

DOI: 10.32347/2412-9933.2022.49.52-58

УДК 539.3:624.014.2:693.8.001.4

**Белов Ігор Дмитрович**

Кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник Випробувального центру будівельних конструкцій КНУБА, [orcid.org/0000-0002-5832-7036](https://orcid.org/0000-0002-5832-7036)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Вабіщевич Максим Олегович**

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри будівельної механіки, [orcid.org/0000-0002-0755-5186](https://orcid.org/0000-0002-0755-5186)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Дєдов Олег Павлович**

Доктор технічних наук, професор, директор Випробувального центру будівельних конструкцій КНУБА, [orcid.org/0000-0001-5006-772X](https://orcid.org/0000-0001-5006-772X)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Кривенко Ольга Петрівна**

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник

НДІ будівельної механіки, [orcid.org/0000-0002-1623-9679](https://orcid.org/0000-0002-1623-9679)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## ВИПРОБУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ ПРОФІЛЬОВАНИХ НАСТИЛІВ НА ДОСЛІДНОМУ СТЕНДІ

***Анотація.** Випробування будівельних конструкцій та їхніх елементів є обов'язковим етапом під час їх розроблення. Це запобігатиме можливим небезпекам для людей у процесі експлуатації та обумовить позитивний імідж компанії-виробника. Випробуванням підлягає кожен параметр конструкції. Результатом випробувань є висновки і рекомендації, що підтверджуються державним сертифікатом України про відповідність до них кожного з параметрів, що досліджуються, і конструкції в цілому. Експериментальні методи дослідження роботи будь-якої конструкції відіграють важливу роль не тільки для оцінки стійкості та міцності конструкції, а також для аналізу розроблених робочих гіпотез і теорій, що використовуються. У зв'язку з необхідністю підвищення якості будівельних конструкцій, їхньої надійності та довговічності роль експериментальних методів постійно зростає. Випробування є засобом, який дає можливість отримати відомості про відповідність реальної конструкції її теоретичній моделі та за необхідності підтвердити або уточнити її розрахункові параметри. Робота присвячена аналізу випробувань експериментальних дослідних зразків профільованих настилів. Здійснено випробування листових гнутих профілів з трапецієподібними гофрами на предмет визначення стійкості та несучої спроможності сталевого профільованого листа T153-119L-840 за трипрогоною схемою.*

***Ключові слова:** експериментальне випробування; дослідний зразок; профільований настил; дослідний стенд; стійкість*

### Вступ

Випробування будівельних конструкцій та їхніх елементів є найважливішим з етапів сучасного будівництва [1]. Ці дослідження, як правило, спираються на неруйнівні методи, які проводяться в незалежних лабораторіях ще до початку робіт з реального створення об'єкта конструкції. Цей етап є обов'язковим при розробці конструкції, для безпеки людей у процесі її експлуатації та забезпечення позитивного іміджу компанії-виробника. Випробуванням підлягає кожен параметр конструкції. Результатом випробувань є висновки і рекомендації, що підтверджуються державним

сертифікатом України про відповідність щодо них кожного з параметрів і конструкції в цілому.

Експериментальні методи дослідження роботи будь-якої конструкції широко використовуються під час розв'язання різних інженерних і наукових задач. Вони відіграють важливу роль як для оцінки стійкості і міцності конструкції, так і для аналізу розроблених теорій. Вони також допомагають правильно запроектувати, побудувати, експлуатувати конструкцію, а у разі необхідності провести її реконструкцію або підсилення. При цьому роль експериментальних методів постійно зростає. Це пов'язане як з необхідністю підвищення якості будівельних конструкцій, їх надійності та

довговічності, так і з одночасною вимогою зниження їхньої вартості та матеріаломісткості. Крім того, проведення випробувань є засобом, який дає можливість отримати відомості про відповідність реальної конструкції її теоретичній моделі та за необхідності підтвердити або уточнити її розрахункові параметри.

Випробування можуть бути: науково-дослідними, що проводяться для оцінки нових конструктивних рішень і для перевірки нових методів розрахунку; контрольно-приймальними, що спрямовані на оцінку відповідності заводського виготовлення конструкцій заданим параметрам; сертифікаційними, які застосовуються для перевірки конструкції на діючі державні норми; тощо. Такі випробування конструкцій і їхніх елементів реалізуються, як правило, на спеціальних стендах, які проводяться у випробувальних залах.

Таким чином, основною задачею експериментальних випробувань конструкції є встановлення відповідності між її реальною поведінкою та розрахунковою схемою (теоретичною моделлю). Такий підхід унеможливає виникнення в подальшому критичних, руйнівних і кризових ситуацій. За цим дослідженням визначаються: теплофізичні і структурні параметри міцності, деформаційні властивості конструкцій, а також виявляється характер зовнішнього впливу на конструкцію тощо. Проведення випробувань та аналіз їх результатів дає змогу порівняти зусилля і переміщення, що виникають у розрахунковій схемі конструкції (теоретичній моделі), з відповідними зусиллями і переміщеннями у реальній конструкції (або її моделі).

Отже, можна констатувати, що випробування є засобом, який дає можливість отримати відомості про відповідність реальної конструкції її теоретичній моделі і за необхідності підтвердити або уточнити її розрахункові параметри. Випробування конструкцій дають змогу встановити їхній фактичний напружено-деформований стан і несучу здатність, особливості роботи окремих елементів і вузлів, характер можливого руйнування конструкції. Критерієм безпечного функціонування конструкції є відповідність отриманих результатів випробувань (спостережуваних) усім положенням, що викладені в будівельних нормах, технічних вимогах і стандартах України.

### **Постановка задачі та методика проведення досліджень**

За рідкісними винятками, в інженерній практиці майже немає жодної аварії, жодної катастрофи, в яких не мала б місце втрата стійкості або окремими елементами, або всією конструкцією. Загалом як поняття «стійкість» розуміється здатність

конструкції або її елементів зберігати певну початкову форму пружної рівноваги, відповідаючи на малі збільшення статичного навантаження малими приростами деформацій. Стійкість конструкції належить до одного з видів конструкційної міцності. Втрата стійкості може бути загальною або місцевою [2 – 5]. Місцева форма втрати стійкості спостерігається в тонкостінних елементах при дії стискаючих і зсувних зусиль. У конструкції при досягненні місцевої втрати стійкості з'являються хвилеподібні опуклості та вм'ятини. Але при цьому конструкція, як правило, продовжує сприймати зростаюче статичне навантаження до моменту досягнення загальної втрати стійкості, коли хвилі деформування, що утворилися, проходять через усю конструкцію.

Найбільш схильними до втрати стійкості є металеві конструкції, оскільки вони, як правило, виконуються з відносно тонких і просторово-великих елементів [6 – 8].

Нові високотехнологічні конструкції з об'ємно-формованого тонколистового прокату успішно використовуються в будівництві малозавантажених будівель і споруд. При цьому будь-які нові технології повинні мати доведену, адаптовану, науково-технічну основу. Проте, незважаючи на запровадження в Україні деяких нормативних документів, що встановлюють правила проектування будівель з легких сталевих тонкостінних конструкцій [9], нормативне забезпечення є недостатнім і на сьогодні немає стандартів, де було б чітко визначено методику розрахунку конструкції з об'ємно-формованого тонколистового прокату. Тому актуальним є проведення експериментальних досліджень таких тонкостінних конструкцій.

Для реалізації поставлених задач на базі Випробувального центру будівельних конструкцій (ВЦБК) КНУБА розроблено «Дослідний стенд для проведення випробувань експериментальних дослідних зразків». Цей стенд застосовано для випробувань експериментальних дослідних зразків профільованих настилів. Було виконано випробування листових гнутих профілів з трапецієподібними гофрами з метою визначення стійкості та несучої здатності сталевих профільованого листа T153-119L-840 (рис. 1) за трипрогоною схемою (рис. 2).

Профільовані листи – це гнуті листи зі сталі з трапецієподібними гофрами. Профільований лист настилу призначений для влаштування покриття. Він виготовлений з рулонної сталі Rautaruukki S320 GD+Z. Основні геометричні розміри профілю наведені на рис. 1. Висота гофри  $h = 153$  мм, товщина  $0,75$  та  $0,55$  мм, довжина листа  $L = 6,65$  та  $7,20$  м. Для випробування було використано листів у кількості 12 шт. Для випробувань листи з'єднувались

з напуском за трипрогоною схемою з прольотами по 6 м (рис. 2). Зразок для випробувань складався з двох рядів профнастилу, які з'єднувались між собою за допомогою саморізів. Загальна кількість зразків – 2 шт.

Випробування проводилися за трипрогоною схемою з напуском на середній опорі в положенні листа широкими гофрами зверху (рис. 2). У місці напуску листи між собою з'єднували заклепками

6,4×12 (рис. 3). У місцях обпирання листи кріпилися до сталевих опор завширшки 160 мм за допомогою самонарізних болтів, що встановлювались до кожної гофри. Для досліджень використовувались випробувальне обладнання та вимірювальні інструменти, перелік яких надано у табл. 1.

При поступовому збільшенні статичного навантаження на конструкцію досліджувалась її стійкість.

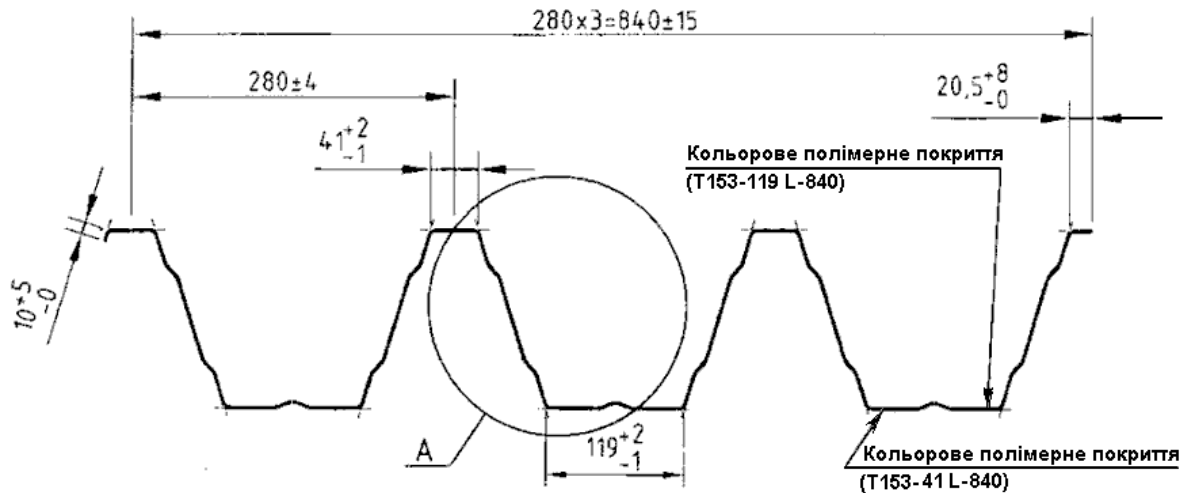


Рисунок 1 – Переріз профільованого листа T153-119L-840

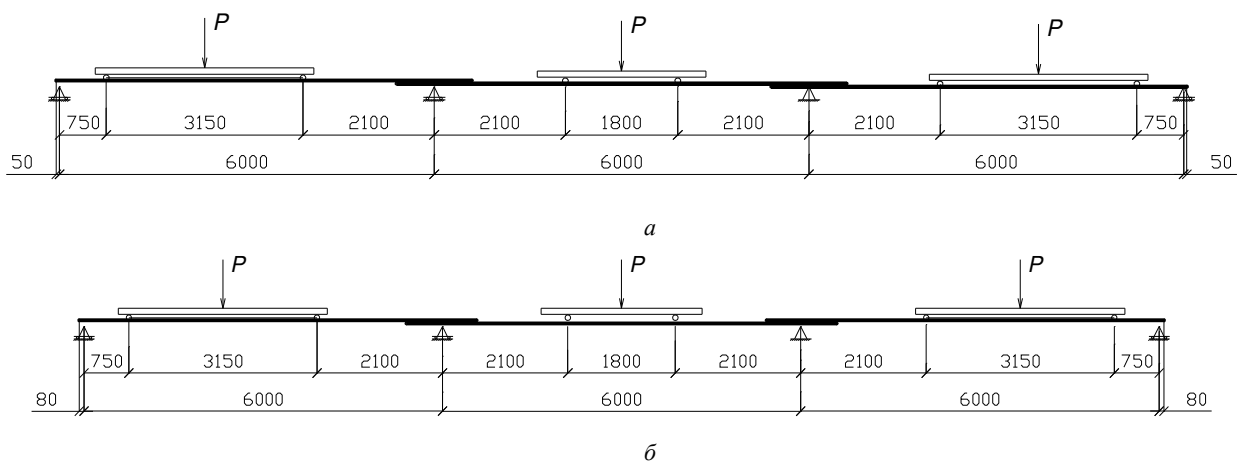


Рисунок 2 – Схеми випробувань профнастилу: а – схема 1; б – схема 2

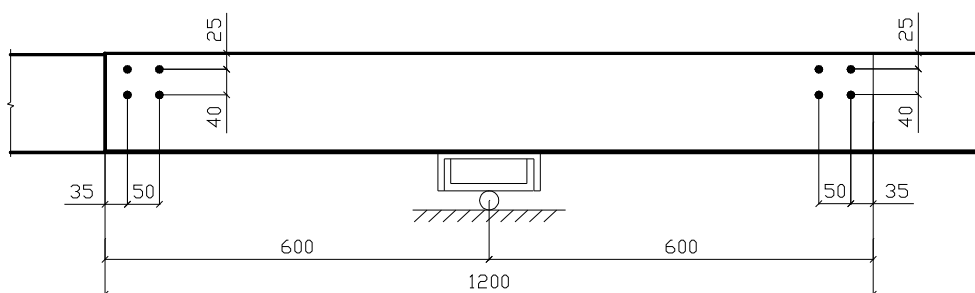


Рисунок 3 – З'єднання на проміжній опорі за допомогою заклепок

Таблиця 1 – Назва та основні характеристики випробувального обладнання та вимірювальних інструментів

№ п/п	Назва інструменту чи обладнання	Ідентифікаційний номер та ГОСТ	Діапазон роботи	Похибка	Дані про метрологічну повірку
1	Динамометр еталонний ДОСМ-50	№ С434	0-50000 кгс	1%	Свідоцтво ДП “Укрметртестстандарт” UA 0204 №34124 від 22.05.2013р
2	Рулетка з ціною поділки шкали 1 мм	P50Y3K	0-50 м	1мм	Свідоцтво ДП “Укрметртестстандарт” UA 0204 №23364 від 19.09.2013р.
3	Індикатор багатообертовий	№9466	0-25мм	-	Свідоцтво ДП “Укрметртестстандарт” UA 0204 №23372 від 19.09.2013р.
4	Індикатор багатообертовий	№3254	0-25мм	-	Свідоцтво ДП “Укрметртестстандарт” UA 0204 №23371 від 19.09.2013р..
5	Устаткування для передачі навантаження на конструкцію	-	-	-	Перевіряється ВЦБК перед випробуванням

Таблиця 2 – Спостережувані, що були отримані під час випробування

Товщина листа (мм) та схема випробування (рис. 2)			Навантаження при прогині						Максимальне навантаження	
			1/300		1/200		1/150			
			P, кг	q, кг/м <sup>2</sup>	P, кг	q, кг/м <sup>2</sup>	P, кг	q, кг/м <sup>2</sup>	P, кг	q, кг/м <sup>2</sup>
0,75	Схема 1	1	2000,0	225,3	2800,0	307,6	3200,0*	348,8	3200,0	348,8
		2	1850,0	209,9	2800,0	307,6	3200,0	348,8	4300,0	461,9
0,88	Схема 2	3	2250,0	251,0	3500,0	379,6	4600,0	492,8	5300,0	564,8
		4	2200,0	245,9	3350,0	364,2	4650,0	497,9	5600,0	595,7

## Результати дослідження та обговорення

Методика випробувань розроблена відповідно до EN 1993-1-3:2006 IDT [10] та реалізувалась у такий спосіб. Випробування на статичний згин за схемами (рис. 2) виконували шляхом ступінчастого прикладання навантаження. На кожному етапі навантаження виконувалась витримка в 5 хв. Для кожної схеми прогин фіксувався: в крайніх прольотах на відстані 0,6 L від крайніх опор та у середньому прольоті на відстані 0,5 L. Величина навантаження визначалась динамометром ДОСМ-50 (див. табл. 1. п 1.).



Рисунок 4 – Загальний вигляд проф. листа T153-119L-840 – 0.75, схема 1

Випробування припинялося при втраті несучої здатності профнастилу, що супроводжувалося різким зростанням переміщень без збільшення навантаження, або миттєвою зміною геометричної форми елементів чи самого профнастилу (місцева чи загальна втрата стійкості). Експериментальні дані випробувань наведені у табл. 2. Навантаження, за якого вичерпалась несуча здатність конструкції, позначено “\*”. Загальний вигляд профільованого листа настилу показано на рис. 4 – 7.



Рисунок 5 – Загальний вигляд проф. листа T153-119L-840 – 0.75, схема 2



Рисунок 6 – Загальний вигляд проф. листа T153-119L-840 – 0.88, схема 2



Рисунок 9 – Втрата несучої здатності проф. листа T153-119L-840 – 0.75, схема 2



Рисунок 7 – Загальний вигляд проф. листа T153-119L-840 – 0.88 на крайніх опорах під навантаженням



Для зразків: № 1 за схемою 1 та № 2 за схемою 2 – несуча здатність профнастилу завтовшки 0,75 мм була вичерпана внаслідок місцевої втрати стійкості стінок профнастилу на відстані 350 – 420 мм в обох напрямках від проміжної опори та на крайніх опорах (рис. 8, 9, відповідно).

Для зразків: № 3 та № 4 за схемою 2 – несуча здатність профнастилу завтовшки 0,88 мм вичерпалася внаслідок місцевої втрати стійкості стінок профнастилу на відстані 350 – 420 мм в обох напрямках від проміжної опори (рис. 10), при цьому явних пошкоджень профнастилу на крайніх опорах не спостерігалось (рис. 7).

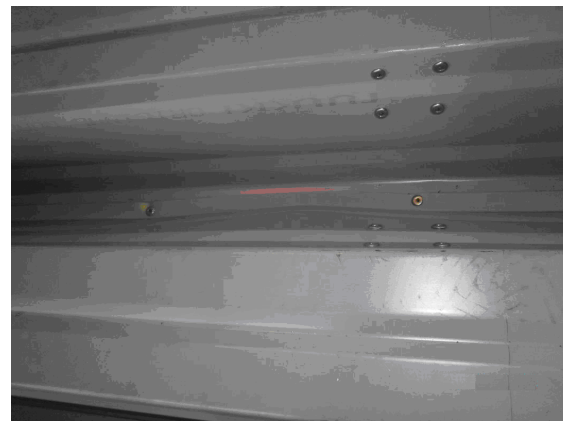


Рисунок 10 – Втрата несучої здатності проф. листа T153-119L-840 – 0.88, схема 2



Рисунок 8 – Втрата несучої здатності проф. листа T153-119L-840 – 0.75, схема 1

## Висновки

Підготовлено та застосовано дослідний стенд для випробувань експериментальних дослідних зразків профільованих настилів: гнутих профілів з трапецієподібними гофрами. Визначення стійкості та несучої здатності сталевого профільованого листа T153-119L-840-0.75 реалізувалось за трипрогоноюю схемою. Розглядалось дві товщини профнастилу, до яких було застосовано дві схеми випробувань. Проведено аналіз роботи дослідних зразків і на замовлення виробника профільованих листів розроблено довідкові таблиці щодо їх несучої здатності при різних довжинах прольотів.

## Список літератури

1. Кліменко В. З., Белов І. Д. Випробування конструкцій, обстеження та моніторинг будівель і споруд : підручник. Вид. 2-ге, переробл. та допов. Київ : Кондор, 2015. 572 с.
2. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. СПб. : Изд-во Наука, 1979. 450 с.
3. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни (прочность, устойчивость, колебания). Москва : Стройиздат, 1940. 276 с.
4. Броуде Б. М. Устойчивость пластинок в элементах стальных конструкций. Москва : Машстройиздат, 1949. 240 с.
5. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник / за ред. Г. С. Писаренка. Київ : Вища школа, 1993. 655 с.
6. Трубина Д. А., Кононова Л. А., Кауров А. А., Пичугин Е. Д., Абдулаев Д. А. Местная потеря устойчивости стальных холодногнутых профилей в условиях поперечного изгиба. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, 2014, № 4 (19). С. 116–127.
7. Айрумян Э. Л., Беляев В. Ф., Каганов А. А., Румянцева И. А. Легкие стальные каркасы из оцинкованных гнутых профилей для одноэтажных зданий массового применения. *Промышленное и гражданское строительство*. 2003. № 6. С. 23 – 24.
8. Астахов И. В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из холодногнутого профиля. СПб., 2006. 123 с.
9. Настанова з проектування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів : ДСТУ-Н Б В.2.6-87:2009. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 55 с.
10. EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3 - Design of Steel Structures – Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів).

Стаття надійшла до редколегії 22.02.2022

### **Belov Igor**

PhD (Eng.), Associate Professor, Leading Researcher of the Test Center for Building Constructions, [orcid.org/0000-0002-5832-7036](https://orcid.org/0000-0002-5832-7036)

*Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

### **Vabischevich Maksim**

DSc (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Structural Mechanics, [orcid.org/0000-0002-0755-5186](https://orcid.org/0000-0002-0755-5186)

*Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

### **Dedov Oleg**

DSc (Eng.), Professor, Director of the Test Center for Building Constructions, [orcid.org/0000-0001-5006-772X](https://orcid.org/0000-0001-5006-772X)

*Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

### **Krivenko Olga**

PhD (Eng.), Senior Researcher, Leading Researcher of the Research Institute of Structural Mechanics,

[orcid.org/0000-0002-1623-9679](https://orcid.org/0000-0002-1623-9679)

*Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

## TESTING OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF PROFILED DECKING BY AN EXPERIMENTAL STAND

**Abstract:** *Testing building structures and their elements is a mandatory step in their development. This will prevent possible dangers to people during its operation and provide a positive image of the manufacturing company. Each design parameter is subject to testing. The test results are conclusions and recommendations, confirmed by the state certificate of Ukraine on the compliance of each of the studied parameters and the whole design with it. Experimental methods for studying the operation of any structure play an important role not only for assessing the stability and strength of a structure, but also for analyzing the developed working hypotheses and used theories. The role of experimental methods is constantly increasing due to the need to improve the quality of building structures, their reliability and durability. The test is a means to obtain information about the compliance of the real design with its theoretical model and, if necessary, confirm or refine its design parameters. The work is devoted to the analysis of testing of experimental prototypes of profiled flooring. A test of bent sheet profiles with trapezoidal corrugations has been carried out to determine the stability and bearing capacity of a steel profiled sheet T153-119L-840 according to a three-span scheme.*

**Keywords:** *experimental test; prototype; profiled flooring; experimental stand; stability*

**References**

1. Klimenko, V. S., Belov, I. D. (2015). Testing of structures, inspection and monitoring of buildings and structures: Textbook. Second edition, enlarged and revised. Kyiv: Condor-Publishing House, 572. [in Ukrainian]
2. Timoshenko, S. P., Goodier, J. (1979). Theory of elasticity. SPb. : Nauka Publishing House, 450. [In Russian]
3. Vlasov, V. Z. (1940). Thin-walled elastic rods (strength, stability, vibrations). M. : Stroyizdat, 276. [In Russian]
4. Broude, B. M. (1949). Stability of plates in elements of steel structures, M. : Mashstroyizdat, 240. [In Russian]
5. Pisarenko, G. S., Kvitka, O. L., Umansky, E. S. (1993). Resistance of materials: a textbook / ed. G. S. Pisarenko, Kyiv: Higher School, 655.
6. Trubina, D. A., Kononova, L. A., Kaurov, A. A., Pichugin, E. D., Abdulaev, D. A. (2014). Local buckling of cold-formed steel profiles under transverse bending conditions. *Construction of unique buildings and structures*, 4 (19). 116-127. [In Russian]
7. Airumyan, E. L., Belyaev, V. F., Kaganov, A. A. Romyantseva, I. A. (2003). Lightweight steel frames made of galvanized bent profiles for single-storey buildings of mass use. *Industrial and Civil Engineering*, 6, 23-24. [In Russian]
8. Astakhov, I. V. (2006). Spatial stability of structural elements from cold-formed profiles. SPb., 123. [In Russian]
9. Guidelines for the design of building structures using thin-walled steel profiles : DSTU-N B V.2.6-87:2009. (2010). Kiev : Minregionstroy of Ukraine. 55. [in Ukrainian]
10. EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3 – Design of Steel Structures – Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting.

**Посилання на публікацію**

APA Belov, Igor, Vabischevich Maksim, Dedov Oleg, Krivenko, Olga. (2022). Testing of Experimental Samples of Profiled Decking by an Experimental Stand. *Management of Development of Complex Systems*, 49, 52–58, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.49.52-58 [in Ukrainian].

ДСТУ Белов І. Д., Вабіщевич М. О., Дєдов О. П., Кривенко О. П. Випробування експериментальних дослідних зразків профільованих настилів на дослідному стенді. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 49. С. 52 – 58, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.49.52-58.