

УДК 624.9

А. С. Величкович

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2685-8753>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

А. В. Андрусяк*

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2099-9045>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

О. В. Козак

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0025-6554>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

І. І. Палійчук

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8443-2702>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

В. В. Кулай

студент групи Б-21-2, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5744-8039>

Кафедра будівництва

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
Івано-Франківськ, Україна, 76019

*автор-кореспондент, e-mail: andriiandrusiak@gmail.com

Числове моделювання несучого профнастилу із застосуванням еквівалентної ортотропної пластини

Цитувати як:

Величкович А. С., Андрусяк А. В., Козак О. В., Палійчук І. І., Кулай В. В. (2025). Числове моделювання несучого профнастилу із застосуванням еквівалентної ортотропної пластини. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 75-88. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-08)

© 2025, Величкович А. С., Андрусяк А. В., Козак О. В., Палійчук І. І., Кулай В. В.

Анотація. Профільовані сталеві листи, завдяки своїй високій ефективності за критеріями “вага – жорсткість” і “вага – міцність”, широко використовуються у сучасному будівництві як несучі елементи покрівель, міжповерхових перекриттів і сендвіч-панелей. Особливості їх конструкції зумовлюють яскраво виражену ортотропну поведінку, що потребує спеціальних підходів до числового моделювання. У той час як традиційні об’ємні скінченно-елементні моделі забезпечують високу точність, вони є надмірно ресурсоємними для практичного проектування в програмних середовищах ЛІРА-САПР та SCAD

Office. Це спричиняє актуальну потребу у спрощених, але водночас достатньо точних еквівалентних моделях. У даній роботі запропоновано числово-аналітичну методику заміни профнастилу еквівалентною ортотропною пластиною, яка відтворює основні характеристики згинальної жорсткості профільованого листа в головних напрямках. Віртуальні експерименти в середовищі ЛІРА-САПР дозволили отримати максимальні прогини профнастилу при навантаженні вздовж та уперек ребер жорсткості, що слугувало базою для розрахунку еквівалентних модулів пружності, коефіцієнтів Пуассона, модуля зсуву та товщини пластины. Верифікація отриманих результатів підтверджує здатність ортотропної моделі адекватно відтворювати не лише деформаційну поведінку, а й дозволяє проводити оцінку міцності профнастилу при типовому навантаженні. Розроблений підхід дозволяє інженерам використовувати у проєктних розрахунках простіші моделі пластин без втрати точності, що цінно в задачах із великою кількістю елементів. Корисність запропонованої моделі буде особливо відчутною при моделюванні великих площ дахових покриттів та при оптимізаційному проєктуванні, де критичними є швидкість і обчислювальні ресурси. Побудована модель дозволяє ефективно оцінювати допустимі навантаження на профнастил за критеріями граничного прогину та міцності з урахуванням варіантів обтирання та довжини прогонів.

Ключові слова: металеві конструкції, профіль, жорсткість, профнастил, числова модель, ортотропна пластина

Вступ

Протягом останніх десятиліть профільовані тонкостінні елементи посіли важливе місце у сучасному будівництві завдяки своїй винятковій ефективності за критеріями "вага – жорсткість" і "вага – міцність". Їхня конструктивна перевага полягає у високій згинальній жорсткості в напрямку, перпендикулярному до ребер жорсткості, та підвищеній податливості при згині вздовж ребер, що поєднує потрібну несучу здатність із здатністю адаптуватися до локальних деформацій. Така особливість поведінки наближає профільовані елементи до ортотропних середовищ із спрямованою анізотропією. Завдяки цим властивостям профільовані структури широко використовуються в інженерії – від пакувальних матеріалів до аерокосмічних систем [1–3].

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У будівництві несучий профільований лист є стандартним елементом дахових і міжповерхових покриттів, здатним ефективно сприймати снігові, вітрові та інші експлуатаційні навантаження [4, 5]. За функціональним призначенням профнастил поділяють на стіновий, покрівельний та несучий. У цьому дослідженні розглядається саме несучий тип, до якого зазвичай відносять листи з висотою профілювання понад 35 мм. Окрім застосування в огорожувальних та покрівельних конструкціях, несучий профнастил використовують як незнімну опалубку в монолітних перекриттях [6], у конструкціях сендвіч-панелей [7], настилах промислових підлог [8], міжповерхових перекриттях, легких тонкостінних оболонках тощо [9]. У

кожному з цих випадків актуальною є потреба в точному та зручному числовому моделюванні його роботи під навантаженням.

У механіці деформівного тіла для опису поведінки конструкцій із періодичною геометрією, таких як профільовані листи, широко застосовуються методи гомогенізації. Вони ґрунтуються на заміні складної циклічної структури еквівалентною ортотропною моделлю з усередненими жорсткісними характеристиками [10]. За умови, що крок профілю суттєво менший за розміри конструкції, еквівалентні модулі пружності, коефіцієнти Пуассона та жорсткості згину можуть бути визначені аналітично або чисельно [11]. Зростаючий інтерес також викликає моделювання тонкостінних систем із включеннями та недосконаlostями, де вже сформовано низку числово-аналітичних підходів до оцінки жорсткісних і міцнісних характеристик таких структур [12–15].

Аналіз поведінки профільованого листа в програмних комплексах типу ЛІРА-САПР чи SCAD Office стикається зі складністю через його геометричні особливості, що потребує побудови надзвичайно деталізованих об'ємних моделей. Створення подібних моделей вимагає додаткових витрат часу, а їх аналіз – великих обчислювальних ресурсів, що суттєво обмежує їхню придатність для практичних інженерних розрахунків, особливо на великих площах дахових покриттів або в задачах оптимізаційного проектування [16, 17]. Тому доцільним є використання спрощеної ортотропної моделі, що еквівалентна профнастилу за згинальною жорсткістю та забезпечує подібну деформаційну поведінку. Такий підхід дозволяє використати стандартні можливості згаданих програмних комплексів для ортотропних пластин, спростити числове моделювання, зберігаючи при цьому необхідну точність результатів.

Відомо, що подібні ідеї вже знаходили відображення в аналітичних дослідженнях [18], однак більшість із них мають обмежену прикладну реалізацію і не узгоджуються зі специфікою застосування у будівельних програмних середовищах. Часто в них також нехтують напрямною анізотропією згинальної жорсткості, яка є визначальною для оцінки деформативності покриттів під дією експлуатаційних навантажень.

Мета і завдання дослідження. Метою цієї роботи є розробка числово-аналітичної методики моделювання несучих покриттів із профільованого листа у вигляді еквівалентної ортотропної пластини, адаптованої до практичного використання в будівельних програмних комплексах.

Матеріали та методи

Несучий профільований лист має виражену конструктивну ортотропність і під час експлуатації зазвичай працює на згин. Його деформаційна відповідь при згинанні поперек ребер жорсткості суттєво відрізняється від поведінки при згинанні вздовж ребер. Аналогічно, осьове

розтягування профнастилу в напрямках поперек ребер і вздовж ребер викликає істотно різні деформаційні ефекти.

Механічну поведінку сталевго профнастилу апроксимуватимемо ортотропною пластиною з рівнозначними жорсткісними характеристиками. Розглянемо профлист (рис. 1), шарнірно закріплений по двох протилежних сторонах і навантажений рівномірно розподіленим навантаженням p . Йому поставимо у відповідність ортотропну пластину з аналогічною схемою закріплення і навантаження (рис. 2). Довжина L_y і ширина L_x пластини та профлиста вважаються однаковими. Механічні характеристики еквівалентної ортотропної пластини – модулі пружності E_1 і E_2 , коефіцієнти Пуассона ν_{12} і ν_{21} та товщину пластини h_{nl} виберемо такими, щоб вони в середньому відтворювали пружні властивості профлиста. Для цього необхідно провести два віртуальні експерименти і визначити при згині профлиста поперек та вздовж ребер його максимальні прогини: w_n , w_θ .

Константи пружності еквівалентної пластини визначимо з тієї умови, що жорсткості на згин профлиста і еквівалентної пластини повинні бути однаковими.

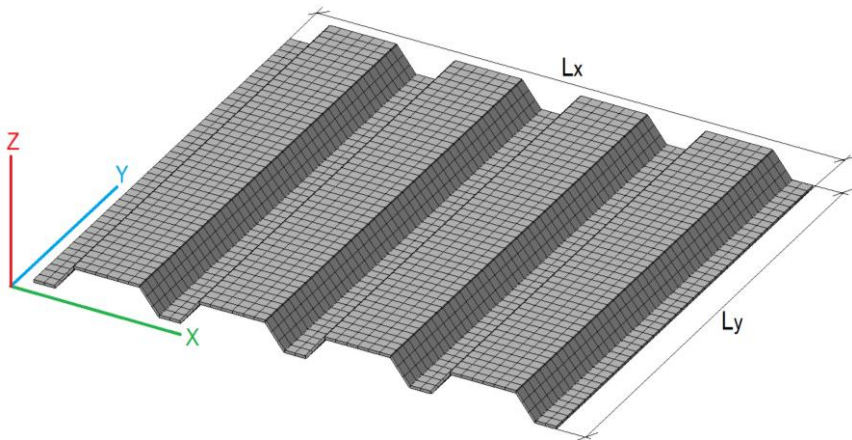


Рис. 1. Фрагмент скінченно-елементної моделі несучого профнастилу

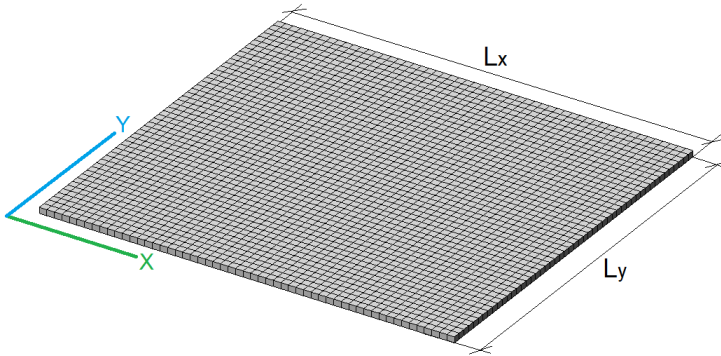


Рис. 2. Фрагмент скінченно-елементної моделі еквівалентної ортотропної пластини

Згідно з теорією ортотропних пластин, згинальні жорсткості в головних напрямках задаються такими формулами (індекси 1 та 2 відповідають осям y та x , рис. 2):

$$D_1 = \frac{E_1 h_{nl}^3}{12(1 - \nu_{12}\nu_{21})} \approx \frac{E_1 h_{nl}^3}{12}; \quad (1)$$

$$D_2 = \frac{E_2 h_{nl}^3}{12(1 - \nu_{21}\nu_{12})} \approx \frac{E_2 h_{nl}^3}{12}. \quad (2)$$

Співвідношення між модулями Юнга та коефіцієнтами Пуассона в головних напрямках ортотропії має вигляд

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\nu_{21}}{\nu_{12}} \Rightarrow \nu_{12} = \nu_{21} \frac{E_2}{E_1}, \quad (3)$$

де E_2 та ν_{21} модуль пружності та коефіцієнт Пуассона матеріалу профлиста (їх значення відомі).

Модуль зсуву для ортотропної пластини обчислюється так:

$$G_{12} = \frac{E_1}{2(1 + \nu_{12})}. \quad (4)$$

Згинальні жорсткості реального профнастилу обчислюємо на основі відомих значень максимальних прогинів, отриманих з віртуальних експериментів:

$$D_{1np} = \frac{5p_n L_y^4}{384 w_n}; \quad D_{2np} = \frac{5p_6 L_x^4}{384 w_6}. \quad (5)$$

Отже, алгоритм визначення еквівалентних характеристик ортотропної пластини наступний:

- обчислити згинальні жорсткості профнастилу D_{1np} та D_{2np} за формулами (5), використовуючи результати віртуальних експериментів;
- прирівняти ці значення до відповідних виразів (1) та (2) для ортотропної пластини;
- з отриманої системи рівнянь визначити товщину еквівалентної пластини $h_{nл}$ і невідомий модуль пружності в головному напрямку ортотропії – E_1 ;
- далі, скориставшись формулою (3), визначити невідомий коефіцієнти Пуассона – ν_{21} ;
- обчислити модуль зсуву G_{12} за формулою (4);
- таким чином, отримати повний набір характеристик ортотропної пластини для використання в програмному пакеті: E_1 і E_2 ; ν_{12} і ν_{21} ; G_{12} та $h_{nл}$.

Результати та обговорення

У програмному комплексі ЛПРА-САПР було побудовано скінченно-елементну модель несучого сталевого профнастилу НС-45 із трапецієподібним профілем висотою 45 мм та товщиною металу 1 мм. Для моделювання використано стандартну ширину профлиста $L_x = 1.1\text{ м}$, а довжину $L_y = 1\text{ м}$. Застосовано універсальні прямокутні скінченні елементи оболонки СЕ 41. Такі скінченні елементи призначені для розрахунку на міцність тонких пологих оболонок, плит, балок-стінок тощо. Для забезпечення достовірності результатів була проведена перевірка чутливості до розміру сітки, за результатами якої обрано оптимальний крок дискретизації. У підсумку модель складалася з 13050 скінченних елементів.

Експеримент 1. З метою визначення максимального прогину при згині впоперек ребер жорсткості, профлист було шарнірно закріплено по двох протилежних сторонах і навантажено рівномірно розподіленим (проективним) навантаженням величиною $p_n = 10\text{ кН/м}^2$. Результати числового аналізу (рис. 3) дозволили встановити значення максимального прогину – $w_n = 2.0\text{ мм}$.

Експеримент 2. Для оцінки прогину профлиста при згині вздовж ребер жорсткості, було сформовано альтернативну модель із тими самими геометричними параметрами, але з іншим розташуванням опор. Оскільки в цьому напрямку профлист має значно більшу податливість, величину зовнішнього навантаження було зменшено до $p_g = 100\text{ Н/м}^2$. Проведений імітаційний розрахунок (рис. 4) дозволив визначити максимальний прогин у цьому випадку – $w_g = 48.9\text{ мм}$.

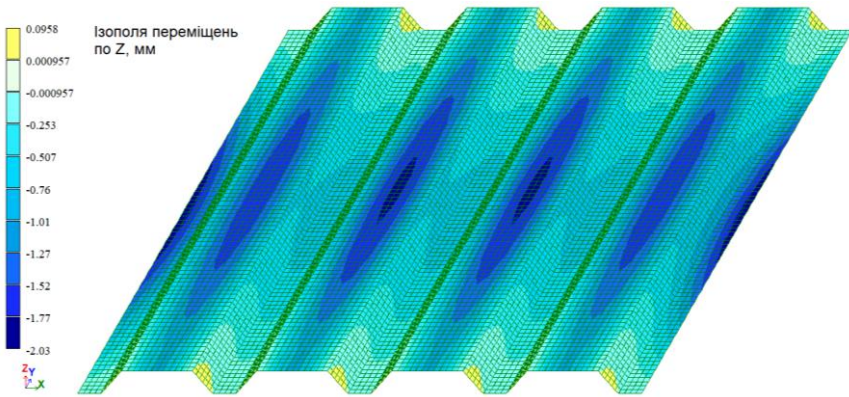


Рис. 4. Згин профнастилу впоперек ребер жорсткості (визначення w_n)

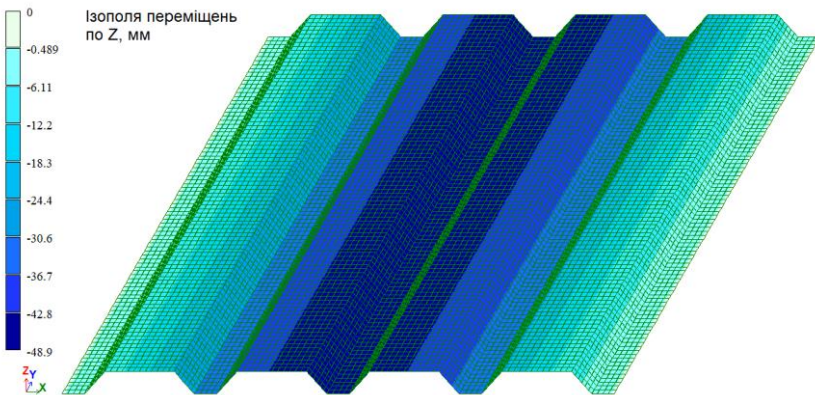


Рис. 5. Згин профнастилу вздовж ребер жорсткості (визначення w_e)

Виконавши алгоритм дій, описаний у попередньому пункті, та скориставшись формулами (1) – (5), обчислили характеристики еквівалентної ортотропної пластини: $E_1=128 \text{ МПа}$ і $E_2=2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $\nu_{12}=0.193 \cdot 10^{-6}$ і $\nu_{21}=0.3$; $G_{12}=99.98 \text{ ГПа}$ та $h_{нл}=15.7 \text{ мм}$. Одержані значення використали для опису механічних характеристик модельної пластини у програмному пакеті.

Оцінимо, як реагує еквівалентна ортотропна пластина на навантаження p_n та p_e , яким ми піддавали профнастил під час проведення віртуальних експериментів. На рис. 6 еквівалентна ортотропна пластина

працює еквівалентно профнастилу, який згинається упоперек ребер жорсткості. На рис. 7 еквівалентна ортотропна пластина працює еквівалентно профнастилу, який згинається вздовж ребер жорсткості.

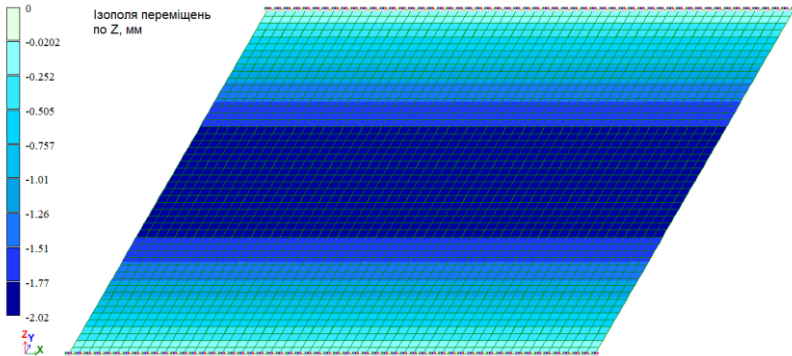


Рис. 6. Ортотропна пластина моделює згин профнастилу поперек ребер жорсткості ($p_n = 10 \text{ KN/m}^2$)

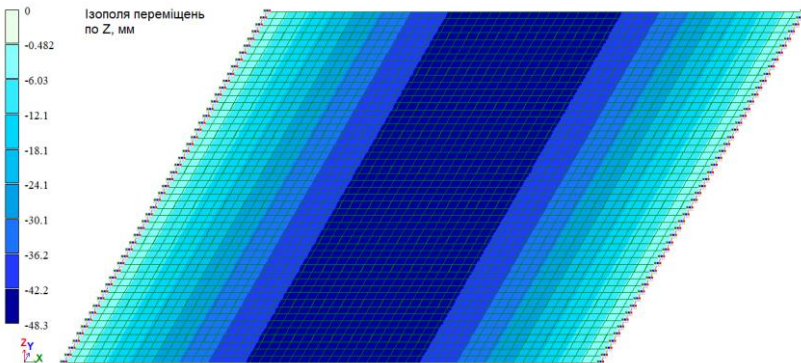


Рис. 7. Ортотропна пластина моделює згин профнастилу вздовж ребер жорсткості ($p_g = 100 \text{ H/m}^2$)

З допомогою модельної пластини ми можемо також здійснити оцінку міцності профнастилу. На рис. 8. подано хромодіаграму еквівалентних напружень, обчислених за критерієм Губера-Мізеса для 3D моделі профнастилу. Аналіз рис. 8 показує, що при згині профлиста впоперек ребер жорсткості проєктивним навантаженням $p_n = 10 \text{ KN/m}^2$, максимальні значення еквівалентних напружень набули значення 53.7 МПа.

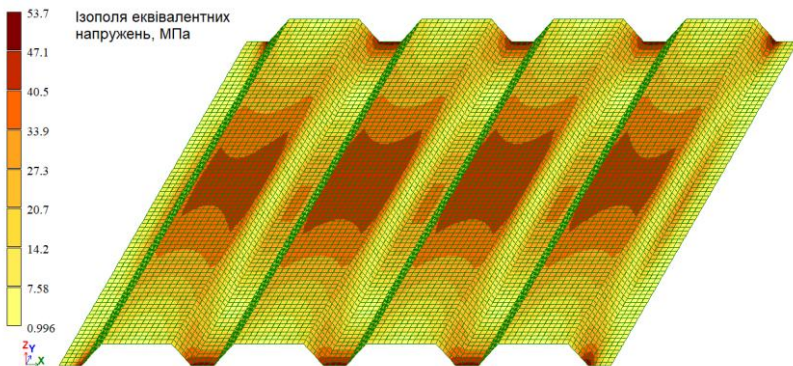


Рис. 8. Еквівалентні напруження в профнастилі, визначені за критерієм Губера-Мізеса

Аналізуючи результати аналогічного згину модельної пластини (рис. 9), можемо визначити максимальний згинальний момент у пластині – $\max M_x = 1.25 \text{ кНм/м}$.

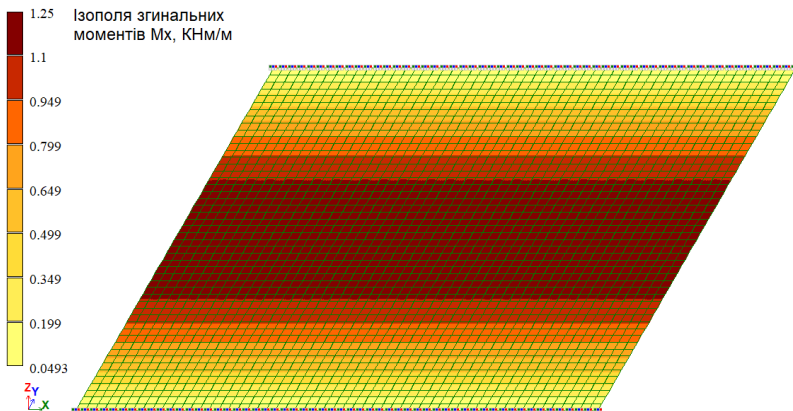


Рис. 9. Згинальні моменти в еквівалентній ортотропній пластині

Для фрагменту листа профнастилу завдовжки 1м визначили значення осьового моменту опору – $W_x = 22.6 \text{ см}^3$. Розділивши максимальний згинальний момент в модельній пластині на осьовий момент опору профнастилу $\max M_x / W_x$, отримаємо значення напруження 55.3 МПа для оцінки міцності. Зауважимо, що цей результат можна уточнити, додатково врахувавши напруження від дії згинального моменту – $\max M_y$. Однак ця

поправка буде відносно невеликою і задля простоти розрахунку нею можна знехтувати.

За допомогою еквівалентної ортотропної пластини визначено орієнтовні значення допустимих навантажень на профнастил (табл. 1). Критеріями для їх визначення обрано граничну несучу здатність за прогином $L_y/150$ та умову міцності профнастилу.

Таблиця 1. Допустимі навантаження на профнастил

Схема обпирання профнастилу	Допустиме навантаження p_n , кН/м ² при величині прогону L_y				
	$L_y=1.5\text{м}$	$L_y=2.0\text{м}$	$L_y=2.5\text{м}$	$L_y=3.0\text{м}$	$L_y=3.5\text{м}$
Однопрогінна	9.80	4.10	2.15	1.20	0.78
Двопрогінна	14.1	7.80	4.92	2.91	1.90

Загалом запропонована методика моделювання несучого профнастилу демонструє поєднання механічного розуміння та прагматизму інженерного моделювання. На відміну від традиційних повнооб'ємних моделей, які потребують надмірних обчислювальних ресурсів, запропонований підхід дозволяє спростити задачу без втрати ключових характеристик деформативності та несучої здатності профільованого листа. Це надає перспективу для використання аналогічних моделей у багатоелементних будівельних системах. Актуальним прикладом можуть слугувати безкаркасні аркові ангари, де несуча здатність огорожувальних оболонок визначає загальну жорсткість системи. У таких конструкціях профільований лист не лише виконує роль огорожувального елемента, а й формує несучий каркас за рахунок геометричної форми. Саме тут еквівалентна ортотропна пластина, яка враховує напрямну анізотропію згинальної жорсткості, може стати корисним інструментом для оцінки стійкості та втрати форми конструкції у глобальному масштабі.

Особливої уваги заслуговує перспектива впровадження у пропонованій моделі нелінійних ефектів – як геометричних (наприклад, великі прогини, або втрата стійкості), так і фізичних (робота матеріалу в пластичній області). Уточнення моделі в цьому напрямку дозволить перейти від умовно-лінійних оцінок до повноцінного конструктивного проєктування. Водночас у прикладному аспекті варто приділити увагу комбінованим конструкціям – наприклад, профнастилу, який використовується як незнімна опалубка в монолітних плитах. У таких задачах еквівалентна модель може бути розвинута до багатоповушарових ортотропних пластин з відповідним урахуванням контактних взаємодій.

Висновки

У дослідженні запропоновано ефективну числово-аналітичну методику моделювання несучого сталевго профнастилу з допомогою

еквівалентної ортотропної пластини, яка відтворює його деформаційну поведінку під дією типових експлуатаційних навантажень. Основою розробленого підходу є визначення еквівалентних модулів пружності, коефіцієнтів Пуассона, модуля зсуву та умовної товщини пластини шляхом аналізу прогинів, отриманих у віртуальних експериментах із повноцінною тривимірною моделлю профнастилу.

Верифікація запропонованої пластинчастої моделі підтвердила її здатність з високою точністю імітувати деформативні характеристики профнастилу в обох головних напрямках ортотропії. Крім того, з допомогою еквівалентної моделі можна проводити розрахунок максимальних еквівалентних напружень для оцінки міцності. Узагальнення результатів дало змогу визначити допустимі навантаження на профнастил залежно від довжини прогонів та схеми обпирання, що робить запропоновану модель корисним інструментом для практичного проектування.

Загалом запропонований підхід зменшує обчислювальні витрати, дозволяючи застосовувати ортотропні моделі у задачах моделювання дахових покриттів, багатопрогінних систем і інших конструкцій з великою кількістю елементів без втрати точності результатів. Отримані результати створюють передумови для подальшого розширення застосування еквівалентних моделей у практиці будівельної механіки та оптимізаційному проектуванні.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Література

1. Hassan H.Z., Saeed N.M. Advancements and applications of lightweight structures: a comprehensive review. *Discover Civil Engineering*. 2024. Vol. 1. Article 47. <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00049-z>
2. Li F.-H., Han B., Zhang A.-H., Liu K., Wang Y., Lu T.-J. A Three-Dimensional Vibration Theory for Ultralight Cellular Sandwich Plates Subjected to Linearly Varying

In-Plane Distributed Loads. *Materials*. 2023. Vol. 16, No. 11. Article 4086. <https://doi.org/10.3390/ma16114086>

3. Yoshino Y., Kimura Y. Strength and Stiffness of Corrugated Plates Subjected to Bending. *Buildings*. 2025. Vol. 15, No. 3. Article 469. <https://doi.org/10.3390/buildings15030469>

4. Li P., Wang S., Zhang M., Huang Z. Supporting Structure of Steel Corrugated Plate-Mold Bag Concrete and Its Application in a Circular Shaft. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 23. Article 12937. <https://doi.org/10.3390/app132312937>

5. Zhao Q., Qiu J., Zhao Y., Yu C. Performance-Based Seismic Design of Corrugated Steel Plate Shear Walls. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2022. Vol. 26. P. 3486–3503. <https://doi.org/10.1007/s12205-022-1188-9>

6. Korcz-Konkol N., Iwicki P. Corrugated Sheeting as a Member of a Shear Panel Under Repeated Load—Experimental Test. *Materials*. 2020. Vol. 13, No. 18. Article 4032. <https://doi.org/10.3390/ma13184032>

7. Peng L., Zhang Z., Wei D., Tang P., Mo G. Nonlinear Analysis of Corrugated Core Sandwich Plates Using the Element-Free Galerkin Method. *Buildings*. 2025. Vol. 15, No. 8. Article 1235. <https://doi.org/10.3390/buildings15081235>

8. John K., Ashraf M., Weiss M., Al-Ameri R. Experimental Investigation of Novel Corrugated Steel Deck under Construction Load for Composite Slim-Flooring. *Buildings*. 2020. Vol. 10, No. 11. Article 208. <https://doi.org/10.3390/buildings10110208>

9. Abramczyk J. Transformed Shell Structures Determined by Regular Networks as a Complex Material for Roofing. *Materials*. 2021. Vol. 14, No. 13. Article 3582. <https://doi.org/10.3390/ma14133582>

10. Aduke R.N., Venter M.P., Coetzee C.J. An Analysis of Numerical Homogenisation Methods Applied on Corrugated Paperboard. *Mathematical and Computational Applications*. 2023. Vol. 28, No. 2. Article 46. <https://doi.org/10.3390/mca28020046>

11. Zhang Y., Wang Y., Li X., Liu H. Equivalent orthotropic model for corrugated plates based on simplified constitutive relation. *Heliyon*. 2022. Vol. 8, No. 11. Article e11264. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11264> .

12. Shatskyi I., Kurtash I. Strength of Plate with the Filled Crack under Multiparameter Loading. *Procedia Structural Integrity*. 2018. Vol. 13. P. 1482–1487. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.305>

13. Shats'kyi I.P., Makoviichuk M.V. Contact interaction of crack lips in shallow shells in bending with tension. *Materials Science*. 2005. Vol. 41. P. 486–494. <https://doi.org/10.1007/s11003-006-0006-8>

14. Stress Analysis in Damaged Pipeline with Composite Coating / M. Dutkiewicz et al. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. P. 10676. <https://doi.org/10.3390/app112210676> .

15. Shats'kyi I.P., Makoviichuk M.V. Analysis of the limiting state of cylindrical shells with cracks about the contact of crack lips. *Strength of Materials*. 2009. Vol. 41. P. 560–565. <https://doi.org/10.1007/s11223-009-9166-8>

16. Pal P. Analysis of Corrugated Sheet Using FEM. *Journal of the Institution of Engineers: Series A*. 2021. Vol. 102. P. 33–41. <https://doi.org/10.1007/s40030-020-00502-z>

17. Saurav A.K., Bhola L., Mujumdar P.M., Guruprasad P.J. Equivalent plate model of shape memory polymer composite based variable height corrugated structure. *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 2024. Vol. 31, No. 30. P. 13210–13226. <https://doi.org/10.1080/15376494.2024.2334377>

18. Wennberg D., Wennhage P., Stichel S. Orthotropic Models of Corrugated Sheets in Finite Element Analysis. *International Scholarly Research Notices* 2011. Article ID 979532. <https://doi.org/10.5402/2011/979532>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 24.02.2025	Received 24.02.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 27.04.2025	Received in revised form 27.05.2025
Прийнято 01.06.2025	Accepted 01.06.2025
Опубліковано 25.06.2025	Published 25.06.2025

A. S. Velychkovych

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2685-8753>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

A. V. Andrusiak*

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2099-9045>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

O. V. Kozak

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0025-6554>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

I. I. Paliichuk

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8443-2702>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

V. V. Kulai

student of group B-21-2, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5744-8039>

Department of Construction

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019

* corresponding author, e-mail: andriiandrusiak@gmail.com

Numerical modeling of load-bearing corrugated board using. An equivalent orthotropic plate

How to Cite:

Velychkovych A. S., Andrusiak A. V., Kozak O. V., Paliichuk I. I., Kulai V. V., (2025). Numerical modeling of load-bearing corrugated board using an equivalent orthotropic plate. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 23, 85-88. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-08)

Abstract. Due to their high efficiency in terms of weight-stiffness and weight-strength, profiled steel sheets are widely used in modern construction as load-bearing elements for roofs, floors, and sandwich panels. The peculiarities of their design determine their pronounced orthotropic behavior, which requires special approaches to numerical modeling. While traditional three-dimensional finite element models provide high accuracy, they are excessively resource-intensive for practical design in the LIRA-CAD and SCAD Office software environments. This creates an urgent need for simplified, but at the same time sufficiently accurate, equivalent models. In this paper, we propose a numerical and analytical methodology for replacing corrugated sheeting with an equivalent orthotropic plate that reproduces the main characteristics of the sheet's bending stiffness in the main directions. Virtual experiments in the LIRA-SAPR environment allowed us to obtain the maximum deflections of the corrugated board under load along and across the stiffeners, which served as the basis for calculating the equivalent elastic moduli, Poisson's ratio, and shear modulus. The verification of the results confirms the ability of the orthotropic model to adequately reproduce not only the deformation behavior, but also allows for the assessment of the strength of the profiled plate under a typical load. The developed approach allows engineers to use simpler plate models in design calculations without losing accuracy, which is especially valuable in problems with a large number of elements. The usefulness of the proposed model will be especially noticeable when modeling large areas of roof coverings and in optimization design, where speed and computing resources are critical. The developed model allows us to effectively assess the permissible loads on corrugated board according to the criteria of maximum deflection and strength, taking into account the options for support and the length of the spans.

Keywords: metal structures, profile, stiffness, corrugated board, numerical model, orthotropic plate