

**СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗЙОМОК  
КОЛІЙ МОСТОВИХ КРАНІВ У ВИРОБНИЧИХ БУДІВЛЯХ**

<sup>1</sup>**Пашинський В.А.**, д.т.н., професор,  
pva.kntu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5474-6399

<sup>1</sup>**Тихий А.А.**, к.т.н., доцент,  
andriitykhyi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5323-4415

<sup>1</sup>**Пашинський М.В.**, к.т.н.,  
filonalone@gmail.com, ORCID:0000-0002-2669-523X

<sup>1</sup>*Центральноукраїнський національний технічний університет*  
пр-кт Університетський, 8, м. Кропивницький, 25006, Україна

<sup>2</sup>**Пічугін С.Ф.**, д.т.н., професор,  
pichugin.sf@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8505-2130

<sup>2</sup>*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*  
пр-кт Першотравневий, 24, м. Полтава, 36011, Україна

**Анотація.** Дослідження виконане на основі результатів геодезичних зйомок положення колій мостових кранів у машинобудівних цехах на протязі чотирьох років. Розроблена методика статистичного аналізу відхилень колій мостових кранів від проектного положення у плані та по висоті. Обрані види законів розподілу для імовірнісного опису відхилень, зокрема обґрунтована можливість використання розподілу модуля випадкової величини для опису відхилень, які контролюються без урахування знаку. Запропонована узагальнена характеристика стану кранових колій у вигляді імовірності виходу відхилень за встановлені нормами гранично допустимі межі. На прикладі двох цехів відображено позитивний вплив рихтування кранових колій на статистичні характеристики їх положення в плані.

**Ключові слова:** колії мостових кранів, геодезичні зйомки, відхилення від проектного положення, статистичний аналіз.

**Вступ.** Мостові крани використовуються в виробничих цехах різного призначення у якості технологічного транспорту та при ремонтах обладнання. Безпечна експлуатація кранів та довговічність несучих конструкцій цеху істотно залежать від стану кранових колій. Істотні відхилення кранових колій від проектного положення збільшують горизонтальні навантаження (бічні сили) та вертикальний тиск коліс мостових кранів, прискорюють зношування коліс кранів, кранових рейок, втомні руйнування верхньої поясної зони підкранових балок та їх кріплень до колон. Для забезпечення нормальної експлуатації мостових кранів і сталевих каркасів виробничих будівель необхідно вести систематичний контроль положення кранових колій геодезичними методами, за результатами якого своєчасно виконувати відновлення їх проектного положення (рихтування).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нерівності кранових колій призводять до порушень нормальної експлуатації мостових кранів та каркасів виробничих будівель. Відхилення від прямолінійності в плані (перекоси, звуження та розширення кранових колій) різко збільшують бічні сили, а відхилення від горизонтальності ускладнюють роботу мостових кранів та призводять до зростання вертикального тиску окремих коліс на підкранові конструкції [1-3]. Вимоги до геометрії кранових колій встановлені двома нормативними документами: граничні відхилення фактичного положення змонтованих металевих конструкцій встановлені в ДСТУ Б В. 2.6-200:2014 [4], а допустимі відхилення кранових колій від проектного положення в період експлуатації регламентуються «Правилами охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання» [5]. Значення гранично допустимих відхилень, встановлених нормативними документами [4, 5], зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Гранично допустимі відхилення колій мостових кранів від проектного положення

Контрольовані показники положення кранових колій	Гранично допустимі значення, мм	
	при монтажі згідно з [4]	при експлуатації згідно з [5]
Відстань між осями рейок одного прольоту (звуження або розширення кранової колії)	10	15
Зміщення осі рейки з осі підкранової балки	15	
Відхилення осі рейки від прямої на довжині 40 м	15	
Різниця позначок головок рейок різних рядів у поперечному перерізі прольоту	15	40
Різниця позначок підкранових рейок на сусідніх колонах одного ряду при відстані менше 10 м	10	10
Взаємний зсув торців рейок, що стикаються, в плані і по висоті	2	2

З таблиці видно, що в процесі експлуатації контролюється менший перелік відхилень, а їх допустимі значення можуть бути більшими, ніж встановлено для нової конструкції на момент приймання в експлуатацію. Очевидно, що для забезпечення нормальної експлуатації цеху положення кранових рейок не повинні виходити за межі, встановлені Правилами [5].

Згідно з вказівками [5], вказані в таблиці 1 параметри положення кранових колій повинні контролюватися геодезичними методами. Висотне положення кранових рейок визначають геометричним, тригонометричним чи гідростатичним нівелюванням, способи якого описані в [6]. Зазвичай нівелір встановлюється на підкранових конструкціях, а нівелірна рейка переміщається уздовж прольоту по головках кранових рейок. При наявності вільного простору уздовж ряду колон нівелір можна встановлювати на підлозі цеху та знімати відліки по нівелірній рейці або рулетці з вантажем, підвішеній до моста крана [6].

Положення кранових рейок у плані фіксується шляхом бокового нівелювання за допомогою теодолітів різної конструкції, встановлених на підкранових конструкціях або на підлозі цеху поблизу ряду колон [6, 7]. Відліки знімаються по нівелірній рейці, встановленій горизонтально впритул до головки кранової рейки. Відстань між крановими рейками визначають безпосереднім виміром за допомогою рулетки чи іншого мірного приладу, а також непрямыми способами [6, 7].

Для контролю положення кранових колій застосовують також лазерні прилади різних типів [6, 8]. Відхилення кранових рейок від лазерного променя вимірюють фотореєструючим приладом або за допомогою екрана з координатною сіткою, по якій фіксують положення центра лазерної плями щодо осі рейки. Відома також методика зйомок положення кранових колій за допомогою електронних тахеометрів [7]. В роботі [8] показано, що актуальним завданням є також розроблення методів опрацювання результатів геодезичних вимірювань з використанням комп'ютерної техніки.

**Мета роботи:** розробити ефективну методику статистичного аналізу результатів геодезичних зйомок кранових колій, яка забезпечить узагальнення результатів вимірювань, їх адекватне порівняння з допустимими значеннями відхилень від проектного положення, а також відображення процесів накопичення відхилень у процесі експлуатації.

**Об'єкти та методика геодезичних вимірювань.** Геодезичний контроль положення колій мостових кранів проводився протягом чотирьох років у декількох цехах машинобудівного заводу. Ці цехи представляють собою багатопролітні одноповерхові будівлі, обладнані технологічними та ремонтними мостовими кранами. Положення головок кранових рейок визначалося за допомогою нівеліра й теодоліта, встановлених на гальмівних площадках кранових колій. Частина зйомок виконана з використанням лазерного візиру, горизонтальний промінь якого утворював створ, направлений уздовж кранової колії. У цьому випадку горизонтальні й вертикальні відліки знімалися по шаблону з координатною сіткою,

який встановлювався на головку кранової рейки при проході працівника по підкранових коліях. Відліки по шаблону знімалися на кожній з доступних поперечних координатних осей (напроти кожної з колон цеху) та передавалися для запису по радіозв'язку.

У результаті попередньої обробки отриманих відліків формувалася таблиця з умовними висотними позначками головок кранових рейок обох рядів обстеженого прольоту  $H_{Ai}$ ,  $H_{Bi}$  та відхиленнями в горизонтальній площині  $\Delta_{Ai}$ ,  $\Delta_{Bi}$  від створів, орієнтованих на осі кранових рейок на початку та в кінці прольоту. Відстані між прокладеними створами (осями кранових рейок) на початку та в кінці обстеженого прольоту вимірювалися рулеткою. Приклад результатів вимірювань в одному з прольотів відображено в таблиці 2 та на рисунку 1.

Таблиця 2 – Результати геодезичних вимірювань положення кранових колій прольоту А-Б блоку виробничих цехів (фрагмент)

Номери осей	Результати геодезичних зйомок, мм				Відхилення від проектного положення, мм			
	$H_{Ai}$	$H_{Bi}$	$\Delta_{Ai}$	$\Delta_{Bi}$	$\Delta_{HAi}$	$\Delta_{HBi}$	$\Delta_{HPi}$	$\Delta_{Li}$
5	34	28	0	0			6	16
6	33	25	4	0	1	3	8	20
7	39	24	-2	0	6	1	15	14
...	...	...	...	...	...	...	...	...
26	41	33	-7	1	5	9	8	9
27	39	31	-3	0	2	2	8	12
28	44	36	0	0	5	5	8	15
Статистичні характеристики вибірок відхилень	Кількість значень N				23	23	24	24
	Мінімальні значення				1	0	0	-6
	Максимальні значення				9	10	32	20
	Середні значення M				4,00	4,26	9,71	7,71
	Стандарти S				2,30	2,77	8,14	8,43

Наведені в таблиці 2 вертикальні позначки головок кранових рейок обох рядів  $H_{Ai}$  та  $H_{Bi}$  відлічуються від одного й того ж умовного нуля. За ними обчислені абсолютні значення перепадів висот головок кранових рейок на суміжних колонах одного ряду  $\Delta_{HAi}$ ,  $\Delta_{HBi}$  та на колонах різних рядів в одному поперечному перерізі  $\Delta_{HPi}$ :

$$\Delta_{HAi} = |H_{Ai} - H_{A(i-1)}|, \quad \Delta_{HBi} = |H_{Bi} - H_{B(i-1)}|, \quad \Delta_{HPi} = |H_{Ai} - H_{Bi}|. \quad (1)$$

У процесі геодезичних вимірювань прийняте правило знаків, згідно з яким горизонтальні відхилення  $\Delta_{Ai}$  та  $\Delta_{Bi}$  всередину прольоту мають знак «мінус», а назовні – знак «плюс». Відхилення ширини кранової колії від проектного значення обчислені шляхом інтерполювання відносно прямолінійних теодолітних створів за формулою:

$$\Delta_{Li} = L_{\Pi} - L + \Delta_{Ai} + \Delta_{Bi} + \frac{L_K - L_{\Pi}}{i_K - i_{\Pi}} \times i, \quad (2)$$

де  $L$  – проектне значення відстані між осями кранових колій;

$L_{\Pi}$  та  $L_K$  – фактичні відстані між осями рейок колій на початку та в кінці зони вимірювань;

$i_{\Pi}$  та  $i_K$  – номери поперечних координатних осей початку та кінця зони вимірювань;

$i$  – порядковий номер поперечної рами (поперечної координатної осі);

$\Delta_{Ai}$  та  $\Delta_{Bi}$  – виміряні відхилення окремих рейок від прямолінійних створів уздовж осей А і Б.

Положення кранових колій обох рядів прольоту А-Б блоку виробничих цехів у плані та по висоті наочно відображені на рисунку 1. Висотні позначки  $H_{Ai}$  та  $H_{Bi}$  взяті безпосередньо з таблиці 2. Горизонтальні відхилення  $\Delta_{Ai}$  та  $\Delta_{Bi}$  також зображені за даними таблиці 2, але з метою правильного відображення в плані відхилення  $\Delta_{Bi}$  відкладені з протилежним знаком, а  $\Delta_{Ai}$  умовно збільшені на 50 мм.

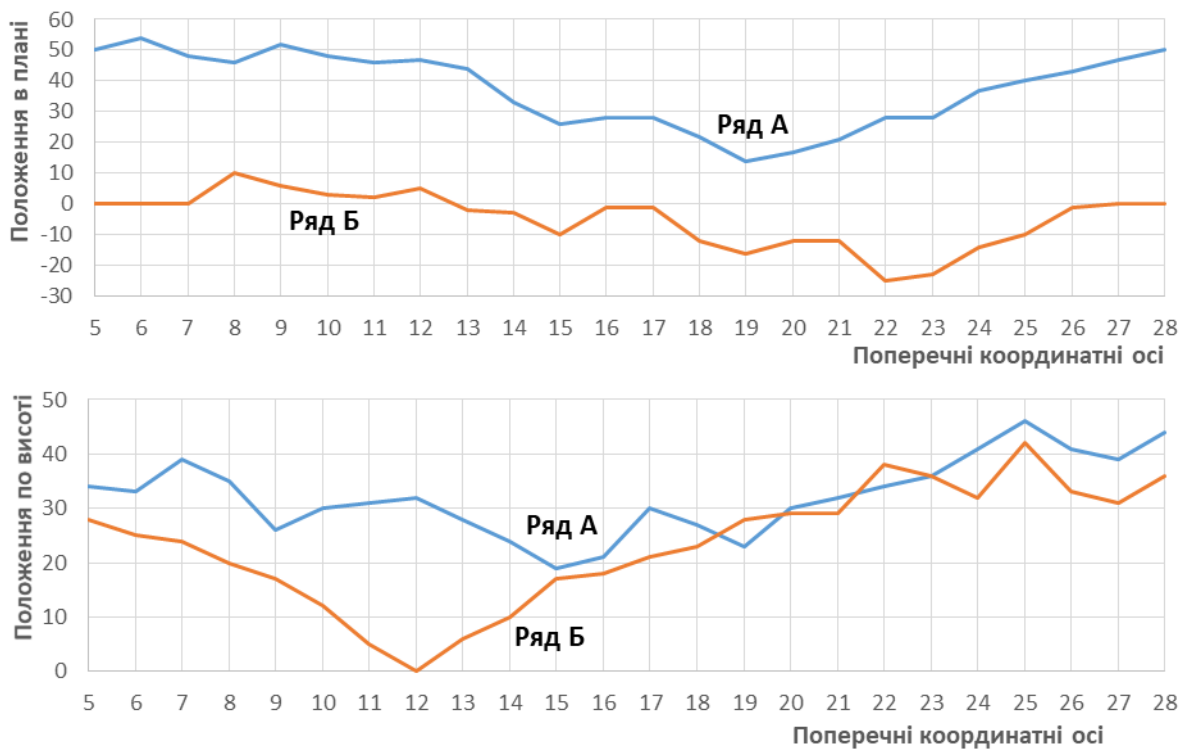


Рис. 1. Зміни положення кранових рейок по довжині прольоту А-Б блоку виробничих цехів

З рисунку 1 видно, що на фоні випадкових коливань спостерігаються також тенденції до закономірних змін положення кранових рейок у плані та по висоті уздовж прольоту. В осях 16...21 локалізуються випадки звуження колій, а в інших зонах спостерігається їх розширення. В зоні осей 14...24 спостерігається відхилення кранових колій обох рядів у бік ряду Б. Аналіз висотного положення вказує на пониження позначок головок кранових рейок в осях 9...16, після чого спостерігається тенденція до їх зростання. Певну синхронність зміни положення кранових колій рядів А і Б можна пояснити зміною властивостей основи по довжині цеху.

*Статистичний аналіз результатів геодезичних зйомок.* Методика статистичного аналізу розроблена на базі результатів геодезичних зйомок, які виконувалися щорічно протягом чотирьох років у двох прольотах обстежених цехів:

- склад готової продукції прольотом 24 м, обладнаний мостовими кранами вантажопідйомністю 10...20 тс групи режимів роботи 7К;
- проліт А-Б блоку виробничих цехів прольотом 30 м, обладнаний мостовими кранами вантажопідйомністю 10...30 тс групи режимів роботи 6К.

Найвні дані представляють собою виконавчі схеми положення кранових колій у плані та по висоті. Для статистичного аналізу ці дані представлені у формі восьми таблиць (4 роки спостереження у двох цехах), аналогічних таблиці 1. Наведені в таблицях контрольовані параметри не мають виражених закономірностей зміни по довжині прольотів і представляють собою випадкові величини, які слід аналізувати імовірнісними методами.

Попередній аналіз результатів геодезичних зйомок вказує на близькість отриманих при одному спостереженні вибірок відхилень від висотного положення головок кранових рейок на суміжних колонах обох рядів одного цеху  $\Delta_{НАi}$  та  $\Delta_{НБi}$ . Перевірка наявних даних методом однофакторного дисперсійного аналізу [9] підтвердила близькість цих випадкових величин та можливість їх попарного об'єднання в одну вибірку  $\Delta_{НРi}$ . У результаті такого об'єднання для кожного з чотирьох років вимірювань в обох обраних для аналізу цехах отримані вибірки трьох контрольованих параметрів:

- $\Delta_{НР}$  – перепад висоти головок кранових рейок на суміжних колонах одного ряду;
- $\Delta_{НП}$  – перепад висоти головок кранових рейок на колонах різних рядів;
- $\Delta_L$  – відхилення відстані між осями кранових рейок від проектного значення.

В таблиці 3 наведені результати статистичної обробки вказаних вибірок за методикою [9]: обсяг вибірки  $N$ , мінімальне  $Min$ , максимальне  $Max$  та середнє значення  $M$ , стандарт  $S$ , а також імовірність  $P$  виходу відхилень за гранично допустимі межі, вказані в таблиці 1 та в першій колонці таблиці 3.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики відхилень кранових колій

Цехи та контрольні параметри	Роки вимірювань	Статистичні характеристики вибірок					P
		N	Min, мм	Max, мм	M, мм	S, мм	
Склад готової продукції $\Delta_{HP} \leq 10$ мм	1	26	0	<b>16</b>	5,96	4,82	0,1796
	2	26	0	<b>16</b>	5,85	4,53	0,1712
	3	26	0	<b>13</b>	5,46	3,34	0,1430
	4	26	0	<b>12</b>	5,04	3,01	0,1123
Склад готової продукції $\Delta_{HP} \leq 40$ мм	1	14	1	20	8,38	5,62	0,0001
	2	14	3	14	8,46	3,89	0,0002
	3	14	2	18	8,38	4,29	0,0001
	4	14	2	13	9,38	3,45	0,0007
Склад готової продукції $\Delta_L \leq 15$ мм	1	15	<b>-17</b>	7	-6,23	6,99	0,1060
	2	15	<b>-20</b>	15	-6,31	10,95	0,2395
	3	15	<b>-22</b>	<b>17</b>	-5,77	12,62	0,2823
	4	15	-12	0	-6,00	3,54	0,0055
Блок цехів, проліт А-Б $\Delta_{HP} \leq 10$ мм	1	46	0	10	4,13	2,52	0,0528
	2	48	0	<b>15</b>	4,77	3,68	0,0936
	3	48	0	<b>15</b>	5,81	3,91	0,1687
	4	40	1	<b>12</b>	4,98	2,37	0,1078
Блок цехів, проліт А-Б $\Delta_{HP} \leq 40$ мм	1	24	0	32	9,71	8,14	0,0010
	2	25	0	26	9,32	6,69	0,0006
	3	25	1	30	10,56	7,68	0,0024
	4	21	1	16	8,33	4,34	0,0001
Блок цехів, проліт А-Б $\Delta_L \leq 15$ мм	1	24	-6	<b>20</b>	7,71	8,43	0,1969
	2	25	-9	<b>19</b>	8,80	7,07	0,1905
	3	25	-12	<b>24</b>	10,44	9,07	0,3100
	4	21	-8	11	0,52	4,03	0,0002

Дані таблиці 3 вказують на те, що перепади висоти головок кранових рейок на суміжних колонах одного ряду  $\Delta_{HP}$  та відхилення ширини кранових колій  $\Delta_L$  від проектного значення в окремих випадках можуть перевищувати гранично допустимі межі, встановлені Правилами [5]. Такі випадки виділені в таблиці 3 жирним курсивом.

*Закон розподілу відхилень* кранових колій від проектного положення з фізичної точки зору повинен наближатися до нормального [9] унаслідок впливу дуже великої кількості різних факторів. Відхилення відстані між крановими рейками сусідніх рядів колон можуть бути додатними та від'ємними, що відображає наявність розширень та звужень кранових колій. Тому їх доцільно описати нормальним законом [9] з густиною розподілу:

$$f_H(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-M)^2}{2S^2}\right], \quad (3)$$

де  $x$  – величина випадкового відхилення ширини кранової колії;  
 $M$ ,  $S$  – середнє значення й стандарт відхилень з таблиці 3.

Перепади висот головок кранових рейок в одному поперечному перерізі прольоту та на суміжних колонах одного ряду згідно з нормами [5] контролюються за абсолютною величиною. Їх розподіли можуть бути описані законом розподілу модуля випадкової

величини, описаним в [10]. По суті він являє собою зрізаний нормальний розподіл з областю визначення  $X \geq 0$  і має вираз для густини:

$$f_M(x) = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (4)$$

Єдиний параметр розподілу  $\sigma$  можна визначити з наведених у [10] виразів для середнього значення  $M$  та стандарту  $S$ :

$$M = \sigma\sqrt{2/\pi}, \quad S = \sigma\sqrt{1-2/\pi}. \quad (5)$$

З формул (4) слідує, що закон розподілу (4) має незмінний коефіцієнт варіації:

$$V = \sigma\sqrt{\pi/2-1} \approx 0,7555. \quad (6)$$

Відомо [9, 10], що за вибіркою скінченного обсягу середнє значення випадкової величини завжди оцінюється набагато точніше, ніж її стандарт. Тому для визначення параметра  $\sigma$  закону розподілу (4) доцільно скористатися першою з формул (5). Розв'язок отриманого рівняння дає вираз для обчислення параметра  $\sigma$ :

$$\sigma = M\sqrt{\pi/2} \approx 1,25M. \quad (7)$$

Як і закон нормального розподілу (3), розподіл модуля випадкової величини (4) не має аналітичного виразу інтегральної функції розподілу, але її легко визначити через функцію нормального розподілу:

$$F_M(x) = 2F_H(x) - 1, \quad (8)$$

де  $F_H(x)$  – інтегральна функція нормального розподілу, визначена за таблицями [9, 10] або з використанням вбудованої функції Microsoft Excel чи інших програм.

Можливість використання законів розподілу (3) і (4) візуально підтверджується виглядом гістограм розподілу вибірок відхилень кранових колій від проектного положення, які для розглянутого вище прикладу наведені на рисунку 2. Гістограми розподілу модулів вертикальних перепадів в одному  $\Delta_{HP}$  та в протилежних рядах колон  $\Delta_{HP}$ , мають експонентоподібний характер, а розподіли відхилень від проектної відстані між осями кранових рейок  $\Delta_L$  близькі до симетричних пагорбоподібних. Гістограми для інших цехів та років спостереження мають аналогічний характер.

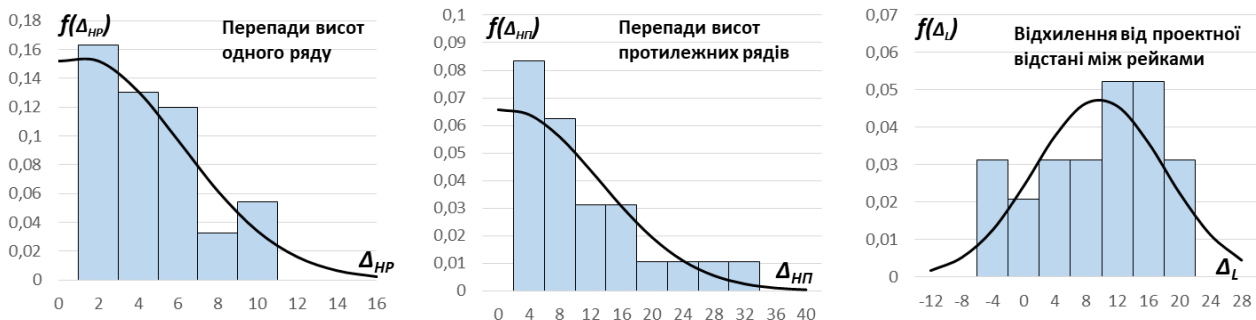


Рис. 2. Гістограми розподілу відхилень кранових колій від проектного положення

Перевірка за критерієм узгодженості Пірсона [9] показала, що у переважній більшості випадків закони розподілу (3) та (4) не суперечать дослідним даним на рівні значимості 0,05. Наприклад, для гістограм розподілу, зображених на рисунку 2, отримані такі значення статистики критерію Пірсона та його критичні значення  $\chi^2_{cr}$ :

- для перепаду висоти головок рейок одного ряду  $\Delta_{HP}$  –  $\chi^2 = 2,96 < \chi^2_{cr} = 7,82$ ;
- для перепаду висоти головок рейок різних рядів  $\Delta_{HP}$  –  $\chi^2 = 3,48 < \chi^2_{cr} = 12,60$ ;
- для відхилення відстані між осями кранових рейок  $\Delta_L$  –  $\chi^2 = 4,30 < \chi^2_{cr} = 9,49$ .

Узагальнення та аналіз результатів геодезичних вимірювань. Виявлені за результатами геодезичних зйомок вертикальні та горизонтальні відхилення кранових рейок від проектного

положення не повинні перевищувати гранично допустимих значень, наведених в таблицях 1 і 2. Проблема полягає у тому, що реальні похибки спостережень в умовах діючого цеху при роботі на висоті можуть бути набагато більшими від звичайної точності геодезичних вимірювань, що не дозволяє повністю довіряти кожному окремому результату. У якості узагальненої характеристики стану кранових колій можна використати імовірність виходу відхилень за встановлені гранично допустимі межі. На підставі законів розподілу (3) і (4) ці імовірності можна визначити за формулами до яких підставлені числові аргументи, рівні допустимим значенням відхилень:

$$\begin{aligned} P(\Delta_L) &= 1 - F_H(15) + F_H(-15), \\ P(\Delta_{HP}) &= 1 - F_M(10) = 2F_H(10), \\ P(\Delta_{HPI}) &= 1 - F_M(40) = 2F_H(40), \end{aligned} \quad (9)$$

де  $F_H(x)$  – функція нормального розподілу;

$F_M(x)$  – функція розподілу модуля випадкової величини (8);

Числові аргументи в формулах (9) відповідають гранично допустимим значенням відхилень, вказаних в таблиці 1.

Результати обчислень за формулами (9) наведені в останньому стовпці таблиці 2, а їх зміни в часі відображені на рисунку 3. З таблиці та графіків видно, що імовірність перевищення допустимого значення перепаду висоти головок рейок різних рядів  $\Delta_{HPI} = 40$  мм не перевищує 0,024, тобто цю подію слід вважати практично неможливою. Імовірність перевищення допустимого значення перепаду висоти головок рейок одного ряду  $\Delta_{HP} = 10$  мм отримана на порядок вищою. Значення імовірності 0,1...0,2 відповідає можливості виходу за допустиме значення у 10...20% контрольних точок вимірювань, а тому його слід вважати надто великим. На складі готової продукції ця імовірність мало змінюється в часі. В прольоті А-Б блоку виробничих цехів імовірність перевищення допустимого значення  $\Delta_{HP} = 10$  мм з першого року спостережень до третього зростає, а в останній рік зменшується.

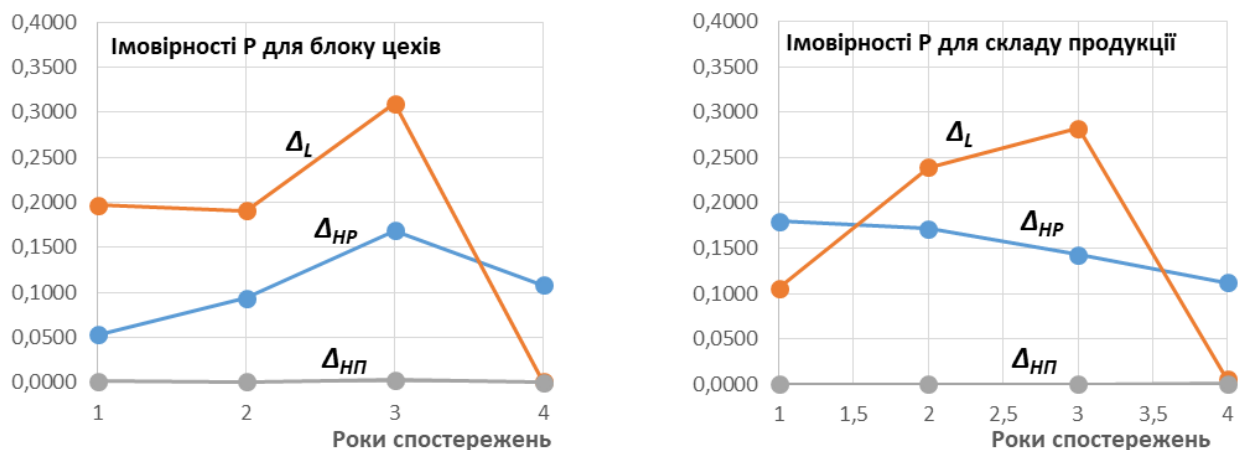


Рис. 3. Імовірності виходу відхилень положення кранових рейок за гранично допустимі межі

Імовірності перевищення допустимого відхилення ширини кранових колій  $\Delta_L$  в обох цехах є надто великими і зростають з першого по третій рік спостережень. Різде зменшення цих імовірностей в останній рік спостережень пояснюється виконаною в цей період рихтовкою кранових колій згідно з рекомендаціями, наданими за результатами геодезичних спостережень. Загалом графіки рисунка 3 вказують на досить близькі ступені розладки положення кранових колій в обох розглянутих цехах. Це можна пояснити подібними конструкціями каркасів, близькими режимами експлуатації мостових кранів та характеристиками ґрунтових основ.

**Висновки:**

1. Положення колій мостових кранів у плані та по висоті слід систематично контролювати геодезичними методами за перепадом висоти головок кранових рейок в межах одного ряду та на протилежних рядах, а також за відхиленням відстані між осями рейок від проектного значення. Випадковий характер відхилень та можливі похибки вимірювань в умовах діючого виробництва обумовлюють необхідність статистичного аналізу результатів.

3. Відхилення відстані між осями кранових рейок від проектного значення можуть бути представлені у формі випадкової величини з нормальним законом розподілу. Перепади висотних позначок головок кранових рейок, які контролюються без урахування знаку, описуються законом розподілу модуля випадкової величини.

4. У якості показника, який узагальнено характеризує стан кранових колій та необхідність їх рихтовки, доцільно використовувати імовірність виходу відхилень геометрії кранових колій за встановлені нормами допустимі значення.

**Література**

1. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Перельмутер А.В., Гордеев В.Н., Лантух-Лашенко А.И., Махинько А.В., Пашинский В.А., Пичугин С.Ф. 4-е изд., перераб. М.: Изд. СКАД СОФТ, изд. АСВ, изд. ДЦМК Пресс, 2014. 596 с.

2. Пичугин С.Ф. Крановые нагрузки на строительные конструкции: монография. Полтава: ООО «АСМИ», 2014. 504 с.

3. Повышение долговечности конструкций промышленных зданий / Кикин А.И., Васильев А.А., Кошутин Б.Н., Уваров Б.Ю., Вольберг Ю.Л. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1984. 302 с.

4. ДСТУ Б В. 2.6-200:2014. Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу. К.: Мінрегіонбуд України, 2014. 74 с.

5. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. Затверджено наказом Міністерства соціальної політики України 19.01.2018 № 62. 214 с.

6. Розбивка й вивірка підкранових колій. URL: <https://injzashita.com/rozbivka-ie-vivuirka-puidkranovix-koluiie.html>.

7. Смірнова О., Кльось С., Тритяк В. Дослідження геометричних параметрів підкранових колій з використанням електронного тахеометра. URL: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper/doslidzhennya-geometrichnih-parametriv-pidkranovih-kolij-z-vikoristannyam>.

8. Мазикіна О.Б. Підвищення точності та оперативності геодезичного контролю при експлуатації мостових кранів і підкранових колій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.24.01. Київ, 2000. URL: <http://tekhnosfera.com/povyshenie-tochnosti-i-operativnosti-geodezicheskogo-kontrolya-pri-ekspluatatsii-mostovyh-kranov-i-podkranovyh-putey> автореферат.

9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. 10-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2006. 575 с.

10. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М.: Советское радио, 1962. 552 с.

**References**

- [1] A.V. Perel`muter, V.N. Gordeev, A.I. Lantukh-Lashhenko, A.V. Makhin`ko, V.A. Pashinskij, S.F. Pichugin, *Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya*. 4-e izd., pererab. M.: Izd. SKAD SOFT, izd. ASV, izd. DShhMK Press, 2014.
- [2] S.F. Pichugin, *Kranovy`e nagruzki na stroitel`ny`e konstrukczii: monografiya*. Poltava: ООО «АСМИ», 2014.
- [3] A.I. Kikin, A.A. Vasil`ev, B.N. Koshutin, B.Yu. Uvarov, Yu.L. Vol`berg, *Povy`shenie dolgovechnosti konstrukczij promy`shlenny`kh zdaniy*. 2-e izd. M.: Strojizdat, 1984.
- [4] DSTU B.V. 2.6-200:2014. *Konstrukciy metalevi budivel`ni. Vy`mogy do montazhu*. K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2014.



- [5] NPAOP 0.00-1.80-18. Pravy`la oxorony` praci pid chas ekspluatsiyi vantazhopidijmal`ny`x kraniv, pidijmal`ny`x pry`stroyiv i vidpovidnogo obladnannya. Zatverdzheno nakazom Ministerstva social`noyi polity`ky` Ukrayiny 19.01.2018 № 62.
- [6] Rozbivka-ie-vivuirka-puidkranovix-koluiie. [Online]. Available: <https://injzashita.com/rozbivka-ie-vivuirka-puidkranovix-koluiie.html>
- [7] O. Smirnova, S. Kl`os`, V. Try`tyak, Doslidzhennya geometry`chny`x parametriv pidkranovy`x kolij z vy`kory`stanniam elektronnoho taxeometra. [Online]. Available: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper/doslidzhennya-geometricnih-parametriv-pidkranovih-kolij-z-vikoristanniam>.
- [8] O.B. Mazy`kina, "Pidvy`shhennya tochnosti ta operaty`vnosti geodezy`chnogo kontrolyu pry` ekspluatsiyi mostovy`x kraniv i pidkranovy`x kolij", avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. texn. nauk: 05.24.01, Kievskij nacionalnyj universitet stroitelstva i arhitektury. Kiev, 2000. [Online]. Available: <http://tekhnosfera.com/povyshenie-tochnosti-i-operativnosti-geodezicheskogo-kontrolya-pri-ekspluatatsii-mostovyh-kranov-i-podkranovyh-putey-avtoreferat>.
- [9] E.S. Ventcel`, *Teory`ya veroyatnostej*: Uchebny`k dlya vuzov. 10-e y`zd., ster. M.: Vy`sshaya shkola, 2006.
- [10] Ya.B. Shor, *Statisticheskie metody` analiza i kontrolya kachestva i nadezhnosti*. M.: Sovetskoe radio, 1962.

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПУТЕЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

<sup>1</sup>Пашинский В.А., д.т.н., профессор,  
pva.kntu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5474-6399

<sup>1</sup>Тихий А.А., к.т.н., доцент,  
andriitykhyi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5323-4415

<sup>1</sup>Пашинский Н.В., к.т.н.,  
filonalone@gmail.com, ORCID:0000-0002-2669-523X

<sup>1</sup>Центральноукраинский национальный технический университет  
пр-кт Университетский, 8, г. Кропивницкий, 25006, Украина

<sup>2</sup>Пичугин С.Ф., д.т.н., профессор,  
pichugin.sf@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8505-2130

<sup>2</sup>Национальный университет «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка»  
пр-кт Первомайский, 24, г. Полтава, 36011, Украина

**Аннотация.** Исследования выполнены с целью разработки эффективной методики статистического анализа результатов геодезических съемок путей мостовых кранов, которая обеспечит обобщение результатов измерений, отображение их изменений во времени, а также сравнение с допустимыми значениями отклонений от проектного положения.

Для анализа использованы результаты геодезических съемок положения путей мостовых кранов в машиностроительных цехах в течение четырех лет. Положение головок крановых рельсов определялось с помощью нивелира, теодолита, а также лазерного визира. В соответствии с требованиями нормативных документов по эксплуатации мостовых кранов, контролировалось три параметра положения головок крановых рельсов: перепад высоты на смежных колоннах одного ряда; перепад высоты на колоннах разных рядов в одной поперечной раме; отклонения расстояния между рельсами от проектного значения.

Контролируемые параметры представляют собой случайные величины, которые следует анализировать статистическими методами. Отклонение расстояния между осями крановых рельсов от проектного значения представлены в форме случайной величины с нормальным законом распределения. Перепады высотных отметок головок крановых рельсов, которые контролируются без учета знака, описываются законом распределения модуля случайной величины. В качестве обобщенной характеристики состояния крановых

путей предложено использовать вероятности выхода горизонтальных и вертикальных отклонений крановых путей за установленные нормами предельно допустимые значения.

По результатам исследований сделаны выводы о необходимости систематического контроля положения путей мостовых кранов геодезическими методами, о применимости указанных выше распределений для вероятностного описания отклонений крановых путей от проектного положения, а также о целесообразности использования вероятности выхода отклонений геометрии крановых путей за установленные нормами допустимые значения.

**Ключевые слова:** пути мостовых кранов, геодезические съемки, отклонения от проектного положения, статистический анализ.

## STATISTICAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF GEODETIC SURVEYS OF OVERHEAD CRANES RAILS IN PRODUCTION BUILDINGS

<sup>1</sup>**Pashynskiy V.A.**, Doctor of Engineering, Professor, pva.kntu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5474-6399

<sup>1</sup>**Tykhyy A.A.**, PhD., Assistant Professor, andriitykhyy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5323-4415

<sup>1</sup>**Pashynskiy M.V.**, PhD., filonalone@gmail.com, ORCID:0000-0002-2669-523X

<sup>1</sup>*Central Ukrainian National Technical University*  
8, Prospekt Universytetskyi, Kropyvnytskyi, 25006, Ukraine

<sup>2</sup>**Pichugin S.F.**, Doctor of Engineering, Professor, pichugin.sf@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8505-2130  
<sup>2</sup>*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*  
24, Pershotravneva Avenue, Poltava, 36011, Ukraine

**Abstract.** The studies were carried out in order to develop effective methodology for the statistical analysis of the results of geodetic surveys of the rails of overhead cranes. The findings will provide generalization of the measurement results, demonstration of their changes over time, as well as comparison with the permissible values of deviations from the design position.

The analysis includes the results of geodetic surveys of the position of the rails of overhead cranes in machine-building shops during four years. The position of the heads of the crane rails was determined using a level, a transit theodolite, and a laser sight. In accordance with the requirements of regulatory documents for the operation of overhead cranes, three parameters of the position of the crane rail heads were controlled: the height difference on adjacent pillars of the same row; height difference on pillars of different rows in one transverse frame; deviation of the distance between the rails from the design value.

The controlled parameters are random variables that should be analyzed by statistical methods. Deviations of the distance between the axes of the crane rails from the design value are presented in the form of a random variable with the normal distribution law. The differences in the elevation marks of the heads of the crane rails, which are monitored without taking into account the sign, are described by the distribution law of the modulus of a random variable. As a generalized characteristic of the state of crane rails, it is proposed to use the probabilities of horizontal and vertical deviations of the crane rails beyond maximum permissible values established by the norms.

Based on the results of the research, conclusions were drawn about the need for systematic control of the position of overhead crane rails by geodetic methods, the applicability of the above distributions for the probabilistic description of deviations of crane rails from the design position, as well as the feasibility of using the probability of deviations of the crane rails geometry beyond the permissible values established by the norms.

**Keywords:** overhead crane rails, geodetic surveys, deviations from the design position, statistical analysis.

Стаття надійшла до редакції 18.09.2020