

УДК 624.011.15

<https://doi.org/10.31713/vt1202619>

Шналь Т.М., [1; 0000-0002-4226-9513],
докт. техн. наук, професор
(taras.m.shnal@lpnu.ua)
Лепуга О.А., [1; 0009-0005-0570-0975],
аспірант
(oleksandr.a.lepuha@lpnu.ua)

¹Національний університет «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ОЦІНКИ ЖОРСТКОСТІ СТІН-ДІАФРАГМ З ОБШИВКОЮ ОСП (OSB) ЛЕГКИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ КАРКАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Глобальний перехід до сталого, вуглецево нейтрального розвитку будівництва прискорив впровадження легких дерев'яних каркасних конструкцій (ЛДК) будівель середньої поверховості. У цих системах стіни-діафрагми з обшивкою з орієнтованих стружкових плит (OSB) служать основною системою опору горизонтальним навантаженням. У статті представлено аналіз сучасних експериментальних методик та результатів досліджень (2016–2026 рр.), при цьому основна увага зосереджена на нелінійній взаємодії на межі розділу «обшивка — каркас». Результати виявили розбіжність між стандартами випробувань (ASTM та EN) і вказують на необхідність вдосконалення компонентних моделей прогину для проєктування будівель на основі легких дерев'яних каркасів.

Ключові слова: легкий дерев'яний каркас, стіна-діафрагма, OSB, жорсткість на зсув, проковзування кріплень, hold-down.

Вступ. Сучасне будівництво переживає зміну традиційних підходів, оскільки системи легкого дерев'яного каркаса (ЛДК) поширюються з малоповерхового житлового сектора на середньоповерховий (5–10 поверхів). Як демонструють дослідження [1], горизонтальна стійкість цих будівель до вітрових та сейсмічних впливів визначається опором зсуву стін-діафрагм. Ці стіни працюють

як вертикальні діафрагми, передаючи горизонтальні навантаження від перекриттів через обшивку до фундаменту.

Загальна конструктивна поведінка елемента стіни-діафрагми визначається взаємодією трьох основних компонентів: каркас (елементи з цільної або клеєної деревини), обшивка (плити ОСП, ДСП, фанера), з'єднання (металеві кріпильні елементи (цвяхи, скоби або гвинти), розташовані рядами вздовж елементів каркасу).

Конструктивні особливості стін варіюються залежно від регіональних стандартів. Наприклад, у європейській практиці зазвичай використовуються масивніші елементи каркасу та обшивка OSB/3 товщиною від 15 мм. Важливим аспектом є вибір типу кріплення: використання скоб дозволяє автоматизувати процес, проте може обмежувати податливість конструкції (класи низький (DCL) та середній (DCM)), тоді як для досягнення вищого рівня податливості (клас високий (DCH)) пріоритетним є застосування цвяхів [2].

Для підвищення несучої здатності стін найефективнішим методом є збільшення кількості кріплень у з'єднанні «обшивка-каркас», зокрема шляхом їх багаторядного розташування. Попри те, що традиційні розрахункові моделі часто обмежуються аналізом однорядного розташування кріплень, сучасні вимоги до конструкцій вимагають переходу до багаторядних схем.

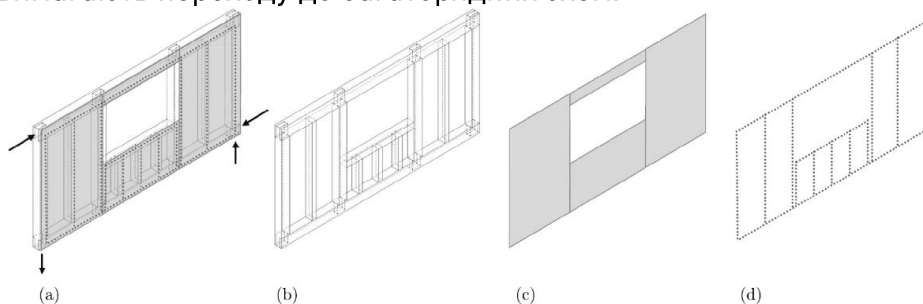


Рис. 1. Елементи конструкції стін-діафрагм легких дерев'яних каркасів (ЛДК):

а) типова конструкція; б) каркас; в) обшивка; г) кріплення обшивки до каркасу

Незважаючи на поширеність використання технології каркасного будівництва, перехід до вищих будівель вимагає значно вищої несучої здатності та суворіших обмежень щодо стійкості

будівлі. В роботах [3] [4] вказують на те, що напружено-деформований стан стін-діафрагм не є простим лінійним пружним явищем, а являє собою складний результат деформації кріплень та матеріалу. Ця стаття описує механічні змінні, що впливають на характеристики зсуву, та аналізує експериментальні дані, які використовуються для верифікації сучасних норм проектування.

Методологічні розбіжності у протоколах випробувань. Кількісна оцінка опору зсуву залежить від значних методологічних відмінностей у міжнародних стандартах, що може призводити до різних результатів проектування для ідентичних конфігурацій стін.

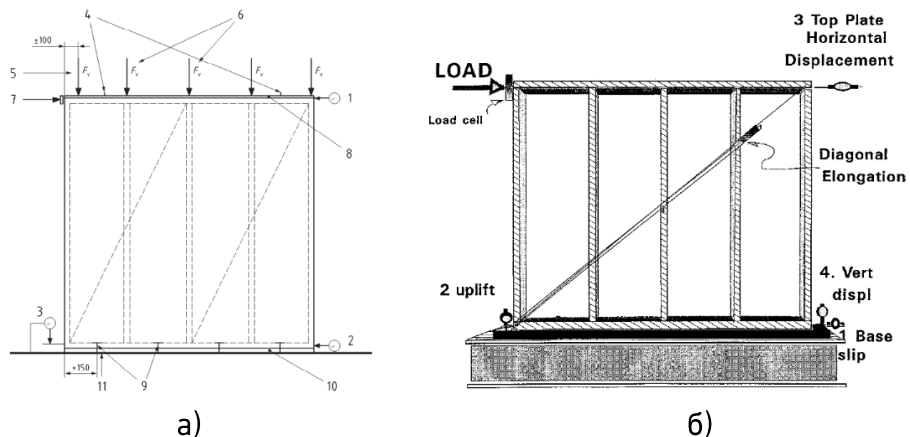


Рис. 2. Схеми випробувальних установок:
а) BS EN 594:2011 [5]; б) ASTM E564-06 [6].

Стандарт BS EN 594:2011 [5] є унікальним через вимогу щодо вертикального «попереднього навантаження». Імітуючи вагу верхніх поверхів, він враховує фрикційне посилення з'єднання. Дослідження [7] показують, що врахування вертикального навантаження може збільшити експлуатаційну жорсткість на зсув до 25% порівняно з незавантаженими зразками.

Таблиця 1

Зведена таблиця регламентів проведення випробувань стін-діафрагм

Параметр	BS EN 594:2011	ASTM E564-06 (2018)	ISO 21581:2010
Основна сфера застосування	Міцність на зсув та жорсткість дерев'яних каркасних стінових панелей.	Статичні випробування навантаженням для визначення опору зсуву.	Методи статичних та циклічних випробувань бічним навантаженням для зсувних стін.
Тип навантаження	Монотонне, циклічні - не розглянуті (EN 12512:2001 - опційно, хоча сфокусований на з'єднаннях)	Монотонне, ASTM E2126 для циклічних	Монотонне та квазістатичне циклічне
Вертикальне попереднє навантаження	Обов'язкове. Прикладається до верхньої обв'язки для імітації гравітаційних навантажень.	Опційно / Не вказано. Зазвичай випробування проводяться без нього.	Опційно. Може прикладатися як постійна, так і змінна сила залежно від мети випробування.
Умови закріплення основи	Кріплення до дерев'яної або сталевий балки основи; допускає реалістичне ковзання на межі розділу.	Жорстке кріплення основи; фокусується на чистому зсуві вузла «панель-каркас».	Гнучке або жорстке; вказується відповідно до цільового конструктивного застосування.
Швидкість навантаження	Контроль за зміщенням (зазвичай 2–4 мм/хв) або контроль за навантаженням.	Безперервне або ступеневе прикладання навантаження (прибл. 10–15 хв до піку).	Контроль за зміщенням; циклічна частота зазвичай нижча за 1,0 Гц.
Протокол циклу	Не застосовується (тільки монотонне)	Не застосовується (тільки монотонне)	На основі протоколів ISO або CUREE (цикли зміщення в обох напрямках).
Дані, що реєструються	Жорсткість на зсув (R), пікове навантаження (F_{max}) та деформація при $0,4 F_{max}$.	Жорсткість при зсуві (G'), максимальне зсувне навантаження та криві «навантаження — прогин».	Петлі гістерезису, дисипація енергії, коефіцієнт дуктильності та деградація жорсткості.



Розміри стіни	Зазвичай 2,4 м × 2,4 м (стандартизований розмір панелі).	Варіюються; вимагають вказівки конкретних співвідношень сторін (Висота/Довжина) для звітності.	Варіюються; стандарт допускає випробування повномасштабних конструкцій або окремих компонентів.
---------------	--	--	---

Стандарт ASTM E564-06 (переглянуто у 2018 р.) [6] використовують для статичної оцінки зсуву. Стандарт [6] ґрунтується на чистому опорі зсуву на жорсткій основі. Хоча цей стандарт забезпечує надійну базу, припущення про жорстку основу часто не дозволяє зафіксувати обертання, спричинене відривом, що є критичним при проєктуванні середньоповерхових будівель.

Стандарт ISO 21581:2010 [8] передбачає випробування, необхідні для визначення коефіцієнта поведінки (q) та параметрів дисипації енергії.

Механічна поведінка системи «обшивка-каркас». У сучасній практиці проєктування дерев'яних каркасних систем несуча здатність стіни-діафрагми розглядається як інтегральна величина, що фактично є сумою бічних спротивів окремих кріпильних елементів. Як зазначено в [4], саме механічні з'єднання між каркасом та обшивкою (OSB або фанерою) є основним джерелом розсіювання енергії та пластичності конструкції, що визначає її поведінку під дією горизонтальних навантажень. Проте методологічна складність полягає в тому, що робота плити OSB у складі цілісної діафрагми суттєво відрізняється від її чистих фізико-механічних характеристик.

Для коректного врахування у розрахункових моделях критично важливим є використання перевірених нормативних підходів. Методологічною базою дослідження [4] став аналіз трьох експериментальних програм, проведених у Новій Зеландії та Канаді, що фокусувалися на поведінці цвяхових з'єднань:

- Програма досліджень у Новій Зеландії (University of Canterbury) була спрямована на оцінку циклічної та монотонної поведінки з'єднань, типових для тихоокеанського регіону. Основна увага приділялася визначенню параметрів дисипації енергії та калібруванню моделей гістерезису для сейсмічного проєктування.

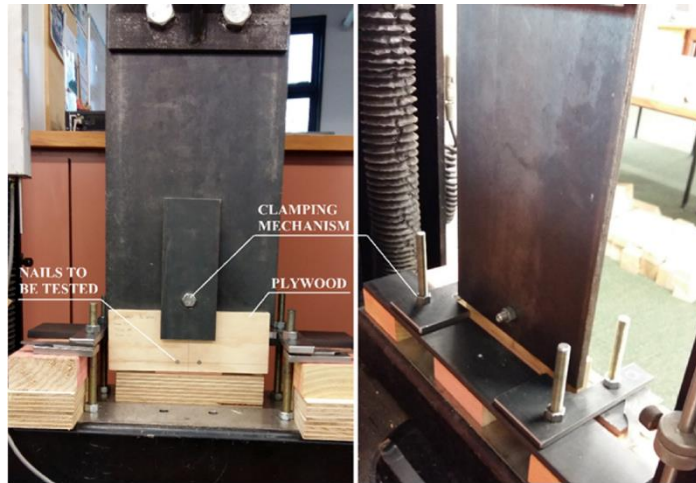


Рис. 3. Схема випробувальної установки тестування з'єднань (University of Canterbury) [4]

• Канадські програми досліджень (University of British Columbia) включали дві стадії. Перша була зосереджена на стандартних з'єднаннях із широким діапазоном розмірів цвяхів (8 типів) для визначення межі між пластичним руйнуванням кріплення та розколюванням деревини. Друга програма вивчала вискоелективні системи з багаторядним розташуванням цвяхів, де критичним фактором ставав «груповий ефект» кріплень.

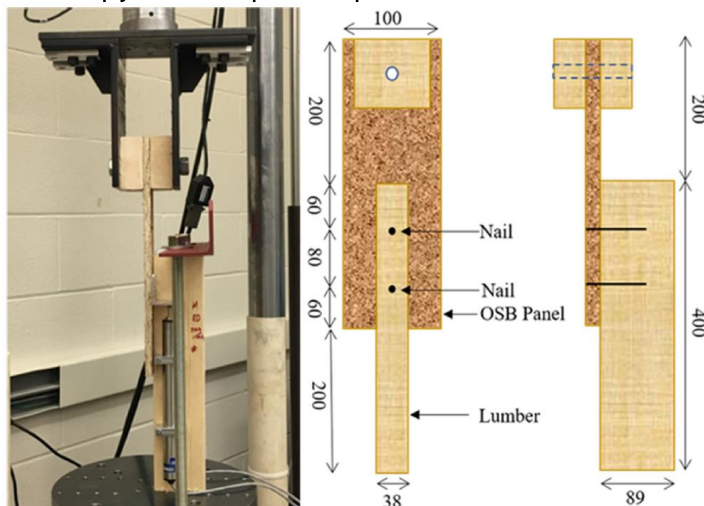


Рис. 4. Схема випробування цвяхового з'єднання: установка для випробувань (ліворуч) та схематичний вигляд зразка (праворуч) (University of British Columbia) [4]



Аналіз масивної бази даних із 383 випробувань, проведений в [4], ідентифікував ключовий «фактор надлишкової міцності» (R_0), який визначається за формулою:

$$R_0 = \frac{V_{max}}{V_{design}} \cdot \gamma_m$$

де V_{max} — експериментальне пікове навантаження, а γ_m — коефіцієнт надійності.

Встановлено, що для з'єднань із плитами OSB/3 цей показник часто перевищує 2,0. Таку надлишкову міцність необхідно враховувати при «проектванні за несучою здатністю», щоб гарантувати, що дерев'яні стійки каркаса не зазнають крихкого руйнування або розколювання до того, як з'єднання досягнуть своєї повної пластичної здатності.

Для точного прогнозування деформацій у межах пружності [4] рекомендують застосовувати значення зсувної жорсткості на рівні 40% від максимального навантаження (K_{40}), оскільки це дозволяє нівелювати вплив ефекту «затискання», характерного для циклічних навантажень.

Таким чином, синтез даних щодо специфіки роботи обшивки за різних схем навантаження та уточнення факторів надлишкової міцності дозволяє оптимізувати поєднання товщини плит OSB та кроку кріплень. Це створює надійну методологічну базу для проектування високоефективних стін-діафрагм, що повністю використовують потенціал матеріалів при забезпеченні необхідного рівня сейсмічної та вітрової стійкості будівель.

Аналіз деформацій стін-діафрагм — чотирикомпонентна модель та фізичні параметри. Найбільш суттєвим викликом у проектуванні середньоповерхових ЛДК-будівель є точне прогнозування деформацій та переміщень. В [9] встановлено, що загальний прогин (Δ_{tot}) повинен розраховуватися як композитне значення:

$$\Delta_{tot} = \Delta_{bend} + \Delta_{shear} + \Delta_{fastener} + \Delta_{anchorage}$$

Наступні параметри визначають фізичну механіку кожного члена рівняння:

• Δ_{bend} — компонент вигину, що представляє пружну деформацію вертикальних стійок.

$$\Delta_{bend} = \frac{8Vh^3}{EA b}$$

де V — зсувне навантаження, h — висота, E — модуль пружності стійок, A — площа перерізу стійки, b — довжина стіни.

• Δ_{shear} - компонент зсуву, що відображає деформацію зсуву панелі OSB у власній площині,

$$\Delta_{shear} = \frac{Vh}{Gt}$$

де G — модуль зсуву, а t — товщина OSB.

• $\Delta_{fastener}$ — проковзування кріплень як нелінійне зміщення в кріпленні «цвях — обшивка».

$$\Delta_{fastener} = 0,75h \cdot e_n$$

де e_n — величина ковзання (мм), визначена за результатами випробувань з'єднань.

• $\Delta_{anchorage}$ — анкерування. Поворот стіни як жорсткого тіла через вертикальну деформацію анкерних кронштейнів та болтів (d_a).

$$\Delta_{anchorage} = \frac{h}{b} \cdot d_a$$

Експериментальні дані [9] показують, що в стінах з відношенням сторін 2:1 компонент анкерування може складати до 40% від загального зміщення. Це доводить, що спрощені рівняння, які нехтують ковзанням анкерів, є недостатніми для середньоповерхових споруд.

Висновки.

Аналіз досліджень 2018–2025 років демонструє чітку тенденцію: фокус змістився зі спрощеної «граничної міцності» на проєктування за деформаціями.

Надмірні переміщення, спричинені проковзуванням анкерів, можуть спровокувати нестабільність, яку часто недооцінюють у лінійно-статичному аналізі 6–10-поверхових будівель.

Проконструювання кріплень є основним джерелом як системної деформації, так і дисипації енергії в стінах ЛДК з обшивкою OSB.

Деформація анкерування суттєво впливає на загальні переміщення (до 40% у вузьких стінах) і повинна моделюватися як нелінійний компонент.

Існує потреба в гармонізації стандартів EN та ASTM, оскільки наявність вертикального навантаження (EN 594) суттєво змінює сприйману жорсткість стіни.



1. Manser N., Steiger R., Geiser M., Otti M., Frangi A. Shear resistance of Oriented Strand Board panel sheathings in timber-framed shear walls. *Engineering Structures*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014102962401023X> (дата звернення: 04.03.2026).
2. ДСТУ-Н EN 1998-1:2010 (EN 1998-1:2004, IDT). Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій. Частина 1. Загальні правила, сейсмичні дії, правила щодо споруд. Київ : Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2011.
3. Fiorino L., D'Addesa V., Landolfo R. Seismic design rules for lightweight steel shear walls with wood panel sheathing within the Eurocode format. *Thin-Walled Structures*. 2024. Vol. 204. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263823124007341> (дата звернення: 04.03.2026).
4. Krauss K. [та ін.]. Performance of nailed sheathing-framing connections in light wood framed shear walls: a comparative study across design standards. *Construction and Building Materials*. 2025. Vol. 490. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061825026443> (дата звернення: 04.03.2026).
5. BS EN 594:2011. Timber structures – test methods – racking strength and stiffness of timber frame wall panels. London: BSI, 2011.
6. ASTM E2126-19. Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Buildings. West Conshohocken: ASTM International, 2019.
7. Dhonju R. L. Racking Performance of Platform Timber Framed Walls: PhD thesis. Edinburgh: Edinburgh Napier University, 2018.
8. ISO 21581:2010. Timber structures – static and cyclic lateral load test methods for shear walls. Geneva: ISO, 2010.
9. Bagheri M. M. Study of deflection of single and multi-storey light frame wood shear walls: Master's thesis. Ottawa: University of Ottawa, 2018.

REFERENCES

1. Manser N., Shtayger R., Geyzer M., Otti M., Frandzhi A. Soprotivleniye sdvigu obshivok iz oriyentirovanno-struzhechnykh plit v stenakh s derevyannym karkasom. *Inzhenernyye sooruzheniya*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014102962401023X> (data zvernennya: 04.03.2026).
2. DSTU-N EN 1998-1:2010 (EN 1998-1:2004, IDT). Yevrokod 8. Proyektirovaniye seysmostiykikh konstruktsiy. Chast' 1. Zagal'nyye pravila, seysmicheskiye dni, pravila, kotoryye mogut sporit'. Kiyev: Minregionbud i ZHKG Ukrainy, 2011.
3. Fiorino L., D'Addesa V., Landol'fo R. Pravila seysmicheskogo proyektirovaniya legkikh stal'nykh sten, podvergayushchikhsya sdvigu, s obshivkoy derevyannymi panyami v formate Yevrokoda. *Tonkostennyye konstruktsii*. 2024. Tom. 204. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263823124007341> (data

zvernennya: 04.03.2026). 4. Krauss K. [та ін.]. Kharakteristiki gvozdevykh soyedineniy obshivki i karkasa v nesushchikh stenakh s karkasom iz svetlogo dereva: sravnitel'noye issledovaniye standartov proyektirovaniya. Stroitel'stvo i stroitel'nyye materialy. 2025. Tom. 490. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061825026443> (data obrashcheniya: 04.03.2026). 5. BS EN 594:2011. Derevyannyye konstruktsii – metody ispytaniy – prochnost' na szhatiye i zhestkost' stenovykh paneley iz derevyannogo karkasa. London: BSI, 2011. 6. ASTM E2126-19. Standartnyye metody ispytaniy na tsiklicheskuyu (obratnuyu) nagruzku dlya opredeleniya soprotivleniya sdvigu vertikal'nykh elementov sistem soprotivleniya bokovym nagruzkam v zdaniyakh. Uest-Konshokhoken: ASTM International, 2019. 7. Dhonju R. L. Prochnost' na szhatiye karkasnykh sten iz platform: dissertatsiya na soiskaniye stepeni doktora filosofii. Edinburg: Edinburgskiy universitet Neypira, 2018. 8. ISO 21581:2010. Derevyannyye konstruktsii – metody ispytaniy na staticheskuyu i tsiklicheskuyu bokovuyu nagruzku dlya nesushchikh sten. Zheneva: ISO, 2010. 9. Bageri M. M. Issledovaniye progiba odno- i mnogoetazhnykh legkikh karkasnykh derevyannykh nesushchikh sten: masterskaya dissertatsiya. Ottava: Universitet Ottavy, 2018.

Shnal T.M., [1; 0000-0002-4226-9513],

Doctor of Technical Sciences, Professor

Lepuha O. A. [1; 0009-0005-0570-0975],

PhD student

¹Lviv Polytechnic National University

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESEARCH AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR ASSESSING THE STIFFNESS OF LIGHT WOOD-FRAME SHEAR WALLS WITH OSB SHEATHING

The global transition to sustainable, carbon-neutral construction has accelerated the implementation of light wood-frame structures in mid-rise buildings. In these systems, shear walls with oriented strand board (OSB) sheathing serve as the primary lateral load-resisting system. The article presents an analysis of modern experimental methods and research results (2016–2026), focusing primarily on the non-linear interaction at the sheathing-to-framing interface. The results revealed discrepancies between testing standards (ASTM and

EN) and indicate the need to improve component deflection models for the design of light wood-framed buildings.

Keywords: light wood frame, shear wall, OSB, shear stiffness, fastener slip, hold-down.

Отримано: 31 січня 2026 року
Прорецензовано: 22 лютого 2026 року
Прийнято до друку: 27 березня 2026 року



© 2026 [Shnal T.M., Lepuha O. A.]. Licensee [NUWEE]. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org).