

## **ДОСЛІДНИ КОНСТРУКЦІЯ ТА УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЕРФОРОВАНОГО ПРОГОНУ Z-ПОДІБНОГО ПРОФІЛЮ В УМОВАХ КОСОГО ЗГИНУ**

*Наведено конструкцію дослідного зразка перфорованого прогону Z-подібного профілю та експериментальної установки.*

**Ключові слова:** *прогін, установка, напружено-деформований стан, косий згин.*

**Вступ.** На сьогоднішній день проведено значну кількість експериментальних досліджень перфорованих елементів, а також конструкцій на їх основі, але результати цих досліджень недостатньо повно викладено у наукових працях. З метою визначення ступеня точності різних методик розрахунку [1] такі дослідження переважно виконувались на моделях, а дослідження натурних зразків конструкцій у сучасній практиці є рідкістю.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Оскільки дійсний напружено-деформований стан конструкції може суттєво відрізнятися від результатів теоретичних розрахунків, що виконуються для ідеалізованих схем [2–4], було вирішено провести самостійні експериментальні дослідження розробленої конструкції перфорованого прогону в умовах косоного згину.

**Постановка завдання.** Основною метою експериментальних досліджень було встановлення дійсного напружено-деформованого стану конструкції перфорованого прогону Z-подібного профілю у найбільш характерних перерізах по його довжині в умовах косоного згину у діапазоні кутів нахилу покрівлі, що найчастіше використовуються як для будівель та споруд промислового призначення, так і для громадських будівель.

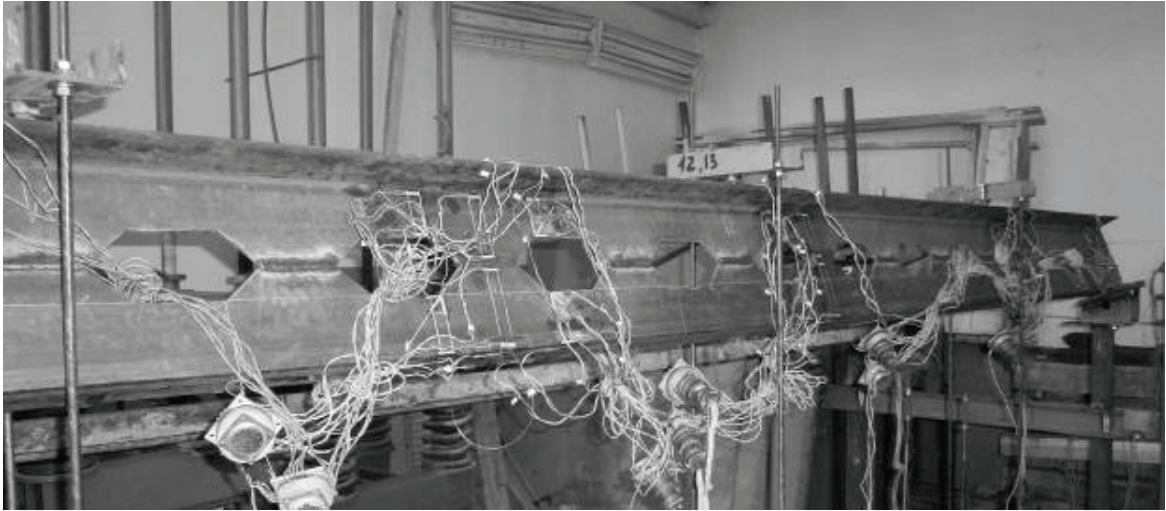
**Основний матеріал і результати.** Виходячи із зазначеної мети досліджень, для встановлення дійсного напружено-деформованого стану перфорованого прогону за різних кутів нахилу конструкції у науково-дослідній лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва й інженерних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) на спеціально сконструйованій дослідній установці було проведено натурні експериментальні дослідження конструкції перфорованого прогону Z-подібного профілю.

Запропонована конструкція прогону прольотом 6 м виконана на основі прокатного швелера № 22У/ДСТУ 3436–96, стінка якого була розрізана по зигзагоподібній лінії й надалі зварена зі зсувом, що дозволило утворити перфорований прогон Z-подібного профілю (рис. 1). Коефіцієнт розвитку висоти профілю склав 1,2, що дозволило збільшити висоту перерізу на 20%.

Для визначення фактичних механічних характеристик сталі було випробувано стандартні зразки матеріалу з дослідної конструкції з полиці і стінки вихідного швелера. Усі дослідження фізичних характеристик проводилися у науково-дослідній лабораторії НУВГП у розривній машині «УММ-50». Зразки було закріплено в затискачах машини, до яких ступенями прикладалося навантаження зі швидкістю 20 МПа/с до повного руйнування. Результати досліджень наведено у табл. 1.

Під час проведення експериментальних досліджень конструкції перфорованого прогону використовувалися стандартні прилади двох типів: для вимірювання деформацій волокон матеріалу – електротензорезистори; для вимірювання переміщень – прогиноміри.

Для вимірювання деформацій матеріалу використовувалися тензорезистори з базою 20 мм, які підключалися до вимірювача деформацій «СІИТ-3» за допомогою електричних дротів, він і фіксував показання датчиків. У свою чергу вимірювач деформацій передавав дані на комп'ютер через блок, котрий перетворює аналоговий сингал у цифровий. Усього було використано 128 датчиків, що дало змогу контролювати симетричність деформацій у відповідних перерізах прогону. Тензорезистори попередньо проходили тарування на спеціальній тарувальній балочці для подальшого переведення деформації волокон матеріалу у нормальні напруження. Було встановлено ціну поділки приладу, яка склала 0,169 МПа. Сам принцип роботи тензометричних датчиків полягає у використанні залежності між деформацією та омичним опором.



**Рисунок 1 – Загальний вигляд дослідної конструкції перфорованого прогону прольотом 6 м**

**Таблиця 1 – Механічні характеристики зразків елементів перфорованого прогону**

Профіль	Швелер №22У/ДСТУ 3436–96	
	полиця	стінка
Марка сталі	C255	C255
Розрахунковий опір за межею текучості $R_y$ , МПа	245	251
Розрахунковий опір за межею міцності $R_u$ , МПа	368	372

Розміщення тензорезисторів проводилося у характерних перерізах конструкції, а саме: у перерізах з отвором – симетрично на стінці та обох полицках профілю; у перерізі без отвору – на стінці та полицках; на приопорній ділянці – на стінці та полицках (рис. 2).

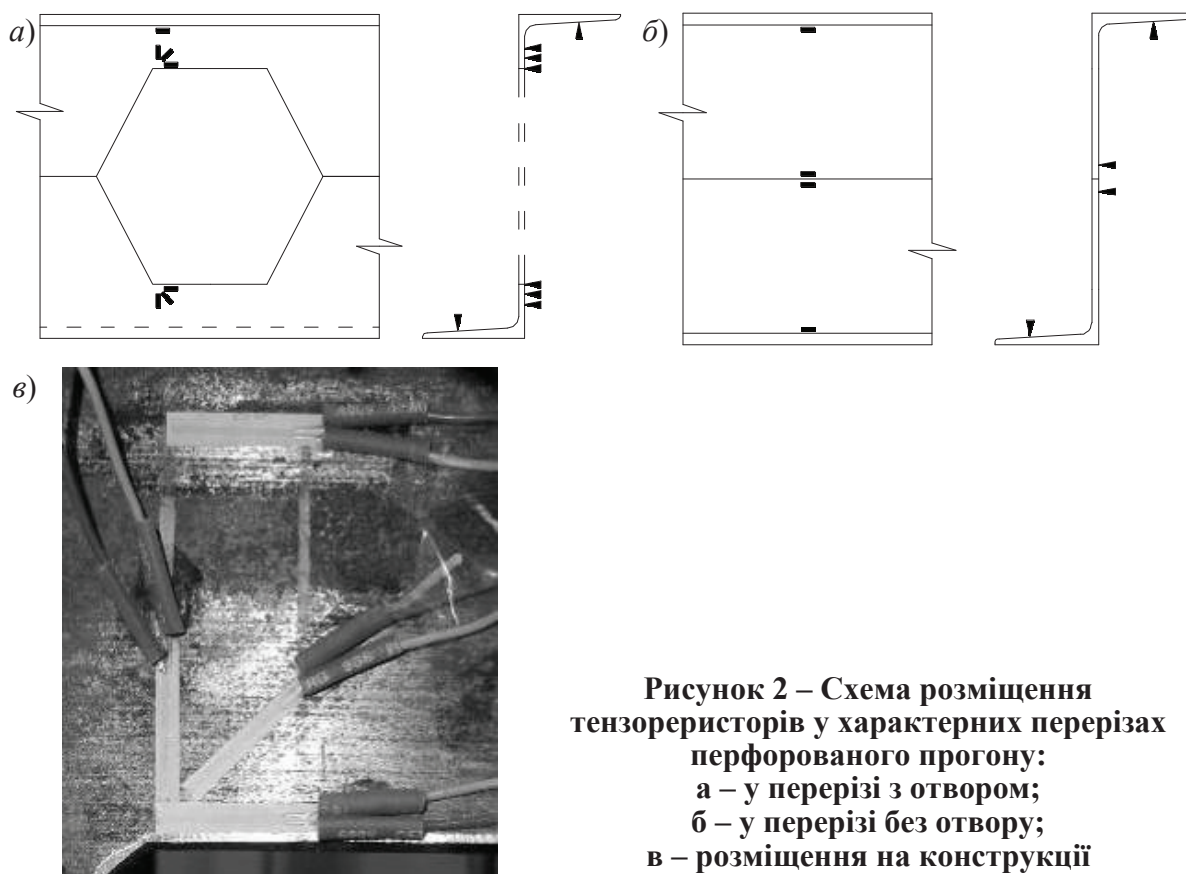
Для уточнення напрямку головних напружень у кутах отворів були влаштовані розетки з трьох тензодатчиків (рис. 2). Їх бази були орієнтовані згідно з напрямком деформацій у волокнах матеріалу.

Напруження визначалися на чотирьох ділянках по довжині прогону:

- 1) ділянка з максимальною поперечною силою і малим згинальним моментом;
- 2) ділянка з середніми значеннями поперечної сили та згинального моменту;
- 3) ділянка з максимальним згинальним моментом і за відсутності поперечної сили;
- 4) приопорні ділянки.

На кожній з трьох перших характерних ділянок можна виділити два перерізи, в яких і вимірювалися напруження: переріз з отвором і переріз без отвору. Вони знаходяться поблизу точок прикладання зовнішнього зосередженого навантаження.

Розрахункове симетричне навантаження на перфорований прогін, яке залежить від кута нахилу конструкції, визначалося за граничними станами другої групи, оскільки він у цьому випадку є визначальним.



**Рисунок 2 – Схема розміщення тензорезисторів у характерних перерізах перфорованого прогону:**  
**а – у перерізі з отвором;**  
**б – у перерізі без отвору;**  
**в – розміщення на конструкції**

Деформації дослідної конструкції як у площині прогону, так і з площини вимірювалися прогиномірами «6 ПАО-ЛІСИ» з ціною поділки 0,01 мм. Вони розміщувалися посередині прольоту балки.

**Таблиця 2 – Залежність величини навантаження на перфорований прогін Z-подібного профілю від кута нахилу конструкції**

Кут нахилу конструкції $\alpha$ , град	0	5	10	15	20	25
Навантаження за граничними станами I групи $F$ , кН	12,9	8,4	6,2	5	4,2	3,6
Навантаження за граничними станами II групи $F$ , кН	8,5	6,1	3,8	2,7	2,1	1,7

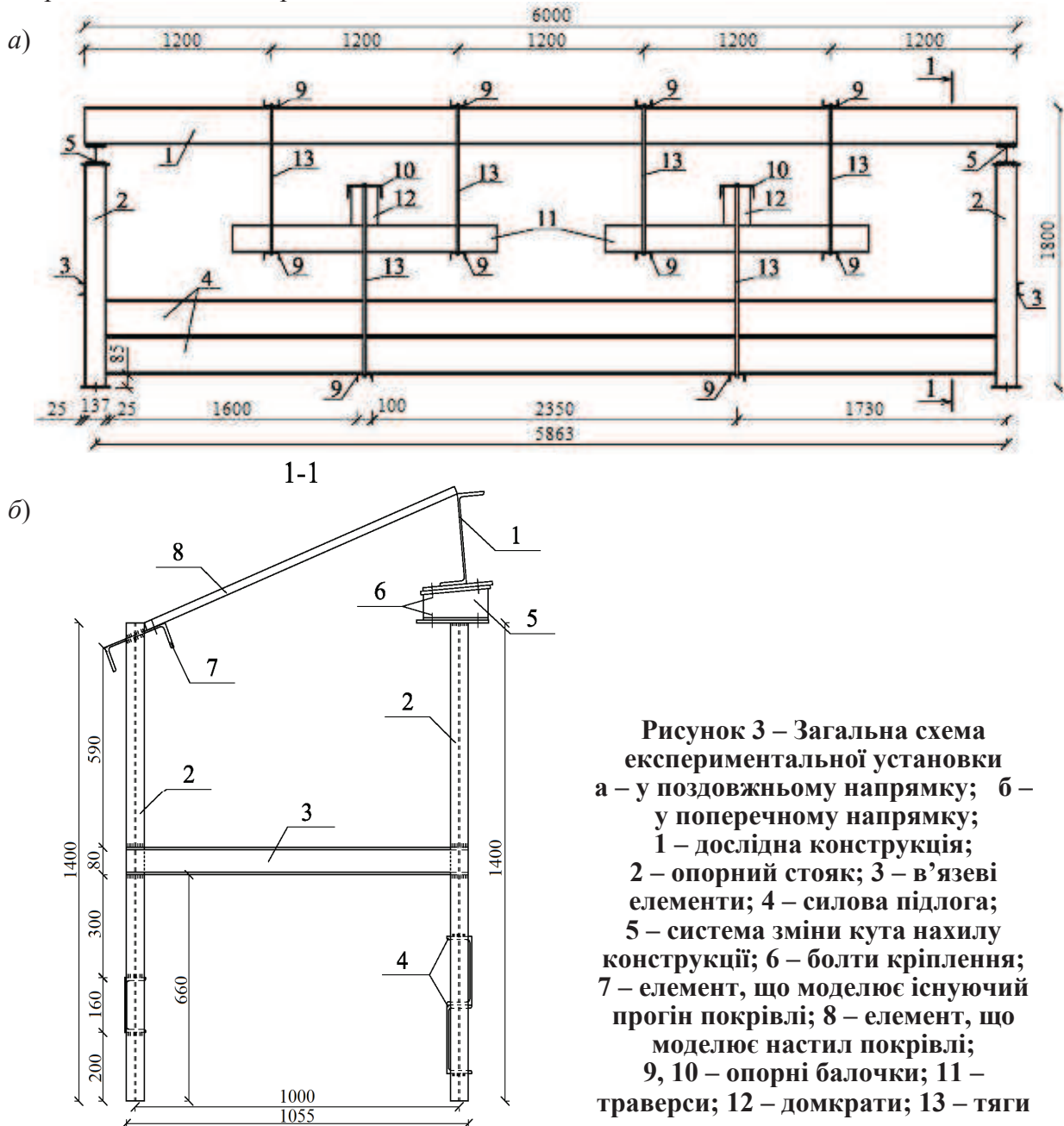
Для дослідження згинальних елементів і визначення їх дійсної роботи та напружено-деформованого стану в науково-дослідній лабораторії НУВГП було запроєктовано і виготовлено спеціальну експериментальну установку, яка дозволяє виконувати випробування конструкцій прольотом до 6 м з погонним навантаженням до 82 кН/м (рис. 3).

Вона складається із системи закріплення, що являє собою дві плоскі рами, які за допомогою в'язевих елементів складають просторову конструкцію, що забезпечує стійкість установки під час прикладання навантаження. Основними елементами системи закріплення є опорні стояки, виготовлені з двотаврів 14Б1/ГОСТ 26020–83, і в'язеві елементи, виготовлені зі швелерів 8У/ДСТУ 3436–96 (див. рис. 3).

Одна з рам призначена для закріплення дослідної конструкції в проектному положенні і передачі на неї зовнішнього навантаження від системи передачі навантаження, а інша – дає

змогу розкріпити дослідну конструкцію з її площини. Для цього використовуються рівнополицеві кутики 50x50x5/ДСТУ 2251–93, які розміщуються з кроком 1,2 м і моделюють закріплення дослідної конструкції профнастилом з її площини (рис. 4).

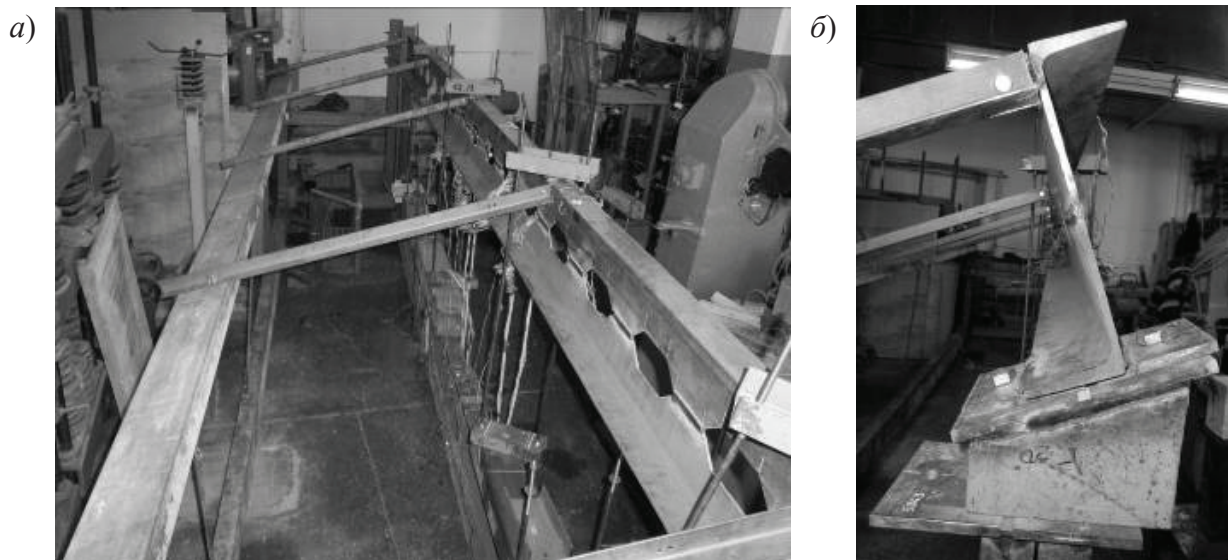
Систему зміни кута нахилу дослідної конструкції представлено у вигляді «башмаків», які передають навантаження від дослідної конструкції на раму установки і забезпечують необхідний кут нахилу конструкції (рис. 5). Вони виготовлені з двох швелерів, стінки яких зрізані під необхідним кутом для забезпечення проектного положення конструкції. До верху швелерів приварено металеву пластину товщиною 10 мм. Для надійного кріплення дослідної конструкції до експериментальної установки в «башмаках» було передбачено отвори для болтів діаметром 16 мм.



**Рисунок 3 – Загальна схема експериментальної установки**  
 а – у поздовжньому напрямку; б – у поперечному напрямку;  
 1 – дослідна конструкція;  
 2 – опорний стаяк; 3 – в’язеві елементи; 4 – силова підлога;  
 5 – система зміни кута нахилу конструкції; 6 – болти кріплення;  
 7 – елемент, що моделює існуючий прогін покрівлі; 8 – елемент, що моделює настил покрівлі;  
 9, 10 – опорні балочки; 11 – траверси; 12 – домкрати; 13 – тяги

Система передачі навантаження складається з певної кількості траверс та тяг, за допомогою яких навантаження від домкратів через опорні балочки передається на верхній пояс дослідної конструкції, при цьому анкери закріплюються у силевій підлозі. Вона у свою чергу запроєктована з двох прокатних швелерів 24У/ДСТУ 3436–96, встановлених один на одного і зварених по довжині. Це дозволило значно збільшити жорсткість силової підлоги,

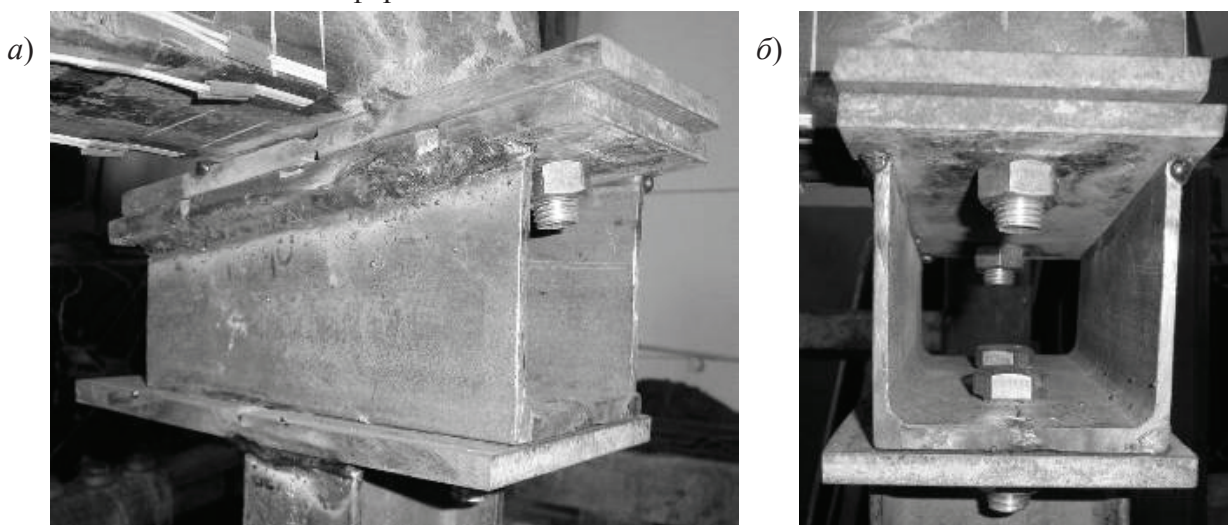
яка сприймає розрахункове навантаження без суттєвих деформацій, оскільки її жорсткість у вертикальній площині у 3,5 разів більша за жорсткість дослідної конструкції. Швелери силової підлоги за допомогою зварювання жорстко з'єднані з опорними стояками. Навантаження на дослідні зразки прикладається до верхнього пояса у місцях можливого кріплення листів профнастилу, а саме у чотирьох точках на всьому прольоті, які рівновіддалені одна від одної і двох опорних вузлів на 1,2 м. Для досягнення точкового прикладання навантаження до конструкції використовувалися сталеві кульки, зафіксовані у спеціальних тримачах.



**Рисунок 4 – Закріплення конструкції з площини дії навантаження:  
а – поперечні в'язі; б – вузол кріплення в'язі до прогону**

Система створення навантаження складається з маслостанції з манометром та двох послідовно з'єднаних домкратів, кожний з яких може розвинути навантаження до 3 т. Домкрати з'єднані між собою маслопроводами і під'єднані до маслостанції. Для контролю величини навантаження на домкрати використовувався динамометр типу «ДОСМ – 5» з максимальним зусиллям 5 т. Він був протарований в універсальній машині «УММ – 50».

Система контролю напружено-деформованого стану конструкції складається з апаратури для вимірювання фібрових деформацій елементів за допомогою контактних електротензорезисторів, прогиномірів для вимірювання вертикальних і горизонтальних деформацій у площині та із площини дії навантаження, розміщених у місцях імовірного виникнення найбільших деформацій.



**Рисунок 5 – Конструкція «башмаків»:  
а – вигляд збоку; б – вигляд спереду**

Випробування конструкції проводилося за симетричною схемою завантаження за дії чотирьох зосереджених сил, що моделювали постійне навантаження на покрівлю.

Перед початком випробувань для кожного кута нахилу конструкції проводилися попередні завантаження, які були початковим контрольним етапом. При цих завантаженнях перевірялись надійність кріплення конструкції, а також готовність і правильність показань усіх приладів, як вантажних, так і встановлених прогиномірів, індикаторів і тензOMETричної апаратури.

Навантаження в процесі випробування прикладалися ступенями у 10% від максимального розрахункового, яке було попередньо обчислене за існуючими методиками розрахунку. Витримка після досягнення певного ступеня навантаження складала 10–15 хвилин, щоб дати змогу деформаціям і напруженням стабілізуватися, після чого знімалися показання з усіх приладів та індикаторів.

#### *Література*

1. *Рекомендации по проектированию легких металлических конструкций со сквозной стенкой.* – М.: ЦНИИПСК, 1972. – 20 с.
2. *Романюк В.В. Міцність та деформативність перфорованих елементів сталеві арки: Монографія / В. В. Романюк, В. В. Супрунюк.* – Рівне: НУВГП, 2013. – 106 с.
3. *Супрунюк В.В. Стальні попередньо напружені перфоровані арки: дис. канд. техн. наук / В. В. Супрунюк.* – Рівне, 2007. – 185 с.
4. *Налепа А.И. Стальная стропильная ферма с перфорированным верхним поясом переменной жесткости: дис. канд. техн. наук / А. И. Налепа.* – Киев, 1989. – 193 с.
5. *Чорнолоз В.С. Подкрановые балки из развитых двутавров с переменной по длине высотой стенки: Дис. канд. техн. наук.* – Киев, 1987. – 161 с.

*В.В. Романюк, к.т.н., проф.*

*В.Б. Василенко, аспірант*

*Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно*

## **ОПЫТНЫЕ КОНСТРУКЦИЯ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННОГО ПРОГОНА Z-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ В УСЛОВИЯХ КОСОГО ИЗГИБА**

*Приведена конструкція опытного образца перфорированного прогона Z-образного профиля и экспериментальной установки.*

**Ключевые слова:** *прогон, установка, напряженно-деформированное состояние, косої изгиб.*

*V.V. Romanyuk, PhD, professor*

*V.B. Vasylenko, postgraduate*

*National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne*

## **CONSTRUCTION AND DEVICE FOR CONDUCTING EXPERIMENTAL RESEARCH OF STRESS DEFORMATION STATE OF Z-TYPE PERFORATED SUMMER UNDER SLANTING BEND CONDITIONS**

*Construction of experimental perforated Z-type summer and device have been shown.*

**Key words:** *summer, stress deformation state, slanting bend.*

*Надійшла до редакції 27.09.2014*

*© В.В. Романюк, В.Б. Василенко*