

Наливайко Т. А.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
(ул. Сумская, 40. Харьков. 61002. Украина; e-mail: [nalivaykota@ukr.net](mailto:nalivaykota@ukr.net);  
<https://orcid.org/0000-0001-5805-873X>)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХОДОВЫХ КОЛЕС МОСТОВЫХ ПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ УНИВЕРСАЛЬНЫМ ЛАЗЕРНО-ЗЕРКАЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ

В работе представлена разработка универсального лазерно-зеркального устройства для определения углов перекоса и углов наклона от вертикальной плоскости ходовых колес подъемно-транспортного оборудования. Предложены схема устройства и принцип работы. Произведены исследования точности в различных сложных производственных условиях. Определена среднеквадратичная погрешность измерений. Выполнен математический расчет оценки точности и дана их сравнительная характеристика.

**Ключевые слова:** ходовые колеса, угол перекоса, угол наклона. Лазерно-зеркальное устройство, точность измерений, оценка точности.

**Введение.** Безопасность при выполнении грузоподъемных работ и нормальные условия эксплуатации электрических мостовых кранов, а также долговечность и надежность подкрановых балок в значительной мере зависит от геометрических параметров ходовых колес, концевых балок, углов перекоса моста крана.

Одной из основных проблем для подъемно-транспортных средств являются перекосы ходовых колес, возникающие в процессе их установки и эксплуатации. В основном перекосы влияют на износ реборд ходовых колес и головок рельсов, а также на отклонения от проектного положения.

Для определения параметров геометрии ходовых колес разработано ряд различных геодезических методов [1,2,3], однако изложенное свидетельствует о том, что проблема совершенствования методов и средств контроля подъемно-транспортного оборудования является важной и актуальной для производства.

Основной задачей данной работы является исследования разработанного устройства с целью повышения точности и надежности в различных сложных производственных условиях.

Согласно нормативным документам [4] допустимое значение перекоса ходовых колес не должно превышать: 1) для углов

перекоса ходовых колес в горизонтальной плоскости

$$K_1 = \frac{A_2 - A_1}{D} \leq 0,0006 \quad (1)$$

2) для углов наклона в вертикальной плоскости, составят

$$K_2 = \frac{A}{D} \leq 0,005, \quad (2)$$

что в угловой мере соответственно составят:

$$K_1 = 0,0006 \times \rho' = \pm 2,1' \quad (3)$$

$$K_2 = 0,005 \times \rho' = \pm 17,2', \quad (4)$$

где  $\rho' = 3438'$ , радиан в минутах; D - диаметр ходового колеса крана.

В основе исследований лежат универсальные лазерно-зеркальное устройство, которое состоит из лазерного прибора – 1 (рис. 1), установленного на нивелире в компенсаторе 2Н10КЛ – 3, и рейки-экрана – 2 с нанесенной на ней горизонтальной  $\delta$  и вертикальной h осями координат (Рис.2). Прибор устанавливается на специальном столике 6, соединенным через телескопическую трубу 8 с кронштейном 10.

Принцип работы следующий: кронштейн (рис.2) с устройством крепится к рельсу тележки по пролетной балке 12 (рис.3). На ось ходового колеса надевают стойку с зеркалами (рис.4).

При наведении лазерного луча на зеркала, отраженный луч на экране покажет величину отсчета  $\delta$  и h (рис. 2). Угол перекоса ходового колеса  $\phi$  будет определен по формуле [2]:

$$\phi = \frac{\delta \times \rho^1}{2L} \quad (5)$$

где  $\delta$  - отсчет измеренного расстояния по горизонтальной оси  $\delta$ ,  $L$  - расстояние от зеркала до экрана универсального устройства.

Угол наклона ходового колеса от вертикальной плоскости  $\psi$  будет определен по формуле [2]:

$$\psi = \frac{h \times \rho^1}{2L} \quad (6)$$

где  $h$  - отсчет измеренного расстояния по вертикальной оси  $h$ .

Так как значения отсчетов  $\delta$  и  $h$  на экране при одних и тех же углах  $\phi$  и  $\psi$  пропорциональны расстоянию  $L$ , то с увеличением  $L$  - точность и надежность определенных углов  $\phi$  и  $\psi$  возрастают.

**Результаты исследований.** Рассмотрим детально зависимость данной точности от расстояний  $L$  в различных сложных производственных условиях. Для этого были установлены следующие исследовательские условия: лазерное устройство устанавливали поочередно на разных расстояниях ( $L=5,7,10,14$  метров) от зеркального отражателя (Рис.4) при ширине колеи пролета 20 метров, в сильно загазованной и нормальной среде.

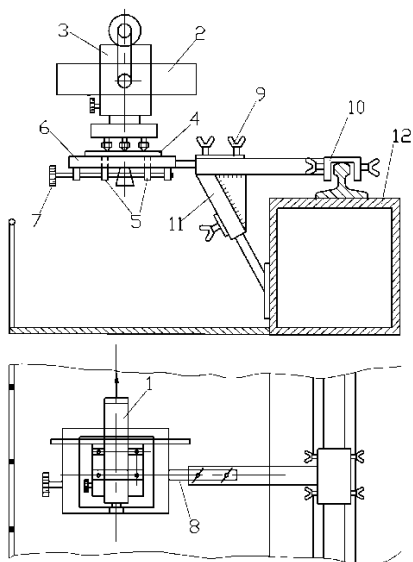


Рис. 1. Общий вид универсального лазерно-зеркального устройства

1 - лазерный генератор; 2 - экран; 3 - нивелир 2Н-10КЛ; 4 - столик штатива; 5 - нижняя площадка; 6 - верхняя площадка; 7 - микрометрический винт столика; 8 - телескопическая трубка кронштейна; 10 - кронштейн; 11 - боковое крепление; 12 - пролетная балка

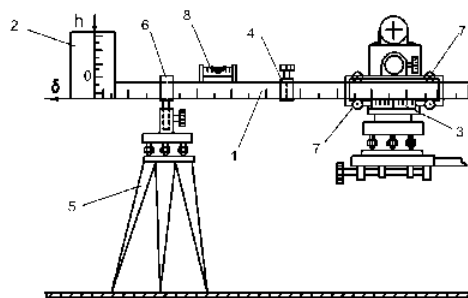


Рис. 2. Конструкция экрана с раздвижной рейкой

1 - раздвижная рейка; 2 - экран; 3 - нониус; 4 - соединительная муфта; 5 - поддерживающий штатив; 6 - опорное полукольцо; 7 - ролики для перемещения штанги; 8 - цилиндрический уровень

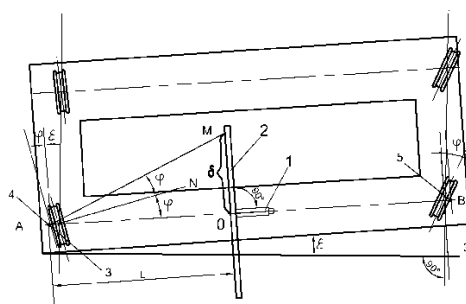


Рис. 3. Общая схема определения углов  $\phi$  и  $\psi$   
1 - источник светового излучения; 2 - экран; 3 - ходовое колесо; 4 - муфта со стойкой и зеркалом; 5 - муфта со стойкой и экраном

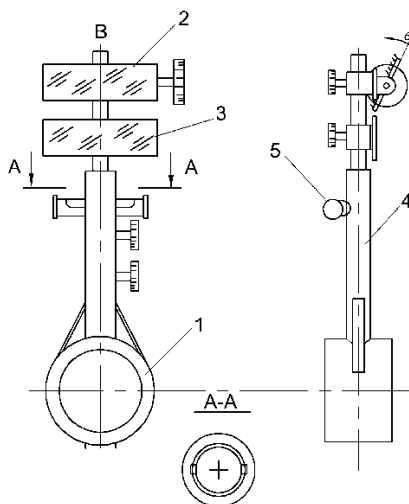


Рис. 4. Общий вид муфты со стойкой и зеркалами

1 - муфта; 2 - зеркало с двумя степенями свободы; 3 - зеркало с одной степенью свободы; 4 - стойка; 5 - цилиндрический уровень

Для определения точности угла перекоса  $\phi$  были получены следующие результаты в сильно загазованной среде во время

интенсивного производственного процесса:

1.  $L_1 = 5 \text{ м}, \delta_1 = 36,1 \text{ мм}, \varphi_1 = 12,41'$ .
2.  $L_2 = 7 \text{ м}, \delta_2 = 50,2 \text{ мм}, \varphi_2 = 12,34'$ .
3.  $L_3 = 10 \text{ м}, \delta_3 = 71,4 \text{ мм}, \varphi_3 = 12,27'$ .
4.  $L_4 = 12 \text{ м}, \delta_4 = 85,0 \text{ мм}, \varphi_4 = 12,18'$ .
5.  $L_5 = 14 \text{ м}, \delta_5 = 98,61 \text{ мм}, \varphi_5 = 12,10'$ .

Для сравнения точностных характеристик и определения истинного значения  $\varphi$  предварительно угол перекоса ходового колеса был измерен простым лазерно-зеркальным способом [1], где тщательно и неоднократно были проведены измерения  $L$  и  $\delta$ . Истинная величина угла перекоса составила  $\varphi_{ист} = \frac{\sum \varphi_i}{n} = 12,0'$ .

Сравнивая результаты экспериментальные с истинным значением  $\varphi_{ист} = 2,0'$ , следует вывод, что с увеличением расстояния  $L$  на каждые 2÷3 метра угол перекоса меняется в среднем на  $0,1' \div 0,3'$ . Причем с уменьшением  $L$  угол  $\varphi_i$  отклоняется от  $\varphi_{ист}$  на  $0,4'$  при увеличении  $L$ ,  $\varphi_i$  приближается к  $\varphi_{ист}$ .

Аналогичные эксперименты были выполнены в незагазованной среде, получены следующие результаты:

- для  $L_1 = 5 \text{ м}; \delta_1 = 36,1 \text{ мм}; \varphi_1 = 12,41'$ ;  
 $L_2 = 7 \text{ м}; \delta_2 = 50,1 \text{ мм}; \varphi_2 = 12,30'$ ;  
 $L_3 = 10 \text{ м}; \delta_3 = 71,4 \text{ мм}; \varphi_3 = 12,27'$ ;  
 $L_4 = 12 \text{ м}; \delta_4 = 84,8 \text{ мм}; \varphi_4 = 12,15'$ ;  
 $L_5 = 14 \text{ м}; \delta_5 = 98,2 \text{ мм}; \varphi_5 = 12,06'$ .

При сравнении этих двух экспериментальных исследований видно, что результаты почти одинаковы, то есть загазованность среды не влияет на измерения.

Для более объективного значения углов  $\varphi$  был выполнен третий эксперимент, созданы условия среды с большим перепадом температуры, который регулировался путем открывания окон в цехе, принимая во внимание то, что температура внешней среды в зимнее время составила минус  $18^\circ\text{C}$ .

При открытых окнах температура резко уменьшается в помещении от  $+16^\circ\text{C}$  до  $-2^\circ\text{C}$ .

Результаты получены следующие:

- $L_1 = 5 \text{ м}; \delta_1 = 67,8 \text{ мм}; \varphi_1 = 23,34'$ ;  
 $L_2 = 7 \text{ м}; \delta_2 = 100,9 \text{ мм}; \varphi_2 = 24,79'$ ;  
 $L_3 = 10 \text{ м}; \delta_3 = 133,3 \text{ мм}; \varphi_3 = 22,92'$ ;  
 $L_4 = 12 \text{ м}; \delta_4 = 144,1 \text{ мм}; \varphi_4 = 20,64'$ ;  
 $L_5 = 14 \text{ м}; \delta_5 = 161,5 \text{ мм}; \varphi_5 = 19,83'$ .

При сравнении полученных результатов с предыдущими видно, что измерения при перепадах температур выполнять невозможно, так как результаты превышают истинные значения почти вдвое.

Результаты определения углов наклона от вертикальной плоскости  $\psi_i$ , сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты определения углов наклона от вертикальной плоскости  $\psi_i$

$L_i$ (м)	Сильнозагазованная среда		Нормальная среда		Резкий перепад температур	
	$h_i$ (мм)	$\psi_i$ (мин)	$h_i$	$\psi_i$	$h_i$	$\psi_i$
5	76,5	+26,3'	75,6	+26,0'	166,9	+57,4'
7	105,5	+25,9'	103,8	+25,5'	220,7	+54,2'
10	145,4	+25,0'	143,7	+24,7'	290,3	+49,9'
12	170,3	+24,4'	167,5	+24,0'	279,9	+40,1'
14	193,0	+23,7'	189,8	+23,3'	355,1	+43,6'
	$\psi_{ист} = +23,5'$		$\psi_{ист} = +23,5'$		$\psi_{ист} = +23,5'$	

Из таблицы видно, что значения  $\psi_i$  в нормальной и сильнозагазованной среде почти не отличаются и совсем другие значения в среде с резким перепадом температур: углы  $\psi$ , увеличенные почти в два раза.

**Оценка точности.** Для определения точности измерения углов  $\varphi$  и  $\psi$  продифференцируем функции (5) и (6) по  $\delta$ ,  $L$  и  $h$  и, при переходе к квадратичным погрешностям, получим:

$$m_\varphi = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \delta}\right)^2 \times m_\delta^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial L}\right)^2 \times m_L^2} = \varphi \sqrt{\left(\frac{m_\delta}{\delta}\right)^2 + \left(\frac{m_L}{L}\right)^2} - 2 \frac{m_\delta}{\delta} \times \frac{m_L}{L} \quad (7)$$

$$\text{или окончательно } m_\varphi = \frac{\rho^1 \times m_\delta}{2L}; \quad (8)$$

аналогично для углов наклона  $\psi$ :

$$m_\psi = \frac{\rho^1 \times m_h}{2L}. \quad (9)$$

Точность измерения угла  $\varphi$  можно определить следующим путем:

Например, при  $m_\delta = 2 \text{ мм}$   $L = 10 \text{ м}$   $m_\varphi = 0,34'$ ;

при том же значении  $m_\delta$  и  $L = 15 \text{ м}$   $m_\varphi = 0,23'$ .

Расчеты показывают, что путем увеличения расстояния  $L$  от зеркального отражателя до шкалы прибора можно повысить точность измерения углов  $\varphi$  и  $\psi$ , что доказывают производственные эксперименты.

**Выводы:**

- 1) Предложенное универсальное лазерно-зеркальное устройство позволяет определить углы перекося и наклона ходовых колес мостовых подъемных кранов с необходимой точностью.
- 2) Исследования показали, что точность измерения углов  $\varphi$  и  $\psi$  возрастают с увеличением расстояния  $L$ .
- 3) Результаты исследований углов  $\varphi$  и  $\psi$ , показали, что при двух условиях: сильно загазованной и нормальной среде, величины углов почти не изменяются.
- 4) Исследование точности измерения углов  $\varphi$  и  $\psi$ , выполненных в среде с резкой переменной температурных величин, отклоняются от истинных значений почти вдвое, что недопустимо согласно нормативным документам.
- 5) Применение универсального лазерно-зеркального устройства показывает, что средняя квадратическая погрешность угла  $\varphi$  не превосходит  $1,15'$ , а средняя квадратическая погрешность угла наклона колеса –  $19,1'$ .

Высокая точность значения угла  $\varphi$ , получаемая с помощью предложенного устройства, объясняется также и тем, что на погрешность  $m_\varphi$  не оказывает влияния погрешность измерения углов переноса моста крана, поскольку влияние этих факторов здесь автоматически исключается

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Кузьмин В. И., Наливайко Т. А. Определение перекося моста у ходовых колес подъемного крана лазерно-зеркальным устройством при произвольном направлении луча. – Геод. Картография и аэрофотосъемка, 1991, №52, с.18.
2. Наливайко Т. А. Совершенствование геодезических методов изысканий при рихтовке ходовых колес подъемных мостовых кранов. – Науковий вісник будівництва №4 (78). ХНУБА. 2014.
3. ГОСТ 27564-88. Краны мостовые и козловые электрические. Общетехнические условия. 01.01.1995 -20 с.
4. Кузьмин В. И., Наливайко Т. А. Универсальное лазерно-зеркальное устройство для контроля углов перекося и отклонения от вертикальной плоскости ходовых колес

подъемно-транспортных средств. – Промышленное строительство и инженерные сооружения. 1991, №4, с.11.

5. Наливайко Т. А. Прибор с лазерным лучом для съемки подкрановых путей мостовых кранов. – Инженерная геодезия, 1989, №31, с. 57-60.
6. Лукьянов В. Ф. Расчет точности инженерно-геодезических работ. М. Недра, 1981. 285 с.
7. Кемниц Ю. В. Теория ошибок измерения. – М. Недра, 1986. 175 с.
8. Ганьшин В. Н., Репаков И. М. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей. – М., Недра, 1972. 108 с.

**Наливайко Т. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХОДОВИХ КОЛІС МОСТОВИХ ПІДЙОМНИХ КРАНІВ УНІВЕРСАЛЬНИМ ЛАЗЕРНО-ДЗЕРКАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ.** У роботі представлена розробка універсального лазерно-дзеркального пристрою для визначення кутів перекося і кутів нахилу від вертикальної площини ходових коліс підйомно-транспортного устаткування. Запропоновані схема пристрою і принцип роботи. Зроблені дослідження точності в різних складних виробничих умовах. Визначена середньоквадратична погрішність вимірів. Виконаний математичний розрахунок оцінки точності і дана їх порівняльна характеристика.

**Ключові слова:** ходові колеса, кут перекося, кут нахилу. Лазерно-дзеркальний пристрій, точність вимірів, оцінка точності.

**Nalyvayko T. A. THE STUDY OF THE ACCURACY OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE TRAVELING WHEELS OF BRIDGE CRANES BY A UNIVERSAL LASER-MIRROR DEVICE.** Development of universal laser-mirror device is in-process presented for determination of corners of defect and angles of slope from the vertical plane of working wheels of a lifting-transport equipment. The chart of device and principle of work offer. Researches of exactness are produced in different difficult productive terms. The middle error of measuring is certain. The mathematical calculation of estimation of exactness and is executed their comparative description.

**Keywords:** wheels, corner of defect, angle of slope. Laser-mirror device, exactness of measuring, estimation of exactness.