

УДК 621.317: 69.059

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.12>**Скляренко Сергій Олександрович,**

кандидат технічних наук, доцент,
директор, ПП «Полтава-проект»,
вул. Соборності, 71, к. 32, м. Полтава, 36014, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3929-4240>
E-mail: poltpro@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВИРОБНИЧОГО МАЙДАНЧИКА

Анотація. У статті аналізується поточний стан засобів вимірювальної техніки для фіксації переміщень прогинів на ринку України. Подається висновок про відсутність аналогів традиційним приладам прогиномірів. Наведено основні особливості використання цього обладнання в умовах будівельного майданчика чи виробничої площадки заводу. Відмічено важливість установаження вимірювального обладнання із системами захисту від обрушення конструкцій та уникнення сторонніх впливів на вимірювальне обладнання. Розглянуто аналоги, які використовують інші організації. Розроблений прототип на основі лазерних датчиків показав задовільні результати щодо точності. Зазначено низьку надійність цього підходу через недосконалість системи оптичних пристосувань.

Запропоновано власну конструкцію з використанням цифрових пристосувань для станків металообробки. Засіб вимірювальної техніки складається із цифрової месоури, пластикового корпусу, корзини противаги, сталевих пластин вантажу. Виконано порівняння з 2 приладами прогиномірів, що пройшли метрологічний контроль і повірку. Наведено отримані незначні відхилення й розбіжності. Проведено повторну перевірку за допомогою індикаторів годинникового типу. Отримані результати підтверджують високу точність вимірювань.

На основі проведеного дослідження зроблено висновок про допустимість використання запропонованого приладу до вимірювань прогинів. Указано основні напрями вдосконалення електронної системи приладу й розширення його функціоналу. Відмічено перспективи проведення реєстрації та виробництва. Отримано попередні висновки ДП «КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» про точність вимірювань на рівні 0,01 мм.

Ключові слова: прогини, переміщення, прилади, засоби вимірювальної техніки.

Skliarenko Serhii. IMPROVEMENT OF MEASURING EQUIPMENT FOR EXPERIMENTAL CONTROL OF BUILDING STRUCTURES PARAMETERS ON A CONSTRUCTION SITE

Abstract. The article analyzes the current state of measuring devices for recording deflections on the Ukrainian market. It concludes that there are no analogs to traditional deflectometers. The main features of using this equipment on construction sites or factory production sites are presented. The importance of installing measurement equipment with protection systems against structural collapse and avoiding external influences on the measuring equipment has been noted.

The prototypes used by other organizations were reviewed. The prototype developed based on laser sensors showed satisfactory accuracy results. The low reliability of this approach was noted due to the imperfection of the optical system. A new design using digital devices for metalworking machines has been proposed. The measuring instrument consists of a digital micrometer, a plastic case, a counterweight basket, and steel weight plates.

A comparison was made with two deflectometers that passed metrological control and verification. Minor deviations and discrepancies were reported. A repeat test was conducted using clock-type indicators. The results confirmed the high accuracy of measurements. Based on the conducted research, a conclusion was made about the admissibility of using the proposed device for deflection measurements. The main directions for improving the electronic system of the device and expanding its functionality were indicated. Prospects for registration "KYIVOBLSSTANDARTMETROLOGY" indicate measurement accuracy at the level of 0.01 mm.

Key words: deflections, displacements, instruments, measuring equipment.

Вступ. Вимірювання прогинів будівельних конструкцій широко застосовується в практиці наукових досліджень, проектування індивідуальних несучих конструкцій, оцінюванні фактичної несучої здатності елементів будівель і споруд і контролю якості конструкцій заводського виготовлення в ході натурних випробувань, в освітньому процесі під час лабораторних досліджень. Серед відомих і застосованих засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) в Україні й закордоном найбільш часто використовують прогиноміри Аістова 6-ПАО (рис. 1, б) та індикатори стрілочного типу з пристосуванням різного роду месур. Менш застосованими є засоби фотограмметрії або спеціалізованих стереокамер, наприклад, системи «ARAMIS» (рис. 1, а). Основними проблемами застосування останніх методів є досить значна вартість зазначеного обладнання, його незначне поширення та складнощі використання в «польових» умовах будівельного майданчику чи виробничої площадки заводу. Установлення індикаторів стрілкового типу потребує влаштування спеціалізованих месур, точності їх установлення, достатньої жорсткості й забезпечення умов їх роботи без сторонніх впливів. Випробувальні лабораторії досить часто намагаються виконати власні пристосування, що ґрунтуються на оптичних чи лазерних датчиках різного типу (наприклад, рис. 1, в). На практиці виконання різного роду випробувань (наприклад, рис. 2) досить часто виникає ризик обрушення кон-

струкцій, що призводить до знищення вимірювальних приладів або викривлення стрижнів месур при значних прогинах, що суттєво впливає на точність отриманих результатів.

Матеріали та методи. У ході оновлення фонду ЗВТ у власній лабораторії будівельних конструкцій і вибухотехніки ПП «Полтава-проект» виявлено значний фізичний знос прогиномірів 6-ПАО й відсутність альтернативи їх заміни. Зазначені прилади (у тому числі з електронними цифровими блоками) виробляються виключно в країні-агресорі та не поширені за кордоном. Дослідження ґрунтуються на аналізі доступних на ринку ЗВТ, передових вітчизняних і закордонних практиках проведення натурних і лабораторних експериментів, власному досвіді виконання науково-технічного супроводу розробок нових конструктивних рішень.

Результати. Першим кроком у пошуку і створенні власних засобів вимірювання стала перевірка досвіду використання спеціальних пристосувань на базі лазерних та оптичних датчиків, що частково використовували в лабораторіях НДІ будівельних конструкцій. Виготовлений прототип замаркований PL-01 створений на базі лазерних датчиків комплекту Vambu LAB. Порівняння проводили з показниками повіреного прогиноміру 6-ПАО із точністю 0,01 мм на зразку дерев'яної дошки перерізом 100x10 мм. Як направляючі використано поле з матовим синтетичним

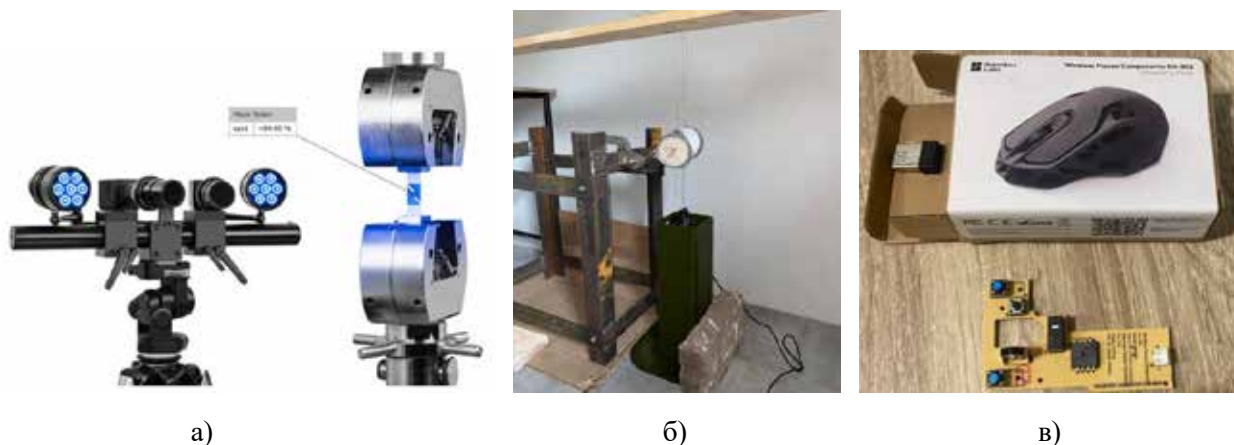


Рис. 1. Загальні пристосування для вимірювання прогинів: а) система стереокамер «ARAMIS»; б) прогиноміри Аістова 6ПАО; в) додаткові пристосування



Рис. 2. Проведення випробувань в умовах виробничого майданчика

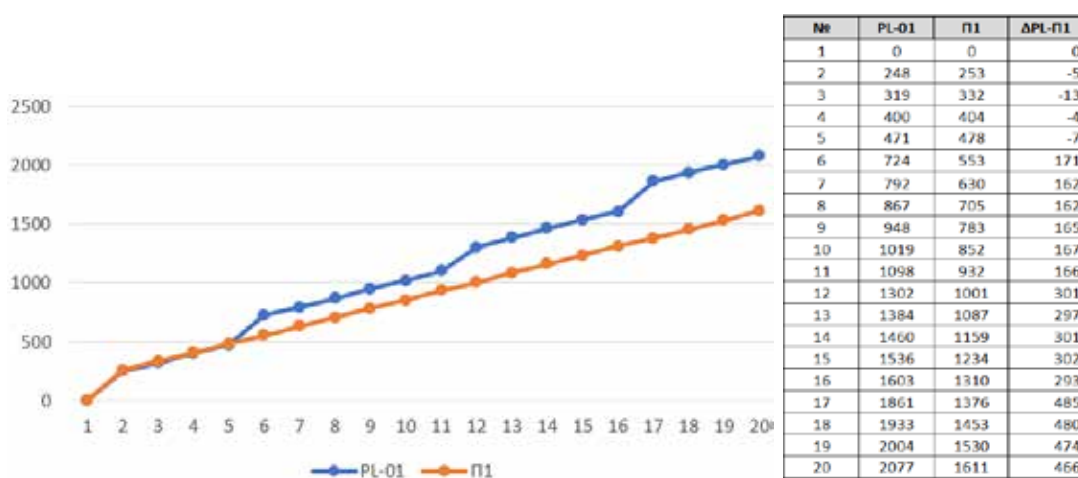


Рис. 3. Випробування переміщення на пристосування PL-01 (лазерний датчик від комплекту Vambu LAB)

покриттям і надійною фіксацією датчика над рівнем поверхні. У ході випробування (рис. 3) відмічено зависання датчика з частковим безсистемним просковзуванням значення переміщення. Основні отримані результати: відхилення між показниками прогиноміра 6ПАО (П1) і зібраного пристосування PL-01 становило 4,66 мм, або 29%. Варто відмітити, що до просковзування датчика на 1–5 ступенях відхилення становило 0,07 мм та 1,46% відповідно.

Другим етапом стало пристосування електронної месоури на базі SHANE 5403-200F із точністю 0,005 мм, що використовується для переобладнання металообробних верстатів у станки ЧПУ. Корпус приладу змодельовано й виготовлено шляхом 3D друку з точністю сопла 0,2 мм, що забезпечило точну співвіс-

ність направляючих для кріплення месоури та корзини противаги. Для перевірки результатів даних використано відразу 2 прогиноміри 6-ПАО. Відхилення між показниками 2 прогиномірів 6ПАО (П1, П2) і зібраного пристосування PP-01 становило 0,08 мм, або 0,3% (рис. 4, 5).

Зважаючи на рознесення точок кріплення струни прогиномірів на 30 мм (для вертикального ходу вантажу противаги) і зафіксоване закручення перерізу елемента, що випробовувався, виконано повторний дослід із порівнянням зібраного пристосування PP-01 і повіреним індикатором годинникового типу ИЧ 0,01 (рис. 6). Відхилення між показниками становило 0,01 мм, або 0,1%. Максимальні відхилення, зафіксовані в ході випробування, становили 0,03 мм та 0,97%.

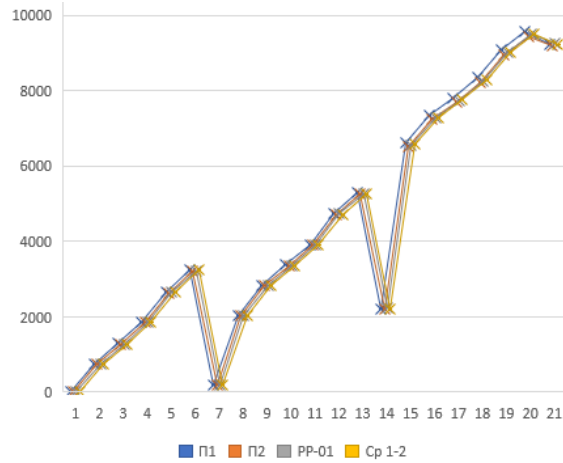


Рис. 4. Випробування переміщення на пристосування PP-01 (електронна меса SHANE 5403-200F)

№ вип.	Фасад			ПЕРЕМІЩЕННЯ								Відхилення у %
	П1	П2	Центр	П1	Δ1-PP	ΔП1-П2	П2	Δ2-PP	Ср 1-2	ΔСр-PP		
1-0	9623	4089	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	
1-1	371	3348	745	748	3	7	-741	4	744,5	0,5	0,0672	
1-2	914	2820	1281	1291	10	22	-1269	12	1280	1,0	0,0781	
1-3	1491	2215	1859	1868	9	-6	-1874	-15	1871	12,0	0,6414	
1-4	2282	1462	2645	2659	14	32	-2627	18	2643	2,0	0,0757	
1-5	2862	868	3225	3239	14	18	-3221	4	3230	5,0	0,1548	
1-P	9827	3898	200	204	4	13	-191	9	197,5	2,5	1,2658	
2-0	1651	2051	2039	2028	-11	-10	-2038	1	2033	6,0	0,2951	
2-2	2455	1265	2831	2832	1	8	-2824	7	2828	3,0	0,1061	
2-3	2993	737	3367	3370	3	18	-3352	15	3361	6,0	0,1785	
2-4	3545	184	3921	3922	1	17	-3905	16	3913,5	7,5	0,1916	
2-5	4357	9386	4725	4734	9	31	-4703	22	4718,5	6,5	0,1378	
2-6	4905	8839	5276	5282	6	32	-5250	26	5266	10,0	0,1899	
2-P	1840	1895	2232	2217	-15	23	-2194	38	2205,5	26,5	1,2015	
3-0	6250	7565	6553	6627	74	103	-6524	29	6575,5	22,5	0,3422	
3-1	6969	6865	7271	7346	75	122	-7224	47	7285	14,0	0,1922	
3-2	7432	6402	7736	7809	73	122	-7687	49	7748	12,0	0,1549	
3-3	7962	5882	8260	8339	79	132	-8207	53	8273	13,0	0,1571	
3-4	8700	5153	8994	9077	83	141	-8936	58	9006,5	12,5	0,1388	
3-5	9189	4665	9488	9566	78	142	-9474	64	9495	7,0	0,0737	

Рис. 5. Результати випробування переміщення на приладах PP-01, П1, П2

Подальший розвиток запропонованого пристосування (рис. 7) наразі зводиться до більш стабільної фіксації та влаштування захисту корпусу PP-01 шляхом установлення в сталеву обойму. Виконується компонування підключення та передача даних відразу з кількох датчиків на плату Arduino з програмуванням можливості ув'язки отриманих даних у часі. Опрацьовано моменти знімання показників примусово (за натисканням кнопки) чи відповідно до закладених у програму співвідношень швидкості розвитку деформацій (необхідно для точної фіксації часу і знімання показників прогинів після стабілізації зразка на ступені навантаження від коливань конструкції або перебігу ластичних деформацій). Додано додаткові виходи для зіставлення зна-

чення прогинів із цифровими показниками навантаження (від електронних ваг чи цифрового блоку пресу). Досліджується вплив на точність датчика просідання показників джерела живлення месаури. Уже проведені попередні заміри фахівцями ДП «КІЇВОБЛ-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» зазначили точність вимірювань на рівні 0,01 мм із нульовим відхиленням показів приладу від довжини стандартних еталонів.

Висновки. Отримані результати можуть свідчити про достатню точність отриманого пристосування для проведення випробувань у «польових умовах». Досвід виконання подібних досліджень указує на значну кількість факторів, що впливають на достовірність отриманих результатів: вплив сторонніх фак-



Випробування по індикатору стрілкового типу					Порівняння 2 дослідів		
№	PP-01	Індикатор	ΔPP-інд.	Відхилення у %	№	PP-П1/2	ΔPP-інд.
1	102	103	1,00	0,9709	1	0,000	0,971
2	254	253	1,00	0,3953	2	0,067	0,395
3	332	332	0,00	0,0000	3	0,078	0,000
4	406	404	2,00	0,4950	4	0,641	0,495
5	477	478	1,00	0,2092	5	0,076	0,209
6	556	553	3,00	0,5425	6	0,155	0,542
7	627	630	3,00	0,4762	7	1,266	0,476
8	704	705	1,00	0,1418	8	0,295	0,142
9	782	783	1,00	0,1277	9	0,106	0,128
10	852	852	0,00	0,0000	10	0,179	0,000
11	933	932	1,00	0,1073	11	0,192	0,107
					12	0,138	
					13	0,190	
					14	1,202	
					15	0,342	
					16	0,192	
					17	0,155	
					18	0,157	
					19	0,139	
					20	0,074	

Рис. 6. Результати випробування переміщення на приладах PP-01 та індикаторі стрілкового типу ІЧ 0,01

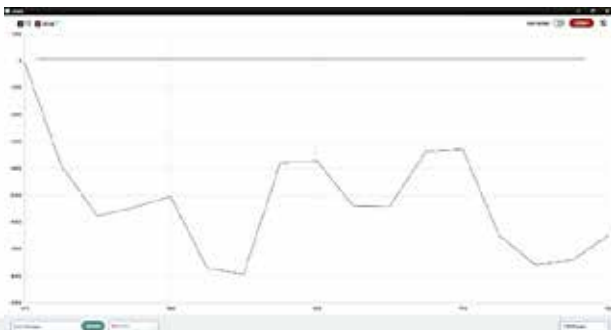
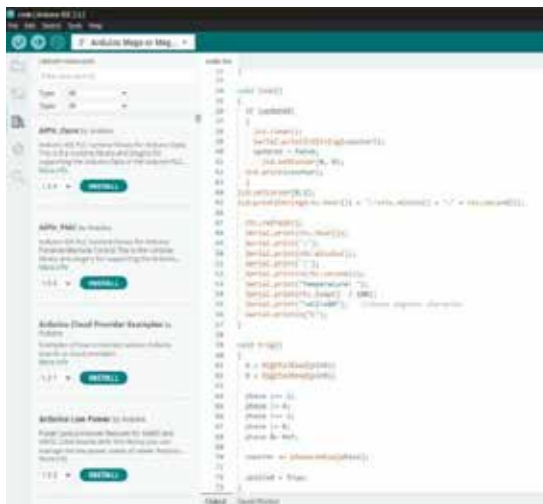
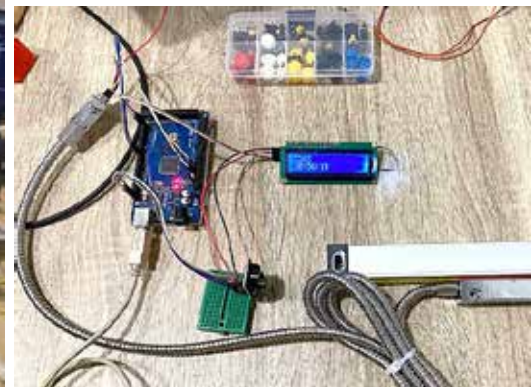


Рис. 7. Подальший розвиток використання цифрових месур у ЗВТ

торів (вібрації конструкцій, вплив вітру на корпус прогиномірів, силові сторонні впливи на конструкції, що досліджуються тощо), точність знімання замірів із циферблатів стрілкового типу в складних умовах випробування, точність установа випробувального стенду і пристосування для випробування тощо. Фактично повторні випробування однотипних конструкцій чи дублювання прогиномірів на одній точці конструкцій у приладах показують розбіжності до 1% із похибками

в межах 0,1 мм. Ці значення замірів є прийнятними, зважаючи на геометричні та параметральні неточності (відхилення) фактичних конструкцій від проектних, у тому числі стосовно проектного й фактичного положення конструкції та способу передачі зусилля на опорні елементи. Найближчим часом наше підприємство запланувало отримання протоколів відповідності, дрібносерійне виробництво й перевірку зазначених засобів виміральної техніки.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2007. 14 с.
2. Системи ATOS Compact Scan. Вимірвальні системи ARAMIS: Дата оновлення: 18.09.2023. URL: <https://oim3d.com/MeasureSystems/> [in English].

References:

1. Vyd. ofits. Kyiv: DP «UkrNDNTs» (2007). DSTU B V.1.2-3:2006: Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia. [DSTU B V.1.2-3:2006: Deflections and Displacements. Design Requirements. Official Edition.], 14 [in Ukrainian].
2. ATOS Compact Scan Systems. ARAMIS Measurement Systems. Retrieved from: <https://oim3d.com/MeasureSystems/> [in English].