

ДОСВІД ВИМІРЮВАННЯ ЗУСИЛЬ У КАНАТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ВАНТОВИХ
МОСТІВ

EXPERIENCE IN MEASURING EFFORT IN ROPE ELEMENTS OF CABLE BRIDGES



Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна
e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>



Сташук Павло Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна,
e-mail: pavlo.stashuk@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5221-7015>



Чиженко Наталія Петрівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: chyzhenko_np@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-9152-2474>



Мазуренко Олег Володимирович, аспірант кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна e-mail: Olegvld@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-2619-382x>

Анотація. Робота присвячена питанню проведенню технічної діагностики визначення зусиль в вантах вантового моста через гавань р.Дніпро в м.Києві по об'єкту: «Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві» на заключних етапах піддомкочування прогонової будови моста.

Як відомо загальна методологія технічної діагностики базується на проведенні статичних або динамічних випробувань. Випробування проводять для встановлення характеру і величини навантажень на конструкції моста, визначення дійсного рівня напружень в елементах. Причому інколи деякі види випробування проводяться не лише на мостах будівництво яких закінчене, але і на спорудах під час їхнього будівництва. Одним з таких видів випробувань є випробування що виконуються для визначення величини навантаження у канатних елементах вантових мостів.

Наразі одним з таких видів випробувань є випробування що виконуються для визначення величини навантаження у канатних елементах вантових мостів. На даний час прийнятними методиками для визначення зусиль у канатних елементах вантових мостів є: встановлення електронних динамометрів в місцях анкерування канатів для вимірювання навантаження, геодезичні вимірювання провисання канатів вант, визначення частоти власних коливань канатів вант, тощо.

В роботі наведено результати проведених випробувань вимірювання зусиль у вантах прогонової будови від власної ваги шляхом збудження в них механічних коливань та визначенням частот власних коливань, та вимірюванням провисань вантів (стрілки провисання) лазерним 3-Д скануванням вантів.

Ключові слова: зусилля, канатні елементи, вантовий міст, навантаження, прогонова будова.

Вступ. Загальна методологія технічної діагностики базується на проведенні статичних або динамічних випробувань [1]. Випробування проводять для встановлення характеру і величини навантажень на конструкції моста, визначення дійсного рівня напружень в елементах. Причому інколи деякі види випробування проводяться не лише на мостах будівництво яких закінчене, але і на спорудах під час їхнього будівництва. Одним з таких видів випробувань є випробування що виконуються для визначення величини навантаження у канатних елементах вантових мостів. На даний час прийнятними методиками для визначення зусиль у канатних елементах вантових мостів є: встановлення електронних динамометрів в місцях анкерування канатів для вимірювання навантаження, геодезичні вимірювання провисання канатів вант, визначення частоти власних коливань канатів вант, тощо.

Мета роботи є визначення зусиль в вантах вантового моста через гавань р.Дніпро в м.Києві по об'єкту: «Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві» на заключних етапах піддомкочування прогонової будови моста.

Мета роботи досягнута виконанням вимірювання зусиль у вантах прогонової будови від власної ваги шляхом збудження в них механічних коливань та визначенням частот власних коливань, та вимірюванням провисань вантів (стрілки провисання) лазерним 3-Д скануванням вантів.

Виклад основного матеріалу. У 2021 р. було виконано роботи з визначення зусиль в канатах аркового мосту Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві на етапі натягу канатів прогонової будови моста. Під час будівництва незначну частину анкерів канатів було обладнано електронними динамометрами для визначення величини їх завантаження. Для оцінки просторової роботи конструкції та рівня завантаженості усіх канатних елементів виконано визначення зусиль у всіх канатах аркового мосту. Традиційне вимірювання провисання канату у зв'язку із їх майже вертикальним розташуванням не могло бути використане як метод дослідження. Мета була досягнута виконанням вимірювання зусиль у канатах прогонової будови від власної ваги шляхом збудження в них механічних коливань та визначенням частот власних коливань канатів.

Місця приєднання до конструкцій моста механічного навантаження при динамічних випробуваннях визначається в залежності від необхідності збудження певних форм механічних коливань. Для збудження механічних коливань першої форми коливань у канатах аркового моста через р. Дніпро Подільського мостового переходу в м. Києві достатньо прикладення зусилля відтяжки ванта 0,02 т в $\frac{1}{2}$ довжини каната.

Власні частоти (першої та вищих форм) поперечних коливань n_i канатних елементів з малою згинальною жорсткістю і горизонтальним розташуванням точок закріплення (рис. 1) вираховують за формулою [1]:

$$n_i = \frac{i^2}{2L} \sqrt{\frac{P}{q_0}}, \quad 1)$$

де: P – поздовжнє зусилля в елементі, т; L – довжина елемента, м; q_0 – погонна маса елемента, т \times с²/м.

Випробування проводилися при похмурій погоді, за температури повітря +10°C.

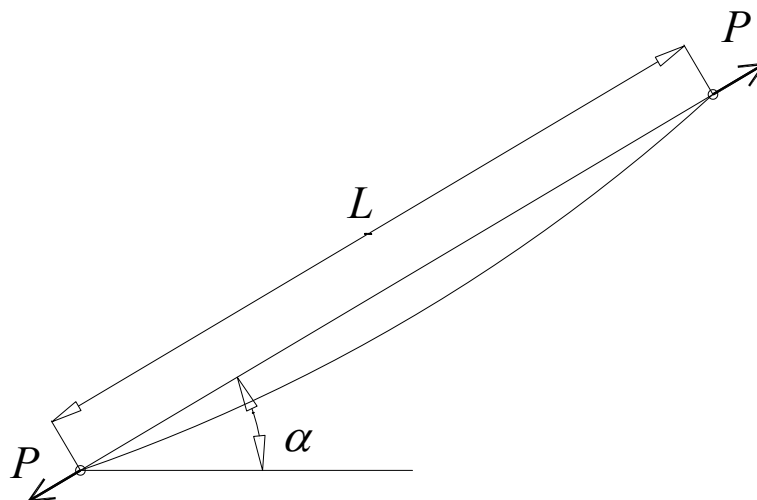


Рисунок 1 – Схема канатного елемента

Figure 1 – Scheme of the rope element

Реєструвалися коливання (віброшвидкість) в кожному канаті із використанням портативного віброаналізатору-реєстратора та п'єзокерамічного давача. Аналоговий сигнал від давача підсилювався у 2000 разів та реєструвався віброреєстратором. В лабораторних умовах записи розшифровувалися та піддавалися аналізу з використанням програмного комплексу «СпектрУМ» та вбудованого програмного забезпечення віброреєстратора. Довжину канатів визначали за допомогою лазерного далекоміру.

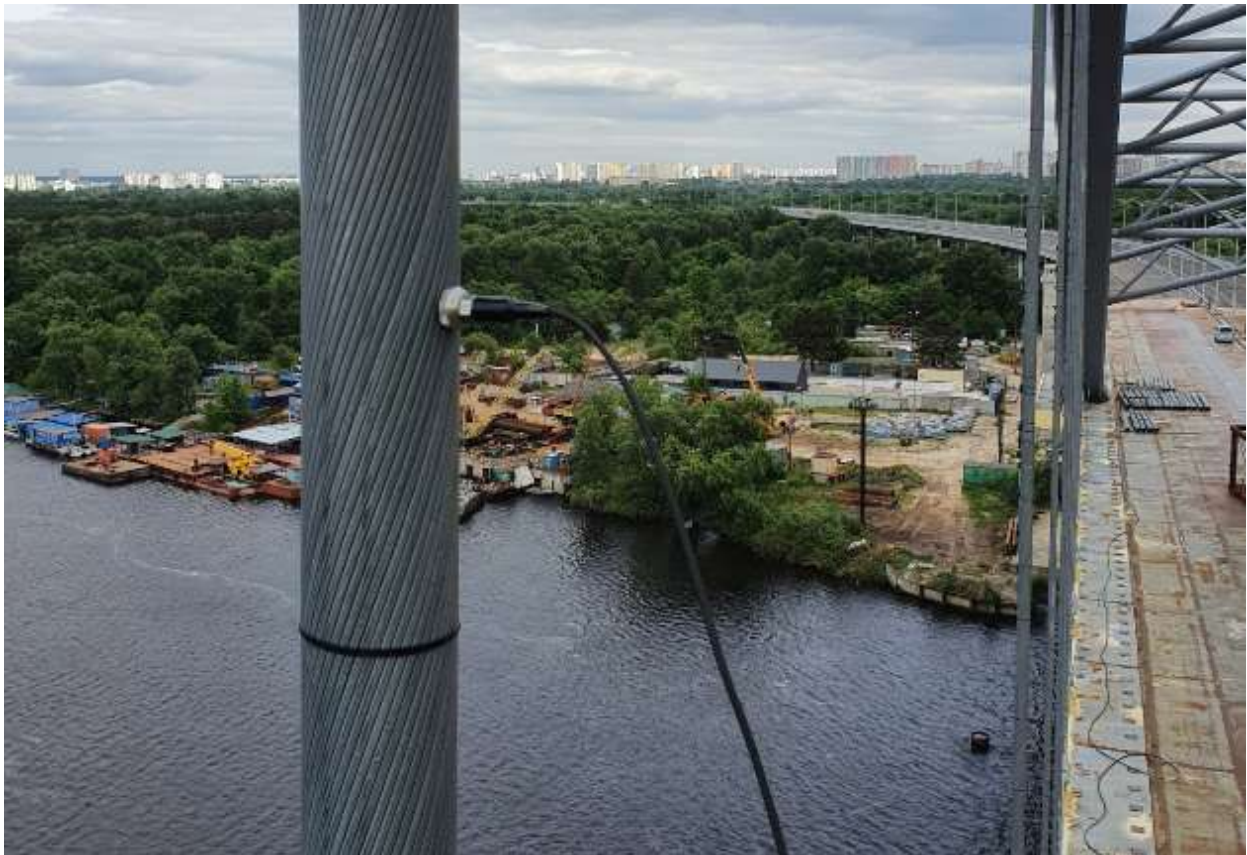


Рисунок 2 – Давач динамічних коливань встановлений на канаті

Figure 2 – The transducer of dynamic oscillations is installed on the rope

Прийнята схема позначень канатів вант наступна: канат 1 – зі сторони острова Труханів; канат 34 – зі сторони Рибальського півострова; Канат 2В – канат №2 з верхового боку; Канат 2Н – канат №2 з низового боку.

Результати досліджень представлені в таблиці 1.

Прийнята така схема позначень:

Опора 5 – початок вантового моста (з боку Подолу);

Опори 6, 7 – проміжні опори, на яких влаштовано пілони моста;

Опора 8 – кінець вантового моста.

Нумерація вант: вант 1 – зі сторони Рибальського півострова, вант 12 – зі сторони Подолу;

Вант 1, канат 1 в – вант №1, канат №1 з верхового боку;

Вант 1, канат 2 в – вант №1, канат №2 з верхового боку;

Вант 1, канат 3 в – вант №1, канат №3 з верхового боку;

Вант 1, канат 4 в – вант №1, канат №4 з верхового боку;

Аналогічні позначення вант низової ферми:

Вант 1, канат 1 н – вант №1, канат №1 з низового боку...

Таблиця 1 – Зусилля у канатах аркової прогонової будови моста через р. Дніпро

Table 1 – Efforts in the ropes of the arch span structure of the bridge over the Dnipro River

№ каната	Перша власна частота Гц	Довжина каната, l, м	Зусилля в канаті N, т	№ канату	Перша власна частота Гц	Довжина каната, l, м	Зусилля в канаті N, т		
2	H	9.56	5.78	53.1	2	B	9.09	5.82	48.7
3	H	3.71	9.80	23.0	3	B	3.78	9.83	24.0
4	H	5.07	13.65	83.3	4	B	4.14	13.69	55.9
5	H	3.74	17.13	71.4	5	B	3.84	17.20	75.9
6	H	2.71	20.47	53.5	6	B	3.06	20.53	68.6
7	H	1.95	23.58	36.8	7	B	2.25	23.65	49.2
8	H	2.12	26.50	54.9	8	B	2.31	26.56	65.5
9	H	2.03	29.19	61.1	9	B	2.20	29.22	71.9
10	H	1.89	31.64	62.2	10	B	2.09	31.67	76.2
11	H	1.77	33.87	62.5	11	B	1.92	33.87	73.5
12	H	1.71	35.81	65.2	12	B	1.84	35.78	75.4
13	H	1.66	37.42	67.1	13	B	1.89	37.41	86.9
14	H	1.63	38.78	69.5	14	B	1.67	38.70	72.6
15	H	1.51	39.75	62.6	15	B	1.62	39.69	71.9
16	H	1.37	40.41	53.3	16	B	1.54	40.35	67.1
17	H	1.44	40.82	60.1	17	B	1.48	40.78	63.3
18	H	1.49	40.82	64.3	18	B	1.39	40.78	55.9
19	H	1.48	40.39	62.1	19	B	1.55	40.39	68.1
20	H	1.55	39.73	65.9	20	B	1.71	39.72	80.2
21	H	1.54	38.73	61.9	21	B	1.65	38.75	71.1
22	H	1.65	37.43	66.3	22	B	1.84	37.46	82.6
23	H	1.69	35.82	63.7	23	B	1.82	35.85	74.0
24	H	1.59	33.91	50.5	24	B	1.99	33.92	79.2
25	H	2.10	31.71	77.1	25	B	2.18	31.74	83.2
26	H	2.10	29.24	65.6	26	B	2.14	29.29	68.3
27	H	2.59	26.56	82.3	27	B	2.27	26.57	63.3
28	H	2.59	23.66	65.3	28	B	2.42	23.66	57.0
29	H	2.61	20.52	49.9	29	B	2.73	20.51	54.5
30	H	-	17.19	-	30	B	3.22	17.15	53.0
31	H	4.59	13.67	68.5	31	B	4.69	13.70	71.8
32	H	3.44	9.82	19.8	32	B	4.66	9.86	36.7
33	H	9.26	5.81	50.3	33	B	12.32	5.85	90.3

Отримані значення зусиль в канатах відповідали проєктним значенням.

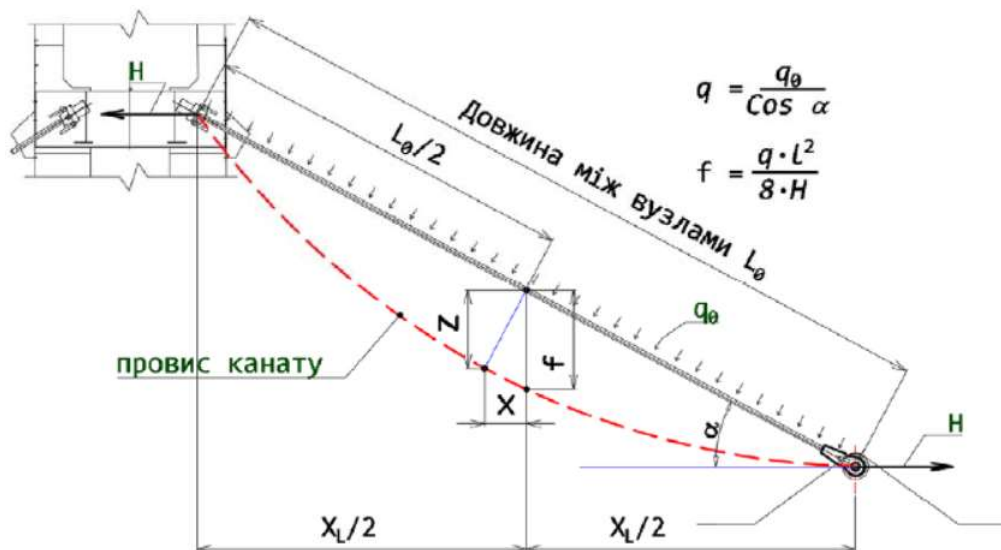


Рисунок 3 – Схема визначення натягу вантів за провисанням канату «стрілкою»

Figure 3 – The same of determining the tension of the ropes would be the slack of the rope with an "arosh"

Руслова частина моста симетрична, трипрогінна нерозрізна вантово-балочної схеми: 65,85 м+144,00 м+65,85 м. Міст був призначений для пропуску одиночних спецавтомобілів і пішоходів по тротуарам. Габарит проїзду Г-7, ширина тротуарів - 1,5 м.

В поперечному перерізі прогонова будова має дві головні балки П-подібного перерізу з віддалю між осями 9,6 м. Проїзна частина складається з Т-подібних балок шириною 1,5 м, що опираються на суцільні полицьки вертикальних стінок головних балок. В П-подібній площині головних балок розміщені пристрої для кріплення канатів.

Ванти моста радіальні, розташовані в двох площинах. В кожній площині від пілонів в обидва боки відходить три ванти, всього вант на мосту - 24 шт. Ванти моста виготовлені з витих канатів закритого типу за ГОСТ 7676-55. Канати об'єднані у ванти стяжними муфтами. Закріплення всіх вант на пілоні жорстке. Пілони залізобетонні, висотою 42 м, розрахункова висота пілонів над віссю балки жорсткості - 27 м.

Закриті канати характеризуються підвищеною щільністю перерізу, обумовленою використанням в зовнішніх шарах канатів фасонних проволоку -зетоподібних (зовнішній шар) і трапецієвидних (другий та третій шари). Внутрішня частина канатів виконана з круглих проволоку. Фасонні проволоку, щільно прилягаючи одна до одної, ізолюють внутрішню частину канату від агресивного впливу доквілля.

Ванти з верхової і низової сторони моста складаються:

- ванти 1, 6, 7 та 12 з канатів діаметром 70 мм, по 4 шт в ванті;
- ванти 3, 4, 9 та 10 з канатів діаметром 70 мм, по 2 шт в ванті;
- ванти 2, 5, 7 та 11 з канатів діаметром 55 мм, по 4 шт в ванті.

Канати виготовлені з проволоч трьох типів – зетоподібних (перший зовнішній шар), трапецієвидних (другий і третій шари) та круглих (внутрішня частина канату). Дані про канати приведені в таблицях 2 та 3.

Таблиця 2 – Дані про канат діаметром 70 мм

Table 2 – Data on a rope with a diameter of 70 mm

Тип проволоч.	Площа перерізу проволоч и, мм ² .	Кількість проволоч , шт.	Площа перерізу проволоч даного типу, мм ² .	Опір розриву проволоч, кгс/мм ² .	Сумарне розривне зусилля проволоч даного шару, кгс.	Сумарне розривне зусилля проволоч канату, кгс.	Агрегатн а міцність канату, кгс.
Z зовнішній шар	29,5	37	1095	120	131300	395000	Не регламен тується
□ другий шар	22,8	33	755		90600		
□ третій шар	18,5	30	557		66900		
0	14,5	61	885		106200		

Примітка до таблиці: Z – зетоподібні проволочки висотою 6 мм, □ - трапецієвидні проволочки другого та третього шарів висотою 5 мм і 4,5 мм відповідно, 0 – круглі проволочки діаметром 4,3 мм.

Таблиця 3 - Дані про канат діаметром 55 мм

Table 3– Data on a rope with a diameter of 55 mm

Тип перерізу проволоч.	Площа перерізу проволоч и, мм ² .	Кількість проволоч , шт.	Площа перерізу проволоч даного типу, мм ² .	Опір розриву проволоч, кгс/мм ² .	Сумарне розривне зусилля проволоч даного шару, кгс.	Сумарне розривне зусилля проволоч канату, кгс.	Агрегатн а міцність канату, кгс.
Z зовнішній шар	28,5	26	741	120	89000	249000	Не регламен тується
□ другий шар	22,6	27	610		73300		
□ третій шар	18,3	21	384		46200		
0	9,1	37	337		40500		

Примітка до таблиці: Z – зетоподібні проволоки висотою 6 мм, □ - трапециєвидні проволоки другого та третього шарів висотою 5 мм і 4,5 мм відповідно, 0 – круглі проволоки діаметром 3,4 мм.

Анкерні закріплення канатів - литі обойми (матеріал сталь 25Л-II), в межах яких кінці канатів розплетені і круглі проволоки загнуті гачками. Обойми залиті цинковим сплавом ЦАМ 9-1,5.

Канати вант 3, 4, 9 та 10 анкеруються на пілоні і в прогоновій будові, решта канатів анкерується лише в прогоновій будові, а на пілоні вони перекинуті через сідло. Анкерні закріплення канатів в прогоновій будові опираються на опорні столики з низьколегованої сталі, прикріплені до головних балок, до опорних столиків канати проходять крізь вікна в тротуарах.

Опорні столики розташовані в два яруси. На столиках верхнього ярусу закріплені канати № 1 та 2 вант 1, 2, 5, 6, 7, 8, 11 та 12 і канати 1 вант 3, 4, 9 та 10, решта канатів закріплена на столиках нижнього ярусу.

Місця приєднання до конструкцій моста механічного навантаження при динамічних випробуваннях визначається в залежності від необхідності збудження певних форм механічних коливань. Для збудження механічних коливань у вантах моста через гавань р. Дніпро в м. Києві достатньо прикладення зусилля відтяжки ванта 0,1 т.с.

Власні частоти (першої та вищих форм) поперечних коливань n_i канатних елементів з малою згинальною жорсткістю і горизонтальним розташуванням точок закріплення вираховують за формулою [2]:

$$n_i = \frac{i^2}{2L} \sqrt{\frac{P}{q_0}}, \quad 2)$$

де: P – поздовжнє зусилля в елементі, т; L – довжина елемента, м; q_0 – погонна маса елемента, т×с²/м.

Стрілка провисання f канатного елемента (при стрілках провисання менших 1/20 прогону ванта) визначається за формулою [3]:

$$f = \frac{q \cdot l^2}{8H}, \quad 3)$$

де:

$$q = \frac{q_0}{\cos \alpha}, \quad 4)$$

$$l = L \cdot \cos \alpha, \quad 5)$$

де: H – розпір, т; L – довжина елемента, м; α – кут нахилу до горизонту ванта, градуси.

Поздовжнє зусилля в елементі визначається за формулою:

$$P = \frac{H}{\cos \alpha}, \quad 6)$$

Через аварійний стан плити прогонової будови неможливим є заїзд автовишки і встановлення давачів реєстрації коливань в $\frac{1}{2}$ довжині вант і, відповідно, визначення першої форми згинальних коливань є ускладненим. Визначення зусиль виконували за другою формою згинальних власних коливань вант. При тому, датчик реєстрації коливань встановлювали безпосередньо на вантах на висоті 2,5 - 3 м над рівнем прогонової будови (рис. 4).

Реєстрація та аналіз механічних коливань вант виконане з використанням програмно-технічного комплексу «FREQS».

Провисання вант визначено з використанням лазерного 3D-сканування прогонових будов та вант приладом TRIMBLE SX10.



Рисунок 4 – а – Давач динамічних коливань встановлений на ванті; б – Програмно-технічний комплекс для аналізу динамічних коливань

Figure 4 – a – The sensor of dynamic oscillations is installed on the cable; b – Software and technical complex for the analysis of dynamic fluctuations

Дослідження виконували 01.04.2020 р та 06.04.2020 р при різних величинах підйому прогонової будови.

Результати досліджень, за даними дослідження 01.04.2020 р представлені в таблиці 3.

Таблиця 4 – Зусилля у вантах прогонової будови моста (результати досліджень)

Table 4 – Efforts in the cables of the span structure of the bridge (research results)

№ ванта	Зусилля у ванті (за провисаннями), тс (вимірювання.)	Зусилля у ванті (за власними коливаннями), тс (вимірювання)	Зусилля у ванті згідно проекту, тс
1 в	101	144	370
1 н	94	119	370
2 в	46	47	300
2 н	40	40	300
3 в	13	16	194
3 н	12	16	194
4 в	37	49	191
4 н	39	46	191
5 в	40	41	321
5 н	32	35	321
6 в	91	124	360
6 н	90	120	360
7 в	87	109	360
7 н	79	98	360
8 в	61	34	321
8 н	32	34	321
9 в	36	-	191
9 н	39	-	191
10 в	10	16	194
10 н	9	-	194
11 в	77	81	300
11 н	49	55	300
12 в	83	-	370
12 н	77	-	370

Результати досліджень, за даними дослідження 06.04.2020 р представлені в таблиці 4.

Таблиця 5 – Зусилля у вантах прогонової будови моста (результати досліджень)

Table 5 – Efforts in the cables of the span structure of the bridge (research results)

№ ванта	Зусилля у ванті (за провисаннями), тс (вимірювання)	Зусилля у ванті (за власними коливаннями), тс (вимірювання)	Зусилля у ванті згідно проекту, тс
1 в	79	112	370
1 н	66	95	370
2 в	28	30	300
2 н	24	25	300
3 в	8	10	194
3 н	7	12	194
4 в	20	26	191
4 н	19	30	191
5 в	27	29	321
5 н	24	26	321
6 в	69	91	360
6 н	68	92	360
7 в	60	83	360
7 н	58	72	360
8 в	37	35	321
8 н	23	25	321
9 в	18	27	191
9 н	18	19	191
10 в	9	-	194
10 н	8	11	194
11 в	38	43	300
11 н	29	28	300
12 в	56	82	370
12 н	61	89	370

Висновки. Порівняльний аналіз поздовжніх зусиль у вантах вантового моста через гавань р.Дніпро в м.Києві по об'єкту: «Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві» показав, що величини зусиль при збільшенні величини підйому прогонової будови зменшуються.

Згідно результатів досліджень поздовжні зусилля у довгих вантах (1, 6, 7, 12) вираховані за значеннями частот власних коливань є на 22 – 33 тс більшими ніж поздовжні зусилля вираховані за провисаннями, що пояснюється можливою неточністю емпіричної формули (1) при відносно низьких значеннях поздовжніх зусиль у вантах.

Значення поздовжніх зусиль у вантах вантового моста через гавань р. Дніпро в м. Києві вираховані за їх провисаннями відповідають значенням вказаних в проєктній документації для їх демонтажу.

Перелік посилань

1. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Корнієв М.М. і ін. Мости: Конструкції та надійність / За редакцією. В.В. Панасюка і Й.Й.Лучка, –Львів: Каменяр, –2005. – 989с.
2. М.М. Корнеев. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию мостов. Киев: Академпрес, 2010. Т. 1. ISBN 978- 966-7541-11-8.
3. Проєкт виконання робіт (ПВР) з монтажу канатів вант і опускання балки жорсткості вантового мосту через ріку Дніпро (Розрахунковий розділ). Настанова Зміна 1. 301 АМ-20/1-СП-1 С10-ПВР-РПЗ ЗМ1. До робочих креслень мостових споруд в Запоріжжі. ТОВ «Київстройпроект». 2021 р.
4. Технічний звіт «Послуги із визначення зусиль в вантах вантового моста через гавань р.Дніпро в м. Києві по об'єкту: «Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві». ТОВ «Діагностика та інжиніринг мостів». Київ 2020 р. 28 с.
5. Технічний звіт «Послуги із визначення зусиль в канатах аркового мосту через р. Дніпро в м. Києві по об'єкту: «Будівництво Подільського мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві» ТОВ «Діагностика та інжиніринг мостів». Київ 2021 р. 63 с.
6. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі Зміною № 1– Доступ з інтернету. –https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58106.
7. РВ.2.3-218-00018112-521:2006 рекомендації з динамічних випробувань мостів та шляхопроводів. Київ 2006. ДерждорНДІ. 27 с.
8. Посібник до ДБН В.2.3-6:2009 «Споруди транспорту, мости та труби. Обстеження і випробування» Київ -2010. ДерждорНДІ. 204 с.

Artur Onyshchenko, Pavlo Stashuk, Nataliia Chyzenko, Oleg Mazurenko, EXPERIENCE IN MEASURING EFFORT IN ROPE ELEMENTS OF CABLE BRIDGES

Artur Onyshchenko, Doctor of Technical Science, Professor, Head of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, National Transportation University Kyiv, Ukraine, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, +380687771899, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>.

Pavlo Stashuk, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures Department National Transportation University Kyiv, Ukraine, e-mail: pavlo.stashuk@gmail.com, тел.+380504494962, <https://orcid.org/0000-0001-5221-7015>.

Nataliia Chyzenko, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures Department National Transportation University Kyiv, Ukraine, e-mail: chyzenko_np@ukr.net, +380507355080, <https://orcid.org/0000-0002-9152-2474>.

Oleg Mazurenko, graduate student of the Department of Bridges, Tunnels and Hydraulic Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine e-mail: Olegvld@ukr.net, tel. +380977354226, <https://orcid.org/0000-0002-2619-382x>.

Summary. The work is devoted to the issue of carrying out technical diagnostics of determining the forces in the cables of the cable-stayed bridge across the harbor of the Dnipro River in the city of Kyiv on the object: "Construction of the Podilsk bridge crossing over the Dnipro River in the city of Kyiv" at the final stages of jacking up the span structure of the bridge. As is known, the general methodology of technical

diagnostics is based on conducting static or dynamic tests. Tests are conducted to determine the nature and magnitude of loads on the bridge structure, to determine the actual stress level in the elements. Moreover, sometimes some types of tests are carried out not only on bridges whose construction is finished, but also on structures during their construction. One of these types of tests is the tests performed to determine the amount of load in cable elements of cable-stayed bridges. Currently, one of these types of tests is the tests performed to determine the amount of load in cable elements of cable-stayed bridges. At present, the acceptable methods for determining the forces in the rope elements of cable-stayed bridges are: installation of electronic dynamometers in the places of anchoring of the ropes to measure the load, geodetic measurements of the sagging of the cable-stayed ropes, determination of the frequency of self-oscillations of the cable-stayed ropes, etc. The paper presents the results of the tests of measuring the forces in the cables of the span structure due to their own weight by exciting mechanical oscillations in them and determining the frequencies of the natural oscillations, and measuring the slack of the cables (arrows of the slack) by laser 3-D scanning of the cables.

Keywords: effort, rope elements, cable-stayed bridge, load, span structure.

References

1. Luchko Y.Y., Koval P.M., Korniev M.M. etc. Bridges: Structures and reliability / Edited. V.V. Panasyuka and Y.Y. Luchka, Lviv: Kamenyar, 2005. - 989 p. [in Ukrainian].
2. M.M. Korneev. Steel bridges. Theoretical and practical guide to bridge design. Kyiv: Akadempres, 2010. Volume 1. ISBN 978-966-7541-11-8. [in Ukrainian].
3. Project of execution of works (PVR) on the installation of cable-stayed cables and the lowering of the stiffening beam of the cable-stayed bridge across the Dnipro River (Calculation section). Instruction Change 1. 301 AM-20/1-SP-1 C10-PVR-RPZ ZM1. To the working drawings of bridge structures in Zaporizhzhia. "Kyivstroyproekt" LLC. 2021. [in Ukrainian].
4. Technical report "Services for determining the forces in the cables of the cable-stayed bridge across the harbor of the Dnipro river in the city of Kyiv on the object: "Construction of the Podilsk bridge over the Dnipro river in the city of Kyiv". "Bridge Diagnostics and Engineering" LLC. Kyiv 2020. 28 p. [in Ukrainian].
5. Technical report "Services for determination of forces in the ropes of the arched bridge across the Dnipro River in Kyiv on the object: "Construction of the Podilsky bridge over the Dnipro River in Kyiv" Ltd. "Bridge Diagnostics and Engineering". Kyiv 2021. 63 p. [in Ukrainian].
6. DBN V.2.6-198:2014 Steel structures. Design standards. With Change No. 1 – Access from the Internet. –https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58106. [in Ukrainian].
7. RV.2.3-218-00018112-521:2006 recommendations on dynamic tests of bridges and overpasses. Kyiv 2006. Derzhdor NDI. 27 p. [in Ukrainian].
8. Guide to DBN V.2.3-6:2009 "Transport structures, bridges and pipes. Examination and testing" Kyiv - 2010. Derzhdor NDI. 204 p. [in Ukrainian].