

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Розроблення методики та експериментальне дослідження несучої здатності сталевого профільного настилу

Студент групи 601-БП
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
Ситник Сергій Олександрович

Керівник: к.т.н., доц. Юрін О.І.

ЗАВДАННЯ РОБОТИ

- ❑ виконати огляд літератури з питань використання та розрахунку СПН;
- ❑ обґрунтувати й розробити установку для випробувань;
- ❑ визначити розрахункові значення несучої здатності СПН за каталогом виробника;
- ❑ провести експериментальні дослідження зразків СПН;
- ❑ порівняти результати експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками та проаналізувати збіжність результатів;
- ❑ розробити вказівки щодо порядку проведення випробувань та форму журналу для реєстрації й обробки результатів.

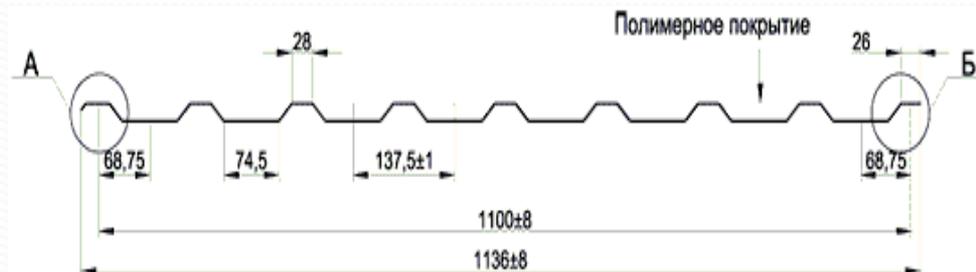
ВИДИ І ЗАСТОСУВАННЯ СПН



П, С – профнастил хвилеподібної форми. Використовують для монтажу ненавантажених стін і перегородок.

НС – профнастил трапецієподібної форми. Використовують для монтажу настилу покрівлі та зведення заборів.

Н – профнастил трапецієподібної форми з додатковими ребрами жорсткості. Використовують для зведення несучих конструктивних елементів.



ОСНОВНІ НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ

ДСТУ 8802:2018	Вироби з тонколистової сталі із захисно-декоративним покриттям для будівництва. Загальні технічні умови"
ДСТУ 8540:2015	Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент"
ДСТУ 8969:2019	Прокат тонколистовий зі сталі підвищеної міцності. Технічні умови
ДСТУ ISO 12944-1:2019	Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами.
ДСТУ ГОСТ МЕК 61032:2004	Захист людей і устаткування забезпечуваний оболонками. Щупи випробувальні. З Поправкою
ГОСТ 9045-	Прокат тонколистовий холоднокатаний низьковуглецевої якісної сталі для холодноштамповки. Технічні умови
ДСТУ-Н-П Б В.2.6-159:2010	Конструкції будинків і споруд. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість
ДБН В.2.6-160:2010	Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення
ВДОП 6.1.36-5.11-96	Інструкція з охорони праці під час виконання робіт з монтажу металевих і залізобетонних конструкцій. Загальні вимоги безпеки

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

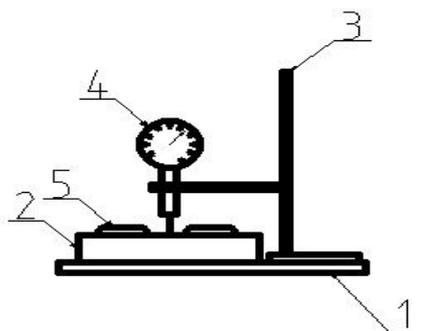
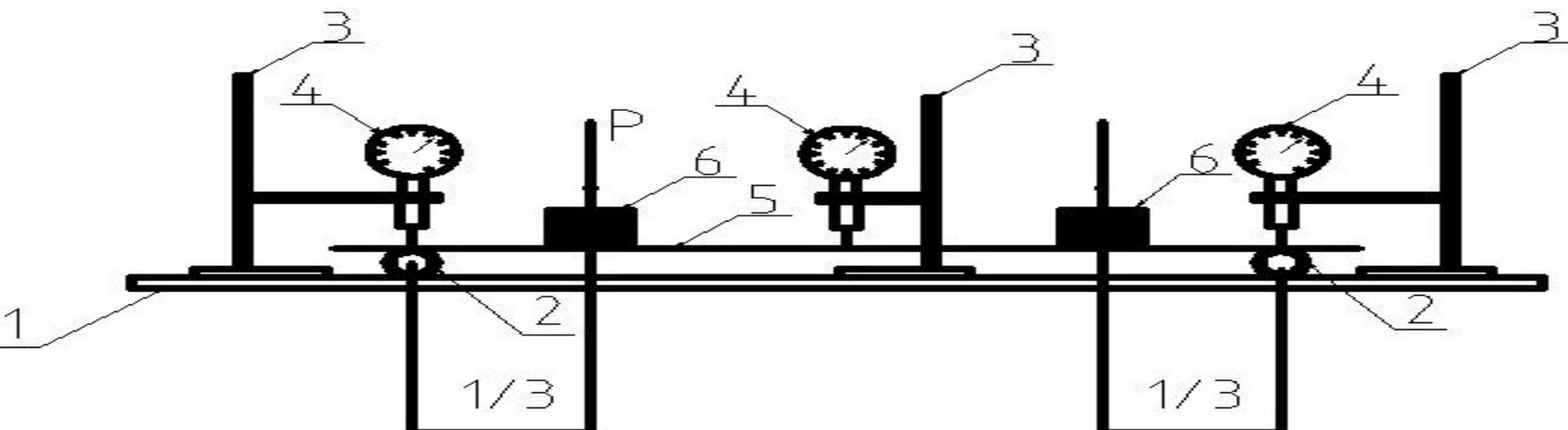
Позначення профілю	Розміри перерізу, мм		Площа перерізу А, см ²	Маса 1 м довжини профілю, кг	Довідкові величини на 1 м ширини настилу при стиснутих полках					
	t	h			вузьких			широких		
					момент інерції I _x , см ⁴	Момент опору, см ³		момент інерції I _x , см ⁴	момент опору, см ³	
						W _{x1}	W _{x2}		W _{x1}	W _{x2}
НС35-1000-0,6	0,6	35	6,6	5,6	23,3	10,5	13,0	22,3	9,8	9,4
НС35-1000-0,7	0,7	35	7,7	6,5	27,1	12,2	15,1	27,1	11,8	12,1
НС44-1000-0,7	0,7	44	9,8	8,3	32,9	13,4	16,8	32,9	13,0	13,6
Н57-750-0,7	0,7	57	7,7	6,5	53,8	14,8	21,1	53,8	16,4	19,7

$$\sigma = \frac{M}{W_{min}} \leq \frac{R_y}{\gamma_n}$$

Порядок випробувань:

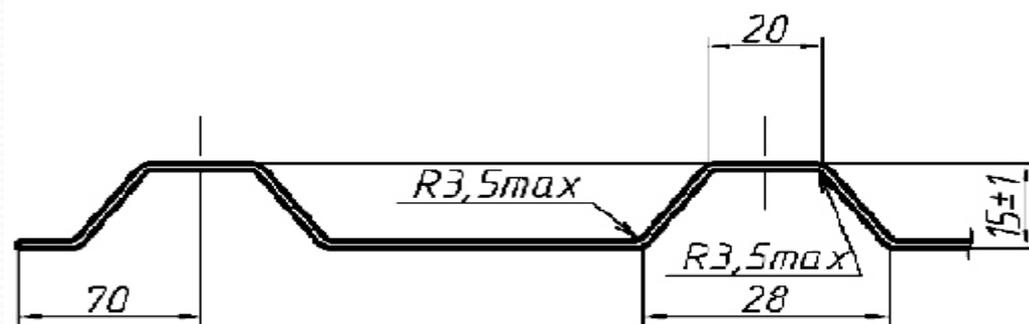
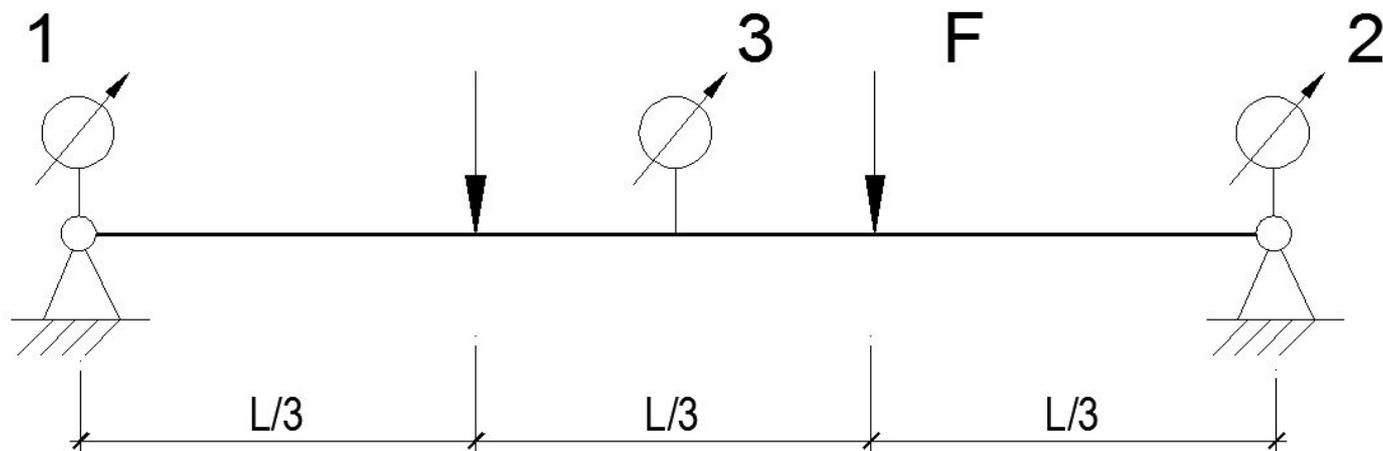
- Попередні розрахунки
- Підготовка до випробувань
 - ❖ Підготовка СПН до випробувань
 - ❖ Розташування приладів на установці згідно схеми випробувань
 - ❖ Тарування та маркування штучних вантажів
- Проведення випробувань
- Обробка результатів випробувань
- Порівняння результатів експерименту з результатами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

СХЕМА ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ

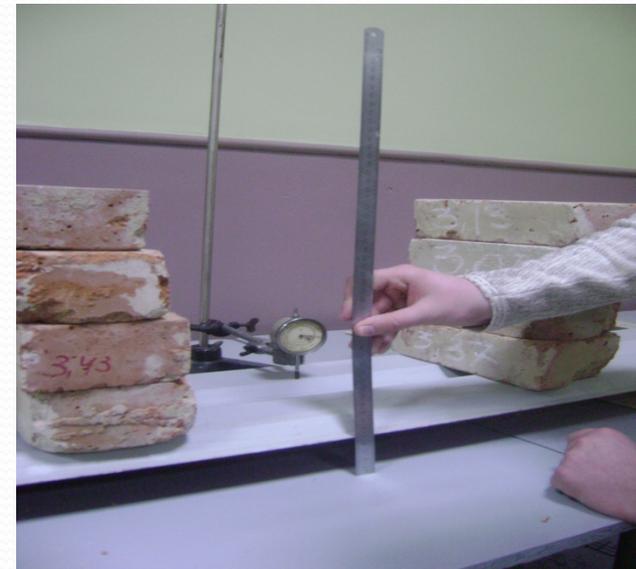


Поз.	Найменування	Кільк.	Доп. вказівки
1	Жорстка основа	1	
2	Опора (труба $\Phi 57$)	2	
3	Штатив	3	
4	Індикатор годинникового типу	3	
5	Сталевий профільований настил	1	
6	Вантаж (цегла керамічна 6,5...50 кг)	16	
7			
8			

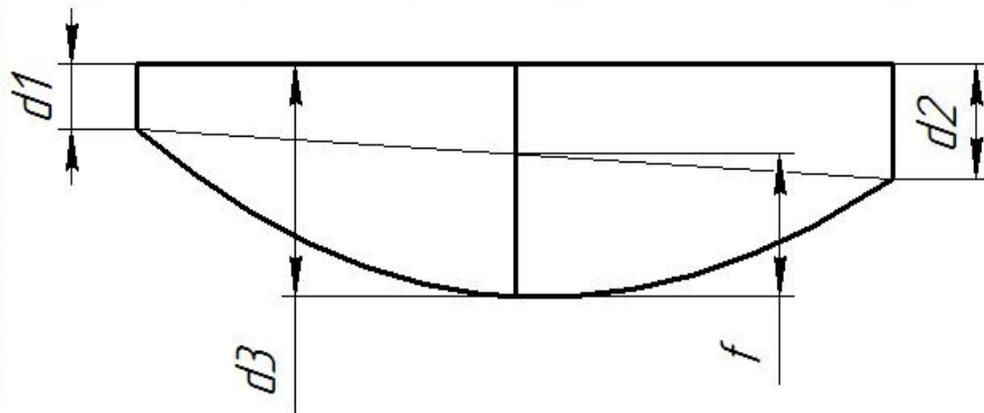
Принципова схема випробувань СПН



ДОСЛІДНА УСТАНОВКА



Обробка результатів випробувань



Теоретичний прогин

$$M = \frac{Fl}{3}$$
$$f = \frac{Ml^2}{10EI} = \frac{Fl^3}{30EI} \quad (1)$$

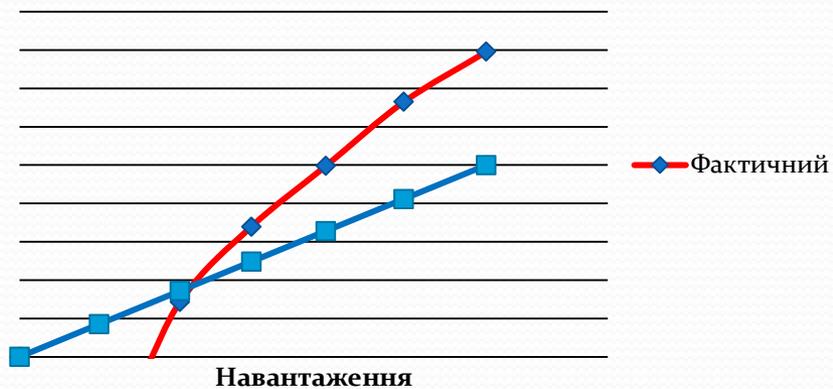
Фактичний прогин

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

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

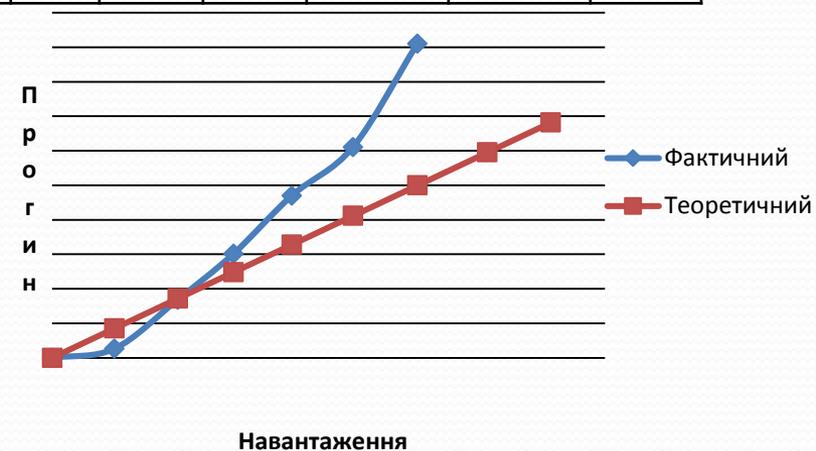
Зразок №1

Ступінь навантаження	Навантаження			Відліки					Переміщення			Прогин	
	Л	П	Σ	Л	С		С	П	A1	A3	A2	теорет	факт
0	0	0	0	2,13	1,00		11	6,9	0,0	0,00	0,00	0	0
1	3,37	3,37	6,74	1,57	7,27		15	6,9	0,5	-4,27	0,07	1,7	-4,56
2	3,43	3,44	13,61	1,33	7,69		7,6	6,9	0,8	3,31	0,10	3,4	2,86
3	3,00	3,07	19,68	1,21	3,69			6,9	0,9	7,31	0,13	4,9	6,8
4	3,20	3,13	26,01	1,11	0,44	10	0,44	6,8	1,0	10,56	0,19	6,5	9,9
5	3,32	3,32	32,65	1,01		7,0	-2,96	6,8	1,1	13,96	0,20	8,2	13,3
6	3,50	3,50	39,65	0,9		2,9	-7,07	3,9	1,2	18,07	3,08	9,9	15,9



Зразок №2

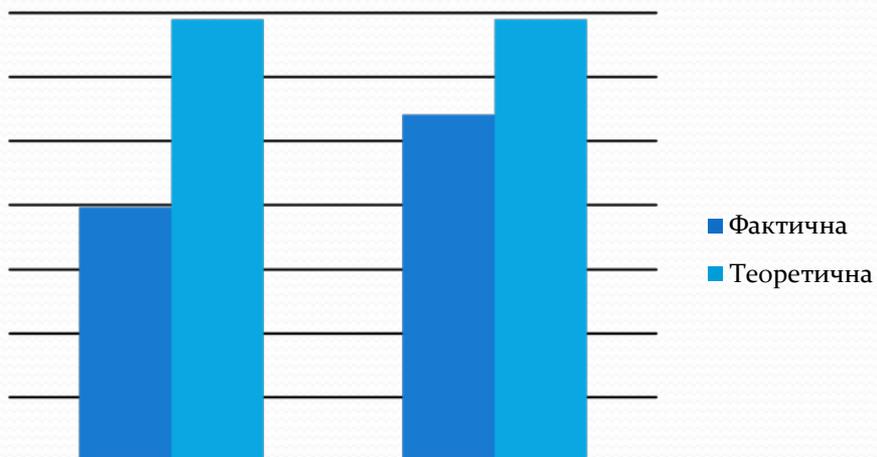
Ступінь навантаження	Навантаження			Відліки				Переміщення			Прогин		
	Л	П	Σ	Л	С		С	П	A1	A3	A2	теорет	факт
0	0	0	0	4,00	1,00		11,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0	0
1	3,37	3,37	6,74	3,99	0,43		10,43	3,92	0,01	0,57	0,08	1,6983	0,525
2	3,43	3,44	13,61	3,97	7,56		7,56	3,88	0,03	3,44	0,12	3,42937	3,365
3	3,00	3,07	19,68	3,96	4,9		4,90	3,89	0,04	6,10	0,11	4,95885	6,025
4	3,20	3,13	26,01	3,96	1,53	10,89	1,53	3,89	0,04	9,47	0,11	6,55384	9,395
5	3,32	3,32	32,65	3,96		8,08	-1,28	3,89	0,04	12,28	0,11	8,22695	12,205
6	3,50	3,50	39,65	3,97		2,1	-7,26	3,91	0,03	18,26	0,09	9,99077	18,2
7	3,81	3,77	47,23	4,04				4,03				11,9007	
8	3,42	3,47	54,12									13,6368	



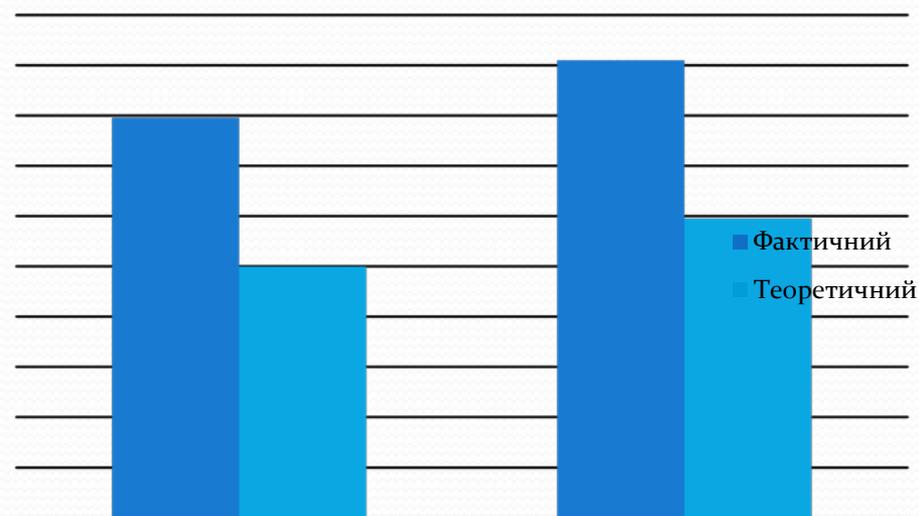
АНАЛІЗ ЗБІЖНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ

Зразок	За прогином			За міцністю		
	факт	теор	Δ,%	факт	теор	Δ,%
1	15,915	9,99	13,0	39,65	69	26,3
2	18,2	11,9	15,1	54,12	69	34,6

Міцність

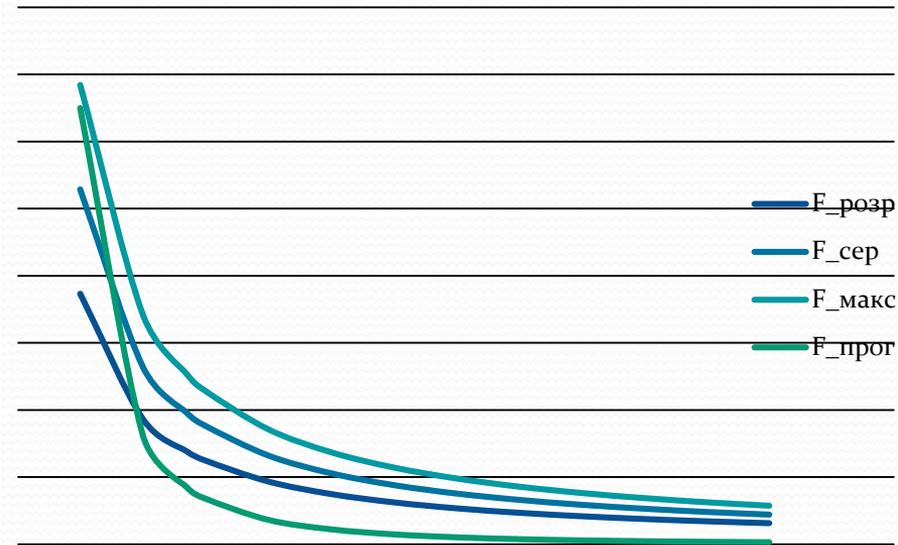


Прогин



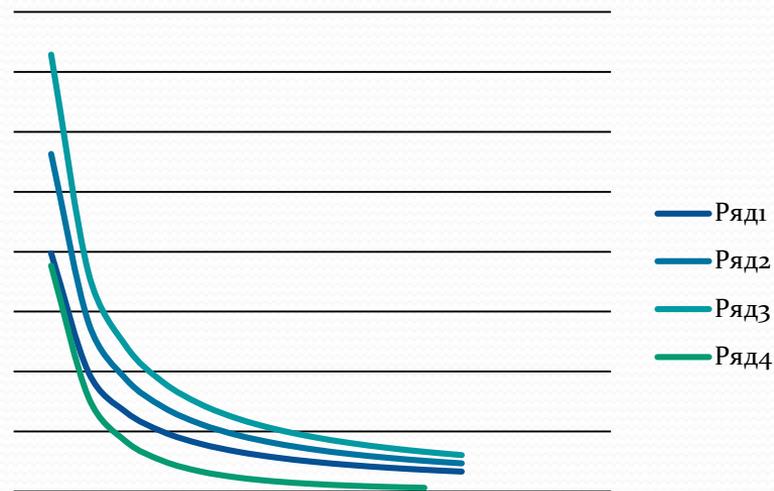
Несуча здатність СПН марка ТП-18-0

B=	100	27		E=	20600		
I=	2,92	0,7884		R_розр	R_сер	R_макс	
Wmin=	2,4	0,648		24	34	44	
L см	F_розр	F_сер	F_макс	L/f_гран	F_прог	Q_розр	Q_прог
50	187	264	342	120	325	1843	3208
100	93	132	171	120	81	461	401
135	69	98	127	126	42	253	155
150	62	88	114	128	34	205	111
200	47	66	86	135	18	115	45
250	37	53	68	142	11	74	22
300	31	44	57	150	7	51	12
350	27	38	49	158	5	38	7
400	23	33	43	167	4	29	5
450	21	29	38	175	3	23	3
500	19	26	34	183	2	18	2
550	17	24	31	192	2	15	2
600	16	22	29	200	1	13	1



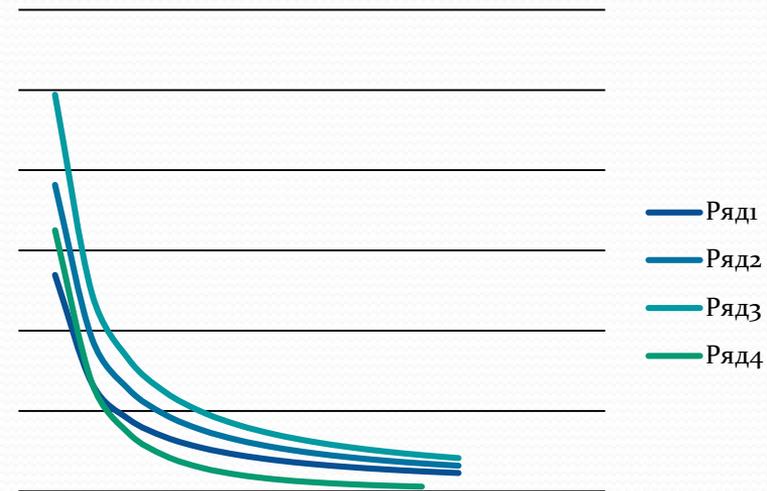
Несуча здатність СПН марки ТП-45-О

B=	100	30		E=	20600		
I=	12,2	3,66		R_розр	R_сер	R_макс	
Wmin=	4,6	1,38		24	34	44	
L см	F_розр	F_сер	F_макс	L/f_гра	F_прог	Q_розр	Q_прог
50	397	563	729	120	1508	3533	13404
100	199	282	364	120	377	883	1675
150	132	188	243	128	157	393	465
200	99	141	182	135	84	221	186
250	79	113	146	142	51	141	91
300	66	94	121	150	34	98	50
350	57	80	104	158	23	72	30
400	50	70	91	167	17	55	19
450	44	63	81	175	13	44	13
500	40	56	73	183	10	35	9
550	36	51	66	192	8	29	6
600	33	47	61	200	6	25	5



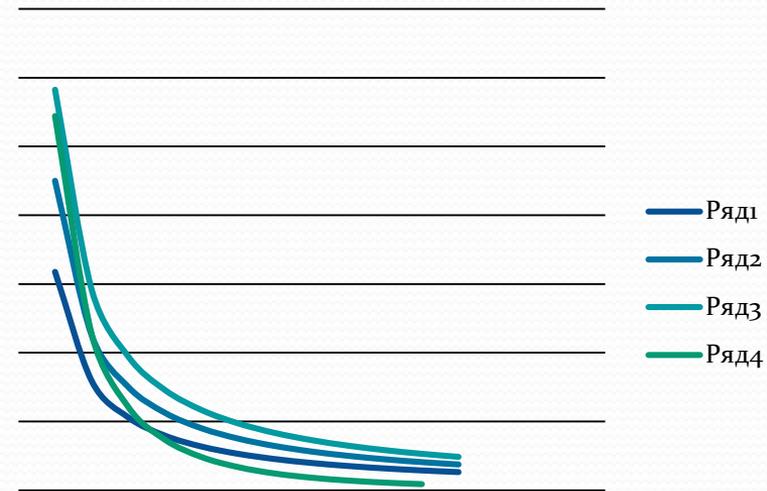
Несуча здатність СПН марки ТП-60

B=	100	120		E=	20600		
l=	26,3	31,56		R_розр	R_сер	R_макс	
Wmin=	7,8	9,36		24	34	44	
L см	F_розр	F_сер	F_макс	L/f_гран	F_прог	Q_розр	Q_прог
50	2696	3819	4942	120	13003	5990	28895
100	1348	1909	2471	120	3251	1498	3612
150	899	1273	1647	128	1354	666	1003
200	674	955	1236	135	722	374	401
250	539	764	988	142	440	240	195
300	449	636	824	150	289	166	107
350	385	546	706	158	202	122	64
400	337	477	618	167	146	94	41
450	300	424	549	175	110	74	27
500	270	382	494	183	85	60	19
550	245	347	449	192	67	50	14
600	225	318	412	200	54	42	10



Несуча здатність СПН марки ТП-85-О

B=	100	127		E=	20600		
I=	83,17	105,625 9		R_розр	R_сер	R_макс	
Wmin=	17,37	22,0599		24	34	44	
L см	F_розр	F_сер	F_макс	L/f_гра н	F_прог	Q_розр	Q_прог
50	6353	9000	11648	120	43518	13340	91376
100	3177	4500	5824	120	10879	3335	11422
150	2118	3000	3883	128	4533	1482	3173
200	1588	2250	2912	135	2418	834	1269
250	1271	1800	2330	142	1471	534	618
300	1059	1500	1941	150	967	371	338
350	908	1286	1664	158	675	272	202
400	794	1125	1456	167	489	208	128
450	706	1000	1294	175	368	165	86
500	635	900	1165	183	285	133	60
550	578	818	1059	192	225	110	43
600	529	750	971	200	181	93	32



Журнал для реєстрації й обробки результатів

Мета випробування: експериментально визначити несучу здатність сталевого профільованого настилу за критеріями першого (міцність) та другого (жорсткість) граничних станів.
Об'єкт випробування:
1. Дата випробування _____
2. Марка настилу _____
3. Довжина зразка (мм) _____
4. Ширина зразка (мм) _____
5. Крок гофрування _____
6. Модуль пружності сталі _____
7. Момент інерції _____

Таблиця 1

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



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

Висновок: _____

Зміст

- Інструкція з техніки безпеки та охорони праці
- Мета роботи
- Основні характеристики випробовуваного настилу
- Таблиця результатів випробувань
- Обробка результатів експерименту
- Графік залежності прогину від навантаження
- Висновок

Загальні висновки

- ❑ Огляд літератури з питань виробництва, використання та методів контролю якості СПН показав, що настили можуть виготовлятися згідно з державними стандартами, або стандартами підприємств, у яких розроблені методи розрахунків, контролю якості та випробувань СПН.
- ❑ На підставі розрахунків та випробувань зразків обґрунтована й розроблена конструкція установки для польових випробувань СПН, яка дозволяє виконувати завантаження штучними вантажами та вимірювати прогини зразка за допомогою індикаторів годинникового типу.
- ❑ Шляхом розрахунків за стандартною методикою визначені розрахункові значення несучої здатності СПН і порівняні з каталогом виробника.
- ❑ Експериментальні дослідження зразків СПН підтвердили працездатність розробленої установки та можливість випробувань настилів різних марок.
- ❑ Аналіз збіжності результатів експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками вказує на перевищення теоретичних прогинів та зниження несучої здатності настилу унаслідок істотного впливу навіть незначних початкових недосконалостей зразків.
- ❑ Розроблені рекомендації з проведення польових випробувань СПН на базі будівельної організації, а також форма журналу випробувань, які містять загальні теоретичні відомості, викладення методики випробувань та обробки результатів, бланки таблиць і графіків для фіксації та обробки результатів.
- ❑ Розроблені рекомендації та журнал випробувань можуть використовуватися будівельними організаціями для оперативного контролю якості СПН в умовах будівельного майданчика.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сталевий профільований настил знаходить широке застосування у промисловому та громадському будівництві в якості стінових та покрівельних огорожувальних конструкцій. Існують сортаменти профільованого настилу, розроблені методики його розрахунку, але різноманітність виробників призводить до різноманітності профілів сталевого профільованого настилу. Окрім того, не завжди точно відомі характеристики сталі, з якої конкретним виробником виготовлений конкретний профіль. Усе це обумовлює необхідність проведення випробувань з метою встановлення несучої здатності конкретної марки настилу. Для проведення таких випробувань необхідно розробити достатньо просту випробувань, яку можна реалізувати не в лабораторії, а засобами будівельної організації, і яка забезпечить достатню для практичних потреб точність результатів.

Мета й завдання розроблення. Метою кваліфікаційної магістерської роботи є розроблення та апробація простої методики польових випробувань сталевого профільованого настилу, включаючи проектування випробувальної установки, розроблення порядку та журналу випробувань.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- виконати огляд літератури з питань використання та розрахунку СПН;
- обґрунтувати й розробити установку для випробувань;
- визначити розрахункові значення несучої здатності СПН за каталогом виробника;
- провести експериментальні дослідження зразків СПН;
- порівняти результати експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками та проаналізувати збіжність результатів;
- розробити вказівки щодо порядку проведення випробувань та форму журналу для реєстрації й обробки результатів.

Об'єкт дослідження – робота несучого сталевого профільованого настилу при згині.

Предмет дослідження – зразки СПН, обладнання та методика випробувань.

Методи дослідження й розроблення:

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

Наукова та технічна новизна одержаних результатів:

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

Практичне значення одержаних результатів:

- запроектована установка для польових випробувань СПН;
- розроблені вказівки щодо порядку проведення випробувань та журнал для реєстрації й обробки результатів.

Розділ 1

ДОСВІД ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕВОГО ПРОФІЛЬОВАНОГО НАСТИЛУ

1.1 Типи сталевих профільованих настилу та його використання у будівництві

Профнастил (сталевий профільний лист) - це сталевий холодногнутий листовий профіль з трапецієподібною формою гофри. Використовується як для внутрішнього, так і для зовнішнього оформлення будинків. Також профнастил дозволяє будувати покрівлі, стіни й огороження з геометрією практично будь-якого рівня складності. Профнастил - екологічно чистий матеріал. Покращена формула захисного покриття забезпечує профнастил від шкідливого впливу атмосферних явищ та зберігає його колір на багато років. До переваг профнастилу, як фасадного та покрівельного матеріалу, відноситься довговічність (термін служби до 25 років), сучасний дизайн, простота монтажу, невелика вага та екологічність. Різноманітність кольорів дозволяє підібрати оптимальний варіант оформлення будь-якого об'єкта, від побудови нових будівель до реконструкції та модернізації старих [1].

Види і застосування сталевих профільованих настилу

Покрівельний профнастил (рисунок 1.1) є профільованим оцинкованим сталевим аркушем. Гофра покрівельного профнастилу може мати трапецієподібну, прямокутну або синусоїдальну форму. У стаціонарних покрівельних конструкціях використовують профнастил з висотою профілю від 44 мм, що забезпечує необхідну жорсткість. Розміри профілю вибирають відповідно до призначення конструкції. При будівництві стаціонарних конструкцій обов'язковою вимогою до профнастилу є лакофарбове або полімерне покриття. Покриття профнастилу істотно поліпшує його антикорозійні властивості й подовжує термін служби конструкції.

В останній час покрівельний профнастил зайняв конкуруючу позицію стосовно металочерепиці, і значно випередив по популярності покрівлю з листової оцинкованої сталі. Порівняно з покрівлею з листової сталі, покрівельний профнастил має більшу естетичну привабливість, підвищені показники надійності й довговічності. Що ж стосується металочерепиці, то покрівельний профнастил має більшість переваг цього матеріалу. При цьому його ціна значно нижча від ціни на металочерепицю. Крім того, покрівельний профнастил набагато вигідніше використати при будівництві тимчасових будинків і будинків технічного призначення, де естетична привабливість і перспектива довгострокового використання відходить на другий план відносно низкою ціни й простоти монтажу покрівельного профнастилу.

Рис. 1.1 Покрівельний профнастил

Стіновий профнастил (рисунок 1.2) застосовується для монтажу стін і перегородок, будівництва огорож. Залежно від висоти профілю стіновий профнастил відрізняється за показниками жорсткості. Чим більше висота - тим більш жорстким є профнастил. Для зведення несучих стін використовують стіновий профнастил з додатковими ребрами жорсткості (позначається буквою Н). Стіновий профнастил може бути з лакофарбовим покриттям або без нього.

Останнім часом стіновий профнастил став незамінним матеріалом при зведенні будинків, що швидко монтуються. У процесі будівництва металевий каркас обшивається стіновим профнастилом. Між внутрішнім і зовнішнім листами настилу вкладають прошарок утеплювального матеріалу. При зведенні конструкцій з незначними навантаженнями на стіни стіновий профнастил з додатковими ребрами жорсткості може використатися як несучий елемент.

Рис. 1.2 Стіновий профнастил

Несучий профнастил марки Н57 застосовується як покрівельний та несучий (незнімна опалубка) матеріал для великих цивільних і промислових об'єктів. Завдяки великій висоті гофр та додатковим ребрах жорсткості він може витримати значні навантаження навіть при горизонтальному положенні з великими проміжками між опорними точками. Виготовляється зі сталі з цинковим, алюмоцинковим або полімерним покриттям. Товщина металу становить 0,5-1,0 мм. Загальна ширина настилу Н57 - 980 мм, а корисна 900мм.

Профнастил С8 застосовується як облицювальний матеріал для стін, підвісних стель, огорож, парканів тощо. Виготовляється профнастил С8 зі сталі з цинковим, алюмоцинковим або полімерним покриттям. Товщина металу 0,5-0,7 мм. Загальна ширина профнастилу С8 – 1200 мм, при корисній 1150 мм.

Профнастил С10 застосовується як і настил С8. Відрізняється від моделі С8 дизайном, більшою висотою хвилі та відповідно більшою жорсткістю. Виготовляється профнастил С10 зі сталі з цинковим, алюмоцинковим або полімерним покриттям. Товщина металу 0,5-0,7 мм. Загальна ширина профнастилу С10 - 1200 мм, корисна – 1150мм.

Профнастил НС20 (універсальний) буває двох видів: для покрівель та стін. Застосовується як покрівельний матеріал для зовнішніх огорожень, парканів, дахів, стін. Виготовляється профнастил НС20 зі сталі з цинковим, алюмоцинковим або полімерним покриттям. Товщина металу становить 0,5-0,9 мм. Загальна ширина профнастилу НС20 – 1140 мм, а корисна – 1100 мм.

Маркування профнастилу

Профнастил П та С

Буквами П и С маркують профнастил із трапецієподібною або хвилеподібною формою гофри. Висота гофри 8...44 мм. Профнастил П и С має, переважно, захисний характер і застосовується як облицювальний матеріал. Його небажано використати для зведення несучих конструктивних елементів.

Профнастил цього виду використовують для монтажу ненавантажених стін і перегородок, огорожень, збірних сендвіч-панелей, парканів і невідповідальних елементів покрівельної конструкції.

Додаткові позначення в маркуванні застосовують для вказання області застосування профнастилу. Так, буквами ПС позначають стіновий профнастил, а, покрівельний профнастил даного типу позначають маркуванням ПК.

Профнастил НС

Буквами НС маркують профнастил із трапецієподібною формою гофри. Висота гофри 35-44 мм. Залежно від товщини сталі, профнастил НС можна використати для зведення слабо навантажених несучих елементів, таких як стіни перегородки, настили покрівлі, огороження.

Профнастил Н

Буквою Н маркують профнастил із трапецієподібною формою гофри. Висота гофри зазвичай перевищує 44 мм. Профнастил Н має додаткові ребра жорсткості, що збільшує його несучу здатність. Профнастил даного типу застосовують при зведенні несучих конструктивних елементів, зокрема при будівництві покрівель, міжповерхових перекриттів, як армуючу, опорну або несучу конструкцію при монтажі незнімної опалубки [2].

Нестандартний профнастил

Профнастил нестандартний виробляється на нестандартному обладнанні і може застосовуватися практично в будь-якій галузі. Він не має особливих стандартів та вимог і випускається під конкретні потреби. Прикладів такого профнастилу може бути безліч [1].

1.2 Нормативне забезпечення виробництва та використання СПН

Основні нормативні документи, що регламентують використання та виробництво сталевих профільованих настилу, перелічені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Основні нормативні документи

У визначених нормативах наведені основні вимоги до сталі, з якої виготовляються настили, способів антикорозійного захисту та засобів контролю якості настилів.

1.3 Технологія виготовлення та вимоги до СНП

Профільовані листи без лакофарбових покриттів всіх типів повинні виготовлятися з тонколистового холоднокатаного прокату. Допускається застосовувати прокат, одержаний по імпорту, показники, якості якого відповідають вимогам відповідних нормативних документів.

Профільовані листи з лакофарбовим покриттям повинні виготовлятися з прокату із захисно-декоративним лакофарбовим покриттям для будівельних конструкцій. Матеріал лакофарбового покриття, його товщина й колір встановлюються за погодженням виробника зі споживачем, але вони повинні відповідати вимогам чинних стандартів. Якість покриття (цинокового, алюмоцинкового, алюмокремнієвого, алюмінієвого) профільованих листів повинна задовольняти вимогам нормативних документів на матеріал вихідної заготовки для профілювання [3].

Профільований настил виготовляють з оцинкованої сталі з полімерним покриттям. Такі листи мають добрий захист від корозії та стійкість до несприятливого впливу навколишнього середовища. Крім цього, полімерні покриття надають необхідні декоративні властивості.

Профільований лист (профнастил) виготовляють способом холодного прокату, після чого оброблені листи приймають потрібну гофровану форму, яка

надає їм достатню міцність і жорсткість. Форма профільованого листа може бути хвилеподібною чи трапецієвидною. Висота профілю може сильно варіюватися. Монтувати профільовані листи можна в будь-якому положенні, як вертикальному, так і в горизонтальному. Профільовані листи застосовують для внутрішнього та для зовнішнього опорядження будівель. Профільовані листи, у яких висота гофри становить не менше 20 мм, прийнято використовувати для внутрішнього декорування приміщень, обшивки стін або улаштування підшивної стелі, а також для улаштування огорож території. Профільний лист, у якого висота гофри перевищує 20 мм, використовують як конструктивний елемент, для якого обов'язково проводять розрахунок на міцність і прогин.

1.4 Методи контролю якості СНП

Методи контролю встановлені в Державному стандарті України ДСТУ 8802:2018 [3]. Марка, властивості, товщина прокату, а також якість лакофарбового покриття вихідної заготовки повинні бути засвідчені документом про якість підприємства-виробника заготовки. Якість поверхні металевого та лакофарбового покриття визначають візуально.

Розміри профільованих листів контролюють рулеткою, металевою лінійкою та штангенциркулем. Ширину та висоту листів вимірюють у декількох місцях на відстані до 500 мм, довжину – по двох сторонах.

Серповидність по ребру гофра та хвилястість профільованих листів перевіряють вивірною лінійкою довжиною 1 м за та набором щупів. Загальну серповидність визначають за допомогою струни, що закріплена на пласкій горизонтальній поверхні, та лінійки.

Косину зрізів профільованих листів вимірюють лінійкою та косинцем, встановленим по крайньому гофру профілю. За результат вимірювання розмірів приймають середнє значення, яке отримано при трьох замірах в одному перерізі або по одній лінії, при цьому результати кожного вимірювання повинні знаходитися у межах нормованих допусків [3].

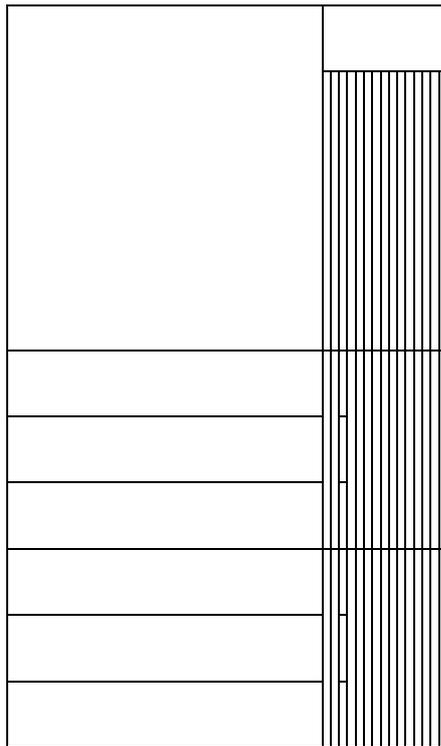
1.5 Типи й сортаменти сталевих профільованих настилів

У даному розділі що нижче наведені сортаменти СПН найчастіше вживаних типів.

Рис. 1 Профільований лист типу Н заввишки 57 та 60 мм

Таблиця 1.2

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики



Продовження таблиці

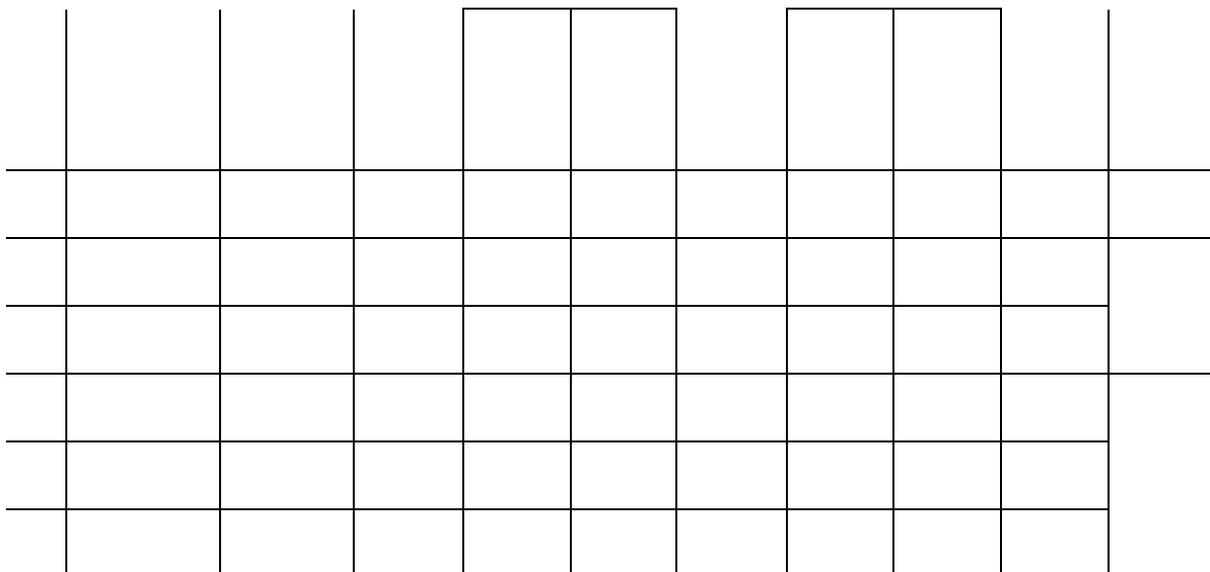


Рис. 2 Профільований лист типу Н заввишки 75 мм

Таблиця 1.3

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

--	--	--	--	--	--	--

* Розмір технологічний, $a \geq 0$

Рис. 4. Профільований лист типу Н заввишки 114 мм, завширшки 750 мм

Таблиця 1.4

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

				Геометричні характеристики профілю							
				Висота стовпця		Висота ребра		Висота стовпця			
				Висота стовпця	Висота ребра	Висота стовпця	Висота ребра	Висота стовпця	Висота ребра		
				Висота стовпця	Висота ребра	Висота стовпця	Висота ребра	Висота стовпця	Висота ребра		

Рис 5 Профільований лист типу НС заввишки 35 мм

Таблиця 1.5

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

* Розмір технологічний, $a \geq 0$

Рис. 6. Профільований лист типу НО заввишки 44 мм

Таблиця 1.6

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

* Розмір технологічний, $a \geq 0$

Рис. 7. Профільований лист типу С заввишки 10 та 18 мм

Таблиця 1.7

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

Профіль завширшки 1000 мм

Профіль завширшки 800 мм

* Розмір технологічний, $a \geq 0$

Рис. 7. Профільований лист типу С заввишки 15 мм

Таблиця 1.8

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

Рис. 9. Профільований лист типу С заввишки 21 та 44 мм

Таблиця 1.9

Позначення профілю для настилів та їх геометричні характеристики

1.6 Особливості розрахунку та проектування СНП

Міцність настилу при згині слід перевіряти за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{W_{min}} \leq \frac{R_y}{\gamma_n} \quad , \quad (1.1)$$

де M – розрахункове значення згинального моменту у розглянутому перерізі;

W_{min} – мінімальний розрахунковий момент опору у розглянутому перерізі, прийнятий за таблицею 1.9.

R_y – розрахунковий опір сталі при згині;

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням.

Основні характеристики настилів поперечного перерізу профілів за ДСТУ [5] наведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

Позначення профілю для настилів ті їх геометричні характеристики

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right) + \left(\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{cr}}\right) \leq 1, \quad (1.3)$$

де σ – нормальне напруження від вигину, визначене за формулою (1.1);

σ_{loc} – місцеві напруження від реакції середньої опори, визначені за (1.4);

σ_0 – нормальні критичні напруження, визначені за формулою (1.5);

σ_{cr} – місцеві критичні напруження, визначені за формулою (1.6).

Місцеві напруження над середньою опорою дорівнюють

$$\sigma_{loc} = \frac{2B_0}{tz}, \quad (1.4)$$

де B_0 – опорна реакція на одну стінку гофри;

z – ширина розрахункової ділянки стінки гофри, яка дорівнює $b = 2r$, але не більше $1,5 h$;

b – ширина полиці прогону чи іншого елемента несучих конструкції покриття, на котрий опирається настил;

r – радіус спряження стінок гофрів з полицями гофри.

Критичні значення нормальних напружень визначають за формулою

$$\sigma_0 = k_0 k_{01} \left(\frac{1000t}{h_0}\right)^2, \text{ МПа}, \quad (1.5)$$

де k_0 – коефіцієнт, залежний від характеру напружень на ділянці, що приймається за таблицею 1.3;

k_{01} – коефіцієнт, який визначається за формулою (1.7);

$h_0 = h - 2(r + t)$ – розрахункова висота гофри.

Таблиця 1.11

Коефіцієнти A та k_0 для розрахунку настилу

Критичні значення нормальних напружень визначають за формулою

$$\sigma_{cr} = Ak\sqrt{R_y}, \quad (1.6)$$

де R_y – у МПа;

A – коефіцієнт, залежний від розмірів перерізу стінки та визначається за таблицею 1.3;

K – коефіцієнт, визначений по таблиці 1.4 в залежності від ширини опори настилу при умові, що $b \leq (1,5h - 2r)$;

$$k_{o1} = 0,9 - 0,2 \frac{t}{h} \left(1 - 2,45 \frac{z}{h}\right), \quad (1.7)$$

Таблиця 1.12

Коефіцієнт k для розрахунку настилу

b , мм	40	60	80	120	160	200
k	0,192	0,161	0,141	0,118	0,104	0,094

Примітка – У інтервалі між значеннями, приведеними в таблиці, коефіцієнт k визначається лінійною інтерполяцією.

Якщо $\frac{z}{h} \leq 0,9$ або $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma} \leq 0,4$, то приймається $k_{o1} = 1,0$ [4].

1.7 З'єднання сталевого профільованого настилу

Нижче описані поширені види та конструкції з'єднань листів сталевого профільованого настилу між собою та їх кріплення до несучих конструкцій (прогонів, поясів ферм або балок), на які обпирається настил.

З'єднання настилу самонарізними гвинтами компанії Hilti

Для з'єднання тонких профільованих листів між собою використовують самосвердлувальні, самонарізні гвинти марок S-MD 01Z, S-MD 03Z та S-MD 51Z, які зображені на рисунку 1.3.

Рис. 1.3 Самосвердлувальні гвинти S-MD 51Z з поліетиленовою шайбою для з'єднання двох або трьох листів настилу товщиною від 0,6 до 0,8 мм

Ці гвинти застосовують для з'єднання двох або трьох листів загальною товщиною не більше 2,75 мм при довжині гвинта 19 мм.

Для кріплення профільованих листів до сталених несучих елементів покрівлі (ферм, балок, прогонів) використовують самонарізні, самосвердлувальні гвинти марок S-MD 05-Z, S-MD 21-Z, S-MB 53-Z, S-MD 55-Z, S-MD 51-LZ [1].

Самонарізні самосвердлувальні гвинти діаметром від 4,8 до 6,3 мм виготовляють з високоміцної вуглецевої сталі з цинковим покриттям та використовують для кріплення настилу до основного металу товщиною від 1,25 до 12,0 мм з тимчасовим опором не більше 370 МПа. Кріплення настилу виконується безпосередньо до опорної конструкції або через шар утеплювача при довжині гвинта від 38 до 55 мм, як це показано на рисунку 1.4.

Рис. 1.4 Подовжені гвинти S-MD 51LZ, для кріплення настилу до опорної конструкції через шар утеплювача

Самосвердлувальні гвинти класу S-MDS за [5] діаметром від 4,8 до 5,5 мм та довжиною не більше 100 мм виготовляють з нержавіючої сталі та застосовують для кріплення настилу у агресивному середовищі.

Самонарізні гвинти S-MP 52Z та S-MP 53Z діаметром 6,3 мм з цинковим покриттям використовують для кріплення профільованих листів до металевих конструкцій згідно з рисунком 1.5. Перед установкою гвинта необхідно просвердлити отвір меншого діаметру, який вказано в таблиці 1.11. Довжина цих гвинтів не перевищує 100 мм.

Таблиця 1.11

Необхідні діаметри отворів під гвинти S-MPZ

Товщина основного металу, мм	1,25	1,5	2,0	4,0	6,0	≥7,0
Необхідний діаметр отвору під гвинт, мм	5,0	5,0	5,3	5,3	5,5	5,7

Рис. 1.5 Самонарізні гвинти S- MP 52Z без свердла

Самонарізні гвинти можуть поставлятися з ущільнюючими шайбами діаметром 16 мм з полімерного матеріалу чи без них. Для покрівельного профільованого настилу гвинти повинні використовуватись з шайбами. Наконечник самосвердлувального гвинта виконаний у формі свердла, довжина котрого залежить від товщини базового металу. Гвинти з коротким свердлом використовують для з'єднання листів загальною товщиною від 0,75 до 3,0 мм, зі свердлом середньої довжини – для товщини не більше 6,0 мм, с довгим свердлом – для товщини від 5,0 до 12,0 мм. Після установки гвинта свердло повинно виступати з базового матеріалу не менш ніж на 2 мм.

Гвинти встановлюються за допомогою електричних шуруповертів, Hilti, забезпечених регулятором крутного моменту або обмежувачем загвинчування до потрібної глибини.

Опорні з'єднання профільованого настилу на самонарізних гвинтах слід розраховувати на зріз та розтяг за схемами, показаними на рисунку 1.5.

Рис. 1.6 Граничні стани гвинтового з'єднання: а) – при висмикуванні гвинта; б) – при відриві приєднаного листа; в) – при зрізі.

Розрахункове зрізаюче зусилля N_b , котре може бути сприйнято одним гвинтом, визначається за формулою:

$$N = \alpha R_u dt, \quad (1.8)$$

де t – товщина більш тонкого з з'єднувальних профілів, мм

d – діаметр гвинта, мм

$$\alpha = 3,2 \sqrt{\frac{t}{d}}; \quad (1.9)$$

R_u – розрахунковий опір сталі настилу, кН/мм².

Розрахунковий опір V_b , одногвинтового з'єднання настилу при розтягу (ви4

У таблиці 1.13 наведені граничні розтягуючі зусилля V_{b1} на один гвинт при відриві настилу від опори. Таблиця 1.13

Граничні розтягуючі зусилля на один гвинт

Діаметр саморізу, мм	Граничне розтягуюче зусилля V_{b1} (кН) при товщині профілей настилу (мм)				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
4,8	12,2	15,4	18,9	22,0	25,0
5,5	15,1	18,0	20,9	24,4	28,0

У таблиці 1.7 наведені граничні розтягуючі зусилля V_{b2} на один гвинт при його висмикуванні з основного металу опори.

Таблиця 1.14

Граничні розтягуючі зусилля на один гвинт

Діаметр саморізу, мм	Граничне розтягуюче зусилля V_{b2} (кН) при товщині опорного металу (мм)						
	1,25	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
4,2	11,0	13,5	14,0	-	-	-	-
4,8	11,5	14,5	15,0	22,5	-	-	1
5,5	12,0	16,5	23,0	26,5	35,0	36,5	37,0
6,3	13,0	18,5	24,4	28,0	36,5	37,0	37,5

Примітка: значення V_{b2} у таблиці визначені з урахуванням коефіцієнту запасу 2,0.

Кількість гвинтів у опорному з'єднанні настилу при дії зрізаючого зусилля N визначається за формулою:

$$n \geq \frac{N}{0,8N_b}, \quad (1.10)$$

Кількість гвинтів у опорному з'єднанні настилу при дії розтягуючого (висмикуючого) зусилля V визначається за формулою:

$$n \geq \frac{V}{0,8V_b}, \quad (1.11)$$

де V_b – найменше з значень V_{b1} та V_{b2} за таблицями 1.12 та 1.13.

Гвинти у з'єднанні настилу, працюючі одночасно на зріз та розтяг, слід розраховувати на зріз та розтяг окремо.

Кріплення настилу за допомогою дюбелів компанії Hilti

Для кріплення профільованого настилу до металевих конструкцій використовують дюбелі двох марок X-ENP-19 та ENP2K-20, які показані на рисунку 1.7 зі [5].

Дюбелі Х-ENP-19 (ENP2K-20) [5] діаметром 4,5 мм являються універсальними та можуть бути використані для кріплення сталевих листів товщиною від 0,6 до 4,0 мм до сталевій конструкції товщиною від 3 до 8 мм (для дюбелів ENP2K-20) або от 6 мм та більше (для дюбелів Х-ENP-19). Зображені на рисунку 1.8 дюбелі ENP2K діаметром 3,7 мм застосовуються для кріплення профільованого настилу до сталевій конструкції товщиною від 3 до 8 мм.

Рис. 1.7 Дюбель
Х-ENP-19

Рис. 1.8 Дюбелі Hilti: а) дюбелі ENP2K-20L15; б)
дюбелі ENP2K -20-S12;
в) дюбелі Х-ENP-19 L15MX в обоймі

Високоміцні дюбелі-цвяхи повинні виготовлятися зі сталі, твердість котрої у 2-3 рази більше, ніж у основного металу, у котрий вони встановлюються. Тимчасовий опір сталі дюбелів при розтягу (межа міцності) повинен бути близько 2000 МПа при твердості по Роквелу не менше 55. Такі дюбелі, показані на рисунку 1.9, застосовують для кріплення пакету із сталевих листів загальною товщиною не більше 4 мм до несучої конструкції зі сталі з межею міцності від 340 до 630 Н/мм².

Рис. 1.9 З'єднання на дюбелі

Область застосування дюбелів обмежується товщиною та міцністю основного металу. Залежність максимальної товщини основного металу від його міцності для дюбелів ENP2 приведена на рисунку 1.10,а, а для дюбелів ENP2K[5] - на рисунку 1.10,б.

а)

б)

Рис. 1.10 Залежність граничної товщини базового матеріалу від його міцності:

а) - для дюбелів Х-ENP-19; б) - для дюбелів ENP2K.

Дюбельне з'єднання профільованого настилу працює на зріз і розтяг по одній з чотирьох схем, показаних на рисунку 1.11.

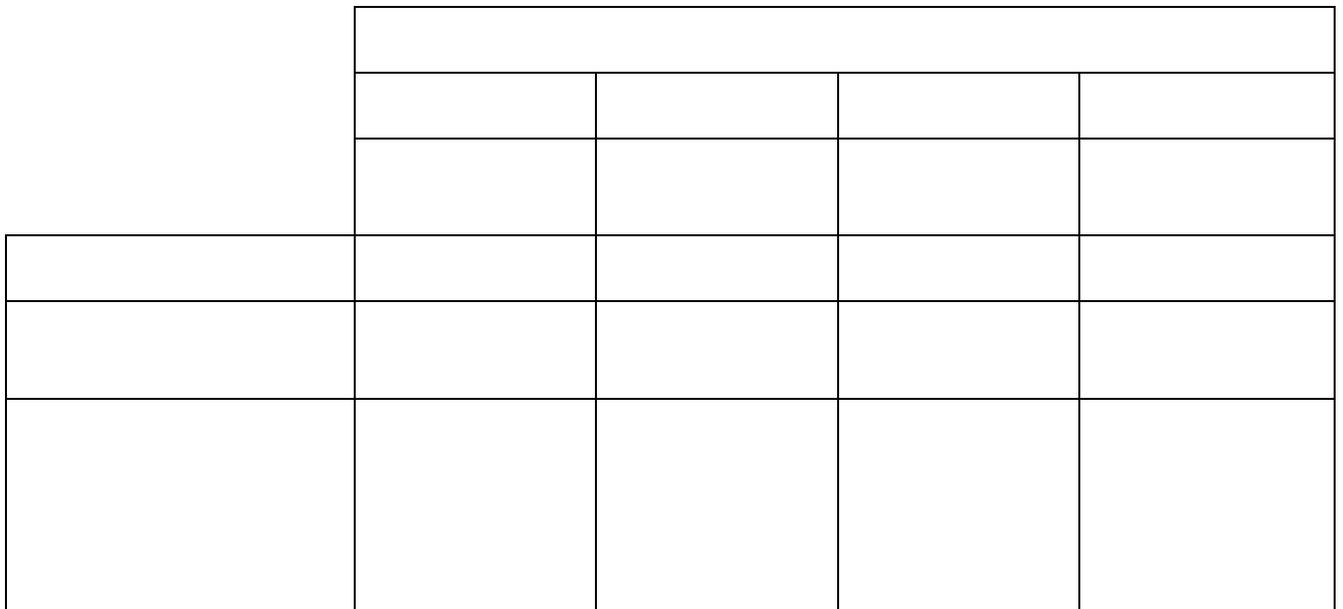


Рис. 1.11 Типові схеми дюбельних з'єднань профільованого настилу

Несуча здатність дюбельного з'єднання залежить від товщини прикріпленого настилу та схеми, по котрій воно працює. Глибина установки дюбелю у основному металі рекомендується від 22 до 27 мм. Необхідна кількість дюбелів у з'єднанні настилу визначається за формулами:

на зріз

$$n_v = \frac{N}{V_{R1} \gamma_M}, \quad (1.12)$$

на розтяг

захисний ковпачок, з нержавіючої сталі та неопренова шайба, показані на рисунку 1.12. Ухил покрівлі із профільованого настилу, закріпленого дюбелями з неопреновими шайбами, повинен бути не меншим за 6° .

Рис. 1.12 Дюбельне з'єднання покрівельного настилу

1 - дюбель, 2 - опорний елемент, 3 - захисний ковпачок, 4 - неопренова шайба

Дюбелі забиваються у базовий матеріал за допомогою порохового монтажного пістолету Hilti DX 76 MX (з магазином для дюбелів у стрічці по 10 шт) або DX 76 F15 (для установки одиночних дюбелів).

Монтажний пістолет має п'ять ступенів захисту від випадкового пострілу:

- ствол пістолета під час пострілу повинен бути розташований перпендикулярно до поверхні з'єднувальних елементів;
- постріл може бути проведений тільки у тому випадку, якщо зусилля, що притискують пістолет до з'єднувальних елементів перевищує 5 кгс;
- постріл не буде проведений без попереднього натиску на спусковий кріючок пістолету до упору;
- для виконання пострілу необхідно послідовно провести всі вказані дії;
- постріл не буде проведений у разі падіння пістолету.

Для виключення наскрізного прострілу базового матеріалу у монтажному пістолеті використовується поршневий принцип дії.

Для установки дюбелю ширина нижньої полки настилу з трапецієвидними гофрами повинна бути не менш 38 мм. Відстань від дюбелю до найближчої стінки гофри повинно бути не менше 20 мм.

Відстань від краю базової конструкції до найближчого дюбелю повинна бути не менше 10 мм.

Крок дюбелів уздовж гофрів настилу повинна бути не меншим 45 мм, поперек гофрів – не меншим 10 мм.

Відстань від дюбелю до краю настилу – не менше 20 мм.

З'єднання листів настилу комбінованими заклепками

Комбіновані заклепки «BRALO», показані на рисунку 1.13, складаються з алюмінієвого або сталевго корпусу та сталевго стержня з каліброваної сталі діаметром 2,5-2,8 мм.

Рис. 1.13 заклепкове з'єднання двох листів

а - до заклепування, б - після розклепування, в - розміри та допуски
1 - заклепка; 2 - сталевий стержень; 3 – з'єднувальні листи;
4 - інструмент для закріплення

Корпус заклепки з алюмінієвого сплаву діаметром від 2,4 до 6,4 мм та довжиною до 50 мм має бортик діаметром від 5 до 13 мм. Сталевий корпус заклепки діаметром від 3,2 до 4,8 мм та довжиною до 12 мм має бортик від 6 до 9,5 мм. Максимальна товщина пакету з з'єднувальних листів залежить від діаметру та довжини корпусу заклепки.

Несуча здатність однієї стандартної заклепки у з'єднанні профільованих листів внахлест приводиться у таблиці 1.16.

Таблиця 1.16

Граничні зусилля для одно заклепочного з'єднання

Крок заклепок у з'єднаннях приймається не більше 500 мм, крім профільованих настилів, виконуючих функцію діафрагм жорсткості у покриттях будівель та споруд [5].

1.8 Висновки з розділу і завдання досліджень:

1. Сталевий профільований настил широко використовується в будівництві для улаштування фасадів і покрівель.

2. Сталевий профільований настил виготовляють різних профілів згідно з державними стандартами і нормативними документами виробника, він може бути оцинкований або захищений лакофарбовим покриттям.

3. Вимоги до СПН, його параметри та способи контролю якості встановлюються державним стандартом та стандартом виробника.

4. У практиці будівництва використовують різні види з'єднання СПН між собою та до несучих конструкцій у вигляді самонарізних гвинтів, дюбелів та спеціальних заклепок.

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

- 1) обґрунтувати й розробити установку для випробувань;
- 2) визначити розрахункові значення несучої здатності СПН за каталогом виробника;
- 3) провести експериментальні дослідження зразків СПН;
- 4) порівняти результати експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками та проаналізувати збіжність результатів;
- 5) розробити вказівки щодо порядку проведення випробувань та форму журналу для реєстрації й обробки результатів.

Розділ 2

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Завдання випробувань

Мета випробування будівельних елементів (конструкцій) зазвичай полягає в тому, щоб перевірити поведження будівельного елемента під впливом зовнішніх факторів. У даному розділі зовнішніми факторами є статичні навантаження на профнастил. Експериментальні випробування дорожче теоретичних розрахунків, тому проводяться тільки в тому випадку, якщо:

- ще не існує прийнятної теорії;
- уже розроблена теорія має потребу в практичному підтвердженні;
- для застосування відомої теорії необхідно отримати певні вихідні експериментальні дані.

Часто задається питання, чи треба у випадку нової технічної розробки спочатку проводити випробування й на основі їх результатів створювати теорію, прийнятну для практики, або навпаки, спочатку розробити теорію, що потім повинна бути підтверджена або доповнена результатами випробувань. На практиці обидві альтернативи найчастіше розглядаються разом, взаємно доповнюючи одна одну.

У кожному разі практично прийнятна теорія містить у собі ідеалізовані передумови та спрощення. Тому імовірно, що результати випробувань точніше й більше відповідають дійсності, ніж результати, отримані теоретичним шляхом. Але це можливо лише в тому випадку, коли у випробуванні можна точно відтворити реальні умови роботи конструкції чи виробу. У випадку будівельних елементів це насамперед стосується видів обпирання випробуваних зразків і прикладання навантажень. При цьому часто виникають труднощі, тому що, наприклад, прикладання рівномірно розподіленого поперечного навантаження створює певні труднощі. Якщо випробування служать підтвердженню наявної теорії, тоді ідеалізації, покладені в основу теорії, наприклад шарнірне обпирання, також повинні бути відтворені у випробуванні.

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

Визначальні випробування проводяться для встановлення значень параметрів і характеристик конструкції, передбачених програмою випробувань. Вони виконуються на етапі розробки конструкції або при налагодженні технології її виготовлення і поділяються на неруйнівні випробування і випробування до руйнування.

Неруйнівні визначальні випробування в свою чергу поділяються на:

- оціночні, метою яких є оцінка експлуатаційних властивостей конструкції і виявлення особливостей її поведінки в процесі навантаження;
- перевірочні, метою яких є перевірка несучої спроможності виробу (конструкції) і зіставлення її з вимогами, що встановлюються нормами проектування або іншою нормативно-технічною документацією.

Статичним випробуванням підлягають будівлі та споруди, конструкції та їх елементи, які не призначені для роботи під динамічними навантаженнями. Метою статичних випробувань є порівняння фактичної роботи конструкції (елементу) з поведінкою, що передбачалась розрахунковою моделлю, та визначення несучої спроможності конструкції.

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

- встановлення реакції конструкції на величину і характер динамічних навантажень, що до неї прикладені;

- встановлення характеру та величини динамічних навантажень, що діють на конструкцію від технологічного обладнання чи природних факторів і реакції конструкції на ці навантаження;
- визначення дійсного рівня вібрацій.

Вважається, що конструкція чи її елемент витримали випробування, якщо:

- в ній не виявлено будь-яких пошкоджень;
- залежність між величиною навантаження і переміщеннями була лінійною;
- залишкові переміщення, виміряні після зняття навантаження з конструкції, не перевищують 20% від їх максимальних значень під дією контрольного навантаження.

Випробування до зруйнування дають інформацію про фактичну несучу здатність конструкції й дозволяють прийняти рішення про встановлення обґрунтованих значень граничного опору для проектування аналогічних конструкцій. Якщо зразок, що випробовується, не призначений для використання за призначенням, то з метою накопичення інформації про фактичні резерви міцності після завершення оціночних або перевірочних випробувань проводити випробування до руйнування.

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

Якщо розглядається конструкція-прототип або головний зразок продукції, яка має випускатися серійно, то для визначення розрахункової несучої здатності випробуванням до руйнування піддають не менше трьох однотипних зразків.

Контрольні випробування проводяться для вирішення питання про прийняття або бракування партії однотипних виробів. Контролюється відповідність несучої спроможності виробів партії, що перевіряється, до вимог

проектно-конструкторської документації, або їх відповідність несучій спроможності головного зразка (прототипу) конструкції, встановленій при визначальних випробуваннях.

Випробуванням підлягають зразки, які випадковим чином відбирають із партії виробів відповідно до вказівок технічних умов на випробувані вироби. Кількість зразків, що відбираються для випробувань, а також інші умови контролю (характер обпирання, вид навантаження і т.ін.) указуються в проектно-конструкторській документації або в технічних умовах на виготовлення виробів певного виду.

До випробувань відібраних зразків необхідно проконтролювати їх розміри і перевірити зовнішні ознаки, які характеризують якість їх виготовлення, ознайомитися з сертифікатом на використанні матеріали. На випробування подаються лише ті зразки, відхилення показників яких від вимог стандарту, проекту чи виробу-прототипу знаходяться у межах допусків, установлених діючими нормативними документами.

Для перевірки розробленої теорії розрахунку СПН в лабораторії кафедри "Будівельних, дорожніх машин та будівництва" була розроблена програма досліджень несучої здатності СПН під дією статичного навантаження. Умови випробувань відповідали ДСТУ Б В.2.6-10-96.

2.2. Попередні розрахунки несучої здатності СНП

Розрахункове навантаження визначається за формулою:

$$F_{\text{розр}} = \frac{600W_{\text{min}}R_{\text{розр}}}{L} \quad (2.1)$$

де W_{min} – момент опору перерізу профнастилу;

$R_{\text{розр}}$ – розрахунковий опір сталі;

L – проліт настилу.

2.3 Вибір параметрів випробувань

Для випробувань був вибраний профнастил марки ТП-18-О, основні розміри якого показані на малюнку 2.1

Рис. 2.1 Загальний вигляд та основні розміри випробовуваного настилу

Параметри випробування визначалися за розрахунками п. 2.2. Згідно розрахунків доцільно випробовувати настил довжиною 150 см, та шириною 27 см, що відповідає двом крокам гофрування. Проліт зразка між опорами встановлено рівним 135 см. Навантаження здійснюється штучними вантажами ступенями по 6...7 кГс.

Згідно формули (2.1), при довжині настилу рівною 135 см максимальне навантаження яке може витримати настил становить 98 кг, тому попередньо приймаємо 14 ступенів навантаження.

2.4. Конструкція дослідної установки

Установка для випробування СПН, зображена на рисунках 2.2...2.5, складається з наступних частин:

1. Жорстка основа (стіл).
2. Опора (металева труба діаметром 57 мм).
3. Штатив.
4. Індикатор годинникового типу, який вимірює переміщення.
5. Випробовуваний СПН.
6. Штучний вантаж у вигляді керамічної цегли.

Рис. 2.2 Принципова схема установки для випробування СПН

Рис. 2.3 Загальний вигляд установки для випробування СПН

Навантаження здійснюється штучними вантажами у вигляді керамічної цегли в третинах прольоту настилу. Цегла попередньо зважена та маркована, як це показано на рисунку 2.3. Для переходу до наступного ступеня навантаження на настил вкладаються дві цеглини в третинах прольоту настилу. Зокрема, на рисунку 2.4 показано шостий ступінь навантаження, коли в кожній з двох точок укладено по 6 цеглин вагою 3...3,5 кгс.

Рис. 2.4 Установка штучних вантажів

Прогин настилу визначається індикаторами годинникового типу, які розташовані на опорах та посередині зразка (рис 2.4). При переміщеннях, більших за 10 мм, на одному із ступенів навантаження індикатор, розташований посередині зразка, переставляється з повторним зняттям відліку при цьому ж навантаженні. На лицьовому боці циферблата індикатора є дві стрілки і дві шкали: велика стрілка над оцифрованою круговою шкалою і мала стрілка над відліковою малою шкалою. Кругова шкала індикатора має ціну поділки 0,01 мм, а відлікова шкала – 1 мм. Пересування вимірювального стрижня на 1 мм викликає поворот великої стрілки на 100 поділок (один повний оберт), а малої стрілки – на одну поділку. Діапазон вимірювань такого індикатора становить 0...10 мм. Шкала індикатора разом із обідком при установці шкали на нульову поділку повертається відносно великої стрілки.

Для контролю та відсіювання грубих помилок відліків, переміщення посередині прольоту на кожному етапі навантаження вимірюється також сталеву лінійкою з ціною поділки 1 мм. Ці вимірювання виконуються двічі – з обох сторін дослідного зразка, як це показано на рисунку 2.6.

Рис. 2.5 Індикатор годинникового типу

Рис. 2.6 Вимірювання прогину лінійкою з обох сторін зразка

2.5 Висновки з розділу

1. Завданням експериментального дослідження СПН є встановлення його несучої здатності при статичному згині за критеріями міцності та жорсткості, а також аналіз збіжності результатів з розрахунковими значеннями.

2. Розрахунки СПН марки ТП-18-О дозволили встановити залежність несучої здатності від прогину за критеріями міцності та жорсткості.

3. За результатами розрахунку обрані такі параметри випробувань: довжина зразка – 150 см, ширина зразка – 27 см, що дорівнює двом крокам гофрування, проліт зразка між опорами – 135 см.

4. Розроблена конструкція експериментальної установки дозволяє побудувати залежність прогину настилу від навантаження, а також довести зразок до руйнування.

5. Навантаження здійснюється штучними вантажами, а вимірювання переміщень на опорах та в прольоті здійснюється за допомогою індикаторів годинникового типу.

Розділ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ ЗРАЗКІВ СТАЛЕВОГО ПРОФІЛЬОВАНОГО НАСТИЛУ

3.1 Програма випробувань

Програмою випробувань передбачені наступні етапи експерименту:

Встановлюється дослідний зразок та вимірювальні прилади відповідно до завдань випробування та схеми на рисунку 2.2.

Знімаються початкові відліки за трьома індикаторами та за лінійкою (посередині прольоту зразка). Вимірювання лінійкою здійснюється з двох сторін зразка, щоб можна було визначити середнє значення і таким чином позбавитися впливу закручування перерізу посередині прольоту.

Здійснюється навантаження дослідного зразка ступенями, рівними приблизно 6...7 кГс шляхом установки пари наступних цеглин у третинах прольоту зразка.

На кожному ступені навантаження знімаються відліки за індикаторами годинникового типу (в середині прольоту й на опорах) та за лінійкою посередині прольоту.

На певному ступені навантаження перед досягненням переміщення зразка настилу посередині прольоту, рівного 10 мм (тобто перед вичерпанням повного ходу індикатора) виконується перестановка індикатора вниз приблизно на 10 мм і заново знімаються відліки по ньому.

У процесі випробувань здійснюється фотодокументування установки, вимірювальних приладів та окремих частин зразка.

Випробування завершуються після руйнування зразка (зазвичай ним є прогин до опори установки унаслідок втрати місцевої стійкості частин настилу).

По завершенню випробування з установки знімають індикатори та навантажувальні вантажі, здійснюють фотографування деформованого зразка та опис характеру руйнування.

Після закінчення випробувань обробляють показники приладів. Для визначення деформації, що відповідає будь-якому навантаженню, обчислюють різницю Δ_m між показниками приладу на даному ступені навантаження і початковим відліком (користуватися різницею між сусідніми показниками приладу не можна, оскільки випадковий помилковий показник приладу на будь-якому ступені відіб'ється на всіх наступних). Обробка результатів виконується в табличній формі.

Після закінчення випробувань і обробки експериментальних даних складають висновки про результати випробування, для чого:

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

3.2 Проведення випробувань

З метою апробації розробленої методики польових випробувань виконані випробування двох зразків-близнюків з профільованого настилу марки ТП-18-О довжиною 150 см та шириною 27 см, що відповідає двом крокам гофрування. Проліт зразка між опорами встановлено рівним 135 см. Хід проведення випробувань проілюстровано і задокументовано фотографіями, представленими на рисунках 3.1 3. .

На рисунках 3.1 і 3.2 показано завантаження зразка штучними вантажами (керамічною цеглою), а рисунок 3.3 ілюструє маркування ваги цеглин та фіксацію величини навантаження на зразок. Окрім того, на рисунках 3.1 і 3.2 видно індикатори годинникового типу, призначені для вимірювання осадки опор зразка під навантаженням.

Рис. 3.1 Завантаження зразка у правій половині прольоту

Рис. 3.2 Завантаження зразка у лівій половині прольоту

Рис. 3.3 Маркування маси штучних вантажів

На рисунках 3.4 і 3.5 показана установка індикаторів годинникового типу посередині прольоту зразка та на правій опорі. З рисунка видно, що індикатори кріпилися до масивних штативів і були встановлені над зразками, щоб їх не пошкодити при несподіваному руйнуванні зразка. При такій установці шток індикатора початково повинен бути втиснутий, а сам індикатор показував відлік, близький до максимального значення 10 мм. При навантаженні зразка він прогинався вниз, шток виходив з індикатора, а відлік по ньому зменшувався.

Фотографування індикаторів виконувалося одночасно з письмовою фіксацією відліків на кожному ступені навантаження, що забезпечило можливість контролю відліків, виявлення та виправлення помилкових записів.

На рисунку 3.6 показано вимірювання прогину сталеву лінійкою, що також дозволило контролювати результати випробувань і тим самим підвищити достовірність результатів випробування.

Рис. 3.4 Відлік по індикатору в середині прольоту зразка

Рис. 3.5 Відлік по індикатору на правій опорі зразка

Рис. 3.6 Вимірювання прогину зразка сталеву лінійкою

На рисунку 3.7 зображена випробувальна установка в момент руйнування зразка. З рисунка видно, що прогин вже досягнув критичного значення і середина прольоту зразка по суті обпирається на основу випробувальної установки (лабораторний стіл). При цьому індикатор годинникового типу знятий на передостанньому ступені навантаження, коли за великим прогином стало очевидним, що зразок скоро зруйнується.

На рисунках 3.8 і 3.9 показані зруйновані зразки після завершення випробувань. Обидва зразки зруйнувалися від втрати місцевої стійкості стиснутої (верхньої) полички настилу. Втрата стійкості у свою чергу викликала неконтрольоване зростання прогину, який був обмежений, тим, що середина прольоту зразка лягла на основу випробувальної установки.

Рис. 3.7 Випробувальна установка зі зруйнованим зразком

Рис. 3.8 Зруйнований зразок сталевого профільованого настилу № 1

Рис. 3.9 Зруйнований зразок сталевого профільованого настилу № 2

Після завершення випробувань виконана обробка результатів, яка в основному звелася до визначення експериментальних значень прогинів, що й відображено у наступному підрозділі.

3.3 Результати випробувань та їх обробка

До таблиці результатів, створеної в середовищі Excel, заносяться основні розміри та геометричні характеристики випробовуваного настилу – марка СПН, проліт, ширина зразка, крок гофрування, момент інерції. Під час проведення випробування до таблиці також заносяться ступені навантаження зразка, величина прикладеного навантаження на кожному ступені, відліки за трьома індикаторами та лінійками.

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

$$d_i = a_i - a_0. \quad (3.1)$$

Фактичний прогин СПН визначається за схемою, зображеною на рисунку 3.10, яка враховує переміщення точки посередині прольоту d_3 та осадки опор d_1 та d_2 . Згідно наведеної схеми, прогин дорівнює

$$f = d_3 - \frac{d_1 + d_2}{2}. \quad (3.2)$$

Рисунок 3.10 Схема визначення прогину СПН

Теоретичний прогин СПН можна визначити за формулою:

$$f = \frac{Ml^2}{10 EI} = \frac{Fl^2}{30 EI}, \quad (3.3)$$

пояснення до якої наведені в розділі 2.

Обчислення за формулами (3.2) та (3.3) виконані в середовищі табличного процесора Excel. Результати випробування першого зразка наведені у таблиці 3.1, яка є копією з Excel.

Таблиця 3.1

Таблиця обробки результатів випробування першого зразка

За даними таблиці на рисунку 3.11 побудований графік залежності прогинів від величини сумарного навантаження на зразок. Примою лінією з

квадратними маркерами зображено графік зміни теоретичних прогинів, обчислених за формулою (3.3), а кривою – графік зміни експериментальних (фактичних) прогинів, визначених в таблиці 3.1 за формулою (3.2).

Рисунок 3.11 Графік залежності прогину зразка № 1 від навантаження

Результати випробувань другого зразка СПН загалом подібні до результатів для першого зразка. Навантаження, відліки та обчислені за ними переміщення й прогини наведені в таблиці 3.2. Графік зміни фактичного прогину, побудований за даними таблиці 3.2, наведений на рисунку 3.12. Для порівняння на тому ж графіку прямою лінією показані зміни теоретичних значень прогинів, обчислених за формулою (3.3). Теоретичні значення прогинів отримані такими ж, як і для першого зразка, оскільки схеми випробувань та перерізи випробуваних зразків є ідентичними.

Таблиця 3.2

Таблиця обробки результатів випробування другого зразка

Рисунок 3.12 Графік залежності прогину зразка № 2 від навантаження

З метою контролю даних паралельно з показниками індикаторів годинникового типу прогин зразка посередині прольоту вимірювався сталеву лінійкою. З метою компенсації можливого закручування перерізу, вимірювання проводилися для дальнього та ближнього від дослідника (Д і Б) країв зразка. Фактичний прогин визначався як середнє значення з переміщень обох країв.

Результати вимірювання при випробуваннях першого зразка наведені в таблиці 3.3. За даними таблиці на рисунку 3.13 побудований графік залежності прогину зразка від навантаження.

Таблиця 3.3

Таблиця обробки прогинів першого зразка за даними лінійки

Рис. 3.13 Графік залежності прогину першого зразка від навантаження
(за результатами вимірювань лінійкою)

Результати випробування другого зразка наведені в таблиці 3.4 та на рисунку 3.14, який побудовано за даними цієї таблиці.

Таблиця 3.4

Таблиця обробки прогинів другого зразка за даними лінійки

Ступінь навантаження	Навантаження			Відліки		Переміщення		Прогин	
	Л	П	Σ	Д	Б	Д	Б	теорет	факт
0	0	0	0	57,50	60,00	0,00	0,00	0,00	0
1	3,37	3,37	6,74	54	57	3,50	3,00	1,70	3,25
2	3,43	3,44	13,61	51	54,00	6,50	6,00	3,43	6,25
3	3,00	3,07	19,68	48	52	9,50	8,00	4,96	8,75
4	3,20	3,13	26,01	43	50	14,50	10,00	6,55	12,25
5	3,32	3,32	32,65	36	48	21,50	12,00	8,23	16,75
6	3,50	3,50	39,65					9,99	

Рис. 3.14 Графік залежності прогину другого зразка від навантаження
(за результатами вимірювань лінійкою)

3.4 Аналіз збіжності результатів експерименту

Окрім аналізу наростання прогинів, визначена несуча здатність зразків за першим та другим граничним станом. Результати визначення фактичної й теоретичної несучої здатності наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Несуча здатність зразків за першим та другим граничним станом

Зразок	За прогином			За міцністю		
	факт	теор	$\Delta, \%$	факт	теор	$\Delta, \%$
Зразок 1	24,0	36,0	-33,3	39,7	59,0	-32,8
Зразок 2	26,0	36,0	-27,8	47,2	59,0	-20,0

Фактична несуча здатність за прогином визначена за графіками 3.2 і 3.3, як експериментальне навантаження, що відповідає гранично допустимому прогину за [4], рівному $L/150 = 1350 / 150 = 9,0$ мм.

Фактична несуча здатність за першим граничним станом (за міцністю) визначена як навантаження, при якому почалося руйнування зразка.

Дані таблиці 3.5 наочно відображені на діаграмах з рисунка 3.15, які дозволяють порівняти фактичні й теоретичні значення несучої здатності обох випробуваних зразків за критеріями першого та другого граничних станів (за міцністю і за прогином).

Рис. 3.15 Порівняння фактичних і теоретичних значень несучої здатності випробуваних зразків

Аналіз таблиць 3.1...3.5 та рисунків 3.2...3.5 і рисунка 3.15 дозволяє зробити такі судження та висновки:

- характер роботи обох зразків під навантаженням близький до лінійного, але перед моментом руйнування наростання прогинів прискорюється;
- прогини зразка, виміряні сталевією лінійкою, близькі до прогинів, отриманих за результатами вимірювань індикаторами годинникового типу;

- фактичні деформації обох зразків є досить близькими між собою, але помітно вищими від теоретичних, отриманих у результаті розрахунку;
- несуча здатність за критерієм жорсткості, рівна навантаженню при гранично допустимому значенні прогину 9,0 мм, отримана на 33% і 28% меншою за розрахункову;
- несуча здатність за критерієм міцності, рівна навантаженню в момент руйнування зразка, отримана на 33% і 20% меншою за розрахункову;
- загалом перевищення фактичного прогину порівняно з теоретичним значенням є однаковим для обох зразків, а зниження несучої здатності за критерієм міцності для першого зразка більше, ніж для другого.

Виявлене зниження несучої здатності зразків за критеріями міцності та жорсткості може бути обумовлене початковими недосконаlostями зразків у вигляді незначних місцевих деформацій, які й обумовили наявність більших фактичних прогинів порівняно з теоретичними, а також передчасну втрату стійкості стиснутої полички профілю та руйнування зразків при менших навантаженнях. На це вказує характер руйнування обох випробуваних зразків, показаний на рисунках 3.8 і 3.9.

3.5 Висновки з розділу

1. Проведені випробування двох зразків сталевого профільованого настилу марки ТП-18-О довжиною 150 см, та шириною 27 см.
2. За результатами випробувань побудовані графіки залежності прогину від навантаження та встановлені значення несучої здатності зразків за критеріями міцності та жорсткості.

3. Порівняння результатів експерименту з теоретичними даними показало, що фактичний прогин істотно перевершив розрахункове значення, а руйнівні значення отримані значно меншими від розрахункових.

4. Виявлена різниця фактичних і теоретичних значень прогину та несучої здатності за критерієм міцності вказує на значний вплив початкових пошкоджень (деформація гофрів настилу) на його роботу.

Розділ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ З МЕТОДИКИ ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ СТАЛЕВОГО ПРОФІЛЬОВАНОГО НАСТИЛУ

4.1 Короткі теоретичні відомості

Профнастил (сталевий профільований лист) – це холодногнутий профіль з тонкого сталевих листа з трапецієподібною формою гофри. Використовується як для внутрішнього, так і для зовнішнього оформлення будинків. Профнастил також дозволяє будувати покрівлі, стіни й огороження з геометрією практично будь-якого рівня складності.

Сталевий профільований настил поділяється за **типом покриття**:

Оцинкований профнастил. На лист металу наноситься шар цинку завтовшки близько 25 мкм, який захищає сталь від корозії та інших несприятливих впливів зовнішнього середовища. Оцинкований профнастил є найдешевшим видом профільованого листа і застосовується в основному для створення тимчасових огорож і внутрішніх несучих конструкцій будівель.

Профнастил з полімерним покриттям. Лист металу покривається матеріалами з полімерів (пластмас та синтетичних смол) - найчастіше поліестером, іноді пуралом або пластізолем, після чого проводиться фарбування профнастилу в різні кольори відповідно до наявних каталогів. Найбільш популярним кольоровим профнастилом є зелений, коричневий, бордовий, кольору дерева і кольору каменю, рідше використовується чорний і білий профнастил. Полімерне покриття не лише захищає сталевий профільований настил від несприятливих кліматичних умов, але й має естетично привабливий зовнішній вигляд.

За жорсткістю і, як наслідок, за **сферою застосування**, профільований настил має три різновиди:

Стіновий профнастил. Найменш жорстким є профнастил для стін та огорож, який широко використовується для облицювання фасадів і стін із зовнішнього й внутрішнього боку, для тимчасових і капітальних парканів.

Покрівельний профнастил. Профнастил середньої жорсткості застосовується при облаштуванні скатної покрівлі, навісів і козирків, при ремонті та утепленні покрівлі, при зведенні промислових і цивільних споруд з легких сталевих конструкцій.

Несучий профнастил. Найбільш жорсткий сталевий профнастил: використовується в будівництві при зведенні несучих конструкцій і перекриттів, а також в якості армуючого матеріалу для незнімної опалубки. Виготовляється з листів металу найбільшої товщини.

За формою **профілювання листа:**

В залежності від форми гофрування листа, профільований настил поділяється на види з синусоподібними, закругленими і трапецієподібними профілями (гофрами). Останній тип є найбільш поширеним.

Види випробувань

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

Визначальні випробування, що проводяться для встановлення значень параметрів і характеристик конструкції, передбачених програмою випробувань, виконуються на етапі розробки конструкції або при налагодженні технології її виготовлення і поділяються на неруйнівні випробування і випробування до зруйнування.

Неруйнівні визначальні випробування в свою чергу поділяються на:

- оціночні – їх метою є оцінка експлуатаційних властивостей конструкції та виявлення особливостей її поведінки в процесі навантаження;
- перевірочні – метою яких є перевірка несучої здатності виробу (конструкції) і зіставлення її з вимогами, що встановлюються нормами проектування або іншою нормативно-технічною документацією.

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

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

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

Конструкція (елемент) вважається такою, що витримала випробування, якщо:

- в ній не виявлено будь-яких пошкоджень;
- залежність між величиною навантаження і переміщеннями має в основному лінійний характер;
- залишкові переміщення, виміряні після зняття навантаження, не перевищують 20% від їх максимальних значень під дією навантаження.

Випробування до зруйнування. Ці випробування дають відомості про фактичну несучу здатність конструкції і дозволяють прийняти рішення про встановлення обґрунтованих значень граничного опору для проектування аналогічних конструкцій. Випробування до зруйнування проводять з метою накопичення інформації про фактичні резерви міцності. Випробування до зруйнування проводять після завершення оціночних або перевірочних випробувань, якщо зразок, що випробовується, не призначений для використання за призначенням.

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

Якщо розглядається конструкція-прототип або головний зразок продукції, що має випускатись серійно, то для визначення розрахункової несучої здатності випробуванням до зруйнування піддають не менше трьох однотипних зразків.

Контрольні випробування. Контрольні випробування проводяться для вирішення питання про прийняття або бракування партії однотипних виробів. Контролюється відповідність несучої здатності виробів партії, що перевіряється, до вимог проектно-конструкторської документації, або відповідність до встановленої у визначальних випробуваннях несучої здатності головного зразка (прототипу) конструкції.

Контрольним випробуванням підлягають зразки, які випадковим чином відбирають із партії виробів відповідно до вказівок нормативної літератури. Кількість зразків, що відбираються для випробувань, а також інші умови контролю (характер обпирання, вид навантаження і т.ін.) указуються в проектно-конструкторській документації або в технічних умовах на виготовлення виробів певного виду.

До випробувань відібраних зразків необхідно проконтролювати їх розміри і перевірити зовнішні ознаки, що характеризують якість їх виготовлення, ознайомитися з сертифікатами на використані матеріали. На випробування подаються тільки ті зразки, відхилення показників яких від вимог проекту чи виробу-прототипу знаходяться у межах допусків, установлених діючими нормативними документами.

4.2 Визначення параметрів випробування

Згідно з наведеною вище класифікацією, випробування зразків сталевого профільованого настилу, методика яких потрібно розробити, можна віднести до польових контрольних випробувань до зруйнування. **Мета випробування** полягає у тому, щоб в умовах будівельної організації найпростішим способом експериментально визначити несучу здатність зразків сталевого профільованого настилу за критеріями міцності та жорсткості та порівняти її з вимогами нормативної документації та з величинами, встановленими розрахунком.

Випробування проводиться за зображеною на рисунку 4.1 традиційною схемою випробування конструкцій на згин, що відповідає вимогам стандарту [106]. Навантаження здійснюється тарованими штучними вантажами у вигляді керамічної цегли, бетонних виробів тощо вагою від 3,0 до 3,5 кг. Величина навантаження збільшується ступенями до руйнування зразка.

Рис. 4.1 Схема випробування СПН

Під час попередніх випробувань було встановлено, що доцільно випробувати зразки довжиною 120 см, та шириною, рівною двом крокам гофрування настилу. Навантаження здійснюється зосередженими силами в третинах прольоту, щоб отримати схему роботи зразка при чистому згині. Перед випробуваннями необхідно виконати розрахунки за методикою розділу 2 і встановити несучу здатність настилу за критерієм міцності. Величину

навантаження на кожному етапі випробувань слід призначати з урахуванням ваги наявних вантажів таким чином, щоб до руйнування зразка реалізувалося 5...8 ступенів навантаження. Переміщення вимірюються за допомогою індикаторів годинникового типу, встановлених на опорах і посередині прольоту, як показано на рисунку 4.1.

4.3 Підготовка та проведення випробувань

Нижче приведені рекомендації з проведення польових випробувань сталевого профільованого настилу за методикою, розробленою в попередньому розділі. Номери формул та рисунків не співпадають із загальною структурою роботи, а позначені в межах даних рекомендацій, щоб їх можна було використовувати як самостійний документ.

До початку випробувань працівники повинні вивчити зміст і методику їх виконання, а також правила з техніки безпеки.

Інструкція з техніки безпеки при проведенні польових випробувань профнастилу:

1. Працівники, що беруть участь у проведенні випробувань, мають право користуватися вимірювальною апаратурою та приладами тільки після відповідного інструктажу.
2. У місці випробувань повинні знаходитися тільки його учасники.
3. При проведенні випробувань працівник зобов'язаний виконувати усі вказівки особи, яка керує випробуваннями.
4. Навколо випробувального пристрою має бути вільний прохід шириною не менше ніж 2 м.
5. При навантаженні, що складає біля 80% теоретичного значення руйнівного навантаження, або при явному наростанні прогину чи появі інших ознак початку руйнування зразка необхідно зняти з конструкції індикатори годинникового типу, котрі можуть пошкодитися при руйнуванні зразка.

Мета роботи: експериментально визначити несучу здатність сталевого профільованого настилу за критеріями першого (міцність) та другого (жорсткість) граничних станів.

Матеріали: зразок сталевого профільованого настилу, якість та експлуатаційні властивості якого необхідно проконтролювати.

Прилади та обладнання: індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, сталева лінійка з ціною поділки 0,1 мм, штангенциркуль з ціною поділки 0,1 мм, штучні вантажі у вигляді цегли, бетонних блоків чи інших вантажів, опори для установки зразка та штативи чи інші пристосування для кріплення індикаторів.

Порядок проведення випробувань.

Загальна схема проведення випробувань зводиться до послідовності дій, яку можна представити таким чином:

1. Теоретичний прогноз,
2. Проведення експерименту,
3. Обробка результатів експерименту,
4. Порівняння результатів експерименту з результатами прогнозу та аналіз,
5. Висновки.

Для успішного проведення випробувань працівник зобов'язаний:

1. Вивчити теорію з розділу, що розглядається.
2. Вивчити методику випробувань, ознайомитися з приладами і методикою роботи з ними.
3. Вивчити правила техніки безпеки.
4. Розробити програму випробувань.
5. Провести випробування та їх результати занести в таблицю.
6. Обробити результати випробувань.
7. Порівняти експериментальні результати з теоретичними, проаналізувати причину їх розходжень.

Випробування зразків профнастилу проводять у робочому положенні на установці з двома шарнірними опорами. Навантаження здійснюється штучними вантажами у вигляді двох зосереджених сил, прикладених у третинах прольоту з метою отримання схеми чистого згину. Схема навантаження й установки приладів зображена на рисунку 1.

Рис.1 Схема випробування СПН

Для коректного проведення випробувань до їх початку виконують теоретичні розрахунки з метою визначення навантаження, що відповідає моменту руйнування, а також обчислення прогинів на різних ступенях навантаження. Це дозволить передбачити момент руйнування зразка за розрахованою величиною руйнівного навантаження та відхиленням фактичних прогинів від розрахованої лінійної залежності

Перед випробуванням експериментальні зразки ретельно оглядають для виявлення дефектів (деформацій, відколів, вм'ятин), які можуть вплинути на результати. До початку випробувань металевою лінійкою та штангенциркулем вимірюють геометричні розміри зразка з точністю до 1 мм. Перед випробуванням креслять виконавчу схему розташування приладів із нумерацією та серійним номером кожного прогиноміра.

Для прогнозування загального руйнівного навантаження на зразок необхідно скористатися формулою:

$$F = \frac{600W_{min}R_{розр}}{L} \quad (1)$$

де W_{min} – момент опору, см³;

$R_{розр}$ – розрахунковий опір, кГс/см²

L – робочий проліт довжина зразка, см

У процесі випробувань відліки за індикаторами на кожному ступені навантаження заносять до журналу випробувань, який наведено в наступному підрозділі. Окрім того фіксують загальний стан зразка та пошкодження, які утворилися в результаті навантаження.

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

Переміщення кожної точки визначається за формулою:

$$d_i = a_i - a_0, \quad (2)$$

де a_0 – початковий показник індикатора, мм.

Фактичний прогин зразка обчислюється за формулою:

$$f_{\Phi} = d_3 - \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3)$$

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

Теоретичний прогин визначають за формулою:

$$f_T = \frac{Fl^2}{30EI} \quad (4)$$

де F – величина навантаження на відповідному ступені, кг

E – модуль пружності сталі ($E=20600$ кН/см²)

I – момент інерції зразка за сортаментом чи результатами обмірювання перерізу, см⁴.

Обробку результатів випробування проводять в табличній формі, зразок якої наведений в журналі випробувань у наступному підрозділі.

Після закінчення випробувань і обробки експериментальних даних складають висновки за результатами випробувань, зокрема:

- порівнюють експериментальні та теоретичні значення основних параметрів, аналізують причини відхилення, якщо воно суттєве;
- порівнюють дослідні та розрахункові значення прогину зразка;
- аналізують характер залежності прогинів від навантаження;
- порівнюють фактично отримане руйнівне навантаження з результатами розрахунку, вимогами нормативної чи проєктної документації;
- роблять висновки про якість випробуваного профнастилу та вплив різних факторів на його характеристики, отримані при випробуваннях.

4.4 Форма журналу випробувань сталевого профільованого настилу

Мета випробування: експериментально визначити несучу здатність сталевого профільованого настилу за критеріями першого (міцність) та другого (жорсткість) граничних станів.

Об'єкт випробування:

1. Дата випробування _____
2. Марка настилу _____
3. Довжина зразка (мм) _____
4. Ширина зразка (мм) _____
5. Крок гофрування _____
6. Модуль пружності сталі _____
7. Момент інерції _____

Перелічені вище характеристики об'єкта випробування (зразка профнастилу) визначаються за сортаментом, проектною документацією та результатами обмірювань зразка, що випробується.

Результати випробування заносяться в таблицю, у якій передбачені також усі графи, необхідні для їх обробки:

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

Порядок обробки результатів випробувань.

1. Визначається теоретичне значення навантаження за формулою:

$$F = \frac{600W_{min}R_{розр}}{L} = \underline{\hspace{2cm}} \quad (1)$$

де W_{min} – момент опору, $см^2$

$R_{розр}$ – розрахунковий опір, $кгс/см^2$

L – довжина зразку, $см$

2. Визначається теоретичний прогин зразка за формулою

$$f_T = \frac{Fl^2}{30EI} \quad (2)$$

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

E – модуль пружності сталі ($E=20600$ $кН/см^2$)

I – момент інерції зразка за сортаментом чи результатами обмірювання поперечного переізу, $см^4$.

3. Розраховуються фактичні прогини за формулою

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

4. Визначається різниця практичного і теоретичного прогину у відсотках за формулою

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

5. За даними таблиці будується графік залежності фактичного й теоретичного прогину від величини навантаження:

Рисунок 1. Графік залежності прогину від навантаження

(будується за даними таблиці 1)

Висновок: _____

Виконавець

(підпис,

прізвище й ініціали)

4.5 Приклад проведення випробувань

Нижче наведений приклад оформлення результатів випробування зразка профнастилу, дані для якого взяті з розділу 3.

Мета випробування: експериментально визначити несучу здатність зразка сталевого профільованого настилу марки ТП-18 О за критеріями міцності та жорсткості.

Об'єкт випробування Сталевий профільований настил марки ТП-18 О

2. Дата випробування 29 вересня 2023 р
2. Марка настилу ТП-18 О
3. Довжина зразка (см) 130 см
4. Ширина зразка (см) 270 мм
5. Крок гофрування 135 мм
6. Модуль пружності сталі 20600 кН/см²
7. Момент інерції 0,648 см⁴
8. Результати випробування записуємо в таблицю:

Таблиця обробки результатів випробування

1. Визначаємо теоретичне значення навантаження за формулою:

$$F = \frac{600W_{min}R_{розр}}{L} = \underline{59 \text{ кГс}}$$

де W_{min} - момент опору, см²

$R_{розр}$ - розрахунковий опір, кгс/см²

L – довжина зразку, см

2. Визначається теоретичні прогини зразка за формулою й заносимо в таблицю

$$f_T = \frac{Fl^2}{30EI}$$

де: F – величина навантаження на відповідному ступені, кг

E – модуль пружності сталі (E=20600 кН/см²)

I – момент інерції зразка за сортаментом чи результатами обмірювання переізу, см⁴.

3. Розраховуємо фактичні прогини за формулою й заносимо в таблицю

$$f_\phi = d_2 - \frac{d_1 + d_2}{2}$$

4. Визначаємо різницю практичного й теоретичного прогину у відсотках за формулою

$$\Delta = \frac{f_m + f_\phi}{2} * 100\% = \underline{13\%}$$

6. Будуємо графік зміни прогинів за даними таблиці

Висновок: Результати випробувань вказують на лінійний характер залежності прогину від навантаження, що підтверджує пружну роботу зразка. Відхилення фактичних прогинів від розрахованих теоретичних значень може бути викликане наявністю незначних відхилень форми, які призвели до втрати місцевої стійкості стиснутої полички профілю.

Випробування виконав _____

4.6 Висновки з розділу

1. За результатами попередніх розрахунків та випробувань встановлені наступні раціональні параметри випробувань: довжина прольоту – 120 см, ширина зразка – 27 см (два кроки гофрування).

2. Розроблені рекомендації з порядку випробувань та форма журналу польових випробувань для фіксації й обробки результатів випробування зразків сталевого профільованого настилу.

3. Приклад оформлення результатів проведених випробувань підтвердив достатню інформативність і зручність розробленого журналу випробувань.

ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведені теоретичні дослідження та експериментальні випробування зразків сталевого профільованого настилу дозволяють зробити такі висновки:

1. Огляд літератури з питань виробництва, використання та методів контролю якості СПН показав, що настили можуть виготовлятися згідно з державними стандартами, або стандартами підприємств, у яких розроблені методи розрахунків, контролю якості та випробувань СПН.
2. На підставі розрахунків та випробувань зразків обґрунтована й розроблена конструкція установки для польових випробувань СПН, яка дозволяє виконувати завантаження штучними вантажами та вимірювати прогини зразка за допомогою індикаторів годинникового типу.
3. Шляхом розрахунків за стандартною методикою визначені розрахункові значення несучої здатності СПН і порівняні з каталогом виробника.
4. Експериментальні дослідження зразків СПН підтвердили працездатність розробленої установки та можливість випробувань настилів різних марок.
5. Аналіз збіжності результатів експериментальних випробувань з теоретичними розрахунками вказує на перевищення теоретичних прогинів та зниження несучої здатності настилу унаслідок істотного впливу навіть незначних початкових недосконалостей зразків.
6. Розроблені рекомендації з проведення польових випробувань СПН на базі будівельної організації, а також форма журналу випробувань, які містять загальні теоретичні відомості, викладення методики випробувань та обробки результатів, бланки таблиць і графіків для фіксації та обробки результатів.
7. Розроблені рекомендації та журнал випробувань можуть використовуватися будівельними організаціями для оперативного контролю якості СПН в умовах будівельного майданчика.