяців року, в яких має місце

конденсація вологи в товщі огороження. Ці місяці складають період накопичення вологи у конструкції.

На рисунку 13.6 наведена розрахункова схема при відсутності конденсації водяної пари в огороженні, а на рисунку 13.7– зона конденсації – площина між шарами 2 та 3.

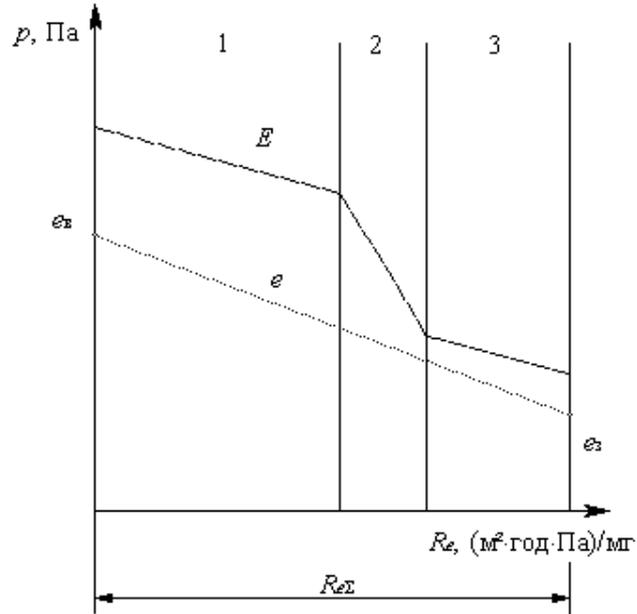


Рис. 13.6 Конденсація водяної пари в товщі конструкції відсутня.

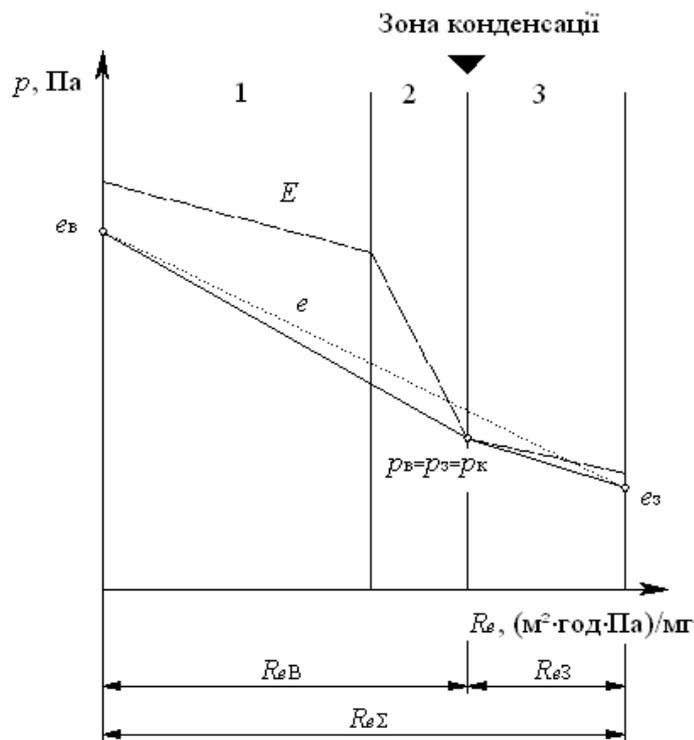


Рис. 13.7 Зона конденсації – площина між шарами 2 та 3.

Розрахункові формули для визначення кількості накопиченої шарами багат шарової огорожувальної конструкції вологи, що сконденсувалася за розрахунковий місяць (за розрахунковою схемою на рис. 13.7).

1. Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що надходить до зони конденсації зі сторони приміщення:

$$i_v = \frac{e_v - p_v}{R_{ev}},$$

2. Кількість водяної пари, мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації:

$$i_z = \frac{p_k - e_z}{R_{ez}},$$

3. Кількість вологи W , кг/м², що конденсується в конструкції за розрахунковий місяць:

$$W_{zn} = \tau(i_v - i_z) \cdot 10^{-6}$$

На рисунку 13.8 наведена розрахункова схема при зоні конденсації – дві площини між шарами 1 і 2 та 3 і 4.

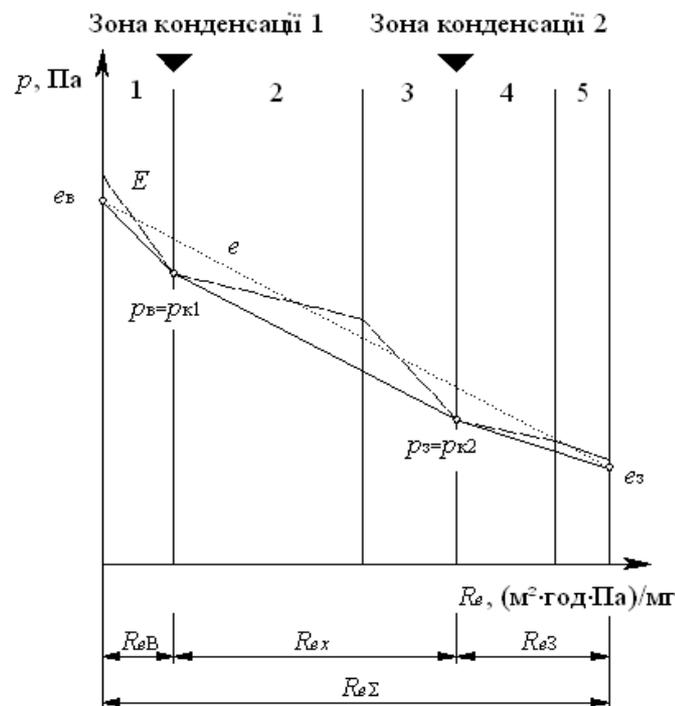


Рис. 13.8 Зони конденсації – дві площини між шарами 1 і 2 та 3 і 4

1. Кількість водяної пари i_b , мг/(м²·год), що надходить до зони конденсації 1 зі сторони приміщення дорівнює:

$$i_b = \frac{e_b - p_b}{R_{eb}},$$

2. Кількість водяної пари i_x , мг/(м²·год), що виводиться від зони конденсації 1 і одночасно надходить до зони конденсації 2 дорівнює:

$$i_x = \frac{p_b - p_3}{R_{ex}},$$

3. Кількість водяної пари i_3 , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації 2 дорівнює:

$$i_3 = \frac{p_3 - e_3}{R_{e3}},$$

4. Кількість вологи, W , кг/м², що конденсується в конструкції за розрахунковий період у зоні конденсації 1:

$$W_{zn1} = \tau(i_b - i_x) \cdot 10^{-6},$$

у зоні конденсації 2:

$$W_{zn2} = \tau(i_x - i_3) \cdot 10^{-6},$$

5. Загальна кількість вологи W , кг/м², що конденсується в конструкції за розрахунковий період:

$$W_{zn} = W_{zn1} + W_{zn2},$$

На рисунку 13.9 наведена розрахункова якщо зони конденсації – площина між шарами 1 та 2 і шар 4.

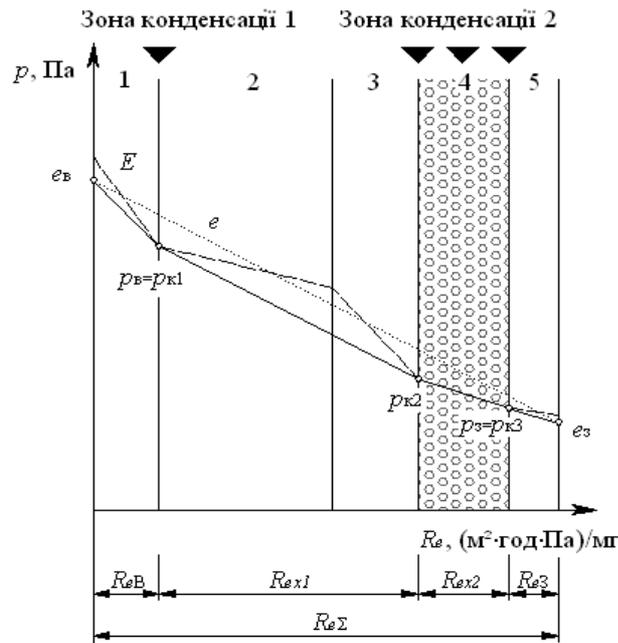


Рис. 13.9 Зони конденсації – площина між шарами 1 та 2 і шар 4

1. Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що надходить до зони конденсації 1 зі сторони приміщення дорівнює:

$$i_v = \frac{e_v - p_v}{R_{eB}},$$

2. Кількість водяної пари i_x , мг/(м²·год), що виводиться від зони конденсації 1 і одночасно надходить до зони конденсації 2 дорівнює:

$$i_x = \frac{p_v - p_{к2}}{R_{ex1}},$$

3. Кількість водяної пари i_3 , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації 2 дорівнює:

$$i_3 = \frac{p_3 - e_3}{R_{e3}},$$

4. Кількість вологи, кг/м², що конденсується в конструкції за розрахунковий період у зоні конденсації 1:

$$W_{zn1} = \tau(i_v - i) \cdot 10^{-6},$$

у зоні конденсації 2:

$$W_{zn2} = \tau(i_x - i) \cdot 10^{-6},$$

5. Загальна кількість вологи W , $\text{кг}/\text{м}^2$, що конденсується в конструкції за розрахунковий період:

$$W_{zn} = W_{zn1} + W_{zn2} ,$$

За результатами розрахунку для кожного місяця періоду накопичення вологи визначають сумарну кількість вологи, що накопичується в зоні конденсації за даний період W_{zn} .

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

$$\Delta w = \frac{W}{\delta_k \cdot \rho_k} 100\%, \quad (13.13)$$

де δ_k – товщина шару матеріалу, у якому відбувається накопичення вологи, що конденсується, м;

ρ_k – густина шару матеріалу, в якому відбувається накопичення вологи, що конденсується, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Місяці, в яких конденсація вологи не відбувається, складають період вологовіддачі. Розрахунок кількості вологи, що випаровується з конструкції за цей період, починають з першого місяця, що настає після закінчення періоду вологонакопичення.

Для розрахунку кількості вологи, що випаровується за відповідний місяць із зон конденсації, що утворилися за період накопичення вологи, приймають парціальний тиск водяної пари в межах кожної зони рівним тиску насиченої водяної пари відповідно до температури в цій зоні.

Будується лінія падіння парціального тиску в товщі огородження $e_6 E_1 E_2 \dots E_j \dots E_N e_3$, де $E_1, E_2, \dots, E_j, \dots, E_N$ – тиски насиченої водяної пари у відповідних зонах конденсації, N – кількість зон конденсації у товщі огородження.

Якщо j -та зона конденсації – шар, то для побудови лінії падіння парціального тиску приймається середня температура у шарі, а E_j відкладається посередині шару, а зона конденсації – шар, замінюється на зону конденсації – площину.

За умови, якщо парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря e_v буде більше ніж тиск насиченої водяної пари в зоні конденсації p_k та кількість водяної пари, що надходить до зони конденсації менше ніж видаляється, процес випаровування вологи слід вважати таким, що йде тільки у напрямку до зовнішнього повітря.

За умови, якщо парціальні тиски водяної пари внутрішнього повітря e_v та зовнішнього повітря e_z менше ніж тиск насиченої водяної пари в зоні конденсації p_k , то процес випаровування вологи слід вважати таким, що йде в обох напрямках.

Алгоритм розрахунку кількості вологи, що випаровується за розрахунковий місяць періоду вологовіддачі для найбільш розповсюджених варіантів конструкцій наведено на рис. 13.10-13.12.

Після розрахунку кількості вологи, що випарилась протягом місяця з кожної зони конденсації, визначають баланс вологи у зонах конденсації на початок наступного місяця періоду вологовіддачі. Якщо у всіх зонах баланс від'ємний, то це свідчить, що з конструкції випарилась уся волога, що накопичилась в ній за період вологонакопичення, тобто виконується умова (13.7).

Якщо ж у конструкції залишалась волога, то визначають зони конденсації на початок наступного місяця і кількість вологи у кожній зоні. Після чого проводять розрахунок за вище наведеною методикою для наступного місяця періоду вологовіддачі.

Розрахунок закінчується місяцем, для якого виконується умова (13.7). Якщо умова (13.7) не виконується протягом періоду вологовіддачі, це свідчить, що конструкція не задовольняє вимогам ДБНВ.2.6-31.

На рисунку 13.10 наведена розрахункова якщо зони конденсації – площина між шарами 1 та 2 і шар 4.

Розрахункова схема періоду вологовіддачі з однією зоною випаровування наведена на рисунку 13.10.

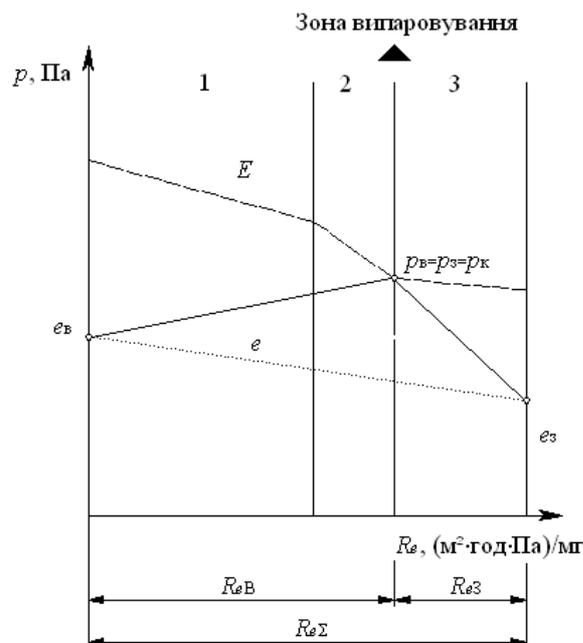


Рис. 13.10 Вологовіддача з огороження з однією зоною випаровування

Розрахункові формули для визначення кількості вологи, що випаровується за розрахунковий місяць періоду вологовіддачі:

1. Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що видаляється із зони конденсації в сторону приміщення дорівнює:

$$i_v = \frac{p_k - e_v}{R_{e6}},$$

2. Кількість водяної пари i_z , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації дорівнює:

$$i_z = \frac{p_k - e_z}{R_{e3}},$$

3. Кількість вологи W , кг/м², що випаровується з зони конденсації за розрахунковий період:

$$W_{ли} = \tau(i_v + i_z) \cdot 10^{-6},$$

Розрахункова схема періоду вологовіддачі з двома зонами випаровування наведена на рисунку 13.11.



Рис. 13.11 Вологовіддача з огороження з двома зонами випаровування

1. Кількість водяної пари, що видаляється із зони випаровування 1 в сторону приміщення дорівнює нулю, так як $e_v > p_{k1}$.

2. Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що надходить до зони випаровування 1 з приміщення дорівнює:

$$i_v = \frac{e_6 - p_{к1}}{R_{e6}},$$

3. Кількість водяної пари i_x , мг/(м²·год), що виходить із зони випаровування 1 дорівнює:

$$i_x = \frac{p_{к1} - p_{к2}}{R_{ex}},$$

4. Кількість водяної пари i_3 , мг/(м²·год), що виходить із зони випаровування 2 дорівнює:

$$i_3 = \frac{p_{к2} - e_3}{R_{e3}},$$

5. Кількість вологи W , кг/м², що випаровується з конструкції за розрахунковий період:

$$W_{ли} = \tau(i_3 - i_x + i_v) \cdot 10^{-6},$$

Розрахункова схема періоду вологовіддачі з двома зонами випаровування між шарами 1 та 2 і шар 4 наведена на рисунку 13.12.

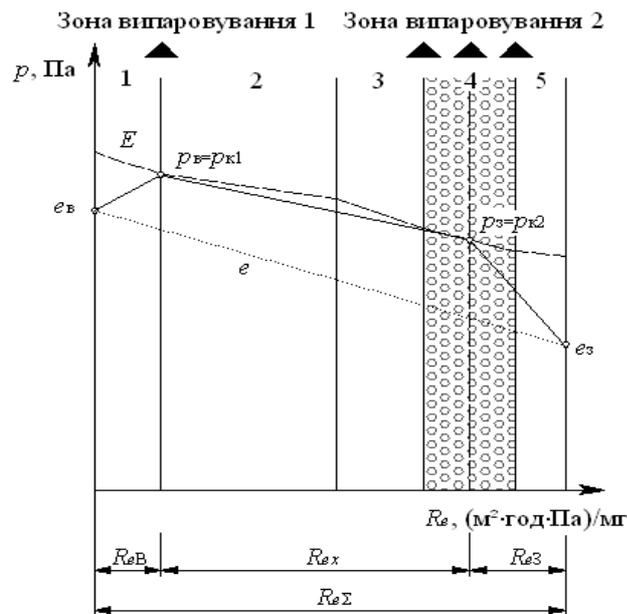


Рис. 13.12 Вологовіддача з огороження з двома зонами випаровування між шарами 1 та 2 і шар 4

1. Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що надходить до зони випаровування 1 з приміщення, дорівнює:

$$i_v = \frac{e_6 - p_{к1}}{R_{ев}},$$

2. Кількість водяної пари i_x , мг/(м²·год), що виходить із зони випаровування 1, дорівнює:

$$i_x = \frac{p_{к1} - p_{к2}}{R_{ex}},$$

3. Кількість водяної пари i_3 , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони випаровування 2 дорівнює:

$$i_3 = \frac{p_{к2} - e_3}{R_{ex}},$$

4. Кількість вологи W , кг/м², що випаровується з конструкції за розрахунковий період:

$$W_{лн} = \tau(i + i_3) \cdot 10^{-6},$$

Задача 13.1 Виконати оцінку вологісного режиму огорожувальної конструкції при розташуванні утеплювача з зовнішньої сторони.

Вихідні данні:

- район будівництва – м. Полтава;
- призначення будівлі – лікувальна.

Розрахункова схема огорожувальної конструкції наведена на рисунку 13.13.

За таблицею 5.7 або [6], табл. Г.2 визначаємо розрахункову температуру внутрішнього повітря - $t_g = 21^\circ\text{C}$

За таблицею 5.7 або [6], табл. Г.2 визначаємо розрахункову відносну вологість внутрішнього повітря - $\phi_g = 50\%$

За таблицею 5.9 або [6], табл. Г.1 визначаємо тепловологісний режим приміщення - нормальний;

За таблицю 5.10 або дод. К [6] визначаємо вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції - Б;

По додатком А або [18], табл. А.1 визначаємо розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції:

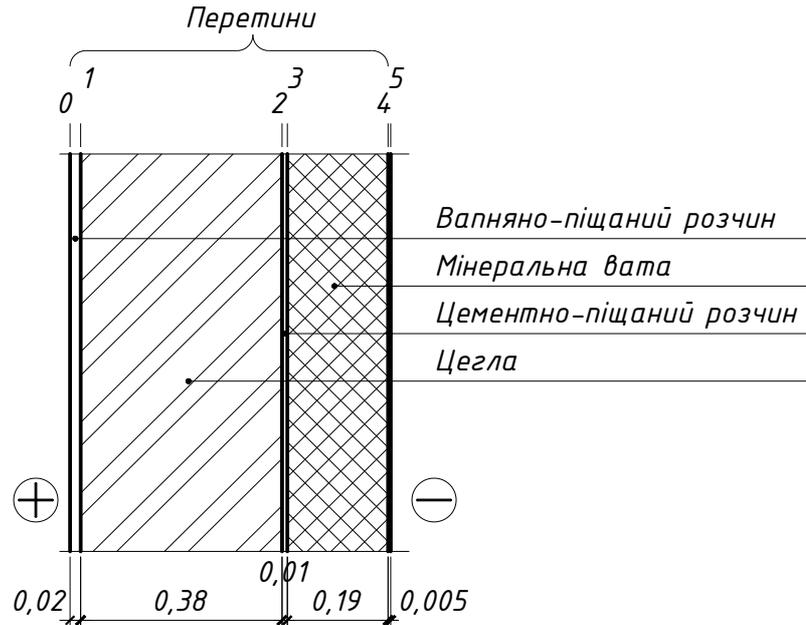


Рис. 13.13 Розрахункова схема огорожувальної конструкції

- вапняно-піщаний розчин $\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цегла $\lambda_2 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цементно-піщаний розчин $\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- мінеральна вата $\lambda_{\text{ут}} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цементно-піщаний розчин $\lambda_5 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$

Виконуємо оцінку вологісного стану огороження у січні.

Визначаємо парціальний тиск водяної пари на перетинів шарів матеріалів огорожувальної конструкції, Па, за формулами:

0-й перетин:

$$e_0 = e_6 = 1244 \text{ Па},$$

1-й перетин:

$$e_1 = e_6 - \frac{e_6 - e_{\text{зн}}}{R_{e\Sigma}} \left(\frac{\delta_1}{\mu_1} \right) = 1244 - \frac{1244 - 325}{4,19} \left(\frac{0,02}{0,09} \right) = 1196 \text{ Па},$$

2-й перетин:

$$e_2 = e_6 - \frac{e_6 - e_{\text{зн}}}{R_{e\Sigma}} \left(\frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} \right) = 1244 - \frac{1244 - 325}{4,19} \left(\frac{0,02}{0,09} + \frac{0,38}{0,11} \right) = 437 \text{ Па},$$

3-й перетин:

$$e_3 = e_6 - \frac{e_6 - e_{3н}}{R_{e\Sigma}} \left(\frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} \right) =$$
$$= 1244 - \frac{1244 - 325}{4,19} \left(\frac{0,02}{0,09} + \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,01}{0,12} \right) = 419 \text{ Па},$$

4-й перетин:

$$e_4 = e_6 - \frac{e_6 - e_{3н}}{R_{e\Sigma}} \left(\frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_{yt}}{\mu_{yt}} \right)$$
$$= 1244 - \frac{1244 - 325}{4,19} \left(\frac{0,02}{0,09} + \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,19}{0,49} \right) = 325 \text{ Па},$$

5-й перетин:

$$e_5 = e_{3н} = 325 \text{ Па},$$

де e_6 – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, визначаємо за формулою:

$$e_6 = 0,01\varphi_6 \times E_6 = 0,01 \times 50 \times 2489 = 1245 \text{ Па},$$

де φ_6 – розрахункове значення відносної вологості внутрішнього повітря, %, приймаємо залежно від призначення будинку згідно з таблицею 5.7 або [6], табл. Г.2, $\varphi_6 = 50$ %;

E_6 – парціальний тиск насиченої водяної пари внутрішнього повітря, Па, залежить від температури t_6 , приймаємо за табл. 13.2, $E_6 = 2489$ Па.

де $e_{3н}$ – парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, визначаємо за формулою:

$$e_{3н} = 0,01\varphi_{3н} \times E_{3н} = 0,01 \times 85 \times 382 = 325 \text{ Па},$$

де $\varphi_{3н}$ – розрахункове значення відносної вологості зовнішнього повітря, %, приймаємо з додатком Ж або табл. 24 [33], $\varphi_{3н} = 85$ %;

$E_{3н}$ – парціальний тиск насиченої водяної пари зовнішнього повітря, Па, залежить від температури $t_{3н}$, приймаємо за табл. 13.2, $E_{3н} = 382$ Па.

$R_{e\Sigma}$ – опір паропроникненню огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, визначаємо за формулою:

$$R_{e\Sigma} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_{ym}}{\mu_{ym}} + \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,19}{0,49} + \frac{0,005}{0,12} = 3,382 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг},$$

де μ – паропроникність матеріалу шару огорожувальної конструкції, мг/(м · год · Па), визначаємо за додатком А або [18, табл. А.1:

- вапняно-піщаний розчин	$\mu_1 = 0,09 \text{ мг/(м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}$;
- цегла	$\mu_2 = 0,11 \text{ мг/(м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}$;
- цементно-піщаний розчин	$\mu_3 = 0,12 \text{ мг/(м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}$;
- мінеральна вата	$\mu_{ym} = 0,49 \text{ мг/(м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}$;
- цементно-піщаний розчин	$\mu_5 = 0,12 \text{ мг/(м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}$.

Визначаємо температуру на перетинів шарів матеріалів огорожувальної конструкції, °С, за формулами:

0-й перетин:

$$t_0 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3н}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_6} \right) = 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,382} \left(\frac{1}{8,7} \right) = 20,1 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де t_{3e} – розрахункова температура зовнішнього повітря для процесу накопичення вологи в конструкції, що визначається за додатком Г або табл.2 [33] для періоду найбільш холодного місяця року, °С, $t_{3e} = -5,6 \text{ } ^\circ\text{C}$;

R_Σ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м² · К/Вт, визначаємо за формулою:

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_6} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,97} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,005}{0,81} = 3,382 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де α_6 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18].

$$\alpha_{3н} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

1-й перетин:

$$t_1 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) = 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,382} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} \right) = 19,9 \text{ } ^\circ\text{C},$$

2-й перетин:

$$\begin{aligned} t_2 &= t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) = \\ &= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,382} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} \right) = 16,2 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

3-й перетин:

$$\begin{aligned} t_3 &= t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = \\ &= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,382} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} \right) = 16,1 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

4-й перетин:

$$\begin{aligned} t_4 &= t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} \right) = \\ &= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,382} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,19}{0,07} \right) = -5,2 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

5-й перетин:

$$\begin{aligned} t_5 &= t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) = \\ &= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,382} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,005}{0,81} \right) = -5,3 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

Використовуючи отримані значення температур за табл. 13.2 визначаємо парціальний тиск насиченої водяної пари, P_a , на перетині шарів матеріалів огорожувальної конструкції:

0-й перетин:

$$E_0 = 2354 \text{ Па},$$

1-й перетин:

$$E_1 = 2330 \text{ Па},$$

2-й перетин:

$$E_2 = 1848 \text{ Па} ,$$

3-й перетин:

$$E_3 = 1836 \text{ Па} ,$$

4-й перетин:

$$E_4 = 395 \text{ Па} ,$$

5-й перетин:

$$E_5 = 393 \text{ Па} .$$

Визначаємо для яких шарів матеріалів огорожувальної конструкції необхідно виконувати розрахунок приросту вологи.

Так як:

0-й перетин:

$$E_0 = 2354 \text{ Па} > e_0 = 1244 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується;}$$

1-й перетин:

$$E_1 = 2330 \text{ Па} > e_1 = 1196 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується;}$$

2-й перетин:

$$E_2 = 1848 \text{ Па} > e_2 = 437 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується;}$$

3-й перетин:

$$E_3 = 1836 \text{ Па} > e_3 = 419 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується;}$$

4-й перетин:

$$E_4 = 395 \text{ Па} > e_4 = 334 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується;}$$

5-й перетин:

$$E_5 = 393 \text{ Па} > e_4 = 325 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується.}$$

Задача 13.2. Виконати оцінку вологісного режиму огорожувальної конструкції при розташуванні утеплювача з внутрішньої сторони.

Вихідні данні:

- район будівництва – м. Полтава;
- призначення будівлі – лікувальна.

Розрахункова схема огорожувальної конструкції наведена на рисунку 13.14.

За таблицею 5.7 або [6], табл. Г.2 визначаємо розрахункову температуру внутрішнього повітря – $t_g = 21^\circ\text{C}$

За таблицею 5.7 або [6], табл. Г.2 визначаємо розрахункову відносну вологість внутрішнього повітря – $\varphi_g = 50\%$

За таблицею 5.9 або [6], табл. Г.1 визначаємо тепловологісний режим приміщення – нормальний;

За таблиця 5.10 або дод. К [6] визначаємо вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції – Б;

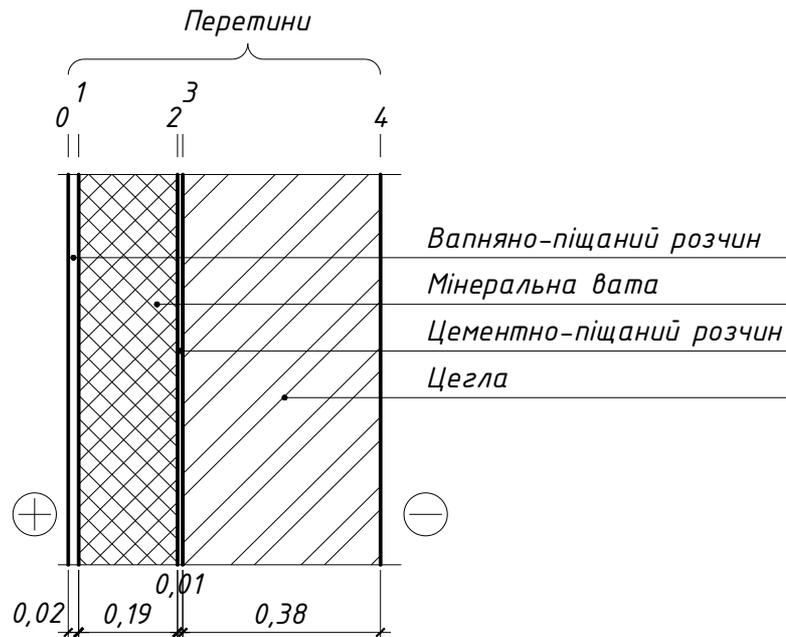


Рис. 13.14 Розрахункова схема огорожувальної конструкції

По додатком А або [18], табл. А.1 визначаємо розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції:

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| - вапняно-піщаний розчин | $\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |
| - мінеральна вата | $\lambda_{\text{ут}} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |
| - цементно-піщаний розчин | $\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |
| - цегла | $\lambda_4 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$ |

Виконуємо оцінку вологісного стану огороження у січні.

Визначаємо парціальний тиск водяної пари на перетинів шарів матеріалів огорожувальної конструкції, Па, за формулами:

0-й перетин:

$$e_0 = e_в = 1245 \text{ Па} ,$$

1-й перетин:

$$e_1 = e_в - \frac{e_в - e_{\text{зн}}}{R_{e\Sigma}} \left(\frac{\delta_1}{\mu_1} \right) = 1244 - \frac{1244 - 325}{4,148} \left(\frac{0,02}{0,09} \right) = 1195 \text{ Па} ,$$

2-й перетин:

$$e_2 = e_в - \frac{e_в - e_{\text{зн}}}{R_{e\Sigma}} \left(\frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} \right) = 1244 - \frac{1244 - 325}{4,148} \left(\frac{0,02}{0,09} + \frac{0,19}{0,49} \right) = 1109 \text{ Па} ,$$

3-й перетин:

$$e_3 = e_6 - \frac{e_6 - e_{3н}}{R_{e\Sigma}} \left(\frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} \right) =$$
$$= 1244 - \frac{1244 - 325}{4,148} \left(\frac{0,02}{0,09} + \frac{0,19}{0,49} + \frac{0,01}{0,12} \right) = 1090 \text{ Па},$$

4-й перетин:

$$e_4 = e_{3н} = 325 \text{ Па},$$

де e_6 – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, визначаємо за формулою:

$$e_6 = 0,01\varphi_6 \times E_6 = 0,01 \times 50 \times 2489 = 1245 \text{ Па},$$

де φ_6 – розрахункове значення відносної вологості внутрішнього повітря, %, приймаємо залежно від призначення будинку згідно з таблицею 5.7 або додатком Г [6], $\varphi_6 = 50$ %;

E_6 – парціальний тиск насиченої водяної пари внутрішнього повітря, Па, залежить від температури t_6 , приймаємо за табл. 13.2, $E_6 = 2489$ Па.

де $e_{3н}$ – парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, визначаємо за формулою:

$$e_{3н} = 0,01\varphi_{3н} \times E_{3н} = 0,01 \times 85 \times 382 = 325 \text{ Па},$$

де $\varphi_{3н}$ – розрахункове значення відносної вологості зовнішнього повітря, %, приймаємо згідно з додатком Ж або табл. 24 [33], $\varphi_{3н} = 85$ %;

$E_{3н}$ – парціальний тиск насиченої водяної пари зовнішнього повітря, Па, залежить від температури $t_{3н}$, приймаємо за табл. 13.2, $E_{3н} = 382$ Па.

$R_{e\Sigma}$ – опір паропроникненню огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, визначаємо за формулою:

$$R_{e\Sigma} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_{ym}}{\mu_{ym}} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,19}{0,49} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} =$$
$$= 4,148 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг},$$

де μ – паропроникність матеріалу шару огорожувальної конструкції, $\text{мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$, визначаємо за додатком А або табл. А1 [18]:

- вапняно-піщаний розчин $\mu_1 = 0,09 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$
- мінеральна вата $\mu_{\text{ум}} = 0,49 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$
- цементно-піщаний розчин $\mu_3 = 0,12 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$
- цегла $\mu_4 = 0,11 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па}).$

Визначаємо температуру на перетинів шарів матеріалів огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$, за формулами:

0-й перетин:

$$t_0 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3\text{н}}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_6} \right) = 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,376} \left(\frac{1}{8,7} \right) = 20,1 \text{ } ^{\circ}\text{C},$$

де $t_{3\text{е}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для процесу накопичення вологи в конструкції, що визначається за додатком Г або табл.2 [33] для періоду найбільш холодного місяця року, $^{\circ}\text{C}$, $t_{3\text{е}} = -5,6 \text{ } ^{\circ}\text{C}$;

R_{Σ} – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= \frac{1}{\alpha_6} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{\text{ум}}}{\lambda_{\text{ум}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \\ &= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} = 3,376 \text{ м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}, \end{aligned}$$

де α_6 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, приймаємо за таблицю 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$$

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, приймаємо за таблицю 4.1 або дод. Б [18].

$$\alpha_{3\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$$

1-й перетин:

$$t_1 = t_6 - \frac{t_6 - t_{3\text{н}}}{R_0} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) = 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,376} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} \right) = 19,9 \text{ } ^{\circ}\text{C},$$

2-й перетин:

$$\begin{aligned} t_2 &= t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} \right) = \\ &= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,376} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} \right) = -1,5 \text{ } ^\circ\text{C} , \end{aligned}$$

3-й перетин:

$$\begin{aligned} t_3 &= t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) = \\ &= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,376} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,01}{0,81} \right) = -1,6 \text{ } ^\circ\text{C} , \end{aligned}$$

4-й перетин:

$$\begin{aligned} t_4 &= t_6 - \frac{t_6 - t_{3H}}{R_o} \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) = \\ &= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,376} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} \right) = -5,3 \text{ } ^\circ\text{C} , \end{aligned}$$

Використовуючи отримані значення температур за табл. 13.2 визначаємо парціальний тиск насиченої водяної пари, Па, на перетині шарів матеріалів огорожувальної конструкції:

0-й перетин:

$$E_0 = 2354 \text{ Па} ,$$

1-й перетин:

$$E_1 = 2329 \text{ Па} ,$$

2-й перетин:

$$E_2 = 542 \text{ Па} ,$$

3-й перетин:

$$E_3 = 538 \text{ Па} ,$$

4-й перетин:

$$E_4 = 393 \text{ Па} .$$

Визначаємо для яких шарів матеріалів огорожувальної конструкції необхідно виконувати розрахунок приросту вологи.

Так як:

0-й перетин:

$$E_0 = 2354 \text{ Па} > e_0 = 1245 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується;} ,$$

1-й перетин:

$$E_1 = 2329 \text{ Па} > e_1 = 1195 \text{ Па} , \text{ то розрахунок не виконується;} ,$$

2-й перетин:

$E_2 = 542 \text{ Па} < e_2 = 1109 \text{ Па}$, то виконується розрахунок приросту вологи у шарі прилеглому до зони конденсації з боку внутрішньої поверхні (мінеральна вата);

3-й перетин:

$E_3 = 538 \text{ Па} < e_3 = 1091 \text{ Па}$, то виконується розрахунок приросту вологи у шарі прилеглому до зони конденсації з боку внутрішньої поверхні (цементно-піщаний розчин);

4-й перетин:

$E_4 = 393 \text{ Па} > e_4 = 325 \text{ Па}$, то розрахунок не виконується;

Зона конденсації знаходиться між 2-м та 3-м перетином.

Розрахунок приросту вологи у шарі мінеральної вати виконуємо за формулою:

$$\Delta w = \frac{W}{\delta_k \times \rho_k} 100 = \frac{0,81}{0,19 \times 125} 100 = 3,41 \%,$$

де W – кількість вологи, що конденсується у товщі огорожувальної конструкції за період накопичення вологи в конструкції, $\text{кг}/\text{м}^2$, що розраховується за формулою:

$$W = \tau(i_B - i_3)10^{-6} = 744(1152 - 62) \times 10^{-6} = 0,81 \text{ кг}/\text{м}^2$$

де τ – період накопичення вологи в конструкції, год, визначається за формулою:

$$\tau = T \times 24 = 31 \times 24 = 744 \text{ год},$$

де T – кількість днів у січні;

24 – кількість годин у добі, год.

i_B – кількість водяної пари, $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, що надходить до зони конденсації зі сторони приміщення дорівнює

$$i_B = \frac{e_B - p_B}{R_{eB}} = \frac{1245 - 542}{0,61} = 1152 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

де R_{eB} – опір паропроникненню частини огорожувальної конструкції від внутрішньої поверхні до зони початку конденсації, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, що визначається за формулою:

$$R_{eB} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_{yt}}{\mu_{yt}} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,19}{0,49} = 0,61 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг},$$

де i_3 – кількість водяної пари, мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації дорівнює

$$i_3 = \frac{p_3 - e_3}{R_{e3}} = \frac{538 - 325}{3,455} = 62 \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{год)}$$

де R_{e3} – опір паропроникненню частини огорожувальної конструкції від зовнішньої поверхні до зони кінця конденсації, м²·год·Па/мг, що визначається за формулою:

$$R_{e3} = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0,38}{0,11} = 3,455 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг},$$

δ_k – товщина шару матеріалу, м, у якому відбувається накопичення вологи, що конденсується (від зони конденсації до внутрішньої поверхні шару), $\delta_k = \delta_{yt} = 0,19$ м;

ρ_k – густина шару матеріалу, в якому відбувається конденсація вологи, кг/м³, що визначається згідно з додатком А або таблицею А.1 [18], $\rho_k = \rho_{yt} = 125$ кг/м³.

Визначаємо допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, в шарі мінеральної вати, % за масою, що встановлюється згідно з табл. 13.1 $\Delta w_\delta = 2,5$ %.

Так як $\Delta w = 3,41$ % > $\Delta w_\delta = 2,5$ % то необхідний додатковий шар пароізоляції розташований перед шаром мінеральної вати.

Виконуємо аналіз вологісного стану огороження в інші місяці року.

Вологонакопичення, кг/м², та підвищення вологості в утеплювачі, %, в інші місяці року, наведені у таблиці 13.3.

На рисунку 13.15 наведений графік зміни вологості утеплювача протягом року.

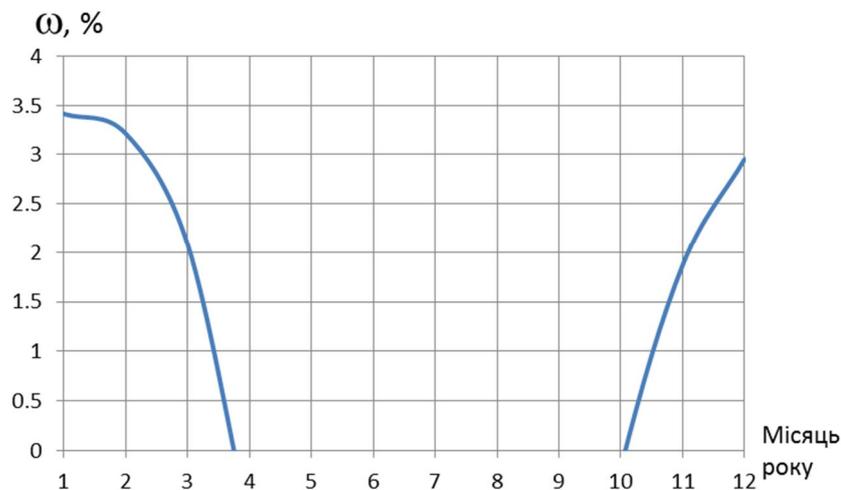


Рис. 13.15 Графік зміни вологості утеплювача

Таблиця 13.3

Вологонакопичення в утеплювачі

Місяць року	Вологонакопичення в утеплювачі за місяць року, кг/м ²	Підвищення вологості в утеплювачі за місяць року, %
1	0.810768	3,41376
2	0.7631853	3.213411789
3	0.4946072	2.082556632
4	-0.1847474	-0.777883789
5	-0.9053705	-3.812086316
6	-1.3429816	-5.654659368
7	-1.6160993	-6.804628632
8	-1.4993376	-6.313000421
9	-0.7406421	-3.118493053
10	-0.0422867	-0.178049263
11	0.4447331	1.872560421
12	0.7016953	2.954506526
Всього за рік	-3.1164763	-13.12200547

Річний баланс вологонакопичення в утеплювачі наведений у таблиці 13.4.

Таблиця 13.4

Річний баланс вологонакопичення в утеплювачі

Вологонакопичення, кг/м ² , в утеплювачі протягом 11-3 місяців року	$W_{зп}$	3.21
Вологовіддача, кг/м ² , з утеплювача протягом 4-10 місяців року	$W_{лп}$	6.33

Висновки:

1. У січні підвищення вологості утеплювача складає 3,4 %, що перевищує допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу, яке для мінеральної вати складає $\Delta\omega_{\delta} = 2,5$ %.

2. Вологонакопичення в утеплювачі відбувається протягом чотирьох місяців.

3. Річний баланс вологи в утеплювачі від'ємний, тобто $W_{зп} < W_{лп}$.

13.7. Визначення опору паропроникненню шару пароізоляції

Опір паропроникненню шару пароізоляції за звичай визначається з умов відсутності конденсації водяної пари в огороженні.

У багатошарових огороджувальних конструкціях де потік пароподібної вологи рухається від внутрішнього повітря до зовнішнього (у зимовий період) найбільш небезпечним перетином з точки зору утворення конденсату є місце, де зовнішня поверхня утеплювача стикується з конструктивним шаром огороження. У будівлях холодильників, де потік пароподібної вологи рухається від зовнішнього повітря до внутрішнього, найбільш небезпечним перетином з точки зору утворення конденсату є місце, де внутрішня поверхня утеплювача стикується з конструктивним шаром огороження.

Щоб в огороженні не відбувалася конденсація водяної пари опір паропроникненню шару пароізоляції повинен бути таким, щоб кількість вологи, що надходить до перетину де можлива конденсація дорівнювала кількості вологи, що виходить з нього. Тобто повинна виконуватися наступна умова:

$$\frac{e_в - e_к}{R_{ев} + R_{е.пар}} = \frac{e_к - e_з}{R_{ез}},$$

де $e_в$, $e_з$ – парціальні тиски водяної пари e , Па, на внутрішній та зовнішній поверхні огороження відповідно, що розраховують за формулами:

$$\begin{aligned} e_в &= 0,01 \cdot \varphi_в \cdot E_в, \\ e_з &= 0,01 \cdot \varphi_{зв} \cdot E_з, \end{aligned}$$

де $\varphi_в$ – відносна вологість внутрішньої температури холодильної камери, що залежить від її призначення;

$\varphi_{зв}$ – відносна вологість зовнішнього повітря найспекотнішого місяця року міста, де розташована будівля холодильника, визначається додатком Ж або табл. 24, [33];

$E_в$ – максимальна пружність водяного пару внутрішнього повітря визначається по значенням цієї температури;

$E_{зв}$ – максимальна пружність водяної пари зовнішнього повітря визначається по значенням цієї температури;

$R_{ев}$ – опір паропроникненню шарів огороджувальної конструкції, що розташовані між внутрішньою поверхнею та перерізом де можлива конденсація, ($\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}$)/мг, визначається за наступною формулою:

$$R_{e\sigma} = \sum \frac{\delta_j}{\mu_j},$$

де δ_j – товщина шарів огорожувальної конструкції, м, (без шару пароізоляції) розташованих між внутрішньою поверхнею огороження та перерізом, де можлива конденсація;

μ_j – коефіцієнт паро проникності матеріалу шарів огорожувальної конструкції, мг/(м·год·Па), (без шару пароізоляції) розташованих між внутрішньою поверхнею огороження та перерізом, де можлива конденсація визначають відповідно до додатку А або таблиці А.1 [18];

$R_{e,нар}$ – опір паро проникненню шару пароізоляції, (м² · год · Па)/мг,

$R_{e\sigma}$ – опір паропроникненню шарів огорожувальної конструкції, (м² · год · Па)/мг, що розташовані між зовнішньою поверхнею та перерізом, де можлива конденсація, визначається за формулою:

$$R_{e\sigma} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

де δ_i – товщина шарів огорожувальної конструкції, м, розташованих між зовнішньою поверхнею огороження та перерізом, де можлива конденсація;

μ_i – коефіцієнт паро проникності матеріалу шарів огорожувальної конструкції, мг/(м · год · Па), розташованих між зовнішньою поверхнею огороження та перерізом, де можлива конденсація визначають відповідно до додатку А або таблиці А.1 [18];

e_k – парціальний тиск водяної пари, Па, у зоні можливої конденсації.

Накопичення вологи у перетині відбуватися не буде якщо e_k не буде перевищувати пружність насиченої водяної пари E_k у зоні можливої конденсації.

E_k визначається за значенням температури у перерізі де можлива конденсація.

Температури у перерізі де можлива конденсація t_k визначається за формулою:

$$t_k = t_\sigma - \frac{t_\sigma - t_{3H}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_\sigma} + \sum \frac{\delta_j}{\mu_j} \right),$$

де R_Σ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м² · К/Вт, визначаємо за формулою:

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

де $\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18].

$$\alpha_{\text{зн}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Опір теплопередачі шару пароізоляції можна не враховувати так як він складає незначну величину.

Замінюючи значення $e_{\text{к}}$ на $E_{\text{к}}$ отримуємо:

$$\frac{e_{\text{в}} - E_{\text{к}}}{R_{\text{ев}} + R_{\text{е.пар}}} = \frac{E_{\text{к}} - e_{\text{з}}}{R_{\text{ез}}},$$

Звідки опір паропроникненню шару пароізоляції буде визначатися за формулою:

$$R_{\text{е.пар}} = \frac{R_{\text{ез}}(e_{\text{в}} - E_{\text{к}})}{E_{\text{к}} - e_{\text{з}}} - R_{\text{ев}}, \quad (13.14)$$

Задача 13.3 *Визначити опір паропроникненню шару пароізоляції огорожувальної конструкції. Розрахунок виконати для кліматичних умов січні.*

Вихідні данні:

- район будівництва – м. Полтава;
- призначення будівлі – лікувальна.

Розрахункова схема огорожувальної конструкції прийняти з попередньої задачі.

Для такої огорожувальної конструкції перетин 2 є місцем можливої конденсації водяної пари

За таблицею 5.7 або табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову температуру внутрішнього повітря – $t_{\text{в}} = 21^{\circ}\text{C}$

За таблицею 5.7 або табл. Г.2 [6] визначаємо розрахункову відносну вологість внутрішнього повітря – $\varphi_{\text{в}} = 55\%$

За таблицею 5.9 або табл. Г.1 [6] визначаємо тепловологісний режим приміщення – нормальний;

За таблицею 5.10 або дод. К [6] визначаємо вологісні умови експлуатації матеріалу в огороджувальній конструкції – Б;

За додатком А або [18], табл. А1 визначаємо розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огороджувальної конструкції:

- вапняно-піщаний розчин	$\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- мінеральна вата	$\lambda_{\text{ут}} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цементно-піщаний розчин	$\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- цегла	$\lambda_4 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$

За додатком А або [18], табл. А1 визначаємо розрахункові коефіцієнти паропроникненості матеріалів шарів огороджувальної конструкції:

- вапняно-піщаний розчин	$\mu_1 = 0,09 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$
- мінеральна вата	$\mu_{\text{ут}} = 0,49 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$
- цементно-піщаний розчин	$\mu_3 = 0,12 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$
- цегла	$\mu_4 = 0,11 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па}).$

Визначаємо опір паропроникненню шару пароізоляції буде визначатися за формулою:

$$R_{e.\text{пар}} = \frac{R_{e3}(e_6 - E_k)}{E_k - e_3} - R_{e6} =$$

$$= \frac{3,538(1245 - 542)}{542 - 325} - 0,61 = 10,85 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}/\text{мг},$$

де R_{e3} – опір паропроникненню шарів огороджувальної конструкції, $(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}/\text{мг}$, що розташовані між зовнішньою поверхнею та перерізом, де можлива конденсація, визначається за формулою:

$$R_{e3} = \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} = 3,538 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па)}/\text{мг},$$

e_6 – парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, визначаємо за формулою:

$$e_6 = 0,01\varphi_6 \times E_6 = 0,01 \times 50 \times 2489 = 1245 \text{ Па},$$

де φ_6 – розрахункове значення відносної вологості внутрішнього повітря, %, приймаємо залежно від призначення будинку згідно з таблицею 5.7 або табл. Г.2 [6], $\varphi_6 = 50 \%$;

E_g – парціальний тиск насиченої водяної пари внутрішнього повітря, Па, залежить від температури t_g , приймаємо за табл. 13.2 $E_g = 2489$ Па.

E_k – пружність насиченої водяної пари, Па, у перетині де можлива конденсація (перетин 2) визначається за значенням температури у цьому перетині.

Температури у перерізі де можлива конденсація t_k визначається за формулою:

$$t_k = t_g - \frac{t_g - t_{zn}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} \right) =$$

$$= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,376} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} \right) = -1,5 \text{ } ^\circ\text{C} ,$$

де R_Σ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, визначаємо за формулою:

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_3} + \sum \frac{\delta_j}{\mu_j} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} = 3,376 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт} ,$$

де α_g – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_g = 8,7 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18].

$$\alpha_{zn} = 23 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Тоді:

$$E_k = 542 \text{ Па} ,$$

де e_{zn} – парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, визначаємо за формулою:

$$e_{zn} = 0,01 \varphi_{zn} \times E_{zn} = 0,01 \times 85 \times 382 = 325 \text{ Па} ,$$

де φ_{zn} – розрахункове значення відносної вологості зовнішнього повітря, %, приймаємо згідно з додатком Ж або табл. 24 [33], $\varphi_{zn} = 85\%$;

E_{zn} – парціальний тиск насиченої водяної пари зовнішнього повітря, Па, залежить від температури t_{zn} , приймаємо за табл. 13.2, $E_{ze} = 382$ Па.

R_{ev} – опір паропроникненню шарів огорожувальної конструкції, що розташовані між внутрішньою поверхнею та перерізом де можлива конденсація, ($m^2 \cdot год \cdot Па$)/мг, визначається за формулою:

$$R_{ev} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_{ym}}{\mu_{ym}} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,19}{0,49} = 0,61 (m^2 \cdot год \cdot Па)/мг,$$

13.8. Визначення опору паропроникненню шару пароізоляції в огорожувальній конструкції графоаналітичним методом

Визначення опору паропроникненню шару пароізоляції в зовнішніх огорожувальних конструкція виконується у наступній послідовності:

1. Визначають опір паропроникненню шарів огорожувальної конструкції за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

де δ_i – товщина шарів огорожувальної конструкції, м;

μ_i – коефіцієнт паропроникності матеріалу шарів огорожувальної конструкції, $мг/(м \cdot год \cdot Па)$, визначають відповідно до додатком А або табл. А.1 [18];

2. Відкладають по горизонталі у масштабі визначені величини опорів паропроникненню шарів огорожувальної конструкції.

3. Визначають парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, за формулою:

$$e_e = 0,01\varphi_e \times E_e,$$

де φ_e – розрахункове значення відносної вологості внутрішнього повітря, %, приймають залежно від призначення будинку згідно з таблицею 5.7 або додатком Г [6];

E_e – парціальний тиск насиченої водяної пари внутрішнього повітря, Па, залежить від температури t_e , приймають за табл. 13.2.

4. Визначають парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, за формулою:

$$e_{зн} = 0,01\varphi_{зн} \times E_{зн} ,$$

де $\varphi_{зн}$ – розрахункове значення відносної вологості зовнішнього повітря, %, приймають згідно з додатком Ж або табл. 24 [33];

$E_{зн}$ – парціальний тиск насиченої водяної пари зовнішнього повітря, Па, залежить від температури $t_{зн}$, приймають за табл. 13.2.

5. Визначають температуру у місці можливої конденсації за формулою:

$$t_k = t_e - \frac{t_e - t_{зн}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_j}{\mu_j} \right),$$

де t_e – температура внутрішнього повітря, °С, приймають за таблицею 5.7 або табл. Г.2 [6];

$t_{зн}$ – температура зовнішнього повітря, °С, приймають за табл. 2 [42].

R_Σ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, визначають за формулою:

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_3} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

де α_e – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_e = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18].

$$\alpha_{зн} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

де δ_j – товщина шарів огорожувальної конструкції, м, розташованих між внутрішньою поверхнею огородження та перерізом де можлива конденсація;

λ_i – розрахункові коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, приймають за дод. Л [6].

6. Використовуючи значення температури у місці можливої конденсації визначають пружність насиченої водяної пари.

7. Відкладають на внутрішній та зовнішній поверхні огородження отримані значення e_e та $e_{зн}$ з'єднуючи їх прямою лінією.

8. Відкладають на перетині можливої конденсації значення E_k .

9. З точки e_6 ліворуч проводять горизонтальну лінію. З точки e_{3n} через точку E_k проводять пряму лінію до перетину з горизонтальною лінією проведеною з точки e_6 .

Горизонтальний відрізок від внутрішньої поверхні огороження до точки перетину проведених ліній є опором паропроникненню шару пароізоляції.

Задача 13.4 *Визначити графоаналітичним методом опір паропроникненню шару пароізоляції в огорожувальній конструкції.*

Вихідні дані використати з попередньої задачі.

Визначаємо опір паропроникненню шару:

- вапняно-піщаного розчину:

$$R_{6.n} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02}{0,09} = 0,222 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па) / мг ,}$$

- мінеральної вати:

$$R_{м.в} = \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} = \frac{0,19}{0,49} = 0,388 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па) / мг ,}$$

- цементно-піщаного розчину:

$$R_{ц.п} = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,01}{0,12} = 0,083 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па) / мг ,}$$

- цегли:

$$R_{ц} = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,38}{0,11} = 3,455 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па) / мг ,}$$

Відкладаємо по горизонталі у масштабі визначені величини опорів паропроникненню шарів огорожувальної конструкції.

Визначаємо парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, за формулою:

$$e_6 = 0,01\varphi_6 \times E_6 = 0,01 \times 50 \times 2489 = 1245 \text{ Па ,}$$

де φ_6 – розрахункове значення відносної вологості внутрішнього повітря, %, приймаємо залежно від призначення будинку згідно з таблицею 5.7 або додатком Г [6], $\varphi_6 = 50 \%$;

E_g – парціальний тиск насиченої водяної пари внутрішнього повітря, Па, залежить від температури t_g , приймаємо за табл. 13.2, $E_g = 2489$ Па.

Визначаємо парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря, Па, за формулою:

$$e_{zn} = 0,01\varphi_{zn} \times E_{zn} = 0,01 \times 85 \times 382 = 325 \text{ Па} ,$$

де φ_{zn} – розрахункове значення відносної вологості зовнішнього повітря, %, приймаємо згідно з додатком Ж або табл. 24 [33], $\varphi_{zn} = 85$ %;

E_{zn} – парціальний тиск насиченої водяної пари зовнішнього повітря, Па, залежить від температури t_{zn} , приймаємо за табл. 13.2, $E_{ze} = 382$ Па.

Визначаємо температуру у місці можливої конденсації за формулою:

$$t_k = t_g - \frac{t_g - t_{zn}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} \right) =$$

$$= 21 - \frac{21 - (-5,6)}{3,376} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} \right) = -1,5 \text{ } ^\circ\text{C} ,$$

де R_Σ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, визначаємо за формулою:

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,19}{0,07} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} = 3,376 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} ,$$

де α_g – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18];

$$\alpha_g = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймаємо за таблицею 4.1 або дод. Б [18].

$$\alpha_{zn} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Використовуючи значення температури у місці можливої конденсації визначаємо пружність насиченої водяної пари:

$$E_k = 542 \text{ Па} .$$

Відкладаємо на внутрішній та зовнішній поверхні огороження відповідні значення $e_e = 1245 \text{ Па}$ та $e_{zn} = 325 \text{ Па}$. Зеднуємо прямою лінією отримані точки (рисунок 13.16).

Відкладаємо на перетині можливої конденсації значення $E_k = 542 \text{ Па}$.

З точки e_e ліворуч проводимо горизонтальну лінію. З точки e_{zn} через точку E_k проводимо пряму лінію до перетину з горизонтальною лінією проведеною з точки e_e .

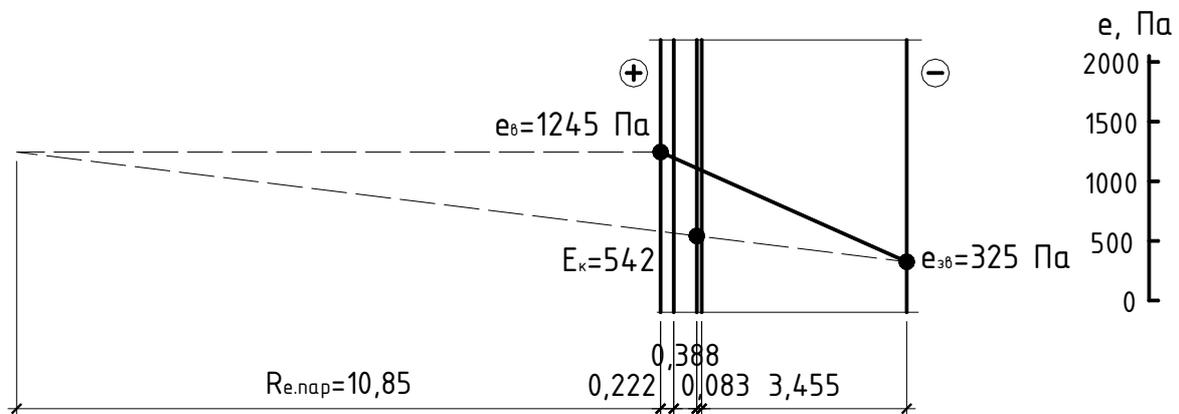


Рис. 13.16 Графоаналітичний метод визначення опору паропроникненню шару пароізоляції

Горизонтальний відрізок від внутрішньої поверхні огороження до точки перетину проведених ліній є опором паропроникненню шару пароізоляції.

Як видно з рисунка 13.16 $R_{e,пар} = 10,85 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг}$.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть і охарактеризуйте види вологи, що впливають на будинок.
2. Заходи захисту від зволоження будівельних конструкцій.
3. Абсолютна та відносна вологість повітря.
4. Конденсаційне зволоження.
5. Температура точки роси.
6. Сорбційне зволоження.
7. Паропроникнення. Коефіцієнт паропроникнення.

8. Визначення кількості водяної пари, що проникає крізь огородження.
9. Визначення опору паропроникненню.
10. Розрахунок вологісного режиму огородження.
11. Особливості конструктивних рішень огороджень для вологих умов експлуатації.

Задачі для самостійного вирішення

Задача 13.4 Визначити, при якій відносній вологості внутрішнього повітря на внутрішній поверхні огородження буде випадати конденсат, якщо температура поверхні $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура повітря $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Задача 13.5 Визначити, при якій температурі внутрішнього повітря на внутрішній поверхні огородження буде випадати конденсат, якщо температура поверхні $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, а відносна вологість внутрішнього повітря 50% .

14 ПРОЕКТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНИКІВ

У будівельній практиці зустрічаються огорожувальні конструкції зі значним опором паропроникненню внутрішніх і зовнішніх поверхонь. Так, огорожувальні конструкції (у першу чергу стіни і покриття) низькотемпературних камер холодильників, що піддаються впливам зовнішнього клімату, повинні мати щільну, водонепроникну зовнішню поверхню. Цією поверхнею в покритті є покрівля, що відіграє роль гідро- і пароізоляції (напрямок руху водяних парів у літній розрахунковий період року від зовнішньої поверхні в середину приміщення).

Внутрішня поверхня покриття з конструктивних і гігієнічних міркувань, як правило, виконується також із щільних зі значним опором паропроникненню матеріалів (наприклад, залізобетонні плити, облицювання плиткою). В експлуатаційних умовах внутрішня поверхня стін і покриттів, холодильних камер, маючи негативну температуру, промерзає, внаслідок чого утворюється шар із високим опором паропроникненню. Внутрішній шар у цьому випадкові перешкоджає видаленню будівельної вологи і виходу водяної пари, що проникає в конструкцію внаслідок різниці парціальних тисків. У результаті в огороженні відбувається інтенсивне накопичення вологи й зниження теплозахисних якостей зовнішніх огорожень. Можливе утворення шарів льоду та руйнація конструкції.

На рисунку 14.1 зображена схема холодильної камери, що забезпечує нормальний вологісний режим матеріалів огорожувальної конструкції (а.с. №1188476 А).

Огороження камери мають повітряний прошарок, суцільний або у вигляді каналів, що сполучається з внутрішнім об'ємом камери. Камера обладнана системою подачі осушеного повітря в повітряний прошарок і видалення вологого повітря з прошарку.

Принцип роботи системи осушення і підтримки нормального вологісного режиму огорожень такий.

Холодне повітря з низькою абсолютною вологістю з внутрішнього об'єму 5 холодильної камери надходить по повітроводу 4 на устрій 7 для підігріву. Підігріте повітря мінімальної відносної вологості за рахунок статичного перепаду тисків надходить у повітряний прошарок 3 огороження. Сухе повітря, проходячи по каналах, сорбує пароподібну вологу і видаляється назовні або надходить через канал 8 у внутрішній об'єм приміщення, де, охолоджуючись, втрачає за рахунок конденсації надлишкову вологу, сорбовану в каналах огороження.

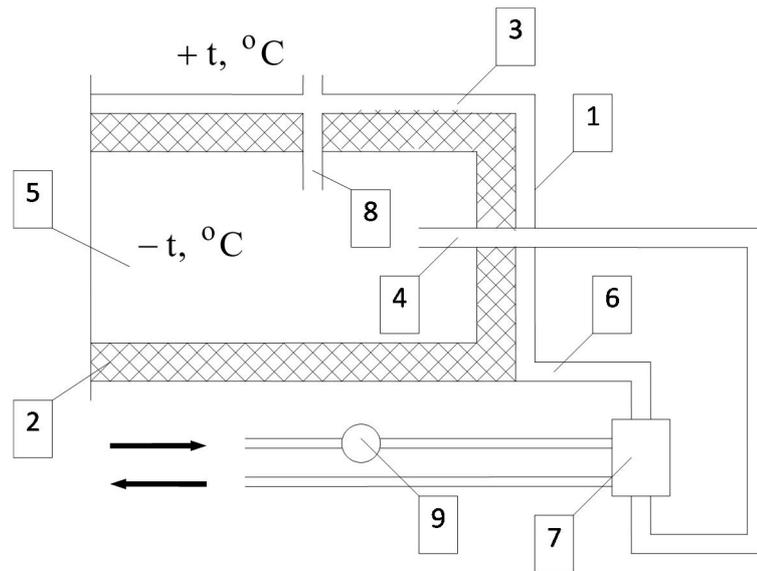


Рис. 14.1 Схема холодильної камери і системи запобігання зволоження огорожень:

1 – зовнішній шар огороження; 2 – теплоізоляція; 3 – повітряний прошарок; 4 – забір холодного повітря; 5 – внутрішній об’єм камери; 6 – канал подачі повітря в повітряний прошарок; 7 – пристрій підігріву повітря; 8 – канал виходу зволоженого повітря з регулятором кількості; 9 – регулятор температури підігріву повітря

Інтенсивність вентиляування повітряних каналів у період видалення будівельної (початкової) вологи буде більшою. Надалі інтенсивність вентиляування повинна бути мінімальною, достатньою для видалення водяної пари, що проникає в огороження, внаслідок різниці парціальних тисків по обидві його сторони. У повітряному прошарку за рахунок аеродинамічного опору буде підтримуватися незначний надлишковий тиск, що перешкоджає надходженню вологи через можливі дефекти пароізоляції з атмосфери в теплоізоляцію огороження. З метою зменшення впливу повітряного прошарку на теплопередачу крізь огороження, повітря, що надходить у повітряний прошарок, попередньо підігрівається до температури, близької до зовнішньої поверхні утеплювача.

Викладений принцип можна застосовувати також при проектуванні огорожувальних конструкцій приміщень із вологим і мокрим режимом (лазнево-пральні комбінати, фарбувальні цехи й ін.). У цьому випадку канали для циркуляції осушеного повітря повинні розташовуватися у внутрішніх шарах огороження. При необхідності природна циркуляція повітря в каналах може бути посилена примусовим спонуканням.

Можливі способи зменшення вологості утеплювача в покритті будівель холодильників:

1. Виконати перфорацію несучої плити покриття

Перфорацію плити зробити за рахунок отворів невеликого діаметра. Приклад перфорації наведений на рисунку 4.3. Величина перфорації для наведеної схеми склала 12,6 %. Опір паропроникненню залізобетонної плити покриття товщиною 30 мм становить $1 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}$. Опір паропроникненню наскрізного отвору дорівнює нулю. Тоді приведений опір буде становити $0,87 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.

Схема перфорації плити покриття наведена на рисунку 14.2.

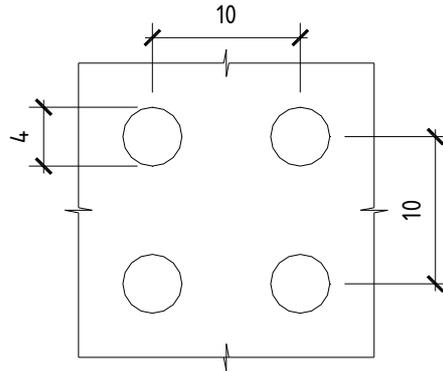


Рис. 14.2 Схема перфорації плити

Зниження опору паропроникненню плити покриття приводить до збільшення швидкості виходу пароподібної вологи з утеплювача, внаслідок чого знизиться вологість в утеплювачі. На рисунку 1 показані графіки зміни вологості утеплювача (мінеральної вати) в покритті будівлі холодильника з температурою внутрішнього повітря $t_g = -30 \text{ }^\circ\text{C}$ та відносною вологістю $\varphi_g = 95 \%$ протягом 8 років експлуатації. Будівля розташована у кліматичному районі Полтавської області.

Динаміка зміни вологості у мінеральній ваті наведена на рисунку 14.3.

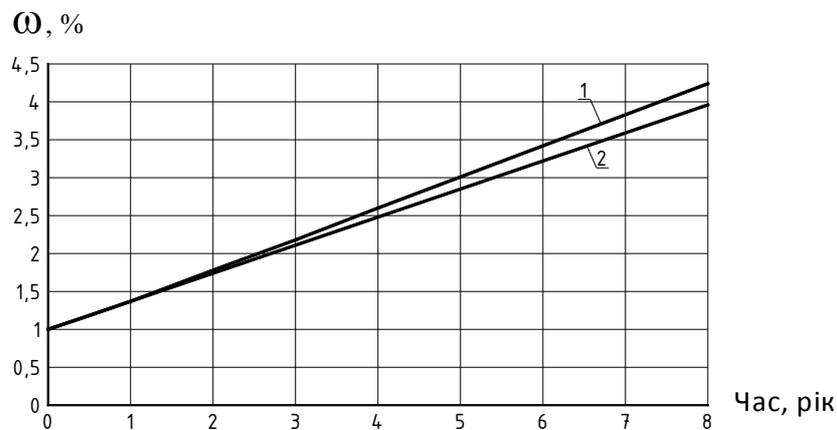


Рис. 14.3 Динаміка зміни вологості у мінеральній ваті: 1 – плита без перфорації; 2 – плита з перфорацією

Як видно з графіків наприкінці 8-ого року експлуатації холодильника в конструкції покриття з перфорацією плити покриття його вологість становить 3,96 %, що на 6 % менше, ніж без перфорації.

Зі збільшенням величини перфорації плити покриття вологість утеплювача зменшується. При цьому необхідно враховувати, що при більшій величині перфорації виникають труднощі з забезпеченням міцності плити покриття. Також слід врахувати ускладнення процесу бетонування плити, збільшення витрат арматури для компенсації втрат міцності внаслідок перфорації, можливість «закриття» отворів льодом, можливість випадання утеплювача крізь отвори.

2. Застосувати покриття з повітряним прошарком під утеплювачем, що вентилюється повітрям з холодильної камери

На рисунку 14.4 показана конструкція такого покриття.

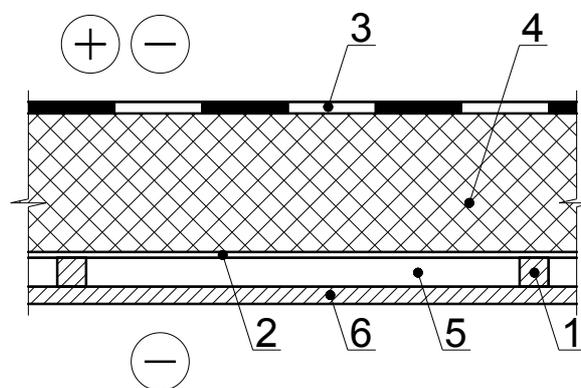


Рис. 14.4 Конструкція покриття з вентиляційним прошарком під утеплювачем: 1 – брусок; 2 – плоский азбестоцементний лист; 3 – покрівельний килим; 4 – утеплювач; 5 – повітряний прошарок; 6 – плита покриття

Повітряний прошарок утворений плоским азбестоцементним листом, який лежить на дерев'яних або залізобетонних брусках, що розташовані з кроком 1 м. На рисунку 14.5 показані графіки зміни вологості утеплювача при застосуванні повітряного прошарку, розташованого під утеплювачем та вентиляційного повітрям з холодильної камери.

У кінці 8-ого року середня вологість утеплювача становила: при вентиляційному прошарку, утвореному азбестоцементним листом товщиною 10 мм, – 3,9 %, при товщині листа 6 мм, – 3,5 %. В порівнянні з покриттям без вентиляційного прошарку середня вологість знижується: в першому випадку на 7 %, у другому на 17 %.

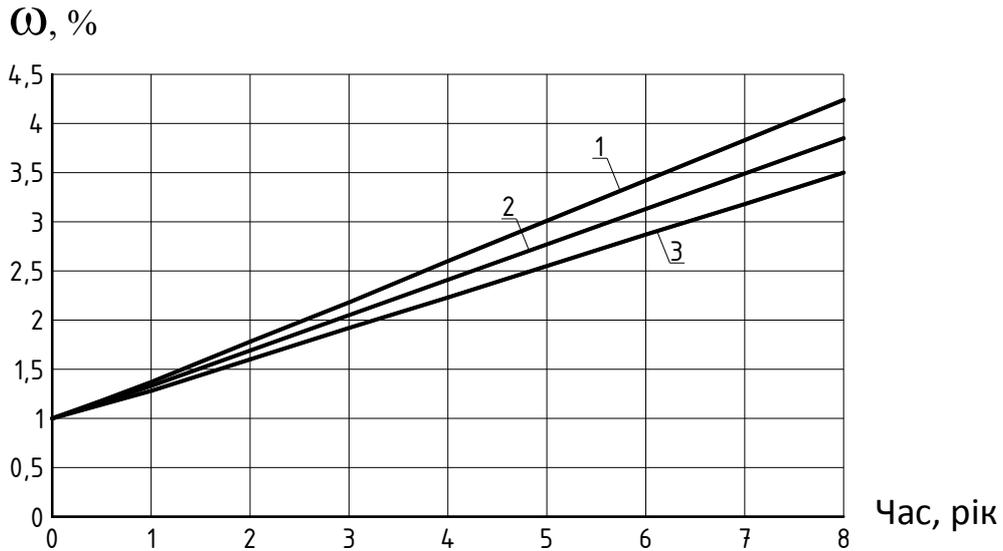


Рис. 14.5 Динаміка зміни вологості мінеральної вати: 1 – покриття без вентилязованого прошарку; 2 – з вентиляваним прошарком (товщина азбестоцементного листа 10 мм); 3 – з вентиляваним прошарком (товщина азбестоцементного листа 6 мм)

Відносно невелике зниження вологості мінеральної вати при застосуванні повітряного прошарку під утеплювачем пояснюється тим, що опір паропроникненню азбестоцементного листа товщиною 10 мм становить $0,33 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг}$ а товщиною 6 мм $-0,2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг}$, що можна порівняти з опором паропроникненню плити покриття, який дорівнює $1 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/мг}$.

3. Застосувати у конструкції покриття нагрівальний шар.

На рисунку 14.6 показана конструкція покриття з нагрівальним шаром.

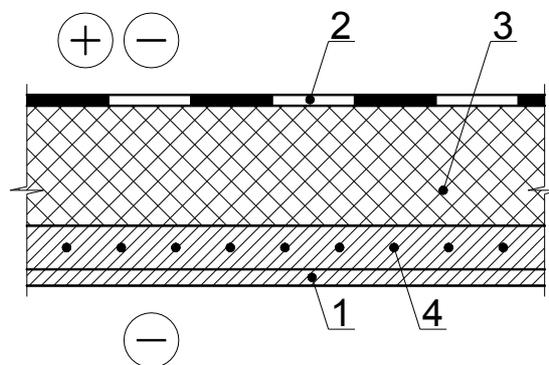


Рис. 14.6 Конструкція покриття з нагрівальним шаром: 1 – плита покриття; 2 – покрівельний килим; 3 – утеплювач; 4 – нагрівальний шар

Нагрівальний шар вирішується за аналогією з нагрівальним шаром у підлогах холодильних камер, з підігрівом. Він виконується з шару бетону товщиною 80 мм, у якому укладені стрижні з круглої (арматурної) сталі діаметром від 6 до 12 мм, котрі використовують як електронагрівачі. Температура нагрівального шару прийнята 40 °С.

Нагрівальний шар розташований на плиті перекриття, яка має малий опір теплопередачі, тому використовувати його у період експлуатації холодильника неможливо, оскільки це призведе до великих теплових потоків, які будуть надходити у холодильник. Використовувати нагрівальний шар можливо у міжексплуатаційний період при зупиненні холодильного обладнання та звільнення холодильних камер від продукції, що в них зберігається. При цьому двері холодильної камери повинні бути відчинені у коридор для підвищення температури в холодильній камері, що прискорює процес осушення утеплювача.

Результати дослідження динаміки зміни вологості в утеплювачі представлені на рисунку 14.7 де показано розподілення вологи по товщині мінеральної вати у конструкції покриття з нагрівальним шаром після осушення протягом січня і липня.

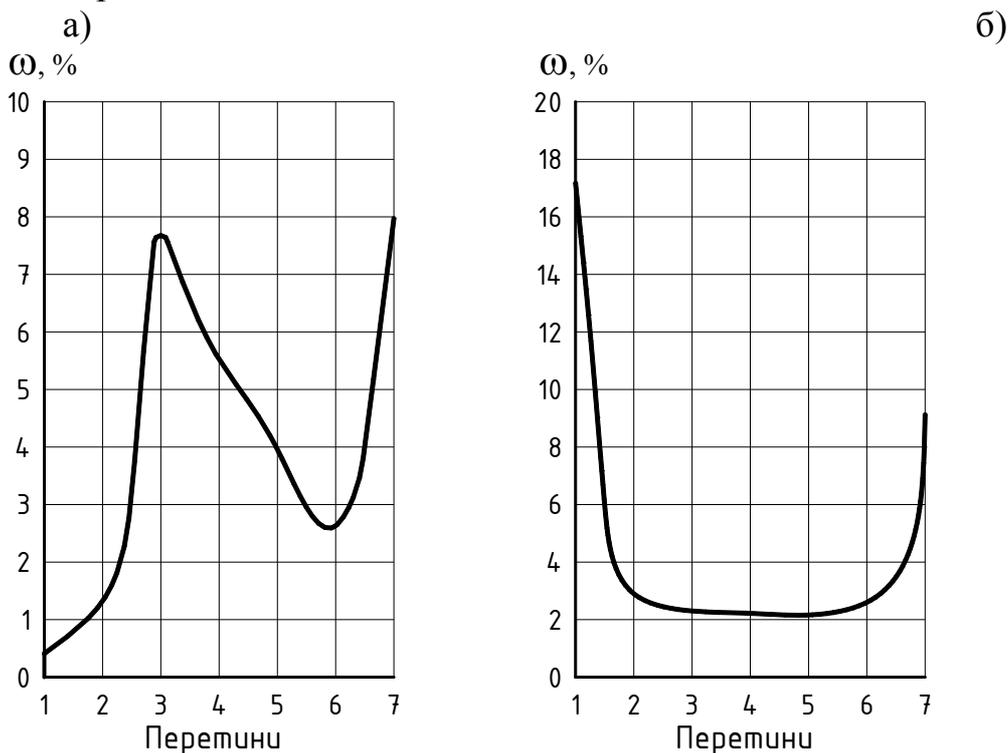


Рис. 14.7 Розподілення вологи по товщині мінеральної вати у конструкції покриття з нагрівальним шаром після осушення протягом: а) січня; б) липня

Як видно з графіків, під впливом температури нагрівального шару волога в утеплювачі переміщується до внутрішньої та зовнішньої його

поверхонь. У січні більша частина вологи виходить крізь внутрішню поверхню утеплювача, а в липні через зовнішню. Пояснюється це тим що, пружність водяної пари внутрішнього повітря в холодильній камері в січні нижча, ніж у липні.

У той же час інтенсивність виходу вологи з утеплювача вища в липні, пояснюється це більш високою температурою зовнішнього повітря. Як бачимо з графіків, наприкінці січня основна частина вологи не досягає зовнішньої поверхні утеплювача, а все ще знаходиться в його середині. Збільшення вологості у зовнішній поверхні утеплювача пояснюється високим опором паропроникненню покрівельного килиму.

У результаті проведених теоретичних досліджень виявлено, що при збільшенні температури утеплювача за допомогою нагрівального шару середня вологість його зменшиться: протягом січня з 5 % до 4,23 %, протягом липня з 5 % до 4,13 %. Вологість утеплювача протягом січня зменшиться у 1,18 разу, протягом липня у 1,21 разу. В той же час улаштування нагрівального шару у внутрішньої поверхні утеплювача сповільнює вихід вологи з утеплювача у камеру, отже, збільшує швидкість накопичення її в період експлуатації холодильника. Виконані дослідження показали, що в кінці 8-ого року експлуатації середня вологість мінеральної вати в конструкції покриття з нагрівальним шаром становитиме 4,38 %. Це на 3 % більше, ніж в утеплювачі покриття без нагрівального шару.

До недоліків цього методу слід віднести те, що:

- він може застосовуватися тільки в міжексплуатаційний період, коли холодильне обладнання не працює і камера звільнена від продукції, яка в ній зберігається;
- необхідна додаткова енергія для роботи нагрівального шару;
- нагрівальний шар сприяє прискоренню вологонакопичення у період експлуатації холодильника, коли нагрівальний шар відключено.

4. Застосувати у покритті нагрівальний шар та вентиляований зовнішнім повітрям прошарок розташований у зовнішньої поверхні утеплювача.

На рисунок 14.8 показана конструкція покриття з нагрівальним шаром та вентиляованим повітряним прошарком.

Застосування повітряного прошарку вентиляованого зовнішнім повітрям спільно з нагрівальним шаром дає можливість знизити опір паропроникненню між зовнішньою поверхнею утеплювача і зовнішнім повітрям до нуля. Це дає можливість прискорити вихід вологи з утеплювача крізь зовнішню поверхню. На рисунку 14.9 показано розподілення вологості по товщині утеплювача після місяця осушення, у конструкції покриття з нагрівальним шаром та повітряним прошарком (суцільна лінія) й у конструкції тільки з нагрівальним шаром (штрихова лінія).

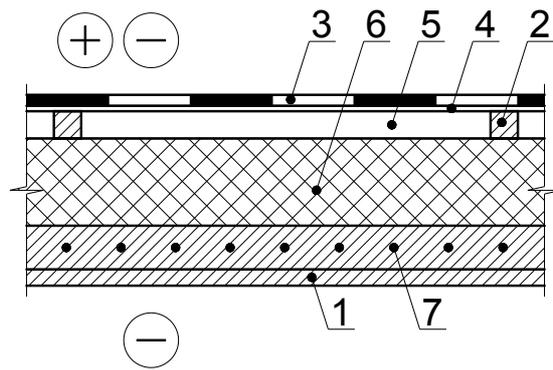


Рис. 14.8 Конструкція покриття з нагрівальним шаром та вентиляльованим зовнішнім повітрям прошарком: 1 – плита покриття; 2 – брусок; 3 – покрівельний килим; 4 – азбестоцементний лист; 5 – повітряний прошарок; 6 – утеплювач; 7 – нагрівальний шар

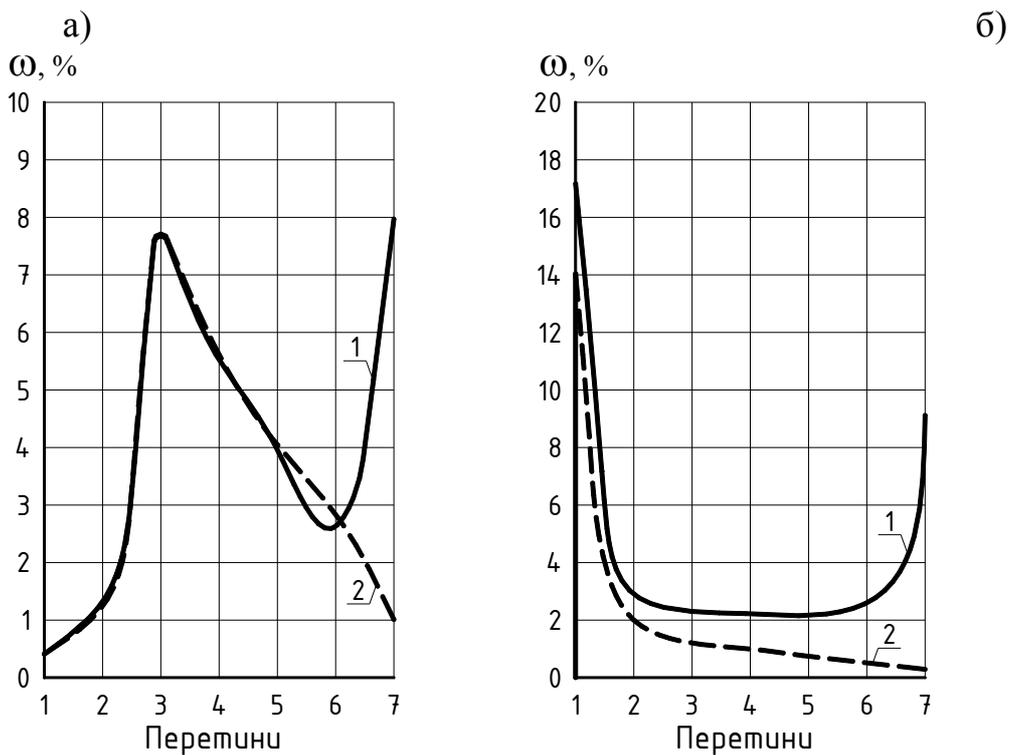


Рис. 14.9 Розподілення вологи по товщині мінеральної вати у конструкції покриття з нагрівальним шаром після осушення протягом: а) січня; б) липня; 1 – покриття з нагрівальним шаром; 2 – покриття з нагрівальним шаром і вентиляльованим повітряним прошарком

У порівнянні з конструкцією покриття тільки з нагрівальним шаром вологість утеплювача у зовнішній поверхні зменшиться в січні на 6,9 %, у

липні на 8,8 %. Відповідно середня вологість в січні зменшиться у 1,15 разу, а в липні у 1,9 разу.

Ця конструкція покриття має ті ж недоліки, що й у попередньому варіанті. Крім того для цієї конструкції виникає необхідність у герметизації вхідних отворів вентиляваного прошарку після закінчення процесу осушення.

5. Застосувати покриття з повітряним прошарком у товщі утеплювача, що вентиляється повітрям з холодильної камери

На рисунок 14.10 показана конструкція цього покриття.

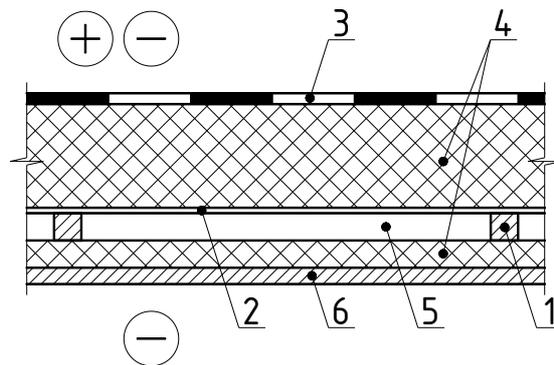


Рис. 14.10 Конструкція покриття з вентиляваним прошарком в утеплювачі: 1 – брусок; 2 – плоский азбестоцементний лист; 3 – покрівельний килим; 4 – утеплювач; 5 – повітряний прошарок; 6 – плита покриття

Дослідження показали, що найбільш оптимальним є місце розташування вентиляваного повітряного прошарку на відстані $1/5$ від внутрішньої поверхні утеплювача. Таке розташування прошарку дає можливість зменшити теплонадходження в холодильну камеру з повітрям із прошарку та підвищити швидкість осушення утеплювача за рахунок наближення до найбільш зволоженого нижнього шару

При застосуванні цієї конструкції можливі декілька схем руху повітря. У невеликих холодильниках, де передбачається нагрівання повітря перед подачею у прошарок та його охолодження перед випуском у холодильник, доцільно виконувати один канал для подачі повітря у покриття та один для випуску повітря в холодильну камеру (рис. 14.11).

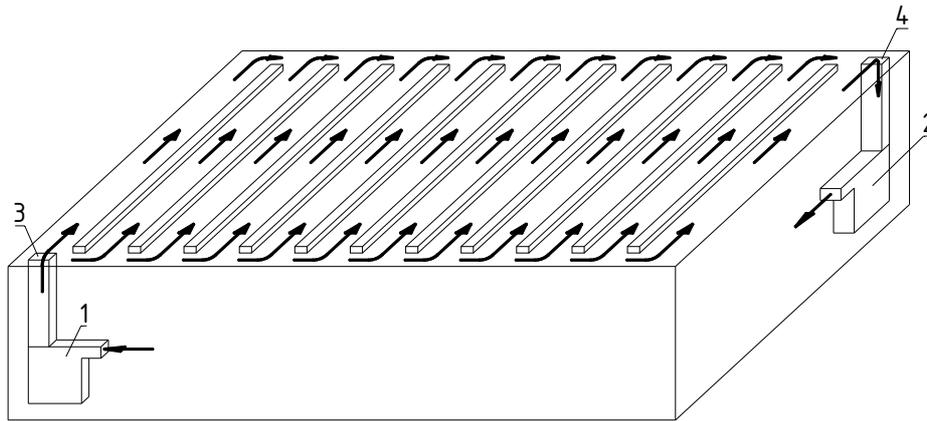


Рис. 14.11 Схема руху повітря в утеплювачі: 1 – нагрівач повітря; 2 – охолоджувач повітря; 3 – впускний канал; 4 – випускний канал

При такій схемі довжина руху повітря від вхідного каналу до випускного по будь-якій ділянці покриття буде однакою, що забезпечить однакову швидкість руху повітря по каналах. Забір повітря доцільно виконувати у поверхні зовнішньої стіни, щоб зменшити тепловий потік у холодильну камеру та зменшити кількість тепла, яке витрачається на нагрівання повітря перед подачею у прошарок. Після охолодження повітря бажано спрямовувати у зону складування продукції.

Якщо повітря з покриття подається у холодильник безпосередньо, без охолодження, то його випуск необхідно розподілити по всьому об'єму камери (рис. 14.12).

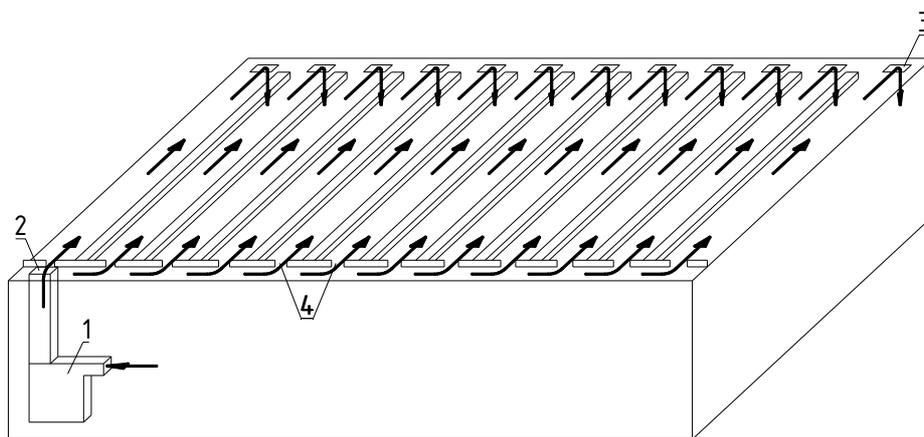


Рис. 14.12 Схема руху повітря в утеплювачі без охолодження: 1 – нагрівач повітря; 2 – впускний канал; 3 – випускний канал; 3 – отвори, що регулюють швидкість повітря по прошарку

Повітря з прошарку необхідно подавати у верхню частину стіни, в зону розташування основного охолоджуючого обладнання. Оскільки

довжина руху повітря від вхідного отвору до вихідного для різних каналів буде не однакою, то його швидкість необхідно регулювати величиною отвору на вході у прошарок.

Схема із замкнутою схемою руху повітря без випуску його в холодильну камеру наведена на рисунку 14.13.

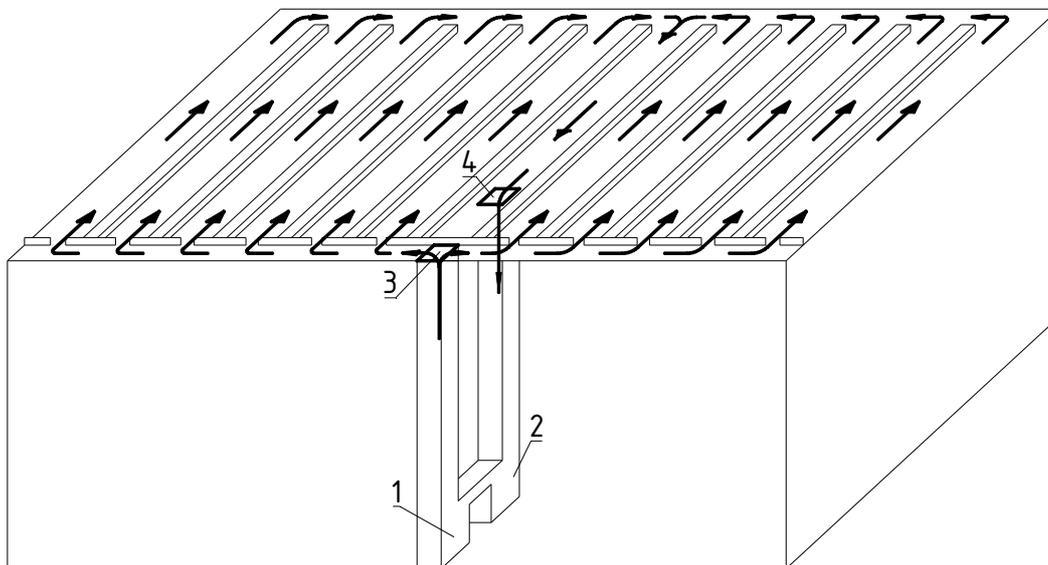


Рис. 14.13 Схема руху повітря у покритті: 1 – нагрівач повітря; 2 – охолоджувач повітря; 3 – впускний канал; 4 – випускний канал

Остання схема більш економічна у порівнянні з попередньою, оскільки охолодження повітря з прошарку необхідно виконувати не до температури в камері, а до температури, характерної для місця розташування прошарку в покритті.

Як видно з наведених рисунків, застосування цієї конструкції покриття приводить до зміни об'ємно-планувального рішення будівлі холодильника, що потребує збільшення товщини покриття, влаштування повітроводів по периметру покриття, додаткової площі в разі застосування нагрівального та охолоджуючого устаткування, зміни схеми складування продукцію в разі розташування нагрівального й охолоджуючого обладнання в об'ємі холодильної камери.

15 ЗАГАЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ ПРИНЦИПИ ЗОВНІШНІХ СТІН ІЗ ФАСАДНОЮ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ

Конструкції фасадної теплоізоляції зовнішніх стін будинків являють собою комплект, який складається з набору виробів, що з'єднуються у збірну систему під час монтажу споруди. Комплект повинен мати характеристики, які дозволяють споруді після її встановлення забезпечувати необхідні енергетичні показники та показники безпеки під час експлуатації.

Збірна система складається з несучої частини зовнішньої стіни та конструкції теплоізоляції, яка розміщується на зовнішній поверхні стіни та включає такі вироби та компоненти, як шар теплової ізоляції, опоряджувальний шар, засоби їх кріплення на несучій частині. Перелік, тип і склад виробів і компонентів є строго фіксованим у комплекті, а їх кількість може змінюватися відповідно до конкретного об'єкта застосування.

Вимоги до зірної системи встановлюються ДБН В.2.6-33:2008, а також вимогами ДСТУ Б В.2.6-34, ДСТУ Б В.2.6-35, ДСТУ Б В.2.6-36 та технічних умов у залежності від конструктивних класів комплектів.

15.1. Класифікація зірних систем

Класифікація зірних систем за конструктивними рішеннями приймається відповідно до ДСТУ Б В.2.6-34 та наведена у таблиці 15.1-15.2.

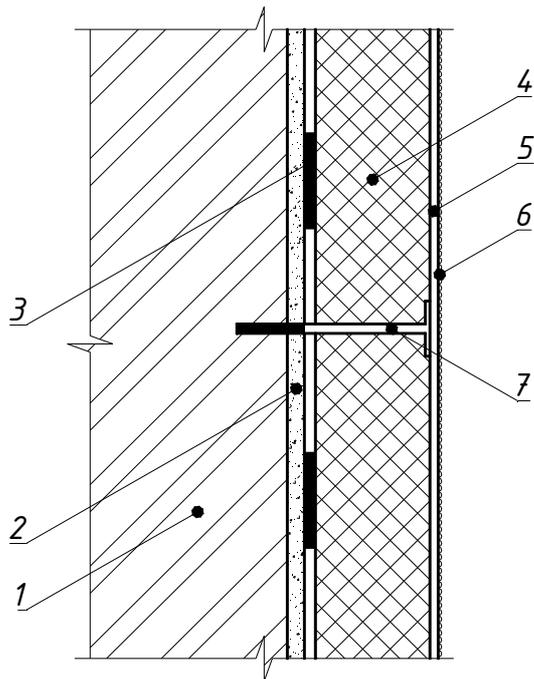
У залежності від конструктивного рішення застосовують зірні системи з опорядженням:

- штукатурками або дрібноштучними елементами (клас А);
- цеглою або стіновими каменями (клас Б);
- індустриальними елементами (клас В);
- прозорими елементами (клас Г). 4.6

Конструктивні схеми зірних систем відповідно до конструктивних класів наведено на рис. 15.1-15.8.

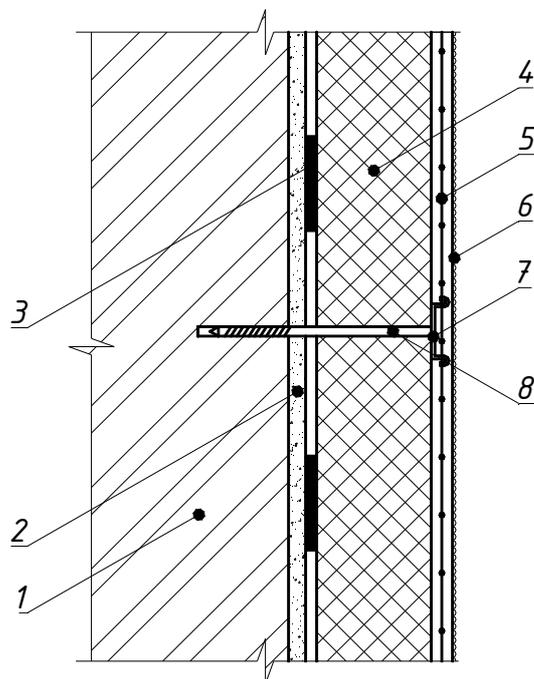
При проектуванні зірних систем слід враховувати конструктивно-технологічні особливості їх застосування та експлуатації.

Зірні системи з опорядженням штукатурками або дрібноштучними виробами (клас А) виконуються з тепловою ізоляцією, що закріплюється на несучій частині стіни, з нанесенням опоряджувального шару на поверхню шару теплової ізоляції. Комплект складається з клейових матеріалів, теплоізоляційного матеріалу, механічних засобів кріплення теплової ізоляції, армувальної сітки, опоряджувального покриття.



- 1 - несуча частина стіни;
- 2 - вирівнювальний штукатурний шар;
- 3 - клейовий шар;
- 4 - шар теплової ізоляції;
- 5 - захисний шар, армований склосіткою;
- 6 - опоряджувальне покриття;
- 7 - елемент механічного кріплення утеплювача

Рис 15.1 Конструктивна схема збірної системи з опорядженням легкими тонкошаровими штукатурками (підклас А1) (Вертикальний переріз)



- 1 - несуча частина стіни;
- 2 - вирівнювальний штукатурний шар;
- 3 - клейовий шар;
- 4 - шар теплової ізоляції;
- 5 - захисний шар, армований металевою сіткою;
- 6 - опоряджувальне покриття;
- 7 - фіксатор металевої сітки;
- 8 - елемент механічного кріплення утеплювача

Рис. 15.2 Конструктивна схема збірної системи з опорядженням товстошаровими штукатурками (підклас А2) (Вертикальний переріз)

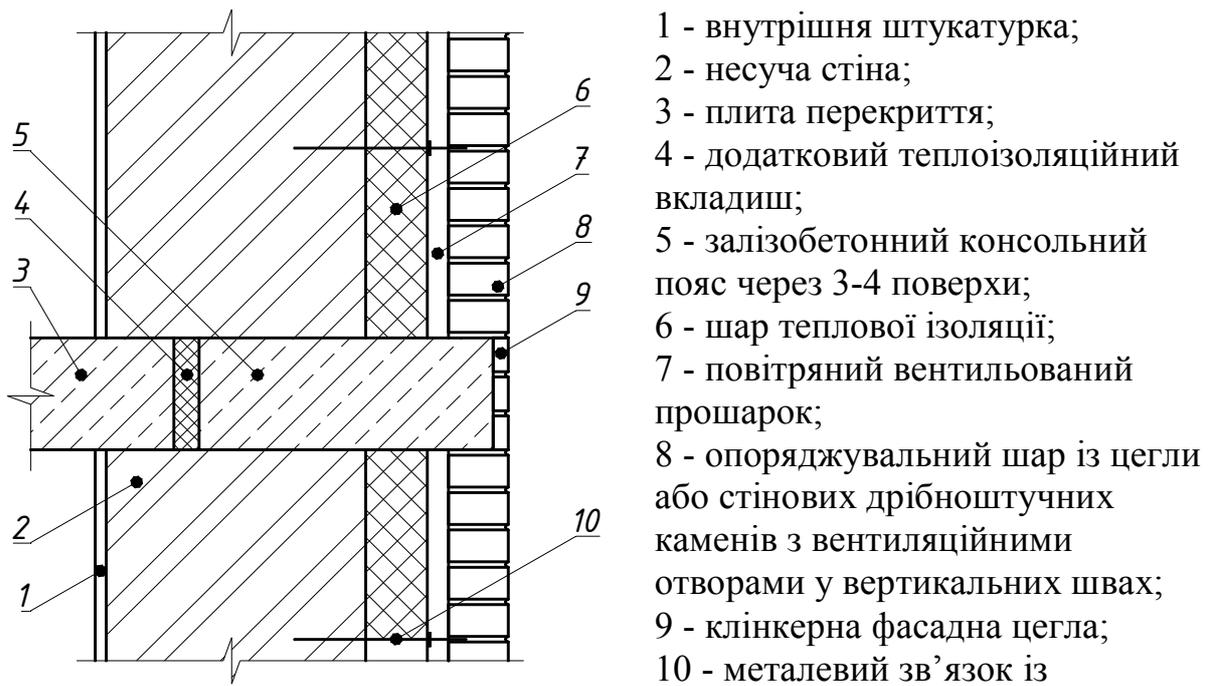


Рис. 15.3 Конструктивна схема збірної системи з несучими зовнішніми стінами (підклас Б.1.1) (Вертикальний переріз)

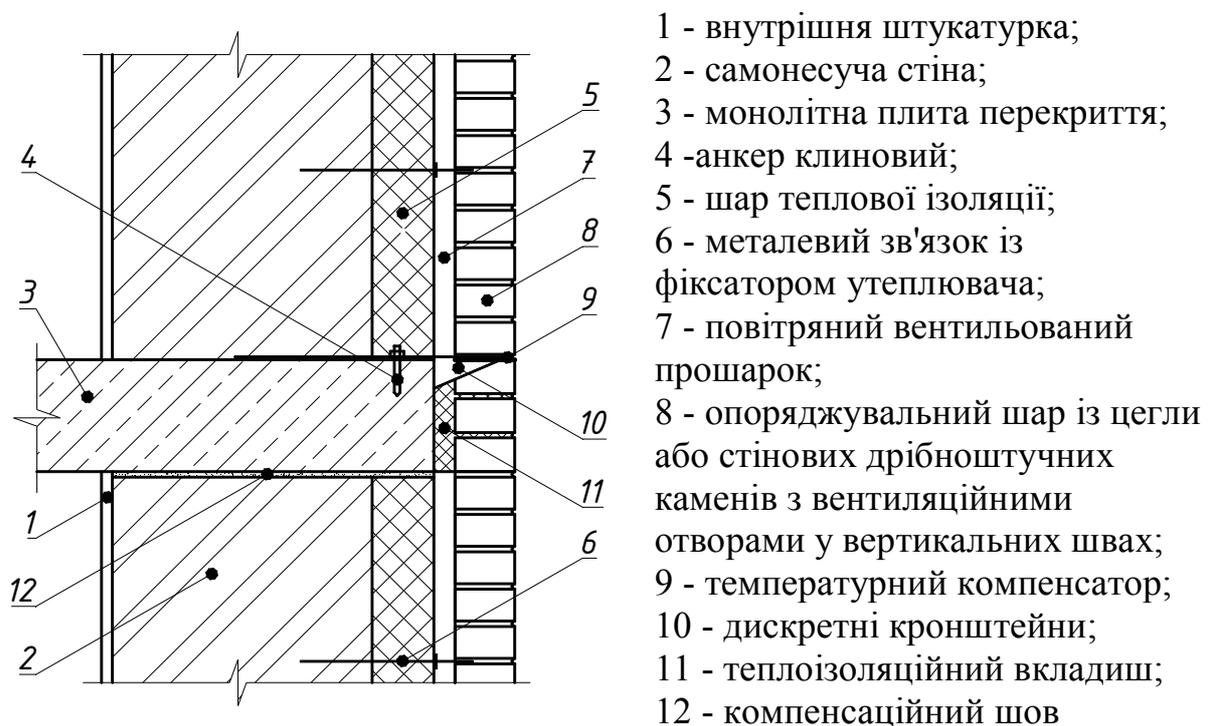
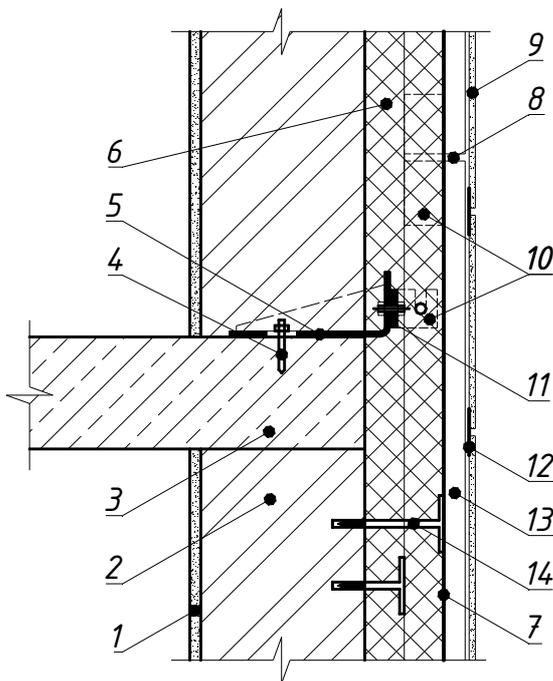
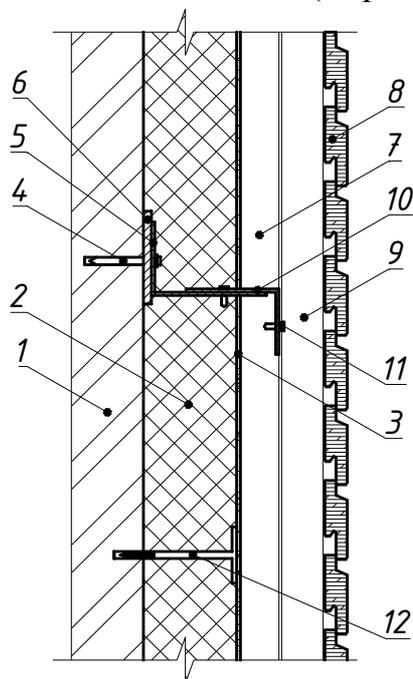


Рис. 15.4 Конструктивна схема збірної системи з самонесучими зовнішніми стінами (підклас Б.3.2) (Вертикальний переріз)



- 1 - внутрішня штукатурка;
- 2 - несуча частина стіни;
- 3 - залізобетонна плита перекриття;
- 4 - анкер клиновий;
- 5 - кронштейн;
- 6 - шар теплової ізоляції;
- 7 - повітрозахисна мембранна плівка;
- 8 - повітряний вентиляований прошарок;
- 9 - індустриальні личкувальні елементи (керамічні плити);
- 10 - з'єднувальні елементи;
- 11 - прокладка;
- 12 - клямер;
- 13 - стояк;
- 14 - елемент механічного кріплення утеплювача

Рис. 15.5 Конструктивна схема збірної системи із стояковим кріпленням зовнішнього опоряджувального захисного шару (підклас В.1) (Вертикальний переріз)



- 1 - несуча частина стіни;
- 2 - шар теплової ізоляції;
- 3 - повітрозахисна мембранна плівка;
- 4 - анкер;
- 5 - кронштейн;
- 6 - прокладка паронітова;
- 7 - повітряний вентиляований прошарок;
- 8 - індустриальні личкувальні елементи (ламіновані панелі);
- 9 - стояк;
- 10 - ригель;
- 11 - з'єднувальний елемент;
- 12 - елемент механічного кріплення утеплювача

Рис.15.6 Конструктивна схема збірної системи із стояково-ригельним кріпленням зовнішнього опоряджувального захисного шару (підклас В.8) (Вертикальний переріз)

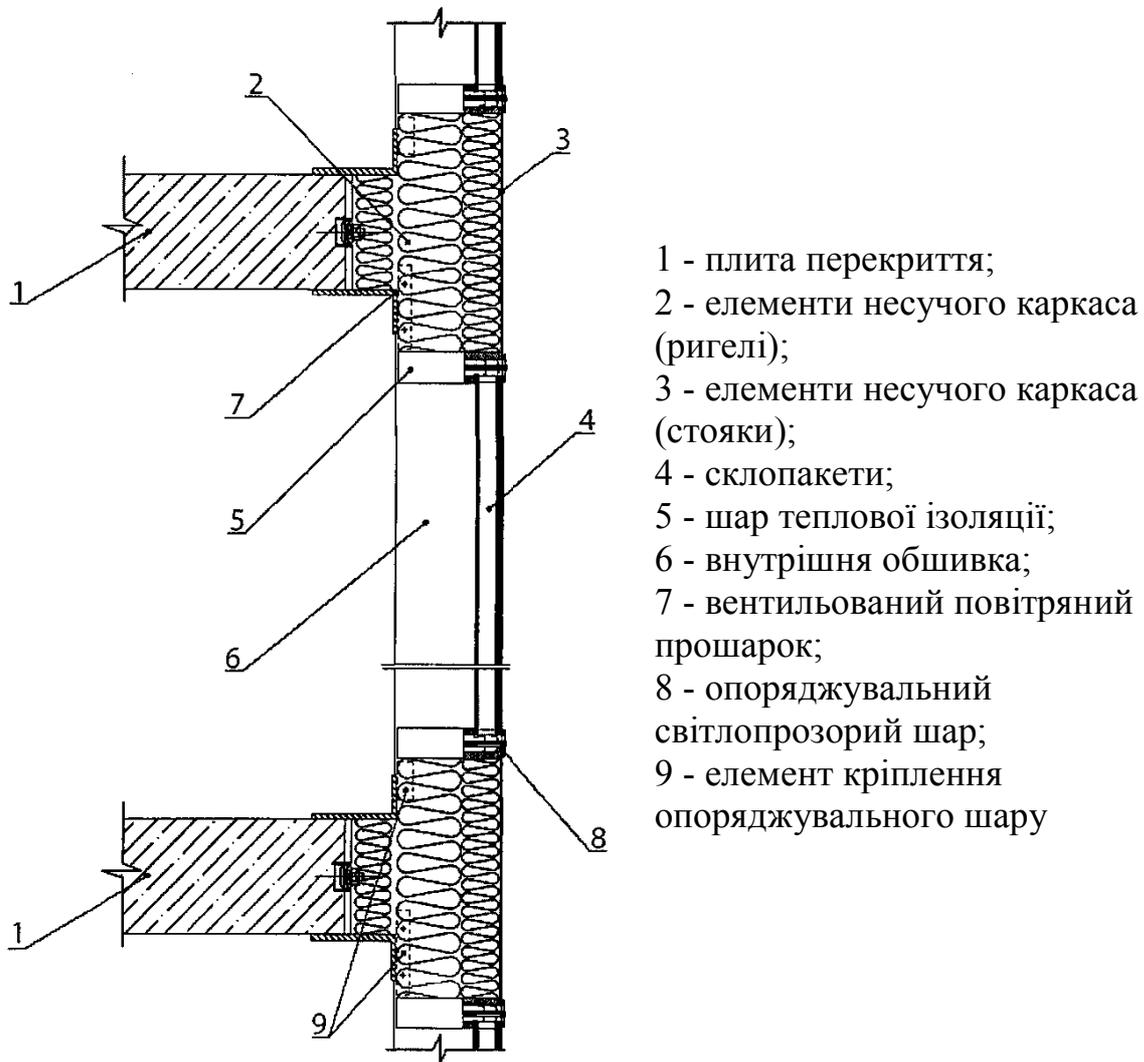


Рис.15.7 Конструктивна схема збірної системи з комбінованим світлопрозорим фасадом (підклас Г.4.1) (Вертикальний переріз)

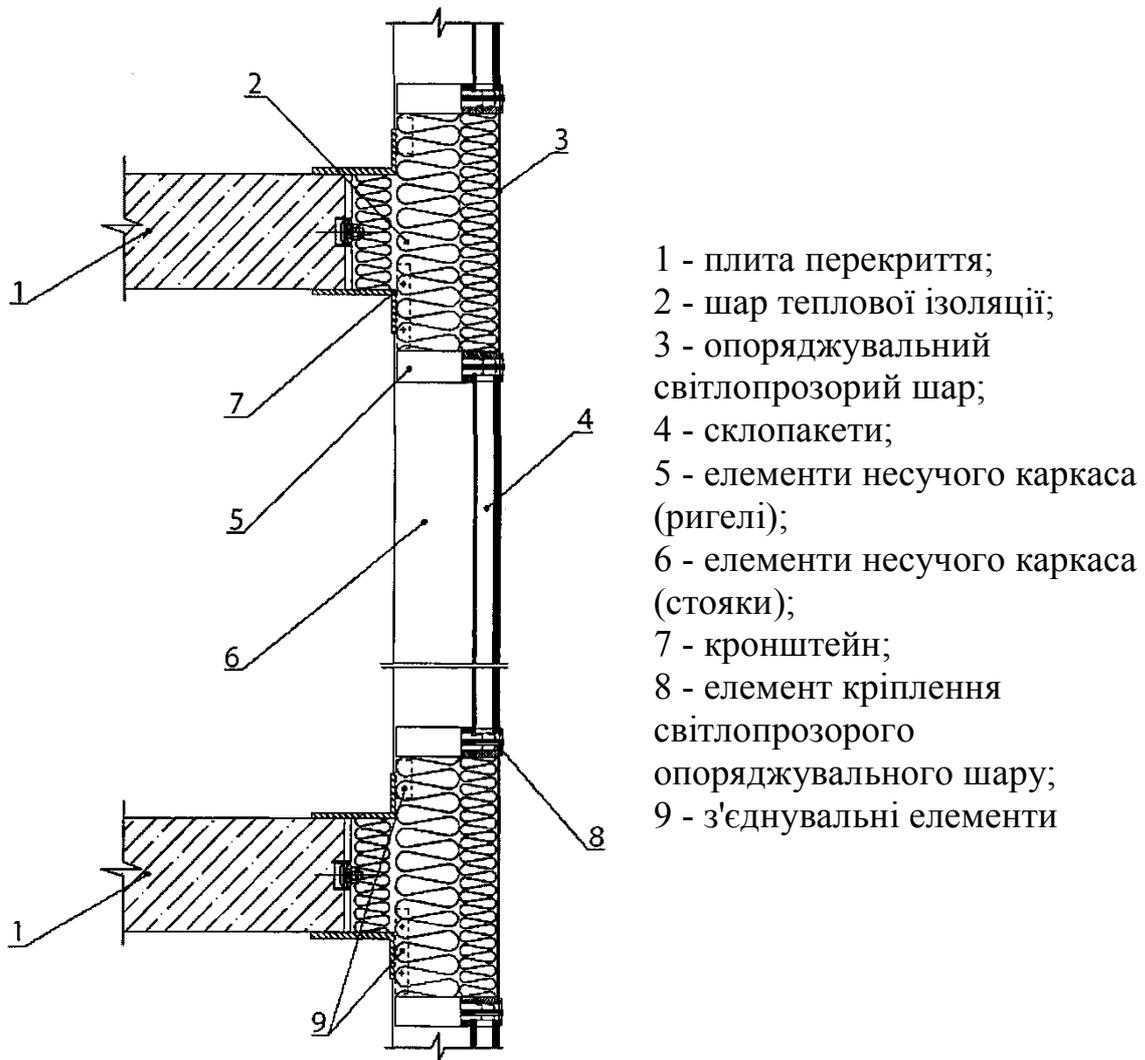


Рис. 15.8 Конструктивна схема збірної системи з суцільним світлопрозорим фасадом із термоізоляцією плит перекриттів (підклас Г.1.2) (Вертикальний переріз)

Класи та підкласи збірних систем (табл. 1 [12])

Класи	Найменування класів	Найменування підкласів
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 індустріальними елементами	В.1 З опорядженням керамічними плитками В.2 З опорядженням плитками з природного каменю В.3 З опорядженням металевими дрібно штучними та крупно розмірними панелями В.4 З опорядженням плитами 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 індустріальними елементами
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 енергозберігаючим покриттям Г.4 З опорядженням склом сонцезахисним Г.5 З опорядженням склом фасадним з нанесенням 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

**Класифікація збірних систем за конструктивними елементами
(табл. 2 [12])**

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 3 З блоків із важких бетонів, У т.ч. із порожнечами 4 З блоків із легкого конструктивного бетону	3 плит і базальтової вати 3 плит зі скляного штапельного волокна 3 плит із спінених полімерних матеріалів або торкретаційного шару 3 блоків із легких бетонів
Клас Б			3 плит із базальтової вати 3 плит зі скляного штапельного волокна 3 плит із спінених полімерних матеріалів 3 блоків із легких бетонів
Клас В			3 плит із базальтової вати 3 плит із скляного штапельного волокна
Клас Г	2 Самонесучі 3 Навісні	1 З комбінованим світлопрозорим фасадом 2 З суцільним світлопрозорим фасадом	3 плит із базальтової вати 3 плит із скляного штапельного волокна 3 плит із спінених полімерних матеріалів 3 блоків із легких бетонів Зі склопакетів 3 подвійним склінням

Збірні системи з опорядженням цеглою або стіновими каменями (клас Б) виконуються з самонесучою тепловою ізоляцією в межах поверху або ярусу, яка встановлюється на консольні залізобетонні пояси (або монолітні обв'язувальні пояси для сейсмічних районів) з повітряним прошарком між її зовнішньою поверхнею та захисним шаром з цегли або стінових каменів. Комплект складається з теплоізоляційного шару, опоряджувального захисного шару з цегли або стінового каменю, конвекторів з антикорозійним захисним покриттям або зі скловолокнистих

стрижнів, фіксаторів теплоізоляційного шару, дискретних кронштейнів із нержавіючої сталі.

Збірні системи з опорядженням індустріальними елементами (клас В) виконуються з тепловою ізоляцією, що навішена на несучу частину стіни з утворенням вентиляваного повітряного прошарку між її зовнішньою поверхнею та опоряджувальним шаром. Комплект складається з теплової ізоляції, повітрозахисного шару, опоряджувального зовнішнього захисного шару з непрозорих тонкостінних елементів індустріального виготовлення; кріпильного каркаса, до складу якого входять несучі та з'єднувальні елементи, кронштейни, напрямні вироби; елементів кріплення тепло- і повітрозахисних шарів; елементів примикання до будівельних конструкцій будинку.

Збірні системи з опорядженням прозорими елементами (клас Г) виконуються з тепловою ізоляцією, що може бути навішеною або самонесучою в межах поверху або ярусу, яка встановлюється з повітряним прошарком між її зовнішньою поверхнею та захисним світлопрозорим шаром. Комплект складається зі світлопрозорих елементів; несучого каркаса, до складу якого входять стояки, ригелі, елементи кріплення; непрозорих з боку приміщення елементів із тепловою ізоляцією.

15.2. Основні вимоги забезпечення показників безпеки

Основні вимоги забезпечення показників безпеки під час застосування фасадної теплоізоляції:

1. Безпека життя та здоров'я людини і захист довкілля
2. Довговічність конструкцій фасадної теплоізоляції повинна забезпечуватися за рахунок застосування матеріалів, що відповідають вимогам щодо стійкості (морозостійкість, вологостійкість, біостійкість, корозійна стійкість, стійкість до впливу високих температур, циклічних температурних коливань та інших руйнівних впливів навколишнього середовища).
3. Конструкції фасадної теплоізоляції повинні відповідати вимогам щодо забезпечення несучої здатності елементів кріпильного каркаса протягом зазначеного нормами часу експлуатації.
4. Конструкції фасадної теплоізоляції повинні відповідати вимогам пожежної безпеки об'єктів будівництва [4], а також наступним положенням:

При застосуванні матеріалів теплової ізоляції та опоряджувального шару групи горючості НГ згідно з класифікацією ДБН В.1.1-7 (рис. 15.9) системи можуть застосовуватися для будинків з умовною висотою $H \leq 73,5$ м без обмежень.

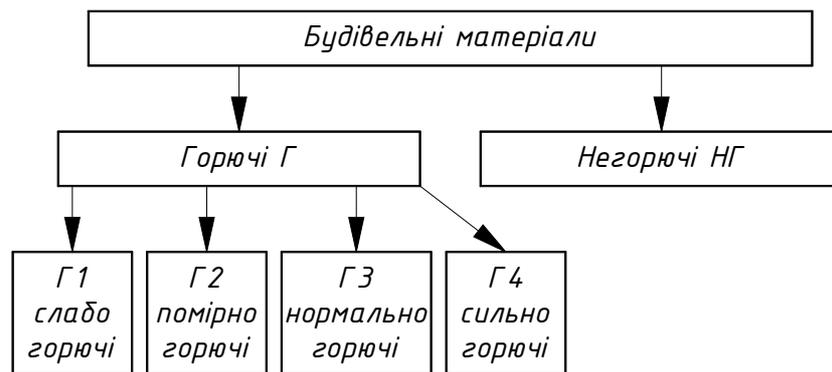


Рис. 15.9 Пожежна класифікація будівельних матеріалів

Конструкції з шаром теплової ізоляції груп горючості Г1, Г2 та опоряджувальним шаром із матеріалів, які відносяться до груп горючості Г1, Г2 згідно з класифікацією ДБН В.1.1-7, можуть застосовуватися тільки для будинків з умовною висотою $H \leq 15$ м за винятком будинків дитячих дошкільних закладів, навчальних, лікувальних закладів згідно з ДБН В.2.2-3, ДБН В.2.2-4, ДБН В.2.2-10 та будинків I ступеня вогнестійкості, а також для будинків II та III ступенів вогнестійкості при застосуванні опоряджувального шару з матеріалів, які відносяться до групи горючості Г2.

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатуркою або дрібноштучними виробами (клас А) при застосуванні теплової ізоляції груп горючості Г1, Г2 згідно з класифікацією ДБН В.1.1-7 та штукатурки або дрібноштучних виробів із негорючих матеріалів та матеріалів Г1 можуть застосовуватися для багатоповерхових будинків з умовною висотою $H \leq 26,5$ м за винятком дитячих дошкільних закладів, навчальних закладів та лікувальних закладів згідно з ДБН В.2.2-3, ДБН В.2.2-4, ДБН В.2.2-10 та будинків I ступеня вогнестійкості, будинків II та III ступенів вогнестійкості культурно-видовищних закладів, закладів дозвілля. При умовній висоті понад $H > 15$ м обов'язкове виконання поясів через кожні три поверхи та обрамлення віконних та балконних прорізів тепловою ізоляцією із негорючих матеріалів завширшки не менше двох товщин використаної ізоляції.

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням індустріальними елементами (клас В) з шаром теплової ізоляції із негорючих мінераловатних плит та з личкувальним шаром групи горючості Г1 згідно з класифікацією ДБН В.1.1-7 можуть застосовуватися для багатоповерхових будинків з умовною висотою $H \leq 26,5$ м за винятком будинків дитячих дошкільних закладів, навчальних, лікувальних закладів згідно з ДБН В.2.2-3, ДБН В.2.2-4, ДБН В.2.2-10 та будинків I ступеня вогнестійкості,

будинків II та III ступенів вогнестійкості культурно-видовищних закладів, закладів дозвілля.

Конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням цеглою або стіновими каменями (клас Б) та конструкції з опорядженням прозорими елементами (клас Г) при застосуванні теплової ізоляції групи горючості Г1 згідно з класифікацією ДБН В.1.1-7 можуть застосовуватися для багатопверхових будинків з умовною висотою $H \leq 26,5$ м за винятком дитячих дошкільних закладів, навчальних закладів та лікувальних закладів згідно з ДБН В.2.2-3, ДБН В.2.2-4, ДБН В.2.2-10 та будинків I, II та III ступенів вогнестійкості культурно-видовищних закладів, закладів дозвілля. При умовній висоті понад $H > 15$ м обов'язкове виконання поясів через кожні три поверхи та обрамлення віконних та балконних прорізів тепловою ізоляцією із негорючих матеріалів завширшки не менше двох товщин використаної ізоляції.

Обмеження, що встановлені вище щодо застосування горючих матеріалів у конструкціях фасадної теплоізоляції, не розповсюджуються на одноквартирні житлові будинки V ступеня вогнестійкості згідно з ДБН В.2.2-15.

Висота будинків та дозволені до застосування в конструкціях теплоізоляційні та опоряджувальні матеріали в залежності від групи їх горючості наведені в таблиці 15.3.

Таблиця 15.3

Застосування конструкцій фасадної теплоізоляції в залежності від їх класу, висотності будинків та горючості матеріалів теплоізоляційного та опоряджувального шарів (табл. 1 [7])

Клас збірної системи	Умовна висота будинків H , м	Група горючості теплоізоляційного матеріалу			Група горючості опоряджувального матеріалу		
		НГ	Г1	Г2	НГ	Г1	Г2
А	$H \leq 15$	+	+	+		+ ¹⁾	+ ¹⁾
	$15 < H \leq 26,5$	+	+	+	+	+ ¹⁾	
	$26,5 < H \leq 73,5$	+			+		
Б	$H \leq 15$	+	+	+	+		
	$15 < H \leq 26,5$	+	+		+		
	$26,5 < H \leq 73,5$	+			+		
В	$H \leq 15$	+	+	+		+ ¹⁾	+ ¹⁾
	$15 < H \leq 26,5$	+			+	+ ¹⁾	
	$26,5 < H \leq 73,5$	+			+		
Г	$H \leq 15$	+	+	+	+		
	$15 < H \leq 26,5$	+	+		+		
	$26,5 < H \leq 73,5$	+			+		

“+” означає можливість застосування

¹⁾ з урахуванням вимог п.4

* - за умови погодження з органами державного пожежного нагляду

5. Проектування елементів кріпильного каркаса конструкцій фасадної теплоізоляції має здійснюватися так, щоб їх механічний опір та стійкість забезпечували сприйняття навантажень згідно з вимогами ДБН В.1.2-2, ДСТУ Б В.1.2-3. На будівельних об'єктах з умовною висотою понад $H > 73,5$ м та на об'єктах експериментального будівництва збірні системи допускається використовувати на основі обґрунтування, погодженого у встановленому порядку.

6. Клас енергетичної ефективності будинків із зовнішніми стінами з фасадною теплоізоляцією встановлюється та забезпечується при проектуванні будинків за вимогами ДБН В.2.6-31. 5.6 Показники світлопрозорих елементів збірних систем повинні забезпечувати вимоги ДБН В.2.2-15, ДБН В.2.5-28, ДБН В.2.6-31, ДСТУ Б В.2-7-107, ДСТУ Б В.2.6-23, СН 205 за показниками приведенного опору теплопередачі, температур внутрішньої поверхні та температурного перепаду при розрахункових температурах навколишнього середовища, повітропроникності, індексу ізоляції повітряного шуму, коефіцієнта направленої пропускання світла, інсоляції та природного освітлення приміщень.

7. Емісія шкідливих хімічних речовин в атмосферне повітря від матеріалів, що використовуються в конструкціях фасадної теплоізоляції, не повинна перевищувати гранично-допустимих концентрацій (ГДК) згідно з вимогами СанПіН 6027 А, ДСП 201.

8. Матеріали, що використовуються в конструкціях фасадної теплоізоляції, повинні відповідати вимогам ДГН 6.6.1.-6.5.001, ДБН В.1.4-0.01, ДБН В.1.4-1.01 та мати позитивні висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ України.

Фізико-технічні показники збірної системи слід наводити залежно від конструктивного класу за положеннями таблиці 15.4. Додаткові вимоги до основних виробів та елементів комплексу наводяться з урахуванням конструктивних особливостей конструкції фасадної теплоізоляції у ДСТУ Б В.2.6-34.

Таблиця 15.4

Основні фізико-механічні показники збірних систем (табл. 3 [7])

Обов'язкові показники	Класи			
	А	Б	В	Г
1	2	3	4	5
1 Приведений опір теплопередачі	+	+	+	+
2 Міцність зчеплення теплоізоляційного шару з захисно-опоряджувальним шаром	+	-	-	-
3 Теплоізоляційний шар:				
- термін ефективної експлуатації;	+	+	+	+
- теплопровідність;	+	+	+	+
- густина;	+	+	+	+
- міцність на осьовий розтяг;	+	+	+	+
- міцність на стиск при 10 %-й лінійній деформації;	+	+	+	+
- товщина	+	+	+	+
4 Товщина повітряного прошарку	-	+	+	+
5 Зусилля виривання дюбеля з несучої стіни	+	-	+	+
6 Допустиме зниження опору теплопередачі системи після випробувань надійності теплової ізоляції конструкції	+	+	+	+
7 Допустимі відхилення від проектного положення (фасаду, плит опорядження, повітряного прошарку, елементів кріплення)	-	+	+	+
8 Кількість дюбелів для кріплення каркаса до несучої частини стіни	-	-	+	+
9 Стійкість опоряджувального шару до впливу кліматичних факторів	+	+	+	+
10 Стійкість опоряджувального шару при ударі	+	+	+	-
11 Безпека опоряджувального шару при ударі	-	-	-	+
12 Маса 1 м ² фасадної теплоізоляції у стані експлуатаційної вологості	+	-	-	-
13 Коефіцієнт паро проникності теплоізоляційного та по вітрозахисного шарів	+	+	+	+
14 Опір паро проникності опоряджувального шару	+	-	-	-
15 Вимоги до антикорозійного захисту кріпильних елементів каркаса конструкцій фасадної теплоізоляції	-	+	+	+
16 Вимоги до матеріалу, геометричних розмірів дюбелів, глибини їх анкерування	+	-	+	+

Продовження таблиці 15.4

1	2	3	4	5
17 Опір повітропроникності шару (шарів) теплоізоляції та повітроізоляції	-	+	+	+
18 Вимоги до марок металу кріпильних елементів каркаса, клясерів тощо, та товщини профілів кріпильного каркасу	-	+	+	+
19 Допустима довжина монтажних елементів стояків та ригелів	-	-	+	+
20 Групи горючості матеріалів теплоізоляційного шару	+	+	+	+
21 Групи горючості матеріалів опоряджувального шару	+	-	+	-
22 Здатність конструкції фасадної теплоізоляції поширювати вогонь	+	-	-	-
23 Водонепроникність	-	-	-	+
24 Деформативність каркаса під вітровим навантаженням	-	-	-	+

15.3. Умовні позначки збірних систем або конструкцій фасадної теплоізоляції

Умовні позначки збірних систем або конструкцій фасадної теплоізоляції, що використовуються в проектній та технічній документації, містять літери або цифрові елементи, які відокремлюються ризикою згідно з наведеною схемою.

Кількісними характеристиками конструкції фасадної теплоізоляції є товщина теплоізоляційного шару в мм та теплопровідність матеріалу теплоізоляційного шару 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.

В умовних позначках використовують такі скорочення:

Б – теплоізоляційний шар із мінераловатних виробів на основі базальтових волокон;

М – теплоізоляційний шар із мінераловатних виробів із скловолна;

П – теплоізоляційний шар із виробів на основі спінених пластичних матеріалів;

Д – двошаровий теплоізоляційний шар;

С – суцільний світлопрозорий фасад;

СК – комбінований світлопрозорий фасад;

ii – інші конструктивні характеристики (можливо використовувати характерні літери конструктивної ознаки за винятком наведених літер).

У залежності від об'єкта проектування – збірної системи, або об'єкта постачання – конструкцій фасадної теплоізоляції умовні позначки можуть складатися тільки з підкласу відповідно до таблиці 15.1 (наприклад, А.1 – клас А з опорядженням тонкокошаровими штукатурками) або підкласів згідно з таблицями 15.1 та 15.2 (наприклад, А.1.1 – конструкції зовнішньої стіни з фасадною теплоізоляцією та опорядженням тонкокошаровою штукатуркою з несучими стінами, А.1.1.1 – конструкції зовнішньої стіни з фасадною теплоізоляцією та опорядженням тонкокошаровою штукатуркою з несучими стінами з цегли).

Приклади умовної позначки збірної системи:

КФТ –	А1 –	П	05 –	100 –	К.1 –	ДСТУ Б В. 2.6-36:2008
Назва системи	Клас та підклас системи за табл. 15.1-15.2	Тип теплоізоляційного матеріалу: П – із піно полістирольних плит; М – із плит на основі мін. Сировини; ПМ – із комбінації плит	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в розрахункових умовах, що дорівнює 0,05 Вт/(м К)	Товщина шару теплоізоляції, мм	Спосіб кріплення теплоізоляції За табл. 15.5	Повне літерно-цифрове позначення стандарту

XXX –	Б.3.2.4 –	Нб	11 –	300 –	ДСТУ Б В. 2.6-34:2008
Назва системи	Клас та підклас системи за табл. 15.1-15.2 з опорядженням пресованим каменем з самонесучими стінами	Тип теплоізоляційного матеріалу: із ніздрюватого бетону (Нб)	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в розрахункових умовах, що дорівнює 0,11 Вт/(м К)	Товщина шару теплоізоляції, мм	Повне літерно-цифрове позначення стандарту

**Способи кріплення теплоізоляційних матеріалів конструкції із
фасадною теплоізоляцією класу А**

Тип	Спосіб кріплення
К.1	клеєні високоадгезивним клеєм суцільно по всій поверхні плити теплоізоляційного матеріалу на відстані від 10 мм до 15 мм від крайок. Клей наносять зубчастим шпателем з розмірами зуба 10 мм x 10 мм. На мінераловатні плити клей наносять тільки суцільно;
К.2	клеєні високоадгезивним клеєм окремими маяками (мазками через 150-200 мм). Діаметр маяка 100 мм. На плиту 0,5 м x 1 м -6-8 маяків;
К.3	клеєні високоадгезивним клеєм смугами (по периметру на відстані від 10 мм до 15 мм від крайок та посередині кожної плити утеплювача). Смуги по периметру повинні мати розриви для запобігання утворенню повітряних пробок;
Д	скріплені механічно фіксуючими елементами (дюбелями, анкерами, шпильками тощо). При цьому плитний утеплювач кріпиться до стіни виключно механічно фіксуючими елементами. Шпильки кріплять до поверхні стіни високоміцним клеєм. Шпильки використовують для гідроізольованих стін для запобігання руйнуванню гідроізоляції під час свердлення отворів при установленні дюбелів та анкерів;
КД	клеєні із застосуванням механічно фіксуючих елементів (клей + дюбелі або інше кріплення). У такий спосіб навантаження повністю розподіляється по поверхні склеювання утеплювача, а механічно фіксуючі елементи використовують як тимчасове з'єднання для повного висихання клею, а також для запобігання відшаруванню утеплювача на випадок пожежі;
ДК	скріплені механічно фіксуючими елементами із застосуванням клею (дюбелі чи інше кріплення + клей). При цьому навантаження розподіляється на механічно фіксуючі елементи, а клей використовують для попередньої прихватки утеплювача та забезпечення площинності з'єднання;
Т	скріплені за рахунок торкретування теплоізоляційного матеріалу та його адгезії з поверхнею несучої частини стіни

Назва системи	XXX –	B1 –	Б	048 –	100 –	А –	ДСТУ Б В. 2.6-35:2008
Клас та підклас системи за табл. 15.1-15.2			Тип теплоізоляційного матеріалу: із базальтової вати – Б; зі скляного штапельного волокна – М	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в розрахункових умовах, що дорівнює 0,048 Вт/(м К)	Товщина шару теплоізоляції, мм	Матеріал каркаса: нержавіюча сталь СН; оцинкована сталь ОС; алюміній А	Повне літерно-цифрове позначення стандарту

Назва системи	XXX –	Г.3.3.1–	Б	043 –	80 –	Р –	ДСТУ Б В. 2.6-34:2008
Клас та підклас системи за табл. 15.1-15.2 з опорядженням склом з енергозберігаючим покриттям, навісний, комбінований			Тип теплоізоляційного матеріалу: із базальтового волокна (Б)	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в розрахункових умовах, що дорівнює 0,043 Вт/(м К)	Товщина шару теплоізоляції, мм	з стояковоригельною системою каркаса з рамним склінням	Повне літерно-цифрове позначення стандарту

15.4. Деталі конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з вентиляльованим повітряним прошарком та опорядженням індустріальними елементами

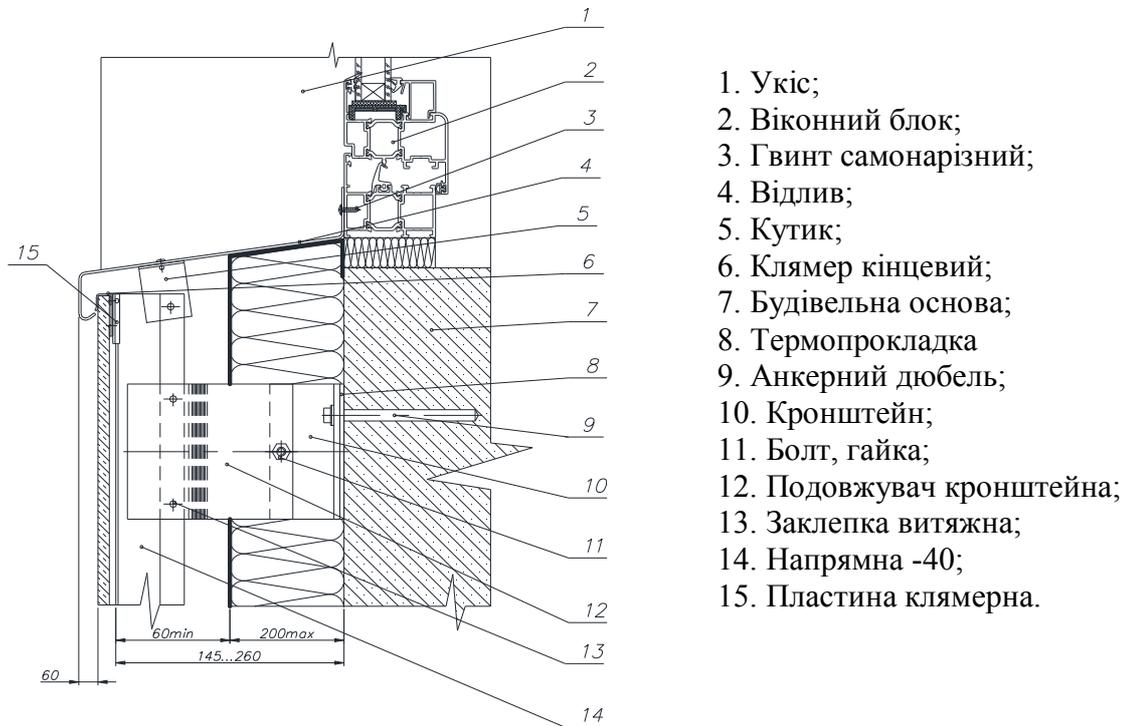


Рис 15.10 Варіант виконання віконного відливу

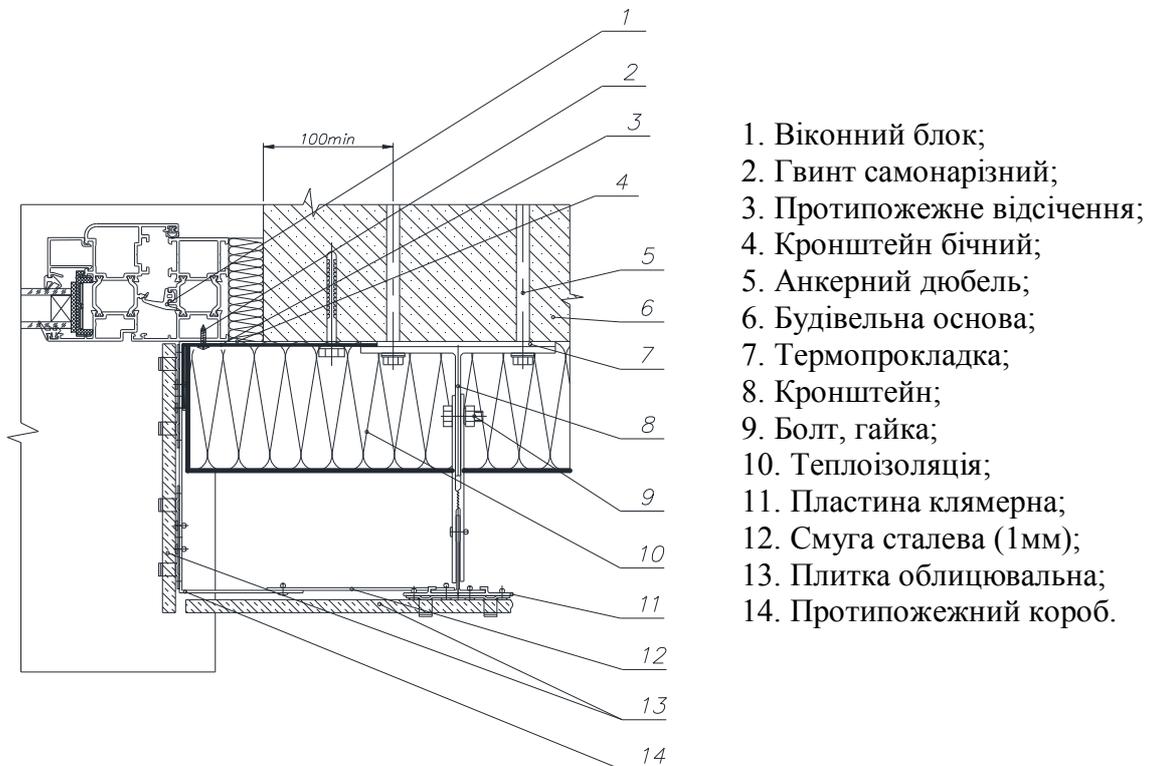
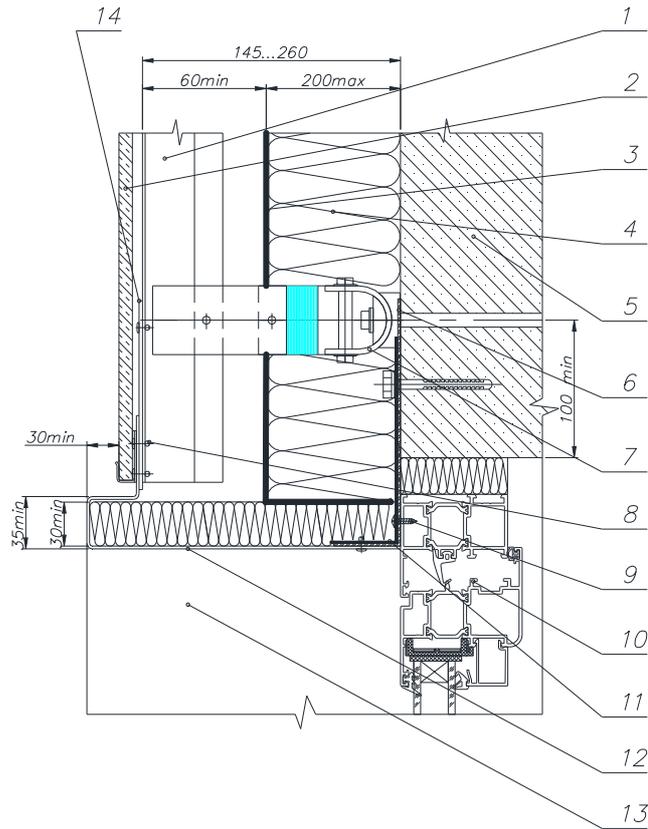
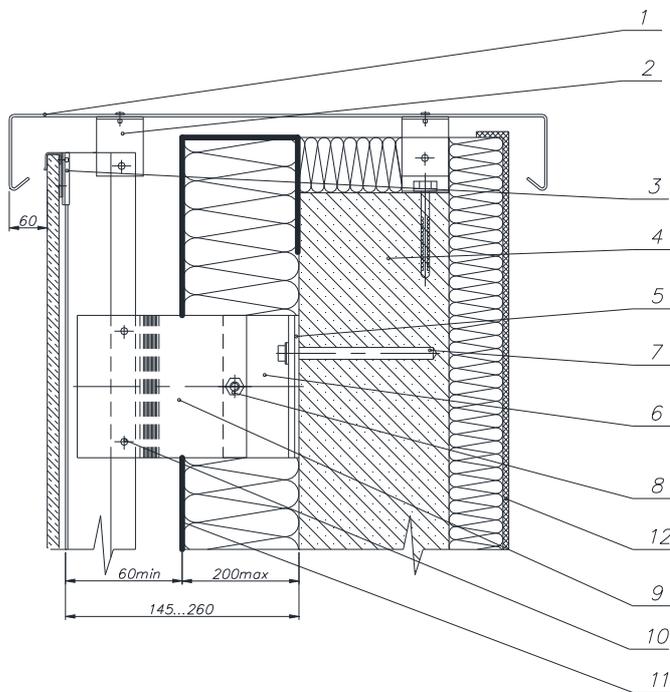


Рис. 15.11 Варіант виконання бічного укосу вікна із застосуванням облицювальних плит



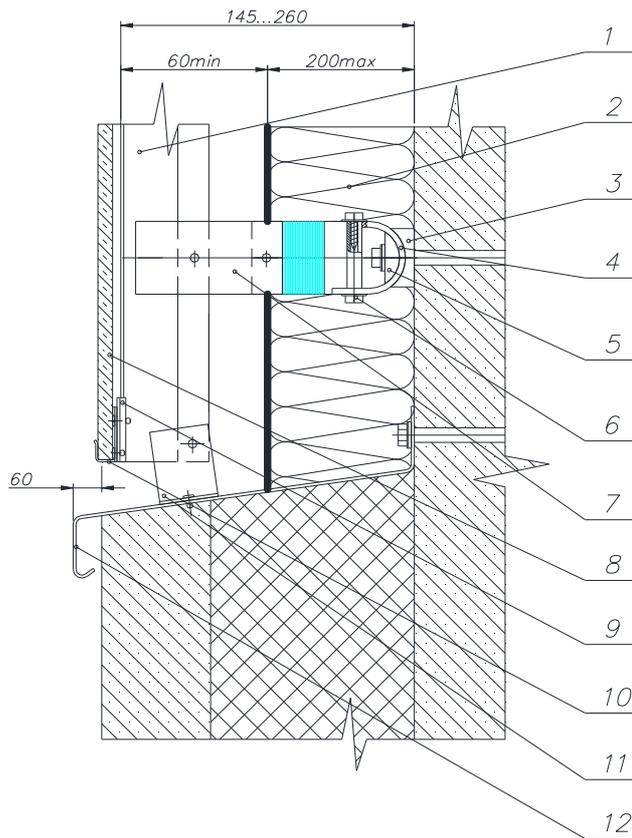
1. Напрямна вертикальна -80;
2. Плитка облицовальна;
3. Мембрана;
4. Теплоізоляція;
5. Будівельна основа;
6. Кронштейн верхній;
7. Кронштейн опорний;
8. Заклепка витяжна;
9. Гвинт самонарізний;
10. Віконний блок;
11. Протипожежне відсічення;
12. Укіс верхній;
13. Укіс бічний;
14. Смуга сталева (1мм).

Рис. 15.12 Варіант виконання верхнього укосу вікна



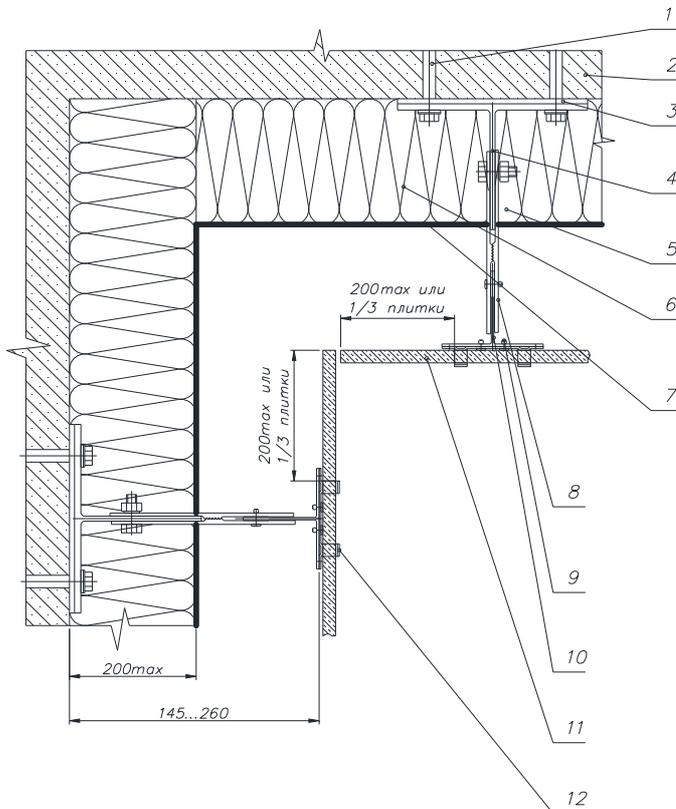
1. Кришка парапету;
2. Куточок;
3. Пластина клямерна;
4. Будівельна основа;
5. Термопрокладка;
6. Кронштейн;
7. Анкерний дюбель;
8. Болт, гайка;
9. Подовжувач кронштейна;
10. Заклепка витяжна;
11. Мембрана;
12. Гідроізоляція.

Рис. 15.13 Варіант виконання примикання до парапету.



1. Напрямна вертикальна 40;
2. Теплоізоляція;
3. Опора;
4. Кронштейн опорний;
5. Вкладиш;
6. Гвинт самонарізний;
7. Подовжувач ;
8. Плитка облицювальна;
9. Пластина клямерна;
10. Клямер кінцевий;
11. Куточок;
12. Відлив.

Рис. 15.14 Варіант виконання примикання до цоколя



1. Анкерний дюбель;
2. Будівельна основа;
3. Термопрокладка;
4. Кронштейн;
5. Болт, гайка, шайба;
6. Теплоізоляція;
7. Мембрана;
8. Подовжувач кронштейна;
9. Заклепка витяжна;
10. Напрямна вертикальна;
11. Плитка облицювальна;
12. Клямер.

Рис.15.15 Варіант виконання внутрішнього кута

За альбомом технічних рішень [49]

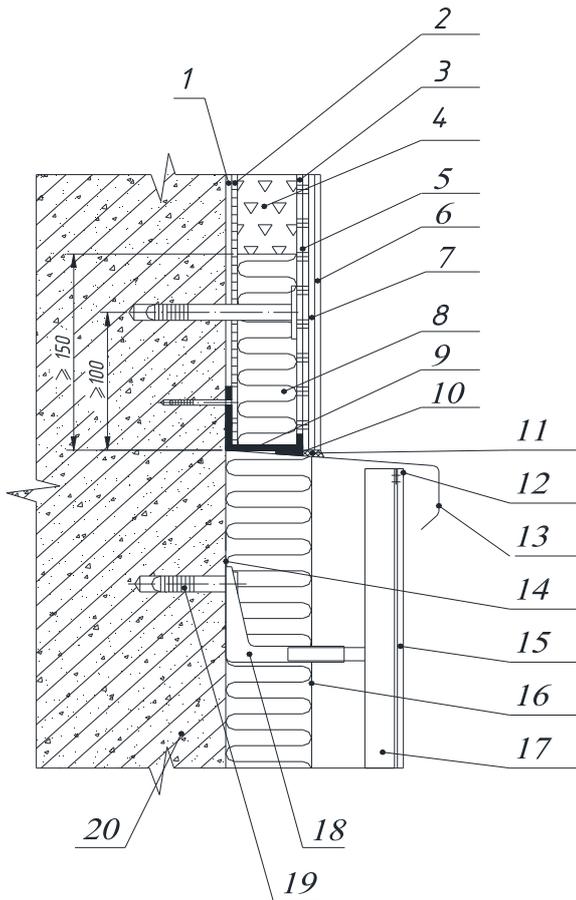
15.5. Деталі конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою



Рис. 15.16 Варіант примикання фасадної системи до цоколя (варіант 1)

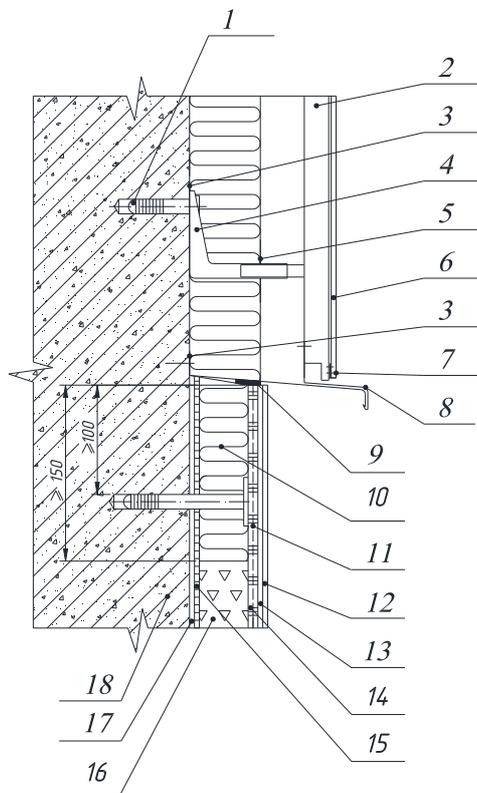


Рис. 15.17 Варіант примикання фасадної системи до цоколя (варіант 2)



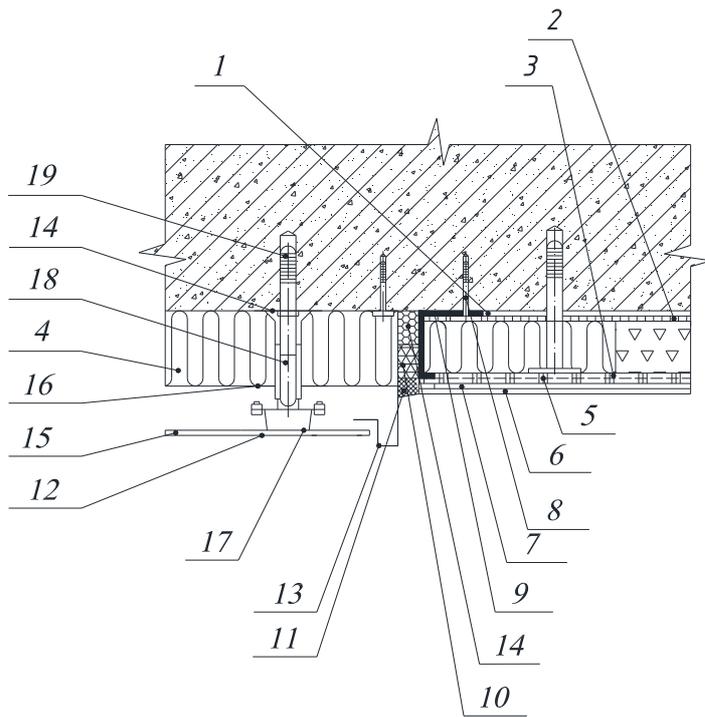
1. Грунтовка
2. Клейовий шар;
3. Клейова суміш;
4. Пінополістирол;
5. Армуюча сітка;
- 6.; Декоративний штукатурний шар
7. Кварцова грунтовка;
8. Протипожежний розрив з мінераловатної плити;
9. Цокольний профіль;
10. Ущільнююча смуга;
11. Поліуретановий герметик;
12. Клямер кінцевий;
13. Відлив;
14. Теплоізолююча прокладка;
15. Облицювальний матеріал;
16. Прижимна планка
17. Вертикальна напрямна
18. Кронштейн;
19. Дюбель;
20. Конструктивний шар стіни.

Рис. 15.18 Примикання «мокрого» фасаду до вентиляованого (варіант 1)



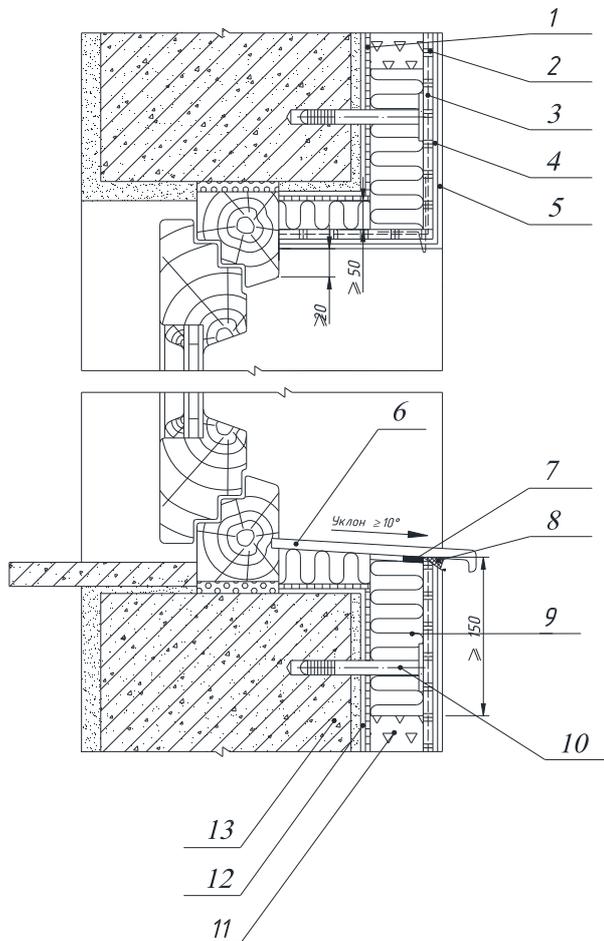
1. Дюбель;
2. Вертикальна напрямна;
3. Теплоізолююча прокладка;
4. Кронштейн;
5. Прижимна планка;
6. Облицювальний матеріал;
7. Клямер кінцевий;
8. Відлив;
9. Ущільнююча смуга;
10. Протипожежний розрив з мінераловатної плити;
11. Армуюча сітка;
12. Декоративний штукатурний шар;
13. Кварцова грунтовка;
14. Клейова суміш;
15. Клейовий шар;
16. Пінополістирол;
17. Грунтовка;
18. Конструктивний шар стіни.

Рис. 15.19 Примикання «мокрого» фасаду до вентиляованого (варіант 2)



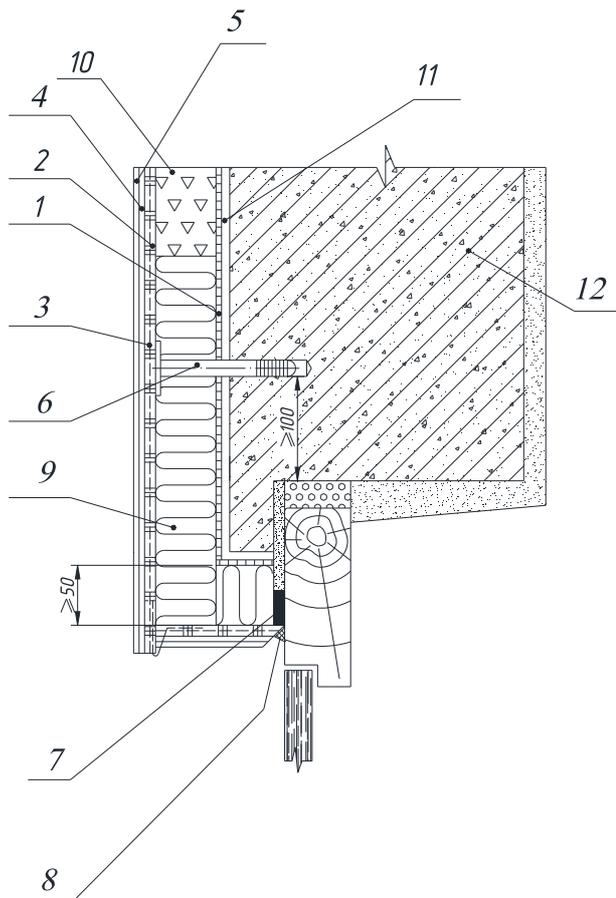
1. Грунтовка
2. Клейовий шар;
3. Клейова суміш;
4. Плитний утеплювач;
5. Армуюча сітка;
6. Декоративний штукатурний шар;
7. Кварцова грунтовка;
8. Цокольний дюбель;
9. Цокольний профіль;
10. Ущільнююча смуга;
11. Поліуретановий герметик;
12. Кляммер рядовий;
13. Кінцевий елемент;
14. Теплоізолююча прокладка;
15. Облицювальний матеріал;
16. Прижимна планка
17. Вертикальна напрямна
18. Кронштейн;
19. Дюбель.

Рис. 15.20 Примикання «мокрого» фасаду до вентилязованого (варіант 3)



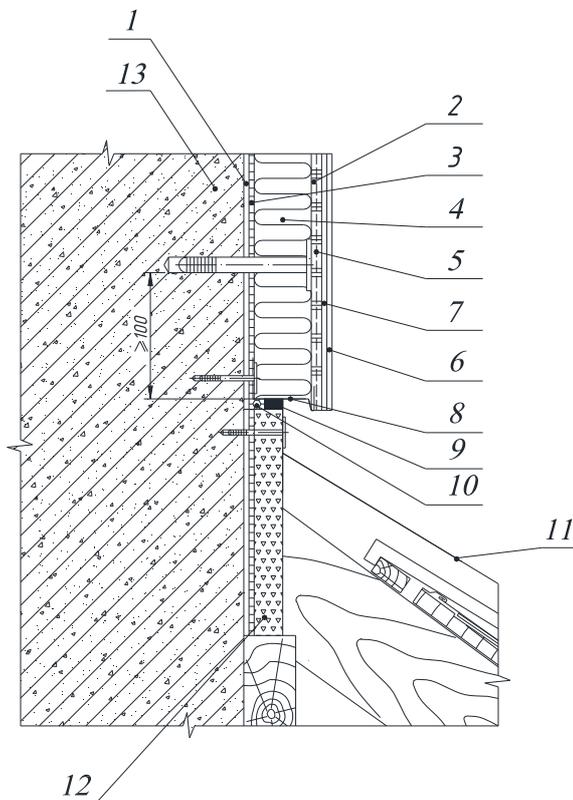
1. Клейовий шар;
2. Клейова суміш;
3. Армуюча сітка;
4. Кварцова грунтовка;
5. Декоративний штукатурний шар;
6. Відлив;
7. Ущільнююча смуга;
8. Поліуретановий герметик;
9. Протипожежний розрив з мінераловатної плити по всьому периметру віконної пройми;
10. Дюбель;
11. Пінополістирол;
12. Грунтовка;
13. Конструктивний шар стіни

Рис. 15.21 Примикання фасадної системи до віконного блоку



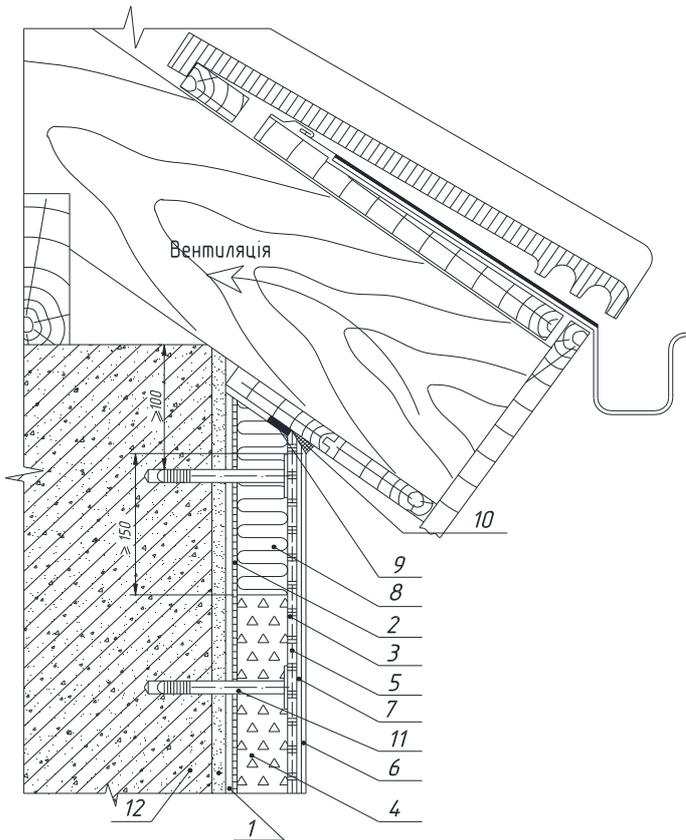
1. Клейовий шар;
2. Клейова суміш;
3. Армуюча сітка;
4. Кварцова ґрунтовка;
5. Декоративний штукатурний шар;
6. Дюбель;
7. Ущільнююча смуга;
8. Поліуретановий герметик;
9. Протипожежний розрив з мінераловатної плити по всьому периметру віконної пройма;
10. Пінополістирол;
11. Ґрунтовка;
12. Конструктивний шар стіни

Рис. 15.22 Примикання фасадної системи до віконного блоку



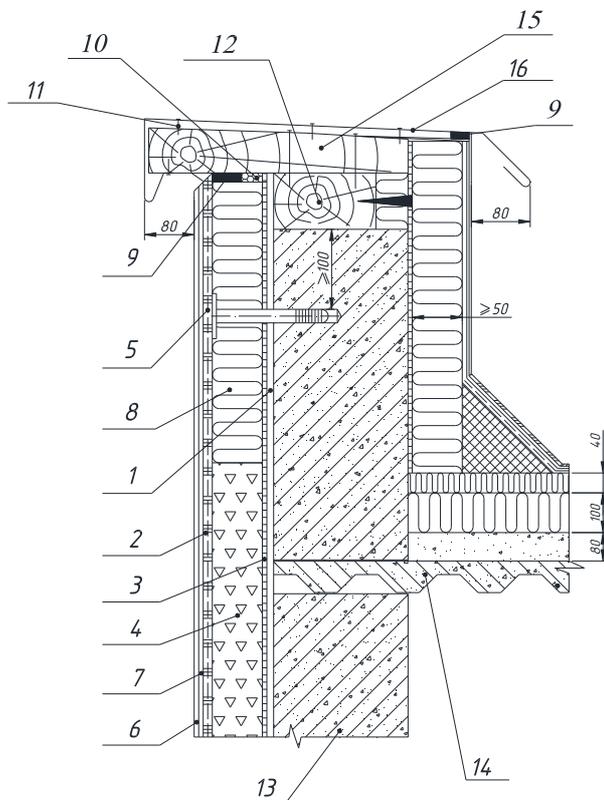
1. Ґрунтовка
2. Клейовий шар;
3. Клейова суміш;
4. Утеплювач;
5. Армуюча сітка;
6. Декоративний штукатурний шар;
7. Кварцова ґрунтовка;
8. Цокольний профіль;
9. Ущільнююча смуга;
10. Теплоізолююча вставка;
11. Фартух покрівлі;
12. Екструдований пінополістирол;
13. Конструктивний шар стіни.

Рис. 15.23 Примикання фасадної системи до одношилої покрівлі



1. Ґрутовка
2. Клейовий шар;
3. Клейова суміш;
4. Пінополістирол;
5. Армуюча сітка;
6. Декоративний штукатурний шар;
7. Кварцова ґрутовка;
8. Протипожежний розрив з мінераловатної плити;
9. Ущільнююча смуга;
10. Поліуретановий герметик;
11. Дюбель;
12. Екструдований пінополістирол;
13. Конструктивний шар стіни.

Рис. 15.24 Примикання фасадної системи до покрівлі



1. Ґрутовка
2. Клейовий шар;
3. Клейова суміш;
4. Пінополістирол;
5. Армуюча сітка;
6. Декоративний штукатурний шар;
7. Кварцова ґрутовка;
8. Протипожежний розрив з мінераловатної плити;
9. Ущільнююча смуга;
10. Теплоізолююча смуга;
11. Гвіздок;
12. Пробка дерев'яна;
13. Конструктивний шар стіни;
14. Плита перекриття;
15. Дошка антисептована;
16. Відлив.

Рис. 15.25 Примикання фасадної системи до парапету з утепленою покрівлею

За альбомом технічних рішень [48]

15.6. Теплоізоляція конструкцій, які межують з ґрунтом

Тепловтрати через підлогу першого поверху громадських будівель може досягати 20% від загального об'єму тепловтрат. Підлоги повинні задовольняти вимогам міцності та опору зносу, бути достатньо архітектурно-декоративними, безшумними, гігієнічними, економічними та зручно прибиратися. Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні зовнішніх стін житлових та громадських будинків становить відповідно 4 °С і 5 °С, а поверхнею підлоги – $\Delta t_{\text{ст}} = 2 \text{ °С}$ і $\Delta t_{\text{ст}} = 2,5 \text{ °С}$ відповідно.

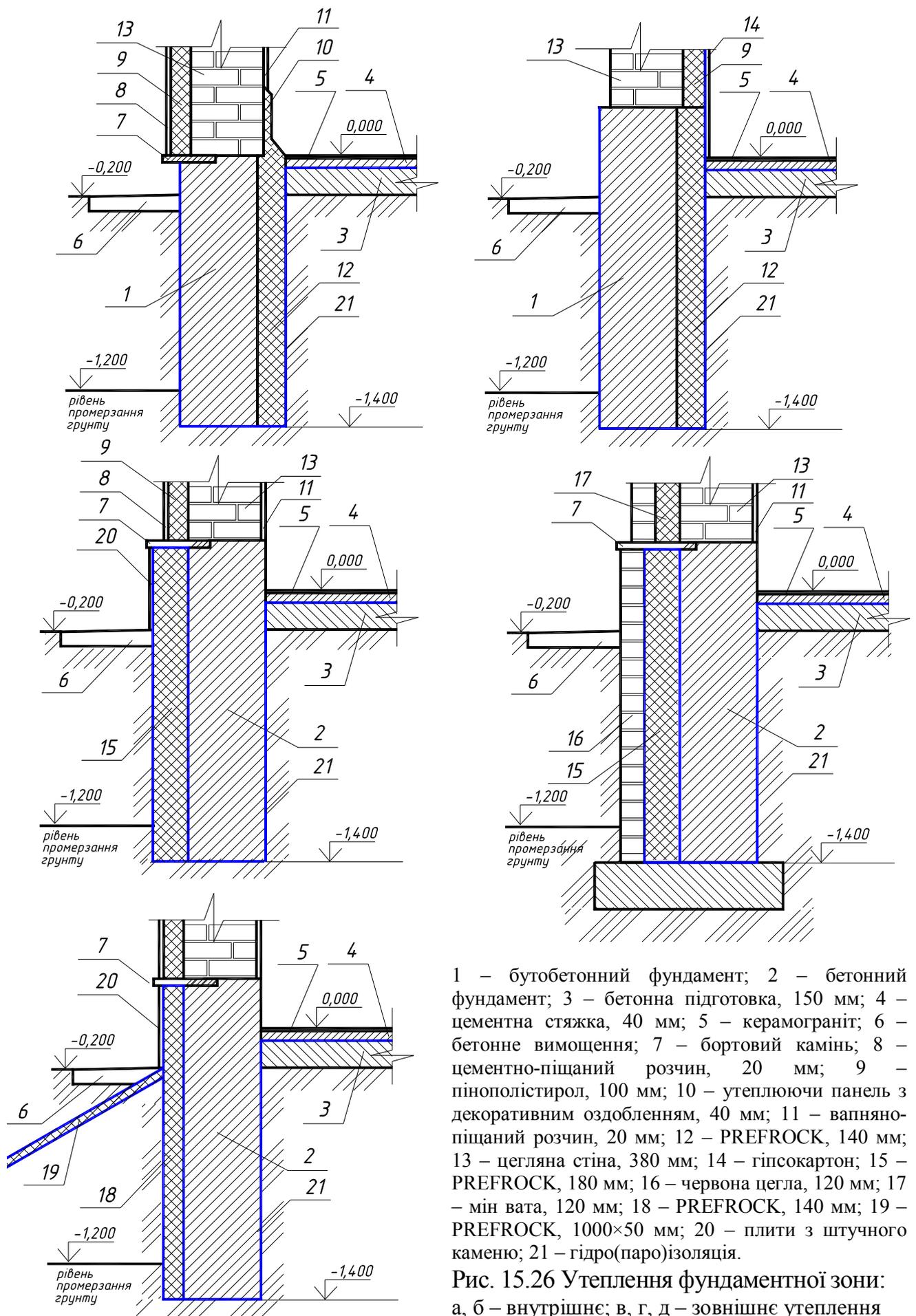
Для зниження тепловтрат підлогою по ґрунту рекомендується утеплення фундаментної зони будинку суцільним вертикальним поясом по зовнішньому або внутрішньому периметру. Товщина теплоізоляційного шару залежить від його місця розташування та глибини закладання. Рекомендується заглиблювати утеплювач до глибини на 200 мм нижче за рівень промерзання ґрунту у відповідних кліматичних умовах. Верхню межу вертикального утеплювача рекомендується піднімати на 500 мм вище за рівень поверхні підлоги (рис. 15.26 – 15.27).

Для утеплення фундаментної зони рекомендується застосовувати плитний утеплювач, до якого висуваються наступні вимоги: міцність на стиск (номінальна) 300 кН/м²; довготривала міцність на стиск 110 кН/м²; поглинання води при довготривалому (28 діб) зануренні $\leq 0,5 \text{ \% об.}$; поглинання води при довготривалій (28 діб) дифузії $\leq 2 \text{ \% об.}$; морозостійкість: поглинання води після 300 циклів заморожування і відтавання $\leq 1 \text{ об.}$; зниження міцності на стиск після 300 циклів заморожування і відтавання $\leq 10\%$.

Мінераловатні плити ($\lambda = 0,040 - 0,065 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) клеять на гарячій бітумній мастиці без заповнювачів і гідроізольнують шаром гарячого бітуму для уникнення капілярного підсмоктування.

Плити з екструдованного піностиролу ($\lambda = 0,032 - 0,034 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) наклеюють на стіну пінополіуретановою сумішшю. Завдяки однорідній структурі утеплюючого матеріалу з закритими порами його гідроізоляція не потрібна.

Пінополіуретан ($\lambda = 0,019 - 0,025 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) характеризується відсутністю швів, суцільним приляганням до поверхні без додаткових кріплень та будь-якою товщиною шару. Крім того пінополіуретан сам є гідроізоляцією.



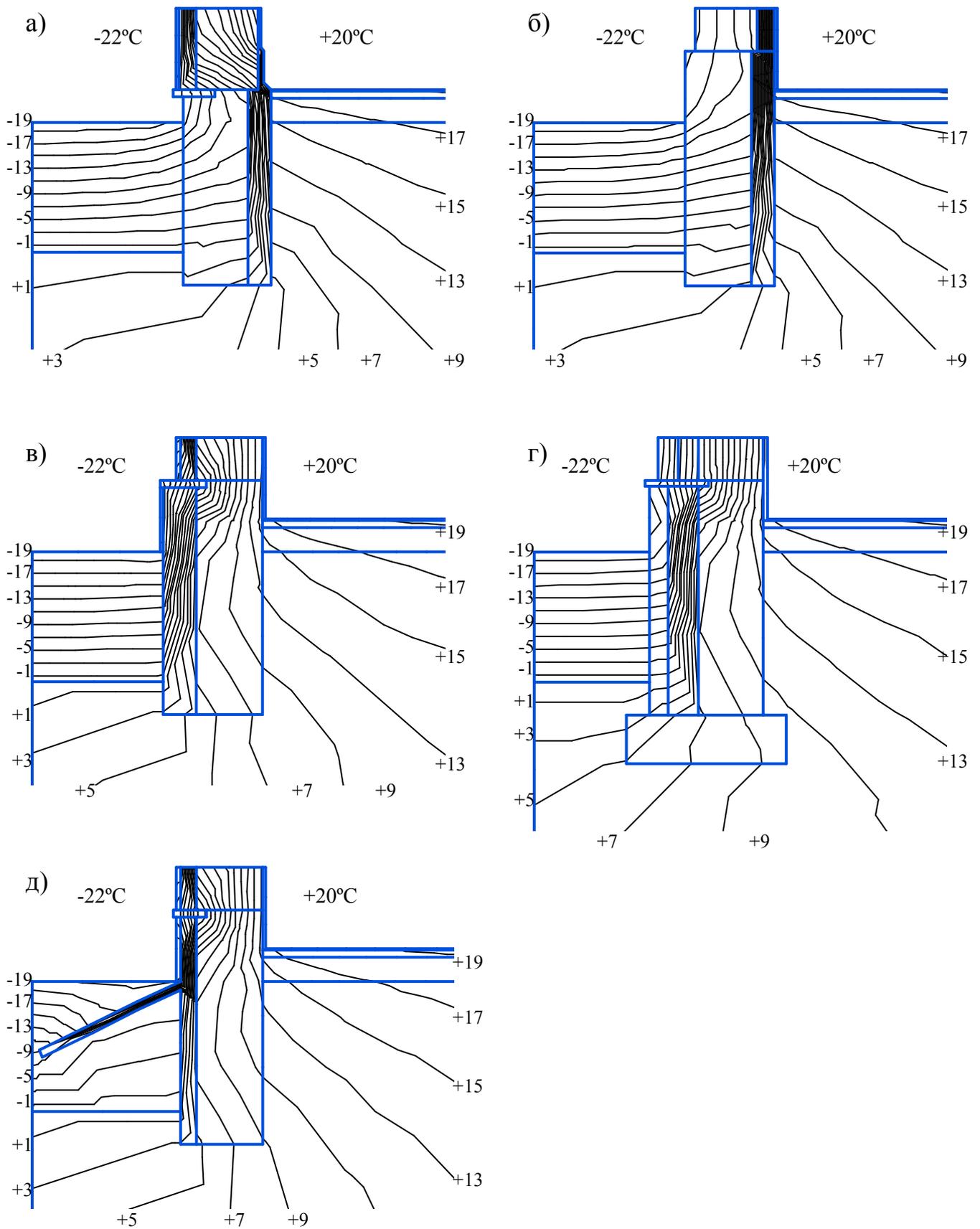


Рис. 15.27 Картина температурних полів навколофундаментної зони відповідно запропонованим рішенням утеплення: а, б – внутрішнє утеплення; в, г, д – зовнішнє утеплення

Використання горизонтального утеплюючого шару в конструкції підлоги менш ефективно порівняно з вертикальними шарами утеплення по внутрішньому або зовнішньому периметру фундаментної зони будинків, так як тепловий режим у куті примикання підлоги до зовнішньої стіни не відповідає нормативним вимогам. Але при неможливості влаштування вертикального утеплення або при проектуванні окремостоячих фундаментів можна використовувати горизонтальне утеплення підлог. Для зменшення тепловтрат пристінної зони суцільної підлоги громадських будинків рекомендується влаштування горизонтального шару утеплювача по внутрішньому периметру шириною 1 м та товщиною не менше 50 мм (рис. 15.28).

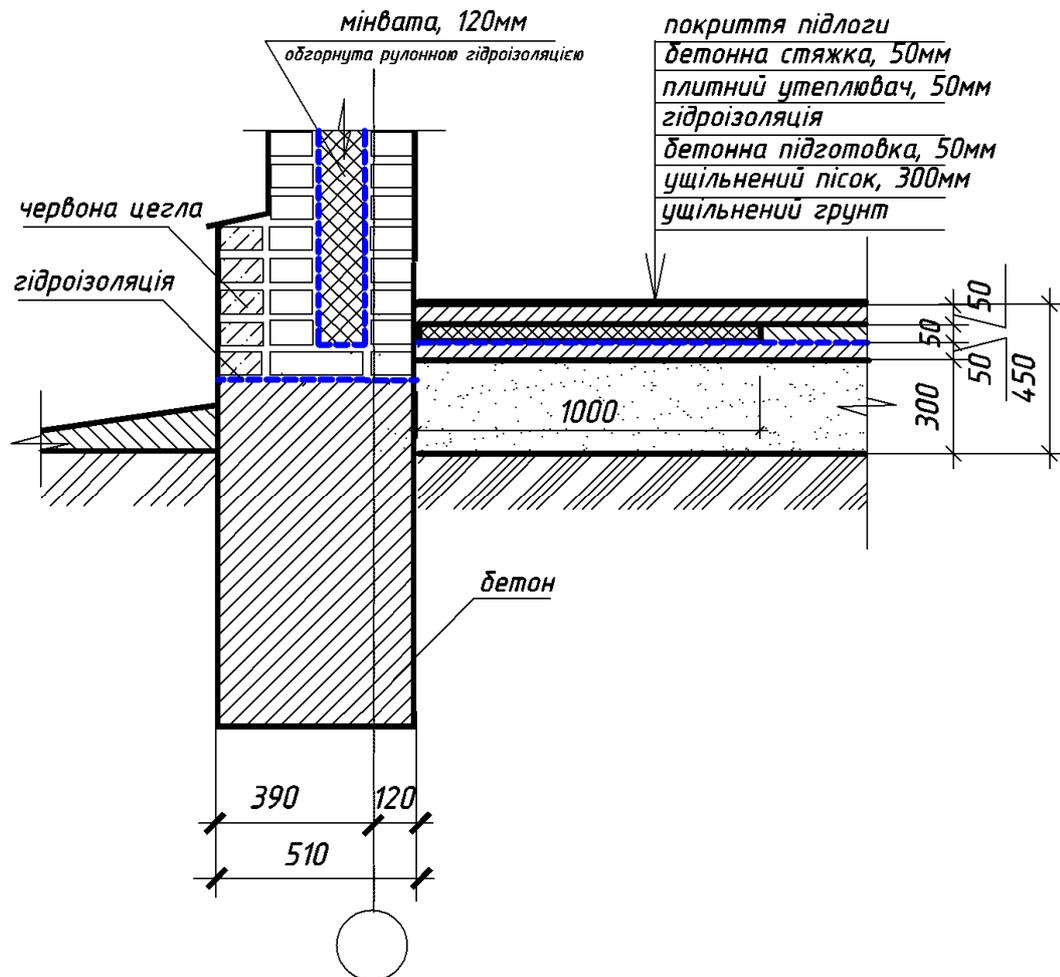


Рис. 15.28 Утеплення суцільної підлоги

Утеплення суцільним шаром під усією підлогою економічно не доцільно, так як основні тепловтрати підлогою відбуваються у пристінній смузі та куті дотикання підлоги і зовнішньої стіни. Матеріал, який можна використовувати в якості утеплювача, повинен мати високу міцність на стиск (300 кН/м^2), наприклад, екструдований пінополістирол ($\rho_0 = 50 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,043 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}$) або STROPROCK ($\lambda = 0,039 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}$).

При влаштуванні дерев'яної підлоги використовують м'які мінераловатні плити з обов'язковим укладанням паро і гідроізоляції (рис. 15.29). При недостатньому утепленні пристінної зони підлоги можлива поява конденсату і, як наслідок, плісняви та промерзання. Тому при влаштуванні горизонтального утеплювача по внутрішньому поясу будівлі потрібно комбінувати його з вертикальним утепленням стіни та цоколю для уникнення появи "містків холоду".

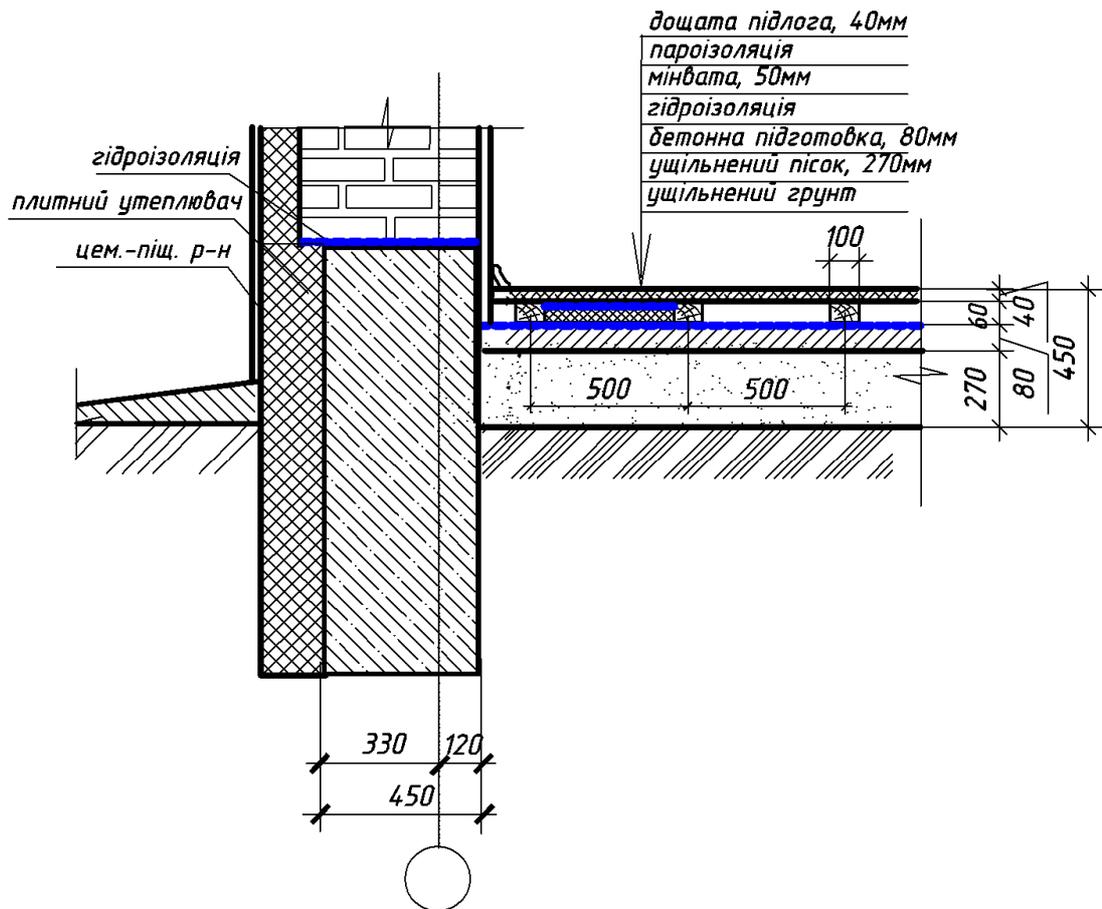


Рис. 15.29 Утеплення дерев'яної підлоги

Для зменшення тепловтрат підлогами над неопалюваними підвалами влаштовується суцільний горизонтальний шар утеплювача товщиною, яка розраховується за методикою розділу 5 (рис. 15.30). Утеплюючий шар (при неможливості укладання в конструкції підлоги) можна розмістити під несучою частиною перекриття з боку холодного підвалу на відповідному шарі клею.

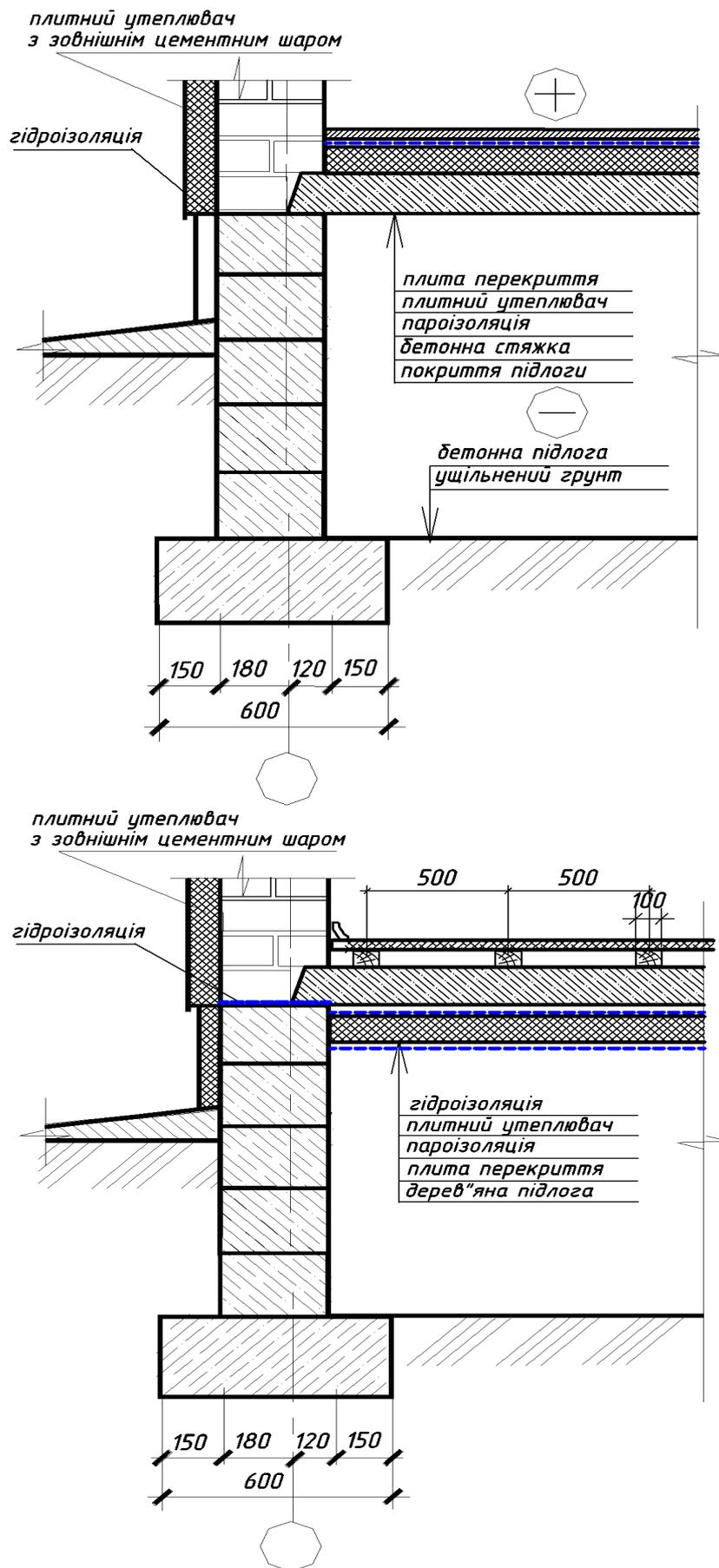


Рис. 15.30 Утеплення підлоги над неопалюваним підвалом

В 60-ті роки минулого століття Шаламовим М.П. [46] розроблені конструкції теплоізоляційного вимощення для захисту від промерзання ґрунту під фундаментною плитою промислових будівель. Натурні спостереження, проведені науковцем, показали, що завдяки впливу цього вимощення відбувається переміщення нульової ізотерми назовні від стіни, а ґрунт, який прилягає до фундаменту, захищається від промерзання.

Смірський Ю.М. в роботі [47] запропонував використовувати утеплене вимощення для зменшення тепловтрат підлогою, яка має за основу ґрунт. Науковцем розроблено утеплююче вимощення консольного типу, яке складається із залізобетонної Г-подібної плити, двох шарів мінераловатних плит та армованої стяжки. Товщина шару утеплювача визначається за формулами запропонованими залежно від кліматичних умов району будівництва.

Недоліки підвищення теплозахисту будівель методом утепленого вимощення (можливі механічні пошкодження, зволоження утеплювача та утворення тріщин в місцях прилягання до цоколю) визнані навіть їх авторами, але при правильній експлуатації це достатньо ефективний метод зменшення тепловтрат підлогою.

Конструкція утеплюючого вимощення, запропонованого в роботі [46], складається із залізобетонної плити ребрами вгору, насипних матеріалів у якості утеплювача, гідроізоляції та асфальтного шару. Товщина шару утеплювача прийнята за умов можливості випаровування накопиченої вологи протягом літнього періоду і складає 20-35 см. Ширина вимощення залежить від кліматичних умов місця будівництва і приймається 90-160 см. Утеплюючі вимощення розроблялись для промислових будівель, але в подальшому були рекомендовані для громадських будинків з фундаментами мілкового закладання.

У зв'язку з тим, що найбільші коливання температури відбуваються в пристінній зоні підлоги та цокольної частині будівлі, то для запобігання утворення конденсату в місцях дотикання підлоги і стіни треба передбачати теплоізоляцію також і цоколю (рис. 15.31).

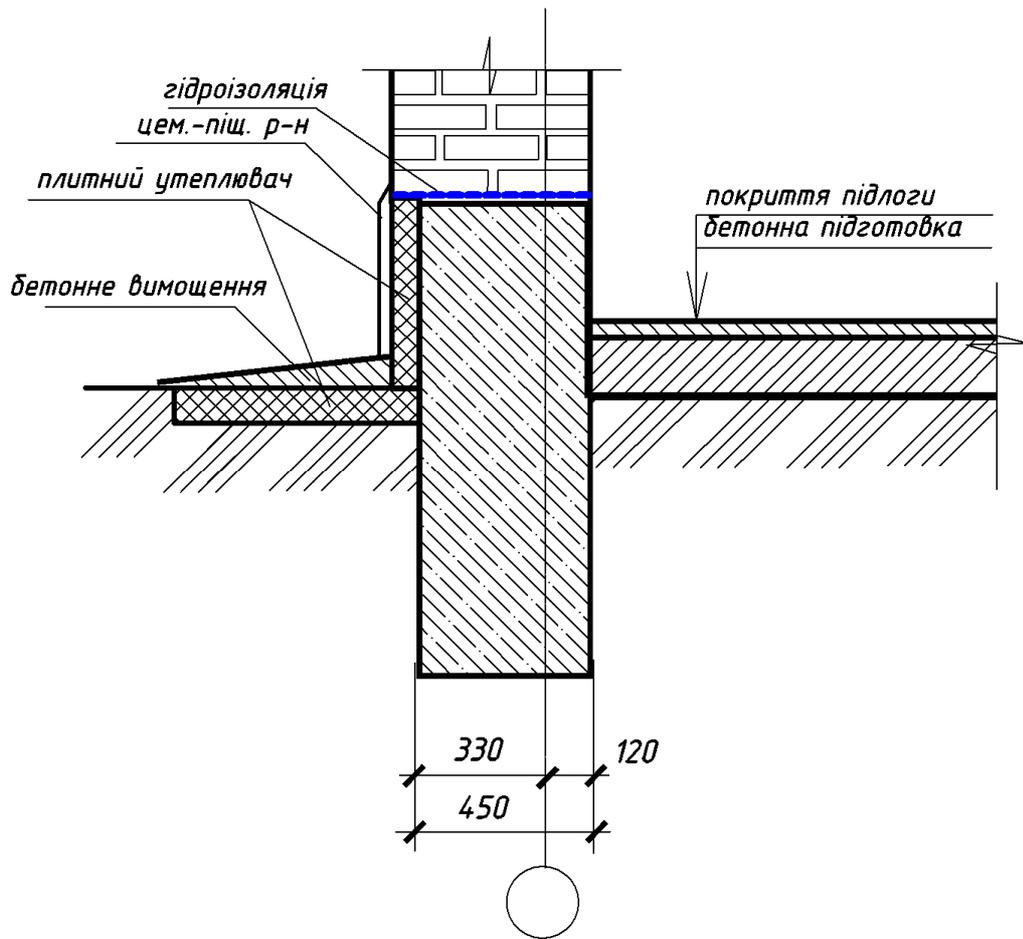


Рис. 15.31 Зниження тепловтрат підлогою завдяки утепленому вимощенню

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): [учебник для вузов.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.: ил.
2. Гиндоян А. Г. Тепловой режим конструкций полов / А. Г. Гиндоян. – М.: Стройиздат, 1984. – 222 с.
3. Гусев Н.М. Основы строительной физики. М.: Высш. шк., 1975. – 511с.: ил.
4. ДБН В.1.1-7: 2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. - К.: Держбуд України, 2003. - 41 с.
5. ДБН В.1.2-11: 2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Економія енергії. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008.- 13с.
6. ДБН В.2.6-31: 2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с
7. ДБН В.2.6-33: 2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 24 с.
8. ДСТУ Б А.2.2-8:2010 Проектування. Розділ "Енергоефективність" у складі проектної документації об'єктів. – К. : Мінрегіонбуд України, 2014. – 53 с.
9. ДСТУ Б В.2.2-19:2007 Будинки і споруди. Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах. - К.: Мінрегіонбуд України, 2008. - 19 с.
10. ДСТУ Б В.2.6-17-2000 (ГОСТ 26602.1-99) Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі
11. ДСТУ Б В.2.6-18:2000 Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення повітро- та водонепроникності.
12. ДСТУ Б В.2.6-34:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги. - К. : Мінрегіонбуд України, 2009. - 13 с.
13. ДСТУ Б В.2.6-35:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком. Загальні технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 29 с.
14. ДСТУ Б В.2.6-36:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням

штукатурками. Загальні технічні умови. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 25 с.

15. ДСТУ Б В.2.6-37:2008 Конструкції будинків і споруд. Методи визначення показників повітропроникності огорожувальних конструкцій і їх елементів в лабораторних умовах. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 14 с.

16. ДСТУ Б В.2.6-100:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення теплостійкості огорожувальних конструкцій. - К. : Мінрегіонбуд України, 2010. - 24 с.

17. ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 83 с.

18. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 51 с.

19. ДСТУ Б В.2.7-45:2010 Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Технічні умови. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 41 с.

20. ДСТУ Б В.2.7-56:2010 Будівельні матеріали. Вироби теплоізоляційні зі скляного штапельного волокна. Технічні умови. - К. : Мінрегіонбуд України, 2010. - 35 с.

21. ДСТУ Б В.2.7-150:2008 Будівельні матеріали. Пінополіуретани монтажні (монтажні піни). Загальні технічні умови. - К. : Мінрегіонбуд України, 2009. - 14 с.

22. ДСТУ Б В.2.7-164:2008 Будівельні матеріали. Вироби з ніздрюватих бетонів теплоізоляційні. Технічні умови. - К. : Мінрегіонбуд України, 2009. - 12 с.

23. ДСТУ Б В.2.7-167:2008 Будівельні матеріали. Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому. Загальні технічні умови (EN 13162:2001, NEQ). - К. : Мінрегіонбуд України, 2009. - 25 с.

24. ДСТУ Б В.2.7-182:2009 Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах. - К. : Мінрегіонбуд України, 2010. - 18 с.

25. ДСТУ Б В.2.7-195:2009 Будівельні матеріали. Матеріали і вироби теплоізоляційні. Номенклатура показників. - К. : Мінрегіонбуд України, 2010. - 9 с.

26. ДСТУ Б В.2.7-280:2011 Вермикуліт спучений. Технічні умови (ГОСТ 12865-67, MOD). - К. : Мінрегіонбуд України, 2012. - 16 с.
27. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT). - К. : НДІБК, 2011. – 229 с.
28. ДСТУ Б EN 13163:2012 Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби зі спіненого полістиролу (EPS). Технічні умови (EN 13163:2008, IDT). - К. : Мінрегіон України, 2013. - 63 с.
29. ДСТУ Б EN 13164:2013 Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби із екструдованого пінополістиролу (XPS). Технічні умови (EN 13164:2008, IDT). - К. : Мінрегіон України, 2014. - 55 с.
30. ДСТУ ISO 10211-1:2005 Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 1. Загальні методи. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 38 с.
31. ДСТУ ISO 10211-2:2005 Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 2. Лінійні теплопровідні включення. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с.
32. ДСТУ-Н Б А.2.2 5:2007 Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорту будинків при новому будівництві та реконструкції. - К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с.
33. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.
34. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування і улаштування вікон та дверей. - К.: Мінрегіонбуд України, 2010.– 70 с.
35. ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013 Настанова з розрахункової оцінки теплостійкості та теплосвоєння огорожувальних конструкцій. - К.: Мінрегіон України, 2014.– 6 с.
36. ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013 Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огорожувальних конструкцій. - Київ : Мінрегіон України, 2014. - 10 с.
37. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. - К.: Мінрегіон України, 2014.– 37 с.

38. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А. В. Лыков. – Минск: Изд-во АН БССР, 1961. – 519 с.
39. Маляренко В.А. Основы теплофизики зданий и энергосбережения. – Харьков : ХНАМГ, 2006
40. Фаренюк Г.Г. Основы забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк – К.: Гама-Принт. – 2009. – 216 с.
41. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. – [изд. 4-е, перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
42. Шкловер А. М. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий / Шкловер А. М., Васильев Б. Ф., Ушков Ф. В. – М.: Госиздат, 1956. – 349 с.
43. ISO/FDIS 10456:2007(E) Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values
44. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.1. Руководство пользователя. Производственный кооператив ТОР. Санкт-Петербург, 2003. – 252 с.
45. Иван Гнип Теплопроводность пенополистирольных плит в зависимости от увлажнения / Иван Гнип, Владисловас Кершулис, Сигитас Веялис
46. <http://www.elibrary.lt/resursai/LMA/Energetika/E-67-1.pdf>
47. Шаламов Н. П., Ильинский В.Г., Савельев А.М. Влияние отмоксти на тепловой режим фундаментов и оснований // Промышленное строительство. – 1966. – № 7. – С. 22-24.
48. Смирский Ю.Н. Влияние конструктивной структуры около фундаментной зоны на теплопотери через полы по грунту: Дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения” / Ю. Н. Смирский. – Полтава, 1991. – 133 с.
49. Альбом технічних рішень системи теплоізоляції Ремтеко-Термомакс
<http://www.thermomax.ru>
50. Альбом технічних рішень ООО "Строй Групп"
<http://str-grup.ru/>

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

РОЗРАХУНКОВІ ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ч.ч.	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)	А	Б	теплопровідність λ_p , Вт/(м·К)		коефіцієнт геплозасвоєння 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 МАТЕРІАЛИ											
1.1 Волокнисті матеріали											
1	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна	30	0,84	0,039	0,5	1,0	0,046	0,050	0,29	0,31	0,55
		40	0,84	0,039	0,5	1,0	0,046	0,049	0,34	0,35	0,53
		50	0,84	0,038	0,5	1,0	0,044	0,048	0,37	0,39	0,52
		75	0,84	0,037	0,5	1,0	0,043	0,047	0,45	0,48	0,50
		100	0,84	0,038	0,5	1,0	0,044	0,048	0,53	0,56	0,47
		125	0,84	0,038	0,5	1,0	0,045	0,049	0,59	0,63	0,43
		150	0,84	0,039	0,5	1,0	0,048	0,050	0,67	0,69	0,38
		175	0,84	0,039	0,5	1,0	0,049	0,052	0,73	0,76	0,35
		200	0,84	0,040	0,5	1,0	0,050	0,053	0,79	0,83	0,31
		225	0,84	0,040	0,5	1,0	0,050	0,054	0,84	0,88	0,30
2	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі скляного штапельного волокна	10	0,84	0,044	1	3	0,055	0,057	0,19	0,20	0,70
		15	0,84	0,040	1	3	0,050	0,052	0,22	0,23	0,65
		20	0,84	0,037	1	3	0,047	0,050	0,25	0,27	0,60
		35	0,84	0,035	1	3	0,044	0,047	0,31	0,34	0,53
		70	0,84	0,032	1	3	0,042	0,045	0,43	0,47	0,45

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.2 Полімерні матеріали											
3	Вироби зі спіненого пінополістиролу	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
4	Вироби із екструдованого пінополістиролу	30	1,45	0,034	0,5	1	0,035	0,036	0,34	0,34	0,008
		35	1,45	0,035	0,5	1	0,036	0,037	0,37	0,38	0,008
5	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
6	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
7	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
8	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
9	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											
10	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
11	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
12	Вироби теплоізоляційні перліто-цементні 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

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	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
14	Целюлозний утеплювач	35	0,84	0,039	14	20	0,045	0,048	0,41	0,45	0,35
		50	0,84	0,039	14	21	0,048	0,052	0,50	0,57	0,34
		65	0,84	0,041	15	22	0,052	0,056	0,60	0,68	0,34
		100	0,84	0,056	16	24	0,066	0,070	0,85	0,97	0,33
15	Вироби цементополістирольні	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
16	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
17	Піноскло	120	0,84	0,045	0,5	1	0,053	0,054	0,63	0,65	0,002
18	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
19	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
20	Плити теплоізоляційні очеретян	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
21	Плити деревноволокнисті та деревностружкові	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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.4 Бетони теплоізоляційні											
22	Бетони ніздрюваті	200	0,84	0,055	4	6	0,069	0,074	1,01	1,09	0,28
		250	0,84	0,065	4	6	0,078	0,088	1,20	1,32	0,28
		300	0,84	0,080	4	6	0,09	0,10	1,41	1,54	0,26
		350	0,84	0,090	4	6	0,10	0,12	1,60	1,83	0,24
23	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											
24	Щебінь перлітовий	300	0,84	0,112	1	2	0,115	0,12	1,42	1,51	0,26
25	Гравій шлаковий	300	0,84	0,112	1	3	0,12	0,13	1,56	1,65	0,22
26	Щебінь шлаковий	350	0,84	0,162	1	3	0,17	0,19	2,00	2,16	0,21
27	Вермикулітова засипка	100	0,84	0,055	1	3	0,067	0,08	0,66	0,75	0,3
		150	0,84	0,060	1	3	0,074	0,098	0,84	1,02	0,26
		200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,105	1,01	1,16	0,23
		250	0,84	0,070	2	3	0,09	0,11	1,20	1,39	0,20
28	Гравій керамзитовий	200	0,84	0,009	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,27
		300	0,84	0,11	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	0,19	2,62	2,83	0,23
		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
29	Щебінь шлакопемзовий	400	0,84	0,12	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12	0,26
		500	0,84	0,14	2	3	0,16	0,19	2,32	2,59	0,25
		600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,70	2,98	0,24
		700	0,84	0,16	2	3	0,19	0,23	2,99	3,37	0,23
		800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83	0,22
30	Крихта з піноскла	80	0,84	0,06	0,5	1,0	0,070	0,071	0,60	0,62	0,28
31	Пісок для будівельних робіт	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.6 Розчини теплоізоляційні											
32	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
33	Розчини гіпсоперлітові	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
34	Розчини цементно-кремнезитові	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
35	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
36	Розчини цементно-пінополістирольні	600	0,84	0,10	4	10	0,12	0,17	2,33	3,06	0,07
37	Вироби на основі перліту	320	0,84	0,076	5	8,5	0,091	0,095	1,49	1,63	0,1
		330	0,84	0,080	7,5	11,5	0,096	0,104	1,63	1,82	0,09
		370	0,84	0,096	3,5	7,0	0,107	0,115	1,69	1,87	0,07
		450	0,84	0,106	6,5	11	0,13	0,14	2,14	2,44	0,07
2 КОНСТРУКЦИНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ											
2.1 Бетони ніздрюваті											
38	Бетони ніздрюваті	300	0,84	0,080	4	6	0,09	0,10	1,41	1,54	0,26
		350	0,84	0,090	4	6	0,10	0,12	1,60	1,83	0,24
		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
		600	0,84	0,14	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
		1200	0,84	0,38	10	15	0,49	0,55	7,37	8,48	0,09

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
39	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											
40	Керамзитобетон на керамзитовому піску	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
41	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
42	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
43	Керамзитшлакобетон	1000	0,84	0,25	4	8	0,33	0,41	5,06	5,91	0,15
44	Перлітобетон	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
45	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
46	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
47	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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.3 Вироби гіпсові											
48	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
49	Листи гіпсокартонні	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075
2.4 Вироби бетонні											
50	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											
51	Сосна та ялина поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
52	Сосна та ялина вздовж волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
53	Дуб поперек волокон	700	2,3	0,10	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
54	Дуб вздовж волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3
55	Фанера клеєна	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
56	Картон облицювальний	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06
57	Картон будівельний багат шаровий	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083
2.6 Цегляна кладка з порожнистої цегли											
58	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
59	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
60	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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.7 Кладка з виробів бетонних											
61	3 блоків керамзитошлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 800 кг/м ³ (брутто)	1350	0,88	0,31	1	2	0,37	0,43	5,06	5,91	0,15
62	3 блоків керамзитошлакобетонних на цементно-піщаному розчині густиною 850 кг/м ³ (брутто)	1400	0,88	0,34	1	2	0,46	0,51	5,95	6,41	0,15
63	3 блоків кремнезитоцементних на вапняному розчині із сіпо-рового 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											
64	Залізобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
65	Бетон на гравії 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											
66	Розчин вапняно-піщаний	1600	0,84	0,47	2	4	0,70	0,81	8,69	9,76	0,12
67	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,70	0,87	8,95	10,42	0,098
68	Розчин цементно-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											
	Плити та вироби з природного каменю:										
69	граніт, гнейс та базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
70	мармур	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
71	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
72	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

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	туф	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
73	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											
74	Керамічної звичайної на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,2	10,12	0,11
75	Керамічної звичайної на цементно-шлаковому розчині	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
76	Керамічної звичайної на цементно-перлітовому розчині	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,70	8,08	9,23	0,15
77	Силікатної на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,70	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
78	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
79	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, пароізоляційні та покриття полімерні для підлог											
0	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
81	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
82	Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008
83	Руберойд, пергамін	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	0,001
84	Мембрана ПВХ	1000	1,47	0,23	0	0	0,23	0,23	5,87	5,87	0,00011
85	Пароізоляційна плівка	1600	1,47	0,3	0	0	0,3	0,3	8,56	8,56	0

Кінець таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
86	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
87	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
88	Лінолеум полівінілхлоридний багат шаровий 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 та скло											
89	Сталь арматурна	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
90	Чавун	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	112,5	0
91	Алюміній	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6	0
92	Латунь, мідь	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	326	0
93	Скло віконне	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0
<p>Примітка. Для будівельних матеріалів, що не увійшли до таблиці, розрахункові значення теплофізичних характеристик необхідно визначати експериментально згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-182.</p>											

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1

ПРИВЕДЕНИЙ ОПІР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ СКЛОПАКЕТІВ

Кількість камер у склопакеті	Варіанти скління*	Газовий склад середовища камер склопакетів, %			Опір теплопередачі, м ² К/Вт
		Повітря	Кріптон	Аргон	
1	2	3	4	5	6
1	4M ₁ -8-4M ₁	100			0,28
1	4M ₁ -10-4M ₁	100			0,29
1	4M ₁ -12-4M ₁	100			0,30
1	4M ₁ -16-4M ₁ ¹	100			0,32
1	4M ₁ -8-4M ₁			100	0,30
1	4M ₁ -10-4M ₁			100	0,31
1	4M ₁ -12-4M ₁			100	0,32
1	4M ₁ -16-4M ₁			100	0,34
1	4M ₁ -16-4M ₁		100		0,38
1	4M ₁ -8-4K	100			0,47
1	4M ₁ -10-4K	100			0,49
1	4M ₁ -12-4K	100			0,51
1	4M ₁ -16-4K	100			0,53
1	4M ₁ -8-4K			100	0,53
1	4M ₁ -10-4K			100	0,55
1	4M ₁ -12-4K			100	0,57
1	4M ₁ -16-4K			100	0,59
1	4M ₁ -16-4K		100		0,62
1	4K-16-4K		100		0,67
1	4M ₁ -8-4i	100			0,51
1	4M ₁ -10-4i	100			0,53
1	4M ₁ -12-4i	100			0,56
1	4M ₁ -16-4i	100			0,59
1	4M ₁ -8-4i			100	0,57
1	4M ₁ -10-4i			100	0,60
1	4M ₁ -12-4i			100	0,63
1	4M ₁ -16-4i			100	0,66
1	4M ₁ -16-4i		100		0,75
1	4M ₁ -16-4i		75	25	0,72
1	4M ₁ -16-4i		50	50	0,70
1	4M ₁ -16-4i		25	75	0,67
2	4M ₁ -6-4M ₁ -6-4M ₁	100			0,42
2	4M ₁ -8-4M ₁ -8-4M ₁	100			0,45
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4M ₁	100			0,47
2	4M ₁ -12-4M ₁ -12-4M ₁	100			0,49
2	4M ₁ -16-4M ₁ -16-4M ₁	100			0,52
2	4M ₁ -6-4M ₁ -6-4M ₁			100	0,44
2	4M ₁ -8-4M ₁ -8-4M ₁			100	0,47
2	4M ₁ -8-4M ₁ -8-4M ₁		100		0,51
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4M ₁			100	0,49

Продовження табл.Б.1

1	2	3	4	5	6
2	4M ₁ -12-4M ₁ -12-4M ₁			100	0,52
2	4M ₁ -16-4M ₁ -16-4M ₁			100	0,55
2	4M ₁ -6-4M ₁ -6-4K	100			0,53
2	4M ₁ -8-4M ₁ -8-4K	100			0,55
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4K	100			0,59
2	4M ₁ -12-4M ₁ -12-4K	100			0,61
2	4M ₁ -16-4M ₁ -16-4K	100			0,65
2	4M ₁ -6-4M ₁ -6-4K			100	0,60
2	4M ₁ -8-4M ₁ -8-4K			100	0,62
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4K			100	0,65
2	4M ₁ -12-4M ₁ -12-4K			100	0,68
2	4M ₁ -16-4M ₁ -16-4K			100	0,72
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4K		100		0,85
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4K		75	25	0,82
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4K		50	50	0,80
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4K		25	75	0,78
2	4K-10-4M ₁ -10-4K	100			0,73
2	4M ₁ -10-4K-10-4K		100		1,28
2	4K-10-4M ₁ -10-4K		100		1,32
2	4M ₁ -8-4M ₁ -8-4i	100			0,61
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4i	100			0,64
2	4M ₁ -12-4M ₁ -12-4i	100			0,68
2	4M ₁ -16-4M ₁ -16-4i	100			0,72
2	4M ₁ - 6-4M ₁ -6-4i			100	0,64
2	4M ₁ - 8-4M ₁ -8-4i			100	0,67
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4i			100	0,71
2	4M ₁ - 12- 4M ₁ -12-4i			100	0,75
2	4M ₁ -16-4M ₁ -16-4i			100	0,80
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4i		100		0,94
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4i		75	25	0,90
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4i		50	50	0,85
2	4M ₁ -10-4M ₁ -10-4i		25	75	0,78
2	4i-10-4M ₁ -10-4i	100			0,93
2	4i-10-4M ₁ -10-4i		100		1,35
2	4i-10-4M ₁ -10-4i		75	25	1,28
2	4i-10-4M ₁ -10-4i		50	50	1,18
2	4i-10-4M ₁ -10-4i		25	75	1,14

* Примітка. Порядок скління - від зовнішньої поверхні

Позначення скла: M₁ – листове стандартне, K - енергозберігаюче з твердим покриттям, і – енергозберігаюче з м'яким покриттям

ДОДАТОК В

ФОРМА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАСПОРТУ БУДИНКУ

Таблиця В1

Загальна інформація

Дата заповнення (рік, місяць, число)	
Адреса будинку	
Розробник проекту	
Адреса і телефон розробника	
Шифр проекту будинку	
Рік будівництва	

Таблиця В2

Розрахункові параметри

Найменування розрахункових параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Величина
1 Розрахункова температура внутрішнього повітря	$t_{в}$	°С	
2 Розрахункова температура зовнішнього повітря	$t_{з}$	°С	
3 Розрахункова температура теплого горища	$t_{гв}$	°С	
4 Розрахункова температура техпідпілля	$t_{ц}$	°С	
5 Тривалість опалювального періоду	$z_{оп}$	доба	
6 Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період	$t_{оп з}$	°С	
7 Розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду	D_d	°С·доба	
Функціональне призначення, тип і конструктивне рішення будинку			
8 Призначення			
9 Розміщення в забудові			
10 Типовий проект, індивідуальний			
11 Конструктивне рішення			

Таблиця В3

Геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники

Показник	Позначення і розмірність показника	Нормативне значення показника	Розрахункове (проектне) значення показника	Фактичне значення показника
1	2	3	4	5
Геометричні показники				
12 Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку	$F_{\Sigma}, \text{м}^2$	--		
В тому числі:				
- стін	$F_{нп}, \text{м}^2$	--		
- вікон і балконних дверей	$F_{сп}, \text{м}^2$	--		
- вітражів	$F_{сп}, \text{м}^2$	--		
- ліхтарів	$F_{сп}, \text{м}^2$	--		
- покриття (суміщених)	$F_{д}, \text{м}^2$	--		

1	2	3	4	5
- горищних перекриттів (холодного горища)	$F_{д}, M^2$	--		
- перекриттів теплих горищ	$F_{д}, M^2$	--		
- перекриттів над техпідпіллями	$F_{ц1}, M^2$	--		
- перекриттів над неопалюваними підвалами і підпіллями	$F_{ц2}, M^2$	--		
- перекриттів над проїздами і під еркерами	$F_{ц3}, M^2$	--		
- підлоги по ґрунту	$F_{ц}, M^2$	--		
13 Площа опалюваних приміщень	F_{h}, M^2	--		
14 Корисна площа (для громадських будинків)	F_{l}, M^2	--		
15 Площа житлових приміщень і кухонь	F_{l}, M^2	--		
16 Розрахункова площа (для громадських будинків)	F_{l}, M^2	--		
17 Опалюваний об'єм	V_{h}, M^3	--		
18 Коефіцієнт скління фасадів будинку	F	--		
19 Показник компактності будинку	$k_{к буд}$	--		
Теплотехнічні та енергетичні показники				
Теплотехнічні показники				
1	2	3	4	5
20 Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожень	$R_{\Sigma пр}, M^2 \cdot K / B T$			
- стін	$R_{\Sigma пр ст}$			
- вікон і балконних дверей	$R_{\Sigma пр в}$			
- вітражів	$R_{\Sigma пр вт}$			
- ліхтарів	$R_{\Sigma пр л}$			
- вхідних дверей, воріт	$R_{\Sigma пр вд}$			
- покриттів (суміщених)	$R_{\Sigma пр п}$			
- горищних перекриттів (холодних горищ)	$R_{\Sigma пр г}$			
- перекриттів теплих горищ (включаючи покриття)	$R_{\Sigma пр пг}$			
- перекриттів над техпідпіллями	$R_{\Sigma пр пт}$			
- перекриттів над неопалюваними підвалами або підпіллями	$R_{\Sigma пр пн}$			
- перекриттів над проїздами й під еркерами	$R_{\Sigma пр пп}$			
- підлоги по ґрунту	$R_{\Sigma пр пд}$			

1	2	3	4	5
Енергетичні показники				
21	Розрахункові питомі тепловитрати	$q_{\text{буд}}$, кВт · год/м ² , [кВт · год/м ³]		
22	Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку	E_{max} , кВт · год/м ² , [кВт · год/м ³]		
23	Клас енергетичної ефективності			
24	Термін ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонки та її елементів			
25	Відповідність проекту будинку нормативним вимогам			
26	Необхідність доопрацювання проекту будинку			

Таблиця В4

Висновки за результатами оцінки енергетичних параметрів будинку

Вказівки щодо підвищення енергетичної ефективності будинку	
Рекомендовано:	
-	
-	

Паспорт заповнений:	
Організація	
Адреса и телефон	
Відповідальний виконавець	

ДОДАТОК Г

Таблиця Г1

Температура зовнішнього повітря (табл. 2 [33])

Область, місто	Температура повітря												Температура повітря, °С						Період із середньою добовою температурою повітря											
	Середня місячна												Середня добова амплітуда температури °С						холодного періоду			теплого періоду			≤ 8 °С		≤ 10 °С		≥ 21 °С	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Середня за рік	найхолодніша доба забезпеченістю		найхолодніша п'ятиденка забезпеченістю		найжаркіша доба забезпеченістю 0,95	найжаркіша п'ятиденка забезпеченістю 0,99	тривалість, діб	середня температура, °С	тривалість, діб	середня температура, °С	тривалість, діб	середня температура, °С					
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		0,98	0,92	0,98	0,92													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26					
Автономна Республіка Крим																														
Ай-Петрі	<u>-3,4</u> —	<u>-3,3</u> —	<u>-0,7</u> —	<u>4,8</u> —	<u>9,6</u> —	<u>13</u> —	<u>15,5</u> —	<u>15,1</u> —	<u>11,0</u> —	<u>6,7</u> —	<u>2,5</u> —	<u>-1,6</u> —	5,8	-24	-22	-20	-18	23	19	210	0,8	242	1,9	—	—					
Клепиніне	<u>-1,0</u> —	<u>-0,2</u> —	<u>3,4</u> —	<u>10,0</u> —	<u>15,7</u> —	<u>20,0</u> —	<u>22,7</u> —	<u>21,8</u> —	<u>16,7</u> —	<u>10,7</u> —	<u>5,7</u> —	<u>1,6</u> —	10,6	-27	-25	-23	-21	29	26	157	2,2	177	3,1	70	22,3					
Сімферополь	<u>-0,3</u> 7,1	<u>0,4</u> 7,3	<u>3,7</u> 9,0	<u>10,1</u> 10,8	<u>15,1</u> 11,3	<u>19,2</u> 11,4	<u>21,8</u> 11,3	<u>21,3</u> 11,9	<u>16,7</u> 11,3	<u>11,0</u> 9,9	<u>6,1</u> 7,8	<u>2,1</u> 6,5	10,6	-22	-20	-18	-15	28	25	154	2,6	175	3,5	61	21,8					
Феодосія	<u>1,2</u> —	<u>1,6</u> —	<u>4,6</u> —	<u>10,6</u> —	<u>16,1</u> —	<u>20,8</u> —	<u>23,2</u> —	<u>23,1</u> —	<u>18,4</u> —	<u>12,6</u> —	<u>7,6</u> —	<u>3,8</u> —	12,0	-22	-19	-17	-15	30	26	142	3,6	163	4,3	83	23,3					
Ялта	<u>4,1</u> —	<u>4,2</u> —	<u>6,0</u> —	<u>10,6</u> —	<u>15,7</u> —	<u>19,8</u> —	<u>23,6</u> —	<u>23,2</u> —	<u>19,0</u> —	<u>13,6</u> —	<u>9,5</u> —	<u>6,1</u> —	13,0	-10	-8	-7	-6	31	26	126	5,3	152	6,1	83	23,0					
Вінницька область																														
Вінниця	<u>-5,1</u> 6,2	<u>-3,8</u> 6,1	<u>0,5</u> 7,1	<u>8,1</u> 9,7	<u>14,2</u> 11,2	<u>17,2</u> 10,9	<u>18,7</u> 10,8	<u>18,0</u> 11,2	<u>13,3</u> 10,6	<u>7,6</u> 8,7	<u>1,8</u> 5,5	<u>-2,9</u> 5,0	7,3	-29	-26	-25	-21	27	23	182	-0,2	202	0,6	—	—					

Продовження таблиці Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Волинська область																									
Ковель	<u>-3,9</u> —	<u>-2,7</u> —	<u>1,3</u> —	<u>8,1</u> —	<u>13,9</u> —	<u>16,9</u> —	<u>18,2</u> —	<u>17,6</u> —	<u>13</u> —	<u>7,9</u> —	<u>2,5</u> —	<u>-1,9</u> —	7,6	-28	-25	-23	-21	27	23	177	0,4	199	1,2	—	—
Луцьк	<u>-4,2</u> 5,8	<u>-3</u> 6	<u>1,1</u> 7,2	<u>8,1</u> 9,5	<u>13,9</u> 10,7	<u>16,9</u> 10,6	<u>18,4</u> 10,6	<u>17,7</u> 10,9	<u>13,2</u> 9,9	<u>7,9</u> 8,3	<u>2,4</u> 5,2	<u>-2,4</u> 4,9	7,5	-27	-24	-22	-20	27	23	180	0,3	201	1,1	—	—
Дніпропетровська область																									
Дніпропетровськ	<u>-4,7</u> 6	<u>-3,8</u> 5,9	<u>1,1</u> 7	<u>9,6</u> 9,9	<u>16</u> 11	<u>19,6</u> 10,8	<u>21,6</u> 10,6	<u>20,7</u> 11,2	<u>15,4</u> 10,7	<u>8,6</u> 8,8	<u>2,2</u> 5,6	<u>-2,5</u> 5	8,7	-29	-27	-26	-24	30	26	172	-0,2	188	0,6	57	21,6
Комісарівка	<u>-4,9</u> —	<u>-3,8</u> —	<u>1,0</u> —	<u>9,3</u> —	<u>15,5</u> —	<u>19,0</u> —	<u>20,9</u> —	<u>20,0</u> —	<u>14,7</u> —	<u>8,2</u> —	<u>2,2</u> —	<u>-2,4</u> —	8,3	-27	-25	-22	-20	29	25	175	-0,2	192	0,6	43	21,0
Кривий Ріг	<u>-4,3</u> —	<u>-3,3</u> —	<u>1,6</u> —	<u>9,6</u> —	<u>15,8</u> —	<u>19,4</u> —	<u>21,5</u> —	<u>20,7</u> —	<u>15,5</u> —	<u>8,9</u> —	<u>2,7</u> —	<u>-2,0</u> —	8,8	-26	-23	-18	-17	30	25	171	0,2	188	1,0	55	21,5
Донецька область																									
Донецьк	<u>-5,2</u> 6,3	<u>-4,4</u> 6,2	<u>0,7</u> 7,0	<u>9,4</u> 9,9	<u>15,4</u> 10,5	<u>19,0</u> 11,1	<u>21,2</u> 11,2	<u>19,8</u> 11,5	<u>14,9</u> 10,7	<u>8,0</u> 8,8	<u>1,8</u> 5,7	<u>-2,9</u> 5,2	8,1	-29	-27	-24	-22	30	26	176	-0,5	192	0,3	47	21,3
Житомирська область																									
Житомир	<u>-5,1</u> 6,4	<u>-4,0</u> 6,4	<u>0,4</u> 7,1	<u>7,9</u> 9,5	<u>14,0</u> 11,0	<u>17,1</u> 10,7	<u>18,5</u> 10,4	<u>17,7</u> 10,9	<u>13,0</u> 10,3	<u>7,4</u> 8,5	<u>1,7</u> 5,4	<u>-2,8</u> 5,2	7,2	-29	-25	-24	-22	27	23	184	-0,2	203	0,5	—	—
Овруч	<u>-5,1</u> —	<u>-4,1</u> —	<u>0,3</u> —	<u>7,9</u> —	<u>14,1</u> —	<u>17,1</u> —	<u>18,5</u> —	<u>17,6</u> —	<u>12,8</u> —	<u>7,1</u> —	<u>1,5</u> —	<u>-3,1</u> —	7,1	-29	-26	-23	-21	27	22	186	-0,3	205	0,4	—	—
Закарпатська область																									
Берегово	<u>-2,7</u> —	<u>0,1</u> —	<u>5,0</u> —	<u>10,9</u> —	<u>15,9</u> —	<u>18,7</u> —	<u>20,2</u> —	<u>19,6</u> —	<u>15,7</u> —	<u>10,3</u> —	<u>4,8</u> —	<u>-0,2</u> —	9,9	-22	-18	-18	-15	—	—	152	2,1	168	2,8	—	—
Міжгір'я	<u>-5,0</u> —	<u>-2,6</u> —	<u>1,4</u> —	<u>7,2</u> —	<u>12,3</u> —	<u>15,0</u> —	<u>16,4</u> —	<u>15,8</u> —	<u>12,3</u> —	<u>7,4</u> —	<u>2,5</u> —	<u>2,4</u> —	6,7	-22	-21	-17	-15	—	—	178	0,9	186	1,2	—	—

Продовження таблиці Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Плай	<u>-6,3</u> —	<u>-6,0</u> —	<u>-2,9</u> —	<u>1,9</u> —	<u>7,6</u> —	<u>9,9</u> —	<u>11,4</u> —	<u>11,5</u> —	<u>7,7</u> —	<u>3,6</u> —	<u>-1,4</u> —	<u>-5,1</u> —	2,7	-26	-24	-22	-20	20	15	245	-1,1	290	0,6	—	—	
Рахів	<u>-4,3</u> —	<u>-1,7</u> —	<u>2,3</u> —	<u>8,0</u> —	<u>13,0</u> —	<u>15,6</u> —	<u>17,0</u> —	<u>16,4</u> —	<u>12,9</u> —	<u>7,8</u> —	<u>2,8</u> —	<u>-1,8</u> —	7,3	-23	-20	-18	-15	—	—	175	1,0	188	1,4	—	—	
Ужгород	<u>-2,4</u> 6,6	<u>-0,2</u> 7,3	<u>4,7</u> 8,9	<u>10,8</u> 10,5	<u>15,8</u> 11,1	<u>18,7</u> 10,9	<u>20,3</u> 11,3	<u>19,8</u> 11,4	<u>15,5</u> 10,8	<u>10,2</u> 9,8	<u>4,7</u> 6,5	<u>-0,5</u> 5,6	9,8	-25	-23	-21	-18	30	27	154	1,4	175	2,5	28	20,7	
Хуст	<u>-4,3</u> —	<u>-1,3</u> —	<u>3,8</u> —	<u>10,1</u> —	<u>15,1</u> —	<u>17,8</u> —	<u>19,2</u> —	<u>18,5</u> —	<u>14,5</u> —	<u>8,9</u> —	<u>3,7</u> —	<u>-1,3</u> —	8,7	-27	-22	-20	-16	—	—	165	1,7	177	2,1	—	—	
Запорізька область																										
Гуляйполе	<u>-4,1</u> —	<u>-3,4</u> —	<u>1,5</u> —	<u>9,6</u> —	<u>15,5</u> —	<u>19,4</u> —	<u>21,6</u> —	<u>20,5</u> —	<u>15,1</u> —	<u>8,4</u> —	<u>2,5</u> —	<u>-1,9</u> —	8,7	-28	-25	-23	-21	30	26	173	0,3	189	0,9	55	21,4	
Запоріжжя	<u>-3,5</u> 5,9	<u>-2,6</u> 6,0	<u>2,0</u> 7,2	<u>10,1</u> 9,8	<u>16,4</u> 10,6	<u>20,2</u> 10,7	<u>22,4</u> 10,9	<u>21,4</u> 11,3	<u>16,2</u> 10,5	<u>9,6</u> 8,6	<u>3,5</u> 5,6	<u>-1,1</u> 5,0	9,6	-27	-24	-23	-21	30	26	166	0,6	182	1,4	69	22,0	
Кирилівка	<u>-4,4</u> —	<u>-3,8</u> —	<u>1,0</u> —	<u>9,1</u> —	<u>15,0</u> —	<u>18,8</u> —	<u>20,6</u> —	<u>20,1</u> —	<u>14,9</u> —	<u>8,1</u> —	<u>2,3</u> —	<u>-2,2</u> —	8,3	-28	-25	-23	-22	29	26	175	-0,1	192	0,7	45	21,1	
Івано-Франківська область																										
Івано-Франківськ	<u>-4,3</u> 7,8	<u>-2,6</u> 7,7	<u>1,7</u> 8,8	<u>8,1</u> 10,8	<u>13,6</u> 11,4	<u>16,7</u> 11,0	<u>18,3</u> 11,0	<u>17,7</u> 11,4	<u>13,4</u> 11,2	<u>8,1</u> 10,4	<u>2,5</u> 7,2	<u>-2,4</u> 6,7	7,6	-26	-24	-22	-20	27	22	179	0,4	200	1,2	—	—	
Пожежевська	<u>-6,2</u> —	<u>-6,0</u> —	<u>-3,3</u> —	<u>1,8</u> —	<u>7,2</u> —	<u>10,1</u> —	<u>11,7</u> —	<u>11,8</u> —	<u>8,0</u> —	<u>4,1</u> —	<u>-0,7</u> —	<u>-4,9</u> —	2,8	-26	-24	-22	-20	20	15	250	-0,9	284	0,5	—	—	
Кіровоградська область																										
Гайворон	<u>-4,3</u> —	<u>-3,0</u> —	<u>1,6</u> —	<u>9,4</u> —	<u>15,3</u> —	<u>18,4</u> —	<u>20,0</u> —	<u>19,2</u> —	<u>14,4</u> —	<u>8,4</u> —	<u>2,7</u> —	<u>-1,9</u> —	8,4	-29	-26	-25	-22	28	24	174	0,3	191	1,1	14	20,5	
Знам'янка	<u>-5,3</u> —	<u>-4,2</u> —	<u>0,7</u> —	<u>8,8</u> —	<u>15,1</u> —	<u>18,5</u> —	<u>20,3</u> —	<u>19,5</u> —	<u>14,4</u> —	<u>7,9</u> —	<u>2,0</u> —	<u>-2,8</u> —	7,9	-29	-27	-25	-22	29	24	178	-0,4	194	0,4	26	20,7	
Кіровоград	<u>-4,9</u> 6,4	<u>-3,9</u> 6,2	<u>0,8</u> 7,4	<u>9,1</u> 10,7	<u>15,2</u> 11,9	<u>18,6</u> 11,6	<u>20,4</u> 11,6	<u>19,7</u> 12,1	<u>14,7</u> 11,6	<u>8,2</u> 9,7	<u>2,1</u> 6,0	<u>-2,6</u> 5,4	8,1	-30	-26	-25	-22	29	25	175	-0,3	192	0,5	32	20,8	

Продовження таблиці Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Київська область																										
Київ	<u>-4,7</u> 5,5	<u>-3,6</u> 5,7	<u>1,0</u> 6,6	<u>9,0</u> 8,8	<u>15,2</u> 9,8	<u>18,3</u> 9,6	<u>19,8</u> 9,4	<u>19,0</u> 9,6	<u>13,9</u> 9,1	<u>8,1</u> 7,5	<u>1,9</u> 4,7	<u>-2,5</u> 4,7	8,0	-29	-26	-25	-22	28	23	176	-0,1	195	0,7	—	—	
Миронівка	<u>-5,0</u> —	<u>-4,4</u> —	<u>0,8</u> —	<u>8,8</u> —	<u>15,0</u> —	<u>18</u> —	<u>19,8</u> —	<u>19,0</u> —	<u>14,1</u> —	<u>8,0</u> —	<u>1,8</u> —	<u>-2,7</u> —	7,8	-29	-26	-25	-22	28	23	178	-0,3	195	0,4	—	—	
Луганська область																										
Луганськ	<u>-5,0</u> 7,3	<u>-4,2</u> 7,2	<u>1,1</u> 7,9	<u>10,1</u> 11,4	<u>16,1</u> 13,1	<u>19,9</u> 13,0	<u>22,0</u> 13,2	<u>20,7</u> 13,6	<u>15,1</u> 13,0	<u>8,2</u> 10,2	<u>2,2</u> 6,3	<u>-2,5</u> 5,7	8,6	-32	-29	-27	-25	30	26	172	-0,4	188	0,4	61	21,7	
Львівська область																										
Львів	<u>-4,0</u> 6,3	<u>-2,7</u> 6,4	<u>1,4</u> 7,6	<u>7,9</u> 9,5	<u>13,4</u> 10,2	<u>16,3</u> 10	<u>17,7</u> 10,2	<u>17,2</u> 10,4	<u>13,0</u> 9,6	<u>8,0</u> 8,6	<u>2,5</u> 5,8	<u>-2,2</u> 5,4	7,4	-25	-24	-20	-19	27	23	179	0,4	201	1,2	—	—	
Миколаївська область																										
Миколаїв	<u>-2,6</u> 6,0	<u>-1,6</u> 6,0	<u>2,8</u> 7,4	<u>10,2</u> 9,7	<u>16,4</u> 10,8	<u>20,3</u> 10,9	<u>22,7</u> 11,1	<u>22,0</u> 11,5	<u>16,8</u> 10,7	<u>10,4</u> 9,1	<u>4,2</u> 6,1	<u>-0,4</u> 5,3	10,1	-26	-23	-22	-20	30	25	161	1,1	178	2,0	75	22,3	
Одеська область																										
Ізмаїл	<u>-1,3</u> —	<u>0,2</u> —	<u>4,3</u> —	<u>10,6</u> —	<u>16,3</u> —	<u>20,3</u> —	<u>22,3</u> —	<u>21,7</u> —	<u>17,0</u> —	<u>11,2</u> —	<u>5,7</u> —	<u>0,7</u> —	10,8	-22	-19	-17	-15	30	26	151	2,0	172	3,0	73	22,0	
Любашівка	<u>-4,3</u> —	<u>-3,0</u> —	<u>1,5</u> —	<u>9,3</u> —	<u>15,3</u> —	<u>18,6</u> —	<u>20,5</u> —	<u>19,9</u> —	<u>15,1</u> —	<u>8,9</u> —	<u>2,8</u> —	<u>-1,9</u> —	8,6	-27	-24	-21	-19	29	24	172	0,3	189	1,0	37	20,9	
Одеса	<u>-1,3</u> 5,3	<u>-0,6</u> 5,0	<u>2,9</u> 5,3	<u>9,2</u> 6,4	<u>15,3</u> 6,9	<u>19,6</u> 7,5	<u>22,0</u> 8,0	<u>21,6</u> 8,1	<u>17,0</u> 7,8	<u>11,3</u> 6,5	<u>5,8</u> 5,4	<u>1,1</u> 5,1	10,3	-24	-21	-20	-18	29	25	158	2,0	178	3,0	65	21,9	
Роздільна	<u>-3,1</u> —	<u>-1,9</u> —	<u>2,5</u> —	<u>9,8</u> —	<u>15,8</u> —	<u>19,4</u> —	<u>21,5</u> —	<u>21,0</u> —	<u>16,1</u> —	<u>9,9</u> —	<u>3,9</u> —	<u>-0,9</u> —	9,5	-25	-22	-20	-17	30	26	164	0,9	182	1,8	59	21,6	
Сарата	<u>-1,8</u> —	<u>-0,5</u> —	<u>3,6</u> —	<u>10,0</u> —	<u>16,0</u> —	<u>20,0</u> —	<u>22,1</u> —	<u>21,3</u> —	<u>16,4</u> —	<u>10,5</u> —	<u>5,1</u> —	<u>0,2</u> —	10,2	-25	-22	-22	-20	30	25	158	1,7	178	2,7	66	21,9	
Полтавська область																										

Продовження таблиці Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Лубни	<u>-5,4</u> —	<u>-4,6</u> —	<u>0,3</u> —	<u>8,6</u> —	<u>15,3</u> —	<u>18,5</u> —	<u>20,2</u> —	<u>19,1</u> —	<u>13,7</u> —	<u>7,6</u> —	<u>1,3</u> —	<u>-3,3</u> —	7,6	-29	-26	-25	-23	28	25	180	-0,7	197	0,1	16	20,5	
Полтава	<u>5,6</u> 5,9	<u>-4,7</u> 6,0	<u>0,3</u> 6,6	<u>9,0</u> 9,3	<u>15,4</u> 10,8	<u>18,7</u> 10,7	<u>20,5</u> 10,6	<u>19,7</u> 11,1	<u>14,3</u> 10,2	<u>7,7</u> 8,2	<u>1,3</u> 5,2	<u>-3,4</u> 4,9	7,8	-30	-27	-25	-23	29	25	178	-0,8	195	0,0	31	20,8	
Рівненська область																										
Рівне	<u>-4,6</u> 5,9	<u>-3,4</u> 6,1	<u>0,7</u> 7,1	<u>8,0</u> 9,6	<u>13,8</u> 10,9	<u>16,7</u> 10,4	<u>18,2</u> 10,5	<u>17,5</u> 10,8	<u>13,1</u> 9,9	<u>7,7</u> 8,3	<u>2,1</u> 5,1	<u>-2,6</u> 5,0	7,3	-27	-25	-22	-21	27	23	182	0,1	202	0,8	—	—	
Сарни	<u>-4,5</u> —	<u>-3,4</u> —	<u>0,9</u> —	<u>8,2</u> —	<u>14,1</u> —	<u>17,1</u> —	<u>18,6</u> —	<u>17,7</u> —	<u>13,0</u> —	<u>7,7</u> —	<u>2,1</u> —	<u>-2,4</u> —	7,4	-27	-25	-23	-21	27	23	181	0,1	201	0,9	—	—	
Сумська область																										
Ромни	<u>-6,2</u> —	<u>-5,4</u> —	<u>-0,4</u> —	<u>8,2</u> —	<u>14,6</u> —	<u>18,0</u> —	<u>19,4</u> —	<u>18,4</u> —	<u>13,1</u> —	<u>6,8</u> —	<u>0,7</u> —	<u>-4,0</u> —	6,9	-29	-26	-25	-23	28	23	185	-1,1	202	-0,4	—	—	
Суми	<u>-6</u> 6,4	<u>-5,8</u> 6,6	<u>-0,8</u> 7,0	<u>8,1</u> 9,8	<u>14,6</u> 11,6	<u>17,9</u> 11,4	<u>19,5</u> 11,0	<u>18,4</u> 11,5	<u>13,0</u> 10,6	<u>6,7</u> 8,3	<u>0,4</u> 5,2	<u>-4,3</u> 5,3	6,8	-30	-29	-27	-25	28	24	187	-1,4	204	-0,6	—	—	
Тернопільська область																										
Тернопіль	<u>-5,0</u> 6,3	<u>-3,7</u> 6,3	<u>0,4</u> 7,4	<u>7,6</u> 9,9	<u>13,5</u> 10,9	<u>16,4</u> 10,5	<u>17,8</u> 10,5	<u>17,2</u> 10,9	<u>12,8</u> 10,3	<u>7,5</u> 9,1	<u>1,8</u> 5,5	<u>-3,1</u> 5,4	6,9	-26	-24	-22	-20	26	22	184	-0,2	205	0,6	—	—	
Харківська область																										
Лозова	<u>-5,6</u> —	<u>-4,8</u> —	<u>0,3</u> —	<u>9,2</u> —	<u>15,7</u> —	<u>19,2</u> —	<u>21,1</u> —	<u>20,1</u> —	<u>14,6</u> —	<u>7,8</u> —	<u>1,4</u> —	<u>-3,3</u> —	8,0	-30	-27	-26	-22	29	25	178	-0,8	194	0,0	46	21,1	
Харків	<u>-5,9</u> 5,9	<u>-5,1</u> 6,0	<u>0,0</u> 6,5	<u>9,0</u> 9,5	<u>15,5</u> 10,8	<u>18,9</u> 10,4	<u>20,7</u> 10,4	<u>19,7</u> 10,6	<u>14,1</u> 9,9	<u>7,5</u> 8,1	<u>1,0</u> 5,1	<u>-3,7</u> 5,0	7,6	-31	-28	-26	-23	29	25	179	-1,0	196	-0,2	37	20,9	
Херсонська область																										
Асканія-Нова	<u>-2,5</u> —	<u>-1,7</u> —	<u>2,6</u> —	<u>9,6</u> —	<u>15,6</u> —	<u>20,0</u> —	<u>22,5</u> —	<u>21,8</u> —	<u>16,5</u> —	<u>9,9</u> —	<u>4,2</u> —	<u>0,0</u> —	9,9	-26	-24	-23	-20	30	26	165	1,3	183	2,1	71	22,3	
Генічеськ	<u>-1,8</u> —	<u>-1,3</u> —	<u>2,4</u> —	<u>9,5</u> —	<u>16,1</u> —	<u>20,6</u> —	<u>23,1</u> —	<u>22,4</u> —	<u>17,5</u> —	<u>11,0</u> —	<u>6,2</u> —	<u>0,7</u> —	10,5	-27	-24	-23	-19	30	26	160	1,5	178	2,6	84	23,1	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Херсон	<u>-2,5</u> 6,3	<u>-1,6</u> 6,2	<u>2,8</u> 7,9	<u>10,1</u> 10,6	<u>16,1</u> 11,6	<u>20,0</u> 11,8	<u>22,4</u> 11,9	<u>21,6</u> 12,5	<u>16,5</u> 11,7	<u>10,1</u> 9,9	<u>4,3</u> 6,6	<u>0,2</u> 5,7	10,0	-27	-23	-23	-19	30	26	163	1,3	181	2,2	69	22,1	
Хмельницька область																										
Хмельницький	<u>-4,9</u> 6,1	<u>-3,6</u> 6,1	<u>0,6</u> 7,2	<u>7,9</u> 9,9	<u>13,9</u> 11,0	<u>16,8</u> 10,4	<u>18,4</u> 10,6	<u>17,7</u> 11,1	<u>13,1</u> 10,6	<u>7,6</u> 8,9	<u>1,9</u> 5,5	<u>-2,9</u> 5,1	7,2	-26	-25	-22	-21	27	22	183	-0,1	203	0,7	—	—	
Черкаська область																										
Золотоноша	<u>-4,9</u> —	<u>-4,0</u> —	<u>0,9</u> —	<u>9,1</u> —	<u>15,4</u> —	<u>18,6</u> —	<u>20,2</u> —	<u>19,1</u> —	<u>14</u> —	<u>7,8</u> —	<u>1,9</u> —	<u>-2,7</u> —	8,0	-29	-26	-24	-21	29	24	177	-0,3	195	0,5	14	20,5	
Умань	<u>-4,8</u> —	<u>-3,7</u> —	<u>0,9</u> —	<u>8,7</u> —	<u>14,6</u> —	<u>17,8</u> —	<u>19,4</u> —	<u>18,6</u> —	<u>13,3</u> —	<u>7,7</u> —	<u>2,0</u> —	<u>-2,5</u> —	7,7	-29	-25	-24	-20	28	23	179	-0,1	197	0,7	—	—	
Черкаси	<u>-5,0</u> 6,4	<u>-4,0</u> 6,3	<u>0,7</u> 7,2	<u>8,9</u> 10,0	<u>15,2</u> 11,4	<u>18,4</u> 11,4	<u>20,1</u> 11,3	<u>19,3</u> 11,6	<u>14,2</u> 11,3	<u>7,9</u> 9,3	<u>2,0</u> 5,7	<u>-2,7</u> 5,4	7,9	-29	-26	-24	-21	28	24	178	-0,3	195	0,5	18	20,6	
Чернівецька область																										
Чернівці	<u>-4,1</u> 6,2	<u>-2,4</u> 6,2	<u>2,0</u> 7,7	<u>8,9</u> 10,0	<u>14,5</u> 10,4	<u>17,6</u> 10,1	<u>19,1</u> 10,0	<u>18,4</u> 10,5	<u>14,1</u> 10,4	<u>8,7</u> 9,4	<u>2,7</u> 6,3	<u>-2,1</u> 5,7	8,1	-26	-24	-22	-20	27	24	175	0,5	196	1,4	—	—	
Чернігівська область																										
Семенівка	<u>-6,7</u> —	<u>-5,8</u> —	<u>-1,0</u> —	<u>7,3</u> —	<u>13,7</u> —	<u>17,0</u> —	<u>18,5</u> —	<u>17,4</u> —	<u>12,2</u> —	<u>6,2</u> —	<u>0,2</u> —	<u>-4,0</u> —	6,3	-32	-29	-28	-24	27	22	192	-1,3	212	-0,4	—	—	
Чернігів	<u>-5,9</u> 6,6	<u>-5,9</u> 7,0	<u>-0,1</u> 7,4	<u>8,0</u> 9,8	<u>14,4</u> 11,5	<u>17,6</u> 11,4	<u>19,2</u> 11,0	<u>18,1</u> 11,5	<u>12,9</u> 10,9	<u>6,9</u> 8,9	<u>1,0</u> 5,3	<u>-3,5</u> 5,3	7,0	-31	-28	-27	-23	27	23	187	-0,9	204	-0,2	—	—	

ДОДАТОК Д

Енергетична освітленість площин різної орієнтації сонячною радіацією у липні за умов ясного неба ([33], табл. 14-17)

Таблиця Д.1

Енергетична освітленість площин різної орієнтації сонячною радіацією у липні за умов ясного неба на 46° пн.ш.

Годинний інтервал	Сонячна радіація $\frac{\text{пряма}}{\text{розсіяна}}$ Вт/м ²								
	орієнтація площин								
	вертикальна								горизонтальна
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
3-4	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$
4-5	$\frac{15}{7}$	$\frac{33}{9}$	$\frac{32}{9}$	$\frac{12}{6}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{3}{11}$
5-6	$\frac{90}{41}$	$\frac{232}{64}$	$\frac{238}{65}$	$\frac{105}{43}$	$\frac{0}{26}$	$\frac{0}{24}$	$\frac{0}{24}$	$\frac{0}{25}$	$\frac{43}{42}$
6-7	$\frac{80}{59}$	$\frac{349}{100}$	$\frac{414}{111}$	$\frac{236}{81}$	$\frac{0}{46}$	$\frac{0}{39}$	$\frac{0}{39}$	$\frac{0}{40}$	$\frac{153}{75}$
7-8	$\frac{9}{71}$	$\frac{350}{120}$	$\frac{487}{144}$	$\frac{338}{118}$	$\frac{0}{69}$	$\frac{0}{53}$	$\frac{0}{52}$	$\frac{0}{54}$	$\frac{289}{111}$
8-9	$\frac{0}{80}$	$\frac{284}{126}$	$\frac{487}{163}$	$\frac{406}{148}$	$\frac{86}{98}$	$\frac{0}{70}$	$\frac{0}{65}$	$\frac{0}{66}$	$\frac{436}{149}$
9-10	$\frac{0}{82}$	$\frac{160}{115}$	$\frac{405}{153}$	$\frac{412}{154}$	$\frac{179}{117}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{73}$	$\frac{560}{170}$
10-11	$\frac{0}{84}$	$\frac{11}{103}$	$\frac{264}{135}$	$\frac{363}{151}$	$\frac{248}{133}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{0}{79}$	$\frac{647}{187}$
11-12	$\frac{0}{84}$	$\frac{0}{92}$	$\frac{92}{114}$	$\frac{266}{137}$	$\frac{285}{140}$	$\frac{137}{119}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{0}{85}$	$\frac{691}{194}$
12-13	$\frac{0}{84}$	$\frac{0}{85}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{137}{119}$	$\frac{285}{140}$	$\frac{266}{137}$	$\frac{92}{114}$	$\frac{0}{92}$	$\frac{691}{194}$
13-14	$\frac{0}{84}$	$\frac{0}{79}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{248}{133}$	$\frac{363}{151}$	$\frac{264}{135}$	$\frac{11}{103}$	$\frac{647}{187}$
14-15	$\frac{0}{82}$	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{179}{117}$	$\frac{412}{154}$	$\frac{405}{153}$	$\frac{160}{115}$	$\frac{560}{170}$
15-16	$\frac{0}{80}$	$\frac{0}{66}$	$\frac{0}{65}$	$\frac{0}{70}$	$\frac{86}{98}$	$\frac{406}{148}$	$\frac{487}{163}$	$\frac{284}{126}$	$\frac{436}{149}$
16-17	$\frac{9}{71}$	$\frac{0}{54}$	$\frac{0}{52}$	$\frac{0}{53}$	$\frac{0}{69}$	$\frac{338}{118}$	$\frac{487}{144}$	$\frac{350}{120}$	$\frac{289}{111}$
17-18	$\frac{80}{59}$	$\frac{0}{40}$	$\frac{0}{39}$	$\frac{0}{39}$	$\frac{0}{46}$	$\frac{236}{81}$	$\frac{414}{111}$	$\frac{349}{100}$	$\frac{153}{75}$
18-19	$\frac{90}{41}$	$\frac{0}{25}$	$\frac{0}{24}$	$\frac{0}{24}$	$\frac{0}{26}$	$\frac{105}{43}$	$\frac{238}{65}$	$\frac{232}{64}$	$\frac{43}{42}$
19-20	$\frac{15}{7}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{12}{6}$	$\frac{32}{9}$	$\frac{33}{9}$	$\frac{3}{11}$
20-21	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{1}$
Усього за добу	$\frac{387}{1017}$	$\frac{1419}{1156}$	$\frac{2418}{1331}$	$\frac{2275}{1332}$	$\frac{1597}{1267}$	$\frac{2275}{1332}$	$\frac{2418}{1331}$	$\frac{1419}{1156}$	$\frac{5645}{1882}$
Середня за добу	$\frac{16}{42}$	$\frac{59}{48}$	$\frac{101}{56}$	$\frac{95}{56}$	$\frac{67}{53}$	$\frac{95}{56}$	$\frac{101}{56}$	$\frac{59}{48}$	$\frac{235}{78}$

Таблиця Д.2

**Енергетична освітленість площин різної орієнтації сонячною радіацією у
липні за умов ясного неба на 46° пн.ш.**

Годинний інтервал	Сонячна радіація $\frac{\text{пряма}}{\text{розсіяна}}$ Вт/м ²								
	орієнтація площин								
	вертикальна								горизон- тальна
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
3-4	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{2}$
4-5	$\frac{21}{8}$	$\frac{46}{11}$	$\frac{44}{10}$	$\frac{16}{7}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{5}{15}$
5-6	$\frac{93}{45}$	$\frac{243}{71}$	$\frac{250}{72}$	$\frac{111}{48}$	$\frac{0}{29}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{28}$	$\frac{48}{47}$
6-7	$\frac{75}{63}$	$\frac{346}{106}$	$\frac{414}{119}$	$\frac{240}{88}$	$\frac{0}{49}$	$\frac{0}{42}$	$\frac{0}{42}$	$\frac{0}{43}$	$\frac{156}{81}$
7-8	$\frac{0}{74}$	$\frac{340}{125}$	$\frac{482}{153}$	$\frac{342}{126}$	$\frac{1}{74}$	$\frac{0}{57}$	$\frac{0}{55}$	$\frac{0}{57}$	$\frac{286}{118}$
8-9	$\frac{0}{83}$	$\frac{269}{131}$	$\frac{481}{171}$	$\frac{411}{157}$	$\frac{100}{105}$	$\frac{0}{74}$	$\frac{0}{69}$	$\frac{0}{70}$	$\frac{427}{156}$
9-10	$\frac{0}{85}$	$\frac{144}{118}$	$\frac{399}{160}$	$\frac{420}{164}$	$\frac{195}{126}$	$\frac{0}{88}$	$\frac{0}{76}$	$\frac{0}{76}$	$\frac{546}{178}$
10-11	$\frac{0}{87}$	$\frac{0}{106}$	$\frac{261}{143}$	$\frac{373}{162}$	$\frac{267}{144}$	$\frac{5}{107}$	$\frac{0}{87}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{629}{196}$
11-12	$\frac{0}{87}$	$\frac{0}{96}$	$\frac{90}{119}$	$\frac{280}{147}$	$\frac{305}{152}$	$\frac{152}{128}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{88}$	$\frac{672}{203}$
12-13	$\frac{0}{87}$	$\frac{0}{88}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{152}{128}$	$\frac{305}{152}$	$\frac{279}{147}$	$\frac{90}{119}$	$\frac{0}{96}$	$\frac{672}{203}$
13-14	$\frac{0}{87}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{0}{87}$	$\frac{5}{107}$	$\frac{267}{144}$	$\frac{373}{162}$	$\frac{261}{143}$	$\frac{0}{106}$	$\frac{629}{196}$
14-15	$\frac{0}{85}$	$\frac{0}{76}$	$\frac{0}{76}$	$\frac{0}{88}$	$\frac{195}{126}$	$\frac{420}{164}$	$\frac{399}{160}$	$\frac{144}{118}$	$\frac{546}{178}$
15-16	$\frac{0}{83}$	$\frac{0}{70}$	$\frac{0}{69}$	$\frac{0}{74}$	$\frac{100}{105}$	$\frac{411}{157}$	$\frac{481}{171}$	$\frac{269}{131}$	$\frac{427}{156}$
16-17	$\frac{0}{74}$	$\frac{0}{57}$	$\frac{0}{55}$	$\frac{0}{57}$	$\frac{1}{74}$	$\frac{342}{126}$	$\frac{482}{153}$	$\frac{340}{125}$	$\frac{286}{118}$
17-18	$\frac{75}{63}$	$\frac{0}{43}$	$\frac{0}{42}$	$\frac{0}{42}$	$\frac{0}{49}$	$\frac{240}{88}$	$\frac{414}{119}$	$\frac{346}{106}$	$\frac{156}{81}$
18-19	$\frac{93}{45}$	$\frac{0}{28}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{29}$	$\frac{112}{48}$	$\frac{250}{72}$	$\frac{243}{71}$	$\frac{48}{47}$
19-20	$\frac{21}{8}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{16}{7}$	$\frac{44}{10}$	$\frac{46}{11}$	$\frac{5}{15}$
20-21	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{2}$
Усього за добу	$\frac{376}{1067}$	$\frac{1387}{1216}$	$\frac{2421}{1411}$	$\frac{2350}{1427}$	$\frac{1738}{1367}$	$\frac{2350}{1427}$	$\frac{2421}{1411}$	$\frac{1387}{1216}$	$\frac{5538}{1989}$
Середня за добу	$\frac{16}{45}$	$\frac{58}{51}$	$\frac{101}{59}$	$\frac{98}{60}$	$\frac{72}{57}$	$\frac{98}{60}$	$\frac{101}{59}$	$\frac{58}{51}$	$\frac{231}{83}$

**Енергетична освітленість площин різної орієнтації сонячною радіацією у
липні за умов ясного неба на 48° пн.ш.**

Годинний інтервал	Сонячна радіація $\frac{\text{пряма}}{\text{розсіяна}}$ Вт/м ²								
	орієнтація площин								
	вертикальна								горизон- тальна
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
3-4	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$
4-5	$\frac{29}{8}$	$\frac{64}{11}$	$\frac{61}{10}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{8}{18}$
5-6	$\frac{99}{45}$	$\frac{264}{71}$	$\frac{274}{73}$	$\frac{123}{49}$	$\frac{0}{29}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{28}$	$\frac{56}{47}$
6-7	$\frac{72}{60}$	$\frac{357}{102}$	$\frac{432}{115}$	$\frac{255}{86}$	$\frac{0}{48}$	$\frac{0}{40}$	$\frac{0}{40}$	$\frac{0}{42}$	$\frac{165}{79}$
7-8	$\frac{0}{70}$	$\frac{344}{119}$	$\frac{499}{146}$	$\frac{361}{122}$	$\frac{12}{72}$	$\frac{0}{54}$	$\frac{0}{53}$	$\frac{0}{54}$	$\frac{296}{113}$
8-9	$\frac{0}{78}$	$\frac{266}{123}$	$\frac{495}{163}$	$\frac{433}{152}$	$\frac{118}{102}$	$\frac{0}{71}$	$\frac{0}{65}$	$\frac{0}{66}$	$\frac{436}{148}$
9-10	$\frac{0}{80}$	$\frac{134}{111}$	$\frac{410}{153}$	$\frac{446}{159}$	$\frac{220}{123}$	$\frac{0}{85}$	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{72}$	$\frac{554}{169}$
10-11	$\frac{0}{82}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{268}{136}$	$\frac{400}{158}$	$\frac{297}{141}$	$\frac{21}{104}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{0}{78}$	$\frac{637}{186}$
11-12	$\frac{0}{82}$	$\frac{0}{90}$	$\frac{93}{114}$	$\frac{305}{143}$	$\frac{338}{148}$	$\frac{173}{124}$	$\frac{0}{96}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{680}{193}$
12-13	$\frac{0}{82}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{0}{96}$	$\frac{173}{124}$	$\frac{338}{148}$	$\frac{305}{143}$	$\frac{93}{114}$	$\frac{0}{90}$	$\frac{680}{193}$
13-14	$\frac{0}{82}$	$\frac{0}{78}$	$\frac{0}{83}$	$\frac{21}{104}$	$\frac{297}{141}$	$\frac{400}{158}$	$\frac{268}{136}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{637}{186}$
14-15	$\frac{0}{80}$	$\frac{0}{72}$	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{85}$	$\frac{220}{123}$	$\frac{446}{159}$	$\frac{410}{153}$	$\frac{134}{111}$	$\frac{554}{169}$
15-16	$\frac{0}{78}$	$\frac{0}{66}$	$\frac{0}{65}$	$\frac{0}{71}$	$\frac{118}{102}$	$\frac{433}{152}$	$\frac{495}{163}$	$\frac{266}{123}$	$\frac{436}{148}$
16-17	$\frac{0}{70}$	$\frac{0}{54}$	$\frac{0}{53}$	$\frac{0}{54}$	$\frac{12}{72}$	$\frac{361}{122}$	$\frac{499}{146}$	$\frac{344}{119}$	$\frac{296}{113}$
17-18	$\frac{72}{60}$	$\frac{0}{42}$	$\frac{0}{40}$	$\frac{0}{40}$	$\frac{0}{48}$	$\frac{255}{86}$	$\frac{432}{115}$	$\frac{357}{102}$	$\frac{165}{79}$
18-19	$\frac{99}{45}$	$\frac{0}{28}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{29}$	$\frac{123}{49}$	$\frac{274}{73}$	$\frac{264}{71}$	$\frac{56}{47}$
19-20	$\frac{29}{8}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{23}{7}$	$\frac{61}{10}$	$\frac{64}{11}$	$\frac{8}{18}$
20-21	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{2}$
Усього за добу	$\frac{401}{1017}$	$\frac{1429}{1161}$	$\frac{2532}{1358}$	$\frac{2539}{1388}$	$\frac{1971}{1338}$	$\frac{2539}{1388}$	$\frac{2532}{1358}$	$\frac{1429}{1161}$	$\frac{5663}{1909}$
Середня за добу	$\frac{17}{42}$	$\frac{60}{48}$	$\frac{106}{57}$	$\frac{106}{58}$	$\frac{82}{56}$	$\frac{106}{58}$	$\frac{106}{57}$	$\frac{60}{48}$	$\frac{236}{80}$

Енергетична освітленість площин різної орієнтації сонячною радіацією у липні за умов ясного неба на 50° пн.ш.

Годинний інтервал	Сонячна радіація $\frac{\text{пряма}}{\text{розсіяна}}$ Вт/м ²								
	орієнтація площин								
	вертикальна								горизонтальна
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
3-4	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{3}$
4-5	$\frac{39}{8}$	$\frac{87}{11}$	$\frac{84}{10}$	$\frac{32}{7}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{12}{20}$
5-6	$\frac{107}{43}$	$\frac{288}{67}$	$\frac{301}{69}$	$\frac{137}{46}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{0}{25}$	$\frac{0}{25}$	$\frac{0}{26}$	$\frac{66}{45}$
6-7	$\frac{70}{55}$	$\frac{370}{92}$	$\frac{454}{105}$	$\frac{272}{79}$	$\frac{0}{44}$	$\frac{0}{37}$	$\frac{0}{37}$	$\frac{0}{38}$	$\frac{176}{72}$
7-8	$\frac{0}{62}$	$\frac{351}{106}$	$\frac{519}{132}$	$\frac{383}{111}$	$\frac{23}{66}$	$\frac{0}{49}$	$\frac{0}{48}$	$\frac{0}{49}$	$\frac{307}{101}$
8-9	$\frac{0}{69}$	$\frac{264}{109}$	$\frac{512}{146}$	$\frac{460}{138}$	$\frac{138}{93}$	$\frac{0}{64}$	$\frac{0}{58}$	$\frac{0}{59}$	$\frac{447}{132}$
9-10	$\frac{0}{71}$	$\frac{125}{98}$	$\frac{425}{137}$	$\frac{476}{145}$	$\frac{248}{113}$	$\frac{0}{77}$	$\frac{0}{65}$	$\frac{0}{64}$	$\frac{565}{151}$
10-11	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{88}$	$\frac{278}{122}$	$\frac{430}{144}$	$\frac{330}{129}$	$\frac{37}{95}$	$\frac{0}{75}$	$\frac{0}{70}$	$\frac{649}{166}$
11-12	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{96}{102}$	$\frac{333}{131}$	$\frac{374}{136}$	$\frac{196}{113}$	$\frac{0}{86}$	$\frac{0}{74}$	$\frac{691}{171}$
12-13	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{74}$	$\frac{0}{86}$	$\frac{196}{113}$	$\frac{374}{136}$	$\frac{333}{131}$	$\frac{96}{102}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{691}{171}$
13-14	$\frac{0}{73}$	$\frac{0}{70}$	$\frac{0}{75}$	$\frac{37}{95}$	$\frac{330}{129}$	$\frac{430}{144}$	$\frac{278}{122}$	$\frac{0}{88}$	$\frac{649}{166}$
14-15	$\frac{0}{71}$	$\frac{0}{64}$	$\frac{0}{65}$	$\frac{0}{77}$	$\frac{248}{113}$	$\frac{476}{145}$	$\frac{425}{137}$	$\frac{125}{98}$	$\frac{565}{151}$
15-16	$\frac{0}{69}$	$\frac{0}{59}$	$\frac{0}{58}$	$\frac{0}{63}$	$\frac{138}{93}$	$\frac{460}{138}$	$\frac{512}{146}$	$\frac{264}{109}$	$\frac{447}{132}$
16-17	$\frac{0}{62}$	$\frac{0}{49}$	$\frac{0}{48}$	$\frac{0}{49}$	$\frac{23}{66}$	$\frac{383}{111}$	$\frac{519}{132}$	$\frac{351}{106}$	$\frac{307}{101}$
17-18	$\frac{70}{55}$	$\frac{0}{38}$	$\frac{0}{37}$	$\frac{0}{37}$	$\frac{0}{44}$	$\frac{272}{79}$	$\frac{454}{105}$	$\frac{370}{92}$	$\frac{176}{72}$
18-19	$\frac{107}{43}$	$\frac{0}{26}$	$\frac{0}{25}$	$\frac{0}{25}$	$\frac{0}{27}$	$\frac{137}{46}$	$\frac{301}{69}$	$\frac{288}{67}$	$\frac{66}{45}$
19-20	$\frac{39}{8}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{32}{7}$	$\frac{84}{10}$	$\frac{87}{11}$	$\frac{12}{20}$
20-21	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{3}$
Усього за добу	$\frac{431}{911}$	$\frac{1485}{1042}$	$\frac{2668}{1227}$	$\frac{2755}{1267}$	$\frac{2228}{1230}$	$\frac{2755}{1267}$	$\frac{2668}{1227}$	$\frac{1485}{1042}$	$\frac{5824}{1720}$
Середня за добу	$\frac{18}{38}$	$\frac{62}{43}$	$\frac{111}{51}$	$\frac{115}{53}$	$\frac{93}{51}$	$\frac{115}{53}$	$\frac{111}{51}$	$\frac{62}{43}$	$\frac{243}{72}$

ДОДАТОК Е
Характеристики вітру в липні ([33], табл. 6)

Таблиця Е1

Область, місто	Повторюваність напрямку вітру, % Середня швидкість вітру, м/с								Повторюваність штилю, %
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Автономна Республіка Крим									
Ай-Петрі	$\frac{9,6}{3,6}$	$\frac{12,2}{1,2}$	$\frac{18,2}{2,7}$	$\frac{11,6}{2,4}$	$\frac{2,2}{1,6}$	$\frac{1,9}{2,1}$	$\frac{8,3}{4,1}$	$\frac{36,0}{6,1}$	6,9
Клепиніне	$\frac{13,0}{2,4}$	$\frac{15,9}{3,0}$	$\frac{11,1}{3,2}$	$\frac{5,0}{2,1}$	$\frac{8,5}{1,9}$	$\frac{15,3}{2,4}$	$\frac{15,3}{2,7}$	$\frac{15,9}{2,7}$	9,9
Сімферополь	$\frac{8,3}{3,8}$	$\frac{20,6}{4,7}$	$\frac{15,6}{3,6}$	$\frac{9,0}{3,1}$	$\frac{12,5}{3,2}$	$\frac{12,2}{4,1}$	$\frac{17,2}{4,8}$	$\frac{4,6}{3,7}$	2,0
Ялта	$\frac{8,7}{2,1}$	$\frac{10,1}{2,4}$	$\frac{17,2}{2,0}$	$\frac{11,5}{1,6}$	$\frac{8,4}{1,7}$	$\frac{6,9}{1,5}$	$\frac{24,3}{1,3}$	$\frac{12,9}{1,6}$	5,1
Вінницька область									
Вінниця	$\frac{15,5}{3,7}$	$\frac{8,2}{3,1}$	$\frac{8,9}{2,9}$	$\frac{7,4}{3,1}$	$\frac{8,3}{3,2}$	$\frac{8,7}{2,9}$	$\frac{19,9}{3,4}$	$\frac{23,1}{3,9}$	14,8
Волинська область									
Луцьк	$\frac{12,6}{3,7}$	$\frac{7,9}{3,2}$	$\frac{8,3}{3,4}$	$\frac{9,0}{3,3}$	$\frac{8,7}{3,3}$	$\frac{9,6}{3,5}$	$\frac{24,1}{3,9}$	$\frac{19,8}{4,0}$	10,2
Дніпропетровська область									
Дніпропетровськ	$\frac{28,4}{4,4}$	$\frac{16,1}{4,6}$	$\frac{10,3}{4,6}$	$\frac{5,3}{4,1}$	$\frac{5,3}{3,7}$	$\frac{6,8}{3,9}$	$\frac{15,5}{4,2}$	$\frac{12,3}{4,7}$	15,9
Донецька область									
Дебальцеве	$\frac{11,1}{2,8}$	$\frac{17,3}{3,1}$	$\frac{16,9}{3,4}$	$\frac{8,4}{3,5}$	$\frac{9,1}{3,0}$	$\frac{9,3}{3,1}$	$\frac{15,9}{3,3}$	$\frac{12,0}{3,2}$	18,1
Донецьк	$\frac{13,6}{3,8}$	$\frac{18,9}{3,8}$	$\frac{15,5}{4,4}$	$\frac{10,1}{4,1}$	$\frac{8,1}{3,6}$	$\frac{9,3}{3,5}$	$\frac{14,1}{4,3}$	$\frac{10,4}{4,1}$	19,2
Житомирська область									
Житомир	$\frac{13,0}{3,3}$	$\frac{7,4}{3,0}$	$\frac{6,3}{2,7}$	$\frac{7,0}{3,1}$	$\frac{8,4}{3,8}$	$\frac{7,4}{3,3}$	$\frac{20,6}{3,9}$	$\frac{29,9}{3,8}$	10,4
Закарпатська область									
Плай	$\frac{10,4}{5,0}$	$\frac{20,0}{5,0}$	$\frac{8,0}{3,8}$	$\frac{3,3}{4,8}$	$\frac{6,8}{5,2}$	$\frac{31,4}{5,1}$	$\frac{9,2}{4,5}$	$\frac{10,9}{4,2}$	10,2
Ужгород	$\frac{16,4}{3,4}$	$\frac{9,1}{2,8}$	$\frac{17,5}{2,6}$	$\frac{15,6}{2,8}$	$\frac{9,8}{2,7}$	$\frac{5,8}{2,5}$	$\frac{9,4}{2,5}$	$\frac{16,4}{3,2}$	21,5
Запорізька область									
Запоріжжя	$\frac{21,8}{1,8}$	$\frac{14,5}{1,6}$	$\frac{10,7}{1,8}$	$\frac{7,3}{1,8}$	$\frac{6,1}{1,4}$	$\frac{7,4}{1,6}$	$\frac{14,1}{1,8}$	$\frac{18,1}{1,9}$	22,1
Кирилівка	$\frac{24,4}{3,2}$	$\frac{12,3}{3,0}$	$\frac{10,1}{3,1}$	$\frac{6,9}{3,5}$	$\frac{11,9}{3,3}$	$\frac{8,7}{3,3}$	$\frac{12,1}{3,5}$	$\frac{13,6}{3,9}$	17,4

Продовження таблиці Е1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Івано-Франківська область									
Івано-Франківськ	$\frac{8,4}{3,5}$	$\frac{4,1}{2,8}$	$\frac{9,7}{3,1}$	$\frac{7,6}{3,3}$	$\frac{4,0}{2,9}$	$\frac{10,5}{3,0}$	$\frac{29,1}{3,8}$	$\frac{26,6}{4,3}$	29,7
Пожежевська	$\frac{2,7}{2,7}$	$\frac{5,1}{2,3}$	$\frac{6,3}{3,3}$	$\frac{5,0}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,3}$	$\frac{54,8}{5,7}$	$\frac{13,0}{5,1}$	$\frac{9,1}{4,0}$	40,3
Кіровоградська область									
Кіровоград	$\frac{20,2}{3,9}$	$\frac{9,4}{3,8}$	$\frac{8,6}{3,7}$	$\frac{7,3}{3,4}$	$\frac{9,1}{3,9}$	$\frac{5,0}{4,0}$	$\frac{15,7}{3,8}$	$\frac{24,7}{3,6}$	15,4
Київська область									
Київ	$\frac{18,0}{2,7}$	$\frac{9,1}{2,1}$	$\frac{4,8}{1,6}$	$\frac{8,0}{1,8}$	$\frac{11,3}{2,1}$	$\frac{10,4}{2,3}$	$\frac{20,4}{2,1}$	$\frac{18,0}{2,4}$	9,2
Луганська область									
Дар'ївка	$\frac{23,6}{1,9}$	$\frac{16,6}{2,1}$	$\frac{11,0}{3,0}$	$\frac{7,7}{3,5}$	$\frac{9,6}{3,4}$	$\frac{11,3}{2,8}$	$\frac{8,0}{2,2}$	$\frac{12,2}{2,2}$	20,8
Луганськ	$\frac{7,9}{2,1}$	$\frac{9,9}{2,3}$	$\frac{20,3}{2,6}$	$\frac{7,2}{2,3}$	$\frac{7,5}{2,4}$	$\frac{8,6}{2,3}$	$\frac{23,9}{2,1}$	$\frac{14,7}{2,2}$	20,8
Львівська область									
Львів	$\frac{13,8}{3,8}$	$\frac{7,8}{3,2}$	$\frac{6,9}{3,7}$	$\frac{10,6}{3,4}$	$\frac{6,6}{3,6}$	$\frac{8,8}{3,4}$	$\frac{28,9}{4,2}$	$\frac{16,6}{4,2}$	27,1
Миколаївська область									
Миколаїв	$\frac{26,4}{3,4}$	$\frac{12,8}{3,3}$	$\frac{7,1}{3,2}$	$\frac{3,9}{3,1}$	$\frac{11,5}{3,8}$	$\frac{8,9}{3,5}$	$\frac{10,9}{3,4}$	$\frac{18,5}{3,2}$	9,1
Одеська область									
Одеса	$\frac{17,6}{3,2}$	$\frac{8,8}{2,8}$	$\frac{5,3}{2,5}$	$\frac{6,1}{2,6}$	$\frac{15,8}{3,1}$	$\frac{8,8}{2,3}$	$\frac{15,2}{2,1}$	$\frac{22,4}{2,5}$	2,0
Сарата	$\frac{28,0}{4,1}$	$\frac{5,6}{3,9}$	$\frac{4,6}{3,4}$	$\frac{10,7}{3,5}$	$\frac{13,2}{2,1}$	$\frac{5,0}{2,0}$	$\frac{8,6}{3,8}$	$\frac{24,3}{4,4}$	23,0
Полтавська область									
Полтава	$\frac{19,5}{2,4}$	$\frac{12,3}{2,3}$	$\frac{11,0}{2,2}$	$\frac{5,3}{2,0}$	$\frac{7,5}{2,1}$	$\frac{8,3}{2,5}$	$\frac{20,4}{2,7}$	$\frac{15,7}{2,5}$	7,4
Рівненська область									
Рівне	$\frac{11,4}{3,8}$	$\frac{6,3}{3,0}$	$\frac{8,9}{3,1}$	$\frac{9,3}{3,1}$	$\frac{8,0}{3,2}$	$\frac{11,4}{3,1}$	$\frac{29,1}{3,7}$	$\frac{15,6}{4,5}$	8,9
Сумська область									
Суми	$\frac{14,4}{3,0}$	$\frac{10,6}{3,2}$	$\frac{11,4}{3,2}$	$\frac{10,0}{3,3}$	$\frac{10,2}{3,2}$	$\frac{7,6}{3,4}$	$\frac{18,4}{3,7}$	$\frac{17,4}{3,5}$	13,4
Тернопільська область									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тернопіль	$\frac{13,1}{3,2}$	$\frac{3,9}{2,7}$	$\frac{5,4}{3,0}$	$\frac{9,0}{3,3}$	$\frac{6,4}{3,6}$	$\frac{6,1}{3,5}$	$\frac{29,2}{4,0}$	$\frac{26,9}{4,0}$	16,1
Харківська область									
Харків	$\frac{16,9}{3,7}$	$\frac{14,5}{4,1}$	$\frac{14,2}{4,2}$	$\frac{8,8}{4,0}$	$\frac{6,0}{3,4}$	$\frac{7,4}{3,9}$	$\frac{16,4}{3,9}$	$\frac{15,8}{3,6}$	15,0
Херсонська область									
Генічеськ	$\frac{18,5}{2,5}$	$\frac{14,8}{3,5}$	$\frac{14,0}{3,5}$	$\frac{11,9}{3,1}$	$\frac{5,6}{3,2}$	$\frac{11,2}{4,1}$	$\frac{13,7}{3,7}$	$\frac{10,3}{2,9}$	4,1
Херсон	$\frac{22,7}{3,4}$	$\frac{13,0}{2,9}$	$\frac{7,5}{2,3}$	$\frac{4,2}{2,1}$	$\frac{9,0}{2,3}$	$\frac{12,5}{2,4}$	$\frac{15,0}{2,8}$	$\frac{16,1}{3,2}$	6,3
Хмельницька область									
Хмельницький	$\frac{15,7}{4,3}$	$\frac{8,0}{3,2}$	$\frac{7,8}{3,1}$	$\frac{8,1}{3,7}$	$\frac{8,1}{4,1}$	$\frac{6,3}{3,8}$	$\frac{18,6}{4,4}$	$\frac{27,4}{4,6}$	17,3
Черкаська область									
Умань	$\frac{16,6}{3,3}$	$\frac{11,2}{2,7}$	$\frac{5,9}{2,4}$	$\frac{6,3}{2,3}$	$\frac{7,2}{2,5}$	$\frac{6,4}{2,4}$	$\frac{19,6}{3,2}$	$\frac{26,8}{3,6}$	48,7
Чернівецька область									
Чернівці	$\frac{9,6}{3,2}$	$\frac{2,3}{2,5}$	$\frac{13,4}{3,0}$	$\frac{5,4}{3,3}$	$\frac{8,0}{2,3}$	$\frac{5,9}{2,4}$	$\frac{24,5}{4,0}$	$\frac{30,9}{4,4}$	8,6
Чернігівська область									
Чернігів	$\frac{17,0}{4,2}$	$\frac{10,6}{3,8}$	$\frac{7,5}{3,4}$	$\frac{5,7}{3,7}$	$\frac{8,8}{3,8}$	$\frac{11,2}{3,4}$	$\frac{21,2}{3,8}$	$\frac{18,0}{3,9}$	21,8

ДОДАТОК Ж

Таблиця Ж.1

Відносна вологість повітря (табл. 24, [33])

Область, місто	Середня місячна				відносна вологість						%			Середня за рік відносна вологість, %
					середня добова амплітуда відносної вологості									
1	І	ІІ	ІІІ	ІV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	14	
Автономна Республіка Крим														
Ай-Петрі	$\frac{81}{1}$	$\frac{80}{3}$	$\frac{76}{4}$	$\frac{70}{7}$	$\frac{68}{6}$	$\frac{70}{8}$	$\frac{67}{10}$	$\frac{68}{12}$	$\frac{72}{10}$	$\frac{72}{8}$	$\frac{76}{5}$	$\frac{84}{2}$	74	
Клепиніне	$\frac{86}{-}$	$\frac{84}{-}$	$\frac{79}{-}$	$\frac{71}{-}$	$\frac{68}{-}$	$\frac{66}{-}$	$\frac{62}{-}$	$\frac{63}{-}$	$\frac{69}{-}$	$\frac{77}{-}$	$\frac{85}{-}$	$\frac{88}{-}$	75	
Поштове	$\frac{-}{13}$	$\frac{-}{19}$	$\frac{-}{26}$	$\frac{-}{32}$	$\frac{-}{36}$	$\frac{-}{37}$	$\frac{-}{39}$	$\frac{-}{42}$	$\frac{-}{41}$	$\frac{-}{33}$	$\frac{-}{21}$	$\frac{-}{13}$	-	
Севастополь	$\frac{-}{9}$	$\frac{-}{11}$	$\frac{-}{14}$	$\frac{-}{17}$	$\frac{-}{19}$	$\frac{-}{19}$	$\frac{-}{19}$	$\frac{-}{21}$	$\frac{-}{23}$	$\frac{-}{19}$	$\frac{-}{11}$	$\frac{-}{8}$	-	
Сімферополь	$\frac{84}{10}$	$\frac{81}{13}$	$\frac{76}{22}$	$\frac{69}{29}$	$\frac{68}{32}$	$\frac{67}{34}$	$\frac{63}{36}$	$\frac{64}{36}$	$\frac{69}{35}$	$\frac{75}{28}$	$\frac{82}{15}$	$\frac{85}{8}$	74	
Феодосія	$\frac{82}{7}$	$\frac{81}{10}$	$\frac{78}{14}$	$\frac{74}{16}$	$\frac{71}{18}$	$\frac{67}{18}$	$\frac{63}{19}$	$\frac{65}{20}$	$\frac{70}{20}$	$\frac{76}{18}$	$\frac{81}{11}$	$\frac{83}{7}$	74	
Ялта	$\frac{74}{5}$	$\frac{73}{5}$	$\frac{72}{7}$	$\frac{71}{9}$	$\frac{70}{9}$	$\frac{66}{8}$	$\frac{61}{10}$	$\frac{60}{11}$	$\frac{64}{10}$	$\frac{70}{9}$	$\frac{74}{8}$	$\frac{74}{5}$	69	
Вінницька область														
Вінниця	$\frac{85}{8}$	$\frac{83}{12}$	$\frac{79}{20}$	$\frac{70}{30}$	$\frac{66}{35}$	$\frac{71}{33}$	$\frac{73}{35}$	$\frac{72}{36}$	$\frac{76}{33}$	$\frac{80}{25}$	$\frac{86}{11}$	$\frac{87}{7}$	77	
Волинська область														
Ковель	$\frac{85}{8}$	$\frac{84}{12}$	$\frac{78}{23}$	$\frac{71}{34}$	$\frac{70}{38}$	$\frac{72}{36}$	$\frac{74}{38}$	$\frac{75}{39}$	$\frac{80}{32}$	$\frac{82}{24}$	$\frac{86}{12}$	$\frac{87}{6}$	79	
Луцьк	$\frac{86}{7}$	$\frac{85}{11}$	$\frac{80}{20}$	$\frac{72}{29}$	$\frac{71}{33}$	$\frac{73}{33}$	$\frac{74}{35}$	$\frac{74}{35}$	$\frac{79}{30}$	$\frac{82}{22}$	$\frac{87}{11}$	$\frac{88}{6}$	79	

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Дніпропетровська область													
Дніпропетровськ	$\frac{86}{7}$	$\frac{84}{10}$	$\frac{81}{20}$	$\frac{68}{31}$	$\frac{62}{33}$	$\frac{65}{34}$	$\frac{64}{35}$	$\frac{62}{35}$	$\frac{68}{35}$	$\frac{76}{28}$	$\frac{87}{13}$	$\frac{89}{6}$	74
Комісарівка	$\frac{86}{-}$	$\frac{83}{-}$	$\frac{80}{-}$	$\frac{67}{-}$	$\frac{62}{-}$	$\frac{66}{-}$	$\frac{65}{-}$	$\frac{64}{-}$	$\frac{68}{-}$	$\frac{76}{-}$	$\frac{86}{-}$	$\frac{88}{-}$	74
Кривий Ріг	$\frac{85}{-}$	$\frac{84}{-}$	$\frac{79}{-}$	$\frac{66}{-}$	$\frac{62}{-}$	$\frac{65}{-}$	$\frac{63}{-}$	$\frac{61}{-}$	$\frac{66}{-}$	$\frac{75}{-}$	$\frac{85}{-}$	$\frac{87}{-}$	73
Синельникове	$\frac{-}{7}$	$\frac{-}{10}$	$\frac{-}{19}$	$\frac{-}{30}$	$\frac{-}{35}$	$\frac{-}{37}$	$\frac{-}{38}$	$\frac{-}{38}$	$\frac{-}{36}$	$\frac{-}{29}$	$\frac{-}{11}$	$\frac{-}{5}$	-
Донецька область													
Донецьк	$\frac{86}{9}$	$\frac{84}{11}$	$\frac{80}{21}$	$\frac{66}{30}$	$\frac{62}{30}$	$\frac{65}{32}$	$\frac{63}{33}$	$\frac{61}{35}$	$\frac{66}{33}$	$\frac{75}{26}$	$\frac{86}{12}$	$\frac{89}{5}$	74
Житомирська область													
Житомир	$\frac{85}{9}$	$\frac{84}{13}$	$\frac{80}{20}$	$\frac{72}{29}$	$\frac{68}{35}$	$\frac{72}{34}$	$\frac{74}{35}$	$\frac{74}{37}$	$\frac{77}{33}$	$\frac{81}{24}$	$\frac{87}{11}$	$\frac{88}{6}$	79
Овруч	$\frac{86}{-}$	$\frac{83}{-}$	$\frac{79}{-}$	$\frac{72}{-}$	$\frac{68}{-}$	$\frac{72}{-}$	$\frac{75}{-}$	$\frac{75}{-}$	$\frac{79}{-}$	$\frac{83}{-}$	$\frac{88}{-}$	$\frac{88}{-}$	79
Закарпатська область													
Берегово	$\frac{85}{-}$	$\frac{80}{-}$	$\frac{73}{-}$	$\frac{68}{-}$	$\frac{68}{-}$	$\frac{70}{-}$	$\frac{69}{-}$	$\frac{72}{-}$	$\frac{75}{-}$	$\frac{77}{-}$	$\frac{82}{-}$	$\frac{86}{-}$	75
Міжгір'я	$\frac{84}{-}$	$\frac{81}{-}$	$\frac{77}{-}$	$\frac{73}{-}$	$\frac{75}{-}$	$\frac{77}{-}$	$\frac{78}{-}$	$\frac{80}{-}$	$\frac{82}{-}$	$\frac{82}{-}$	$\frac{85}{-}$	$\frac{86}{-}$	80
Плай	$\frac{-}{1}$	$\frac{-}{2}$	$\frac{-}{3}$	$\frac{-}{8}$	$\frac{-}{10}$	$\frac{-}{9}$	$\frac{-}{9}$	$\frac{-}{7}$	$\frac{-}{7}$	$\frac{-}{3}$	$\frac{-}{1}$	$\frac{-}{1}$	-
Рахів	$\frac{83}{-}$	$\frac{78}{-}$	$\frac{74}{-}$	$\frac{70}{-}$	$\frac{72}{-}$	$\frac{76}{-}$	$\frac{77}{-}$	$\frac{78}{-}$	$\frac{81}{-}$	$\frac{80}{-}$	$\frac{84}{-}$	$\frac{85}{-}$	78
Ужгород	$\frac{82}{9}$	$\frac{77}{14}$	$\frac{68}{21}$	$\frac{62}{25}$	$\frac{65}{27}$	$\frac{67}{29}$	$\frac{67}{32}$	$\frac{69}{30}$	$\frac{72}{28}$	$\frac{75}{24}$	$\frac{81}{12}$	$\frac{84}{8}$	72
Хуст	$\frac{87}{-}$	$\frac{83}{-}$	$\frac{76}{-}$	$\frac{70}{-}$	$\frac{72}{-}$	$\frac{74}{-}$	$\frac{74}{-}$	$\frac{76}{-}$	$\frac{79}{-}$	$\frac{82}{-}$	$\frac{86}{-}$	$\frac{89}{-}$	79

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Запорізька область													
Запоріжжя	$\frac{85}{9}$	$\frac{83}{12}$	$\frac{79}{20}$	$\frac{68}{32}$	$\frac{63}{35}$	$\frac{65}{36}$	$\frac{63}{37}$	$\frac{63}{37}$	$\frac{68}{34}$	$\frac{75}{29}$	$\frac{85}{13}$	$\frac{87}{7}$	74
Кирилівка	$\frac{88}{—}$	$\frac{87}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{71}{—}$	$\frac{67}{—}$	$\frac{69}{—}$	$\frac{67}{—}$	$\frac{65}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{78}{—}$	$\frac{89}{—}$	$\frac{91}{—}$	77
Івано-Франківська область													
Івано-Франківськ	$\frac{83}{12}$	$\frac{81}{16}$	$\frac{77}{23}$	$\frac{72}{32}$	$\frac{72}{34}$	$\frac{74}{32}$	$\frac{75}{32}$	$\frac{76}{34}$	$\frac{79}{31}$	$\frac{80}{27}$	$\frac{84}{16}$	$\frac{85}{9}$	78
Пожежевська	$\frac{—}{3}$	$\frac{—}{3}$	$\frac{—}{6}$	$\frac{—}{8}$	$\frac{—}{10}$	$\frac{—}{10}$	$\frac{—}{10}$	$\frac{—}{11}$	$\frac{—}{9}$	$\frac{—}{6}$	$\frac{—}{2}$	$\frac{—}{2}$	—
Кіровоградська область													
Гайворон	$\frac{83}{—}$	$\frac{81}{—}$	$\frac{77}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{71}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{73}{—}$	$\frac{78}{—}$	$\frac{85}{—}$	$\frac{85}{—}$	76
Знам'янка	$\frac{86}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{80}{—}$	$\frac{69}{—}$	$\frac{64}{—}$	$\frac{67}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{78}{—}$	$\frac{87}{—}$	$\frac{88}{—}$	76
Кіровоград	$\frac{86}{9}$	$\frac{84}{12}$	$\frac{79}{21}$	$\frac{67}{34}$	$\frac{62}{38}$	$\frac{65}{37}$	$\frac{66}{40}$	$\frac{64}{41}$	$\frac{68}{37}$	$\frac{76}{30}$	$\frac{86}{13}$	$\frac{88}{7}$	74
Київська область													
Бориспіль	$\frac{—}{7}$	$\frac{—}{11}$	$\frac{—}{19}$	$\frac{—}{31}$	$\frac{—}{37}$	$\frac{—}{35}$	$\frac{—}{35}$	$\frac{—}{38}$	$\frac{—}{35}$	$\frac{—}{25}$	$\frac{—}{11}$	$\frac{—}{9}$	—
Київ	$\frac{83}{9}$	$\frac{79}{13}$	$\frac{74}{19}$	$\frac{66}{26}$	$\frac{62}{30}$	$\frac{68}{30}$	$\frac{69}{29}$	$\frac{68}{30}$	$\frac{74}{28}$	$\frac{77}{22}$	$\frac{84}{10}$	$\frac{85}{7}$	74
Миронівка	$\frac{84}{—}$	$\frac{82}{—}$	$\frac{78}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{65}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{71}{—}$	$\frac{69}{—}$	$\frac{73}{—}$	$\frac{79}{—}$	$\frac{86}{—}$	$\frac{86}{—}$	76
Луганська область													
Луганськ	$\frac{82}{11}$	$\frac{80}{15}$	$\frac{77}{23}$	$\frac{64}{36}$	$\frac{60}{38}$	$\frac{63}{38}$	$\frac{63}{39}$	$\frac{61}{41}$	$\frac{67}{41}$	$\frac{74}{30}$	$\frac{83}{14}$	$\frac{85}{7}$	72
Львівська область													

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Львів	$\frac{84}{9}$	$\frac{83}{13}$	$\frac{78}{21}$	$\frac{72}{27}$	$\frac{72}{30}$	$\frac{74}{29}$	$\frac{75}{31}$	$\frac{76}{31}$	$\frac{79}{28}$	$\frac{81}{23}$	$\frac{85}{12}$	$\frac{86}{7}$	79
Миколаївська область													
Миколаїв	$\frac{84}{10}$	$\frac{83}{14}$	$\frac{78}{24}$	$\frac{69}{33}$	$\frac{64}{36}$	$\frac{64}{37}$	$\frac{61}{37}$	$\frac{60}{38}$	$\frac{67}{36}$	$\frac{74}{30}$	$\frac{84}{15}$	$\frac{86}{10}$	73
Одеська область													
Ізмаїл	$\frac{82}{12}$	$\frac{80}{15}$	$\frac{76}{23}$	$\frac{70}{33}$	$\frac{68}{36}$	$\frac{67}{37}$	$\frac{65}{37}$	$\frac{65}{39}$	$\frac{69}{38}$	$\frac{75}{33}$	$\frac{81}{19}$	$\frac{83}{13}$	73
Любашівка	$\frac{85}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{79}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{63}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{64}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{75}{—}$	$\frac{86}{—}$	$\frac{87}{—}$	74
Одеса	$\frac{82}{8}$	$\frac{81}{10}$	$\frac{79}{12}$	$\frac{75}{15}$	$\frac{72}{17}$	$\frac{70}{20}$	$\frac{67}{21}$	$\frac{66}{22}$	$\frac{71}{22}$	$\frac{76}{17}$	$\frac{82}{11}$	$\frac{83}{8}$	75
Роздільна	$\frac{85}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{78}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{65}{—}$	$\frac{65}{—}$	$\frac{64}{—}$	$\frac{62}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{75}{—}$	$\frac{84}{—}$	$\frac{86}{—}$	74
Сарата	$\frac{83}{—}$	$\frac{82}{—}$	$\frac{78}{—}$	$\frac{72}{—}$	$\frac{69}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{76}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{85}{—}$	75
Полтавська область													
Лубни	$\frac{85}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{80}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{63}{—}$	$\frac{67}{—}$	$\frac{69}{—}$	$\frac{69}{—}$	$\frac{73}{—}$	$\frac{79}{—}$	$\frac{87}{—}$	$\frac{88}{—}$	76
Полтава	$\frac{85}{7}$	$\frac{82}{11}$	$\frac{78}{18}$	$\frac{66}{28}$	$\frac{61}{32}$	$\frac{65}{32}$	$\frac{66}{33}$	$\frac{64}{34}$	$\frac{69}{31}$	$\frac{77}{25}$	$\frac{86}{10}$	$\frac{87}{6}$	74
Рівненська область													
Рівне	$\frac{86}{6}$	$\frac{85}{11}$	$\frac{80}{19}$	$\frac{72}{29}$	$\frac{70}{33}$	$\frac{73}{32}$	$\frac{75}{34}$	$\frac{75}{35}$	$\frac{78}{30}$	$\frac{82}{22}$	$\frac{87}{11}$	$\frac{88}{5}$	79
Сарни	$\frac{84}{—}$	$\frac{82}{—}$	$\frac{77}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{71}{—}$	$\frac{72}{—}$	$\frac{73}{—}$	$\frac{77}{—}$	$\frac{81}{—}$	$\frac{86}{—}$	$\frac{87}{—}$	77
Сумська область													
Ромни	$\frac{86}{8}$	$\frac{84}{12}$	$\frac{80}{20}$	$\frac{71}{30}$	$\frac{66}{33}$	$\frac{70}{33}$	$\frac{73}{32}$	$\frac{72}{34}$	$\frac{76}{31}$	$\frac{81}{24}$	$\frac{88}{10}$	$\frac{88}{6}$	78

Продовження таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Суми	$\frac{86}{7}$	$\frac{83}{11}$	$\frac{81}{19}$	$\frac{70}{31}$	$\frac{64}{35}$	$\frac{69}{34}$	$\frac{72}{34}$	$\frac{71}{36}$	$\frac{75}{32}$	$\frac{80}{24}$	$\frac{87}{10}$	$\frac{88}{4}$	77
Тернопільська область													
Тернопіль	$\frac{85}{7}$	$\frac{84}{11}$	$\frac{80}{19}$	$\frac{72}{31}$	$\frac{70}{34}$	$\frac{73}{32}$	$\frac{74}{34}$	$\frac{75}{35}$	$\frac{79}{31}$	$\frac{82}{25}$	$\frac{87}{12}$	$\frac{88}{7}$	79
Харківська область													
Лозова	$\frac{87}{—}$	$\frac{84}{—}$	$\frac{81}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{60}{—}$	$\frac{64}{—}$	$\frac{63}{—}$	$\frac{62}{—}$	$\frac{68}{—}$	$\frac{76}{—}$	$\frac{86}{—}$	$\frac{89}{—}$	74
Харків	$\frac{84}{8}$	$\frac{83}{12}$	$\frac{79}{20}$	$\frac{67}{30}$	$\frac{60}{33}$	$\frac{64}{35}$	$\frac{66}{35}$	$\frac{64}{37}$	$\frac{70}{33}$	$\frac{77}{27}$	$\frac{86}{11}$	$\frac{87}{6}$	74
Херсонська область													
Асканія-Нова	$\frac{86}{10}$	$\frac{85}{13}$	$\frac{80}{26}$	$\frac{72}{38}$	$\frac{68}{41}$	$\frac{65}{44}$	$\frac{60}{44}$	$\frac{60}{44}$	$\frac{67}{41}$	$\frac{76}{34}$	$\frac{86}{16}$	$\frac{88}{9}$	74
Генічеськ	$\frac{88}{7}$	$\frac{86}{8}$	$\frac{84}{13}$	$\frac{78}{18}$	$\frac{72}{21}$	$\frac{69}{25}$	$\frac{65}{27}$	$\frac{66}{25}$	$\frac{72}{25}$	$\frac{79}{21}$	$\frac{87}{10}$	$\frac{89}{6}$	78
Херсон	$\frac{85}{10}$	$\frac{82}{15}$	$\frac{78}{25}$	$\frac{69}{37}$	$\frac{65}{40}$	$\frac{65}{40}$	$\frac{62}{41}$	$\frac{62}{42}$	$\frac{68}{40}$	$\frac{76}{32}$	$\frac{86}{16}$	$\frac{87}{9}$	74
Хмельницька область													
Хмельницький	$\frac{86}{8}$	$\frac{84}{12}$	$\frac{80}{19}$	$\frac{71}{30}$	$\frac{69}{34}$	$\frac{73}{32}$	$\frac{75}{33}$	$\frac{74}{35}$	$\frac{78}{32}$	$\frac{81}{24}$	$\frac{87}{11}$	$\frac{88}{6}$	79
Шепетівка	$\frac{—}{7}$	$\frac{—}{11}$	$\frac{—}{18}$	$\frac{—}{29}$	$\frac{—}{32}$	$\frac{—}{30}$	$\frac{—}{31}$	$\frac{—}{32}$	$\frac{—}{29}$	$\frac{—}{22}$	$\frac{—}{10}$	$\frac{—}{5}$	—
Черкаська область													
Золотоноша	$\frac{85}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{79}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{66}{—}$	$\frac{70}{—}$	$\frac{71}{—}$	$\frac{72}{—}$	$\frac{76}{—}$	$\frac{81}{—}$	$\frac{87}{—}$	$\frac{87}{—}$	77
Умань	$\frac{85}{10}$	$\frac{83}{14}$	$\frac{79}{22}$	$\frac{69}{33}$	$\frac{67}{39}$	$\frac{71}{36}$	$\frac{72}{36}$	$\frac{71}{40}$	$\frac{75}{37}$	$\frac{80}{28}$	$\frac{86}{13}$	$\frac{87}{9}$	77

Кінець таблиці Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Черкаси	$\frac{84}{8}$	$\frac{83}{11}$	$\frac{79}{20}$	$\frac{69}{31}$	$\frac{64}{38}$	$\frac{69}{37}$	$\frac{70}{38}$	$\frac{69}{40}$	$\frac{72}{36}$	$\frac{79}{26}$	$\frac{86}{13}$	$\frac{87}{7}$	76
Чернівецька область													
Чернівці	$\frac{83}{9}$	$\frac{82}{12}$	$\frac{77}{21}$	$\frac{70}{30}$	$\frac{69}{31}$	$\frac{71}{29}$	$\frac{72}{32}$	$\frac{74}{33}$	$\frac{75}{32}$	$\frac{79}{26}$	$\frac{84}{13}$	$\frac{85}{8}$	77
Чернігівська область													
Семенівка	$\frac{85}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{80}{—}$	$\frac{73}{—}$	$\frac{69}{—}$	$\frac{72}{—}$	$\frac{75}{—}$	$\frac{75}{—}$	$\frac{78}{—}$	$\frac{83}{—}$	$\frac{88}{—}$	$\frac{88}{—}$	79
Чернігів	$\frac{85}{7}$	$\frac{83}{11}$	$\frac{80}{20}$	$\frac{71}{32}$	$\frac{67}{38}$	$\frac{71}{38}$	$\frac{72}{36}$	$\frac{73}{38}$	$\frac{77}{35}$	$\frac{82}{25}$	$\frac{88}{10}$	$\frac{88}{5}$	78

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ.....	4
1 ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ БУДИНКІВ	10
2 МІКРОКЛІМАТ ПРИМІЩЕНЬ.....	11
3 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	14
3.1. Пористість і густина.....	14
3.2. Вологість.....	15
3.3. Теплопровідність.....	16
3.4. Теплоємність.....	24
3.5. Теплозасвоєння матеріалів	25
4 ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ПРИ СТАЦІОНАРНОМУ ПОТОЦІ ТЕПЛОТИ	27
4.1. Теплопередача теплопровідністю	27
4.2. Теплопередача конвекцією	28
4.3. Теплопередача випромінюванням.....	29
4.4. Нормативні коефіцієнти теплосприйняття і тепловіддачі	30
4.5. Математичне формулювання задачі.....	31
4.6. Опір теплопередачі огородження.....	34
4.7. Розрахунок температури по перетину огороджувальної конструкції	37
5 ТЕПЛОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ	44
5.1. Загальні положення вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.....	44
5.2. Тепловий опір замкнених повітряних прошарків.....	48
5.3. Нормування опору теплопередачі зовнішніх огороджувальних конструкцій.....	51
5.4. Розрахункове визначення температури приміщень, що не опалюються	57
5.5. Методика теплотехнічного розрахунку зовнішніх огороджувальних конструкцій житлових і громадських будівель	57
5.6. Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огороджувальної конструкції	69
5.7. Комп'ютерні технології при дослідженні теплового режиму огороджувальних конструкцій	77
6 ПРОЕКТУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	91
6.1. Визначення основних експлуатаційних показників вікон	91
6.2. Розрахункове визначення приведенного опору теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій та температурного перепаду конструкцій в залежності від коефіцієнту скління	91
6.3. Значення лінійного коефіцієнту теплопередачі світлопрозорих конструкцій.....	93

7 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ ЗА ТЕПЛОВТРАТАМИ БУДИНКУ НА ОПАЛЕННЯ.....	101
7.1. Загальні положення із забезпечення енергоефективності.....	101
7.2. Енергетична паспортизація будинків.....	103
7.3. Класи енергетичної ефективності.....	106
7.4. Проектування теплоізоляційної оболонки за тепловтратами будинку на опалення.....	108
7.5. Методика визначення розрахункових тепловитрат на опалення будинку.....	109
7.6. Об'ємно-планувальні характеристики.....	116
7.7. Приклад складання розділу "Енергоефективність".....	118
7.8. Енергетичний паспорт будинку.....	132
8 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	136
9 ТЕПЛОВА ІНЕРЦІЯ ОГОРОДЖЕНЬ.....	139
10 ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	144
10.1. Нормативні вимоги у розрахунку показників теплостійкості.....	144
10.2. Методика визначення амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій при оцінці їх теплостійкості у літній період року.....	145
10.3. Методика визначення амплітуди коливань температури повітря приміщення при оцінці теплостійкості в зимовий період.....	154
10.4. Методика розрахунку амплітуди коливань температури на поверхні огородження складної конфігурації або з теплопровідними включеннями.....	165
11 ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІДЛОГ.....	170
11.1. Розрахункове визначення показника теплосасвоєння поверхнею підлоги.....	172
12 ПОВІТРОПРОНИКНЕННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	179
12.1. Визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій.....	183
12.2. Визначення повітропроникності одношарових однорідних конструкцій та світлопрозорих конструкцій.....	185
12.3. Визначення повітропроникності багатошарових огорожувальних конструкцій з послідовним розміщенням шарів.....	187
12.4. Визначення повітропроникності багатошарових огорожувальних конструкцій з паралельним розміщенням шарів.....	188
12.5. Визначення повітропроникності комбінованих багатошарових огорожувальних конструкцій.....	188
13 ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	194
13.1. Причини зволоження будівельних конструкцій.....	194
13.2. Конденсація і сорбція водяної пари.....	195
13.3. Паропроникнення матеріалів.....	198
13.4. Оцінка вологісного режиму огорожувальних конструкцій.....	200

13.5. Порядок розрахунку тепловологісного стану одношарових конструкцій.....	202
13.6.Порядок розрахунку тепловологісного стану багатошарових конструкцій.....	210
13.7. Визначення опору паропроникненню шару пароізоляції	233
13.8. Визначення опору паропроникненню шару пароізоляції в огорожувальній конструкції графоаналітичним методом	238
14 ПРОЕКТУВАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНИКІВ	244
15 ЗАГАЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ ПРИНЦИПИ ЗОВНІШНІХ СТІН ІЗ ФАСАДНОЮ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ	255
15.1. Класифікація збірних систем	255
15.2. Основні вимоги забезпечення показників безпеки.....	263
15.3. Умовні позначки збірних систем або конструкцій фасадної теплоізоляції	268
15.4. Деталі конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з вентиляльованим повітряним прошарком та опорядженням індустріальними елементами.....	272
15.5. Деталі конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою	275
15.6. Теплоізоляція конструкцій, які межують з ґрунтом	280
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	288
ДОДАТОК А	292
ДОДАТОК Б	302
ДОДАТОК В.....	304
ДОДАТОК Г	307
ДОДАТОК Д.....	313
ДОДАТОК Е.....	317
ДОДАТОК Ж.....	320

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Філоненко Олена Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури та міського будівництва Полтавського національного технічного університету є автором понад 40 наукових та навчально-методичних робіт. Наукові інтереси Філоненко О.І. направлені на розробку енерго- й ресурсозберігаючих конструктивних рішень будівель, методологій з раціонального використання природного середовища, енергоефективного будівництва з природних матеріалів й ін.

Юрін Олег Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури та міського будівництва Полтавського національного технічного університету є автором понад 60 наукових та навчально-методичних робіт. Наукові інтереси Юріна О.І. направлені на вдосконалення конструкцій покриття будівель холодильників, дослідження температурних полів складних ділянок огорожувальних конструкцій будівель та ін.