

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Наливайко Т.А.<sup>1</sup>, Наливайко Т.Т.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

**Аннотация.** В работе представлена теоретическая разработка способа определения деформаций ходовых колес мостовых и козловых кранов, как в производственном процессе, так и при изготовлении и монтаже кранового оборудования. Выполнен математический расчет и дана средняя квадратическая погрешность измерений углов перекоса ходовых колес крана.

**Ключевые слова:** подъемно-транспортное оборудование, углы перекоса ходовых колес, точность измерений, средняя квадратическая погрешность, оценка точности.

### Введение

Большое значение для нормальной и безопасной работы промышленных предприятий имеет подъемно-транспортное оборудование, обеспечивающее механизацию операций транспортировки различных крупных и тяжелых грузов.

Серьезную проблему для бесперебойной эксплуатации подъемно-транспортных средств представляет деформация геометрических параметров конструкций кранового оборудования.

### Анализ публикаций

В настоящее время разработан ряд различных геодезических методов [1–3], однако изложенное свидетельствует о том, что проблема совершенствования средств контроля

мостовых и козловых кранов остается важной и актуальной для производства, так как в данных разработках методика определения углов перекоса  $\varphi$  ходовых колес (рис. 1) базировалась в основном на линейных измерениях величины  $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4$  от опорных базисов  $FE$  и  $MN$ , стационарно установленных и закрепленных на участках проходной галереи пролетов или цехов.

### Цель и постановка задачи

Основной задачей данной работы является исследование и анализ теоретических разработок для совершенствования и повышения точности и надежности измерений.

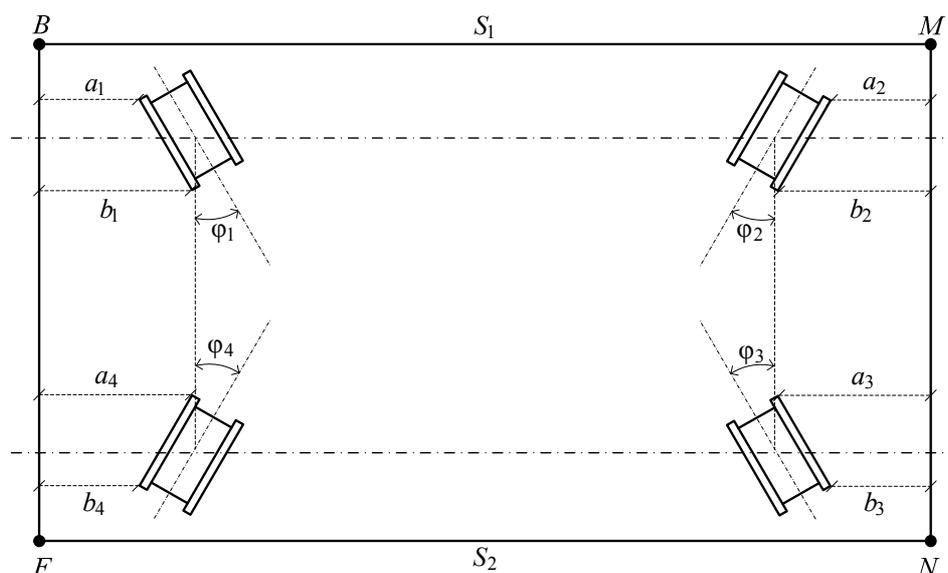


Рис. 1. Схема определения углов перекоса ходовых колес методом линейных измерений от опорных базисов

Достоинства мостовых и козловых кранов перед другими видами промышленных средств:

а) возможность одновременного и независимого перемещения моста и тележки, что позволяет одним или двумя кранами обслуживать весь пролет в цехе;

б) освобождение полезной площади цеха;

в) обеспечение перемещения груза в любом направлении.

К недостаткам мостовых кранов можно отнести:

а) необходимость сооружения и содержания дорогостоящих подкрановых балок, путей;

б) увеличение высоты здания и, следовательно, удорожание всего сооружения;

в) передача вибраций и нагрузок при работе мостовых кранов на колонны, фундаменты и здание;

г) дополнительные ежегодные эксплуатационные затраты на обслуживание и ремонт кранов и подкрановых путей;

д) затрудненность постоянного надзора за техническим состоянием кранов и работой их механизмов.

К техническим дефектам крана относятся [7]:

1. Перенос ходовых колес в горизонтальной и вертикальной плоскостях и значительная разница диаметров противоположных ведущих колес.

2. Уменьшение или увеличение расстояния между рельсами подкранового пути по сравнению с проектным размером пролета моста.

3. Перекос концевых балок моста при его изготовлении или в процессе эксплуатации.

### Результаты исследований

Необходимо отметить, что, согласно [5, 6] допустимые отклонения ходовых колес мостовых подъемных кранов не должны превышать  $K_1 \leq \pm 2,1$  и  $K_2 \leq \pm 17,2$  соответственно для углов перекоса и углов наклона от вертикальной плоскости. Таким образом, величины  $K_1$  и  $K_2$  можно оценить как очень жесткую норму, значительно повышающую требования к точности геодезических измерений.

Совершенно ясно, что при современном уровне производства и технологической оснащенности ни один завод-изготовитель подъемно-транспортного оборудования не в состоянии обеспечить столь высокую точность измерений при установке ходовых ко-

лес. Таким образом, допуски  $K_1$  и  $K_2$  в ближайшие годы могут играть роль чисто теоретического нормативного характера, что не может быть реализовано на практике.

Пусть ортогонально к плоскости «зеркало 1» направлен световой луч 2 (рис. 2). Если зеркало повернуть на угол  $\varphi$ , то отраженный от него луч повернется на угол  $2\varphi$ . Поставим на пути отраженного луча, на расстоянии  $L$  от зеркала, шкалу 3, плоскость которой перпендикулярна подающему лучу 2, тогда угол поворота зеркала  $\varphi$  будет равен

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{l}{L}, \quad (1)$$

где  $l$  – отсчет на шкале 3 по световому пятну отраженного луча.

Представим, что угол  $\varphi$  – очень маленький по своей величине, например  $\varphi = 30''$ . Для обнаружения и измерения угла  $\varphi$  отсчет  $l$  по шкале 3 должен быть достаточно большим, чтобы его можно было легко визуально обнаружить. Пусть минимальный отсчет, который легко и надежно обнаруживается визуально, равен  $l = 5$  мм. Тогда для того, чтобы  $l \geq 5$  мм, расстояние  $L$  должно быть не менее

$$L = \frac{l \cdot \rho'}{2 \cdot \varphi} = \frac{5 \cdot 3438'}{2 \cdot 0,5} = 17190 \text{ мм,}$$

где  $\rho' = 3438'$  (радиан в минутах).

Таким образом, увеличивая расстояние от зеркала до шкалы 3, можно повышать точность и надежность измерения углов поворота  $\varphi$ . Расстояние  $L$  играет определенную роль для повышения точности измерения углов  $\varphi$ . Важно подчеркнуть, что в описанном методе измерения углов поворота зеркала этот угол удваивается, а затем фиксируется в виде отсчета на шкале 3. Это также свидетельствует о повышении точности измерения угла  $\varphi$ . Если рассматривать  $\varphi$  как угловую погрешность установки ходовых колес в правильном положении, то при удвоении угла  $\varphi$  даже малое значение этой погрешности может быть обнаружено, измерено и устранено. В конечном итоге, чтобы получить значение  $\varphi$ , необходимо путем вычислений трансформировать отсчет  $l$  в угловую величину.

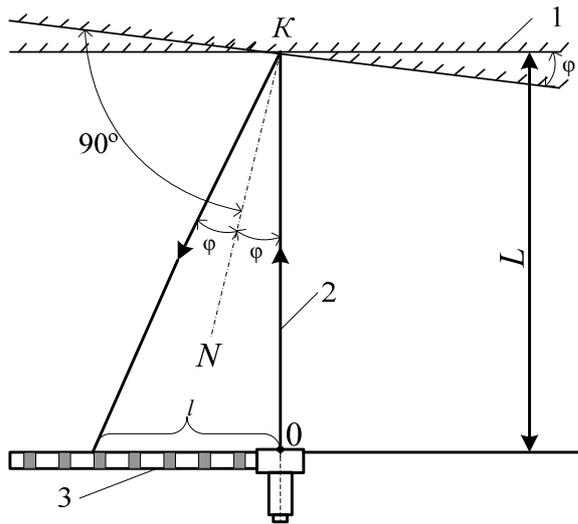


Рис. 2. Схема метода измерения угла  $\varphi$

Следовательно, изложенный метод представляет косвенное измерение углов, при котором измеренный угол удваивается и фиксируется на шкале в виде линейного отсчета  $l$ , а затем вновь обращается в угловую величину с помощью простой вычислительной операции.

В теоретической основе метода лежат два известных закона геометрической оптики:

- 1) угол падения равен углу отражения;
- 2) нормаль  $N$  (рис. 1) к поверхности отражения лежит в одной плоскости с падающим и отраженным лучем.

#### Оценка точности

Поскольку при установке и контроле положения ходовых колес мостовых и козловых грузоподъемных кранов углы перекоса  $\varphi$  (рис. 1) не превосходят  $1^\circ$ – $2^\circ$ , формулу (1) можно представить в виде

$$\varphi = \frac{l \cdot \rho'}{2L}. \quad (2)$$

Если перейти к средним квадратическим погрешностям измерения угла  $\varphi$ , то получим

$$m_\varphi = \varphi \sqrt{\left(\frac{m_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{m_L}{L}\right)^2 - 2\frac{m_l \cdot m_L}{l \cdot L}} \quad (3)$$

или 
$$m_\varphi = \varphi \sqrt{\mu_L^2 + \mu_l^2 - 2\mu_l \cdot \mu_L}. \quad (4)$$

Из (4) видно, что погрешность измерения угла  $\varphi$  зависит от величины самого угла  $\varphi$  и

точности измерения линейных величин  $l$  и  $L$ . Поскольку  $\mu_L$  во много раз меньше  $\mu_l$ , формулу (4) можно записать в виде

$$m_\varphi = \mu_l \cdot \varphi. \quad (5)$$

Из (5) следует, что точность измерения угла  $\varphi$  в основном определяется точностью отсчета  $l$  по шкале 3.

Погрешность измерения угла перекоса ходового колеса можно также выразить согласно [6] формулой

$$m_\varphi = \frac{\rho' \cdot m_l}{2L}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что при одном и том же значении  $m_l$  погрешность  $m_\varphi$  уменьшается с увеличением длины  $L$ .

#### Выводы

Среди рассмотренных достоинств метода следует указать, что метод обеспечивает возможность непрерывного визуального наблюдения за изменением угла  $\varphi$ .

Точность измерений таким методом с помощью визуального лазерного луча и зеркала может увеличиваться с увеличением расстояния  $L$ .

Такая методика может применяться не только при определении степени деформаций в производственном процессе, но и при изготовлении кранового оборудования.

Средняя квадратическая погрешность измерения полностью удовлетворяет условия допусков нормативных документов [5].

#### Литература

1. Григоренко А. Г. Технический контроль при эксплуатации подкрановых сооружений / А. Г. Григоренко, И. А. Сисин, В. Н. Сердюков. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
2. А.с. 1237612 А1. Устройство крепления буксы к раме крана / Челябинский металлургический комбинат; авт. изобретение. Р.Н. Яхтин, заявл. 06.11.84, № 3809562/27-11; опубл., в Б.Н., 1980, № 22.
3. А.с. 1527131 А1. Способ установки ходовых колес рельсовых грузоподъемных кранов / МВТУ им. Н.Э. Баумана; авт. изобретение Н.А. Лобов, А.В. Пивко, А.В. Мясгин. заявл., 23.01.88, № 4235846/31-11; опубл., в Б.Н., 1989, № 45.
4. Кузьмин В.И. Геодезический контроль углов переноса ходовых колес мостовых подъемных кранов / В.И. Кузьмин, Т.А. Наливайко // Ин-

- женерная геодезия. – 1990. – Вып. № 33. – С. 52–57.
5. ГОСТ 27564-88. Краны мостовые и козловые электрические. Общетехнические условия 01.01.1995, 20 с.
  6. Наливайко Т.А. Исследования точности геометрических параметров ходовых колес мостовых подъемных кранов универсальных лазерно-зеркальных устройств / Т.А. Наливайко // Науковий вісник будівництва. – 2018. – Вип. №4 (98).
  7. Гайдамака Б.Ф. Грузоподъемные машины / Б.Ф. Гайдамака: учебник. – К.: Вища школа, Главное изд-во, 1989. – 328 с.
  8. Лукьянов В.Ф. Расчет точности инженерно-геодезических работ / В.Ф. Лукьянов. – М.: Недра, 1981. – 285 с.

#### References

1. Grigorenko A. G. Tehnicheskij kontrol pri ekspluatatsii podkranovyih sooru-zheniy / A. G. Grigorenko, I. A. Sisin, V. N. Serdyukov. – М.: Metallurgiya, 1977. – 272 s.
2. A.S. 1237612 A1. Ustroystvo krepleniya buksyi k rame krana / Chelyabinskiy metal-lurgicheskij kombinat; avt. izobretenie. R.N. Yahtin, - zavavl. 06.11.84, # 3809562/27-11; opublik., v B.N., 1980, # 22.
3. A.S. 1527131 A1.Sposob ustanovki hodovyih koles relsovyih gruzopod'emnyih kranov / MVTU im. N.E. Bauman; avt. izobretenie N.A. Lobov, A.V. Pivko, A.V. Masyagin. - zavavl., 23.01.88, # 4235846/31-11; opublik., v B.N., 1989, # 45.
4. Kuzmin V.I. Geodezicheskij kontrol ug-lov perenosa hodovyih koles mostovyih pod'emnyih kranov / V.I. Kuzmin, T.A. Nalivayko. – Inzhenernaya geodeziya, 1990, Vyip. # 33, S. 52-57.
5. GOST 27564-88. Kranyi mostovyye i kozlovyye elektricheskie. Obschetehnicheskije usloviya 01.01.1995, 20 s.
6. Nalivayko T.A. Issledovaniya tochnosti geometricheskij parametrov hodovyih koles mostovyih pod'emnyih kranov universalnyih lazerno-zerkalnyih ustroystv / T.A. Nalivayko. – Naukoviy visnik budivnitstva, Vip. #4 (98), HNUBA, 2018r.
7. Gaydamaka B.F. Gruzopod'emnyie mashiny / B.F. Gaydamaka: uchebnyk.-K.: Vischa shkola, Glavnoe izd-vo, 1989. – 328 s.
8. Lukyanov V.F. Raschet tochnosti inzhenerno-geodezicheskij rabot / V.F. Lukyanov. M. Nedra, 1981, 285 s.

**Nalivayko Taras Antonovich**, candidate of technical sciences,

**Nalivayko Tatyana Tatyana**, assistant, Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkov, ul. Sumy, 40, 61002 (380) 993022178, [nalivajkota@ukr.net](mailto:nalivajkota@ukr.net)

**Geodetic bases for improvement of geodetic control of lifting and transport equipment**

***Abstract.** The theoretical work on the method of determining the deformation of the running wheels of bridge and gantry cranes is presented. The measurement procedure can be performed, both in production and in the manufacture, installation of crane equipment at manufacturers' plants. The existing methods of geodetic measurements, based mainly on linear measurements (lateral leveling), are considered, when determining the angles of inclination of running wheels of bridge and gantry electric cranes, as well as the angles of skew of the end beams. It was concluded that in the existing methods of measuring the angles of the inclination of the running wheels and the angles of the inclination of the end beams, the accuracy of the determination of these parameters does not always satisfy the permissible values, according to normative documents. The disadvantages of installations include the fact that they are poorly or almost not adapted to the specific production conditions in which measurements have to be made and do not provide continuous visual inspection when installing or correcting the running wheels and end beams. Fundamentally new measurement technologies are proposed and developed, providing with the required accuracy continuous visual inspection of structural deformations of lifting and transport equipment. The main point of the proposed theoretical development is that the directed laser beam on the mirror plane is mapped when the mirror plane rotates by the value of the double angle. Using the set scale on the source of radiation, you can determine the count for the global reflection of the beam, and also measure the distance from the scale to the plane of the mirror, determine the required angle of rotation of the mirror. It has been determined that such technology can completely resemble determining the angles of inclination of running wheels and end beams of lifting and transport equipment. The mathematical calculation and the mean square error of measurement of the angles of inclination of the running wheels of the crane have been fulfilled. The proposed estimation of accuracy meets the conditions of the tolerances of limit errors completely according to the existing norms. The conclusions are drawn and it is determined that the main advantages of the developed theoretical proposals are the high accuracy of measurements, as well as the possibility of continuous visual observation of the changes.*

**Key words:** lifting and transport equipment, angle of inclination of running wheels, accuracy of measurements, average square error, accuracy estimation.

**Наливайко Тарас Антонович**, кандидат технічних наук,

**Наливайко Тетяна Тарасівна**, асистент, Харківський національний університет будівництва і архітектури, г. Харків, вул. Сумська, 40, 61002 (380) 993 022 178, [nalivajkota@ukr.net](mailto:nalivajkota@ukr.net)

### Геодезичні основи при вдосконаленні геодезичного контролю підйомно-транспортного обладнання

**Анотація.** В роботі представлено теоретичну розробку способу визначення деформації ходових коліс мостових і козлових підймальних кранів. Методика вимірювань може виконуватись як у виробництві, так і у процесі виготовлення, монтажу підйально-кранового устаткування на заводах-виробниках. Розглянуто існуючі методи геодезичних вимірювань, які базуються в основному на лінійних вимірюваннях (бокове нівелювання), при визначенні кутів перекосу ходових коліс мостових і козлових електричних підймальних кранів, а також кутів перекосу кінцевих балок. Було зроблено висновки, що в існуючих методах вимірювання кутів перекосу ходових коліс і кутів перекосу кінцевих балок точність визначення даних параметрів не завжди задовольняє допустимим значенням, відповідно нормативних документів. До недоліків устаткування можна також віднести і те, що вони погано або майже не пристосовані до конкретних виробничих умов, в яких доводиться виконувати вимірювання, і не забезпечують безперервного візуального контролю при установках або виправленні ходових коліс і кінцевих балок. Запропоновано і розроблено принципово нові технології вимірювань, які забезпечують із необхідною точністю

безперервний візуальний контроль деформацій конструкцій підйально-транспортного устаткування. Основна суть запропонованої теоретичної розробки полягає в тому, що спрямований лазерний промінь на площину дзеркала відображається при повороті площини дзеркала на величину подвійного кута. За допомогою встановленої шкали на джерелі випромінювання можна визначити відлік за світловим відображенням променя, а також, замірявши відстань від шкали до площини дзеркала, визначають необхідний кут повороту дзеркала. Визначено, що така розробка може повністю бути придатною при визначенні кутів перекосу ходових коліс і кінцевих балок підйально-транспортного устаткування. Виконано математичний розрахунок і дано середню квадратичну похибку вимірювань кутів перекосу ходових коліс крана. Запропонована оцінка точності повністю задовольняє умови допусків граничних похибок, відповідно до існуючих норм. Зроблено висновки і визначено, що основними перевагами розроблених теоретичних пропозицій є висока точність вимірювань, а також забезпечення можливості безперервного візуального спостереження за змінами.

**Ключові слова:** підйомно-транспортне устаткування, кути перекосу ходових коліс, точність вимірювань, середня квадратична похибка, оцінка точності.

---