

УДК 528.43

К.О. Бурак*, О.П.Шпаківський**

*Івано-Франківський національний університет нафти і газу

**ВП"Рівненська АС" НАЕК "Енергоатом"

З ДОСВІДУ ГЕОДЕЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДКРАНОВИХ КОЛІЙ НА РІВНЕНСЬКІЙ АС

© Бурак К.О., Шпаківський О.П., 2012

Приведены результаты экспериментальных исследований в производственных условиях предлагаемых методик геодезического контроля эксплуатационной надежности подкрановых путей грузоподъемного оборудования АС с использованием электронных тахеометров. Результаты подтвердили эффективность методик и достижение требуемой точности.

Were given the results of experimental researches in the working conditions of the suggested methodologies of the geodesic control of the operational reliability of crane rails of cargolifting equipment APS with application adequate accuracy

Постановка проблеми та вирішення її в попередніх дослідженнях. Ефективна та безперервна робота вантажопідіймальних механізмів є невід'ємною складовою забезпечення безпечної та продуктивної експлуатації атомної електростанції. Деформації та зміщення рейок підкранових колій можуть призвести до зупинки і навіть унеможливлення виконання робіт та пошкодження коштовного обладнання. Все це зумовлює те, що геодезичний контроль геометричних параметрів вантажопідіймального обладнання – один із важливих видів діяльності геодезичних служб АС. Загальна довжина підкранових колій, геометричні параметри яких контролюються, досягає, для прикладу, на Рівненській АС, близько 3,5км. Тому підвищення оперативності геодезичного контролю експлуатаційної надійності підкранових колій, шляхом впровадження нових технологій, важливе і актуальне завдання.

Необхідність проведення робіт з інструментальної перевірки геометричних параметрів підкранових колій вантажопідіймальних кранів об'єктів АС регламентується вимогами нормативних документів [3], [4], згідно з якими роботи з інструментальної перевірки геометричних параметрів підкранових колій необхідно виконувати мінімум щорічно. Еволюція вимірювань параметрів підкранових колій на Рівненській АС наочно показує як новітні досягнення впливають на ефективність виконання поставлених задач. Вагомим фактором в процесі полегшення та підвищення оперативності виконання робіт, було впровадження електронних тахеометрів, зокрема SOKKIA SET2130R. Вивчивши всі можливості та параметри цього приладу, виконавши низку досліджень на Державному компараторі в Українському центрі стандартизації та метрології (м. Київ), в лабораторних умовах та на виробництві, була запропонована нова методика вимірювань підкранових колій, обґрунтування та основні положення якої описані в [1, 2]. У цій статті запропоновано деяке її вдосконалення для часткового випадку зйомки і наведено результати польових контролів, за якими визначили її точність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вимогами нормативних документів встановлюються такі допуски у параметрах підкранових колій:

P1 – різниця висот головок рейок в одному поперечному перерізі, допуск – 40мм;

P2 – різниця висот головок рейок на довжині 10 м рейкового шляху, допуск – 30мм;

P3 – звуження (розширення) колії рейкового шляху відносно прогону крана, допуск – 15 мм.

Звернемо увагу, що перевірка їх виконання можлива і в умовній системі координат і висот. Проте втрачається настільки значна частина інформації порівняно з додатковими трудовитратами

на висотну прив'язку до існуючої реперної мережі, що це не дозволяє рекомендувати роботу в умовній системі висот. Зокрема в цьому випадку немає можливості порівняльного аналізу результатів спостережень за осіданням фундаментів і підкранових колій, і, для прикладу, оперативного визначення деформацій колон. Тому висоти підкранових колій в звітних документах слід приводити в системі висот, прийнятій для спостережень за фундаментами і передачу висот повторювати у разі виявлення осідань колон, на консолях яких кріпляться підкранові балки.

Відомо, що на результати вимірів впливає стан атмосфери. При високоточних вимірах віддалей враховується поправка, яка, без врахування впливу парціального тиску водяної пари (якою можна нехтувати в нашому випадку), згідно з керівництвом з експлуатації електронних тахеометрів розраховується за формулою

$$ppm = (282,59 - \frac{0,2942 \times p}{1 + 0,003661 \times t}) \times 10^{-6}; \tag{1}$$

де t – температура повітря (°C); p – тиск (гПа)

Аналіз формули (1) показує, що при нормальному тиску 740 мм рт. ст. і температурі 20°C величина поправки в виміряну довжину 100 м за вплив атмосфери становитиме всього 1,3мм. При зміні температури на 1°C за постійного тиску і за зміни тиску на 3,6 ГПа за постійної температури, атмосферна поправка міняється на 1ppm. З врахуванням того, що допуск на лінійний параметр, який контролюється (ширина колії), становить 15 мм, що вимірюють за плюсових температур, відстані не перевищують 130м, здебільшого можемо користуватись середніми значеннями температури і тиску, а виміри атмосферних параметрів проводити тільки під час виконання вимірів в екстремальних умовах, наприклад, гарячих цехів. Для обґрунтування необхідності цього зручно користуватись табл. 1, в якій наведені визначені нами значення атмосферної поправки для тих інтервалів тиску і температури, які зустрічаються на практиці.

Таблиця 1

Значення атмосферних поправок в ppm

t°C	P, мм рт.с.				
	730	740	750	760	770
	P, ГПа				
	971	984	997	1011	1024
-10	-14	-18	-22	-26	-30
0	-3	-7	-11	-15	-19
10	7	3	-1	-4	-8
20	16	13	9	6	2
30	25	22	18	15	11
40	33	30	27	23	20

Наприклад, мінімальне значення поправки буде в зимову пору за температури -10°C і тиску 770 мм рт.с. -30*10⁻⁶, відповідно, при вимірюванні відстані 100м прилад внесе поправку -3,0 мм. Максимальне значення поправки буде при вимірах в гарячих цехах (t°C=40) і тиску 730 мм рт.ст. і становитиме для тієї ж довжини лінії 3,3мм.

Під час вимірювання в режимах “без відбивача”, лазерний промінь наводиться безпосередньо на рейку, що, з одного боку, дає можливість виконання цієї роботи одним працівником. Але при використанні цього режиму неможливо точно визначити перевищення між точками, оскільки у разі вимірювання без відбивача, не завжди можливо точно навести тахеометром на потрібний пікет (на великих віддальх маркування пікетів просто не видно) і до того ж точність вимірів знижується залежно від кута відбиття променя від рейки.

Тому для усунення цих проблем використовуємо режим вимірювання “на призму”, або “на півку”. Слід зазначити, що за цього методу вимірювання, необхідно тільки встановити потрібну

призму чи плівку та ввести її константи у прилад, за необхідності заміряти температуру повітря та атмосферний тиск і ввести їх у тахеометр, після чого тахеометр автоматично внесе необхідні поправки в усі виміри.

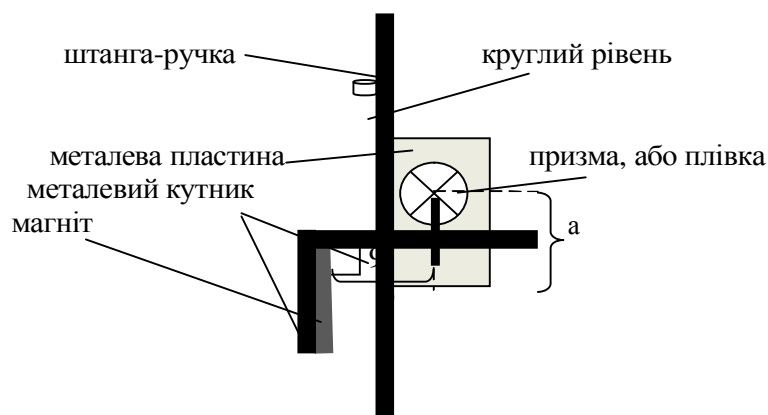


Рис. 1. Пристрій для вимірювання за допомогою тахеометра (Кутник-відбивач)

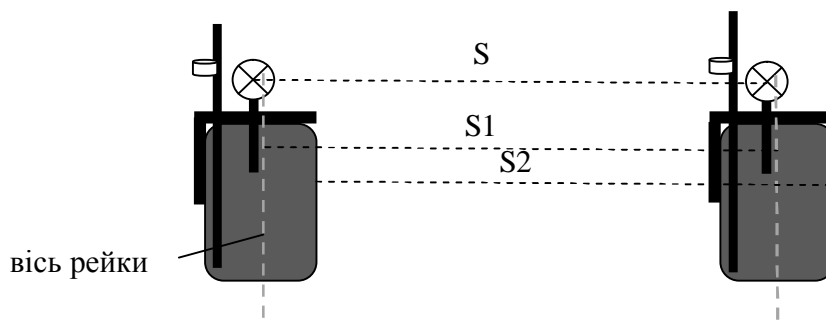


Рис. 2. Схема встановлення відбивачів при вимірах: S – Віддаль між відбивачами;
 $S1$ – віддаль між осями рейок; $S2$ – відстань між краями рейок

Під час проведення вимірів використовують спеціальні пристрої – кутники, для встановлення відбивача. Якщо таких пристроїв два, то для забезпечення потрібної точності вони повинні бути ідентичними у своїх параметрах, а точніше, ідентичними повинні бути висота призми та відстань від внутрішньої сторони пластини до осі призми (відстані “а” та “б” (рис..1)). Це зумовлено тим, що у разі однакових зазначених параметрів відпадає потреба точно визначати положення осі рейки, та полегшується визначення віддалей і відміток.

Кутники-відбивачі встановлюють на рейки, обов’язково так, як показано на рис. 2, тобто на обох рейках – з однієї і тієї ж сторони. Контролюють вертикальність пристрою за круглими рівнями – це необхідно для точного визначення віддалей.

Методику робіт, яку використовуємо, рекомендуємо таку.

На підкранових коліях кранів, як на рейці А, так і Б, розмічають пікетаж навпроти кожної з колон і посередині між ними на підкранових коліях козлових кранів через 5 метрів. Точки маркують на бічних гранях рейок, що дозволяє уникнути їх накатування ходовими колесами кранів і відповідно забезпечує їх довготривале зберігання. Потрібна точність визначення координат досягається [1] у разі використання тахеометра 2” точності при відстанях від ЕТ до точки до 134м, а у разі використання 5” – 53 м.

При зйомці встановлюємо тахеометр в будь-якому доступному місці, зручному для спостережень, звичайно, на площадці обслуговування, біля однієї з рейок колії. Далі в тахеометр вводять дані про станцію, а саме: координати, які умовно приймаються нульовими $X=0$, $Y=0$; висоту

інструменту та висоту станції стояння, яку до виконання робіт з передачі висот можемо прийняти умовною, і висоту відбивача.

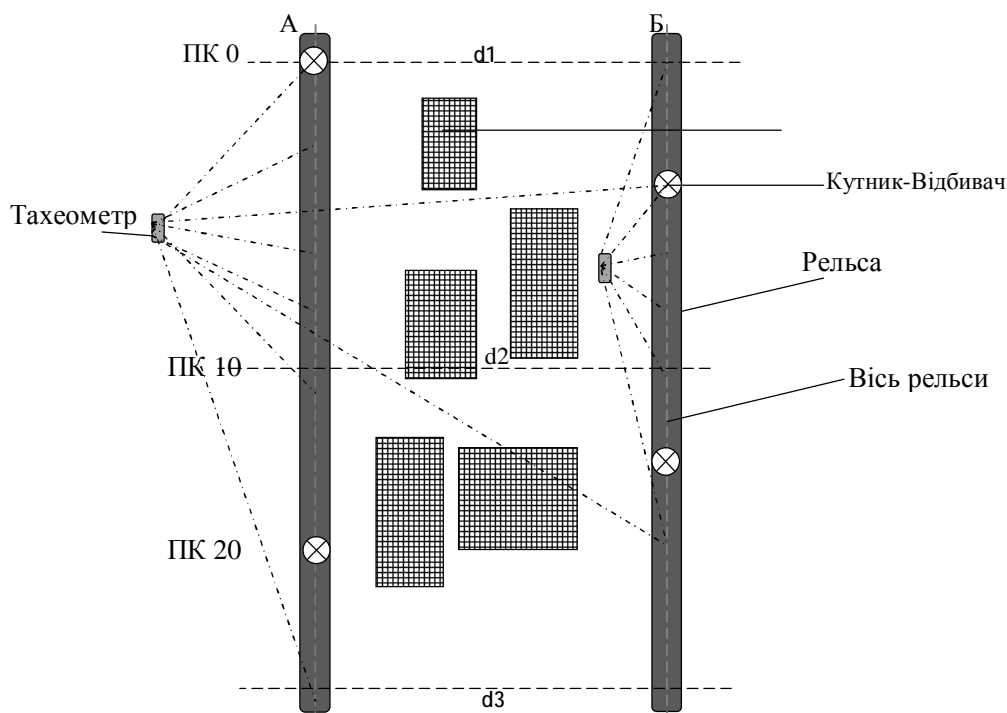


Рис. 3. Схема вимірів планово-висотного положення підкранових колій з двох станцій

Після цього проводимо вимірювання всіх пікетів на рейці А, встановлюючи відбивач так, щоб плівка завжди була обернена до тахеометра. Закінчивши виміри на рейці А, якщо є видимість на пікети, розмічені на рейці Б, то, не знімаючи прилад, переносимо на рейку Б відбивачі і координуємо точки їх встановлення на рейці Б. За знайденими координатами вираховують висоти точок, з розв'язання обернених геодезичних задач ширину колії на всіх перерізах і за цими даними дотримання технологічних допусків Р1, Р2 і Р3.

У випадку, коли неможливо взяти відліки з станції, з якої координували точки рейки А колії, ні на одну з точок на рейці Б, колію розмічують на ділянки, на кінцях яких є можливість безпосередньо заміряти ширину колії і перевищення між точками колій А і Б тахеометром (при використанні 2" тахеометра довжина ділянки не може перевищувати 250 м, при використанні 5" тахеометра довжина ділянки не може перевищувати 120 м). Кожну колію знімають окремо. Встановивши тахеометр поблизу рейки А, звичайно, приблизно посередині ділянки, яку знімають, визначають координати станції з рішення оберненої лінійно-кутової засічки, приймаючи координати точок на початку і в кінці ділянки рейки А відповідно: $X_{ПК0} = Y_{ПК0} = 0$ і $X_{ПКК} = S_A$, $Y_{ПКК} = 0$. Закінчивши визначення координат точок рейки А, переносять тахеометр в точку, з якої є можливість визначити координати точок, замаркованих на рейці Б. Аналогічно визначають координати станції стояння тахеометра з рішення оберненої лінійно-кутової засічки, приймаючи координати точок на початку і в кінці ділянки рейки Б також відповідно: $X_{ПК0} = Y_{ПК0} = 0$ і $X_{ПКК} = S_B$, $Y_{ПКК} = 0$. Далі, для того, щоб визначити висоти точок рейки Б в одній системі з висотами рейки А і ширину колії в точках, що контролюються, на кінцях ділянки в точках ПК0 і ПКК виміряють перевищення між кінцевими точками рейок А і Б і ширину колії безпосереднім заміром за допомогою функції ОНР тахеометра. Використовуючи наведені в [1] рекомендації, вираховують ширину і інші геометричні параметри колії.

В доповнення, до описаних і обґрунтованих в [1] методик, пропонуємо ще одну додаткову. Якщо з однієї станції немає можливості зняти планово-висотне положення всіх точок як на рейці А, так і рейці Б, але є можливість визначити координати ще хоча б двох точок, розмічених на рейці Б, то як і в описаному вище прикладі знімаємо координати точок на рейці А і мінімум ще цих двох точок рейки Б (з першої станції). Далі, залишивши відбивачі в цих двох точках (на рейці Б), тахеометр переносимо на станцію 2, з якої є видимість на всі пікети рейки Б. Визначаємо координати станції стояння з оберненої засічки, використовуючи пікети, на яких залишилися кутники-відбивачі, які ми не знімали після вимірів на першій стації. Ввівши в тахеометр дані про висоту відбивача та зорієнтувавши нулі на один з відомих пікетів, проводимо виміри як і на рейці А по всіх пікетах рейки Б.

В результаті ми отримаємо координати пікетів та їх відмітки в єдиній системі для рейок А та Б. Обробку результатів польових вимірів та визначення геометричних параметрів колій та дотримання технологічних допусків зручно виконувати, використовуючи програмний комплекс CREDO. Для цього за допомогою модуля Wincomms програмного комплексу CREDO переносимо результати польових вимірів з тахеометра в ПК і створюємо при цьому SDR-файл, в якому зберігаються ці дані. Далі заходимо безпосередньо в програмний комплекс CREDO, створюємо новий проект і імпортуємо в нього створений нами SDR-файл, в результаті ми отримуємо таблицю з координатами точок та їх відмітки а також графічну частину, на якій показані всі наші пікети. Далі починаємо обробляти отримані виміри: спочатку попередньо, тобто приводимо результати вимірів і параметрів проекту до єдиного внутрішнього проекту; проводимо пошук грубих помилок вимірів за допомогою L-1 аналізу; виконуємо урівнювання. В результаті цих дій ми отримаємо виправлені (зрівняні) значення координат та відміток нашого проекту. Далі за допомогою вкладки "ОГЗ для двох пунктів" отримаємо значення звуження чи розширення рейок на кожному з прольотів (значення віддалей між вказаними пікетами).

Оскільки при оцінці геометричних параметрів колій планові координати використовуємо для оцінки їх прямолінійності і паралельності, то, насамперед, при розрахунку точності для обґрунтування методики робіт нас цікавить точність визначення відхилень точок колії від базової лінії, яка згідно з дослідженнями, наведеними в [1], повинна характеризуватись СКП $m = \pm 2\text{мм}$. Для розглядуваного нами випадку її можна знайти з виразу:

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2, \quad (2)$$

де m_1 – СКП визначення відхилення від базової лінії першої станції, з якої виконували зйомку рейки А колії; m_2 – СКП визначення з станції 1 ординати точки на рейці Б колії, яку використовують для визначення координат ст. 2, з якої виконують зйомку рейки Б колії; m_3 – СКП визначення відхилення від базової лінії другої станції; m_4 – СКП визначення з станції 2 ординати точок на рейці Б колії.

За даними роботи [2] значення СКП можна прийняти $m_1 = m_3 = 0,5\text{мм}$ і

$$m_2 = m_4 = \sqrt{m_\beta^2 + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S^2}, \quad (3)$$

де m_α , m_β – СКП вимірювання сторін і кутів, відповідно. Звідси, упускаючи елементарні перетворення для S – максимальної відстані до пікета, яку ми можемо допускати при зйомці, щоб забезпечити потрібну точність визначення планового положення $m = \pm 2\text{мм}$, одержимо вираз:

$$S = \frac{\rho}{m_\beta} \sqrt{\frac{(3,5 - 2m_\alpha^2)}{2}} \quad (4)$$

На основі (4), приймаючи $m_\alpha = 1\text{мм}$ для $m_\beta = 2''$ одержимо $S = 85\text{м}$, а для для $m_\beta = 5''$ одержимо $S = 35\text{м}$. Тобто, в розглянутому випадку ми повинні дещо зменшити відстані до пікетів, які допускаються при зйомці.

Для дослідження точності методики було проведено експерименти в виробничих умовах підкранових колій козлових кранів складів обладнання АС. Суть їх полягала в тому, що спочатку визначали геометричні параметри колій за описаною вище методикою і, далі, ці ж параметри визначали, виконуючи геометричне нівелювання колій за методикою нівелювання 2-го класу, з використанням цифрового нівеліра і вимірювання ширини колій безпосереднім заміром електронною рулеткою або електронним тахеометром, з використанням функції визначення неприступної відстані (ВНВ) в тих місцях, де це можливо. Деякі результати наведені у таблицях.

Таблиця 2

Результати контролю точності визначення допуску Р3

Пікетаж, м	Відстань до відбивача, м	Ширина колії, м		δ-Р3, мм	Пікетаж, м	Відстань до відбивача, м	Ширина колії, м		δ-Р3, мм
		ЕТ	ЕР "Disto"				ЕТ	ЕР "Disto"	
0	70	41,976	41,975	1	11	40	42,003	42	3
1	60				12	50	41,996	41,995	1
2	50			0	13	60	41,992	41,991	1
3	40	41,989	41,989	0	14	70	42,017	42,018	-1
4	30	41,998	41,999	-1	15	80	42,018	42,018	0
5	20	42,006	42,006	0	16	90	42,025	42,028	-3
6	10	42,013	42,015	-2	17	100	42,01	42,011	-1
7	2	42,004	42,003	1	18	110	41,995	41,993	2
8	10	41,998	41,994	4	19	120	41,999	41,997	2
9	20	42,002	42,002	0	20	130	41,985	41,987	-2
10	30	41,991	41,991	0					

Таблиця 3

Результати контролю точності визначення допусків Р1 і Р2

Пікетаж, м	Віддаль до відбивача, м	Р2	Істинні похибки, мм Р3 рейка А	Р3 рейка Б	Пікетаж, м	Віддаль до відбивача, м	Р2	Істинні похибки, мм Р3 рейка А	Р3 рейка Б
1	60	0			11	60	-3	1	-2
0	50				12	70	-6	-1	5
1	40	-1	0	-3	13	80	0	2	-1
2	30	-4	-1	2	14	90	-3	-2	1
3	20	-1	0	-1	15	100	0	2	0
4	10	-2	0	0	16	110	-2	-4	0
5	3	-2	-4	1	17	120	2	5	-2
6	10	3	3	-2	18	130	-5	-6	2
7	20	-2	0	0	19	140	3	4	1
8	30	-2	-1	-1	20				
9	40	-2	0	-1					
10	50	-3	-1	-1					

Координати точок колії визначались з двох станцій. Перша станція розміщувалась поблизу рейки А напроти ПК 7, друга також напроти ПК 7, але поблизу колії Б (пикетаж розмічений через 10м.) На першій станції крім всіх точок колії А визначали і координати двох точок рейки Б, напроти ПК 2 і ПК35. Координати другої станції визначали з рішення оберненої лінійно-кутової засічки на ці дві точки. По точці навпроти ПК2 рейки Б виконали орієнтування на станції 2 і далі визначили координати всіх точок рейки Б. За знайденими координатами з рішення обернених геодезичних задач знайшли ширину колії в відповідних січеннях. Результати поміщені в стовпчику 3 табл. 2. Далі для контролю ці ж значення визначали безпосереднім виміром ЕТ за допомогою функції ВНВ. Відстані до відбивача при виконанні цих вимірів не перевищували 100 м. На ПК 1 і 2 визначити ширину колії безпосереднім виміром не було можливості, заважало складоване обладнання. Результати цих вимірів наведені в табл. 1 стовпець 4.

Аналіз результатів показав, що, незважаючи на несприятливу конфігурацію оберненої засічки, різниці між знайденими значеннями ширини колії знаходяться в інтервалі від -3мм до 4мм. Приймаючи ці різниці за значення істинних похибок визначення ширини колії, за формулою Гаусса знайшли, що СКП визначення ширини колії становить $\pm 1,7$ мм, що задовольняє вимоги до точності геодезичного контролю дотримання допуску Р3, обґрунтовані в [1].

У табл. 3 наведені результати перевірки точності геодезичного контролю дотримання допусків Р1 і Р2. Пікети, розмічені на підкранових коліях, також координувались з двох станцій розташованих проти ПК5 біля рейок А і Б. Порівнювались значення допусків Р1 і Р2 знайдені за висотами визначеними ЕТ і геометричним нівелюванням цифровим нівеліром, яке за точністю результатів відповідало вимогам до 2-го класу. Різниці знайдених допусків, наведені в графах 3, 4 і 5 табл. 3, знаходяться в границях від -6 до 3мм для допуску Р2 і від -6 до 5мм для допуску Р3. Відповідно СКП визначення допуску Р2 становила $\pm 2,7$ мм і допуску Р3 – $\pm 2,3$ мм, що також повністю відповідає вимогам до точності обґрунтованих в [1].

Висновки. Результати теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень підтверджують, що застосування як рекомендованої в [1] методики, так і наведеної в цій статті її модифікації дає змогу значно спростити та пришвидшити виконання робіт з геодезичного контролю експлуатаційної надійності підкранових колій, забезпечуючи потрібну точність результатів. Це, своєю чергою, сприяє економії ресурсів та коштів підприємства.

1. Бурак К.О. Використання електронних тахеометрів при геодезичному контролі підкранових колій[Текст] / К. О. Бурак, М. Я. Гринішак, В. П. Михайлишин, О.П. Шпаківський // Вісн. Геодез. та картограф. - 2011. - № 3. - С. 5–7. 2. Бурак К.О. Визначення точності відхилення положення близькостворної точки за допомогою електронного тахеометра[Текст] / К.О.Бурак, В.М. Ковтун, М.Я. Гринішак, В.П. Михайлишин, О.П. Шпаківський // Вісн. Геодез. та картограф. - 2012. - № 2(77). - С. 15–17. 3. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадкой фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций: СО 153-34.21.322-2003 [Затверджено міністерством енергетики Російської федерації від 30 червня 2003р., № 283]. – 54 с. – (Нормативні директивні правові документи). 4. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Державний нормативний акт по охороні праці: ДНАОП № 0,00-1.02.02 [Затверджено ДКУ з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007р., № 132]. - 86 с. - (Нормативні директивні правові документи).