

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

Кваліфікаційна магістерська робота

на тему: **АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ПЛОСКИХ ОГОРОДЖЕНЬ ПРИ ДІЇ ПОПЕРЕЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

Допустити до захисту

Завідувач кафедри БДМБ, к.т.н., професор

Владислав НАСТОЯЩИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи, к.т.н., доцент

Микола ПАШИНСЬКИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

Виконав студент спеціальності

192 – Будівництво та цивільна інженерія

Олександр КОЧЕРЖЕНКО

" ____ " _____ 2024 р.

[illegible]

АНОТАЦІЯ

У середовищі програмного комплексу Abaqus CAE змодельована й проаналізована робота тонкої та товстої пластини при дії осьового статичного навантаження різних рівнів. Досліджено вплив на напружено-деформований стан початкових недосконалостей форми, текучості та міцності на розрив сталі, граничних умов обпирання пластин, а також наявність крайової балки вздовж двох ненавантажених країв.

Величина початкових дефектів у дослідженому діапазоні виявляла незначний вплив на жорсткість і міцність сталевих пластин з високою гнучкістю, але дослідження пластини з низькою гнучкістю показало, що при збільшенні початкової недосконалості граничне навантаження зменшується. Зменшення початкових недосконалостей форми призводить до більш жорсткої початкової поведінки пластини.

Межа текучості сталі істотно впливає на результуючу несучу здатність пластини. Приріст несучої здатності більший для пластин з малою гнучкістю. Межа міцності сталі не впливає на структурну реакцію досліджених пластин тому, що в діапазоні дослідженої гнучкості напруження в пластині були лише трохи вищими від межі текучості.

На максимальну несучу здатність, жорсткість та форму вигину пластин істотно впливають граничні умови обпирання, тобто схеми закріплення країв плити від лінійного переміщення в площині й з площини плити та від повороту. Якщо ненавантажені краї зафіксовані від переміщень у площині плити, тонка пластина змінює одну напівсинусну хвилю на дві або три напівсинусові хвилі. У товстої пластини така поведінка не спостерігалася.

Наявність крайових балок (ребер жорсткості), які обмежують переміщення вільних країв плити у напрямку, перпендикулярному її площині, істотно підвищує несучу здатність пропорційно до ширини ребер та зміщує точку максимуму навантаження у бік більших деформацій.

Виконані дослідження дозволяють виділити й урахувати фактори, що впливають на роботу плоских сталевих плит та орієнтовно оцінити їх напружено-деформований стан.

SUMMARY

In the Abaqus CAE software package environment, the operation of a thin and thick plate under the action of axial static loading of different levels was simulated and analyzed. The influence on the stress-strain state of the initial shape imperfections, the yield and tensile strength of the steel, the boundary conditions of the plates' support, as well as the presence of an edge beam along two unloaded edges was studied.

The magnitude of the initial defects in the studied range had a negligible effect on the stiffness and strength of a steel plate with high flexibility, but the study of a plate with low flexibility showed that with an increase in the initial imperfection, the ultimate load decreases. A decrease in the initial shape imperfections leads to a stiffer initial behavior of the plate.

The yield strength of the steel significantly affects the resulting bearing capacity of the plate. The increase in bearing capacity is greater for plates with low flexibility. The ultimate strength of the steel does not affect the structural response of the plates studied because in the range of investigated flexibility the stresses in the plate were only slightly higher than the yield stress.

The maximum bearing capacity, stiffness and bending shape of the plates are significantly affected by the boundary conditions of support, i.e. the schemes of fixing the plate edges against linear displacement in the plane and out of the plate plane and against rotation. If the unloaded edges are fixed against displacements in the plane of the plate, a thin plate changes one half-sine wave into two or three half-sine waves. This behavior was not observed in a thick plate.

The presence of edge beams (stiffening ribs), which limit the displacement of the free edges of the plate in the direction perpendicular to its plane, significantly increases the bearing capacity in proportion to the width of the ribs and shifts the point of maximum load towards larger deformations.

The conducted studies allow us to identify and take into account the factors that affect the operation of flat steel plates and to roughly assess their stress-strain state.

З М І С Т

В С Т У П.....	3
Розділ 1.....	6
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1 Історія виникнення, характеристики, застосування та робота легких огорожувальних конструкцій.....	6
1.2 Граничні стани та розрахункові ситуації.....	12
1.3 Фактори, що впливають на стійкість стиснутих елементів.....	14
1.4 Розв'язування нелінійних задач методом скінченних елементів.....	23
1.5 Висновки з огляду літератури та завдання досліджень	26
Розділ 2.....	28
ПЕРЕДУМОВИ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ГОФРОВАНОГО МЕТАЛЕВОГО ЛИСТА	28
2.1 Механічні характеристики сталей.....	28
2.2 Пошук раціонального розміру сітки при моделюванні роботи пластин...	35
2.3 Початкові дефекти та їх вплив на роботу пластин	37
2.4 Висновки з розділу.....	38
Розділ 3.....	39
АНАЛІЗ РОБОТИ ГОФРОВАНОГО МЕТАЛЕВОГО ЛИСТА ПРИ ДІЇ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	39
3.1 Схема прикладання навантаження та граничні умови.....	39
3.2 Аналіз результатів статичних розрахунків.....	41
3.3 Вплив закріплення по краях пластини.....	44
3.4 Висновки з розділу.....	46

					КМР 2319220 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз напружено-деформованого стану плоских огорожень при дії поперечних навантажень	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Кочерженко О.Д.						
Перевірів		Пашинський М.В.					1	69
						ЦНТУ гр. БІ-23М-1		
Н. Контр.		Дарієнко В.В.						
Затвердив		Настоящий В.А.						

Розділ 4.....	48
ДОСЛІДЖЕННЯ ТОВСТОЇ СТАЛЕВОЇ ПЛАСТИНИ.....	48
<i>Висновки з розділу.</i>	<i>52</i>
ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	53
CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
Додаток А	59
ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ МОНТАЖІ СТАЛЕВИХ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ	59
A.1 Загальні заходи з охорони праці та вимоги до персоналу	59
A.2 Вимоги до будівельно-монтажних площадок і складських робіт.....	63
A.3 Заходи безпеки при монтажі сталевих несучих конструкцій.....	66
A.4 Засоби захисту працюючих і організація робочих місць.....	67
A.5 Заходи пожежної безпеки.....	68

ВСТУП

Актуальність теми. У будівництві поширене використання несучого гофрованого металевих листа (сталевих профільованих настилу), який суміщає несучі та огорожувальні функції в покриттях і стінах виробничих і громадських будівель. Перевагами такої конструкції є індустріальна виготовлення настилів, простота монтажу, досить хороший зовнішній вигляд, можливість створювати утеплені огороження, легкість, достатня несуча здатність та жорсткість, яка досягається за рахунок гофрування з різними значеннями висоти й ширини гофрів.

Відомі досить прості інженерні методи наближеного розрахунку сталевих профільованих настилу, який працює на згин за схемою простої чи нерозрізної балки. У деяких конструкціях настил працює на стиск під навантаженням, прикладеним у площині пластини настилу, що може призвести до втрати стійкості. Більш точний розрахунок можна виконати шляхом моделювання роботи пластин за методом скінченних елементів. Такий підхід дозволить не лише розрахувати певні конкретні конструкції на дію поздовжніх і поперечних навантажень, але й виявити зовнішні та внутрішні фактори, які визначають напружено-деформований стан пластин настилу, та визначити характер і міру впливу цих факторів на несучу здатність і деформативність настилів.

Виходячи з потреби глибокого аналізу роботи гофрованих сталевих настилів під навантаженням, обрана тема кваліфікаційної магістерської роботи.

Мета дослідження: шляхом моделювання методом скінченних елементів вивчити напружено-деформований стан гофрованого листового металу при дії статичного навантаження, проаналізувати вплив різних факторів на деформативність і несучу здатність плоских сталевих пластин.

Основні задачі дослідження полягають у наступному:

1. Розробити методику моделювання сталевих настилів у середовищі програмного комплексу Abaqus CAE та виявити раціональний крок сітки методу скінченних елементів.
2. Розробити схему подання діаграми роботи сталі, встановити й проаналізувати необхідні для моделювання пластичні характеристики різних сталей.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3. Провести чисельне моделювання роботи сталевих пластин при дії статичного навантаження з різними комбінаціями характеристик матеріалу, геометричних параметрів, умов закріплення країв пластини, початкових недосконалостей та інших факторів.
4. Дослідити вплив характеристик матеріалу, геометричних параметрів, крайових умов закріплення країв пластини, початкових недосконалостей та інших факторів на напружено-деформований стан тонкої сталевий пластини при статичному навантаженні.
5. Повторити комплекс досліджень тонких пластин для подібних пластин більшої товщини, які працюють в аналогічних умовах.
6. Порівняти отримані результати моделювання роботи тонких і товстих пластин із результатами опублікованих теоретичних та експериментальних досліджень подібних конструкцій та узагальнити наявну інформацію щодо якісної поведінки та особливостей напружено-деформованого стану пластин з гофрованого сталевий листа при дії статичного навантаження.

Об'єкт дослідження: вплив внутрішніх і зовнішніх факторів на напружено-деформований стан, характер деформування, деформативність і несучу здатність пластин із сталевий листа при дії статичного навантаження.

Предмет дослідження: залежності між навантаженням і деформаціями сталевий пластин у площині та з площини пластини.

Методи дослідження базуються на чисельному моделюванні пластин методом скінченних елементів у середовищі програмного комплексу Abaqus CAE.

Наукова та технічна новизна результатів виконаних досліджень:

- 1) виявлені та проаналізовані зовнішні та внутрішні фактори, які впливають на напружено-деформований стан пластин настилу, визначено характер і ступені впливу цих факторів на несучу здатність і деформативність настилів;
- 2) шляхом моделювання сталевий настилів у середовищі програмного комплексу Abaqus CAE виявлено раціональний крок сітки методу скінченних елементів та розроблена схема подання діаграм роботи сталі;

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3) встановлено, що на несучу здатність та деформативність пластин сталевих настилів істотно впливає межа текучості сталі, але не впливає межа міцності; істотно впливають граничні умови обпирання та наявність крайових балок на вільних краях плити; початкових недосконалості форми мало впливають на гнучкі плити, але зменшують несучу здатність більш товстих плит.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- 1) освоєння методики моделювання сталевих настилів у середовищі програмного комплексу Abaqus CAE при оптимальних значеннях параметрів моделі;
- 2) виявлення залежностей напруження-деформація та несучої здатності пластин при статичному навантаженні для різних комбінацій факторів, що впливають на роботу пластин;
- 3) формулювання практичних рекомендацій щодо вибору параметрів скінченно-елементної моделі при дослідженні напружено-деформованого стану настилу.

Апробація та публікація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи були представлені на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (Кропивницький, листопад 2024 року) та опубліковані в тезах доповіді: А.О. Корженко, О.Д. Кочерженко, М.В. Пашинський. Аналіз напружено-деформованого стану профільованого листа при дії ударних навантажень. Кропивницький: ЦНТУ, 2024.

Структура роботи. Робота містить 69 сторінок (вступ, 4 розділи, висновки, один додаток), у тому числі 9 таблиць, 35 малюнків, список літератури з 19 використаних джерел, анотацію українською та англійською мовами, а також мультимедійну презентацію з 21 слайду.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Історія виникнення, характеристики, застосування та робота легких огорожувальних конструкцій

Досить часто ефективним і дешевим рішенням для стін і дахів будівель різного призначення є використання легких огорожень у вигляді гофрованого металевих листа або сандвіч-панелей. Ці конструкції вкладають на основні несучі балки чи на прогони між кроквяними фермами даху, або навішують на несучі колони чи колони фахверку. Вони виконують роль огорожень та сприймають статичні навантаження на дах. Поширеним типом легких огорожень є гофрований металевий лист трапецієподібного профілю лист. Нижче описана історія виникнення цього виробу, його конструкція й робота під навантаженням.

Профнастил, або профільований лист, є популярним будівельним матеріалом, який використовується для покрівлі, облицювання стін, будівництва огорож та інших конструкцій. Історія його виникнення та розвитку має декілька ключових етапів.

Перший етап: початок профілювання металу. Перші згадки про використання профільованого металу можна знайти у XIX столітті. У цей час у Великій Британії почали використовувати металеві листи для будівництва залізничних вагонів та складів. Профілювання надавало додаткової жорсткості та міцності виробам.

Другий етап: розвиток промислових технологій. У 1920-х роках з'явилися нові методи обробки металу, які дозволяли створювати більш складні профілі. Це сприяло розширенню використання профільованих листів у будівництві.

Третій етап: післявоєнний бум. Після Другої світової війни відбулося значне зростання попиту на будівельні матеріали. Профнастил став популярним завдяки своїй доступності, простоті монтажу та довговічності. Він широко використовувався у промисловому та житловому будівництві.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Четвертий етап: сучасний період. З 1960-х років профнастил почали активно виробляти та використовувати у різних країнах світу. З розвитком технологій з'явилися різні види покриття, такі як оцинкування та полімерні покриття, які значно підвищили стійкість профнастилу до корозії та механічних пошкоджень.

П'ятий етап: новітні технології. Сьогодні виробництво профнастилу використовує високотехнологічне обладнання та комп'ютерні системи контролю якості. Це дозволяє створювати профнастил з різними характеристиками, формами та кольорами, тим самим задовольняючи потреби найрізноманітніших будівельних проєктів.

Таким чином, профнастил пройшов довгий шлях від простих профільованих листів до високоякісного сучасного будівельного матеріалу, який користується великою популярністю у всьому світі.

В Україні є кілька великих виробників профнастилу, які постачають цей матеріал на внутрішній ринок і за кордон. Ось деякі з них:

"Арсенал-Центр": один із найбільших виробників профнастилу в Україні. Компанія пропонує широкий асортимент продукції, включаючи профнастил для покрівлі та стін.

"Модуль Україна": компанія спеціалізується на виробництві металопрофілю, зокрема профнастилу, а також іншої покрівельної продукції.

"Укрсталь Конструкція": виробник, що спеціалізується на виготовленні профільованих листів та металоконструкцій. Компанія має сучасне виробниче обладнання та пропонує продукцію високої якості.

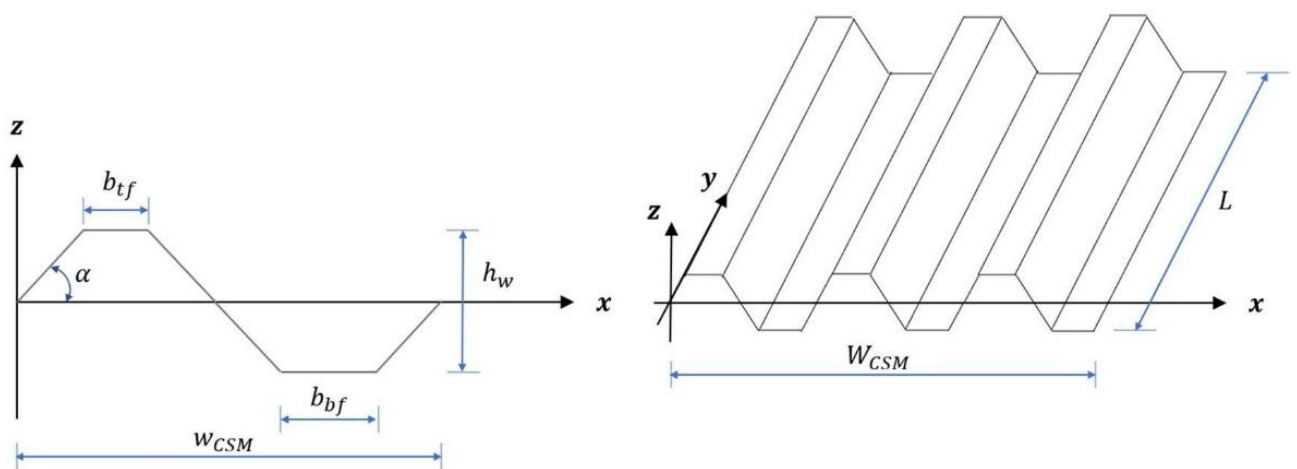
"Стальбудмонтаж": компанія, яка займається виробництвом та постачанням профнастилу та інших будівельних матеріалів. Вони пропонують різні типи профнастилу для різних застосувань.

"Прушиньські": українське представництво польської компанії Pruszynski, одного з провідних виробників профільованих листів у Європі. Виробництво в Україні забезпечує високу якість та доступність продукції.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Ці компанії пропонують різноманітні типи профнастилу з різними характеристиками та кольорами, що дозволяє задовольнити потреби широкого кола споживачів у будівельній галузі. Загальні вимоги до профнастилу встановлені Державними стандартами України [1].

Залежно від довжини прольоту та прикладеного навантаження на дах, конструкція трапецієподібної геометрії профнастилу відрізняється. Параметрами, що відрізняють різні профілі, є товщина пластини t , висота гофри h_w , ширина верхньої та нижньої полицки b_{tf} та b_{bf} , кут стінки α та ширина двох стінок. Ці позначення вказані на малюнку 1.1, де додатково показано загальну ширину панелі W_{CSM} і довжину панелі L .



Малюнок 1.1. Геометрія трапецієподібного листа з позначенням його параметрів

Існують два різних типи трапецієподібних сталевих настилів, які використовуються для покрівлі: одна з ізоляцією та пластиковим листовим покриттям поверх сталевोї пластини та інша без листового покриття. Найпоширенішим способом є ізоляція та листове покриття поверх сталевोї пластини. Максимально допустима довжина та ширина прольоту змінюється, виходячи з геометрії пластини та якості сталі.

Ще одна річ, яка впливає на значення розмірів різних трапецієподібних листів - це властивості сталі, різноманітність вхідних параметрів відповідно до згаданих вище виробників, основні межі зміни яких наведено в таблиці 1.1.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Різноманітність вхідних параметрів для трапецієподібних несучих профільованих листів, що використовуються на українському ринку

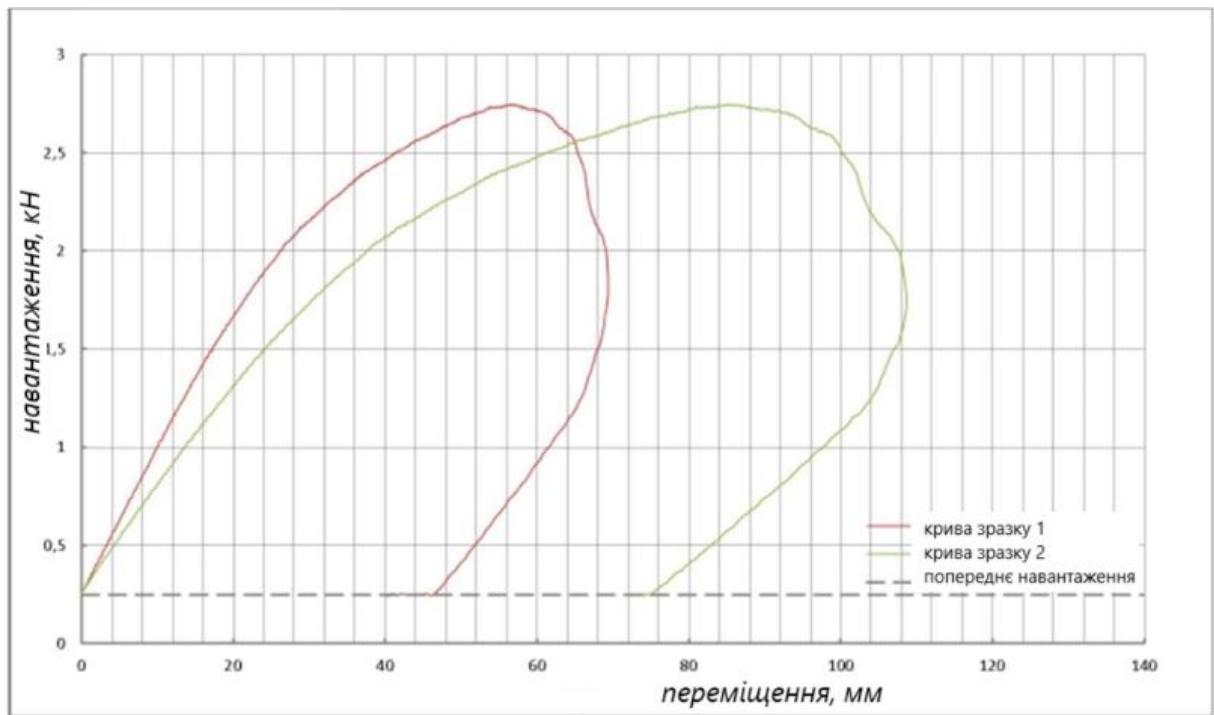
Вхідний параметр	Стандартні значення
Клас міцності сталі	220, 250, 280, 320, 350, 450
Товщина металу t , мм	0.6 - 1.5
Висота гофри h_w , мм	44 - 203
Ширина верхньої полицки b_{tf} , мм	60 - 201
Ширина нижньої полицки b_{bf} , мм	30 - 85
Сумарна ширина двох стінок, верхньої та нижньої полицки W_{CSM} , мм	151 - 427

Несучий трапецієподібний лист, який використовується для покрівлі, в статичному випадку навантажується поперечним навантаженням. Поперечне навантаження складається з власної ваги ізоляційного та листового матеріалу, що накладається на сталевий настил, вітрового та снігового навантаження. При вивченні динамічної роботи конструкції з огляду на навантаження від вибуху, сталева пластина піддається поширенню вибухової хвилі.

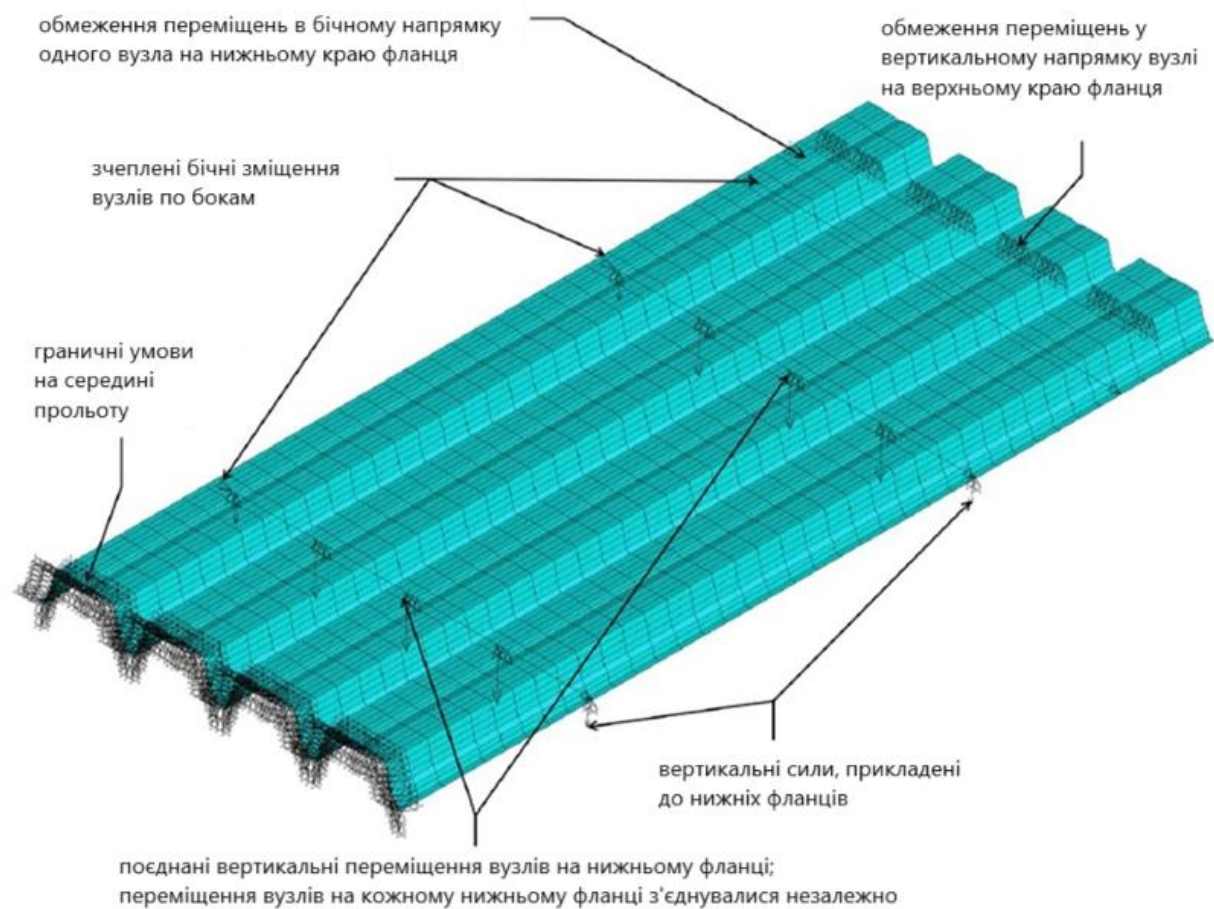
На структурну поведінку гофрованого металевго листа під навантаженням впливають граничні умови кріплення пластини. У статті [2] досліджена синусоїдальна пластина з простою опорою, яка піддається розподіленим лінійним навантаженням. При вивченні залежності навантаження від переміщення, показаної на малюнку 1.2, видно, що після досягнення граничного навантаження переміщення продовжує зростати при зменшенні навантаження.

У Дегтярьова [3] гофрований лист, підданий точковим навантаженням, досліджувався в моделі скінченних елементів, як показано на малюнку 1.3. Крива прогин–навантаження на малюнку 1.4 побудована для трапецієподібного профнастилу, де навантаження прикладається до нижньої полицки, верхньої полицки та ребра відповідно в положеннях: $L/8$ (довжина поділена на вісім) і в середині пластини, тобто $L/2$. Змодельована сталева пластина імітувала справжню плиту з фіксованим кріпленням до палуби.

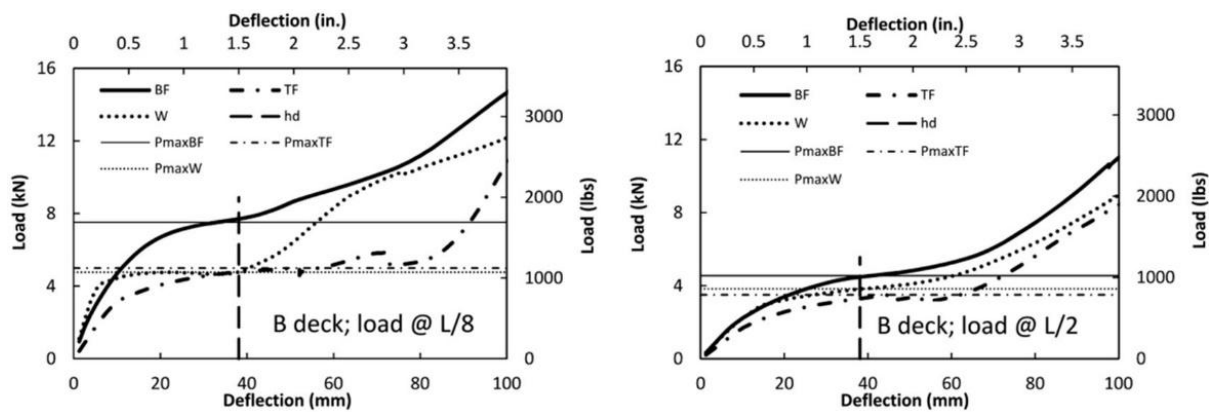
					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Малюнок 1.2. Залежності навантаження-переміщення експериментального зразка, що піддається розподіленим лінійним навантаженням [2].



Малюнок 1.3. Однопролітний сталевий настил трапецієподібної форми, що піддається точковим навантаженням



Малюнок 1.4. Залежності навантаження-прогини для трапецієподібної сталевій пластини, підданої точковим навантаженням у двох різних місцях уздовж пластини за даними [3] і малюнка 1.3

З малюнка 1.4 видно, що практично відсутні зони, де навантаження зменшується, при збільшенні переміщення. Безпосередньо після виникнення зон пластичності виникає ефект зміцнення. За словами Дегтярьова, це пов'язано з мембранним характером роботи пластини. При такій поведінці ставляться великі вимоги до кріплення пластини, яке має бути достатньо міцним, щоб витримувати розпирні зусилля в мембрані.

У якості огорожувальних конструкцій широко використовуються також сандвіч-панелі, які мають високі теплотехнічні характеристики й технологічні якості, помірні ціни та естетичну привабливість. Принцип утворення й виробництва сандвіч-панелей був описаний наприкінці 1950-тих років, а їх широке використання в будівництві України розпочалося в середині 1980-тих років. Наступним етапом стало упровадження в 1990-тих конструкційних сандвіч-панелей із сердечником з мінераловатних плит. Високі класи точності дозволили ущільнити з'єднання панелей та ліквідувати «містки холоду», через які відбувалися великі втрати тепла.

Сьогодні сандвіч-панелі можуть сполучати металеві чи залізобетонні обшивки та плити з ефективних утеплювачів, зазвичай мінеральної вати чи пінополістиролу. Такі панелі використовуються як при зведенні малоповерхових будівель (особистий гараж, госпблок, автомийка, ангар чи супермаркет), так і в

якості огорожень багатопверхових будинків. Така конструкція легко монтується, не вимагає додаткового опорядження, має відносно невисоку вартість та строк служби не менше 25 років. Основними перевагами сендвіч-панелей є високі теплоізоляційні та шумоізоляційні характеристики, вогнестійкість, малі транспортні витрати, зменшення навантажень на фундаменти, висока швидкість зведення будівель, можливість розбирання й повторного використання, відсутність необхідності опорядження, довговічність, низьке вологовбирання та високі гігієнічні якості.

Порівняно із цеглою, залізобетонними панелями чи іншими традиційними матеріалами, використання сандвіч-панелей забезпечує зменшення вартості будівництва й реконструкції об'єктів, що додатково підтвердження доцільність їх широкого використання в будівництві.

1.2 Граничні стани та розрахункові ситуації

Вимоги до огорожувальних і несучих конструкцій формуються в нормах проєктування [4-7] у вигляді встановлення граничних станів, які визначають межу допустимих і недопустимих станів конструкції. Перехід через граничний стан вважається станом відмови певного виду. Згідно з [5], **граничні стани** поділяють на дві групи:

- перша група – граничні стани, що відповідають повній непридатності об'єкта до експлуатації (руйнування, втрата стійкості форми чи положення, якісна зміна форми та утворення змінної системи тощо);
- друга група – граничні стани, що ускладнюють нормальну експлуатацію об'єкта (надмірні переміщення чи повороти, недопустимі коливання, утворення й розкриття тріщин, локальне деформування, фізичне зношення, зокрема від корозії, значні втрати тепла через огороження, недостатня шумоізоляція тощо).

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

В розрахунках конструкцій слід аналізувати *розрахункові ситуації* трьох типів, перелік яких встановлений в ДБН [8]:

- усталені, що відповідають тривалій експлуатації об'єкта;
- перехідні, що відображають порівняно короткий період зведення, ремонту чи реконструкції об'єкта;
- аварійні, що мають невелику ймовірність появи та невелику тривалість, але можуть викликати значні наслідки.

Кожен граничний стан відображається в нормах проєктування сталевих конструкцій [8] та конструкцій інших видів відповідною граничною нерівністю, яка враховує характеристики конструкції, діючі навантаження, розрахункову ситуацію та особливості роботи конструкції у цій ситуації.

В європейських нормах EN [7] аварійні розрахункові ситуації прийнято називати випадковими граничними станами. Згідно з [9] при проєктуванні з урахуванням випадкових граничних станів важливо досягти такої конструкції, щоб основні функції безпеки конструкції не зазнавали впливу під час аварії або протягом певного періоду після аварії. Основними критеріями для перевірки випадкових граничних станів є обмеження випадкових наслідків, таких як пошкодження конструкції та забруднення навколишнього середовища. Можливими аваріями в конструкціях є пожежа, вибух, обвал фундаменту або землетруси, тому при проєктуванні з урахуванням випадкових граничних станів слід проаналізувати такі основні функції конструкції:

- Розсіювання енергії, пов'язане з ударостійкістю;
- Несуча здатність місцевих несучих елементів;
- Цілісність глобальної структури;
- Допустимі деформації розтягування;
- Захист від вогню.

Граничну нерівність з урахуванням навантаження, переважно орієнтованого на удар, слід записати з використанням критеріїв, пов'язаних з розсіюванням енергії. Ці критерії встановлюють таким чином, щоб не було втрачено безпеку конструкції в аварійній розрахунковій ситуації.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1.3 Фактори, що впливають на стійкість стиснутих елементів

Вигин (локальна втрата стійкості елемента).

Коли сталева пластина піддається навантаженню, напруження почне розподілятися всередині поперечного перерізу елемента [10]. Виходячи з гнучкості елементів, що використовуються в поперечному перерізі, може існувати ризик локального вигину в поперечному перерізі. Чим тонший поперечний переріз, тим більший ризик появи цього явища, і якщо пластина дуже тонка, локальна втрата стійкості може з'явитися навіть у пружному діапазоні, тобто до досягнення межі текучості в будь-якій точці поперечного перерізу. При проектуванні пластини на основі навантаження згину враховуються три компоненти: гнучкість пластини, граничні умови та навантаження, якому піддається сталевий елемент. І граничні умови, і навантаження враховуються в коефіцієнті прогину k , тоді як гнучкість враховується в класі поперечного перерізу пластини.

Згідно з ДБН [8], гнучкість та умовна гнучкість стиснутого елемента визначаються за формулами:

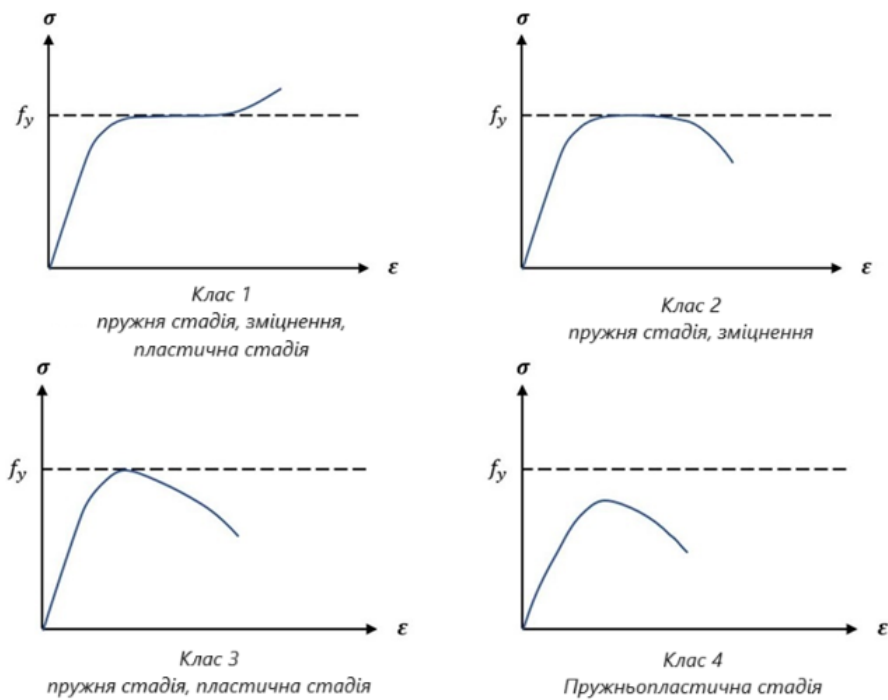
$$\lambda = l_{ef}/i, \quad \bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y/E}, \quad (1.1)$$

які враховують параметри, необхідні для визначення коефіцієнта стійкості.

Для плоских пластин ДБН [8] трактує гнучкість як відношення ширини пластини до її товщини, що й враховується при перевірці місцевої стійкості елементів складених перерізів.

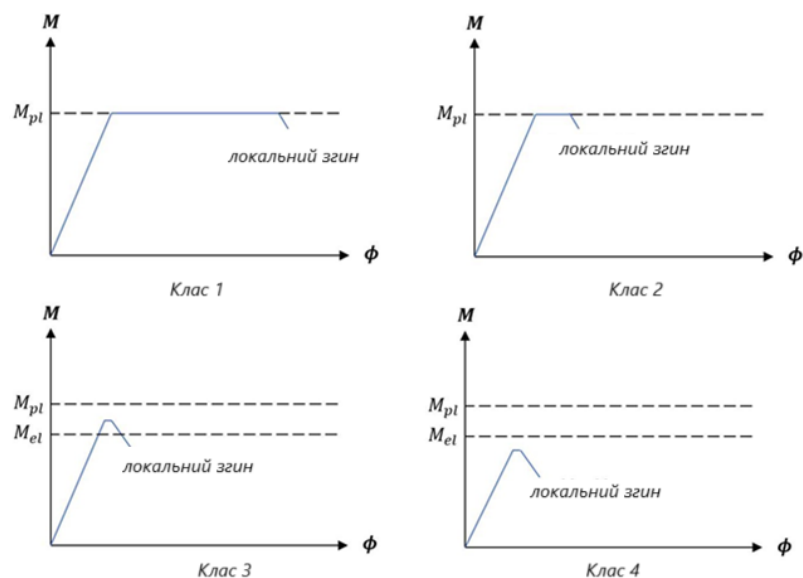
У Єврокодi є чотири різні класи поперечного перерізу (CSC), на які поділяється сталевий елемент для визначення ризику локального вигину, класи від 1 до 4 [10]. До якого класу поперечного перерізу належить елемент, залежить від коефіцієнта гнучкості λ , до якого належить кожна окрема пластина в поперечному перерізі. Виходячи з класу поперечного перерізу, визначається критичне напруження під час прогину пластини, як показано на малюнку 1.5.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Малюнок 1.5. Залежності напруження-деформація для пластин із чотирма різними класами поперечного перерізу. Малюнок на основі [10].

Якщо сталевий елемент відноситься до класу 1 або 2 (компактні перерізи), можна досягти повного пластичного розподілу для поперечного перерізу. Якщо натомість елемент знаходиться в CSC 3, допускається лише розподіл пружних напружень. У класі поперечного перерізу 4 вигин пластини з'являтиметься в межах пружного діапазону, як це показано на малюнку 1.6.



Малюнок 1.6. Опір перерізу елемента на вигин для різних класів перерізу.

Малюнок на основі [10].

Порівнюючи малюнок 1.5 і малюнок 1.6, видно, що для класу поперечного перерізу 1 існує високий опір поперечного перерізу, оскільки тут досягається повна пластичність до зміцнення деформацією. Якщо натомість, дивлячись на поперечний переріз, спостерігається низький опір класу 4, локальне вигинання з'являється до досягнення пружного моменту, що також показано на малюнку 1.6, де крива не досягає текучості.

В ДБН [8] сталеві елементи поділяються на три класи за напружено-деформованим станом:

- 1 клас – повністю пружна робота сталі;
- 2 клас – з частковим розвитком пластичних деформацій;
- 3 клас – з утворенням пластичного шарніра.

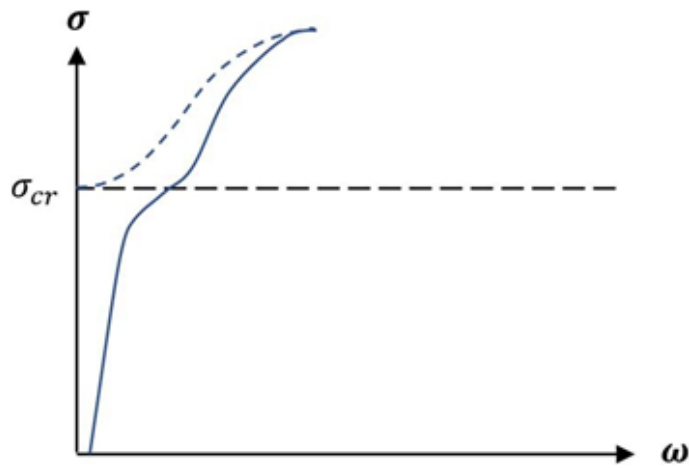
Елементи 1 класу мають найнижчу, а 3 класу – найвищу несучу здатність, що й враховують розрахункові формули ДБН [8]. Разом з тим, розвиток пластичних деформацій допускається лише в певних розрахункових ситуаціях.

Початкові дефекти та залишкові напруження.

Коли виготовляються сталеві елементи, завжди є певні недосконалості, які змушують сталевий елемент поводитись інакше, ніж це робила б ідеальна деталь [10]. Можуть бути такі наслідки, як геометрично непряма колона або елемент може мати певні відхилення, і ці аспекти можуть сильно вплинути на кінцеву міцність колони. Тому при проєктуванні сталевої конструкції враховуються так звані початкові недосконалості. Відповідно до EN 1993-1-1 і ДБН [8], вплив початкових дефектів враховується різними кривими вигину та коефіцієнтами стійкості, залежними від геометрії поперечного перерізу.

Вплив початкових недосконалостей на конструкцію залежить від їх величини [10]. Чим більше початкових недоліків, тим більший вплив вони мають на здатність конструкції до прогину, а отже, здатність до вигину σ_{cr} потрібно відповідно зменшити, що показано на малюнку 1.7.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Малюнок 1.7. Схематичний графік залежності напруження від бічного зміщення, який показує вплив початкових дефектів на критичне та кінцеве напруження пластини, що піддається стиску. Пунктирна лінія позначає ідеально ідеальну пластину, а суцільна — пластину з початковими дефектами

Як видно з графіка, на відміну від здатності до прогину, початкові недоліки мають незначний вплив на максимальну несучу здатність σ_u , яка однакова для обох кривих. З вивчення малюнка також видно, що перехід у точці біфуркації, тобто у точці, де досягається σ_{cr} , є більш плавним, якщо врахувати початкові недоліки. Цей перехід тим плавніший, чим більше початкових недоліків, але це не впливає на кінцеву несучу здатність. Виходячи з цього, вигин поза площиною з'являтиметься поступово і не буде різко проявлятися для пластин із початковими дефектами та залишковими напруженнями.

Вплив залишкових напружень подібний до ефектів, які дають початкові дефекти, і тому часто буває «прихованим» ефектом від початкових дефектів. Через це може виникнути проблема, якщо є необхідність відокремити вплив від залишкових напружень і початкових дефектів. Зазвичай ці впливи розглядаються в сукупності.

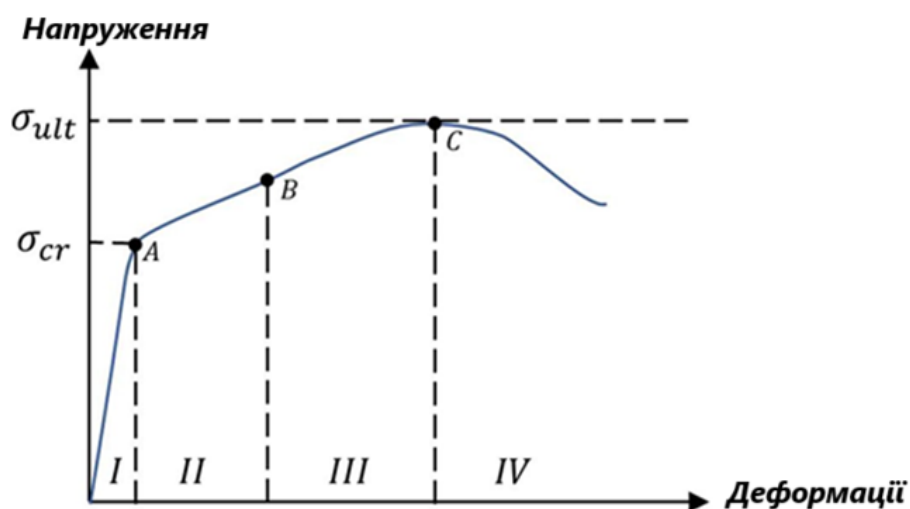
Поведінка після вигину (втрати стійкості).

Пластина вигинається під час дії критичного навантаження, яке призводить до втрати стійкості [11-13]. Коли пластина вигинається, це означає, що вона переходить з одного стану рівноваги (пластина, що працює на згин), до іншого (пластина, що втратила стійкість). Якщо навантаження все ще збільшується після

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

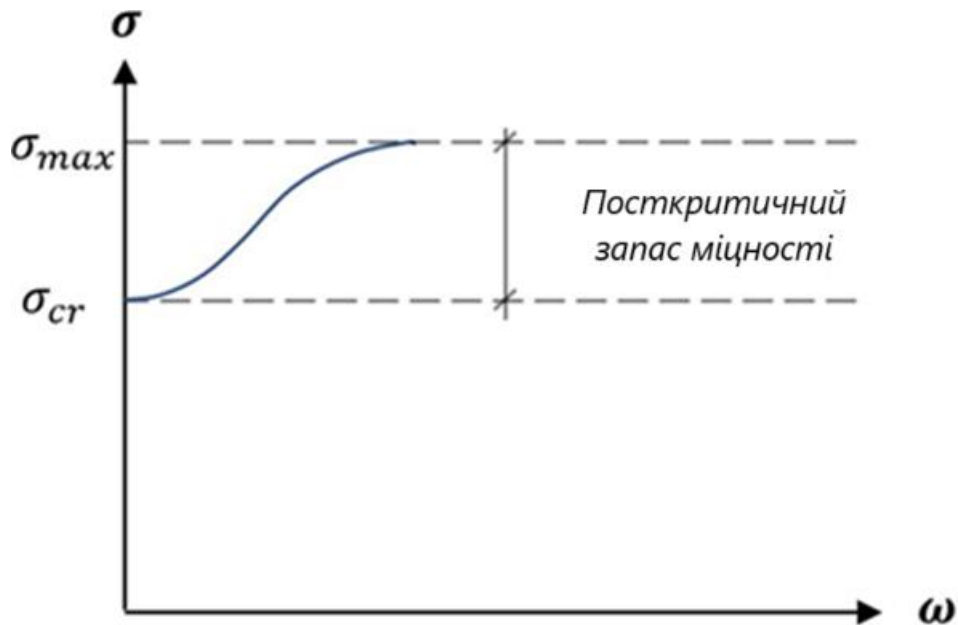
згину, пластина може перебувати у двох стадіях. Якщо переміщення збільшується при збільшенні навантаження, тоді пластина знаходиться у стабільному стані рівноваги після згину. Якщо натомість переміщення пластини збільшується зі зменшенням навантаження, тоді пластина є нестабільною і відбувається втрата стійкості. Тип поведінки залежить від типу пластини, типу навантаження, геометрії та розміру початкових дефектів.

Послідовність прогинання тонкостінної конструкції можна розділити на чотири різні етапи, що показано на малюнку 1.8. Перший етап - це стадія без прогину. Тут нахил кривої на графіку пов'язаний з початковими дефектами. Якщо початкові дефекти відсутні, то зменшення розміру дорівнює нулю, а якщо початкові недоліки збільшуються, то зменшення розміру зростає. У точці А напруження досягли навантаження прогину, і виникає локальне прогинання. Другий етап - це стабільний етап рівноваги після прогину, тут пластина може витримати подальше навантаження, при збільшенні прогинів. У точці В напруга досягає межі текучості, і пластина починає пластифікуватися або досягається точка біфуркації. Це означає, що поведінка пластини нестабільна і досягається так звана посткритична рівновага. На третій стадії пластина має пружно-пластичну післякритичну поведінку. Цей етап триває до досягнення максимального навантаження (точка С), що є несучою здатністю сталевих конструкцій. Після того, як точка С досягнута, фаза, що залишилася, є стадією відмови (четверта фаза).



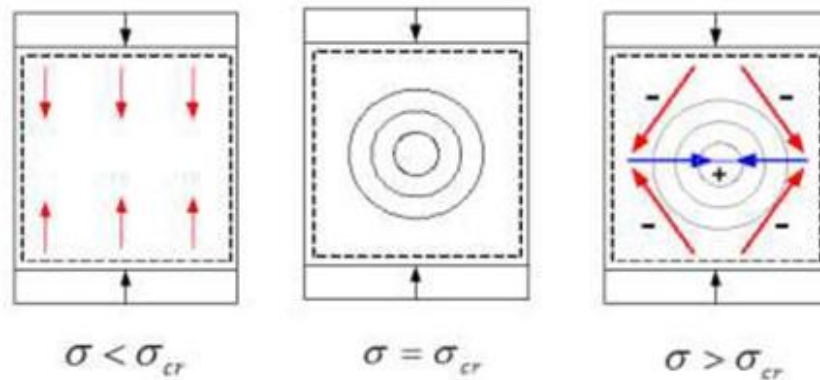
Малюнок 1.8. Залежність напруження від поперечного зміщення для тонкостінної конструкції. Малюнок за даними [11]

При аналізі балки або колони з гофрованого листового металу виявляється ризик викривлення плити [10]. Залежно від форми та граничного стану, змінюються режим вигину та величина вигину. Щоб зрозуміти, як сталь буде деформуватися, досліджується окрема пластина. Коли пластина піддається стискаючій силі, вона залишатиметься прямою, доки не буде досягнуто необхідного для вигину значення навантаження. Після цього все ще може бути прикладене деяке додаткове навантаження після того, як відбулося вигинання, завдяки посткритичному резерву міцності, показаному на малюнку 1.9.



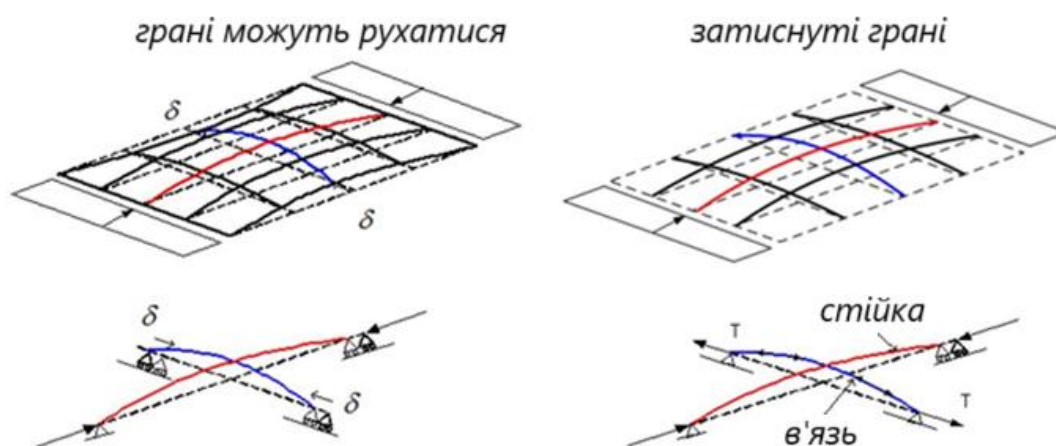
Малюнок 1.9. Співвідношення напруження-деформація для сталевій пластини та ефект післякритичної залишкової міцності

Причина того, що пластина може нести додаткове навантаження після досягнення навантаження прогину, полягає в тому, що утворюються мембранні сили, які стабілізують вигин через поперечну смугу натягу. Область, яка викривилася, втрачає значну частину своєї жорсткості, і через це сила в пластині повинна розподілятися навколо цієї зони на область, яка працює на згин і яка є жорсткішою [10]. Коли стискаюча сила поширюється на краї пластини, через зону вигину створюється поперечна мембрана, що розтягується, щоб зберегти рівновагу сил у пластині, що продемонстровано на малюнку 1.10.



Малюнок 1.10. Схематичне зображення того, як сила розподіляється в пластині до та після того, як пластина прогинається [10].

Те, як пластина поводитиметься під дією стискаючої сили, залежить від граничних умов [10]. Граничні умови впливають як на розташування зони втрати місцевої стійкості, так і на її форму та величину, що показано на малюнку 1.11.



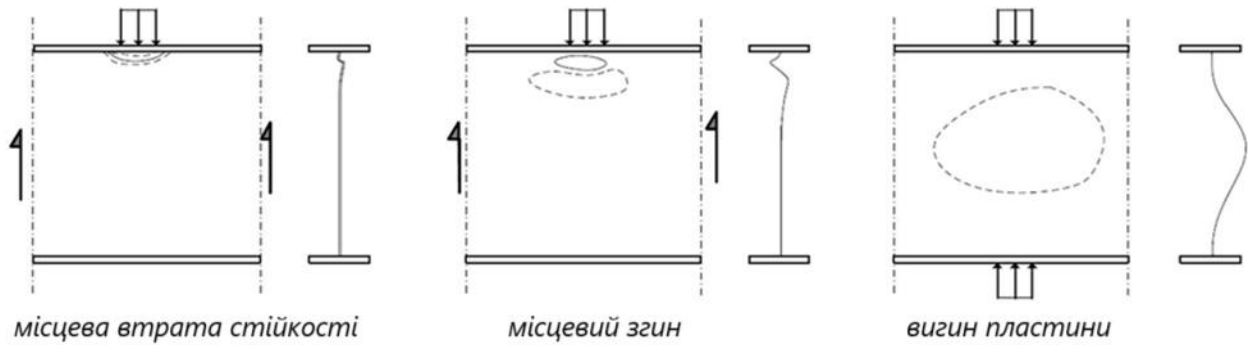
Малюнок 1.11. Поведінка сталевій пластини під дією стискаючої сили, два різних типи граничних умов [10].

Для розрахунку деформації ω в загальному розв'язку використовується рівняння (1.2), де A – константа, m – кількість вигинів у поздовжньому напрямку, n – кількість вигинів у поперечному напрямку, a – довжина пластини (ненавантажений край) і b – ширина пластини (навантажений край).

$$\omega = A \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot y}{b} \quad (1.2)$$

Дивлячись на тонку сталеву пластину, що піддається місцевому навантаженню, можна виділити три різні типи руйнувань згідно з [10]:

руйнування, пошкодження полотна та викривлення полотна, що продемонстровано на малюнку 1.12.



Малюнок 1.12. Три різні типи відмов, які можуть виникнути для тонкої сталевій пластини [10].

Стиснення в режимі вигину відбувається, коли є локальна податливість полотна, тому відбувається пластичне руйнування [10]. Цей випадок виникає, коли полотно є компактным із значенням гнучкості b/t (ширина пластини b поділена на товщину пластини t), що є достатньо малим. Другий режим вигину, пошкодження полотна, полягає у локальному вигині під дією навантаження. У цьому випадку локальне прогинання досягається в перетині, найближчому до місця, де прикладається навантаження. Третій режим, вигин полотна, відбувається, коли все полотно під прикладеним навантаженням прогинається. Деформація полотна та вигин з'являються, коли полотно дуже тонке, що призводить до викривлення.

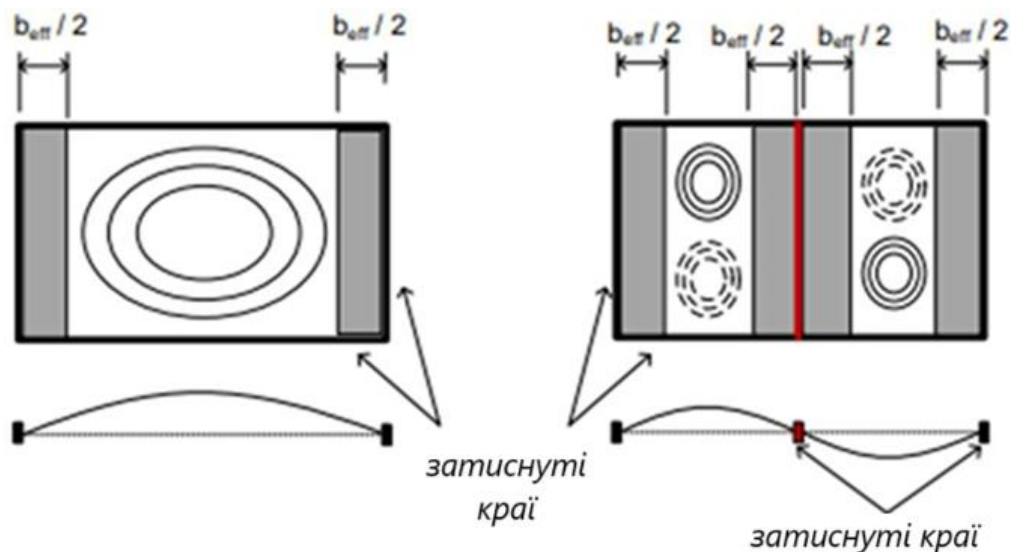
Форми втрати стійкості та боротьба з втратою місцевої стійкості.

Втрата стійкості може статися в тих місцях, де місцевий чи загальний вигин є найнебезпечнішою формою [11]. Причина цього полягає в тому, що вигинання часто спричиняє перехід конструкції зі стану рівноваги в стан втрати стійкості. Це призводить до руйнування конструкції навіть тоді, коли навантаження менше критичного.

Для збільшення максимальної несучої здатності плити можуть бути додані ребра жорсткості. Шляхом додавання ребер жорсткості в зонах, де очікується максимальна амплітуда вигину, зменшується ризик вигину від нормальних напружень [10].

Є два різних типи ребер жорсткості, якими можна підсилити плиту: поперечні та поздовжні. Поперечні ребра жорсткості ставляться вертикально (поперек стержня), а поздовжні ребра встановлюються уздовж стержня.

При дослідженні гнучких пластин, що піддаються стискаючому навантаженню, кінцева несуча здатність залежить від ефективної ширини b_{eff} пластини, тому ефект від збільшення ширини невеликий. Якщо замість цього додати поздовжнє ребро жорсткості, це матиме більший вплив на міцність плити, що показано на малюнку 1.13.



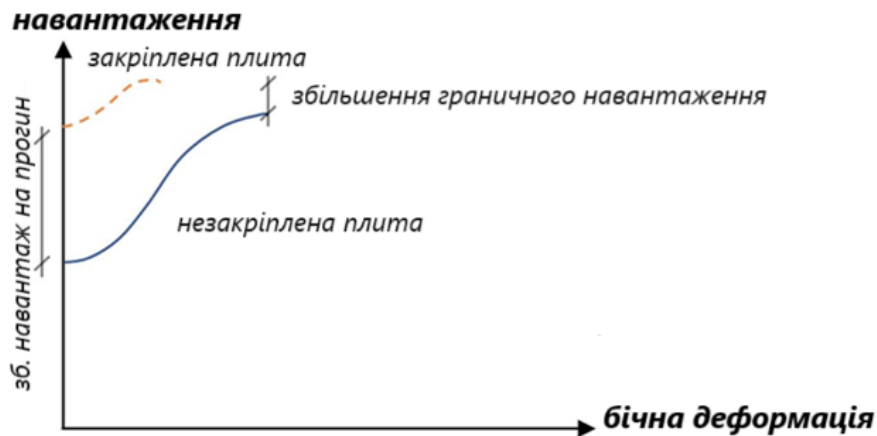
Малюнок 1.13. Ефективна ширина пластини, що піддається стискаючій силі, з поздовжнім ребром жорсткості та без нього [10].

Для того, щоб ребро жорсткості повністю впливало на ефективну ширину, воно має відповідати наступним умовам:

- ребро жорсткості не повинно прогинатися локально (тобто не повинно бути в класі 4);
- ребра жорсткості (разом із ефективною частиною пластини з обох боків ребра жорсткості) не повинні прогинатися глобально, наприклад, прогинатися як колона чи мати крутильний прогин.

Якщо обидві умови не виконуються або виконуються лише частково, ефект від ребра жорсткості не буде використано максимально, що призведе до зменшення несучої здатності.

Якщо до пластини додати поздовжнє ребро жорсткості, можна збільшити здатність чинити опір критичним напруженням і зменшити вплив післякритичної міцності. Це означає, що пропорція між граничним навантаженням і критичним напруженням зменшується при збільшенні навантаження на прогин, що показано на малюнку 1.14.



Малюнок 1.14. Співвідношення навантаження-переміщення для невідпориної та відпориної плити.

Якщо збільшення навантаження на прогин суттєве, вплив післякритичної міцності може бути незначним, і плита матиме поведінку, подібну до колони. Це стосується плит із великим значенням жорсткості. Виходячи з цього, жорстка плита повинна бути спроектована таким чином, щоб працювати подібно і до колони, так і до пластини.

1.4 Розв’язування нелінійних задач методом скінченних елементів

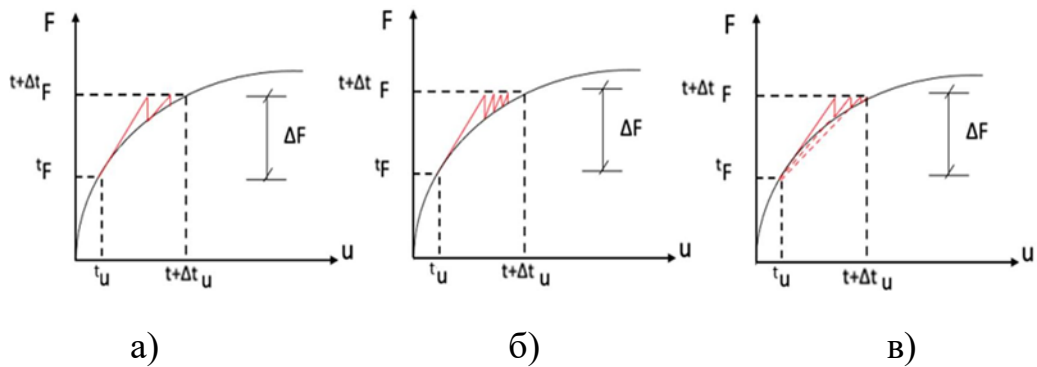
Метод скінченних елементів (МСЕ) є одним із найефективніших підходів до аналізу нелінійної поведінки конструкцій. Загалом, метод потребує великих обчислювальних ресурсів через велику кількість невідомих, головним чином через те, що він включає кілька процедур чисельного інтегрування. Проблема вважається нелінійною, коли матриця жорсткості змінюється зі збільшенням прикладеного навантаження та коли вектор навантаження залежить від

переміщення. Існує дві нелінійності, це геометрична нелінійність і нелінійність матеріалу (фізична нелінійність). Геометрична нелінійність пов'язана зі змінами геометричної конфігурації, а нелінійність матеріалу – зі змінами властивостей матеріалу. Для розв'язування нелінійних задач можна використовувати МСЕ.

Під час розв'язання нелінійної задачі за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) існує два різних типи чисельних підходів, які можна використовувати для визначення приростів навантаження [14]. Ці два підходи – неявний та явний метод розв'язання. У методі неявного розв'язання результат базується на інформації з поточного приросту та попередніх. При використанні цього методу для кожного приросту необхідно використовувати процедуру ітерації, щоб мати можливість знайти рівновагу. Цей метод можна використовувати як при дослідженні статичного випадку, так і при дослідженні випадку з динамічним навантаженням. Якщо натомість використовувати метод явного розв'язання, результат базується лише на інформації з попередніх приростів, а тому процедура ітерації не потрібна. Цей метод в основному використовується у випадку з динамічного навантаження, хоча його також можна використовувати під час вивчення ефектів від статичного навантаження. При використанні явного методу можуть виникати проблеми, оскільки приріст навантаження має бути дуже малим, щоб відповідати вимогам для його використання, тоді як для неявного методу можна використовувати набагато більші прирости навантаження. Необхідність малого кроку за часом є також причиною, чому явний метод ефективний для використання при розрахунку конструкцій, що піддаються імпульсному навантаженню, оскільки крок за часом у таких випадках повинен бути малим у будь-якому випадку.

При розв'язуванні задачі неявним методом можна використовувати три різні ітераційні методи: метод дотичної жорсткості, метод початкової жорсткості та метод січної жорсткості, що показано на малюнку 1.15. Який метод використовувати залежить як від проблеми, що досліджується, так і від використовуваної матеріальної моделі.

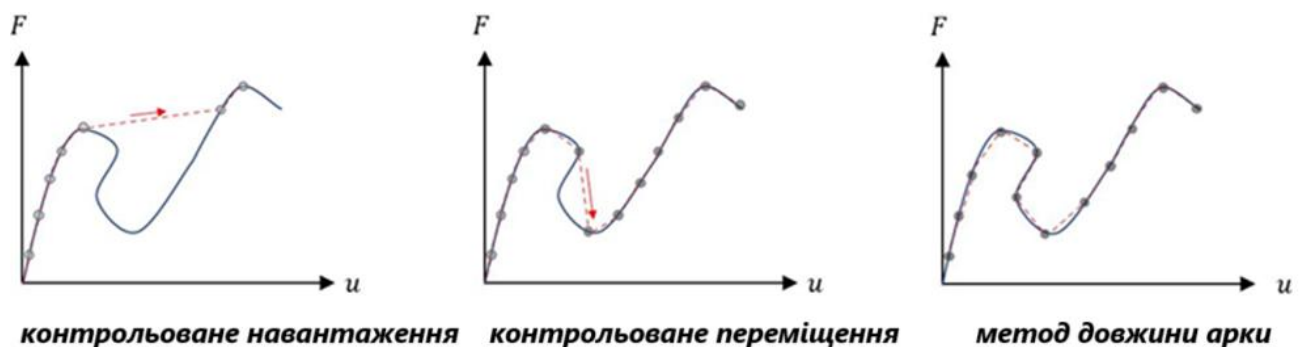
					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Малюнок 1.15. Три різні методи ітерації для використання в неявному методі вирішення, задач: а) метод дотичної жорсткості, б) метод початкової жорсткості та в) метод січної жорсткості. На основі [14].

Точність моделювання, коли рішення вважається достатньо хорошим, залежить від методу ітерації, який використовується. Метод також впливає на значення точності та на кількість ітерацій, необхідних для пошуку рішення. Для досягнення стабільного аналізу може виникнути потреба у збільшенні точності розрахунків. Цей тип рішення все ще може мати достатню забезпеченість, але якщо можливо, бажано використовувати вищу точність, оскільки це може покращити загальний рівень достовірності розрахунків.

При використанні ітерацій для вирішення проблеми можна використовувати три різні методи обчислення співвідношення навантаження-переміщення. Ці три методи показані на малюнку 1.16: контроль навантаження, контроль переміщення і метод довжини арки.



Малюнок 1.16. Три різні ітераційні методи, які можна використовувати під час вивчення навантаження на конструкцію. Крпки відображають розв'язок зазначеного методу, а суцільна лінія – фактичне розв'язання.

Малюнок на основі [14].

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		25

Найпростішим для використання є метод із керуванням навантаження, при якому сила збільшується крок за кроком. Його недоліком є те, що неможливо виявити момент, коли сила зменшується зі збільшенням переміщення, натомість момент, коли це відбувається, не буде видно в таблиці результатів, і замість цього може спостерігатися значне велике збільшення переміщення між двома точками ітерації. Якщо міцність знову не збільшиться понад поточне значення, рішення за допомогою цього метода не буде знайдено. Якщо натомість використовувати метод з контрольованим переміщенням, буде видно зменшення навантаження зі збільшенням переміщення. Однак частина, де відображається зменшення як сили, так і зміщення все одно буде відсутня в таблиці результатів. Якщо використовується метод довжини арки, обидві ці частини будуть включені в рішення, і якщо кроки ітерації досить малі, можна отримати повну відповідь.

1.5 Висновки з огляду літератури та завдання досліджень

Викладені результати бібліографічного огляду питань, пов'язаних з використанням та проектуванням огорожень у формі плит різних конструкцій, дозволяють зробити такі **висновки**:

1. У будівництві часто використовуються легкі огорожувальні конструкції покрівель та стін будівель і споруд різного призначення на основі сталевих профільованих настилу та сандвіч-панелей.
2. Огороження з гофрованого металевих листа або сандвіч-панелей можуть також виконувати несучі функції, працюючи на згин чи стиск. При роботі стінових огорожень на стиск виникає проблема забезпечення стійкості порівняно тонких площинних елементів.
3. Розрахунок таких конструкцій виконується згідно з Єврокодами та Державними будівельними нормами України шляхом перевірки умов граничних станів першої та другої групи в різних розрахункових ситуаціях.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

4. В доступній науковій, навчальній і нормативній літературі аналізуються фактори, що впливають на міцність і стійкість стиснутих стержнів і пластин, у тому числі початкові дефекти та залишкові напруження, локальна втрата стійкості, форми втрати стійкості, поведінка елементів після втрати стійкості, а також заходи щодо боротьби з втратою місцевої стійкості.
5. Аналіз загальної та місцевої стійкості стержнів та пластин є нелінійною задачею, яка може бути розв'язана методом скінченних елементів з використанням відомих розрахункових комплексів, які використовують різні підходи до моделювання геометричної та фізичної нелінійності.

Виходячи з обраної теми й мети дослідження, за результатами огляду літературних джерел сформульовані такі **завдання досліджень**:

1. Розробити методику моделювання сталевих настилів у середовищі програмного комплексу Abaqus CAE та виявити раціональний крок сітки методу скінченних елементів.
2. Розробити схему подання діаграми роботи сталі, встановити й проаналізувати необхідні для моделювання пластичні характеристики різних сталей.
3. Провести чисельне моделювання роботи сталевих пластин при дії статичного навантаження з різними комбінаціями характеристик матеріалу, геометричних параметрів, граничних умов, початкових недосконалостей та інших факторів.
4. Дослідити вплив характеристик матеріалу, геометричних параметрів, крайових умов закріплення країв пластини, початкових недосконалостей та інших факторів на напружено-деформований стан тонкої сталевий пластини при статичному навантаженні.
5. Повторити комплекс досліджень тонких пластин для подібних пластин більшої товщини, які працюють в аналогічних умовах.
6. Порівняти отримані результати моделювання роботи тонких і товстих пластин із результатами опублікованих теоретичних та експериментальних досліджень подібних конструкцій та узагальнити наявну інформацію щодо якісної поведінки та особливостей напружено-деформованого стану пластин з гофрованого сталевий листа при дії статичного навантаження.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ 2

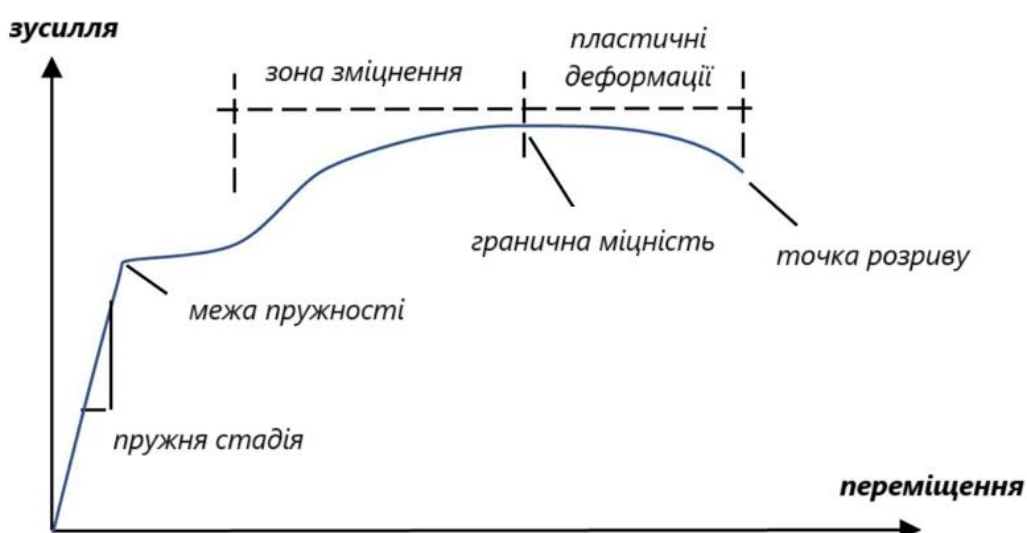
ПЕРЕДУМОВИ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ГОФРОВАНОГО МЕТАЛЕВОГО ЛИСТА

Дослідження сталевих пластин проводяться на базі описаних нижче вихідних даних. У даному розділі проаналізовані характеристики використаних сталей, на основі статичної моделі проведено дослідження збіжності результатів з метою пошуку раціонального розміру сітки при моделюванні, вивчено вплив початкових дефектів, встановлені властивості матеріалу, схема прикладення навантаження та граничні умови закріплення дослідженої пластини.

2.1 Механічні характеристики сталей

Принципи оцінювання якості сталі.

Механічні властивості сталі є дуже важливими для визначення якості сталі [9], Механічні властивості сталі залежать від хімічного складу, режиму прокатки та термічної обробки під час процесу прокатки. Найважливішими характеристиками сталі, показаними на малюнку 2.1, є межа міцності, межа текучості, ударна в'язкість, твердість сталі та відносні деформації при розтягу.



Малюнок 2.1. Схематична діаграма роботи сталі під навантаженням з позначенням характеристик, що визначають якість сталі.

Коли сталь піддається певному навантаженню, в якийсь момент буде досягнуто межу текучості матеріалу, і він увійде в пластичну стадію [10]. Залежно від властивостей матеріалу та форми сталевго елемента може бути створено кілька пластичних шарнірів. Такі «шарніри» утворюються там, де пружнопластичний матеріал досягає межі пластичності і деформація в цих точках залишиться навіть після розвантаження конструкції. Коли утворюються пластичні шарніри, починається перерозподіл зусиль всередині матеріалу, і завдяки цьому матеріал все ще може навантажуватися додатковим навантаженням до досягнення граничного навантаження.

Положення щодо проєктування, наведені в частині 1-3 EN1993 [15] та ДБН «Сталеві конструкції» [8], можуть використовуватися для сталі в заданих діапазонах товщини прокату t_{cor} [16]. EN1993 [15] рекомендують такі значення:

- Для листів і елементів: $0,45 \text{ мм} \leq t_{cor} \leq 15 \text{ мм}$

- Для з'єднань: $0,45 \text{ мм} \leq t_{cor} \leq 4 \text{ мм}$

Можна також використовувати більш товстий або тонший матеріал за умови, що стійкість до навантаження визначається проєктом і підтверджується випробуваннями. Товщина сталевго елемента t_{cor} повинна використовуватися як проєктна товщина, де:

$$t = t_{cor}, \text{ якщо } tol \leq 5\%, \quad (2.1)$$

$$t = t_{cor} \times \frac{(100 - tol)}{95}, \text{ якщо } tol > 5\%, \quad (2.2)$$

враховуючи, що:

$$t_{cor} = t_{\text{номінал}} - t_{\text{покриття}}. \quad (2.3)$$

де tol — допуск, виражений у %,

$t_{\text{номінал}}$ — номінальна товщина листа після холодного формування.

Вітчизняні ДБН [8] та стандарти на прокат [1] встановлюють характеристики сталей різних марок і класів міцності з урахування характерної товщини прокатних профілів. Через бракувальні мінімуми, наведені у вказаних стандартах [1], за правилами ДБН [8] визначаються розрахункові опори сталі.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Властивості сталей, які будуть враховані при моделюванні пластин.

Властивості матеріалів, які використовуються для досліджених пластин, вибрані на основі статей [9] і [17] і наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Властивості матеріалу 1 для базової пластини

Модуль Юнга, ГПа	Коефіцієнт Пуассона	Межа текучості, МПа	Граничне напруження розтягу, МПа	Деформація	Густина, кг/м ³
199	0,3	252	360	0,19	7850

Пластичну деформацію визначають за допомогою рівняння (2.4), а результати заносяться до таблиці 2.2.

$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon_{tot} - \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (2.4)$$

де ε_{pl} – пластична деформація,

ε_{tot} – загальна деформація,

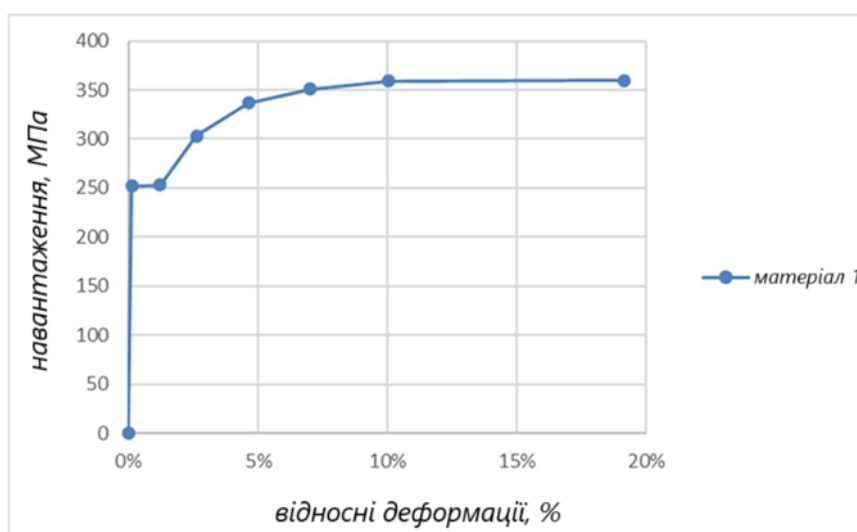
σ_s – напруження сталі,

E_s – модуль Юнга для сталі.

Таблиця 2.2

Пластичні властивості сталі, використаної в Abaqus CAE для матеріалу 1

Межа текучості, МПа	252	253	303	337	351	359	360
Пластична деформація	0,000	0,011	0,025	0,045	0,069	0,099	0,190



Малюнок 2.2. Співвідношення напруження-деформація для сталевих матеріалів, який використовується в моделі Abaqus CAE, матеріал 1.

Розраховану за формулою (2.4) пластичну поведінку матеріалу відображено в таблиці 2.2. Відповідний графік напруження-деформація показаний на малюнку 2.2. Як видно на малюнку, залежність спрощена та виражена як кусочно-лінійна між вказаними точками.

Для моделювання ефекту текучості та межі міцності, що дозволяє наближено моделювати потенційний вплив високих швидкостей деформації, характеристики матеріалу матеріал регулюють відповідно до рівнянь:

$$f_{y,B} = 1,2 \cdot f_{y,A} \quad (2.5)$$

$$f_{u,B} = 1,05 \cdot f_{u,A} \quad (2.6)$$

$$f_{y,C} = 1,4 \cdot f_{y,A} \quad (2.7)$$

$$f_{u,C} = 1,1 \cdot f_{u,A} \quad (2.8)$$

Лінійне співвідношення підвищеного напруження використовується для значень деформації між деформацією текучості f_y і граничною деформацією f_u , яка надає пластичних властивостей матеріалам 2 і 3, як показано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Пластичні властивості матеріалу, використаного в Abaqus CAE для
скоригованих матеріалів 2 і 3

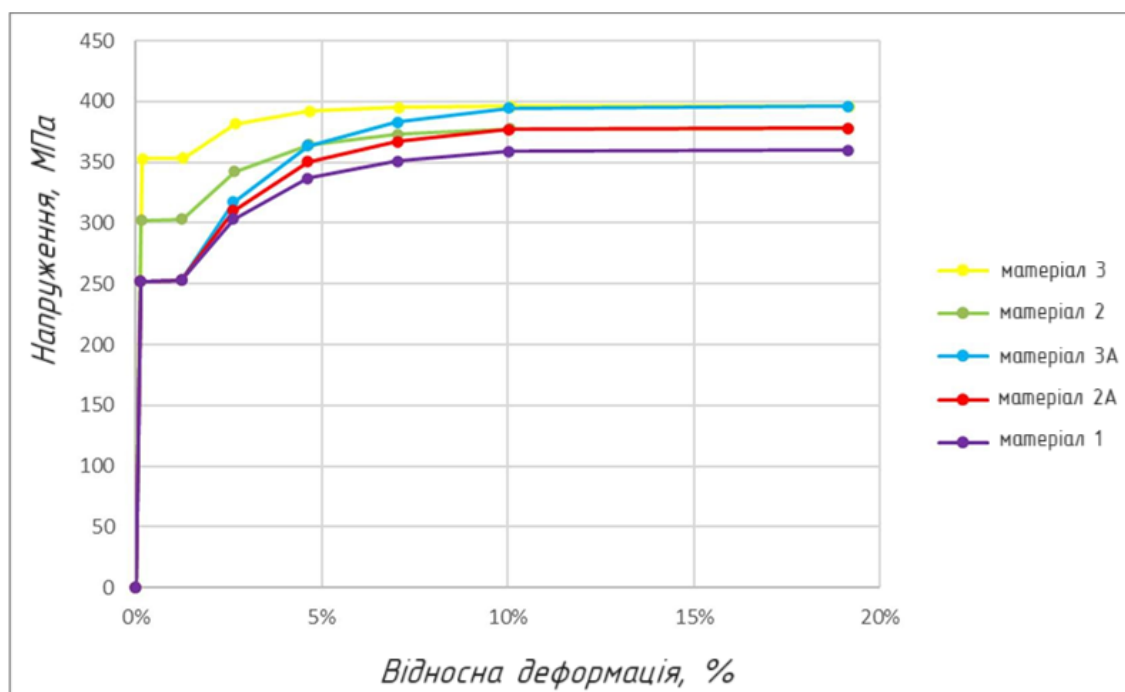
Напруження в матеріалі 2, МПа	0	302	303	342	365	373	377	378
Пластична деформація	0,000	0,010	0,017	0,029	0,048	0,074	0,12	0,220
Напруження в матеріалі 3, МПа	0	352,8	353,5	381	392	394,9	395,9	396
Пластична деформація	0,000	0,010	0,017	0,029	0,048	0,074	0,12	0,22

Результати моделювання також порівнюються з матеріалами 2А і 3А, де межа текучості така ж, як у матеріалі 1, а межа міцності збільшена відповідно до рівнянь (2/6) і (2/8). Після цього використовується лінійна залежність між збільшенням кінцевої міцності та нульовим збільшенням межі текучості, яка дає наступні пластичні властивості, наведені в таблиці 2.4. Наведені в таблиці 2.4 значення модуля Юнга, коефіцієнта Пуассона та щільності сталі залишаються однаковими для всіх матеріалів.

Пластичні властивості матеріалу, використаного в Abaqus CAE для скоригованих матеріалів 2А і 3А, де підвищена тільки межа міцності.

Напруження в матеріалі 2А, МПа	0	252	235	310	350	367	377	378
Пластична деформація	0,000	0,010	0,017	0,029	0,048	0,074	0,12	0,220
Напруження в матеріалі 3А, МПа	0	252	253	317	364	383	395	396
Пластична деформація	0,000	0,010	0,017	0,029	0,048	0,074	0,12	0,22

Для порівняння пластичних властивостей п'яти матеріалів для кожного матеріалу на малюнку 2.3 побудована залежність напруження від деформації.

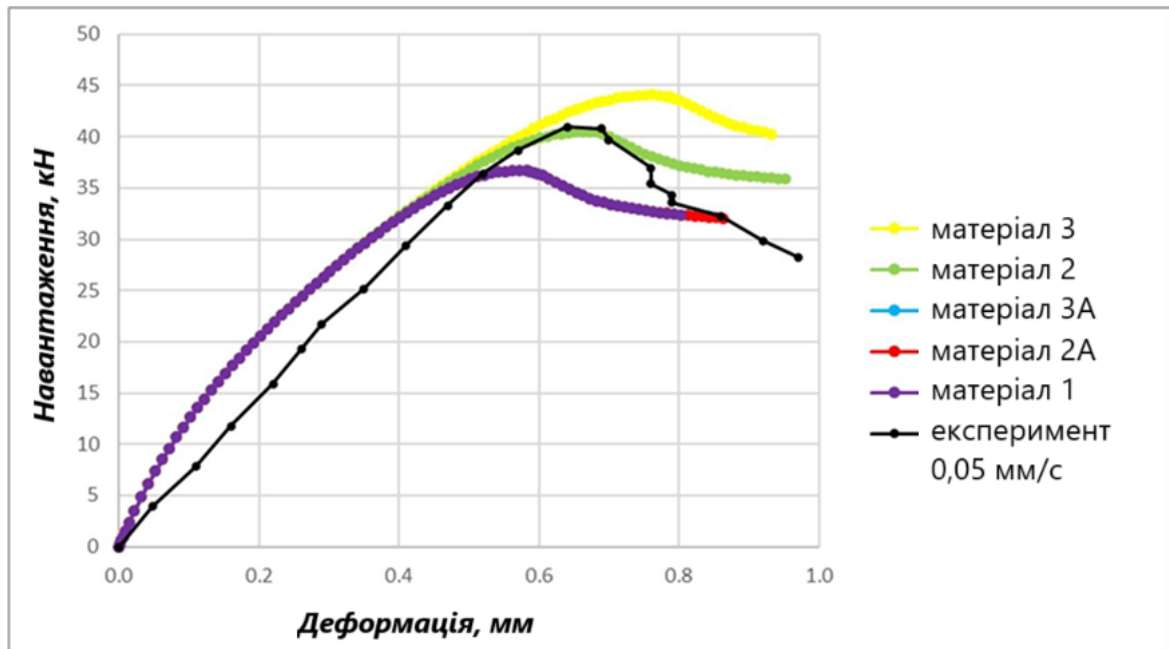


Малюнок 2.3. Залежності напруження – деформація для досліджуваних сталевих матеріалів.

Таким чином, для вивчення впливу межі текучості та межі міцності матеріалу на роботу пластин, використані наведені вище характеристики п'яти різних матеріалів, наведені в таблицях 2.1...2.4. Якщо матеріал 1 є вихідним матеріалом, то матеріали 2 і 3 мають підвищені межу текучості і міцності. Матеріали 2А і 3А мають таку саму межу текучості, що й матеріал 1, і підвищену межу міцності. Порівняння властивостей матеріалу показано на малюнку 2.3.

Вплив характеристик сталі на несучу здатність плити.

Описані вище різні матеріали досліджуються в статичному випадку, і напруження в дослідній пластині при відповідному переміщенні в площині наноситься на графік малюнка 2.4 разом з результатом експерименту при використанні швидкості навантаження 0,05 мм/с.



Малюнок 2.4. Співвідношення сили та переміщення в площині для плоскої пластини при використанні різних сталевих матеріалів.

При вивченні графіка видно, що гранична сила збільшується для матеріалів 2 і 3, тоді як матеріали 2А і 3А мають таке ж співвідношення сили і переміщення, що й матеріал 1. В результаті видно, що гранична міцність матеріалу має незначний вплив на величину граничної несучої здатності дослідженої пластини при статичному навантаженні. Причиною цього є те, що максимальне напруження в досліджуваній плиті досягає значення, трохи вищого рівня текучості, і тому додаткове збільшення межі міцності не впливає на результат. Якщо натомість поглянути на матеріал 2 і 3, де межа текучості збільшена, можна побачити, що результуюча максимальна сила збільшується від матеріалу 1 до матеріалу 2 таким же чином, як і від матеріалу 2 до матеріалу 3. Граничне зусилля матеріалу 1 становить 37 кН, для матеріалу 2 воно збільшується на 8% до 40 кН, а для матеріалу 3 граничне зусилля збільшується на 19% до 44 кН. Виходячи з цього

видно, що існує залежність між межею текучості матеріалу і граничним зусиллям у плиті. На підставі результату, показаного на малюнку 4.4, також видно, що на початковий нахил кривих не впливає зміна пластичних властивостей матеріалу.

Вплив швидкості деформації.

Коли конструкція піддається високій швидкості деформування, це може вплинути на властивості матеріалу. В результаті міцність матеріалу збільшиться, але він матиме меншу пластичність.

Чутливість до швидкості деформації відповідно до [17] є важливою властивістю формування листового металу. Ефект швидкості деформації кількісно визначається трьома показниками в конструкційних сталях:

DIF_y — коефіцієнт динамічного збільшення межі текучості f_y ,

$$DIF_y = \frac{f_{yd}}{f_y} \quad (2.9)$$

DIF_u — коефіцієнт динамічного збільшення межі міцності, що визначається як відношення динамічної межі міцності $f_{u,d}$ до статичної межі міцності f_u .

$$DIF_u = \frac{f_{u,d}}{f_u} \quad (2.10)$$

Серед цих індексів використовується найширше DIF_y , але його використання може призвести до неточних прогнозів, якщо його застосувати як коефіцієнт зростання напруження до повної квазістатичної кривої напруження-деформація з наступних причин [17]:

- Під впливом удару або вибуху сталь деформується в діапазоні деформаційного зміцнення, що перевищує межу текучості.
- Динамічний приріст у $f_{y,d}$, як правило, вищий, ніж в інших точках на кривій напруження-деформації, що призводить до переоцінки прогнозованого основного відгуку при використанні DIF_y .
- Вимірний DIF_y , може бути чутливим до системних помилок, пов'язаних з нерівномірністю напружень під час пружної стадії.

DIF_u переважно нижчий за DIF_y , що призводить до недооцінки навантажувального ефекту. Тому використання DIF_y не завжди підходить для характеристики динамічних властивостей конструкційної сталі.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2.2 Пошук раціонального розміру сітки при моделюванні роботи пластин

При моделюванні роботи пластин розмір сітки скінченних елементів у створеній моделі повинен бути досить малим для забезпечення належної точності результатів, але не приводити до надмірного зростання розмірності задачі. Було проведено дослідження збіжності при різних розмірах сітки для двох різних випадків: в першому випадку вивчається власне значення з аналізу вигину, а в другому – сила в порівнянні з переміщенням у площині. Для кожного випадку використано кілька різних розмірів сітки і порівняні отримані результати. Залежність між розміром сітки та кількістю елементів наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Співвідношення між розміром сітки та кількістю елементів

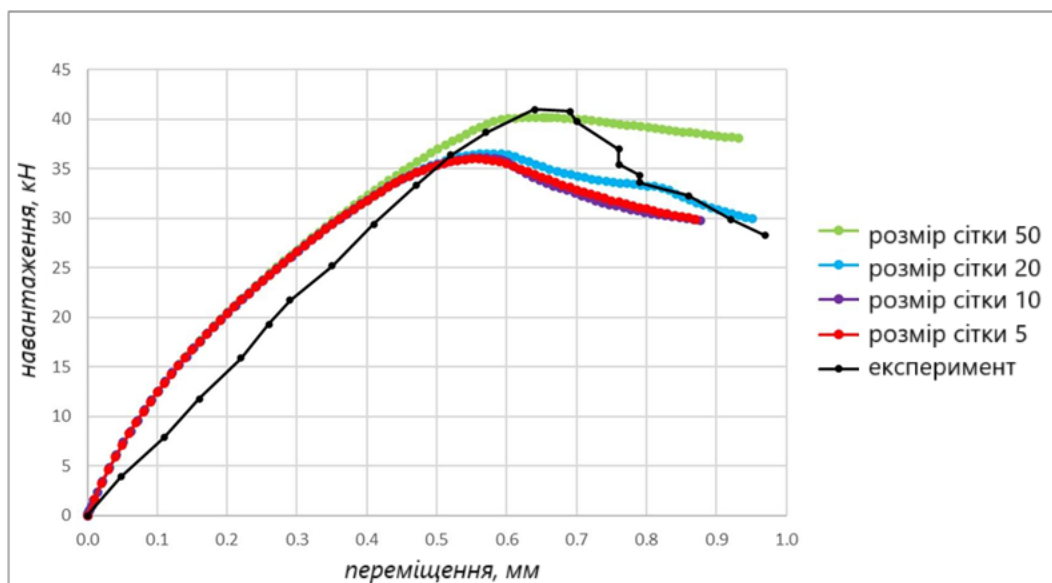
Розмір сітки, мм	Кількість елементів
50	100
20	625
10	2500
5	10000
2	62500

При аналізі збіжності розрахованого власного значення за критерієм вигину видно, що при використанні розмірів сітки менше 20 мм зміна результату є незначною, і навіть для 50 мм спостерігається дуже незначна зміна результату, що показано на малюнку 2.5.



Малюнок 2.5. Дослідження розміру сітки пластини на основі аналізу вигину.

Друге дослідження збіжності результатів при зміні розмірів сітки було виконане за критерієм деформування пластини. На малюнку 2.6 показані залежності сили від переміщення пластини в площині під час дії статичного навантаження на пластину. Це дослідження виконане з використанням чотирьох різних розмірів сітки скінченних елементів в діапазоні від 5 мм до 50 мм. На графіку малюнка 2.6 видно, що розмір сітки впливає на результат моделювання. При використанні розміру сітки 10 мм або менше результати моделювання роботи пластини практично збігаються.



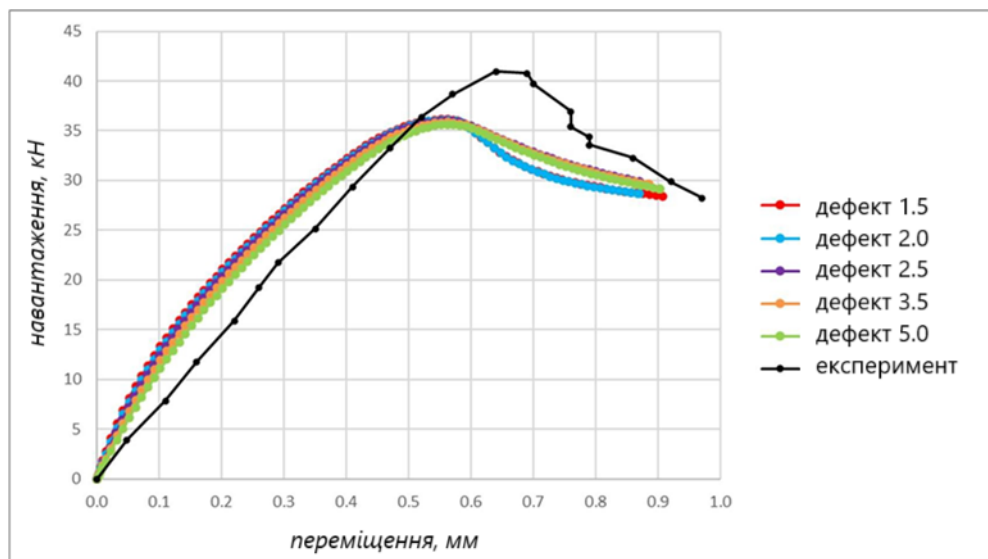
Малюнок 2.6. Дослідження пластини на основі співвідношення навантаження та переміщення в площині при використанні різних розмірів сітки.

На основі двох виконаних досліджень збіжності результатів моделювання за двома різними критеріями видно, що результати моделювання збігаються при використанні сітки скінченних елементів розміром 10 мм або менше. При дрібніших розмірах сітки комп'ютеру потрібно більше часу для виконання обчислень. Тому для прискорення обчислень краще використовувати якомога грубішу сітку за умови достатньої точності результатів моделювання. Виходячи з виконаного аналізу, у подальших дослідженнях, слід використовувати сітки скінченних елементів розміром 10 мм.

2.3 Початкові дефекти та їх вплив на роботу пластин

Реальні конструкції завжди мають початкові недосконалості форми, які погіршують їх роботу, особливо з умов стійкості. Для оцінювання впливу відхилень від правильної геометричної форми на роботу пластин в модель включаються геометричні дефекти, які створюють ефектів другого порядку. Вплив можливих початкових дефектів досліджується шляхом порівняння геометричних дефектів різної величини. При вивченні цього ефекту аналізуються два критерії: максимальне відхилення поза площиною та максимальне зміщення в площині пластини.

Дослідження початкових дефектів можна провести шляхом моделювання пластин в Abaqus CAE при різних значеннях дефектів. Це можна зробити трьома різними способами: лінійною суперпозицією, зі статичного аналізу переміщень або вказавши номер вузла та значення дефекту безпосередньо у вхідному файлі. У цьому дослідженні використовувався третій варіант, коли використовувалися різні значення дефектів при дії статичного навантаження. Для кожного випадку за результатами розрахунків на малюнку 2.7 була побудована і вивчена крива зміни навантаження, яка й відображає вплив змодельованої початкової недосконалості на роботу пластини.



Малюнок 2.7. Співвідношення навантаження та переміщення в площині для пластини при наявності різних початкових дефектів, мм.

Порівнюючи наведені на малюнку 2.7 криві, можна побачити невелику зміну початкової жорсткості пластини. Однак зміна граничного навантаження в різних кривих є незначною. На графіку видно, що вплив початкових дефектів пластини дуже малий і тому може розглядатися як незначний. Виходячи з цього, у цьому дослідженні враховано початковий дефект розміром 2,5 мм, тобто такий самий розмір, що й у статті [17].

Нами також були вивчені відхилення з площини пластини для різних розмірів початкових дефектів. Аналіз вказав на результат, подібний до зміщення в площині пластини. Незначна різниця в результатах дозволяє проводити подальші розрахунки пластин з урахуванням початкового вигину розміром 2,5 мм.

2.4 Висновки з розділу

1. Аналіз п'яти матеріалів з різними пластичними властивостями дозволив виявити відмінності, які слід врахувати при моделювання роботи пластин у подальших дослідженнях.

2. Ключовими характеристиками матеріалу, які в основному визначають несучу здатність пластин, є межа текучості та межа міцності сталі.

3. Порівняльні розрахунки показали, що для моделювання роботи плоских сталевих пластин слід приймати сітку скінченних елементів розміром 10 мм, яка забезпечує достатню точність при прийнятній трудомісткості обчислень.

4. Початкові недосконалості у межах до 2,5 мм виявляють порівняно незначний вплив на роботу плоских сталевих пластин, тому саме такі початкові вигини слід враховувати при виконання подальших досліджень.

5. Моделювання за методом скінченних елементів у середовищі програмного комплексу Abaqus CAE з використанням описаних у розділі вихідних даних дозволяє вивчити напружено-деформований стан плоских сталевих пластин та механізм втрати їх стійкості.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ 3

АНАЛІЗ РОБОТИ ГОФРОВАНОГО МЕТАЛЕВОГО ЛИСТА ПРИ ДІЇ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

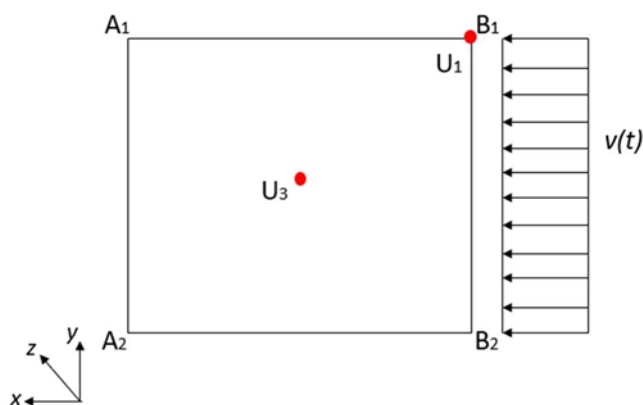
Статичний аналіз сталевий пластини проведено при дії квазіпостійного навантаження на основі вхідних даних, описаних у розділі 2. Умови роботи пластин та результати розрахунків, виконаних з використанням програмного забезпечення Abaqus CAE, описані нижче.

3.1 Схема прикладання навантаження та граничні умови

У статичному аналізі сталевих пластин навантаження прикладається у вигляді рівномірно розподіленого зміщення всіх вузлів сітки скінченних елементів уздовж однієї сторони пластини, яке лінійно зростає від нуля до бажаного значення. В експериментальній статті [18] автори використовують навантаження з контрольованою швидкістю, де найменша швидкість становить 0,05 мм/с. Така невисока швидкість навантаження відповідає умовам статичного розрахунку.

Розрахункова схема пластини зображена на малюнку 3.1. Сторона плити A_1 – A_2 , паралельна стороні B_1 – B_2 , до якої прикладається навантаження, фіксується в напрямку осі x . Це створює сили реакції $F_{reaction,вузол}$, сума яких у кожному вузлі вздовж сторони B_1 – B_2 дає загальну прикладену силу:

$$F = F_{reaction} = \sum F_{reaction,вузол} \quad (3.1)$$



Малюнок 3.1. Визначення країв сталевий пластини та розташування U_1 і U_3 .

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

На сталевій пластині було випробувано сім різних видів граничних умов, описаних в таблиці 3.1. Це дозволило вивчити, як різні граничні умови впливають на залежність сила-деформація, а також відтворити режим згину, який вивчався в аналітичній статті [17].

Таблиця 3.1

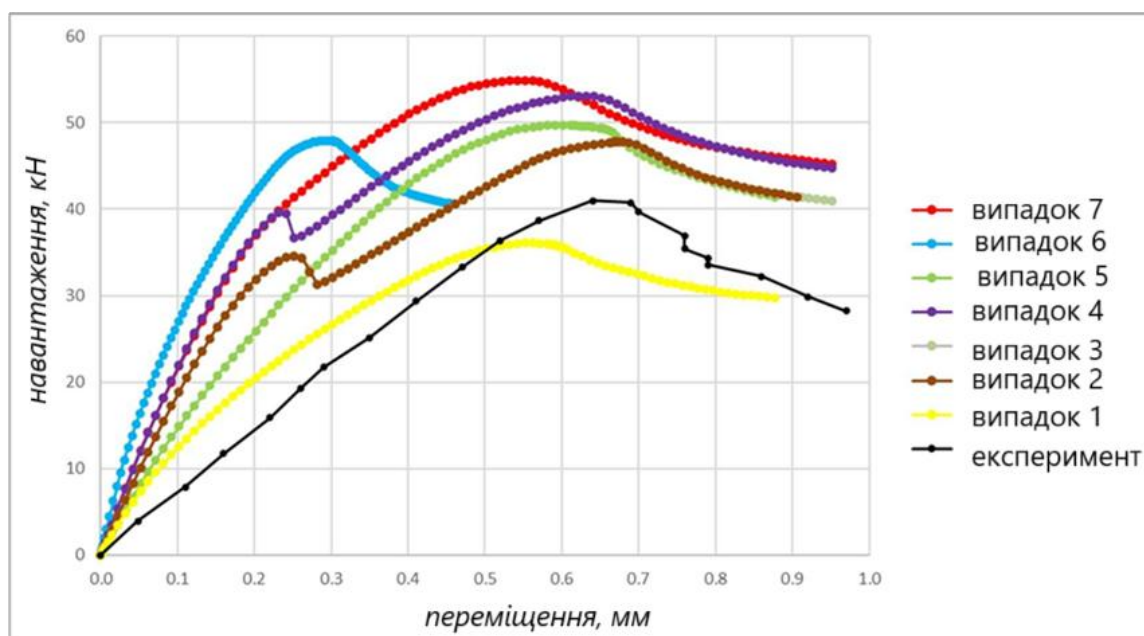
Граничні умови для кожного з різних випадків, вивчених у Abaqus CAE (ступені свободи, позначені знаком "X", вважаються фіксованими)

Розглянуті граничні умови	Розташування опор	Зміщення			Обертання	
		U_x	U_y	U_z	UR_x	UR_y
Перший випадок	A_1B_1 і A_2B_2			X		
	A_1A_2	X		X		
	B_1B_2			X		
	Посередині A_1B_1 і A_2B_2		X			
Другий випадок	A_1B_1 і A_2B_2		X	X		
	A_1A_2	X		X		
	B_1B_2			X		
	Посередині A_1B_1 і A_2B_2					
Третій випадок	A_1B_1 і A_2B_2		X	X		X
	A_1A_2	X		X	X	
	B_1B_2			X	X	
	Посередині A_1B_1 і A_2B_2					
Четвертий випадок	A_1B_1 і A_2B_2		X	X		
	A_1A_2	X		X	X	
	B_1B_2			X	X	
	Посередині A_1B_1 і A_2B_2					
П'ятий випадок	A_1B_1 і A_2B_2			X		
	A_1A_2	X		X	X	
	B_1B_2			X	X	
	Посередині A_1B_1 і A_2B_2		X			
Шостий випадок	A_1B_1 і A_2B_2			X		
	A_1A_2	X		X		X
	B_1B_2			X		X
	Посередині A_1B_1 і A_2B_2		X			
Сьомий випадок	A_1B_1 і A_2B_2			X	X	
	A_1A_2	X		X		X
	B_1B_2			X		X
	Посередині A_1B_1 і A_2B_2		X			

У дослідженні вивчалися лише крайні випадки, коли ступені свободи є фіксованими або вільними. Насправді граничні умови, ймовірно, знаходяться десь посередині між цими двома крайніми випадками. У різних моделях поєднуються різні комбінації граничних умов, і в усіх випадках навантаження прикладається як рівномірно розподілене навантаження вздовж сторони B_1-B_2 , як описано вище. Параметри Abaqus CAE для кожного із семи випадків мають різні граничні умови для переміщення та повороту крайових вузлів, де фіксуються більші чи менші ступені свободи. Параметри для кожного випадку навантаження описані на основі малюнка 3.1 і показані в таблиці 3.1.

3.2 Аналіз результатів статичних розрахунків

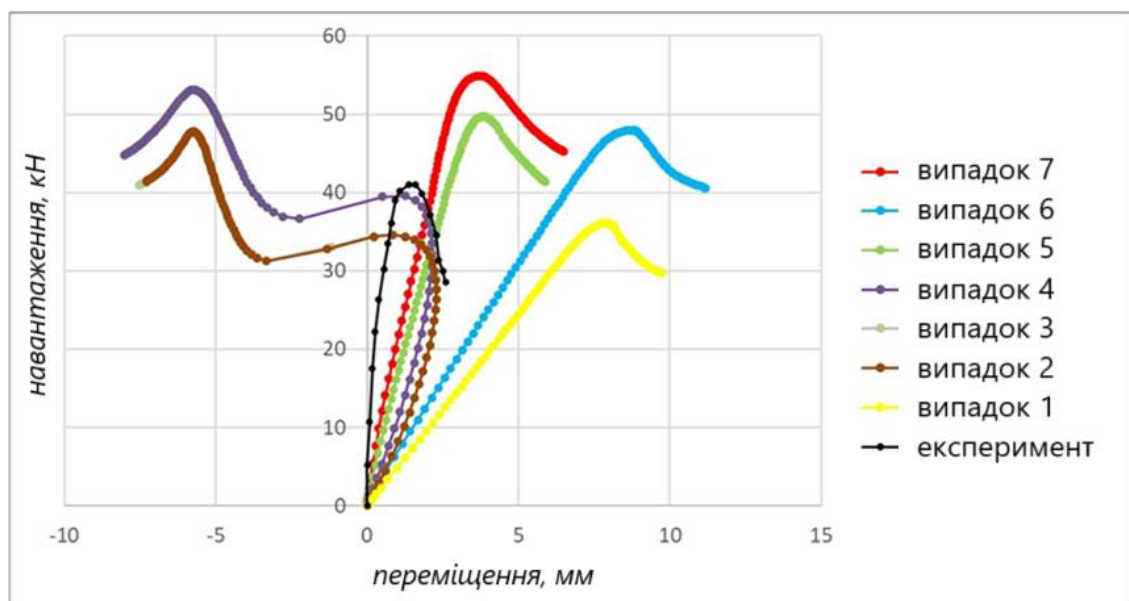
Статичні розрахунки виконані для кожного випадку граничних умов, перелічених у таблиці 3.1. Криві залежностей сила-деформація, отримані в результаті розрахунків у програмі Abaqus CAE для кожного з семи випадків граничних умов, показані на малюнку 3.2 і 3.3.



Малюнок 3.2. Залежності між навантаженням та переміщенням у площині пластини при використанні різних граничних умов.

За наведеним на малюнку 3.2 графіком залежності сили від переміщення в площині пластини видно, що збільшення кількості закріплених ступенів свободи порівняно з вихідною моделлю (випадок 1) обумовлює зростання кінцевого значення сили в пластині (несучої здатності пластини). Причина цього полягає в тому, що коли зафіксовано більше ступенів свободи, жорсткість пластини збільшується, тому на пластину можна прикладати більше навантаження. При аналізі переміщень у площині пластини в момент дії граничного навантаження, а також кута нахилу ліній на графіку видно, що чим жорсткіша пластина, тим крутішою стає крива. Крім того, видно, що для більшості випадків відмінності переміщень у площині пластини при дії граничного навантаження є незначними. Це означає, що вплив граничних умов на цей результат є неістотним. Лише для випадку 6 можна побачити меншу величину площинного переміщення. Крім того, для цього ж випадку спостерігається найбільш жорстка поведінка пластини.

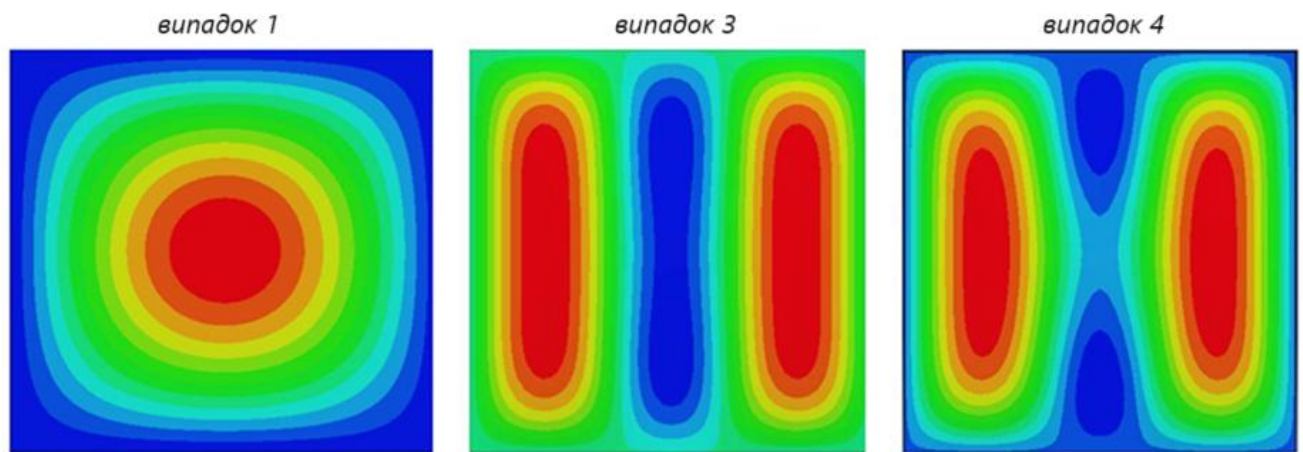
Під час вивчення малюнка 3.2 також видно, що на деяких графіках можна побачити стрибок, коли сила зменшується, а зміщення в площині збільшується. Цей стрибок вказує на зворотну поведінку пластини у випадках граничних умов 2, 3 і 4, тобто всі випадки, коли переміщення вздовж ненавантажених країв у напрямку осі y є зафіксованим. Випадки 2 і 3 дають ідентичні результати.



Малюнок 3.3. Залежності між навантаженням та переміщенням перпендикулярно площині пластини при використанні різних граничних умов.

Поведінка «відкидання» чи «зворотного вигину» вказана також на кривих відхилення з площини пластини, показаних на малюнку 3.3. Тут видно, що при появі відкиду в пластині прогини змінюють знак, тобто переходять від додатних значень до від'ємних. На тому ж графіку видно, що результат усіх досліджуваних граничних умов демонструє меншу жорсткість, ніж експериментальні результати.

При вивченні наведених на малюнку 3.4 графіків деформації з площини пластини видно, що режим вигину змінюється з одного вигину на два, або навіть на три. При вивченні режиму вигину з різними граничними умовами видно, що для всіх досліджених граничних умов початковий режим вигину такий, як для випадку 1 на малюнку 3.4. Цей режим відповідає тому, що наведений у статті [17].



Малюнок 3.4. Режим вигину пластини для першого випадку та для граничних умов за випадками 3 і 4.

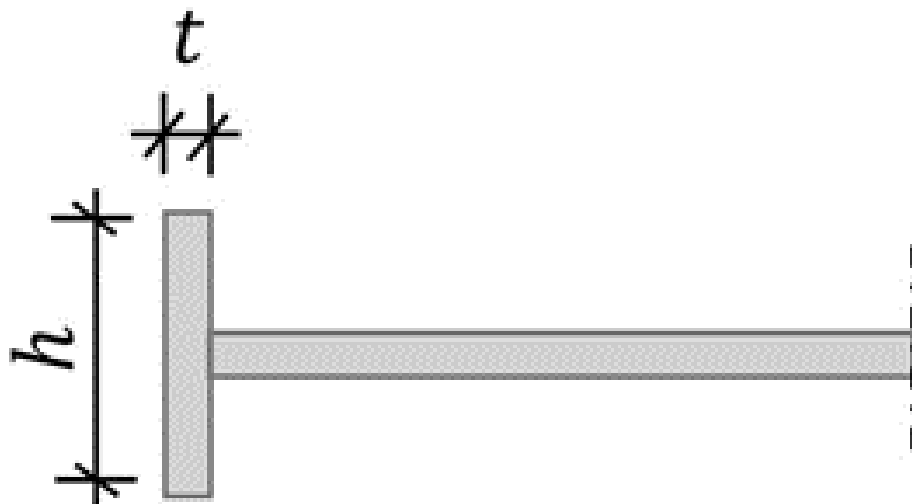
У цьому випадку режим вигину схожий на той, що досліджувався в статті [17], а кінцеве навантаження не перевищує виміряне значення в експерименті в роботі [18]. Порівнюючи результати з результатами [17], можна зробити висновок, що вони не змогли відтворити ті самі результати. При використанні тих самих граничних умов, які представлені в [18], досягається інша реакція (3-й режим вигину), а досягнута несуча здатність значно вища, ніж представлена в [18]. Однак, припускаючи граничну умову відповідно до випадку 1, досягнута несуча здатність пластини, близька до значення з [18], а отриманий режим вигину відтворює однорежимну форму вигину, яку підтверджують експериментальні

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

дослідження [18]. Відхилення поза площиною не можна порівняти з результатами [18], оскільки немає даних про такі результати. Виходячи з цього, граничні умови, які необхідно задавати при дослідженнях пластин, повинні відповідати випадку 1.

3.3 Вплив закріплення по краях пластини

Грунтуючись на малюнках в експериментальній статті [18], можна побачити, що вздовж двох ненавантажених країв пластини є якийсь невеликий крайовий елемент, який закріплює пластину від переміщень з її площини. Очевидно, така конфігурація була використана для забезпечення бажаного граничного стану в експериментальній установці. Щоб дослідити вплив такого роду закріплень, два ребра різних розмірів додаються на пластину в моделі Abaqus CAE. Геометрію балок можна побачити на малюнку 3.5, а вхідні параметри для різних крайових балок (ребер жорсткості) наведені в таблиці 3.2. Крайові ребра жорсткості встановлюються не лише для збільшення осьового перерізу та сприйняття навантажень, а й для зміни граничного стану пластини [19]. Тому балки моделюються як окремі елементи, а з'єднання плити з балками використовуються такими, що обмежують переміщення з площини пластини.



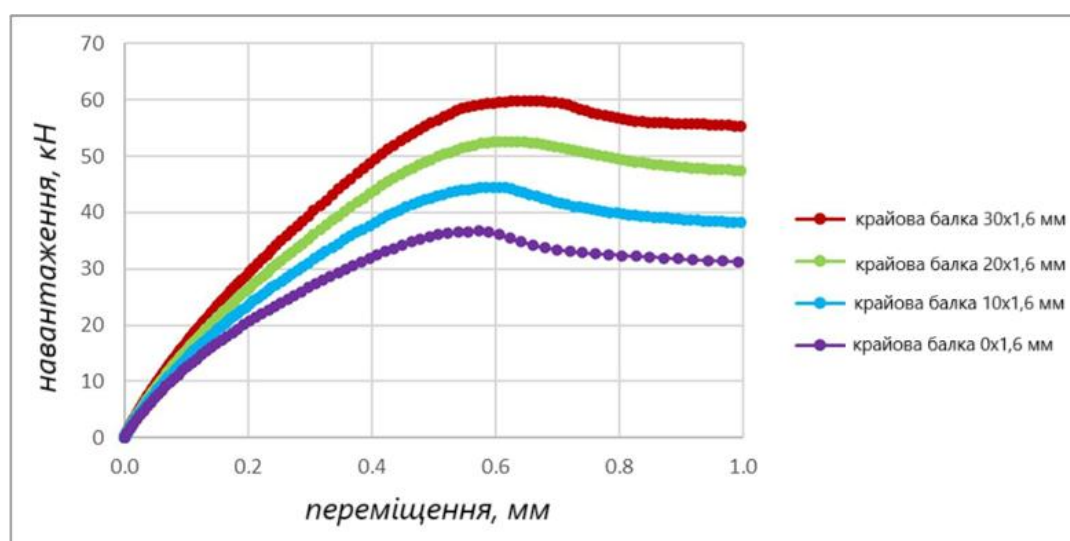
Малюнок 3.5. Геометрія краю пластини з доданим брусом по двох ненавантажених краях.

Геометричні розміри для досліджуваних крайових балок

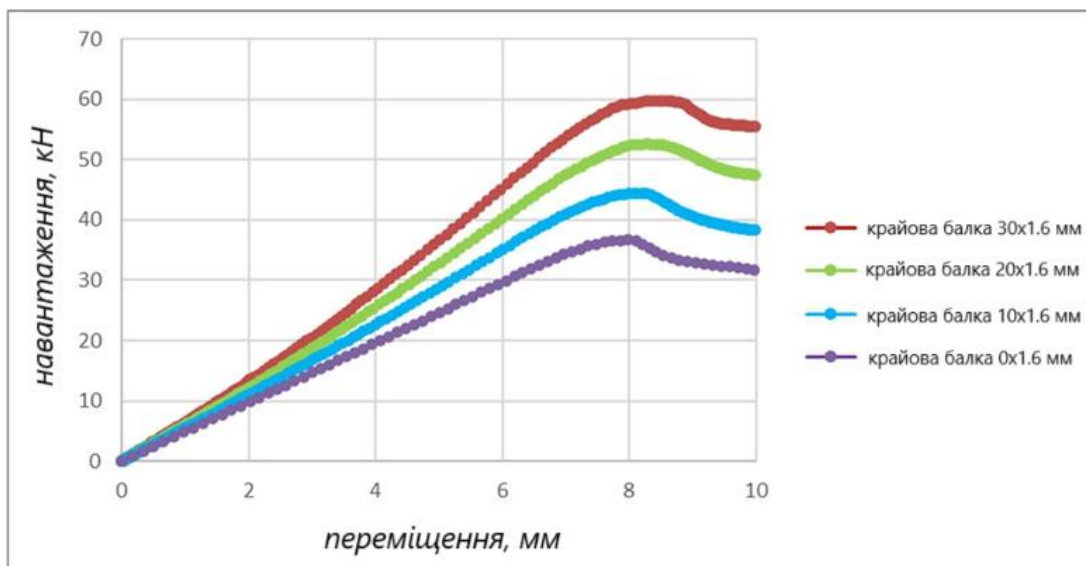
Варіанти конструкції	Висота h , мм	Товщина t , мм
Крайова балка 1 (початкова геометрія)	0	1,6
Крайова балка 2	10	1,6
Крайова балка 3	20	1,6
Крайова балка 4	30	1,6

Балки моделюються в Abaqus CAE за допомогою 3D-елементів балки з прямокутним перерізом, що піддаються деформації. Для балок використовуються такі ж властивості матеріалу, як і для плити. Пластина з'єднується з балками за допомогою зв'язків, а гранична умова в напрямку z вздовж країв, де наявні балки, переміщується на балки замість пластини. Решта граничних умов зберігаються, як і раніше, де навантажені краї фіксуються в напрямку z , додатково ліва сторона пластини фіксується в напрямку x , а середні вузли навантажених сторін фіксуються в напрямку y . Позначення осей тут відповідають малюнку 3.1.

У результаті виконаних розрахунків на статичне навантаження на малюнках 3.6 і 3.7 побудовані залежності навантаження від деформації в площині та поза площиною пластини. На цих малюнках відображені залежності для кожного з чотирьох варіантів геометрії крайової балки, перелічених в таблиці 3.2.



Малюнок 3.6. Залежності навантаження від переміщень у площині пластини при різних розмірах крайових балок.



Малюнок 4.11. Залежності навантаження від переміщень з площини пластини при різних розмірах крайових балок.

З графіків видно, що встановлення крайових балок (ребер жорсткості) вздовж ненавантажених країв пластини підвищує її жорсткість. Крім того, відповідно збільшується несуча здатність пластини. Той самий характер збільшення несучої здатності та аналогічна поведінка пластини спостерігається як при розгляді переміщення в площині, так і при розгляді деформації у перпендикулярному напрямку, тобто поза площиною пластини.

3.4 Висновки з розділу.

1. У програмі Abaqus CAE виконано комп'ютерне моделювання методом скінченних елементів плоских сталевих пластин, завантажених рівномірно розподіленим статичним навантаженням, прикладеним у площині рами до одного з країв пластини.

2. Проаналізовано 7 варіантів граничних умов, які відображають різні комбінації закріплень ненавантажених країв пластини. Встановлено, що зменшення кількості ступенів свободи у результаті зростання кількості закріплень призводить до зменшення переміщень в площині та з площини пластини, а також до збільшення її несучої здатності пластини.

3. За отриманими залежностями навантаження-переміщення виявлені особливості роботи пластин у вигляді скачкоподібного зменшення навантаження при поступовому деформуванні пластини. Ці скачки можуть відповідати точкам біфуркації при втраті стійкості, або моментам зміни знаків переміщення з площини пластини.

4. Залежно від граничних умов закріплення ненавантажених країв пластини, можуть спостерігатися різні форми втрати стійкості з одним, двома чи навіть трьома вигинами з площини пластини.

5. Встановлення крайових балок (ребер жорсткості), які обмежують переміщення вільних країв у напрямку, перпендикулярному площині пластини, істотно підвищує несучу здатність пропорційно до ширини ребер та зміщує точку максимуму навантаження у бік більших деформацій.

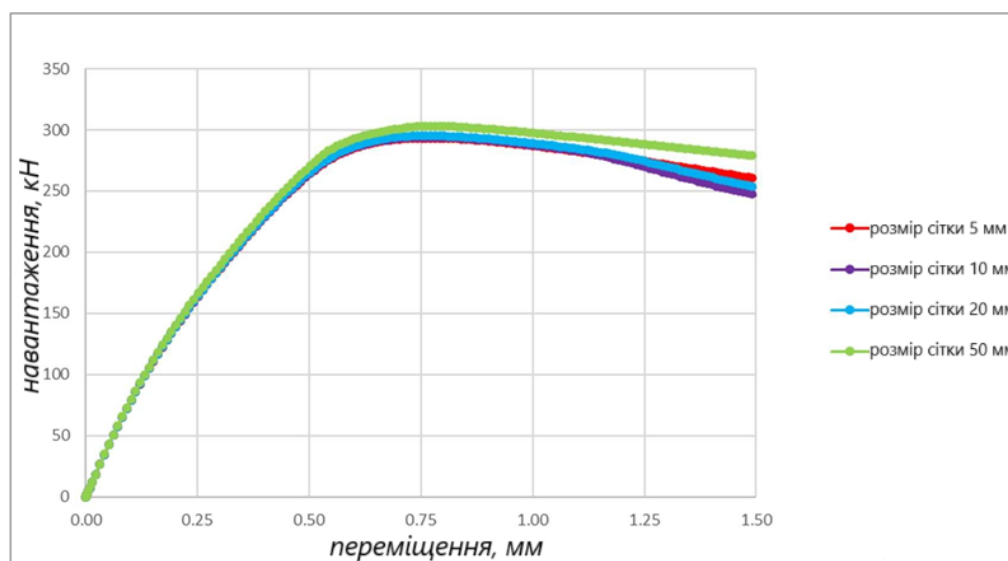
					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОВСТОЇ СТАЛЕВОЇ ПЛАСТИНИ

У даному розділі відображені результати дослідження плоскої сталевий пластини товщиною 5 мм замість досліджених у попередньому розділі пластин товщиною 1,6 мм. При дослідженні цієї пластини використовуються ті самі геометрія та властивості матеріалу, що й для пластин з розділів 2 і 3. Програма моделювання у дещо скороченому вигляді повторює дослідження, виконані в розділах 2.і 3.

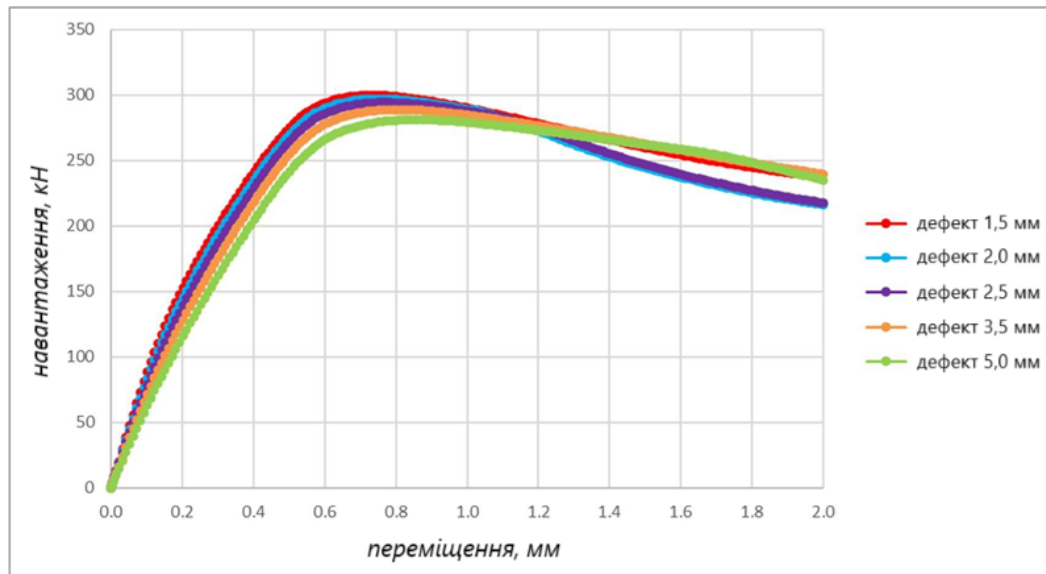
Пошук раціонального розміру сітки моделювання методом скінченних елементів виконано за результатами порівняння залежностей навантаження-деформація, отриманих при розмірах сітки 5, 10, 20 і 50 мм. Результати дослідження впливу розмірів сітки, використаної для моделювання пластини товщиною 5 мм, відображені на малюнку 4.1.



Малюнок 4.1. Дослідження конвергенції сітки товстої плити за графіками залежності навантаження-деформація.

З графіка на рисунку 4.1 видно, що при використанні розміру сітки 20 мм і менше спостерігається збіжність графіків і величин граничного навантаження. Виходячи з цього, з деяким запасом точності рекомендовано використовувати той самий розмір сітки, що й для тонкої пластини, тобто 10 мм.

Вплив початкових дефектів на роботу товстої пластини досліджено шляхом порівняння залежностей навантаження-деформація, побудованих з урахуванням різних значень початкової недосконалості геометричної форми пластин у вигляді вигину різної глибини. Результати виконаних розрахунків показані на малюнку 4.2.

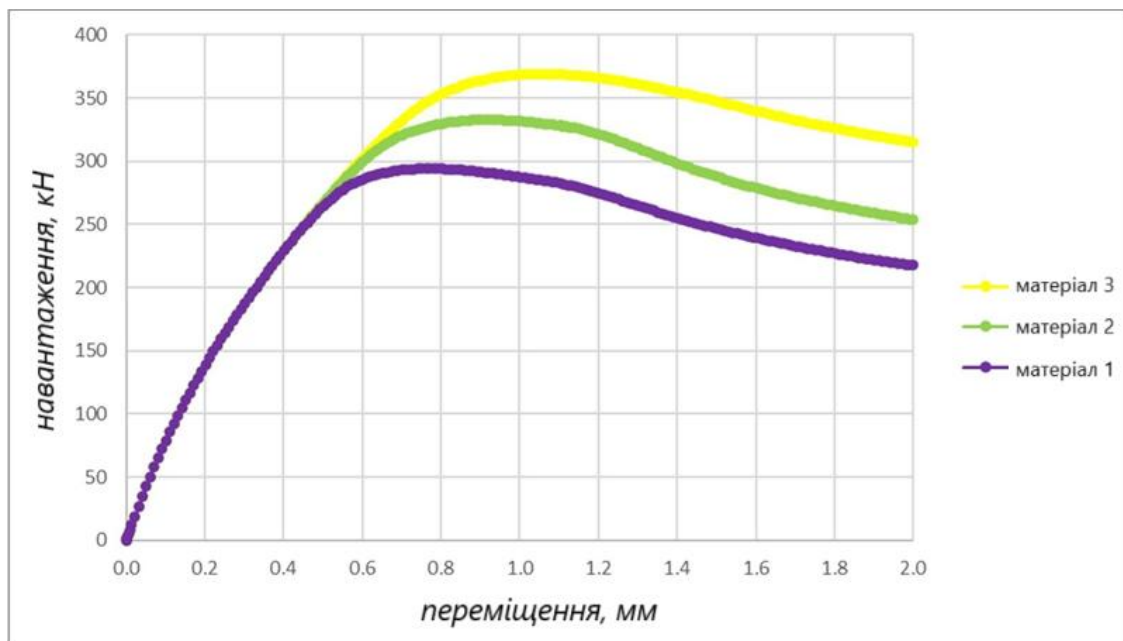


Малюнок 4.2. Результат статичного дослідження товстої пластини з початковими дефектами різної величини, мм.

При вивченні наведених епюр видно, що гранична міцність плити поступово знижується при збільшенні початкової кількості дефектів. Окрім того, після досягнення граничної міцності спостерігаються відмінності форми кривих відрізняються для різних значень початкових дефектів.

Порівнюючи криві, можна зробити висновок, що початкова жорсткість пластини до досягнення нею граничної міцності зменшується при збільшенні початкової кількості дефектів.

Властивості матеріалу. Вплив характеристик матеріалу на роботу пластин досліджено шляхом порівняння залежностей навантаження-деформація, побудованих для матеріалів з різною межею текучості та межею міцності. Враховані ті самі матеріали, що й при дослідженні для тонкої пластини, а результати розрахунків наведені на малюнку 4.3.

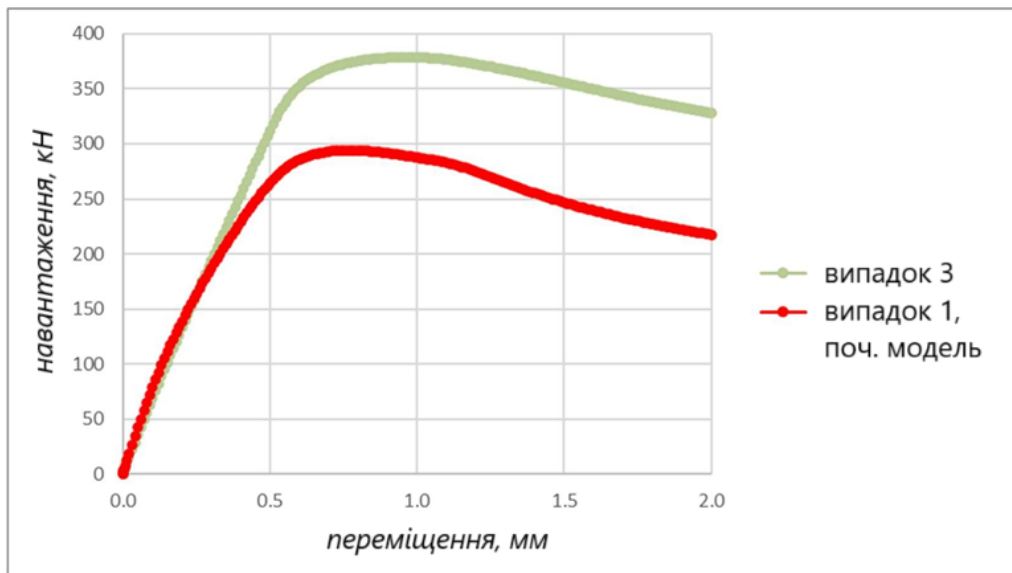


Малюнок 4.3. Залежність сили від переміщення в площині пластини при використанні різних сталевих матеріалів.

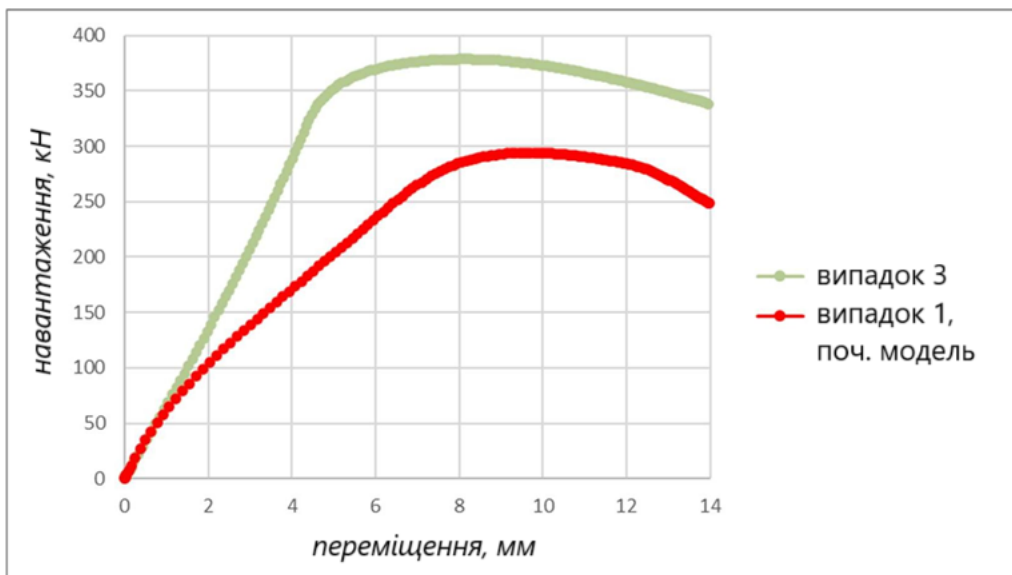
При вивченні результатів видно, що початкова жорсткість пластини однакова, незалежно від межі текучості. Граничне зусилля для матеріалу А становить 294 кН, для матеріалу Б граничне зусилля збільшується на 13 % до 333 кН, а для матеріалу В граничне зусилля збільшується на 25 % до 367 кН. Форма кривої майже однакова для всіх трьох матеріалів.

При дослідженні результуючих кривих матеріалу Б_2 і В_2, на яких межа текучості є постійною, але межа міцності підвищується, можна відзначити, що отримано такий же результат, як і при використанні матеріалу А (вихідний матеріал). Таким чином, можна зробити висновок, що гранична міцність товстої пластини, більша за 252 МПа, не впливає на співвідношення сили та переміщення в площині пластини.

Вплив граничних умов. Вивчаються два різні варіанти граничних умов для товстої пластини, аналогічні наведеним у таблиці 3.1 для тонкої пластини. Отримані в результаті моделювання в програмі Abaqus CAE криві залежності сили від деформації у площині та з площини пластини показані на малюнках 4.4 і 4.5.



Малюнок 4.4. Залежність сили від переміщення в площині товстої пластини при двох різних варіантах граничних умов.



Малюнок 4.5. Залежність сили від переміщення з площини товстої пластини при двох різних варіантах граничних умов.

Для обох досліджених випадків можна відзначити, що граничні умови не впливають на саму початкову жорсткість пластин. Крім того, малюнок 4.4 вказує на однакову жорсткість для обох випадків навіть після досягнення граничної міцності. Залежність сили від переміщення поза площиною не виявляє чіткого зв'язку між цими параметрами при різних варіантах граничних умов. Після досягнення граничного навантаження жорсткість пластин стає різною.

Порівнюючи граничну міцність двох різних випадків граничних умов, видно, що випадок 3, де додатковими опорами зафіксовано більше ступенів свободи, дає вищу граничну міцність, ніж випадок 1, де пластина просто підтримується по стороні, протилежній лінії прикладення навантаження.

Вивчаючи прогини для двох різних випадків граничних умов, робимо висновок, що обидва випадки призводять до однієї форми прогину, яка є аналогічною формі прогину для тонкої пластини.

Висновки з розділу.

Порівняння результатів моделювання показало, що робота товстої пластини якісно не відрізняється від тонкої. Числові відмінності полягають у збільшенні несучої здатності, а також у зменшенні деформацій та впливу початкових недосконалостей тієї ж величини форми на роботу товстої пластини порівняно з аналогічними показниками для тонкої пластини.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконані в кваліфікаційній магістерській роботі дослідження дозволили зробити такі висновки:

1. Тонка і товста пластини, піддані осьовому стискаючому зусиллю, були проаналізовані в Abaqus CAE при дії статичного навантаження різних рівнів. Досліджено вплив початкових дефектів, текучості та міцності на розрив сталі, граничні умови обпирання пластин і наявність крайової балки вздовж двох ненавантажених країв.
2. Величина початкових дефектів у дослідженому діапазоні виявляла незначний вплив на результуючу структурну реакцію (жорсткість і міцність) сталевих пластин з високою гнучкістю. Однак при дослідженні пластини з низькою гнучкістю було виявлено, що граничне навантаження пластини поступово зменшується при збільшенні початкової недосконалості. Отже, на початкову жорсткість пластини впливають початкові недосконалості форми. Їх зменшення призводить до більш жорсткої початкової поведінки пластини.
3. Межа текучості сталі істотно впливає на результуючу несучу здатність для пластини з високою та з низькою гнучкістю. Величина приросту несучої здатності більша для пластин з малою гнучкістю, тобто більш товста пластина призводить до більшого зростання кінцевого навантаження.
4. Межа міцності сталі не мала жодного впливу на структурну реакцію досліджених пластин. Це означає, що механічні властивості, які перевищують межу текучості, не вплинули на результати в досліджених випадках. Причина цього полягає в тому, що в діапазоні дослідженої гнучкості напруження в пластині були лише трохи вищими від межі текучості.
5. На структурну реакцію плити істотно впливають граничні умови обпирання, тобто різні варіанти закріплення країв плити від лінійного переміщення у її площині та в перпендикулярному напрямку, а також закріплення країв плити від повороту. Граничні умови впливають на жорсткість, максимальну несучу здатність, а також на форму вигину плити.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

6. Було вивчено кілька різних варіантів граничних умов, усі з яких призвели до того самого початкового режиму вигину. У випадках, коли ненавантажені краї зафіксовані в площині плити, для тонкої пластини виявлено поведінку відкидання, де пластина змінює одну напівсинусну хвилю на дві або три напівсинусові хвилі. У товстої пластини така поведінка не спостерігалася.
7. Наявність крайових балок (ребер жорсткості), які обмежують переміщення вільних країв плити у напрямку, перпендикулярному її площині, істотно підвищує несучу здатність пропорційно до ширини ребер та зміщує точку максимуму навантаження у бік більших деформацій
8. Статичний відгук випробувань, які були отримані з літератури та на яких виконано моделювання, був адекватно описаний за допомогою моделі скінченних елементів під час порівняння переміщення в площині. Однак для відхилення поза площиною плити відповідь, отримана за допомогою моделі скінченних елементів, переоцінила відхилення поза площиною порівняно з отриманими даними реального випробування.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH

The studies of beams with a perforated wall carried out in the qualifying master's thesis allowed to make the following conclusions:

1. Thin and thick plates subjected to axial compressive stress were analyzed in Abaqus CAE under different static loading levels. The effects of initial defects, yield strength and strength on steel rupture, plate support boundary conditions and the presence of an edge beam along two unloaded edges were investigated.
2. The magnitude of the initial defects in the investigated range had a negligible effect on the resulting structural response (stiffness and strength) of the high-flexibility steel plate. However, when studying the low-flexibility plate, it was found that the ultimate load of the plate gradually decreases with increasing initial imperfection. Therefore, the initial stiffness of the plate is affected by the initial shape imperfections. Their reduction leads to a stiffer initial behavior of the plate.
3. The yield strength of the steel significantly affects the resulting load-bearing capacity for both high- and low-flexibility plates. The magnitude of the increase in bearing capacity is greater for plates with low flexibility, i.e. a thicker plate leads to a greater increase in the ultimate load.
4. The tensile strength of the steel had no effect on the structural response of the plates studied. This means that mechanical properties exceeding the yield strength did not affect the results in the cases studied. The reason for this is that in the range of flexibility studied, the stresses in the plate were only slightly higher than the yield strength.
5. The structural response of the plate is significantly affected by the boundary conditions of support, i.e. different options for securing the plate edges against linear movement in its plane and in the perpendicular direction, as well as securing the plate edges against rotation. The boundary conditions affect the stiffness, the maximum bearing capacity, and the shape of the plate bending.
6. Several different boundary conditions were studied, all of which led to the same initial bending mode. In cases where the unloaded edges are fixed in the plane of the plate, a buckling behavior was observed for the thin plate, where the plate

					<i>KMP 2319220 ПЗ</i>	<i>Архив</i>
						55
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дата</i>		

changes from one half-sine wave to two or three half-sine waves. This behavior was not observed for the thick plate.

7. The presence of edge beams (stiffeners), which limit the displacement of the free edges of the plate in the direction perpendicular to its plane, significantly increases the load-bearing capacity in proportion to the width of the ribs and shifts the point of maximum load towards larger deformations
8. The static response of the tests obtained from the literature and on which the simulation was performed was adequately described by the finite element model when comparing the in-plane displacements. However, for the out-of-plane deflection of the plate, the response obtained by the finite element model overestimated the out-of-plane deflections compared to the obtained data of the real test.

					KMP 2319220 ПЗ	Архив
						56
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8802:2018 Вироби з тонколистової сталі із захисно-декоративним покриттям для будівництва. Загальні технічні умови. ДП «УкрНДНЦ», Київ, 22 с.
2. Izabel, D., Holz, R., & Fauth, C. (2016). Test analysis following EN 1993-1-3 for corrugated sheets. Guidelines and Recommendations for Integrating Specific Profiled steel sheets in the Eurocodes (GRIPSE).
3. Degtyarev, V. V. (2020). Concentrated load distribution in corrugated steel decks: A parametric finite element study. Engineering Structures, 206. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110158>.
4. ДБН В.1.2-6:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. К.: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. – 31 с.
5. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К. Мінрегіон України 2018.- 30 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі зміною №1 і №2. К.: Мінбуд України, 2020. – 68 с
7. ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT). К.: Мінрегіон України, 2009. – 101 с.
8. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі зміною № 1. К., 2022. – 220 с.
9. Paik, J. K., & Thayamballi, A. K. (2003a). Ultimate limit state design of steel-plated structures. John Wiley & Sons Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(02\)00154-9](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(02)00154-9)
10. Al-Emrani, M., & Åkesson, B. (2020). Steel structures. Report ACE 2020:13, Chalmers University of Technology, Sweden.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

11. Kubiak, T. (2013). Static and Dynamic Buckling of Thin-Walled Plate Structured. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00654-3>.
12. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання 2-е, перероблене і доповнене. – К.: Видавництво "Сталь", 2010. – 869 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474>
13. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції: / За ред. Ф.Є Клименка : Підручник. – 2-ге видання, випр. і доп. – Львів: Світ, 2002. – 312 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474>
14. Plos, M., Johansson, M., Zandi, K., & Shu, J. (2021). Recommendations for Assessment of Reinforced Concrete Slabs. Division of Structural Engineering, Chalmers University of Technology, Report ACE 2021:3.
15. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. URL: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/EN-Eurocodes/eurocode-3-design-steel-structures>
16. Dubina, D., Ungureanu, V., & Landolfo, R. (2012). Design of Cold-formed Steel Structures. ECCS - European Convention for Constructional Steelwork.
17. Yang, B., Soares, G. C., & Wang, D. (2018). An empirical formulation for predicting the dynamic ultimate strength of rectangular plates under in-plane compressive loading. International Journal of Mechanical Sciences, 141, 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.04.015>
18. Paik, J. K., & Thayamballi, A. K. (2003b). An experimental investigation on the dynamic ultimate compressive strength of ship plating. International Journal of Impact Engineering, 28(7), 803-811.
19. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. К.: Мінрегіон України, 2016. – 53 с.

Додаток А

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ МОНТАЖІ СТАЛЕВИХ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

А.1 Загальні заходи з охорони праці та вимоги до персоналу

Поняття охорони праці включає систему організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, правових, соціально-економічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Технічні заходи – створення належних умов праці, усунення причин, що можуть привести до нещасних випадків, своєчасний огляд, ремонт і правильне використання машин, механізмів, верстатів, інструментів, огороження обертових частин механізмів, захист стінок траншей та котлованів.

Організаційні заходи - навчання правил техніки безпеки та інструктаж з цих правил з безаварійної організації праці на кожному робочому місці.

Санітарно-гігієнічні заходи належать до виробничої санітарії. За допомогою цих заходів запобігають загальним і професійним захворюванням працівників. Санітарно-гігієнічні заходи передбачають дослідження впливу виробничих факторів на людину, встановлення допустимих та фактичних значень параметрів виробничих факторів на робочих місцях, визначення відповідності умов на робочих місцях вимогам нормативних документів.

Основні положення з охорони праці визначаються законами України, а також спеціальні акти, які приймаються чи затверджуються Кабінетом Міністрів України, Державним комітетом України по нагляду за охороною праці, Міністерством енергетики України та іншими відомствами.

Законами України, що визначають основні положення з охорони праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закон України «Про охорону праці». Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві та галузеві акти про охорону праці. Це Державні стандарти Системи стандартів безпеки

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

праці, Будівельні норми та правила, Санітарні норми, Правила улаштування електроустановок та інші нормативні документи.

Відповідно до КЗпП, розв'язання найважливіших завдань з охорони праці покладено на власника або уповноважений ним орган. Вони зобов'язані вживати заходів щодо усунення шкідливих умов праці, запобігання нещасним випадкам і додержання на робочих місцях належного санітарно-гігієнічного порядку. Ці обов'язки власника з охорони праці зазначено в Типових правилах внутрішнього розпорядку, які є на кожному підприємстві, в установі чи організації. За цими правилами, адміністрація зобов'язана виконувати закони і правила з охорони праці, дотримуватися встановленого розпорядку робочого дня, забезпечувати робітників і службовців питною водою, створювати для них необхідні санітарно-гігієнічні умови, навчити робітників і службовців безпечних прийомів праці та правил санітарно-технічного забезпечення.

Власник або уповноважений орган підприємства, установ, організацій не мають права примушувати робітників виконувати роботи, що загрожують їхньому життю і не відповідають вимогам законодавства про охорону праці.

Усі працівники, що беруть участь у виробничих процесах при монтажі будівельних конструкцій, повинні у встановленому порядку пройти навчання і перевірку знань з охорони праці, а також медичний огляд і мати визначену професію (професії).

Навчання і перевірку знань з охорони праці працівники повинні пройти відповідно до "Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці", затверджених наказом № 30 від 04.04.1994 року. Держнаглядохоронпраці, а також інших діючих державних і відомчих нормативних актів і документів.

Медичний огляд працівники повинні проходити згідно з "Положенням про медичний огляд працівників визначених категорій", затвердженим наказом № 45 від 31.03.1994 р. Міністерством охорони здоров'я України. Медичній перевірці на психофізіологічні показники для професійного добору підлягають працівники, зв'язані з роботами, викладеними в "Переліку робіт, де є потреба в професійному

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

доборі", затвердженому наказом №263/121 від 23.09.1994 р. Міністерством охорони здоров'я України.

Заборонено допускати до робіт з монтажу будівельних конструкцій осіб:

- професія і кваліфікація яких не відповідає характеру роботи;
- які знаходяться в нетверезому стані;
- які не визнані придатними після медичного огляду до вищевказаних робіт.

До самостійних верхолазних робіт допускаються монтажники не молодше 19 років, які пройшли відповідний медичний огляд і визнані придатними, мають стаж верхолазних робіт не менше 1 року і розряд не нижче 3-го. Монтажники, які допускаються вперше до верхолазних робіт, протягом одного року зобов'язані працювати під безпосереднім наглядом досвідчених працівників, призначених наказом керівника організації.

Працівники, які мають кілька професій, повинні бути навчені і атестовані безпечним методам з охорони праці і мати посвідчення на основну професію і професії, що суміщають. Інженерно-технічні працівники, робота яких зв'язана з виконанням верхолазних робіт у процесі перевірки якості і т.п., повинні пройти медичний огляд і бути придатними до виконання верхолазних робіт.

Загальне керівництво і організація навчання безпечним прийомам праці на підприємствах, в управліннях покладені на керівника установи, а в підрозділах - на їхнього керівника. За характером і часом проведення інструктажі для працівників поділяють на вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний і первинний інструктажі на робочому місці проходять усі робітники, які влаштовуються працювати на будівництво, а також учні, направлені на будівництво для проходження виробничої практики, перед допуском їх до роботи. Представники професій, які мають пройти медичний огляд (монтажники-верхолази, покрівельники та ін.), подають адміністрації медичний висновок, після цього їх можна оформити на роботу.

Вступний інструктаж проводить інженер з техніки безпеки або інший працівник служби техніки безпеки, на якого покладені обов'язки інженера з

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

техніки безпеки. Працівників ознайомлюють з особливостями роботи на будівельному майданчику та робочому місці, обслуговуванням будівельних машин і механізмів, правилами користування електрообладнанням і електрифікованими інструментами, індивідуальними захисними засобами та правилами користування ними, діючими сигналами і прийомами безпечного виконання дорученої роботи, правилами утримання робочого місця та особистої гігієни, засобами подання першої медичної допомоги. Про проведення вступного інструктажу роблять відповідний запис у журналі реєстрації і заповнюють особисту картку. Виписка з журналу про інструктаж зберігається в особовій справі робітника.

Осіб, призначених на роботу з підвищеною небезпекою, ознайомлюють з додатковими правилами безпеки, враховуючи специфіку цієї роботи. Інструктаж закінчують практичним показом безпечних прийомів роботи.

Первинний інструктаж на робочому місці проводить керівник робіт. Він ознайомлює робітника з його обов'язками на даному робочому місці, з технікою безпеки за професією, прийомами безпечної експлуатації механізмів, правилами користування індивідуальними засобами захисту, сигналізації та особистої гігієни. Після перевірки знань протягом кількох змін робітники працюють під наглядом майстра чи бригадира, після чого їх можна допускати до самостійної роботи. Під час проведення інструктажу робітника забезпечують спецодягом та засобами особистого захисту.

Повторний інструктаж також періодично проводять на робочому місці для всіх працівників не рідше одного разу на квартал на роботах з підвищеною небезпекою та один раз на півріччя на інших роботах.

Позаплановий інструктаж проводять, якщо змінюються правила з охорони праці, умови та характер робіт, технологічні процеси у зв'язку з модернізацією обладнання, а також після нещасних випадків і у разі порушення робітниками вимог безпеки праці.

Цільовий інструктаж проводять з працівниками перед початком виконання робіт, на які оформляють наряди-допуски (наприклад, робота в

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

шурфах, колодязях, охоронній зоні повітряних ліній електромереж). Проведення цільового інструктажу фіксують у нарядах-допусках.

Про проведення всіх видів інструктажу роблять записи в спеціальних журналах з обов'язковими підписами інструктуючих та інструктованих. Якщо робітник виявив незадовільні знання, то його до роботи не допускають і знову направляють на проходження інструктажу.

А.2 Вимоги до будівельно-монтажних площадок і складських робіт

Організація будівельного майданчика (розташування складських площадок, санітарно-побутових містечок і зон, огорожень, мереж тимчасового електропостачання, водопостачання і пожежегасіння, тимчасових і постійних доріг і шляхів руху, стоянок для роботи вантажопідіймальних машин і механізмів і т.д.) повинна відповідати будгєнплану підготовчого періоду.

Будівельно-монтажні площадки на території діючих підприємств, а також у зонах житлової забудови необхідно обгороджувати. Огородження, що примикають до місць масового проходу людей, необхідно обладнати суцільним захисним козирком.

У підготовчий період будівельно-монтажну площадку звільняють від усіх заважаючих зведенню об'єкта будинків, споруд, дерев, виконують тимчасове планування території для стоку поверхневих вод, переносять існуючі підземні й наземні інженерні мережі, влаштовують тимчасове освітлення, мережі енергопостачання, водопостачання й пожежегасіння, будують автодороги, шляхи руху і стоянки вантажопідіймальних машин і механізмів, зводять необхідні тимчасові будинки і споруди, використовуючи існуючі будинки чи збірно-розбірні та пересувні побутові приміщення, виконують геодезичну розбивку тощо. Готовність площадки до початку монтажу конструкцій має бути підтверджена актом інженерної підготовки площадки.

Зони постійно діючих небезпечних виробничих факторів (неізольовані струмоведучі частини електроустановок, ЛЕП, необгороджені перепади по висоті

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

на 1,3 м і більше, місця, де рівні шуму, вібрації або забруднення повітря перевищують допустимі гігієнічні норми) повинні бути обгороджені захисними огороженнями, що задовольняють вимогам ГОСТ 23407-78 "Огородження інвентарні будівельних майданчиків і ділянок будівельно-монтажних робіт. Технічні умови" і ГОСТ 12.4.059-89 "Будівництво. Огородження запобіжні інвентарні. Загальні технічні умови."

У небезпечних зонах не допускається перебування сторонніх осіб, виконання робіт, не пов'язаних з монтажем будівельних конструкцій, розміщення підсобних і тимчасових будинків і споруд, машинних приміщень і т.п. Виконання будівельно-монтажних робіт у зазначених зонах можна здійснювати за наявності організаційно-технічних рішень і заходів, що забезпечують захист і безпеку працюючих.

Будинки, приміщення і пристрої санітарно-побутового призначення повинні розташовуватися на відстані не менше 50 м з навітряного боку стосовно об'єктів, що виділяють пил, шкідливі пари і газу (бункерних естакадах, бетонорозчинних вузлах, сортувальних пристроях і т.п.).

Майданчики для вантажно-розвантажувальних робіт треба очистити і розташовувати так, щоб їхній ухил не перевищував 5°. Майданчики, розраховані на рік і більше, повинні мати покриття. Взимку їх очищають від снігу й льоду та посипають піском, золою чи шлаком. У відповідних місцях вивішують написи: «Вїїзд», «В'їзд», «Розворот» та знаки безпеки. Заборонено проводити роботи на не підготовлених майданчиках.

На майданчиках для укладання вантажів визначають межі штабелів, проходів і проїздів між ними. Місця проведення вантажно-розвантажувальних робіт повинні бути добре освітлені. Для робітників, зайнятих на цих роботах, влаштовують санітарно-побутові приміщення і забезпечують доброякісною питною водою. Ці робітники проходять попередній і періодичний медичний огляди. Вони повинні користуватися під час роботи спецодягом, спецвзуттям індивідуальними засобами захисту. Вантажно-розвантажувальні роботи зазвичай проводять механізованим методом згідно з Правилами влаштування безпечної

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		64

експлуатації вантажно-підіймальних кранів. Перед підніманням і переміщенням вантажів перевіряють правильність їх стропування.

Сходи, призначені для підйому на висоту понад 2 м, обгороджують поручнями з бортовими дошками. Допускається ухил сходів не більше як 1:3. Якщо по сходах переносять важкий вантаж, то під середину їх ставлять підпори, щоб запобігти прогинанню. Інвентарні металеві сходи роблять з рифленої сталі завтовшки не менш як 5 мм.

Вантажно-розвантажувальні майданчики забезпечують також телями, блоками, лебідками, домкратами, лопатами, тросами, стропами, гаками, носилками, ланцюгами, канатами, мотузками та іншим інвентарем й обладнанням, які щоразу перед початком робіт перевіряють на справність і випробують відповідного чинних норм. Для безпечності роботи вночі вантажно-розвантажувальні майданчики освітлюють.

Стропують вантажі інвентарними стропами чи вантажозахватними пристроями, виготовленими відповідно до затверджених креслень. Методи стропування повинні виключати можливість падіння чи сповзання застропованого вантажу. Вантаж, який транспортують і розвантажують, повинен бути в стійкому положенні. Під час вантажно-розвантажувальних робіт не можна стропувати вантаж у нестійкому положенні, а також зміщувати стропувальний пристрій на трохи піднятому вантажі. Способи стропування елементів конструкцій та обладнання повинні забезпечувати їх подачу до місця встановлення у положенні, близькому до проектного.

Забороняється залишати підняті елементи конструкцій у підвішеному стані. Розстропування встановлених елементів і конструкцій дозволяється після надійного їх закріплення. Подану конструкцію необхідно опустити над місцем її встановлення не більше ніж на 30 см вище проектного положення і після цього монтажник наводить її на місце встановлення, опускає і закріплює.

Лінійні елементи конструкцій треба складати у штабелі заввишки до 1,5...3 м з прокладками та кінцевими упорами, які не дають штабелю розповзатися при

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

випадкових механічних впливах. Готові ферми чи балки зберігають у проєктному положенні в спеціальних кондукторах.

А.3 Заходи безпеки при монтажі сталевих несучих конструкцій

Під час монтажу будівельних конструкцій, крім погодженого і затвердженого у встановленому порядку ПВР, необхідно виконувати вимоги чинних ДБН, ДНАОП 0.00-1.03-93 "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів", а також інших державних і відомчих нормативних актів і документів.

Під час монтажу будівельних конструкцій основними шкідливими виробничими факторами слід вважати:

- машини і механізми, що рухаються, включаючи вантажопідіймальні;
- переміщення при підйомі і установці в проєктне положення елементів будівельних конструкцій, а також укрупнених блоків будинків і споруд;
- розташування робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок;
- недостатню освітленість робочої зони;
- дію вітру на вантажопідіймальні крани, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції чи частини будинків і споруд;
- фізичні перевантаження при перенесенні вантажів вручну;
- підвищену чи знижену температуру повітря робочої зони;
- небезпечну і шкідливу дію на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного випромінювання і статичної електрики;
- токсичний і дратівний вплив лакофарбових матеріалів, а також пари від них на дихальні шляхи людини при виконанні антикорозійних робіт;
- використання порохового монтажного інструмента.

При монтажі основних несучих елементів встановлюють постійні або тимчасові в'язі, щоб одержати більш надійні просторові системи. Колони до

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

підняття облаштовують монтажними драбинами, а при висоті цих драбин понад 5 м вони повинні мати захисні дуги.

Для тимчасових кріплень конструкцій застосовують такі засоби: для колон - анкерні болти, кондуктори чи розчалки; для кроквяних ферм - розчалки; для підкранових балок та підкроквяних ферм - болти. При монтажі ферм встановлюють перехідні містки, обгороджені перилами, а переміщуватись по нижніх поясах ферм можна лише тоді, коли є натягнутий трос для кріплення запобіжних поясів. Це особливо стосується покрівельників, для яких роблять проходи завширшки не менш як 0,8 м, обгороджені з обох боків поручнями заввишки 1 м. На ці проходи вони повинні підніматися по спеціальних драбинах. Для переходу з ферми на ферму застосовують пересувні чи переносні трапи з поручнями. На вузлах каркасів монтажники працюють з підвісних кошиків.

А.4 Засоби захисту працюючих і організація робочих місць

При необхідності виконання робіт у межах небезпечної зони треба виключити дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів на час виконання робіт, або забезпечити працюючих відповідними засобами захисту. Застосовувані засоби підмоцнування повинні відповідати вимогам чинних норм. Місця закріплення карабіна запобіжного пояса повинні бути визначені з урахуванням довжини стропа, застосовуваного запобіжного пояса, способів кріплення страхувальних канатів і розмірів перетинів конструктивних елементів будинків і споруд, що знаходяться поблизу робочого місця.

При виконанні робіт на висоті без засобів підмоцнування чи огороження робочих місць, тобто безпосередньо з конструкцій, працюючі повинні користуватися запобіжним поясом, страхувальними канатами чи іншими пристосуваннями. При цьому повинне бути забезпечене надійне і зручне закріплення карабіна запобіжного пояса в процесі переходу по конструкціях, а також у процесі закріплення конструктивних елементів у проектне положення.

Довжину страхувального каната між точками його закріплення (величину прольоту) слід призначати в залежності від розмірів конструктивних несучих

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

елементів будинків і споруд, на які його встановлюють і закріплюють на зусилля 2200 кгс. При довжині каната більше 12 м повинні встановлюватися проміжні опори, відстань між якими повинна бути не більше 12 м, а опори і вузли їх кріплення повинні бути розраховані на статичні навантаження рівні: вертикальне - 500 кгс, горизонтальне – 100 кгс, прикладене до верха опори.

Перехід по верхніх поясах ферм і балок не допускається. В окремих випадках, коли це необхідно, допускається таке пересування в положенні "сидячи поповзом", прикріпившись запобіжним поясом за верхній пояс ферми чи спеціально встановлений страхувальний канат.

При проведенні інструктажу слід вказувати конкретні шляхи підходу до конструкцій, місця підйому і спуску, а також переходи по конструкціях.

А.5 Заходи пожежної безпеки

Вимоги пожежної безпеки до різних приміщень і споруд регламентовані відповідними ДБН і типовими правилами пожежної безпеки. Відповідно до цих правил, обмежується загальна площа будівель і споруд залежно від ступеня вогнестійкості конструкцій. Усі приміщення та зони будівельного майданчика утримують у чистоті. В порожніх приміщеннях і в тамбурах забороняється зберігати будь-який горючий матеріал. Двері й ворота в таких приміщеннях повинні відкриватися лише назовні, без порогів та сходів. Усі проходи і майданчики перед воротами постійно очищають від сміття, а зимою від снігу.

Особам, котрі працюють у приміщеннях, під час роботи забороняється: застосовувати відкриті джерела вогню; залишати установки з відкритим вогнем без нагляду; застосовувати для розпалювання опалювальних установок бензин, гас та інші легкозаймисті рідини; залишати під напругою електричні мережі; користуватися для освітлення несправними ліхтарями.

Перебуваючи на будівельному майданчику, необхідно дотримуватись таких правил протипожежної безпеки:

- не палити на робочому місці;

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		68

- робоче місце прибирати, а сміття виносити у відведене для цього місце, не залишати на робочому місці відходів легкоспалимих матеріалів;
- не розпалювати багаття на робочому місці іля легкозаймистих матеріалів;
- кількість легкозаймистих матеріалів на робочому місці повинна відповідати їх витраті за зміну; після закінчення роботи залишки матеріалів слід винести до спеціально виділеного для них приміщення;
- випадково розлиті на підлозі легкозаймисті матеріали відразу витерти ганчіркою, яку винести в спеціально відведене для сміття місце;
- приступати до роботи з електроінструментом або машинами, що працюють від електродвигунів, після перевірки ізоляції проводів чи кабелів;
- поблизу електродвигунів, що працюють, не розміщувати речовин, які можуть спалахнути від іскри;
- якщо двигун перегрівається внаслідок несправності, слід негайно вимкнути його і повідомити майстра або виконроба;
- робітники повинні добре знати будову різних видів вогнегасників і вміти користуватися ними;
- якщо виникне пожежа, особи, які її помітили, повинні негайно: подати сигнал пожежної тривоги ударами у металевий предмет (кусок рейки, відро, лист сталі тощо); викликати пожежну команду за телефоном 101; почати гасити пожежу всіма засобами, які є в їхньому розпорядженні;
- легкозаймисті речовини (гас, оліфу, бензин тощо) треба гасити піском, пінним або вуглекислотним вогнегасником. Якщо полум'я невелике, то на нього слід накинути лист сталі, халат або інший предмет, щоб припинити доступ повітря до вогню. Інші спалимі матеріали (дошки, стружки, папір тощо) можна гасити водою, вогнегасниками, а також піском.

					КМР 2319220 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		