

технологические свойства сталефибробетона, особенности применения и перспективы развития сталефибробетонных конструкций. Третий международный симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона». 2011.

7. Павленко В.И., Арончик В.Б. Свойства фибробетона и перспективы его применения: аналитический обзор. Рига, ЛатНИИ, 1978. 57с.

8. Гетун Г.В. Экспериментально-теоретические исследования изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных в растянутой зоне слоем сталефибробетона: автореф. дис. канд. техн. наук. Киев, 1983. 20 с.

9. Смирнов Д.А. Упругость и ползучесть сталефибробетона: автореф. дисс. канд. техн. наук. СПб., 2011. 20 с.

10. ДСТУ-Н Б В.2.6-78: 2009. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 46 с.

УДК 624.014

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ БУДІВЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ

Марінін Б.В., *гр. ПЦБ-616*

*Науковий керівник – Купченко Ю.В., к.т.н., доцент
(кафедра Металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій,
ОДАБА)*

Анотація. У статті розглядаються питання забезпечення ресурсозбереження будівлі за допомогою конструктивних особливостей сендвіч-панелей. Підвищення вартості енергоресурсів, а також тренд на енергозбереження, що сформувався в Україні останніми роками, привели до зростання пропозицій будівельних матеріалів, покликаних підвищити енергоефективність будівель. Одним з найбільш енергоефективних рішень для зведення стін і покрівлі будівель є сендвіч-панелі, від правильного вибору яких багато в чому залежить не лише економія на опалюванні і кондиціонуванні будівлі, а і довговічність експлуатації огороджувальних конструкцій.

Ключові слова: енергоефективність, сендвіч-панель, утеплювач, стіна, покрівля.

Результати досліджень. Технологія виробництва сендвіч-панелей з'явилася завдяки американським архітекторам Франку Ллойд Райту і Олдену Б. Доу ще в 1930...1950-х роках. В 1959 році американська компанія Korpergs Inc. почала масове виробництво сендвіч-панелей. Засновниками-виробниками сендвіч-панелей в Європі є фінська компанія Rannila, відома сьогодні під брендом Ruukki, ірландська Kingspan й італійська Cannon.

Сендвіч-панелі володіють хорошими естетичними властивостями, відмінними енергозберігаючими характеристиками, а також швидко влаштовуються, тому їх широко застосовують для будівництва каркасних будівель, що швидко споруджуються. Залежно від призначення сендвіч-панелі підрозділяються на стінові та покрівельні. При виборі стінових панелей ключовими параметрами є теплотехнічні, міцнісні і протипожежні характеристики, а для покрівельних, на додаток до цього, – несуча здатність і довговічність.

Для теплої покрівлі застосовують безкаркасні сендвіч-панелі завдовжки до 12...14м, товщиною від 40 до 240мм (підбирається згідно теплотехнічного розрахунку), їх укладають по прогонах (з кроком до 4м) в покриттях з нахилом не менше 5% (не менше 7% за наявності з'єднань по схилу покрівлі або світлових люків). Панелі кріплять до прогонів за допомогою довгих самонарізних болтів, а герметизацію подовжніх стиків виконують клейкими гумовими смугами. Маса панелей 12...40кг/м². Покрівельні сендвіч-панелі повинні забезпечувати повну герметичність і необхідну міцність покрівлі, тому рекомендується використовувати панелі з особливою профілізацією зовнішньої обшивки у вигляді гребенів.

При виробництві сендвіч-панелей використовуються різні типи наповнювачів (які відповідають за такі характеристики як міцність, тепло-, звукоізоляцію і протипожежні властивості), при цьому найбільш поширеними є мінеральна вата, пінополіуретан (PU, PUR) і його модифікації – пінополіізоціанурат (PIR, IPN), а також пінополістирол (пінопласт).

Панелі з наповнювачем з пінопласту володіють найгіршими експлуатаційними характеристиками, тому, як правило, застосовуються для будівництва тимчасових споруд з терміном експлуатації до 10 років, до яких не пред'являються вимоги за пожежною безпекою, оскільки пінопласт є горючим. До того ж пінопласт володіє поганим шумопоглинанням і схильний до

поширення вогні. Єдиною перевагою сендвіч-панелей з пінопластом є їх низька ціна.

Мінеральна вата є найпоширенішим матеріалом і завжди застосовується в сендвіч-панелях з підвищеними вимогами за вогнестійкістю (до EI 360), наприклад, в протипожежних перегородках. Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати коливається в межах $\lambda=0,038\dots0,044\text{Вт/мК}$. Залежно від необхідних характеристик в конструкції сендвіч-панелей застосовується мінвата різної щільності: зниженою (нижче 90 кг/м^3) – для внутрішніх перегородок, середньою ($95\dots115\text{ кг/м}^3$) – для зовнішніх стін і покрівельних панелей або підвищеною (від 120 кг/м^3) – в протипожежних перегородках і стінових панелях підвищеної несучої здатності.

Сендвіч-панелі з пінополіуретану зручні в монтажі завдяки малій вазі (у більшості випадків щільність пінополіуретану в панелях складає від 32 до 40 кг/м^3) і володіють підвищеними, в порівнянні з мінеральною ватою, енергозберігаючими характеристиками ($\lambda=0,020\dots0,021\text{Вт/мК}$). Пінополіуретан не вбирає вологу. Сендвіч-панелі з наповнювачем з пінополіуретану застосовуються на об'єктах з низькими вимогами за пожежною безпекою. Пінополіуретан відноситься до горючих матеріалів (група горючості G1) і схильний до поширення полум'я (група M1-M2), а вогнестійкість панелей з пінополіуретановим наповнювачем складає EI 15.

Пінополіізоціанурат (PIR) є новим поколінням поліуретанових наповнювачів ($\lambda=0,020\dots0,021\text{Вт/мК}$) з підвищеними параметрами вогнестійкості (до EI 45). IPN і IPN nano – торговельні марки модифікованого пінополіуретану ($\lambda=0,020\dots0,022\text{Вт/мК}$), що застосовують в сендвіч-панелях Kingspan.

Мінеральна вата виробляється з базальтових волокон, об'єднаних за допомогою синтетичних матеріалів в загальну плиту певної товщини. Пінополіуретан виготовляють із спеціально підготовленої піни, завдяки чому він має газонаповнену пористу структуру. Саме спосіб виробництва накладає першу істотну відмінність – щільність і, як наслідок, вагу матеріалу. У пінополіуретані вона біля 40 кг/м^3 , у базальтової вати – $110\dots115\text{ кг/м}^3$. Проте для сендвіч-панелей порівнювати варіанти лише по вазі – некоректно. Оскільки головне завдання – добитися необхідної теплоізоляції, то варто оцінити коефіцієнти теплопровідності: $0,02\text{Вт/мК}$ – для пінополіуретану і $0,058\text{Вт/мК}$ – для мінеральної вати. Іншими словами, щоб забезпечити потрібний тепловий захист доведеться вибрати панель з базальтовим наповнювачем у три рази більшою товщиною (або з вагою, більшою

ніж у 7...8 раз) порівняно з пінополіуретаном. З точки зору економії простору, полегшення монтажних робіт і зменшення навантажень на несучі конструкції пінополіуретан переважає.

Стійкість (збереження властивостей) при експлуатації – також одна з найважливіших характеристик матеріалу утеплювача. Пінополіуретан має мінімальну міру водопоглинання, а мінеральна вата, навпроти, схильна до впливу вологи, причому з частковою втратою ізоляційних характеристик. Іншим недоліком мінеральної вати є схильність утворенню грибка, а також осідання з часом (яке прискорюється при підвищенні зволоженості), що обмежує вживання сендвіч-панелей з базальтовим утеплювачем в холодильних камерах і інших об'єктах з підвищеною вологістю. Пінополіуретан, навпаки, завдяки закритій пористій структурі, не втрачає властивостей в широкому діапазоні екстремальних плюсових і мінусових температур, має малу паропроникність і гігроскопічність, а також не втрачає «геометрії» з часом. Термін служби мінеральної вати – до 15 років, пінополіуретану – до 50 років.

Єдиний критерій, за яким мінеральна вата беззаперечно виграє у пінополіуретану, – пожежна безпека. Базальтове волокно не горить взагалі і не поширює полум'я. Її середня межа вогнестійкості – EI 60, у пінополіуретані – EI 35 (клас горючості G2). Сучасні склади пінополіуретану помірно займаються при безпосередньому контакті з вогнем і не поширюють полум'я. Рекомендується для споруд, в яких є великий пожежний ризик (наприклад, при виробництві з вогневими роботами) вибирати сендвіч-панелі з мінеральною ватою. У інших випадках, як показують порівняльні характеристики, пінополіуретан більш переважний. При цьому вища ціна «на пінополіуретан» компенсується необхідністю значно меншого об'єму матеріалу і його тривалішим терміном надійної експлуатації.

Енергозберігаючі властивості сендвіч-панелей визначаються не тільки типом наповнювача, а також герметичністю замку і наявністю в ньому ущільнювача. Ущільнювач може бути бутиловий, який встановлюється у момент монтажу панелей, або EPDM (етілен-пропіленовий каучук), що встановлюється в замок панелі при виробництві і забезпечує кращу герметичність і енергоефективність замкової частини сендвіч-панелі (рис. 1, а).

Сендвіч-панелі підвищеної енергоефективності допомагають знизити енергоспоживання будівлі до 20% в порівнянні з традиційними сендвіч-панелями. Енергозберігаючі сендвіч-панелі мінімізують енерговтрати будівлі через стики і поверхню виробу завдяки наявності трубчастого ущільнювача в замках і спеціальній

герметизації стиків панелей (рис. 1, б). Найважливішим параметром енергоефективності сендвіч-панелей є термоопір (R0), що враховує теплові втрати в замковій частині конструкції. Найбільш інноваційними рішеннями по енергозбереженню є сендвіч-панелі з інтегрованими фотоелектричними модулями (сонячними батареями).



Рис. 1. EPDM ущільнювач (а) і енергоефективний тип замку (б)

Для підвищення енергоефективності будівель останнім часом додатково використовують енерговідображаюче покриття для сендвіч-панелей, що дозволяє скоротити витрати на кондиціонування будівель. Наприклад, на сонці температура сталеві поверхні сендвіч-панелі, забарвленої в темний колір, може досягати 80...90°C. Нове покриття (Hiarc reflect, компанія Rauta) не дає фасаду темного кольору перегріватися (температура поверхні знижується на 20°C), зменшує деформацію сталі (покращується герметичність стиків між сендвіч-панелями) і необхідність у внутрішньому охолодженні.

Матеріалом зовнішньої обшивки сендвіч-панелей є оцинкована сталь з полімерним покриттям, що забезпечує виробу довгий термін експлуатації із збереженням експлуатаційних характеристик. Згідно стандарту ДСТУ EN 10346:2014 при виробництві панелей використовують конструкційні марки сталей S280, S320, S350 з гарантованою межею текучості 280...350 МПа. При цьому використовується оцинкована сталь з вмістом цинку не менше 190г/м², із зовнішнього боку листа товщина цинкового покриття має бути не менше 20 мікрон, а товщина шару поліестеру не менше 25мкм. Згідно стандарту ДСТУ Б EN 14509: 2014 товщина зовнішньої обшивки може бути від 0.4 до 0.7мм (чим товще сталевий лист, тим більш рівною виглядатиме поверхня фасаду і менше відблисків буде на ньому помітно в сонячну погоду), товщина внутрішньої обшивки знаходиться в межах від 0.4 до 0.6мм і впливає на довговічність і несучу здатність сендвіч-панелей.

При розрахунках несучої здатності покрівельних сендвіч-панелей враховується, що щільно приклеєний до зовнішніх металевих профілів сердечник сприяє розподілу напружень від сприйманих навантажень. При цьому зовнішні сталеві шари сприймають зусилля розтягу і стиску, а утеплювач – зусилля зсуву, що забезпечує високу несучу здатність тришарових панелей.

Статичний розрахунок сендвіч-панелей виконується з дотриманням умов граничних станів несучої здатності і незмінності форми панелей. Для покрівельних панелей обчислюються граничні стани несучої здатності залежно від відстаней між опорами. Прийняті схеми завантаження: статично визначена однопрольотна балка і статично невизначена двохпрольотна балка.

Висновки:

Одним з найбільш енергоефективних рішень для зведення стін і покрівлі будівель є сендвіч-панелі, від правильного вибору залежить не лише економія на опалюванні і кондиціонуванні будівлі, а і довговічність експлуатації огорожувальних конструкцій. При виборі стінових панелей ключовими параметрами є теплотехнічні, міцнісні і протипожежні характеристики, а для покрівельних, додатково, – несуча здатність і довговічність. Сендвіч-панелі підвищеної енергоефективності допомагають знизити енергоспоживання будівлі до 20% в порівнянні з традиційними сендвіч-панелями.

Література:

1. ДСТУ Б EN 14509: 2014 (EN 14509: 2006, IDT + EN 14509: 2006/AC: 2008, IDT) Панелі теплоізоляційні самонесучі з двостороннім металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення. К.: Мінрегіон України, 2014. 196 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-189: 2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. К: Мінрегіон України, 2014. 51 с. (Національний стандарт України).
3. <https://www.uscc.ua> (Український центр сталевих будівництва).