

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АРХІТЕКТУРИ, БУДІВНИЦТВА ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ  
КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

# РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ САНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ

1

Студент  
Керівник:

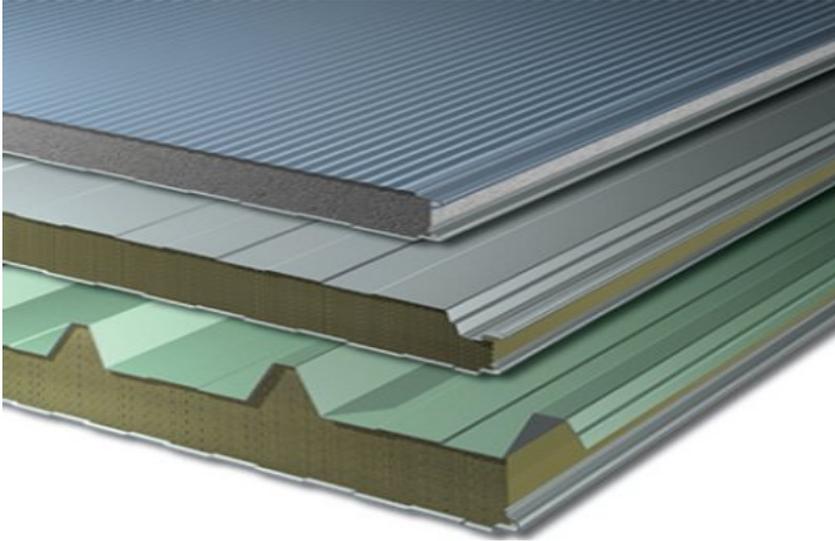
Покась С.П.  
к.т.н., доц. Семко П.О.

*Полтава, 2024*

# ЗАВДАННЯ РОБОТИ

- ❖ Виконати огляд літератури з питань використання та розрахунку СП;
- ❖ Обґрунтувати й розробити установку для випробувань;
- ❖ Визначити розрахункові значення несучої здатності СП за каталогом виробника;
- ❖ Провести експериментальні дослідження зразків СП
- ❖ Порівняти результати експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками та зробити аналіз збіжності результатів;
- ❖ Розробити вказівки щодо проведення спрощених випробувань СП та журнал реєстрації й обробки результатів випробувань

# ВИДИ І ЗАСТОСУВАННЯ САНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ



- ❖ Стінові сандвіч-панелі - зведення стін і всіляких перегородок і огорожень ;
- ❖ Покрівельні - для облаштування покрівлі;
- ❖ Оздоблювальні сандвіч-панелі (декоративні) - для утеплення, внутрішньої і зовнішньої обробки .
- ❖ «Сандвічі» можуть бути самонесучими і несучими конструкціями, а також вони можуть бути збірними, тобто виготовляються у вигляді окремих елементів, які збираються в процесі виконання монтажних робіт.

# РОЗРАХУНОК СП

## Контроль міцності при випробуваннях

$$F_p = 2bH\tau_H,$$

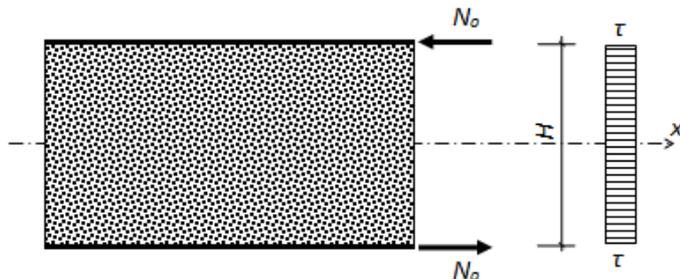
де  $b$  – ширина зразка в см;

$H$  – товщина панелі в см;

$\tau_H$  – нормована міцність пінополіуретану при зсуві, прийняте не менше  $2 \text{ кгс/м}^2$

$$G = 0.167 / \left( \frac{bH}{\ell} \frac{f}{F} - 0.035 \frac{\ell^2}{E_n \delta H} \right)$$

$$F_{ГР} = \sigma_{ГР} b / \left( 0.17 \frac{\ell}{\delta H} + K \sqrt{\frac{h_{Г}}{\delta F}} \right)$$



## Несуча здатність при згині

$$M = N_o H = bt\sigma H \rightarrow q = \frac{8bt\sigma H}{bl^2} = \frac{8t\sigma H}{l^2}$$

$$Q = \tau \cdot bH \rightarrow q = \frac{2H\tau}{l}$$

$$f = \frac{lF}{6GbH} + \frac{0.2Gl^3 F}{6GbH^2 Et} = \frac{\tau \cdot l}{3G} + \frac{Ml^2}{10EI}$$

→

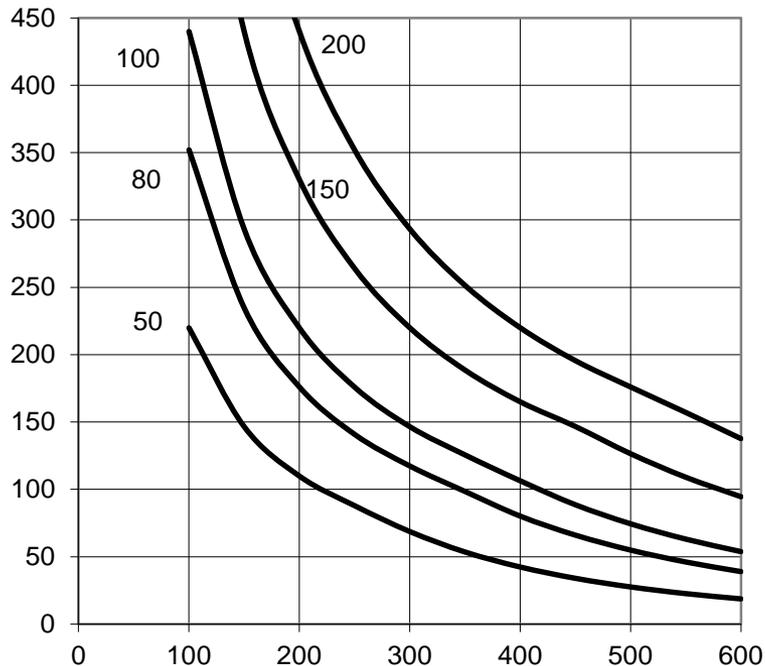
$$q = \frac{H \cdot f \cdot 192 \cdot t \cdot H \cdot E \cdot G}{l^2 (5G \cdot l^2 + 24 \cdot t \cdot H \cdot E)}$$

# РОЗРАХУНОК СП СТІНОВОГО ТА ПОКРІВЕЛЬНОГО ТИПІВ

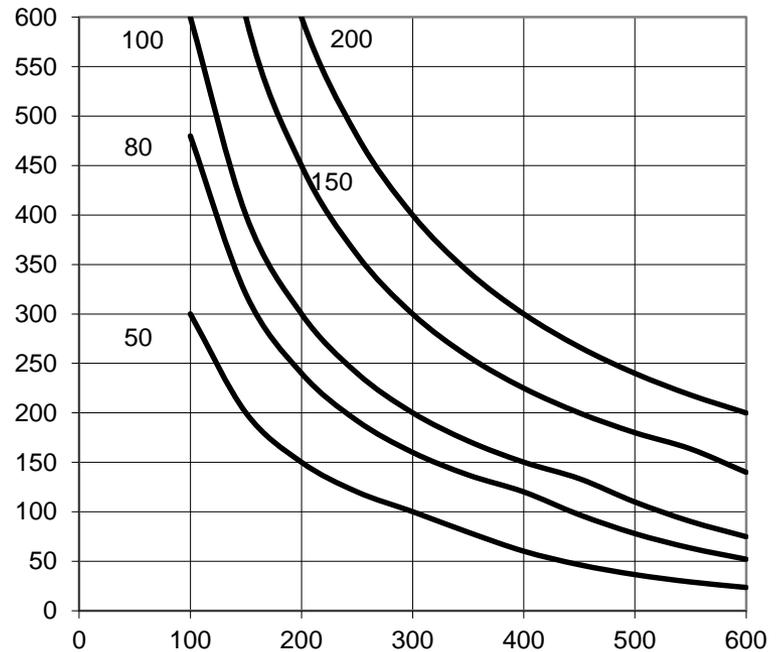
$$q_M = 8 t \sigma_{cr} H / L^2 .$$

$$q_Q = 2 H R / L .$$

$$q_f = \frac{192 f t H E G}{L^2 (5 G L^2 + 24 t H E)} .$$

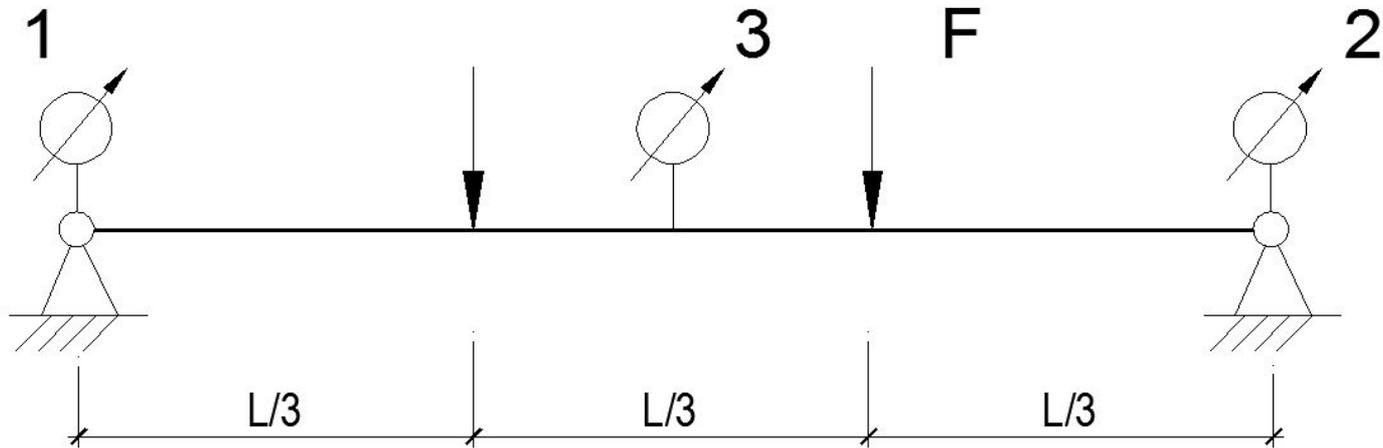


Розрахункові несучі здатності тришарових панелей стінового типу

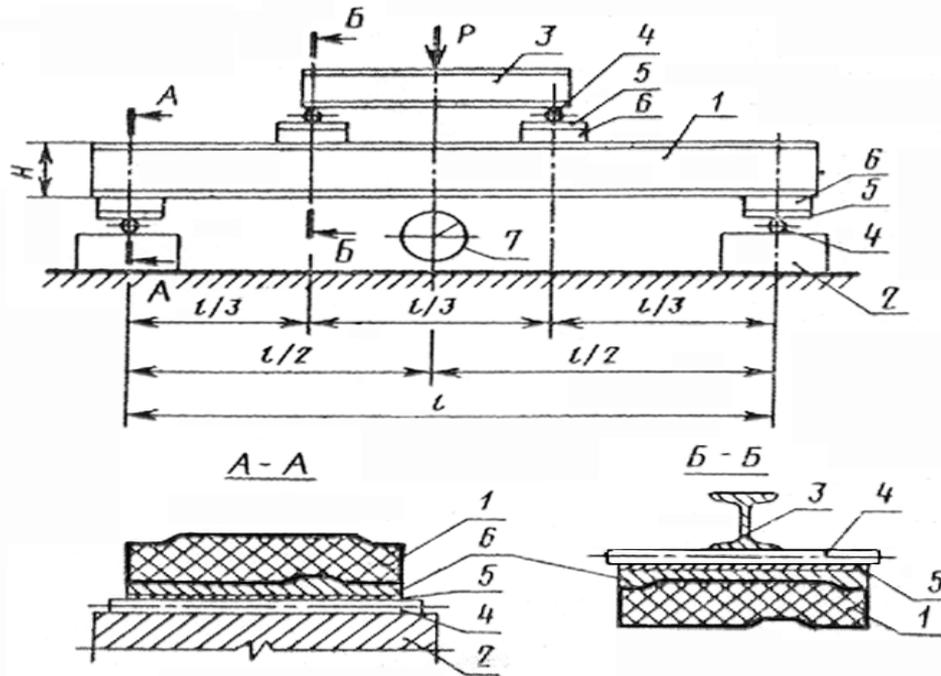


Розрахункові несучі здатності тришарових панелей покрівельного типу

# ПРИНЦИПОВА СХЕМА ВИПРОБУВАНЬ СП



# СХЕМА ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ



- 1 – база;
- 2 – траверса;
- 3 – зразок;
- 4 – циліндричні металеві опори діаметром (40÷50) мм;
- 5 – дерев'яні прокладки перерізом (100×25) мм;
- 6 – навантажувальна сила

# ДОСЛІДНА УСТАНОВКА



# ПОРЯДОК ВИПРОБУВАНЬ:

- Попередні розрахунки
- Підготовка до випробувань:
  - ❖ Підготовка панелі до випробувань
  - ❖ Розташування приладів на установці згідно схеми випробувань
  - ❖ Тарування та маркування штучних вантажів
- Проведення випробувань
- Обробка результатів випробувань
- Порівняння результатів експерименту з результатами прогнозу та аналіз збіжності результатів

# ПЕРШИЙ СТУПІНЬ НАВАНТАЖЕННЯ ЗРАЗКА



## ДРУГИЙ СТУПІНЬ НАВАНТАЖЕННЯ ЗРАЗКА



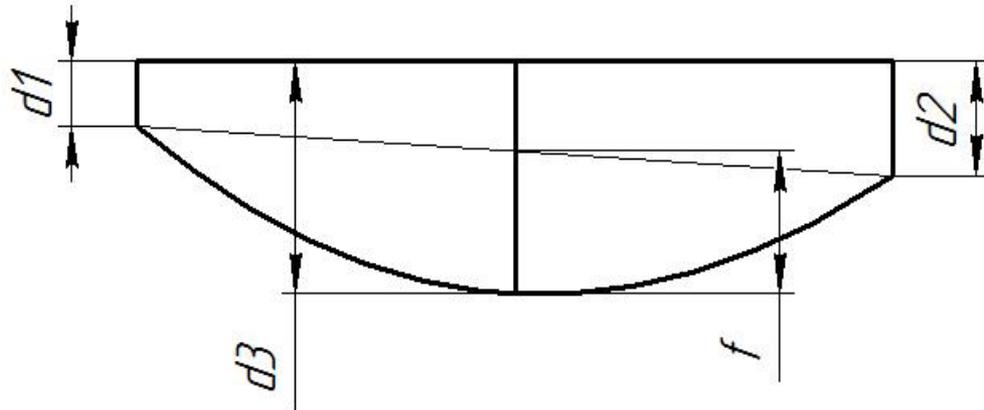
# ТРЕТІЙ СТУПІНЬ НАВАНТАЖЕННЯ ЗРАЗКА



# ЧЕТВЕРТИЙ СТУПІНЬ НАВАНТАЖЕННЯ ЗРАЗКА ТА ЙОГО РУЙНУВАННЯ



# ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ



Теоретичний прогин

$$f_T = \left( \frac{0.167}{G} + \frac{0.035 \cdot L^2}{E + H} \right) \cdot \frac{L \cdot F}{b \cdot H} \quad (1)$$

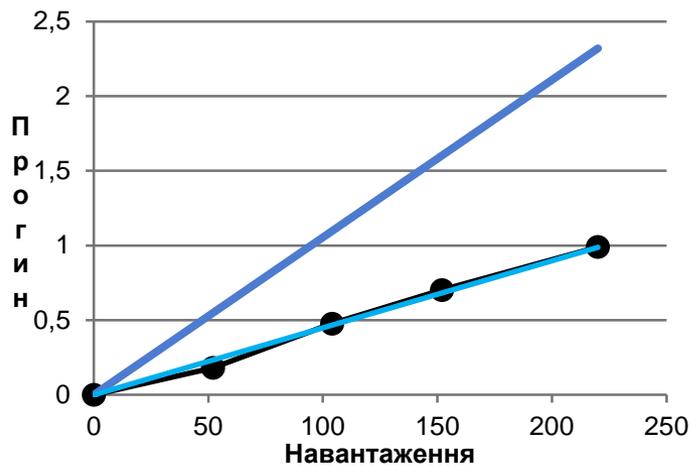
Фактичний прогин

$$f = d_3 - \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2)$$

$$\partial e d_i = a_i - a_0 \quad (3)$$

# ЗРАЗОК №1

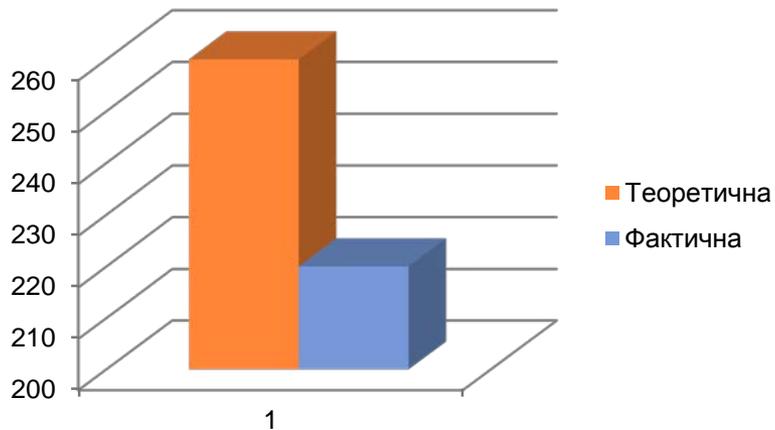
Ступінь навантаження	Навантаження			Відліки			Переміщення			Прогин	
	Л	П	Σ	Л	С	П	A1	A3	A2	теорет	факт
0	0	0	0	5	11.02	4	0.00	0.00	0.00	0	0
1	26	26	52	4	8.21	3	1.00	2.81	1.00	0.55	0.181
2	26	26	104	3	4.50	2.5	2.00	6.52	1.50	1.10	0.477
3	24	24	152	2.1	1.6	2.1	2.90	9.42	1.90	1.60	0.702
4	34	34	220	0.1	0.1	0.3	4.90	16.2	3.70	2.32	0.99



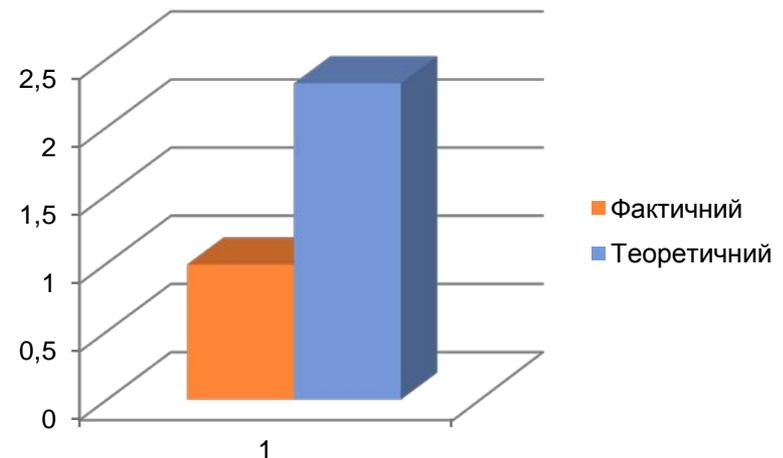
# АНАЛІЗ ЗБІЖНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ

Зразок	За прогином			За міцністю		
	факт	теор	$\Delta, \%$	факт	теор	$\Delta, \%$
1	0,99	2,32	16,5	220	260	24

## Міцність



## Прогин



# ЖУРНАЛ ВИПРОБУВАНЬ

Тема: «ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ  
ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ САНДВІЧ-ПАНЕЛІ»

**Мета роботи:** експериментально дослідити несучу здатність огорожувальної сандвіч-панелі

- Об'єкт випробування \_\_\_\_\_
1. Дата випробування \_\_\_\_\_
  2. Марка панелі \_\_\_\_\_
  3. Довжина зразку (см) \_\_\_\_\_
  4. Ширина зразку (см) \_\_\_\_\_
  5. Модуль пружності сталі \_\_\_\_\_
  6. Момент інерції \_\_\_\_\_
  8. Результати випробування записуємо у табл. 1

Таблиця 1

Таблиця обробки результатів випробування

Ступінь навантаження	Навантаження			Відхи			Переміщення			Прогин	
	л	п	І	л	с	п	A1	A2	A3	теор	факт
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

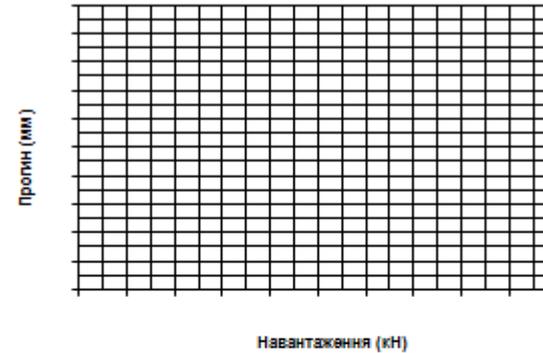


Рисунок 1. Графік залежності прогину від навантаження (будується за даними таблиці 1)

**Висновок:** \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

- ❖ Огляд літератури з питань виробництва, використання та методів контролю якості сандвіч-панелей показав, що панелі можуть виготовлятися згідно з державними стандартами, або стандартами підприємств. Розроблені й опубліковані методів розрахунків, а також вимоги до контролю якості та випробувань сандвіч-панелей .
- ❖ На підставі розрахунків та випробувань зразків обґрунтована спрощена польова методика випробувань та розроблена проста установка для випробування сандвіч-панелей , яка дозволяє виконувати завантаження штучними вантажами та вимірювати прогини зразка за допомогою індикаторів годинникового типу.
- ❖ Шляхом розрахунків за спрощеною інженерною методикою визначені розрахункові значення несучої здатності сандвіч-панелей , які порівняні з каталогом виробника.
- ❖ Експериментальні дослідження зразків сандвіч-панелей підтвердили працездатність розробленої установки та можливість випробувань панелей різних марок.
- ❖ Аналіз збіжності результатів експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками вказує на значний вплив початкових недосконалостей зразків на несучу здатність настилу.
- ❖ Розроблені рекомендації та журнал випробувань можуть використовуватися для польового контролю якості сандвіч-панелей з використанням ресурсної бази будівельних організацій.

•.

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Сандвіч-панелі знаходять широке застосування у промисловому та громадському будівництві в якості стінових та покрівельних огорожувальних конструкцій. Різноманітність виробників та профілів СП обумовлює необхідність проведення випробувань з метою встановлення несучої здатності конкретної марки панелі. Тому актуальним завданням є розроблення методики спрощених польових випробувань сандвіч-панелей, які можна провести на базі будівельної організації з використанням гранично простої випробувальної установки та мінімального набору засобів вимірювання.

*Мета й завдання розроблення.* Виходячи з результатів розрахунків та експериментальних досліджень, запроєктувати установку для випробування огорожувальних сандвіч-панелей, розробити методику випробувань та форму журналу для реєстрації й обробки результатів випробувань. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- виконати огляд літератури з питань використання та розрахунку СП;
- обґрунтувати конструкцію та розробити установку для випробувань;
- визначити розрахункові значення несучої здатності СП за каталогом виробника;
- провести експериментальні дослідження зразків СП;
- порівняти результати експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками та зробити аналіз збіжності результатів;
- розробити вказівки щодо проведення спрощених випробувань СП та журнал реєстрації й обробки результатів випробувань.

**Об'єкт дослідження** – спрощена методика та обладнання для випробувань зразків сандвіч-панелей.

**Предмет розроблення** – огороджувальна сандвіч-панель.

**Методи дослідження й розроблення:**

Методи будівельної механіки та опору матеріалів для розрахунку СП, експериментальні методи визначення деформативності та несучої здатності.

**Наукова та технічна новизна одержаних результатів:**

- експериментальним і розрахунковим шляхом отримані характеристики несучої здатності СП;
- виявлено значний вплив початкових недосконалостей і транспортних пошкоджень на несучу здатність СП;
- проведена апробація працездатності розробленої експериментальної установки.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- запроектована установка для випробування СП;
- розроблені вказівки щодо проведення польових випробувань зразків сандвіч-панелей.

## Розділ 1

# ДОСВІД ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ САНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ (СП)

### 1.1 Типи СП та їх використання у будівництві

Ми живемо у світі високих технологій, але основу для них забезпечують саме досить прості продукти й технології, наприклад, такі як сандвіч-панелі в будівництві, зображені на рис. 1.1 та рис. 1.2. Одними з головних параметрів, по яких оцінюється той або інший стіновий матеріал (або технологія), є теплотехнічні характеристики, а також ціна і якість виробів. Сандвіч-панелі, у різних варіаціях, дозволяють досягати оптимального співвідношення всіх цих трьох складових.

Рис.1.1 Різновиди сандвіч-панелей

### 1.2. Застосування сандвіч-панелей в будівництві

Сам по собі принцип сандвіч-технологій зовсім не новий. Він був описаний ще наприкінці п'ятидесятих років минулого століття. Більш-менш активне застосування сандвіч-панелей у промисловому будівництві в нашій країні почалося в середині вісімдесятих років минулого століття. Перші зразки панелей не відрізнялися високою якістю через те, що на швах при нещільному з'єднанні утворювалися так називані «містки холоду», що приводило до великих втрат тепла. Сандвіч-панелі використовувались лише тому, що вони дозволяли швидко зводити промислові будинки й споруди.

Поява в нашій країні на початку дев'яностих років минулого століття конструкційних сандвіч-панелей іноземного виробництва, у яких як утеплювач і несучий шар використовується мінераловатна плита, дозволило ефективно

вирішити основну проблему – збереження тепла. Наступним етапом розвитку ринку стало виробництво панелей по західних технологіях, на іноземному устаткуванні, із класами точності, прийнятими за рубежом і задовольняючими нашим нормативам. Перші вітчизняні виробники панелей з'явилися в середині дев'яностих років минулого ХХ століття.

На сьогодні сандвіч-технології досить поширені. Сполучаючи в собі метал-плити, метал-залізобетон-плити або будь-який ефективний утеплювач, вони будуть активно розвиватися й вдосконалюватися в майбутньому.

Практично будь-який малоповерховий будинок, починаючи з невеликого особистого гаража, госпблоку або автомийки й закінчуючи великим супермаркетом або ангаром, може мати огорожуючі конструкції, що змонтовані із сандвіч-панелей. Утворюється готова конструкція стіни, при використанні, одного конструкційного елемента, виконаного в заводських умовах. Конструкція при відносно невисокій вартості не вимагає додаткової обробки, легко монтується й у цьому розумінні дуже зручна. Строк служби панелей за параметрами, які в них закладаються, не менше 25 років.

Перелічимо основні переваги використання сандвіч-панелей:

- **високі теплоізоляційні властивості**

Сандвіч-панель із пінополістірольним утеплювачем товщиною 100 мм за теплоізоляційними властивостями відповідає 150-міліметровій панелі з утеплювачем із мінеральної вати або стіні зі звичайної цегли товщиною 900 мм. Стики між панелями герметично закриті, без “містків холоду”. Витрати на експлуатацію будинків із сандвіч-панелей, насамперед, на опалення, знижуються в кілька разів. Сама теплоізоляція як би «запаяна» у водо-паронепроникну оболонку, що виключає появу грибків або цвілі. Споруди із сандвіч-панелей забезпечують високу ступінь комфортності в будь-якому кліматі.

- **скорочення витрат на транспортування будматеріалів**

Легкі й міцні сандвіч-панелі транспортувати набагато простіше, ніж тонни цегли, цементу, піску, залізобетонні плити або пиломатеріали.

- **зниження навантажень на фундамент**

Навантаження на фундамент знижуються в 100 разів і більше. Ця обставина, як правило, дає можливість відмовитися від проведення геологічних досліджень ґрунту, істотно знизити витрати на будівництво фундаменту, а часто – практично повністю відмовитися від нього.

- **висока швидкість будівництва**

Строки будівництва знижуються більш ніж в 10 разів. Це досягається як за рахунок спрощення фундаменту, так і за рахунок заміни, наприклад, трудомісткої цегельної кладки простим, швидким і зручним монтажем сандвіч-панелей. При цьому монтаж можна проводити на каркас із будь-якого матеріалу (метал, залізобетон, дерево) або на вже готовий будинок з метою його утеплення й одночасного поліпшення зовнішнього вигляду. Будівництво обходиться дешевше й швидше окупається. Крім того, будівельна площадка приємно дивує практично повною відсутністю будівельних відходів і сміття. При необхідності будинок із сандвіч-панелей можна демонтувати й перевезти на інше місце.

- **відсутність необхідності обробки**

Сандвіч-панелі - це елементи повної заводської готовності. Ідеальна поверхня панелей не вимагає ні зовнішньої, ні внутрішньої обробки. Більш того, багата кольорова гама панелей дозволить задовольнити смак будь-якого архітектора й дизайнера. Споруди із сандвіч-панелей виглядають сучасно й престижно.

- **довговічність**

Оболонка сандвіч-панелей виготовлена з надійної, за фізико-технічними властивостями, оцинкованої сталі з антикорозійним покриттям, ґрунтівою й полімерним покриттям.

- **низьке вологовбирання**

Навіть при порушенні герметичності з'єднань сандвіч-панелей між собою вологовбирання матеріалу становить не більше 3%.

- **високі гігієнічні якості**

Ця властивість сандвіч-панелей дозволяє їх використання для будівництва будівель, що відносяться до харчової промисловості.

Невелика вага, легкість збирання-розбирання, міцність, високі вологовогнестійкі й шумоізоляційні характеристики, стійке антикорозійне покриття сандвіч-панелей роблять їх застосування можливим у будь-якій галузі народного господарства. Вони ідеально підходять для будівництва промислових підприємств, цехів, торгових центрів, автозаправних станцій і станцій технічного обслуговування, митних і складських терміналів, спортивних споруд, швидкостроєних, мобільних будівель різної поверховості. Завдяки своїм унікальним теплоізоляційним властивостям, панелі ідеально підходять для виготовлення холодильних систем різного об'єму. Крім цього, продукція настільки екологічно безпечна, що може використатися навіть у харчовій і фармацевтичній промисловості.

У порівнянні із цеглою, бетоном, залізобетонними панелями, використання сандвіч-панелей дозволяє в цілому зменшити розміри капітальних вкладень у будівництво й реконструкцію об'єктів (завдяки значному зниженню матеріалоємності й трудовитрат). Висока швидкість зведення будівель із сандвіч-панелей робить їх незамінними у випадках, якщо вимагається швидке повернення вкладених коштів.

***Види сандвіч-панелей :***

- Стінові сандвіч-панелі – для зведення стін і всіляких перегородок і огорожень;
- Покрівельні - для облаштування покрівлі;
- Оздоблювальні сандвіч-панелі (декоративні) - для утеплення, внутрішньої і зовнішньої обробки .

«Сандвічі» можуть бути самонесучими і несучими конструкціями, а також вони можуть бути збірними, тобто виготовляються у вигляді окремих елементів, які збираються в процесі виконання монтажних робіт.

## **1.2 Нормативне забезпечення виробництва сандвіч-панелей**

Сандвіч з англійської означає шаровий. З розвитком будівельних технологій до теперішнього часу на ринку існують різні варіанти багатошарових панелей. Як правило, сандвічі складаються з облицювання й теплоізоляційного сердечника. Існують, наприклад, бетонні панелі з пінополістірольним утеплювачем. Бувають збірні панелі, коли робиться каркас, укладається сердечник, і потім монтується облицювання.

*Тришарові панелі типу «сандвіч» з різними видами наповнювача.* Даний вид сандвіч-панелей виник як розвиток пошарової зборки й з необхідності уникнути «мокрих процесів» у будівництві. Існуюча необхідність виникає при знакоперемінних температурах, при яких традиційні будівельні матеріали використовуються у будівництві сезонно. До таких матеріалів відноситься, наприклад, цегла.

Основу панелей складає сердечник із кращих високоефективних теплоізолюючих матеріалів (негорючих мінераловатних плит з перпендикулярно-орієнтованими волокнами на основі базальтових порід). Товщина цього шару варіюється залежно від призначення й кліматичних умов, у яких буде експлуатуватися вироб.

Теплоізолююча маса захищена по обидва боки лицювальними шарами (профільованим оцинкованим і пофарбованим сталевим листом), що створюють, окрім іншого, додаткову конструкційну жорсткість. Міцне з'єднання облицювання й утеплювача забезпечує високоякісний клей.

### ***Переваги сандвіч-панелей:***

1. Можливість монтажу в будь-якій кліматичній зоні цілий рік
2. Використання сандвіч-панелей на порядок збільшує швидкість монтажу
3. Скорочення експлуатаційних і накладних витрат на улаштування фундаменту
4. У половині випадків немає необхідності робити внутрішню обробку приміщень.

### ***Недоліки сандвіч-панелей:***

1. Сандвіч-панелі є самонесучими й не можуть взяти на себе істотне додаткове навантаження.
2. Існує ймовірність пошкодити полімерне покриття або зім'яти панель у процесі монтажу або експлуатації. У такому випадку можлива косметична корекція (подряпини), або заміна панелі (якщо вона була зламана або зім'ята).
3. Можливі промерзання панелей у стиках або утворення льоду при точці роси в зимовий час. Дані проблеми можуть виникнути при недотриманні технології монтажу панелей.

### **Облицювання, наповнювачі й замки.**

#### ***Можливі види облицювання:***

- Сталь холоднокатана гарячеоцинкована
- Сталь холоднокатана гарячеоцинкована з полімерним покриттям
- Сталь, покрита гранітною кришкою
- Композитні полімерні матеріали (для внутрішніх перегородок, холодильних камер)

Найпоширенішим облицюванням внаслідок затребуваності ринком є сталь із полімерним покриттям.

#### ***За видами полімерного покриття:***

- Поліестер (поліефірна емаль).
- Пластизол (полівінілхлорид)

- Пурал
- PVF2 (полідифторіонад)

### **Можливі види наповнювача сандвіч-панелей:**

#### *– Мінеральна вата*

Мінеральна вата - це стандарт по пожежному реагуванню. Даний сердечник виробляється з базальтового розплаву і являє собою мінеральне волокно на синтетичному в'язучому.

#### *– Екструдований пінополістірол*

Пінополістірол дешевший, міцніший, кращий за коефіцієнтами тепловтрат у порівнянні з мінеральною ватою. Однак по пожежних сертифікатах пінополістірол, як правило, не підходить для зведення огорожувальних конструкцій. Дана ситуація може змінитися з розвитком технології виробництва пінополістіролу.

#### *– Пінополіуретан*

Пінополіуретан - це матеріал, що одержують шляхом вспінювання двох компонентів (Поліол і Ізоціонат) і що застосовується, як правило, для будівництва холодильних камер. Він є лідером за показником збереження тепловтрат. У тілі наповнювача міститься газ, що займає до 97% об'єму, який заміщається повітрям із часом. Порядок заміщення 1-2% у рік.

### ***Замки сандвіч-панелей***

Залежно від устаткування та з розвитком технологій у цей час замки можна класифікувати по наступних розділах:

Стінові замки, що мають наступні характеристики:

- Потребуючі ущільнення з внутрішнього боку для запобігання паропроникнення із внутрішнього боку (при вертикальному монтажі застосовується двостороннє ущільнення).

- Не потребуючі ущільнення з внутрішнього боку для запобігання паропроникнення із внутрішнього боку (при вертикальному монтажі застосовується двостороннє ущільнення).
- Секретні замки (що ховають кріплення усередині панелі). тільки при горизонтальному монтажі. Ідеально підходять для іміджевих будівельних проектів.

### 1.3 Технології виготовлення та вимоги до СП

Застосування сандвіч-панелей дає прекрасні *стінові* й *покрівельні* огорожувальні конструкції для різних будівель і споруд промислового й цивільного будівництва, внутрішніх перегородок для приміщень суспільного й виробничого призначення.

Стінові й покрівельні сандвіч-панелі є сучасним конструктивним рішенням, яке можна використати як для будівництва нових, так і для реконструкції існуючих будівель.

Сандвіч-панелі із утеплювачем з мінеральної вати за теплотехнічними характеристиками у декілька раз перевершують традиційні матеріали, забезпечують термічний опір, що не поступається цегляній кладці. Витрати на експлуатацію будівель із сандвіч-панелей, насамперед, на опалення, знижуються в декілька разів. Споруди із сандвіч-панелей забезпечують високу ступінь комфортності в будь-якому кліматі. Висока вогнестійкість утеплювача з мінеральної вати дозволяє застосовувати сандвіч-панелі в якості зовнішніх огорожуючих конструкцій, і протипожежних перегородок.

Сандвіч-панелі — це елементи повної заводської готовності. Ідеальна поверхня панелей не вимагає ні зовнішньої, ні внутрішньої обробки. Більш того, багата колірنا гама (*RAL*) панелей дозволить задовольнити смак будь-якого архітектора й дизайнера. Споруди із сандвіч-панелей виглядає сучасно й престижно.

### *Технічні вимоги до тришарових металевих панелей*

Згідно ДСТУ [1] панелі повинні виготовлятися відповідно до вимог дійсного стандарту за затвердженими кресленнями й технологічними регламентами, затвердженими у встановленому порядку.

#### *Вимоги до конструкції й міцності панелей при поперечному згині*

- Руйнівне навантаження при поперечному згині панелей не повинна бути менша за величини, зазначені у затверджених кресленнях.

- Руйнівне навантаження при поперечному згині зразків, вирізаних з панелей, не повинна бути менше величин, зазначених у табл. 1.3.

#### *Вимоги до геометричної точності*

- Відхилення розмірів панелей від проектних не повинні бути більше величин, зазначених у табл. 1.4.

Таблиця 1.3

#### Руйнівні навантаження для сандвіч-панелей

Товщина панелі, мм	Руйнівне навантаження, кГс
46,6	450
50,0	500
61,6	600
80,0	800
91,6	900
100,0	1000

Примітка. Руйнівне навантаження наведене для зразків довжиною 1100 мм і шириною 250 мм.

Таблиця 1.4

#### Допустимі відхилення розмірів сандвіч-панелей

Довжина панелей, мм	По довжині	По ширині	По товщині
---------------------	------------	-----------	------------

Від 2380 до 2980 включ.	-3,0	±1,5	±1,0
Св. 2980 » 4780 »	-4,0	±1,5	±1,0
» 4780 » 8980 »	-5,0	±1,5	±1,0
» 8980 » 11380 »	-6,0	±1,5	±1,0

Примітки:

1. Відхилення від проектної ширини паза панелей типів 1 і 3 не повинне бути більше +1,0 мм.

2. Відхилення від проектної довжини панелей, виготовлених стендовим способом, при довжині їх понад 4780 мм, не повинне бути більше -4,0 мм.

- Непрямокутність панелей не повинна бути більше 2 мм.
- Непрямолінійність поздовжніх крайок панелей повинна перебувати в межах допуску на ширину панелі.
- Неплощинність панелей не повинна бути більше: по полю - 2,5 мм; по стикових крайках панелей типів 1 і 3 - 1,0 мм.
- Зсув крайок металевих листів відносно один одного не повинне бути більше 1,5 мм.

*Вимоги до складових частин і вихідних матеріалів*

Які листові матеріали варто застосовувати:

– рулонну оцинковану сталь згідно ДСТУ [2], групи Б, першого класу покриття;

– листи з алюмінієвого сплаву марки АмГ2 1/2Н за ДСТ 21631-76 [3];

– листи (стрічки в рулонах) з алюмінієвого сплаву марки АмГ2 1/4Н.

Товщина оцинкованих сталевих листів, аркушів з алюмінієвих сплавів не повинна бути меншою за 0,8 мм.

Фізико-технічні властивості й механічні показники мінераловати повинні відповідати зазначеним у табл.1.5.

Таблиця 1.5

Найменування показників	Норма
Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup> не більше	55

Коефіцієнт теплопровідності, ккал/м·ч·°С, не более	0,028
Вологовбирання за 24 ч при відносній вологості повітря 96%, про. %, не більше	0,1
Водопоглинення за 24 ч при насиченні водою, про. %, не більше	2,0
Міцність зчеплення з металевими листами, кгс/см <sup>2</sup> , не менше:	
при рівномірному відриві	3,0
при зсуві	2,5
Міцність при розтяганні, кгс/см <sup>2</sup> , не менше	3,0
Міцність при зсуві, кгс/см <sup>2</sup> , не менше	2,5
Модуль пружності при розтязі, кгс/см <sup>2</sup> , не більше	100
Модуль зсуву, кгс/см <sup>2</sup> , не більше	45
Зміст плам'ягасящих добавок, вага. %, не менше	5

*Вимоги до захисних покриттів:*

Ступінь агресивного впливу середовищ на панелі встановлюють відповідно ДСТУ [5].

Поверхні листів з оцинкованої сталі й алюмінієвих сплавів з боку мінераловати від корозії не захищають. Поверхні листів, що піддаються впливу середовища, потрібно захищати від корозії відповідно до табл. 1.6.

Захисні покриття металевих елементів кріплень і закладення стиків повинні відповідати по корозійній стійкості покриттям металевих листів панелей і не повинні викликати контактної корозії. Болти, гайки, шайби й інші деталі елементів кріплень панелей повинні бути оцинковані або кадміровані. Товщина захисного металевого покриття не повинна бути менше 16-20 мкм.

Таблиця 1.6

Вимоги до антикорозійного захисту обшивок сандвіч-панелей


\* Допускається тільки для захисту поверхні усередині приміщень.

*Вимоги до зовнішнього вигляду:*

Зовнішній вигляд панелей і якість захисного покриття металевих листів повинні відповідати еталонам, затвердженим у встановленому порядку.

У панелях не допускаються:

- змінання поздовжніх крайок металевих листів;
- відшарування або ушкодження захисного покриття металевих листів;
- забруднення або плями фарби на поверхні листів;
- ушкодження (вм'ятини, вириви) мінераловати по поздовжніх і торцевих гранях панелі глибиною більше 5 мм і площею більше 10 см<sup>2</sup>;
- розшаровування мінераловати або відшарування її від металевих листів;
- виступаючі задирки на крайках металевих листів.

У панелях допускаються:

– хвилястість плоских ділянок профільованих листів висотою не більше 1 мм на довжині 1 м із кроком хвилі не менше 300 мм;

– окремі ризики й потертості, окремі подряпини поверхні листів глибиною не більше товщини захисного покриття.

*Комплектність*

Панелі повинні поставлятися споживачеві комплектно.

Кількість комплектуючих виробів, що поставляють, повинна відповідати специфікації замовника. Для глухих ділянок стіни кількість комплектуючих виробів, що поставляють, на 100 м<sup>2</sup> панелей не повинна бути меншою від величин, зазначених у табл. 1.7.

Кріпильні й стяжні болти, самонарізаючі гвинти й інші металовироби повинні поставлятися разом з гайками, шайбами, скобами, пластинами, ковпачками й іншими деталями відповідно до креслень.

Кількість прийнятих до замовлення панелей одного типорозміру повинна бути погоджена з підприємством-виробником.

## Мінімальна кількість комплектуючих виробів


*Правила приймання*

Панелі повинні прийматися технічним контролем підприємства-виробника партіями. До партії відносять панелі однієї марки (незалежно від довжини), виготовлені з мінераловатою однієї марки й об'ємної маси, з компонентів однієї партії, по тому самому технологічному регламенту.

Кількість панелей у партії не повинна бути більшою:

– панелей, виготовлених на технологічних лініях безперервної дії, 2000 шт. (наведених до довжини 6 м);

– панелей, виготовлених на стендових установках 500 шт. (наведених до довжини 7,2 м).

При прийманні варто перевіряти відповідність панелей вимогам чинного стандарту по показниках, наведеним у табл.1.8.

При безперервному способі виробництва зовнішній вигляд, геометричні розміри, непрямокутність, непрямолінійність, неплоскостність, зсув крайок листів визначають для 1,5%, а при стендовому способі виробництва - для 3% панелей, що входять до складу партії, але в обох випадках не менш чим для трьох панелей. Вибірку панелей здійснюють згідно вимог ДСТУ [6].

Для визначення руйнівного навантаження на зразки, а також фізико-технічних властивостей і механічних показників мінераловати з партії панелей

відбирають за ДСТУ [6] не менш трьох панелей. З кожної панелі вирізають у відповідності зі схемою рис. 1.5 по три зразки для кожного виду випробувань.

При безперервному способі виробництва зовнішній вигляд, геометричні розміри, непрямокутність, непрямолінійність, неплщинність, зсув крайок листів визначають для 1,5%, а при стендовому способі виробництва - для 3% панелей, що входять до складу партії, але в обох випадках не менш, ніж для трьох панелей. Вибірку панелей здійснюють за ДСТУ[6].

Таблиця 1.8

Вимоги до контролю показників сандвіч-панелей



Примітка. Знак « + » означає, що випробування проводять,  
знак « - » - випробування не проводять.

Для визначення руйнівного навантаження на зразки, а також фізико-технічних властивостей і механічних показників мінераловати з партії панелей відбирають згідно вимог ДСТУ [6] не менш трьох панелей. З кожної панелі вирізають у відповідності зі схемою рис. 1.3 по три зразки для кожного виду випробувань.

а) для панелей, виготовлених на лініях неперервної дії

б) для панелей, виготовлених на стендових установках

Рис. 1.3. Місця вирізки зразків:

1 - для перевірки міцності при поперечному згині; 2 - для визначення об'ємної маси, міцності при зсуві й розтязі, модуля пружності при розтязі мінераловати й міцності її зчеплення з металевими листами при розтязі й зсуві; 3 - для визначення водопоглинання мінераловати; 4 - для визначення коефіцієнта теплопровідності мінераловати.

Зразки вирізають не раніше, ніж чим через три доби, а їх випробування проводять не раніше чим через вісім діб після виготовлення панелей.

Не рідше одного разу в рік, а також при освоєнні виробництва панелей, при зміні їх конструкції, марки й рецептури мінераловати або технологічного процесу виготовлення панелей варто перевіряти відповідність панелей вимогам чинного стандарту за показниками, наведеними в табл. 1.8.

Перевірка повинна проводитися органом технічного контролю підприємства-виробника, при необхідності – за участю представників організацій розроблювача й основного споживача. При цьому руйнівне навантаження при поперечному згині визначають на шести зразках панелей партії довжиною до 3000 мм, а фізико-технічні властивості й механічні показники мінераловати - на шести зразках, вирізаних із шести панелей партії, для кожного виду випробувань. Панелі повинні відбиратися з партії згідно ДСТУ [6].

Якщо перевірені панелі хоча б по одному показнику не задовольняють вимогам стандарту, варто проводити повторну перевірку за цим показником подвоєної кількості панелей даної партії.

Якщо при повторній перевірці хоча б одна панель не буде задовольняти вимогам стандарту, всі панелі повинні прийматися органом технічного контролю підприємства-виготовлювача поштучно.

Результати приймального контролю кожної партії панелей повинні бути записані в журналі технічного контролю підприємства-виготовлювача.

Споживач має право проводити контрольну вибіркочу перевірку відповідності панелей вимогам чинного стандарту, застосовуючи при цьому наведені нижче методи контролю й випробувань.

#### **1.4 Методи контролю якості сандвіч-панелей**

Геометричні розміри панелей перевіряють універсальним вимірювальним інструментом. Зовнішній вигляд панелей контролюють по еталонах.

Межу вогнестійкості панелей визначають випробуванням зразків відповідно до основних вимог до виробництва. Випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість проводиться згідно ДБН [7].

##### **Контроль геометричних розмірів панелей**

Геометричні розміри панелей перевіряють на відповідність вимогам креслень. Для перевірки слід застосовувати вимірювальний інструмент 1-го класу точності.

Довжину й ширину панелей вимірюють сталеву рулеткою: довжину - на відстані 50 мм від поздовжніх кромek, ширину - на відстані 20 мм від торцевих кромek і посередині довжини панелі, відповідно до рис. 1.4.

Товщину панелей вимірюють штангенциркулем у восьми місцях на відстані 20 мм від поздовжніх і торцевих кромek відповідно до рис. 1.5.

Оцінку точності розмірів панелей по довжині, ширині й товщині роблять по найбільшому або найменшому значеннях обмірюваних розмірів.

Рис.1.4 Розташування баз виміру довжини й ширини панелі

Рис.1.5 Розташування місць виміру товщини панелі

Непрямокутність панелей перевіряють за допомогою косинця й щупів по двох протилежних кутах панелі.

Непрямолінійність кромки панелей перевіряють за допомогою перевірконої лінійки й щупів. При перевірці вимірюють максимальний зазор між поздовжньою кромкою панелі й перевірконою лінійкою, прикладеною до неї.

Неплощинність панелей перевіряють із двох сторін за допомогою перевірконої лінійки й щупів на відстані 100 мм від поздовжніх і торцевих кромки, а також по середньому перетині панелі (рис.1.6). При перевірці вимірюють максимальний зазор між виступаючими гранями профілю металевого листа й перевірконою лінійкою, що укладає на них.

Взаємний зсув кромки металевих листів перевіряють за допомогою косинця й щупів у трьох точках по довжині кожної з поздовжніх і торцевих кромки панелей. При перевірці вимірюють зазор між ребром косинця, що прикладає до кромки одного з металевих листів, і кромкою іншого листа (рис. 1.7).

Рис. 1.6 Розташування баз перевірки неплощинності панелі

1 - панель; 2 - косинець

Рис.1.7 Схема виміру зсуву кромки листів

Випробування панелей на міцність проводять за наступною методикою.

1) Випробування панелей на міцність проводять на зразках довжиною  $L$ , рівної від  $15H$  до  $35H$ , де  $H$  — номінальна товщина панелі. Ширина й товщина панелі повинні відповідати зазначеним у [табл. 1.9](#).

Таблиця 1.9

Номінальні розміри панелей, мм

Довжина $L$	Ширина $B$	Товщина $H$
Від 2400 До 12000 Кратно 600	1000; 1500	50; 60; 80; 100; 120

2) Випробуванням піддають тільки ті панелі, які задовольняють всім іншим вимогам стандарту.

3) Для випробування панелей застосовуються наступні прилади й устаткування:

- установка для випробування панелей (рис. 1.7);
- навантажувальний пристрій (прес або важільна установка);
- вантажі штучні масою 10-20 кг.

4) Випробування проводять у приміщеннях з температурою повітря  $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$  и відотною вологістю 50-60 %.

5) Випробування зразків на поперечний згин проводять зосередженим навантаженням за схемою, наведеної на рис. 1.7.

6) Підготовку зразків до випробувань проводять у такій послідовності:

- а) встановлюють зразки перпендикулярно опорам бази;
- б) встановлюють траверси перпендикулярно опорам траверси;
- в) встановлюють дерев'яні прокладки перерізом 100 ( 25 мм між опорами бази й зразком, між опорами траверси й зразком.

7) При випробуванні зразків навантаження збільшують поступово, ступенями величиною не більше 0,2 від руйнівного навантаження, зазначеного в робочих кресленнях.

8) Час випробування зразка не повинен бути більшим 20 хв.

9) Результати випробувань варто записувати й журнал випробувань за встановленою формою.

10) При проведенні випробувань зразків на міцність необхідно здійснювати заходи із забезпечення безпеки персоналу й збереження устаткування.

### **Контроль міцності зразків при поперечному згині**

#### *Метод відбору зразків*

Ширина зразка приймається з умови розміщення на ній не менше однієї виступаючої плоскої грані профілю зовнішнього листа панелі разом з відгинами, але не менше 200 мм (рис.1.8).

Довжина зразка приймається рівною 1100 мм.

Зразки для випробувань на поперечний згин, а також для визначення фізико-технічних властивостей і механічних показників мінераловати вирізають із панелей у місцях, зазначених на схемах рис. 1.3.

Рис.1.8. Переріз зразка для випробувань

1 - зовнішній лист; 2 - внутрішній лист; 3 - утеплювач

Примітка. Профілі листа показані умовно.

Зразки вирізають із панелей фрезами, попередньо зрізуючи поздовжні кромки панелі шириною не менше 100 мм (пунктир на рис.1.3).

*Прилади й устаткування для випробувань*

Для випробування зразків на поперечний згин застосовують:

- універсальну випробувальну машину за ДСТ 7855-74;
- металеву опорну траверсу довжиною, що відповідає довжині зразка;
- металеву навантажувальну траверсу довжиною, що відповідає довжині зразка;
- металеві циліндричні опори діаметром 30 мм і довжиною, що відповідає ширині зразка;
- металеві пластини перерізом 60x5 мм і довжиною, що відповідає ширині зразка;
- прокладки з пінопласту або деревини довжиною, рівною ширині зразка, шириною 60 мм, товщиною не менше 15 мм (форма прокладок повинна відповідати профілю металевих листів - рис.1.6).

Випробувальна машина повинна забезпечувати вимірювання навантаження з точністю до 1%.

*Підготовка й проведення випробувань*

Перед початком випробування зразки витримують протягом 24 ч при температурі  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості повітря 50-60%, після чого вимірюють розміри перетину зразків з точністю до 1 мм.

Випробування проводять у приміщенні при температурі внутрішнього повітря  $18\pm 2^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості 50-60%.

Випробування проводять за вимогами [1] зосередженим навантаженням за схемою, яка зображена у другому розділі (рис.2.1).

Випробування зразків проводять у наступній послідовності:

- встановлюють зразок 1 перпендикулярно опорам бази 2;
- встановлюють траверсу 3 перпендикулярно опорам 4;
- встановлюють прокладки 6 і сталеві пластини 5 між опорами бази й зразком, між опорами траверси й зразком;
- навантажують зразок через траверсу зростаючим навантаженням до його руйнування або до припинення росту навантаження по шкалі випробувальної машини.

Навантаження збільшують ступенями величиною не більше 0,2 від руйнуючого. Час випробування зразка не повинне бути більшим 10 хв.

У процесі навантаження визначають прогини посередині прольоту зразка на кожному ступені навантаження та встановлюють руйнівне навантаження.

При випробуванні виявляють ознаки руйнування зразка, якими є:

а) руйнування мінераловати або відшарування металевих листів від мінераловати;

б) місцева втрата стійкості зовнішнього металевого листа.

Результати випробувань і ознаки руйнування зразків записують у журнал за формою додатка до стандарту 21562-76.

У журналі приводять ескізи поперечних перерізів зразків і їхні розміри.

**Контроль міцності зразків панелей при поперечному згині**

Руйнівне навантаження при поперечному згині визначають на зразках довжиною 3000 мм. Ширина й товщина зразків панелей повинна відповідати зазначеній у табл. 1.4.

Прилади й устаткування, підготовку до випробувань, проведення випробувань приймають згідно нормативних документів [8].

### **Контроль фізико-технічних властивостей і механічних показників плит з мінеральної вати**

Об'ємну масу мінераловати визначають згідно ДСТУ [9].

Коефіцієнт теплопровідності мінераловати визначають згідно ДСТУ [10].

Вологовбирання й водопоглинення мінераловати визначають по методиках, затвердженим у встановленому порядку.

Міцність мінераловати на розтяг і зсув визначають згідно ДСТУ [11]. Міцність зчеплення мінераловати з металевими листами допускається визначати згідно ДСТУ [11], при цьому слід вказувати характер руйнування зразків. Місця вирізки зразків приймають за схемою, наведеної на рис.1.5. Кількість зразків для випробувань приймають відповідно до п.4.5 (не менш трьох панелей).

Модуль пружності на розтяг визначають згідно ДСТУ [12].

Модуль зсуву мінераловати встановлюють за результатами випробувань зразків (детально описано у 3 і 4 розділах даної роботи).

## **1.5 Висновки з розділу і завдання досліджень**

1. СП широко використовується в будівництві для улаштування фасадів і покрівель

2. СП виготовляють зі сталевими обшивками та сердечником з пінополіуретану, пінополістиролу та мінеральної вати.

3. Конструкція і технічні вимоги до СП із сердечником з пінополіуретану та пінополістиролу встановлені державними стандартами, а до панелей із сердечником з мінеральної вати – технічними умовами виробника.

4. Різноманітність конструкцій СП із сердечником з мінеральної вати обумовлює необхідність розроблення інженерної методики їх розрахунку на підставі теоретичних передумов та експериментальних досліджень.

Виходячі з огляду літератури та мети кваліфікаційної магістерської роботи поставлені такі завдання:

1. Проаналізувати й узагальнити літературні дані щодо фізико-механічних характеристик мінераловатних плит, що використовуються в якості сердечника СП.

2. На підставі методів оцінювання несучої здатності, наведених в стандартах, розробити інженерну методику розрахунку СП.

3. Розробити методику випробувань СП, обробки та аналізу результатів випробувань; визначити розрахункові несучі здатності СП з сердечником із мінеральної вати різної товщини при різних прольотах, необхідні для проектування покрівель та стін.

4. Розробити схему установки, провести випробування зразків СП при згині, виконати обробку отриманих результатів та порівняти їх з розрахунковими значеннями.

5. Розробити вказівки з проведення спрощених польових випробувань СП і журнал випробувань для реєстрації та обробки результатів.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТА ВИПРОБУВАНЬ САНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ

#### 2.1 Розрахунок та контроль якості сандвіч-панелей за ДСТУ

Розрахунок сандвіч-панелей проводиться згідно ДСТУ [1]. Руйнівне навантаження для зразка при поперечному згині не повинна бути менше:

- при руйнуванні зразка від зрізу пінополіуретану або відшарування металевих листів від пінополіуретану

$$F_p = 2bH\tau_H \quad (2.1)$$

де  $b$  – ширина зразка в см;

$H$  – товщина панелі в см;

$\tau_H$  – нормована міцність пінополіуретану при зсуві, прийнята не менше  $2 \text{ кГс/м}^2$ ;

- при руйнуванні зразка по місцевій втраті стійкості зовнішнього металевого листа -

$$F_p = F_{ГР}, \quad (2.2)$$

де значення  $F_{ГР}$  встановлюється за додатком 1 [1].

#### ***Контроль міцності зразків панелей при поперечному згині***

Руйнівне навантаження при поперечному згині визначають на зразках довжиною 1100 мм. Ширина й товщина зразків панелей повинна відповідати зазначеній в табл.1.4 [1].

Прилади й устаткування, підготовку до випробувань, проведення випробувань приймають згідно нормативним документам [8].

#### ***Контроль фізико-технічних властивостей і механічних показників пінополіуретану***

Міцність пінополіуретану на розтяг і зсув визначають згідно ДСТУ [11]. Міцність зчеплення пінополіуретану з металевими листами допускається визначати згідно ДСТУ [11], вказуючи характер руйнування зразків. Модуль пружності на розтяг визначають згідно ДСТУ [12].

Модуль зсуву пінополіуретану встановлюють за результатами випробувань зразків. Модуль зсуву  $G$  у  $\text{кГс/см}^2$  визначають за формулою

$$G = 0.167 / \left( \frac{bH}{\ell \frac{f}{E_l \delta H}} \right), \quad (2.3)$$

де  $b$  – ширина зразка, см;

$H$  – товщина панелі, см;

$f$  – прогин зразка посередині прольоту в см, вимірний з точністю до 0,1 мм по переміщенню рухливої голівки випробувальної машини при навантаженні не більше  $0,5F_p$ ,

де  $F_p$  – руйнівне навантаження,

$F$  – навантаження на зразок, кгс;

$E_l$  – модуль пружності металевих листів,  $\text{кГс/см}^2$ , рівний для сталі –  $2,1 \cdot 10^6$ , для алюмінію –  $0,7 \cdot 10^6$ ;

$\delta$  – товщина металевих листів, см (при різній товщині листів варто приймати  $\delta = \frac{\delta_1 \delta_2}{\delta_1 + \delta_2}$ ).

*Примітка.* Допускається випробовувати зразки рівномірно розподіленим навантаженням.

***Розрахунок руйнівного навантаження для зразків довжиною 1100 мм при поперечному згині***

Руйнівне навантаження  $F_{ГР}$  (у  $\text{кГс}$ ) для зразка при руйнуванні його від місцевої втрати стійкості верхнього (зовнішнього) металевого листа не повинна бути менше

$$F_{ГР} = \sigma_{ГР} b / \left( 0.17 \frac{\ell}{\delta H K \sqrt{\frac{h_{Г}}{\delta F}}} \right) \quad (2.4)$$

де  $\sigma_{ГР}$  – нормоване граничне напруження стиску у виступаючій плоскій грані профілю верхнього металевого листа,  $\text{кгс/см}^2$ , прийняте за таблицею дійсного додатка;

$b$  – ширина зразка, см;

$l$  – проліт зразка, см;

$\delta$  – товщина верхнього металевого листа, см;

$H$  – товщина панелі, см;

$h_T$  – висота профілю верхнього металевого листа, см;

$K$  – коефіцієнт, прийнятий рівним:

– для сталевих листів -  $K=66$ ;

– для алюмінієвих листів -  $K=38$ .

Пінополіуретан має унікальні фізико-механічні властивості. Це самий високоефективний теплоізоляційний матеріал. Пінополіуретан широко застосовується в різних областях будівництва, причому витрати на нього дуже швидко окупаються під час експлуатації. Енерговитрати на опалення знижуються на 40% у будівлях, де використовують пінополіуретан в якості теплоізоляційного матеріалу. Показник економічної ефективності (зниження теплових втрат) при утепленні пінополіуретаном промислових будівель складає 60%, навіть при порівняно тонкому шарі пінополіуретану.

Теплопровідність ППУ складає від 0,019 Вт /м \* град.С. до 0,027 Вт /м \* град.С, при тому як теплопровідність цегли 0,45 КВт /м \* град.С

За теплоізоляційним властивостям 25 мм пінополіуретану прирівнюються до 18 см деревини або 51 см червоної цегли.

Він створює герметичний непроникний для повітря й води шар, забезпечує відмінну звукоізоляцію.

Пінополіуретан нетоксичний і екологічно безпечний. Не раз проведені випробування гарантували його безпеку на 100%.

Пінополіуретан можна використовувати як покрівельний матеріал.

Слабке місце ППУ - ультрафіолетове випромінювання. Захистити його можна простим і дешевим способом, пофарбувавши фарбою.

- Клас горючості пінополіуретану Г2-Г4;

- Економія енергії за рахунок відсутності стиків, швів, теплових містків;

- Одночасна пароізоляція і гідроізоляція;
- Стійкість до впливу відкритого вогню;
- Довговічність термін служби ППУ 30-40 років не втрачаючи своїх властивостей;
- Висока міцність, по пінополіуретанових покриття можна ходити;
- Хороша адгезія до будівельних матеріалів;
- Хімічна стійкість до слабокислотні опадом, до промислових вуглеводнів (бензини, олії, бітуми, фарби);
- Низьке водопоглинання;
- Тепло-і морозостійкість у діапазоні температур від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ ;
- Мала вага і відсутність навантаження на будівельні конструкції.

Пінополіуретан легкий, міцний, паронепроникний і добре зчіплюються з металом, папером, штукатуркою, деревиною і т.д. Утеплення ППУ допомагає скоротити витрачається на опалення енергію майже на 40%. Пінополіуретан - хороший звукоізолятор. Пінополіуретан зберігає свої властивості протягом більше 30 років експлуатації, на відміну від мінераловатного утеплювача.

Матеріал листа	Граничне напруження $\sigma_{гр}$ , кгс/см <sup>2</sup> , при відношенні $b/\delta$								
	0-20	40	60	80	100	120	150	200	300
Сталь за ГОСТ 14918-80	2100	2100	2100	1970	1810	1740	1670	1590	1460
Алюмінієві сплави:									
АМг2 1/2Н	1500	1340	1140	1060	1030	1020	1020	1020	1020
АМг2 1/4Н	1350	1200	1070	1000	960	940	935	935	935

Примітка: При відношеннях, не зазначених у таблиці, значення граничних напружень приймають по інтерполяції.

Хоча стандарт [1] розроблений для розрахунку несучої здатності тришарових панелей з утеплювачем із пінополіуретану, але цю методику розрахунку можна поширити й на інші види утеплювачів, наприклад, для мінеральної (базальтової) вати. У цьому випадку необхідно лише врахувати фізико-механічні властивості даного утеплювача.

## 2.2. Інженерна методика розрахунку сандвіч-панелей

Викладений вище точний метод та способи розрахунку, використані в нормативних документах, дозволяють сформулювати просту інженерну методику, яка повинна забезпечити результати, досить точні для практичного проектування. Ця методика базується на таких передумовах:

1. *Властивості матеріалів.* Матеріал зовнішніх шарів є лінійно-пружним, отже, у цьому випадку діє закон Гука. Середній шар однорідний, його матеріал також підкоряється закону Гука.

2. *Розташування і якість зовнішніх шарів.* Зовнішні шари багатошарової панелі плоскі, паралельні один одному й такі тонкі, що їх власною жорсткістю на згин можна знехтувати. Тому в них приймається мембранний напружений стан.

3. *Якість середнього шару.* Модуль пружності середнього шару  $E$  настільки малий у порівнянні з модулем зовнішніх шарів, що нормальними напруженнями  $\sigma$  в середньому шарі можна знехтувати у порівнянні з нормальними напруженнями  $\sigma_s$  в зовнішніх шарах. При  $\sigma = 0$  отримуємо, що напруження зсуву  $\tau$  в середньому шарі є умовно-постійним по всій висоті середнього шару (рис. 2.1). Кут зсуву  $\gamma$  середнього шару внаслідок розподілу  $\tau$  є також постійним по всій висоті середнього шару.

З іншого боку, жорсткість середнього шару повинна бути досить велика, щоб запобігати зминанню багатошарової панелі. Тому передбачається нестисливість багатошарової панелі по осі  $z$ ; товщина, середнього шару й всі залежні від неї значення поперечного перерізу вводяться в розрахунок у якості постійних, незалежних від навантаження величин.

4. *Обпирання й розподіл навантаження багатошарової балки.* Опирання багатошарової балки й розподіл навантажень здійснюємо таким чином, що вона може бути розрахована як одномірний шарнірно-оперта несуча конструкція, тобто як балка. Всі статичні величини, таким чином, залежать тільки від однієї координати, а саме від лінійної координати  $x$ .

5. *Навантаження багатошарової балки.* Навантаження багатошарової балки складається з поперечного навантаження й поздовжньої сили.

6. *Деформації багатошарової балки.* Деформації багатошарової балки досить малі, так що виникають лінійні залежності між деформаціями й переміщеннями (лінійна теорія багатошарових конструкцій). Відповідна до викладених передумов схема роботи панелі зображена на рисунку 2.1.

Рис.2.1. – Розподіл напружень і зусиль в недеформованій багатошаровій балці

Несуча здатність панелі визначається як найменше значення з трьох викладених нижче умов.

Несуча здатність за згинальним моментом  $M$  визначається, виходячи з роботи обшивок на розтяг і стиск за формулою

$$M = N_o H = b t \sigma H, \quad (2.5)$$

де  $b$  – ширина балки;

$t$  – товщина сталевих шарів верхнього і нижнього шарів балки;

$\sigma$  – напруження в верхньому і нижньому сталевому шарі балки;

$H$  – відстань між центрами ваги верхнього і нижнього шарів балки. У

зв'язку з малою товщиною сталевих шарів приймаємо  $H$  рівною висоті балки.

Несуча здатність за поперечною силою  $Q$  визначається роботою сердечника на зсув, що дає формулу

$$Q = \tau \cdot b H \quad (2.6)$$

де  $\tau$  – дотичні напруження в середньому шарі балки.

Прогин балки визначається з урахуванням деформативності обшивок при стиску-розтягу та сердечника при зсуві:

$$f = \frac{lF}{6GbH} + \frac{0.2Gl^3F}{6GbH^2Et} = \frac{\tau \cdot l}{3G} + \frac{Ml^2}{10EI}, \quad (2.7)$$

де  $F$  – зовнішнє навантаження (зосереджена сила прикладена посередині балки, яка через траверсу передається у її третинах);

$G$  – модуль зсуву;

$E$  – початковий модуль сталевих шарів балки;

$I$  – момент інерції сталевих шарів балки відносно нейтральної вісі;

$l$  – проліт балки.

Для практичного проектування найважливішим випадком є робота панелі під навантаженням, рівномірно розподіленим по площі панелі. Це відповідає покриттям, що сприймають постійне і снігове навантаження, а також стінам, які сприймають вітрове навантаження. Хоча в реальних спорудах панелі покриття звичайно опираються на прогони за нерозрізною схемою, доцільно в запас надійності вести розрахунок панелі як простої балки на шарнірних опорах. Тоді максимальний згинаючий момент дорівнює

$$M = \frac{q b l^2}{8} = b t \sigma H, \quad (2.8)$$

максимальна поперечна сила

$$Q = \frac{q l b}{2}, \quad \tau = \frac{q l b}{2 b H} = \frac{q l}{2 H}, \quad (2.9)$$

а прогин

$$f = \frac{q l^2}{H} \left( \frac{5 l^2}{192 \cdot t \cdot H \cdot E} + \frac{1}{8 G} \right). \quad (2.10)$$

Прирівнявши формули (2.5)...(2.6) до відповідних формул (2.8)...(2.10), знайдемо допустимі (розрахункові) значення рівномірно розподіленого навантаження на панель з умови рівності згинаючих моментів

$$q = \frac{8 b t \sigma H}{b l^2} = \frac{8 t \sigma H}{l^2}, \quad (2.11)$$

роботи на сприйняття поперечної сили

$$q = \frac{2 H \tau}{l}, \quad (2.12)$$

та величини допустимого відносного прогину

$$q = \frac{H \cdot f \cdot 192 \cdot t \cdot H \cdot E \cdot G}{l^2 (5 G \cdot l^2 + 24 \cdot t \cdot H \cdot E)} = \frac{192 \cdot t \cdot H^2 E \cdot G}{f (5 G \cdot l^3 + 24 \cdot t \cdot l \cdot H \cdot E)}, \quad (2.13)$$

Згідно з доповненням до ДСТУ Б В.1.2-3:2006, допустимий прогин для панелей покриття і стін можна прийняти рівним  $f/L=1/150$  прольоту. Критичні напруження втрати стійкості стиснутою сталевую обшивкою панелі згідно з ГОСТ

[1] беруться рівними не менше  $1460 \text{ кгс/см}^2$ ; в запас надійності приймемо їх рівними  $1000 \text{ кгс/см}^2$ . Підстановка цих значень до формул (2.11) і (2.13) дає спрощені варіанти цих формул:

$$q = \frac{8000 t H}{l^2} \quad (2.14)$$

Результуючу несучу здатність панелі необхідно приймати рівною найменшому значенню з величин (2.11), (2.14). Якщо до цих формул підставити розрахункові (мінімальні з відповідною забезпеченістю) значення межі міцності сердечника на зріз та модуля зсуву сердечника, отримаємо розрахункову (гарантовану) несучу здатність панелі.

### **2.3 Методика контрольних випробувань**

Для перевірки розмірів сандвіч-панелей користуються універсальним вимірювальним інструментом. Зовнішній вигляд панелей контролюють за еталонами згідно з ДСТУ [26].

Міцність панелей перевіряють на трьох панелях із партії. До однієї партії відносять панелі одного типорозміру, які виготовлені з утеплювача однієї партії за тим самим технологічним режимом, але не більше 2000 панелей.

Приведений опір теплопередачі панелей визначають згідно з ДСТУ [27].

Межу вогнестійкості панелей визначають випробуванням зразків у відповідності з основними вимогами здійснення досліджень будівельних конструкцій на вогнестійкість згідно з ДСТУ [28].

Вимоги щодо контролювання характеристик під час приймальних та під час типових випробувань (у разі зміни конструкції панелей та матеріалів):

- клас вогнестійкості;
- група поширення вогню.

На проведення випробувань відібраних еталонних конструкцій панелей підприємство-виробник повинно передати у комплекті технічну документацію на

конструкцію панелі з визначеною несучою здатністю та можливим максимально допустимим прогином.

Незалежне проведення випробувань еталонних зразків панелей та оформлення відповідних документів може бути здійснено лабораторією, сертифікованою у встановленому порядку.

Випробування панелей на міцність проводять на зразках завдовжки  $L$ , що дорівнює від  $15H$  до  $35H$ , де  $H$  – номінальна товщина панелі. Ширина та товщина панелі повинні відповідати вимогам стандарту. Випробування проводять тільки на тих панелях, які задовольняють всі інші вимоги стандарту.

Для випробування панелей застосовують такі прилади та устаткування:

- установка для випробування панелей за схемою, наведеною на рисунку 2.2;
- приклади для вимірювання деформацій;
- навантажувальний пристрій (прес або важільна установка);
- вантажі штучні масою від 10 кг до 20 кг.

Випробування проводять у приміщеннях із температурою повітря  $18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  та відносною вологістю від 50 % до 60 %.

Випробування зразків на поперечний згин проводять зосередженим навантаженням за схемою, наведеною на рисунку 2.2. Допускається також випробування зразків рівномірно розподіленим навантаженням.

Підготовку зразків до випробувань проводять у такій послідовності:

- а) установлюють зразки перпендикулярно до опор бази;
- б) установлюють траверси перпендикулярно до опор траверси;
- в) установлюють дерев'яні прокладки перерізом  $100 \times 25$  мм між опорами бази та зразком, а також між опорами траверси та зразком.

Рис. 2.2 – Схема випробування зразка на поперечний згин

При випробуванні зразків навантаження збільшують поступово, кроками величиною не більше 0,2 від руйнівного навантаження.

Результати випробувань потрібно записувати у журнал випробувань за формою, наведеною у додатку А.

При проведенні випробувань зразків на міцність необхідно вживати заходів щодо безпеки персоналу та збереження устаткування.

Вологопоглинання та водопоглинання пінопласту визначають згідно з ДСТУ [13] на зразках у вигляді куба з ребром ( $50 \pm 0,5$ ) мм. При товщині пінопласту менше 50 мм допускається використовувати зразки у вигляді призми з основою ( $50 \times 50$ ) мм та висотою не менше 25 мм. Зразки витримують у воді 24 год. Вологопоглинання пінопласту визначають відповідно до додатка В.

Методи для випробування на вогнестійкість панелей для покриттів використовують, для випробування на вогнестійкість стінових панелей – відповідно до ДСТУ [28] .

## **2.4 Висновки з розділу**

1. Контроль якості СП слід проводити згідно з вимогами чинних стандартів з урахуванням вимог щодо зовнішнього вигляду, розмірів, характеристик сердечника та обшивок, а також несучої здатності.

2. Для розрахунків несучої здатності СП може використовуватися інженерна методика, заснована на таких передумовах:

- згинальний момент сприймається сталевими обшивками, які працюють на стиск і розтяг;
- поперечна сила сприймається сердечником з пінополіуретану чи мінвати;
- прогин визначається з урахуванням жорсткості обшивок при стиску і розтягу, а також жорсткості сердечника при зсуві.

3. В розрахунках несучої здатності СП слід враховувати фактичні значення модуля зсуву та міцності на зсув реально застосованого сердечника, встановлені за результатами випробувань.

4. Контроль несучої здатності СП слід виконувати згідно зі стандартизованою методикою, яка базується на випробуваннях зразків за схемою чистого згину при прольоті 1 м.

## РОЗДІЛ 3

### НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ САНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ

#### 3.1 Методика визначення несучої здатності сандвіч-панелей.

Несуча здатність – дуже важливий показник для будь-якого будівельного виробу чи конструкції. Сандвіч панелі так само виконують цю функцію, хоча на них вона лягає частково – основна частка навантаження припадає на каркас, на який тришарові конструкції і монтуються. Проте, існує ряд ситуацій, коли перерозподілити навантаження з зовнішнього облицювання в бік каркаса не вдається. Таке відбувається в разі розподіленого навантаження.

Самий типовий приклад – це вага опадів, що скупчуються на покрівлі, або власна вага панелей. Так само сюди відноситься і вітрове навантаження. Розглянемо вимоги до несучих здібностям панелей і методах їх виконання.

#### **Видалення опадів**

У більшості випадків на дахах накопичується сніг, він володіє достатньою адгезією до металевої поверхні, і не може скотитися вниз, якщо покрівля має нахил. Що особливо добре проявляється у випадку так званого «мокрого» снігу, який до того ж сам по собі більш важкий. При великих кількостях опадів сніг накопичується і ущільнюється, що ще більше збільшує навантаження і ускладнює видалення снігу з поверхні даху. Видалення опадів у вигляді води, як правило, не викликають утруднення навіть у випадку плоских дахів. За системою водовідведення вона віддаляється і виводиться за периметр будівлі, тому при розрахунках покрівлі можливе навантаження від води не беруть до уваги, хоча бувають випадки, коли вода так само накопичується і застоюється на даху. Але це небезпека вже іншого порядку, її в жодному разі не буває занадто багато, щоб проломити дах.

Першим методом підвищення несучої здатності даху є усунення самої можливості скупчення опадів. Для цього дах робиться з невеликим ухилом, а поверхня зовнішньої обшивки покривається спеціальним полімерним матеріалом, з низькою адгезією до снігу. Такій вимозі відповідає практично будь-який

полімер. Тому ціна на покрівельні сандвіч панелі, практично не залежить від цього параметра, і в розрахунок його приймати не варто.

Щоб протидіяти навантаженні, зовнішню обшивку наділяють підвищеною жорсткістю. Саме на неї лягає основна робота по сприйняттю розподіленого навантаження, хоча якщо в якості утеплювача застосовані жорсткі матеріали, можна частину навантаження передати на них.

З іншого боку, чим вища міцність утеплювача, тим вища його щільність, нижчі теплоізоляційні властивості і більша власна вага. Строго кажучи, вага утеплювача повинна припадати на внутрішню обшивку, та / або його міцність повинні бути така, щоб витримувати власну вагу, але на практиці, будучи скріпленим з верхньої обшивкою клеєм, він частково опирається на неї.

З цієї причини верхню обшивку покрівельних панелей виконують виключно з високоміцної оцинкованої сталі, товщиною до 1,2 мм. Додатково, металевий лист профілюється. Висота касетного профілю безпосередньо залежить від величини передбачуваного навантаження, сьогодні висота коливається від 10 до 120 мм. Теоретично його висоту можна підвищувати і далі, але практично – це нереально, тому що вимагає неприйняттого зростання кількості клітей в профілезгинальному стані.

Тому методика визначення несучої здатності сандвіч-панелей базується на ДСТУ [1], згідно з яким руйнівне навантаження для зразка при поперечному згині визначається за наступними формулами:

- при руйнуванні зразка від руйнування пінополіуретану або відшарування металевих листів від пінополіуретану

$$F_p = 2bH\tau_H \quad (3.1)$$

де  $b$  – ширина зразка в см;

$H$  – товщина панелі в см;

$\tau_H$  – нормована міцність пінополіуретану при зсуві, прийнята не менше  $2 \text{ кГс/м}^2$ ;

• при руйнуванні зразка від місцевої втрати стійкості зовнішнього металевого листа -

$$F_p = F_{ГР}, \quad (3.2)$$

де значення  $F_{ГР}$  встановлюється за додатком 1 [1].

### ***Контроль міцності зразків панелей при поперечному згині***

Руйнівне навантаження при поперечному згині визначають на зразках довжиною 3000 мм. Ширина й товщина зразків панелей повинна відповідати зазначені в [1].

Прилади й устаткування, підготовку до випробувань, проведення випробувань приймають згідно нормативних документів [8].

### ***Контроль фізико-технічних властивостей і механічних показників пінополіуретану***

Міцність пінополіуретану на розтяг і зсув визначають згідно ДСТУ [11]. Міцність зчеплення пінополіуретану з металевими листами допускається визначати згідно ДСТУ [11], при цьому варто вказувати характер руйнування зразків. Модуль пружності на розтяг визначають згідно ДСТУ [12].

Модуль зсуву пінополіуретану встановлюють за результатами випробувань зразків. При цьому модуль зсуву  $G$  у  $\text{кГс/см}^2$  визначають за формулою

$$G = 0.167 / \left( \frac{\frac{bH}{\ell} \frac{f}{\ell^2}}{F \frac{\ell^2}{E_n \delta H}} \right), \quad (3.3)$$

де  $b$  – ширина зразка, см;

$H$  – товщина панелі, см;

$f$  – прогин зразка посередині прольоту в см, виміряний з точністю до 0,1 мм по переміщенню рухливої голівки випробувальної машини при навантаженні не більше  $0,5F_p$ ,

де  $F_p$  – руйнівне навантаження,

$F$  – навантаження на зразок, кгс;

$E_n$  – модуль пружності металевих листів,  $\text{кГс/см}^2$ , рівний для сталі –  $2,1 \cdot 10^6$ , для алюмінію –  $0,7 \cdot 10^6$ ;

$\delta$  – товщина металевих листів, см (при різній товщині листів варто приймати  $\delta = \frac{\delta_1 \delta_2}{\delta_1 + \delta_2}$ ).

*Примітка.* Допускається випробовувати зразки рівномірно розподіленим навантаженням.

**Розрахунок руйнівного навантаження для зразків довжиною 1100 мм при поперечному згині**

Руйнівне навантаження  $F_{ГР}$  (у кГс) для зразка при руйнуванні його від місцевої втрати стійкості верхнього металевого листа не повинно бути менше

$$F_{ГР} = \sigma_{ГР} b / \left( 0.17 \frac{\ell}{\delta H K \sqrt{\frac{h_{Г}}{\delta F}}} \right) \quad (3.4)$$

де  $\sigma_{ГР}$  - нормоване граничне напруження стиску у виступаючій плоскій грані профілю верхнього металевого листа,  $кгс/см^2$ , прийняте за таблицею дійсного додатка;

$b$  – ширина зразка, см;

$\ell$  – проліт зразка, см;

$\delta$  – товщина верхнього металевого листа, см;

$H$  – товщина панелі, см;

$h_{Г}$  – висота профілю верхнього металевого листа, см;

$K$  – коефіцієнт, прийнятий рівним:

– для сталевих листів -  $K=66$ ;

– для алюмінієвих листів -  $K=38$ .

Матеріал листа	Граничне напруження $\sigma_{ГР}$ , $кгс/см^2$ , при відношенні $b/\delta$								
	0-20	40	60	80	100	120	150	200	300
Сталь за ДСТ 14918-80	2100	2100	2100	1970	1810	1740	1670	1590	1460
Алюмінієві сплави:									
АМr2 1/2Н	1500	1340	1140	1060	1030	1020	1020	1020	1020
АМr2 1/4Н	1350	1200	1070	1000	960	940	935	935	935

*Примітка:* При відношеннях, не зазначених у таблиці, значення граничних напружень приймають по інтерполяції.

Хоча ДСТУ [1] розроблений для розрахунку несучої здатності тришарових панелей з утеплювачем із пінополіуретану, цю методику розрахунку можна застосовувати і для інших видів утеплювачів, наприклад, для мінеральної (базальтової) вати. У цьому випадку необхідно лише врахувати фізико-механічні властивості обраного утеплювача.

### 3.2. Загальна характеристика матеріалів сандвіч-панелей

Сандвіч-панель стала одним з головних будівельних матеріалів. Швидкобудуємі будівлі з огорожувальними конструкціями з сандвіч-панелей нині займають великий сегмент ринку. Із застосуванням даного виду конструкцій будуються спортивні споруди, торгові площі, склади. Як правило, при виробництві стінових сандвіч-панелей виробники пропонують на вибір кілька видів утеплювачів. Традиційно, це три види матеріалів:

- мінераловатна базальтова плита,
- екструдований пінополістирол,
- пінополістирол.

Далі детально розглянемо кожен з них.

Традиційно застосовувана *мінеральна вата* - це волокнистий матеріал, одержуваний із силікатних розплавів гірських порід, металургійних шлаків і їх сумішей. В основному для виробництва мінераловатної продукції, використовуваної в сандвіч-панелях, в якості сировини використовують базальт, що дозволяє одержувати мінеральну вату високої якості із тривалим строком експлуатації. Як правило, застосовують саме жорсткий базальтовий утеплювач, саме він в стані забезпечити відносно довгу і надійну роботу сандвіч-панелі.

Мінеральна вата, отримана з відходів виробництва, зокрема доменних шлаків, не має достатньої довговічності. Особливо на час її експлуатації впливають умова знакозмінних температур, підвищена вологість, дія високих навантажень і деформацій. Застосування даного виду вати може бути виправдане в приватному секторі, при зведенні тимчасових споруд і для конструкцій, у яких легко виконуються ремонтні роботи.

У зв'язку з цим в сандвіч панелях рекомендується застосовувати тільки високоякісну мінеральну вату на основі базальту та синтетичних зв'язуючих.

Мінераловатна теплоізоляція відноситься до класу негорючих матеріалів для утеплення. Отримана при найвищих температурах, вона здатна витримувати серйозний нагрів без втрати своїх фізико-хімічних показників. Ця властивість дозволяє застосовувати її як вогнезахист металевих конструкцій від пожежі, а також для ізоляції промислових печей. Їй також властиві висока тепло- і звукоізолююча здатність і стійкість до температурних деформацій, хімічна та біологічна стійкість, екологічність і легкість виконання монтажу.

Також вироби з мінеральної вати можуть бути використані при дуже високих температурах, але при умови, що вони не будуть піддаватися механічним впливам, здатним змінити їх форму, після того як сполучний компонент (присутній у них) зруйнується. Справа в тому, що самі мінеральні волокна здатні витримувати температуру вище 1000 °С, в той час як сполучний компонент починає руйнуватися вже при температурі 250 °С. При більш високих температурах після руйнування сполучного матеріалу волокна залишаються непошкодженими і зв'язаними між собою, з створюючи захист від вогню.

Необхідно відзначити три складових теплопровідності мінеральної вати:

- 1 - теплопровідність твердої основи;
- 2 - теплопровідність повітряного середовища;
- 3 - волога, що залишилася в середовищі волокон.

Важлива властивість мінераловатних матеріалів - мала усадка (у тому числі термічна) і збереження своїх геометричних розмірів протягом усього періоду експлуатації будівлі. Це гарантує відсутність "містків холоду", які в іншому випадку виникли б на стиках ізоляційних плит. Мінеральна вата негігроскопічна, вміст вологи у виробках з неї за нормальних умов експлуатації становить 0,5% за об'ємом. Щоб мінімізувати водопоглинання під час зберігання на будівельному майданчику й монтажу теплоізоляції у вологих умовах, мінеральну вату, як правило, просочують водовідштовхувальними складами (кремнійорганічними сполуками або спеціальними маслами).

Мінераловатний утеплювач має високу паропроникність. Дифундуючи крізь мінераловатний утеплювач, пара конденсується в його товщі. У результаті відбувається неминуче пониження в часі термічного опору огорожувальної конструкції, що відбувається протягом усього холодної пори року. При цьому конструкція повинна бути спроектована таким чином, щоб мінімізувати проходження парів вологи і, як наслідок, виникнення конденсату. На практиці мінераловатний утеплювач повинен бути захищений з "теплої" сторони пароізоляційним бар'єром. Зовні, навпаки, повинні бути створені сприятливі умови для вільного виходу пари (висихання утеплювача).

Ізоляційні матеріали з нанесеним утеплювачем відрізняються високою хімічною стійкістю. Більш того, мінераловатний утеплювач є хімічно пасивним середовищем і не викликає корозії на контактуючих з ним металах. Теплоізоляційні та механічні властивості виробів з мінеральної вати зберігаються на первісному рівні протягом десятків років.

Застосування мінеральної вати дозволяє забезпечити не тільки тепло-, але й звукоізоляцію стін. Мінеральна вата значно знижує ризик виникнення стоячих звукових хвиль усередині захисної конструкції, тим самим збільшується ізоляція від повітряного шуму. Звукопоглинальні властивості матеріалу збільшують загасання акустичних хвиль і значно знижують звуковий рівень приміщення.

Переваги мінераловатних утеплювачів доповнює легкість виконання монтажу й конструкцій. Всі мінераловатні вироби на основі базальтових гірських порід екологічно безпечні. М'які вироби легко ріжуться ножом, а більш щільні - ножівкою. У залежності від області застосування й технічних характеристик, виробники випускають теплоізоляційні матеріали з мінеральної вати різних марок. Ізоляція огорожувальних конструкцій включає в себе як м'які плити й мати для застосування в каркасних конструкціях, так і тверді й напівтверді плити, використовувані, наприклад, у фасадних конструкціях, де ізоляція є під впливом навантажень.

Мінераловатні теплоізоляційні вироби можуть застосовуватися в наступних багатошарових теплоізоляційних системах:

- в системах зовнішнього утеплення "мокрого" типу;
- в якості теплоізоляційного шару в навісних вентиляльованих фасадах;
- в системах з утеплювачем із внутрішньої сторони конструкції;
- в системах з утеплювачем усередині огорожувальної конструкції (шарувата кладка, тришарові бетонні або залізобетонні панелі, тришарові сандвіч-панелі з металевою обшивкою).

Необхідно відзначити, що тверді утеплювачі з мінеральної вати призначені для застосування на об'єктах, де ізоляція піддається навантаженню, або під час виконання монтажних робіт, або при експлуатації. Міцність на стиск твердих виробів залежить від щільності теплоізоляційного матеріалу й вмісту сполучного. Для вентиляльованих фасадів можуть застосовуватися також двошарові теплоізоляційні плити з шарами різної щільності. Ці плити встановлюються таким чином, щоб більш щільна частина перебувала зовні (з боку вентиляційного зазору), а менш щільна - примикала до основи (стіни).

У конструкціях стінових панелей, де не представляється можливим улаштування повітряних прошарків, видалення вологи може бути здійснене за допомогою ізоляційних плит з вентиляційними канавками. Плити з канавками, що розташовуються за зовнішнім шаром багатошарової конструкції, формують мережу каналів, за допомогою яких віддаляється надлишок вологи. Це особливо важливо в залізобетонних тришарових панелях, де зовнішнє облицювання має низьку паропроникність. Розроблена також спеціальна марка мінеральної вати, що застосовується для металевих сандвіч-панелей. Сердечником сандвіч-панелей є мінеральна вата, нарізана на ламелі (смуги), які потім повертаються на 90 °, що й дає вертикальне розташування волокон.

### ***Екструдований пінополістирол***

Екструдований пінополістирол - це матеріал, який широко застосовується при виготовленні сандвіч-панелей. Найбільш поширені торгові марки таких виробників, як "Піноплекс" (Росія), Sirap Gema International S. A. (Бельгія), BASF (Німеччина), Dow Chemical (США). Всі вони фактично однакові за своїми характеристиками, але розрізняються за кольорами й позначеннями в маркуванні.

Екструдований пінополістирол є одним з кращих утеплювальних матеріалів на сьогоднішній день. Переваги цього утеплювача перед іншими обумовлені поєднанням унікальних властивостей, найбільш оптимальних з точки зору сучасної теплотехніки: він має нульову капілярність, тобто йому не страшна жодна волога (ні дощ, ні сніг), - це дозволяє вести теплоізоляційні роботи в будь-який час року, в будь-яку погоду. Вкрай низьке водопоглинання (менше 0,3% за об'ємом) дає можливість використовувати екструдований утеплювач з пінополістиролу для екстер'єрної теплоізоляції будівель (тобто зовні), при цьому гарантується висока механічна міцність матеріалу.

Екструдований пінополістирол не схильний біологічному розкладанню в умовах навколишнього середовища і не представляє ніякої небезпеки для екології та здоров'я людей, про що свідчить наявність всіх необхідних висновків і сертифікатів.

### **Пінополістирол**

Третім в лінійці утеплювачів для сандвіч-панелей є пінополістирол (пінопласт) - тепло- та звукоізоляційний матеріал. Пінополістирол виробляється з суспензійного полістиролу. У готовому вигляді це твердий спінений термопласт, що складається зі сплаву гранул. Пінопласт має високу стійкість до різних середовищ, включаючи вапно, цемент, силіконові масла, спирти, фарби, сольові розчини, луги, мила, слабкі кислоти, а також морську воду і добрива. При тривалій дії деякий вплив на пінополістирол надають рослинні, тваринні і парафінові масла, а також жири, дизельне паливо і вазелін. Пінопласт (полістирол), на відміну від більшості мінераловатних плит, має таку властивість, як міцність. Полістирол високих марок (ПСБС-50) має міцність на стиск порядку 25 т на кв. м (при 10% деформації). Технологія виробництва пінопласту надає йому низьке водопоглинання, в результаті пінополістирол практично не вбирає вологу, не гниє і має всі шанси прослужити досить довго. Пінопласт являє собою матеріал, який не містить озоноруйнівних елементів. За допомогою різних добавок горючість пінопласту можна зменшити, і після застосування добавок пінополістирол стає самозатухаючим, тобто гасне не більше ніж через 4 сек. після видалення джерела

вогню. Тому важкоспалимий самозатухаючий пінопласт екологічно безпечний в процесі експлуатації.

Завершуючи цей огляд, слід сказати, що найближчим часом напевно з'являться нові теплоізоляційні матеріали, які зможуть задовольнити вимогам по довговічності та експлуатаційної придатності.

### **3.3. Несуча здатність сандвіч-панелей з наповнювачем з мінеральної вати**

Останнім часом у практику будівництва широко упроваджуються сандвіч-панелі з сердечником із мінераловатних плит, які є значно дешевшими та більш вогнестійкими. На жаль, така конструкція має меншу несучу здатність, що обумовлено низькою міцністю та високою деформативністю мінераловатних плит при зсуві. Дещо кращі механічні характеристики мають так звані ламельні плити, у яких мінеральні волокна розміщені більш упорядковано.

При оцінюванні несучої здатності сандвіч-панелей, які працюють на згин, враховуються розрахункові значення границі міцності при зсуві та модуля зсуву матеріалу сердечника. Характеристики міцності пінополіуретану та пінопласту, наведені в стандартах [14], дозволяють виконати необхідні розрахунки. Для мінераловатних плит опубліковані лише окремі дані рекламного характеру, з яких навіть не зрозуміло – вони є розрахунковими чи середніми значеннями механічних характеристик.

Сандвіч-панелі можуть виготовлятися товщиною від 50 до 250 мм. Усі вони мають обшивки зі сталевих листів товщиною 0,5 мм, та сердечники з плит із базальтової вати двох марок: панелі стінового типу виготовляються з жорстких плит з хаотичним розташуванням волокон, а панелі покрівельного типу – з ламельних плит з частково упорядкованими волокнами. Обшивки приклеюються до сердечника синтетичними клеями. Для досліджень фізико-механічних характеристик сердечника обрані плити товщиною 100 мм, які найчастіше використовуються в практиці будівництва.

Середня густина мінераловатних плит, що використовувалися в якості сердечника, визначена шляхом вимірювання та зважування зразків правильної форми. Результати визначення показали, що середня густина звичайних мінераловатних плит, які використовуються в панелях стінового типу, коливається в межах від  $94 \text{ кг/м}^3$  до  $127 \text{ кг/м}^3$ . Середня густина ламельних плит, використаних в панелях покрівельного типу дещо більша й змінюється від  $102 \text{ кг/м}^3$  до  $136 \text{ кг/м}^3$ .

Випробування зразків на зсув проведені з метою визначення границі міцності та модуля зсуву плит із базальтової вати. З панелей товщиною 100 мм абразивом вирізалися зразки розмірами  $100 \times 300 \text{ мм}$  і встановлювалися в спеціальний кондуктор, поперечний переріз якого зображений на рисунку 3.1. Кондуктор складається із жорсткої обойми 1, всередині якої встановлюється випробуваний зразок 3 та рухома пластина, через упор якої передається навантаження на зразок; прогиномірні дроти закріплюються до голок 4, встановлених на межі контакту мінераловатної плити з обшивкою. Така конструкція забезпечувала фіксацію випробуваних зразків від повороту й можливість вільного взаємного зсуву обшивок при обпиранні однієї обшивки та вертикальному навантаженні протилежної. Випробування проводилися на універсальній випробувальній машині Р-5, навантаження прикладалися ступенями по 10 – 20 кГс, взаємне переміщення (зсув) обшивок вимірювалося за допомогою прогиномірів.

У результаті випробування кожного зразка отримане значення руйнівного навантаження та діаграма деформування (залежність величини зсуву обшивок від навантаження). Характерні діаграми деформування зразків з панелей покрівельного та стінового типу наведені на рисунку 3.2, де вздовж осі абсцис відкладені значення взаємного зсуву обшивок у міліметрах, а вздовж осі ординат – величина навантаження в кілограмах сили. З діаграми видно, що панелі покрівельного типу (лінія з світлими точками) є менш деформативними за рахунок використання ламельних мінераловатних плит.

Рис. 3.1 Кондуктор для випробування на зсув

Рис. 3.2 Діаграми деформування зразків при зсуві

Отримані результати дозволяють для кожного зразка визначити границю міцності сердечника при зсуві та модуль зсуву за формулами:

$$\tau = \frac{F_{max}}{B \times L_{max}}; \quad G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\tau \times H}{\Delta}, \quad (3.5)$$

де  $B=100$  мм і  $L=300$  мм – ширина й довжина зразка;

$H=100$  мм – товщина зразка;

$F_{max}$  – руйнівне навантаження;  $\tau_{max}$  – границя міцності при зсуві;

$\tau$  – дотичні напруження в зразку;

$\Delta$  – величина взаємного зсуву обшивок;

$\gamma$  – кут зсуву;  $G$  – модуль зсуву.

Величина границі міцності кожного зразка  $\tau_{max}$  визначалася за формулою (3.5) при значенні руйнівного навантаження  $F_{max}$ , а модуль зсуву  $G$  приймався рівним середньому значенню з результатів обчислення за (3.5) для усіх ступенів навантаження в межах пружної роботи зразка (прямолінійної діаграми деформування).

Статистична обробка результатів випробувань кількох десятків зразків дозволила визначити оцінки математичного сподівання  $M$ , стандарту  $S$  і коефіцієнта варіації  $V$ , які наведені в таблиці 3.1. Розрахункові значення фізико-механічних характеристик встановлені, виходячи з нормального закону розподілу відповідних характеристик, наступним чином: для середньої густини – найбільші значення при забезпеченості 0,95; для границі міцності при зсуві – найменші значення при забезпеченості 0,995; для модулю зсуву – найменші значення при забезпеченості 0,95. Отримані розрахункові значення фізико-механічних характеристик плит з базальтової вати обох типів також наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Статистичні характеристики та розрахункові значення  
фізико-механічних характеристик плит з базальтової вати

Фізико-механічні характеристики	Одиниці виміру	Для плит стінового типу				Для плит покрівельного типу			
		M	S	V	Розр.	M	S	V	Розр.
Середня густина	кГ/м <sup>3</sup>	109	9,64	0,089	125	119	9,93	0,083	135
Границя міцності при зсуві	кГс/см <sup>2</sup>	0,385	0,067	0,174	0,22	0,609	0,118	0,194	0,30
Модуль зсуву	кГс/см <sup>2</sup>	19,06	5,08	0,267	10,7	29,17	4,92	0,168	21,1

З таблиці видно, що плити покрівельного типу (ламельні) мають вищі значення усіх характеристик, а також менші коефіцієнти варіації, що свідчить про більш однорідну структуру порівняно із звичайними плитами, які використовуються для виготовлення панелей стінового типу.

Застосовани нижче інженерна методика розрахунку сандвіч-панелей базується на таких *предумовах*:

- матеріал обшивок і сердечника працює пружно;
- згинальний момент сприймається лише металевими обшивками, які працюють на стиск і розтяг;
- поперечна сила сприймається лише сердечником, дотичні напруження в якому постійні по висоті перерізу;
- руйнування може відбутися внаслідок втрати стійкості стиснутої обшивки або зрізу сердечника;
- при обчисленні прогину враховуються деформації стиску й розтягу обшивок і деформація зсуву сердечника.

Виходячи з наведених передумов, формул (3.5) та відомих методів опору матеріалів, отримані робочі формули для визначення несучої здатності сандвіч-панелі, як однопролітної шарнірно обпертої балки, що сприймає навантаження, рівномірно розподілене по поверхні.

Несуча здатність за згинальним моментом обумовлена роботою обшивок на розтяг і стиск:

$$q_M = 8 t \sigma_{cr} H / L^2. \quad (3.6)$$

Несуча здатність за поперечною силою визначається роботою сердечника на

зсув:

$$q_Q = 2 H R / L. \quad (3.7)$$

Несуча здатність за жорсткістю визначається з урахуванням деформацій обшивок при стиску-розтягу та сердечника при зсуві:

$$q_f = \frac{192 f t H E G}{L^2 (5 G L^2 + 24 t H E)}. \quad (3.8)$$

У формулах (3.6), (3.7), (3.8) позначено:

$t$  – товщина сталевих обшивок;

$H$  – товщина панелі;

$L$  – проліт балки.

$\sigma_{cr}$  – критичні напруження втрати стійкості стиснутої обшивки;

$R$  – розрахункове значення міцності при зсуві матеріалу сердечника;

$G$  – модуль зсуву матеріалу сердечника;

$E$  – модуль пружності сталевих обшивок;

$f$  – допустимий прогин панелі.

Несуча здатність зразка при чистому згині з силами в третирах прольоту величиною 1 м, що відповідає руйнівному навантаженню при стандартній схемі випробувань, визначається з умови роботи сердечника на зсув (при коротких прольотах несуча здатність з умови сприйняття згинального моменту завжди є більшою):

$$F = 2 B H R, \quad (3.9)$$

де через  $B$  позначена ширина зразка.

Порівняння результатів показало, що порівняно з точними розрахунками, які враховують роботу обшивок на згин і роботу матеріалу сердечника на стиск і розтяг, формули (3.6), (3.7), (3.8) дають дещо занижені значення несучої здатності. Отже, викладена методика може використовуватися для інженерних розрахунків сандвіч-панелей в запас надійності.

Розрахункові значення несучої здатності панелей обчислені за формулами (3.6), (3.7), (3.8) з урахуванням розрахункових характеристик базальтової вати, наведених в таблиці 3.1, а також значень вхідних параметрів:

- допустимий прогин для панелей покриття і стін згідно з нормами [13] дорівнює  $f/L=1/150$  прольоту;
- критичні напруження втрати стійкості стиснутою сталевією обшивкою прийняті рівними  $\sigma_{cr}=1000$  кгс/см<sup>2</sup>, що створює запас надійності по відношенню до рекомендацій [1] (1460 кгс/см<sup>2</sup> і більше);
- товщина сталевих обшивок дорівнює  $t=0,5$  мм.

Отримані за результатами обчислень залежності несучої здатності від прольоту для панелей товщиною 50, 80, 100, 150 і 200 мм зображені на рисунках 3.2 і 3.3. Оскільки при реально можливих прольотах несуча здатність панелей переважно визначається модулем зсуву та границею міцності базальтової вати при зсуві, дані таблиць 3.2 і 3.3 можна вважати розрахунковими значеннями несучої здатності тришарових панелей із забезпеченістю близько 0,995 за міцністю та 0,95 за жорсткістю. При проектуванні стін чи покриттів за методом граничних станів їх слід порівнювати з розрахунковими значеннями діючих навантажень, обчисленими за динними нормами навантажень.

Рис. 3.3 Розрахункові несучі здатності тришарових панелей стінового типу

Рис. 3.4 Розрахункові несучі здатності тришарових панелей покрівельного типу

Значення контрольних навантажень (сумарне навантаження на зразок у кГс) обчислені за формулою (3.9) для стандартної схеми випробувань, регламентованої ДСТУ [14] та проектом технічних умов на сандвіч-панелі з сердечником із плит з базальтової вати. Схема випробувань представляє собою чистий згин фрагмента плити у вигляді балки прольотом 1 м з силами в третинах прольоту. Виходячи з конструкції обшивок представлених на випробування панелей, ширина зразків прийнята рівною 300 мм (дві відстані між гофрами обшивок). При іншій відстані

між гофрами рекомендується проводити випробування зразків з шириною, кратною цій відстані, але не меншою за 250 мм, а наведені в таблиці 3.2 значення контрольних навантажень слід перерахувати пропорційно ширині зразка.

Таблиця 3.2

Контрольні навантаження при випробуваннях зразків  
тришарових панелей шириною 300 мм


Наведені в таблиці 3.2 середні значення контрольних навантажень обчислені з урахуванням середніх значень границі міцності при зсуві мінераловатної плити сердечника, а мінімальні – з урахуванням найменших імовірних значень границі міцності, що можуть бути отримані при випробуваннях п'яти зразків. Тому дані таблиці 3.2 відповідають наступному порядку контролю якості:

- проводяться випробування 5 зразків-балок за описаною вище схемою;
- визначаються середнє та мінімальне з п'яти зразків значення руйнуючого навантаження;
- панелі вважаються якісними, якщо і середнє і мінімальне значення, отримані за результатами випробувань, не менші контрольних значень з таблиці 3.

Контрольні випробування на згин проведені на зразках з розмірами 1,1×0,3 м. Руйнування зразків відбувалося внаслідок зрізу сердечника поблизу опор балки, при чому середні та найменші руйнівні навантаження для панелей трьох товщин отримані більшими, ніж відповідні контрольні значення з таблиці 3.2. Це свідчить про досить високу якість виготовлення сандвіч-панелей та їх відповідність заявленим значенням несучої здатності. При зведенні будівель та споруд можна успішно застосовувати сандвіч-панелі з сердечником із плит з

базальтової вати, використовуючи при цьому наведені на графіках рисунків 3.3 і 3.4 дані щодо їх розрахункової несучої здатності.

### **3.4 Висновки з розділу**

1. Несуча здатність СП визначається за методикою, розробленою й описаною в розділі 2.

2. Механічні характеристики матеріалу сердечника з базальтової вати прийняті за результатами випробувань, опублікованих в науково-технічній літературі.

3. За результатами розрахунків по першій і другій групі граничних станів визначені залежності несучої здатності від товщини та прольоту панелей стінового та покрівельного типів.

4. Отримані результати можуть використовуватися при проектуванні покрівель та стін із використанням СП з сердечником із базальтової вати.

## Розділ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ ЗРАЗКІВ СП

#### 4.1 Програма випробувань

Програмою випробувань передбачені описані нижче етапи підготовки та проведення експериментального дослідження.

Встановлюються вимірювальні прилади за схемою, що відповідає задачам випробування зразка панелі.

Робоче навантаження дослідних зразків проводять ступенями, рівними приблизно 3-4 кГс.

Після закінчення випробувань обробляють показники приладів. Для визначення деформації, що відповідає будь-якому навантаженню, обчислюють різницю  $\Delta t$  між показами приладу на даному ступені навантаження і початковим відліком. Обчислюють результати в табличній формі.

Після закінчення випробувань і обробки експериментальних даних складають висновки про результати випробувань:

- порівнюють експериментальні та теоретичні значення основних параметрів, аналізують причини відхилення, якщо воно суттєве (більше від 10% теоретичного);
- порівнюють дослідні значення граничних деформацій зразка з їх відомими середніми значеннями;
- аналізують характер залежностей прогину від навантаження.

#### 4.2 Результати випробувань та їх обробка

До таблиці Excel заносяться основні розміри та геометричні характеристики випробовуваної панелі – марка СП, проліт, ширина зразка, крок гофрування, момент інерції. Під час проведення випробування до таблиці також заносяться ступені навантаження зразка та відліки по індикаторах.

Значення осадок опор та переміщення точки посередині прольоту на і-тому ступені навантаження обчислюються як різниці відліків по відповідному індикатору на і-тому ступені  $a_i$  та початку завантаження  $a_0$ :

$$d_i = a_i - a_0 \quad (4.1)$$

Фактичний прогин сандвіч-панелі визначається за схемою, зображеною на рисунку 4.1. Вона враховує переміщення точки посередині прольоту  $d_3$  та осадки опор  $d_1$  та  $d_2$ .

$$f = d_2 - \frac{d_1 - d_2}{2} a_0 \quad (4.2)$$

Рисунок 4.1 Схема визначення прогину зразка

Теоретичний прогин СП можна визначити за формулою:

$$G = 0.167 / \left( \frac{bH}{\ell} \frac{f}{P} - 0.035 \frac{\ell^2}{E_n \delta H} \right) \quad (4.3)$$

де  $b$  – ширина зразка;

$H$  – товщина панелі;

$\ell$  – проліт зразка;

$P$  – випробувальне навантаження;

$E$  – модуль пружності металеві обшивки;

$\delta$  – товщина металеві обшивки.

Обчислення за формулами (4.2) та (4.3) виконані в середовищі табличного процесора Excel, а результати першого випробування наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Таблиця обробки результатів за даними індикатора першого випробування

Ступінь навантаження	Навантаження			Відліки			Переміщення			Прогин	
	Л	П	Σ	Л	С	П	A1	A3	A2	теорет	факт
0	0	0	0	5	11.02	4	0.00	0.00	0.00	0	0

1	26	26	52	4	8.21	3	1.00	2.81	1.00	0.55	0.181
2	26	26	104	3	4.50	2.5	2.00	6.52	1.50	1.10	0.477
3	24	24	152	2.1	1.6	2.1	2.90	9.42	1.90	1.60	0.702
4	34	34	220	0.1	0.1	0.3	4.90	16.2	3.70	2.32	0.99

Результати визначення фактичного й теоретичного прогину відображені на рисунку 4.2. Збіжність теоретичних значень прогину з експериментальними проаналізована в наступному підрозділі.

Рисунок 4.2 Графік залежності прогину від навантаження

Нижче описано й задокументовано хід випробувань одного із зразків сандвіч-панелі. У процесі випробувань реалізовано 4 ступені навантаження.

Підготовчий ступінь – підготовка випробуваного зразка до навантаження, встановлення індикаторів (рис. 4.3).

Рисунок 4.3 Підготовка випробуваного зразка

Перший ступінь навантаження – навантаження випробуваного зразка в третинах прольоту вантажами масою 26 кг, записування відліків індикаторів. (рис. 4.4, 4.5, 4.6, 4.7).

Рисунок 4.4 Покази лівого індикатора при першому ступені навантаження

Рисунок 4.5 Покази середнього індикатора при першому ступені навантаження

Рисунок 4.6 Покази правого індикатора при першому ступені навантаження

Рисунок 4.7 Загальний вигляд зразка при першому ступені навантаження

Другий ступінь навантаження – до навантаженого випробуваного зразка в третинах прольоту вантажами масою 26 кг додані ще вантажі масою 26 кг кожний, записування відліків індикаторів.

Третій ступінь навантаження – до випробуваного зразка надаються ще два вантажі масою 24 кг кожний та записуються відліки індикаторів. (рис. 4.8, 4.9, 4.10, 4.11).

Рисунок 4.8 Покази лівого індикатора при третьому ступені навантаження

Рисунок 4.9 Покази середнього індикатора при третьому ступені навантаження

Рисунок 4.10 Покази правого індикатора при третьому ступені навантаження

Рисунок 4.11 Загальний вигляд зразка при третьому ступені навантаження

Після проведення третього етапу навантаження зразка стає видно прогин СП та невеликий зсув сердечника з мінеральної вати (рис.4.12).

Рисунок 4.12 Прогин випробуваного зразка СП

Четвертий ступінь навантаження характеризується прикладенням до зразка двох вантажів масою 34 кг та повним руйнуванням зразка (рис. 4.13, 4.14).

На цих рисунках видно, що руйнування зразка пройшло біля місця опирання зразка на металеві підставки, що є досить неочікуваним, адже в теоретичних

розрахунках злам СП повинен був відбутися приблизно по середині випробуваного зразку.

Рисунок 4.13 Злам випробуваного зразку СП

Рисунок 4.14 Злам випробуваного зразку СП

### 4.3. Аналіз збіжності результатів експерименту та розрахунків

Порівняння результатів експериментів з розрахунковими даними показало, що несуча здатність за жорсткістю (навантаження при гранично допустимому значенні прогину 19,29 мм) отримана на 15,6 % меншою за розрахункову, а несуча здатність за міцністю на 24% меншою за розрахункову несучу здатність. Виявлена різниця може бути обумовлена початковими недосконаlostями зразків у вигляді незначних місцевих деформацій, які й обумовили передчасну втрату стійкості сердечника з мінеральної вати та обшивки зразка.

Результати випробувань вказують на практично лінійний характер залежності дослідних залежностей прогину від навантаження, що вказує на пружну роботу зразків. Несуча здатність за прогином визначена як експериментальне навантаження, що відповідає гранично допустимому прогину. Несуча здатність за граничним станом першої групи визначена як максимальне навантаження, при якому почалося руйнування зразка.

Таблиця 3.5

Таблиця збіжності результатів

Зразок	Значення прогину			Значення несучої здатності		
	фактичне	теоретичне	$\Delta, \%$	фактичне	теоретичне	$\Delta, \%$
1	0,99	2,32	16,5	220	260	24

Рис. 4.15 Аналіз збіжності результатів випробувань за міцністю

Рис. 4.16 Аналіз збіжності результатів випробувань за прогином

#### **4.4 Висновки з розділу**

1. За розробленою методикою проведені випробування зразка СП довжиною 2 м, та шириною 25 см.
2. За результатами випробувань побудовані графіки залежності прогину зразка від навантаження.
3. Порівняння результатів експерименту з теоретичними даними показало, що фактичний прогин перевершив розрахункове значення, а руйнівні значення менші за розрахункові.
4. Виявлена різниця значень прогину та несучої здатності вказує на значний вплив початкових пошкоджень зразка на його роботу.

## Розділ 5

### МЕТОДИКА СПРОЩЕНИХ ВИПРОБУВАНЬ САНДВІЧ-ПАНЕНЕЙ

#### 5.1 Теоретичні відомості про сандвіч-панелі та їх випробування

Сандвіч з англійської означає «шаровий». З розвитком будівельних технологій до теперішнього часу на ринку будівельних матеріалів і виробів існують різні варіанти багатошарових панелей. Як правило, сандвічі складаються з облицювання й теплоізоляційного сердечника. Існують бетонні панелі з пінополістірольним утеплювачем, панелі з металевими обшивками, а також збірні панелі, при виготовленні яких робиться каркас, укладається сердечник, і потім монтується облицювання.

Тришарові панелі типу «сандвіч» з різними видами наповнювача. Даний вид сандвіч-панелей виник як розвиток пошарового монтажу й з необхідності уникнути «мокрих процесів» у будівництві. Існуюча необхідність виникає при значних перепадах температур, при яких традиційні будівельні матеріали використовуються у будівництві сезонно. До таких матеріалів відноситься, наприклад, цегла.

Основу панелей складає сердечник із кращих високоефективних теплоізолюючих матеріалів (зазвичай – негорючих мінераловатних плит з перпендикулярно-орієнтованими волокнами на основі базальтових порід). Товщина цього шару варіюється залежно від призначення й кліматичних умов, у яких буде експлуатуватися вироб.

Теплоізолююча маса захищена по обидва боки облицювальними шарами (профільованим оцинкованим і пофарбованим сталевим листом), що створюють, крім захисту утеплювача, додаткову конструкційну жорсткість. Міцне з'єднання облицювання й утеплювача забезпечує високоякісний клей.

#### ***Види сандвіч-панелей :***

- Стінові сандвіч-панелі - зведення стін і всіляких перегородок і огорожень;
- Покрівельні - для облаштування покрівлі;

- Оздоблювальні сандвіч-панелі (декоративні) - для утеплення, внутрішньої і зовнішньої обробки .

«Сандвічі» можуть бути самонесучими і несучими конструкціями, а також вони можуть бути збірними, тобто виготовляються у вигляді окремих елементів, які збираються в процесі виконання монтажних робіт.

#### ***Переваги сандвіч-панелей:***

- Можливість монтажу в будь-якій кліматичній зоні цілий рік
- Використання сандвіч-панелей на порядок збільшує швидкість монтажу
- Скорочення експлуатаційних і накладних витрат на улаштування фундаменту
- Часто немає необхідності робити внутрішню обробку приміщень.

#### ***Недоліки сандвіч-панелей:***

- Сандвіч-панелі є самонесучими й не можуть взяти на себе істотне додаткове навантаження.
- Існує ймовірність пошкодити полімерне покриття або зім'яти панель у процесі монтажу або експлуатації. У такому випадку можлива косметична корекція (подряпини), або заміна панелі (якщо вона була зламана або зім'ята).
- Можливі промерзання панелей у стиках або утворення льоду в точці роси в зимовий час. Дані проблеми можуть виникнути при недотриманні технології монтажу панелей.

#### ***Види випробувань сандвіч-панелей***

За **методикою** проведення випробування поділяються на статичні й динамічні; за **характером і способом** створення випробувальних навантажень - на випробування штучно створеним навантаженням і на випробування з навантаженням від технологічного устаткування або природним навантаженням; за **місцем проведення** – на лабораторні або заводські, стендові та натурні (польові); за **часом проведення** – на разові і довгочасні (інструментальні спостереження і моніторинг).

**Визначальні** випробування, що проводяться для встановлення значень параметрів і характеристик конструкції, передбачених програмою випробувань,

виконуються на етапі розробки конструкції або при налагодженні технології її виготовлення і поділяються на неруйнівні випробування і випробування до зруйнування.

Неруйнівні визначальні випробування в свою чергу поділяються на:

- оціночні, які проводяться з метою оцінки експлуатаційних властивостей конструкції і виявлення особливостей її поведінки в процесі навантаження;
- перевірочні, метою яких є перевірка несучої здатності виробу (конструкції) і зіставлення її з вимогами норм проектування або іншої нормативно-технічної документації.

**Статичним** випробуванням підлягають конструкції та їх елементи, не призначені для роботи під динамічними впливами і навантаженнями. Метою статичних випробувань є порівняння дійсної роботи конструкції з поведінкою, передбаченою за розрахунковою моделлю, та визначення несучої здатності конструкції.

**Динамічним** випробуванням підлягають будівлі та споруди або їх елементи, для яких визначальним є вплив динамічних навантажень на міцність, деформативність та довговічність. Динамічні випробування проводять для:

- встановлення реакції конструкції на величину і характер динамічних навантажень, які до неї прикладені;
- встановлення характеру і величини динамічних навантажень, що діють на конструкцію від технологічного обладнання чи природних факторів і реакції конструкції на ці навантаження;
- визначення реального рівня та характеристик вібрацій.

Конструкцію вважають такою, що витримала випробування, якщо:

- в конструкції не виявлено будь-яких пошкоджень;
- залежність між величиною навантаження і переміщеннями є лінійною;
- залишкові переміщення, заміряні після повного зняття навантаження, не перевищують 20% від максимальних значень переміщень під дією контрольного навантаження.

## **Випробування до зруйнування**

Ці випробування дають інформацію про фактичну несучу спроможність конструкції і дозволяють прийняти рішення щодо встановлення обґрунтованих значень граничної несучої здатності для проектування аналогічних конструкцій. Якщо зразок, що випробовується, не призначений для подальшого використання за призначенням, то з метою накопичення інформації про фактичні резерви несучої здатності після завершення оціночних або перевірочних випробувань бажано проводити випробування до зруйнування.

Значення граничного навантаження фіксується при прояві перших ознак руйнування (тріщини, місцеві випучування, зрушення в з'єднаннях тощо). Якщо ці ознаки було зафіксовано на одному з етапів навантаження, граничне навантаження визначається за інтерполяцією з урахуванням даних попереднього етапу навантаження.

Якщо розглядається конструкція-прототип або головний зразок виробів, які будуть випускатись серійно, для визначення розрахункової несучої здатності до зруйнування випробують не менше трьох однотипних зразків.

## **Контрольні випробування**

Контрольні випробування проводяться для вирішення питання про прийняття або бракування партії однотипних виробів. Контролюють відповідність несучої здатності виробів партії, що перевіряється, до вимог проектно-конструкторської документації або їх відповідність, до несучої здатності головного зразка-прототипу конструкції, яка була встановлена при визначальних випробуваннях.

Випробуванням підлягають зразки, випадково відібрані з партії виробів відповідно до вказівок технічних умов. Кількість зразків, які відбираються для випробувань, та інші умови контролю (характер обпирання, вид навантаження тощо) указуються в проектно-конструкторській документації чи в технічних умовах на виготовлення виробів даного виду.

Перед випробуваннями відібраних зразків слід проконтролювати їх розміри і перевірити зовнішні ознаки, які характеризують якість виготовлення, а також

ознайомитися з сертифікатом на використанні матеріали. На випробування подаються лише зразки, відхилення показників яких від вимог проекту чи виробу-прототипу знаходяться в межах допусків, заданих діючими нормативними документами.

## **5.2 Визначення параметрів випробування**

Випробування проводиться за зображеною на рисунку 5.1 традиційною схемою випробування конструкцій на згин, що відповідає вимогам стандарту [9]. Навантаження здійснюється штучними вантажами (спеціальні таровані вантажі, бетонні блоки, цегла тощо) ступенями по 20...40 кг. Величина навантаження збільшується ступенями до руйнування зразка.

Рис. 5.1 Схеми випробування СП

Доцільно випробувати зразки довжиною 2 м та шириною, кратною ширині гофрування обшивки, але не меншою за 25 см. Перед початком випробувань розрахунком за методикою розділу 3 або за графіками 3.3 чи 3.4 встановлюють орієнтовну несучу здатність зразка. Величину ступеня навантаження призначають такою, щоб руйнування зразка відбулося на 4...6 етапі випробування.

Для фіксації вертикальних переміщень зразка використовують індикатори годинникового типу, два з яких встановлюються на опорах, а третій – посередині прольоту зразка.

## **5.3 Порядок проведення випробувань зразків сандвіч-панелей**

До початку випробування виконавці повинні вивчити зміст і методику виконання випробувань, а також правила з техніки безпеки під час випробувань.

**Мета випробувань:** експериментально дослідити несучу здатність огорожувальних сандвіч-панелей.

**Матеріали для випробувань:** огорожувальна сандвіч-панель чи зразки, вирізані з панелі з розмірами, вказаними вище.

**Прилади та обладнання:** Індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, сталева лінійка з ціною поділки 0,1 мм, штучні вантажі у вигляді цегли, бетонних блоків, спеціальних тарованих вантажів.

**Методика проведення випробувань.**

Випробування зразків сандвіч-панелей проводять у робочому положенні на установці для навантаження конструкцій. Навантаження здійснюється штучними вантажами у вигляді двох зосереджених сил, прикладених у третинах прольоту (за схемою чистого згину), як показано на рисунку 5.1.

Перед випробуванням експериментальні зразки ретельно оглядають для виявлення дефектів (деформацій, відколів, вм'ятин), які можуть вплинути на результати. До початку випробувань металевою лінійкою вимірюють геометричні розміри зразка з точністю до 1 см.

Схема розташування приладів на зразку відповідає задачам контрольних випробувань. Перед випробуванням фіксують виконавчу схему розташування приладів із нумерацією кожного.

Для коректного проведення випробувань до їх початку виконують теоретичні розрахунки з визначення навантаження, що відповідають моменту руйнування, а також обчислюють прогини.

Для визначення загального навантаження на зразок необхідно скористатися формулою:

$$F = \frac{6 \cdot b \cdot t \cdot H \cdot G}{L} \quad (5.1)$$

де  $G$  – модуль зсуву,

$b$  – ширина зразка,

$t$  – товщина сталевих обшивок,

$H$  – товщина панелі,

L – довжина зразка, см

Після закінчення випробувань обробляють показники приладів. Для визначення прогину, що відповідає навантаженню, обчислюють різницю між показниками приладу на даному ступені навантаження і початковим відліком. Переміщення підраховується як

$$d_i = a_i - a_0, \quad (5.2)$$

де  $a_0$  – початковий показник індикатора, мм.

Фактичний прогин обчислюється за наступною формулою:

$$f_\phi = d_3 - \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (5.3)$$

де  $d_1, d_2, d_3$  – переміщення відповідних індикаторів, мм.

Теоретичний прогин визначають за формулою:

$$f_T = \left( \frac{0.167}{G} + \frac{0.035 \cdot L^2}{E + H} \right) \cdot \frac{L \cdot F}{b \cdot H} \quad (5.4)$$

де F – величина навантаження на відповідному ступені, кг

E – модуль пружності сталі ( $E=20600 \text{ кН/см}^2$ )

I – момент інерції зразка за сортаментом чи результатами обмірювання переізу,  $\text{см}^4$ .

Результати обчислюють в табличній формі, наведеній нижче в журналі випробувань. Після закінчення випробувань і обробки експериментальних даних складають висновки про результати випробувань:

- порівнюють експериментальні та теоретичні значення основних параметрів, аналізують причини відхилення, якщо воно суттєве;
- порівнюють дослідні та розрахункові значення прогину зразка.
- аналізують характер залежності прогинів від навантаження.

### **Порядок проведення випробування**

Загальну схему проведення випробувань можна представити таким чином:

1. Теоретичний прогноз,
2. Проведення експерименту,
3. Обробка результатів експерименту,

4. Порівняння результатів експерименту з результатами прогнозу та аналіз,
5. Висновки за результатами випробування.

Перед початком та під час проведення випробувань працівники зобов'язані:

1. Вивчити методикау теоретичних розрахунків.
2. Вивчити методикау випробувань, ознайомитися з приладами.
3. Вивчити правила техніки безпеки.
4. Розробити програму випробувань.
5. Провести випробування та їх результати занести в таблицю.
6. Обробити результати випробувань.
7. Порівняти експериментальні результати з теоретичними, проаналізувати

причину їх розходжень.

#### ***Заходи з техніки безпеки та охорони праці при проведенні випробувань***

1. Працівники, що беруть участь у проведенні випробувань, можуть користуватися вимірювальною апаратурою та приладами тільки після відповідного інструктажу керівників.
2. У залі випробувань повинні знаходитися тільки його учасники.
3. При проведенні випробувань на лабораторних стендах працівник зобов'язаний виконувати усі вказівки екрівника випробувань.
4. Навколо випробувального пристрою має бути вільний прохід шириною не менше ніж 2 м.
5. При навантаженні біля 80% теоретичного значення руйнівного навантаженн рекомендується зняти з конструкції прилади, за якими неможливо дистанційно фіксувати відліки, а також прилади, котрі можуть пошкодитися.

#### **5.4 Журнал випробувань і методика обробки результатів**

Нижче приведена раціональна форма журналу для фіксації та обробки результатів випробувань. Номери формул, таблиць та рисунків є унікальними в межах журналу випробувань і не співпадають зі структурою розділу.

**Мета випробування:** експериментально встановити несучу здатність зразка огорожувальної сандвіч-панелі та оцінити її відповідність до вимог нормативної документації.

**Об'єкт випробування** \_\_\_\_\_

Дата випробування \_\_\_\_\_

Марка панелі \_\_\_\_\_

Довжина зразка (см) \_\_\_\_\_

Ширина зразка (см) \_\_\_\_\_

Модуль пружності сталі \_\_\_\_\_

Момент інерції панелі \_\_\_\_\_

**Теоретичне значення руйнівного навантаження:**

$$F = \frac{6 \cdot b \cdot t \cdot H \cdot G}{L} = \text{_____} = \quad (1)$$

де: G – модуль зсуву,

b – ширина зразка,

t – товщина сталевих обшивок,

H – товщина панелі,

L – довжина зразка, см.

**Теоретичний прогин зразка:**

$$f_T = \left( \frac{0.167}{G} + \frac{0.035 \cdot L^2}{E + H} \right) \cdot \frac{L \cdot F}{b \cdot H} = \text{_____} = \quad (2)$$

де: F – величина навантаження на відповідному ступені, кг

E – модуль пружності сталі (E=20600 кН/см<sup>2</sup>)

I – момент інерції зразка за сортаментом чи результатами обмірювання, см<sup>4</sup>.

**Результати випробування** заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця обробки результатів випробування

Ступінь навантаження	Навантаження			Відліки			Переміщення			Прогин	
	Л	П	Σ	Л	С	П	A1	A2	A3	теор	факт
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

### ***Обробка результатів випробувань.***

Розраховується фактичний прогин на кожному ступені навантаження зразка панелі за формулою

$$f_{\phi} = d_2 - \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3)$$

Визначається різниця фактичного і теоретичного прогину у відсотках:

$$\Delta = \frac{f_m + f_{\phi}}{2} * 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \quad (4)$$

За даними таблиці 1 на рисунку 1 будується графік залежності фактичного й теоретичного прогинів від величини прикладеного навантаження. За графіком оцінюється межа пружної роботи зразка, в межах якої графік фактичного прогину досить близький до лінійного.

У висновку аналізується відповідність фактичних значень прогинів та несучої здатності зразка панелі до розрахованих теоретичних значень та гранично допустимих значень, встановлених нормативними документами чи проєктними даними. Робиться висновок щодо відповідності випробуваних сандвіч-панелей до вимог технічних умов та їх придатності до використання.

Рисунок 1. Графік залежності прогину від навантаження

**Висновок:** \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Виконавці випробувань:**

---

---

---

(Підпис)

(Прізвище, ініціали)

### **5.5 Приклад проведення випробувань**

**Мета випробування** полягає у визначенні прогинів під дією різних навантажень та руйнівного навантаження для зразка огорожувальної сандвіч-панелі.

**Об'єкт випробування** – Огороджувальна сандвіч-панель

1. Дата випробування вересень 2023 р.
2. Марка панелі – Огороджувальна сандвіч-панель
3. Довжина зразка – 2000 см
4. Ширина зразка – 25 см

Випробування виконуються за методикою, описаною вище. Результати випробування занесені до таблиці 1.

Таблиця 1

## Таблиця обробки результатів випробування


### **Обробка результатів випробувань.**

1. Визначаємо теоретичне значення руйнівного навантаження за формулою:

$$F = \frac{6 \cdot b \cdot t \cdot H \cdot G}{L} = 260 \text{ кгс} \quad (1)$$

де:  $G$  – модуль зсуву,

$b$  – ширина зразка,

$t$  – товщина сталевих обшивок,

$H$  – товщина панелі,

$L$  – проліт зразка, см

2. Визначаються теоретичні прогини зразка для кожного ступеня навантаження за формулою та заносяться до таблиці 1

$$f_T = \left( \frac{0.167}{G} + \frac{0.035 \cdot L^2}{E + H} \right) \cdot \frac{L \cdot F}{b \cdot H} \quad (2)$$

де:  $F$  – величина навантаження на відповідному ступені, кг

$E$  – модуль пружності сталі ( $E=20600 \text{ кН/см}^2$ )

$I$  – момент інерції зразка за результатами обмірювання переізу,  $\text{см}^4$ .

3. Для кожного ступеня навантаження розраховується фактичний прогин за формулою і заноситься до таблиці 1

$$f_\phi = d_2 - \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3)$$

4. Визначається різниця дослідного й теоретичного прогину у відсотках за формулою

$$\Delta = \frac{f_m + f_\phi}{2} * 100\% = 16,5\% \quad (4)$$

5. За даними таблиці 1 будемо графік залежності дослідного й теоретичного прогину від величини навантаження.

Рисунок 1. Графік залежності прогину від навантаження

**Висновок:** Результати випробувань вказують на лінійний характер залежності прогину від навантаження, що підтверджує пружну роботу зразка. Фактичні прогини отримані набагато меншими від теоретичні, що вказує на значні запаси жорсткості дослідженого зразка.

***Виконавець випробувань:***

---

### **5.5 Висновки з розділу**

1. За результатами попередніх розрахунків та випробувань встановлені наступні параметри випробувань: довжина прольоту зразка – 2 м, ширина зразка – 25 см .

2. Розроблено методику й порядок проведення спрощених польових випробувань зразків сандвіч-панелей з сердечником з ламельних мінераловатних плит та обшивками з листової сталі.

3. Розроблено форму журналу випробувань, яка забезпечує повноту і зручність фіксації та обробки результатів випробувань.

4. За результатами проведених випробувань зразка сандвіч-панелі виконано приклад оформлення результатів випробувань.

## РОЗДІЛ 6

### ***ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМТВАХ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ***

#### ***6.1. Загальні вимоги до охорони праці на підприємствах***

Охорона праці на підприємствах будівельної індустрії здійснюється за ДБН А.3.2-2-2009 [15]. Ці Норми містять вимоги з безпеки праці та виробничого середовища у сфері будівництва, охорони довкілля під час виконання будівельно-монтажних робіт.

Під час зведення будівельних об'єктів повинні бути вжиті заходи для запобігання впливу на працівників та населення, яке перебуває на прилеглій до будівельного об'єкта території, небезпечних і шкідливих виробничих факторів. За можливості впливу таких факторів необхідно розробити та реалізувати заходи відповідно до вимог цих Норм, інших нормативних документів, нормативно-правових актів.

Вимоги до заходів із забезпечення безпеки праці необхідно зазначити у проектно-технологічній документації - проектах організації будівництва - ПОБ, проектах виконання робіт - ПВР . Виконання будівельно-монтажних робіт без ПВР забороняється.

Організація і виконання будівельно-монтажних робіт повинні відповідати вимогам:

- законодавства України про охорону праці ;
- природоохоронного законодавства;
- нормативно-правових актів, що містять вимоги з охорони праці;
- державних стандартів системи стандартів безпеки праці (ССБП);
- державних будівельних норм (ДБН);
- правил безпечного зведення та безпечної експлуатації будинків і споруд;
- галузевих правил і типових інструкцій з охорони праці, що затверджені у визначеному порядку;
- гігієнічних нормативів, санітарних правил і норм, затверджених Міністерством охорони здоров'я України.



## ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати виконаних досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. Огляд літератури з питань виробництва, використання та методів контролю якості сандвіч-панелей показав, що панелі можуть виготовлятися згідно з державними стандартами, або стандартами підприємств. Розроблені й опубліковані методів розрахунків, а також вимоги до контролю якості та випробувань сандвіч-панелей.
2. На підставі розрахунків та випробувань зразків обґрунтована спрощена польова методика випробувань та розроблена проста установка для випробування сандвіч-панелей, яка дозволяє виконувати завантаження штучними вантажами та вимірювати прогини зразка за допомогою індикаторів годинникового типу.
3. Шляхом розрахунків за спрощеною інженерною методикою визначені розрахункові значення несучої здатності сандвіч-панелей, які порівняні з каталогом виробника.
4. Експериментальні дослідження зразків сандвіч-панелей підтвердили працездатність розробленої установки та можливість випробувань панелей різних марок.
5. Аналіз збіжності результатів експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками вказує на значний вплив початкових недосконалостей зразків на несучу здатність настилу.
6. Розроблені рекомендації з проведення випробувань сандвіч-панелей та форму журналу випробувань, які містять викладення методики випробувань та обробки результатів, бланки таблиць і графіків для фіксації та обробки результатів випробувань.
7. Розроблені рекомендації та журнал випробувань можуть використовуватися для польового контролю якості сандвіч-панелей з використанням ресурсної бази будівельних організацій.

