

В.Г.ПОТЮХЛЯЕВ, канд. техн. наук, доцент, kaf-ig@spmi.ru

Г.И.ХУДЯКОВ, д-р техн. наук, профессор, khudgi@mail.ru

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.G.POTJUCHLIAEV, PhD in eng. sc., associate professor, kaf-ig@spmi.ru

G.I.KHUDIAKOV, Dr. in eng. sc., professor, khudgi@mail.ru

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

РЕКОМЕНДАЦИИ О СОДЕРЖАНИИ И ПЕРИОДИЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЦЕХОВЫХ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ ЭЛЕКТРОМОСТОВЫХ КРАНОВ

Приводятся результаты натурных наблюдений за состоянием рельсов подкрановых путей в период их эксплуатации. Установлено, что при геодезическом контроле цехового кранового оборудования особое внимание следует уделять мостовым кранам и положению подкрановых рельсов в плане.

Ключевые слова: подкрановые рельсы, мостовой кран, геодезический контроль.

RECOMMENDATIONS ON THE CONTENT AND PERIODICITY OF GEODETIC CONTROL OF THE CRANE TRACKS ELECTRIC BRIDGE CRANE

Presents the results of full-scale observation of the state of rail crane tracks in the period of their operation. It is established, that at a geodetic control of a craft of the crane equipment, special attention should be paid to the bridge cranes and the status of crane rails in the plan.

Key words: crane rails, overhead crane, geodetic control.

Режим эксплуатации мостового крана, получившего наибольшее распространение среди грузоподъемных цеховых механизмов, во многом зависит от геометрического положения его ходовых колес и подкранового пути.

Во время эксплуатации мостовых кранов необходимо, чтобы траектория их движения приближалась к проектному направлению оси подкранового пути. Несоблюдение этого требования может привести к появлению горизонтальных поперечных сил, способствующих преждевременному износу механизмов передвижения крана и интенсивному разрушению подкрановых конструкций.

Неправильное движение мостовых кранов обусловлено, главным образом, следующими геометрическими причинами:

1) горизонтальным перекосом ходовых колес крана;

2) несоответствием ширины пролета моста крана расстоянию между осями рельсов (ширине колеи) подкранового пути;

3) непрямолинейностью рельсовых осей;

4) продольными и поперечными уклонами рельсов.

Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [4] регламентированы предельные допустимые отклонения геометрических параметров подкрановых рельсов, мм:

Отклонение между осями подкрановых рельсов 15

Отклонение рельсов от прямой линии на участке 40 м 20

Разность отметок головок подкрановых рельсов в одном поперечном сечении:

на опорах 20

в пролетах 25

Разность отметок головок подкрановых рельсов на соседних колоннах при расстоянии между колоннами:

до 10 м 15

более 10 м 20

Статистические вероятности появления недопустимых отклонений в планово-высотном положении подкрановых рельсов

Допуск	Число измерений		Статистические вероятности появления недопустимых отклонений, %	
	Кировский завод	Завод «Красный Выборжец»	Кировский завод	Завод «Красный Выборжец»
Разность отметок подкрановых рельсов в одном поперечном сечении	126	99	4,8	6,3
Разность отметок подкрановых рельсов на соседних колоннах	236	250	3,4	6,0
Отклонение в расстоянии между осями подкрановых рельсов	128	99	7,0	10,1
Отклонение рельса от прямой линии на участке 40 м	38	36	13,2	19,4

Для проведения мониторинга за состоянием подкрановых путей в период их эксплуатации указанные геометрические параметры можно разделить на две группы: первая группа относится к плановому, а вторая – к высотному положению подкрановых рельсов.

С другой стороны, следует выделить два фактора, оказывающих влияние на изменение геометрического положения подкрановых рельсов в период их эксплуатации. Первый фактор (назовем его внутренним) – это влияние мостового крана, а второй (внешний) – влияние изменения температуры наружного воздуха, неравномерной осадки фундаментов колонн каркаса здания и т.д.

Результаты оценки влияния внутреннего фактора приведены в статье [3], где на основе вероятностно-статистического анализа результатов планово-высотной съемки подкрановых путей сделаны следующие выводы.

1. Статистические вероятности появления недопустимых отклонений рельсов в плане оказались несколько выше, чем по высоте (табл.1).

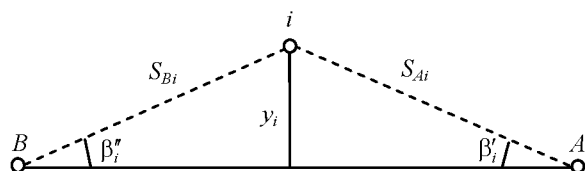


Рис.1. Схема определения нестворности рельсовых осей способом измерения малых углов по программе биполярных координат

2. Выделяя две группы параметров, определяющих положение рельсов вдоль пути и в поперечниках, и сопоставляя статистические вероятности появления недопустимых отклонений в этих группах, установили, что вероятность сверхнормативного смещения рельсов в плане от воздействия кранов составляет на каждом предприятии 53 %.

Для оценки влияния внешнего фактора воспользуемся результатами производственных испытаний устройства для контроля неплоскостности [1]. Испытания проводились в пролете промышленного здания, построенного за один год до начала работ. В связи с задержкой поставки оборудования мостовые краны, установленные в этом пролете, не использовались, что исключает возможность смещения подкрановых рельсов под влиянием внутреннего фактора.

При испытаниях выполнено шесть серий планово-высотной съемки рельсов подкранового пути длиной 66 м. В двух сериях (серии 1 и 6) использовались обычные геодезические приборы – теодолит и нивелир, а в четырех сериях (серии 2-5) – экспериментальный образец УКН. Первая серия съемки проводилась в ноябре при положительной температуре наружного воздуха, а все остальные серии – в январе. Перепад температуры между первой и остальными сериями съемки составил около 20 °С.

В сериях 1 и 6 нестворности рельсовых осей определялись по программе биполярных координат [2] в прямом и обратном направлениях (рис.1).

Нестворности рельсовых осей относительно направления AB , определяемые из прямого и обратного хода, вычислялись соответственно по формулам:

$$y'_i = S_{Ai} \sin \beta'_i; \quad (1)$$

$$y''_i = S_{Bi} \sin \beta''_i, \quad (2)$$

где $S_{Ai} (S_{Bi})$ – расстояния от контролируемой точки до теодолита в прямом (обратном) ходе; $\beta'_i (\beta''_i)$ – малый горизонтальный угол, измеренный теодолитом Т-2.

Окончательное значение нестворности определялось по формуле

$$y_i = \frac{y'_i P'_i + y''_i P''_i}{P'_i + P''_i}, \quad (3)$$

где $P'_i = 10/S_{Ai}$ ($P''_i = 10/S_{Bi}$) – вес нестворности, измеренной из прямого (обратного) хода.

Расстояния между осями подкрановых рельсов определялись способом параллельных створов (рис.2) по формуле

$$L_i = y_{i,C} + y_{i,Ю} + L_0. \quad (4)$$

Для оценки точности определения расстояний между осями подкрановых рельсов будем считать, что эти расстояния определены с одинаковой точностью (принятое условие подтверждается тем, что нестворности рельсовых осей, которые входят слагаемыми в выражение (4), вычислялись по формуле весового среднего) и подчинены нормальному закону распределения.

Результаты определения ширины колеи подкранового пути приведены в табл.2.

Таблица 2

Расстояния между осями подкрановых рельсов, мм

Поперечники подкранового пути	Серия 1	Серия 6
9 _С – 9 _Ю	22000,2 ± 0,9	21997,6 ± 0,9
8 _С – 8 _Ю	21999,0 ± 0,9	21996,9 ± 0,9
7 _С – 7 _Ю	21991,4 ± 0,9	21990,1 ± 0,9
6 _С – 6 _Ю	21989,3 ± 0,9	21986,5 ± 0,9
5 _С – 5 _Ю	21988,2 ± 0,9	21985,5 ± 0,9
4 _С – 4 _Ю	21981,1 ± 0,9	21979,2 ± 0,9
3 _С – 3 _Ю	21989,2 ± 0,9	21986,8 ± 0,9
2 _С – 2 _Ю	21990,4 ± 0,9	21987,3 ± 0,9
1 _С – 1 _Ю	21992,3 ± 0,9	21990,0 ± 0,9

Используя разности двойных измерений (см. табл.2), получим

$$\bar{\delta} = [d_i]/n = + 2,4 \text{ мм}; \quad (5)$$

$$m_{i(j)} = \sqrt{\frac{[(d_i - \bar{\delta})^2]}{2(n-1)}} = 0,4 \text{ мм}, \quad (6)$$

где $\bar{\delta}$ – средняя величина остаточной систематической погрешности; $m_{i(j)}$ – случайная средняя квадратическая погрешность одного измерения.

Для определения доверительного интервала погрешности $m_{i(j)}$ воспользуемся специальными таблицами [5], из которых с вероятностью 0,99 и $k = n - 1 = 8$ имеем $z_H = 0,60$ и $z_B = 2,44$. Отсюда получим $0,2 \text{ мм} \leq m_{i(j)} \leq 0,9 \text{ мм}$.

Как видно из табл. 2, расстояния между осями подкрановых рельсов, полученные в соответствующих поперечниках пути, не перекрываются доверительным интервалом. Таким образом, можно выдвинуть гипотезу о влиянии изменения температуры наружного воздуха на геометрическое положение подкранового пути.

Для подтверждения этой гипотезы сравним между собой средние значения из результатов измерений двух выборок, которые составляют: для серии 1 – $\bar{x}_i = 21991,23 \text{ мм}$; для серии 6 – $\bar{x}_j = 21988,88 \text{ мм}$. Проверим различия в оценках \bar{x}_i и \bar{x}_j из-за влияния того или иного фактора производственных условий с помощью статистического критерия [6]:

$$t = \frac{\delta \bar{x}_{i,j}}{\sqrt{(n_i - 1)m_i^2 + (n_j - 1)m_j^2}} \sqrt{\frac{n_i n_j (n_i + n_j - 2)}{n_i + n_j}}. \quad (7)$$

При $\delta \bar{x}_{i,j} = \bar{x}_i - \bar{x}_j = + 2,35 \text{ мм}$, $n_i = n_j = 9$, $m_i = m_j = 0,9 \text{ мм}$ по формуле (7) получим $t = 5,54$. Сравним вычисленное значение t с табличным значением t_P , которое для принятых вероятностей 0,95 и 0,99 составит соответственно $t_{0,95} = 2,12$ и $t_{0,99} = 2,92$. Поскольку $|t| > t_P$, то между результатами измерений по двум выборкам имеется существенное различие.

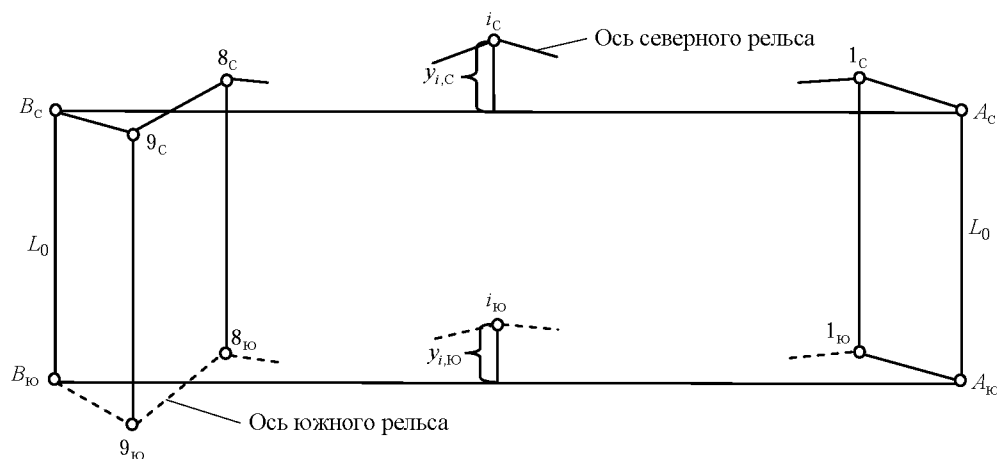


Рис.2. Схема плановой съемки подкрановых рельсов

Таблица 3

Превышения головок северного и южного рельсов на соседних колоннах, мм

Колонны	Северный рельс		Южный рельс	
	Серия 1	Серия 6	Серия 1	Серия 6
B_c				
9	$-5,4 \pm 1,4$	$-5,2 \pm 1,4$	$+6,2 \pm 1,6$	$+6,3 \pm 1,6$
8	$+7,6 \pm 1,4$	$+7,9 \pm 1,4$	$+6,6 \pm 1,6$	$+5,6 \pm 1,6$
7	$-10,8 \pm 1,4$	$-12,2 \pm 1,4$	$+1,0 \pm 1,6$	$+1,7 \pm 1,6$
6	$+13,4 \pm 1,4$	$+12,7 \pm 1,4$	$+8,8 \pm 1,6$	$+8,0 \pm 1,6$
5	$-5,8 \pm 1,4$	$-4,6 \pm 1,4$	$-6,5 \pm 1,6$	$-5,4 \pm 1,6$
4	$-4,4 \pm 1,4$	$-5,0 \pm 1,4$	$+3,4 \pm 1,6$	$+1,7 \pm 1,6$
3	$0,0 \pm 1,4$	$-0,2 \pm 1,4$	$-7,8 \pm 1,6$	$-7,2 \pm 1,6$
2	$-0,7 \pm 1,4$	$-0,3 \pm 1,4$	$+14,6 \pm 1,6$	$+14,0 \pm 1,6$
1	$-0,8 \pm 1,4$	$-0,3 \pm 1,4$	$-11,8 \pm 1,6$	$-12,2 \pm 1,6$

В сериях съемки 1 и 6 превышения головок рельсов измерялись с помощью нивелира Н-2 и штриховой рейки. Выверка цилиндрического уровня нивелира производилась в помещении цеха с таким условием, чтобы наклон визирной оси нивелира не превышал 4". Штриховая рейка устанавливалась в тех же контрольных точках, на которых определялась нестворность рельсовых осей. Наблюдения выполнялись по способу совмещения с двух станций, расположенных вблизи точек A_c и $B_{ю}$ (см. рис.2).

Превышения головок рельсов вдоль пути вычислялись как среднее арифметическое из превышений, измеренных с каждой станции:

$$L_{i-1,i} = \frac{(b'_{i-1} - b'_i) + (b''_{i-1} - b''_i)}{2}, \quad (8)$$

а в поперечниках пути – по формуле весового среднего

$$h_{L,i} = \frac{h'_{L,i} P'_{h,i} + h''_{L,i} P''_{h,i}}{P'_{h,i} + P''_{h,i}}, \quad (9)$$

где b – отсчеты по рейке;
 $h'_{L,i} = b'_{i,Ю} - b'_{i,С}$ ($h''_{L,i} = b''_{i,Ю} - b''_{i,С}$) – превышение в i -м поперечнике пути, измеренное со станции $B_{Ю}(A_C)$; $P'_{h,i}$ ($P''_{h,i}$) – вес превышения, измеренного со станции $B_{Ю}(A_C)$.

Веса превышений вычислялись по формулам:

$$P'_{h,i} = 10/\Delta'_i; \quad (10)$$

$$P''_{h,i} = 10/\Delta''_i, \quad (11)$$

где Δ'_i (Δ''_i) – неравенство плеч для превышений, измеренных со станции $B_{Ю}(A_C)$.

Оценка точности превышений головок рельсов вдоль пути и в его поперечниках выполнена аналогично оценке точности определения расстояний между осями подкрановых рельсов. Результаты определения превышений головок рельсов вдоль пути и в его поперечниках, а также оценка статистического критерия t приведены в табл.3-5.

Таблица 4

Превышения головок рельсов в поперечниках подкранового пути, мм

Поперечники подкранового пути	Серия 1	Серия 6
9 _С – 9 _Ю	+0,8 ± 1,1	–0,3 ± 1,1
8 _С – 8 _Ю	–0,2 ± 1,1	–2,6 ± 1,1
7 _С – 7 _Ю	+11,6 ± 1,1	+11,4 ± 1,1
6 _С – 6 _Ю	+7,1 ± 1,1	+6,5 ± 1,1
5 _С – 5 _Ю	+6,5 ± 1,1	+5,8 ± 1,1
4 _С – 4 _Ю	+14,6 ± 1,1	+12,7 ± 1,1
3 _С – 3 _Ю	+6,7 ± 1,1	+5,6 ± 1,1
2 _С – 2 _Ю	+21,6 ± 1,1	+20,0 ± 1,1
1 _С – 1 _Ю	+10,9 ± 1,1	+9,4 ± 1,1

Как видно из табл.3-5, все значения соответствующих превышений перекрываются доверительным интервалом, а условие $|t| > t_P$ практически не выполняется. Отсюда следует, что влияние внешнего фактора на положение подкрановых рельсов по высоте не обнаружено.

Выводы

1. Во время эксплуатации подкрановых путей смещение рельсов в плане может быть вызвано влиянием как внутреннего, так и внешнего факторов.

2. Смещение рельсов по высоте происходит в значительно меньшей степени, чем в плане. Поэтому контроль геометрического положения подкрановых путей в плане целесообразно проводить чаще, чем по высоте (например, соответственно два и один раз в год).

3. Если по результатам плановой съемки обнаружены изменения геометрических параметров подкрановых рельсов, выходящие за пределы допусков, то следует произвести выверку мостовых кранов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 734502 СССР. (51) М. Кл.² G 01 В 11/24. Устройство для контроля неплоскостности / Н.А.Гусев, В.Г.Потюхляев. Оpubл. 1980. Бюл. № 18.
2. Донских И.Е. Створный метод измерения смещений сооружений. М.: Недра, 1974. 192 с.
3. Потюхляев В.Г. Об организации геодезического обслуживания цехового кранового оборудования / В.Г.Потюхляев, М.В.Шальгин // Маркшейдерское дело и геодезия / Ленинградский горный институт. Л., 1987. С.47-51.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. М.: Металлургия, 1973. 192 с.

Таблица 5

Оценка статистического критерия t

Превышения, мм	\bar{x}_i , мм	\bar{x}_j , мм	$\delta\bar{x}_{i,j}$, мм	m_i , мм	m_j , мм	$ t $	$t_{P,0,95}$	$t_{P,0,99}$
На соседних колоннах:								
северного рельса	–0,8	–0,9	+0,1	1,4	1,6	0,14	2,12	2,92
южного рельса	+1,6	+1,4	+0,2	1,4	1,6	0,28	2,12	2,92
В поперечниках	+8,8	+7,6	+1,2	1,1	1,1	2,31	2,12	2,92

5. Румицкий Л.З. Элементы теории вероятностей. М.: Наука, 1976. 240 с.

6. Сытник В.С. Строительная геодезия. М.: Недра, 1974. 136 с.

REFERENCES

1. A.s. 734502 USSR. (51) M. Kl.² G 01 B 11/24. Device for control of non flatness / N.A.Gusev, V.G.Potjuchliaev. From 1980. Bull. № 18.

2. Donsich I.E. Rang method of measuring the displacement of structures. Moscow: Nedra, 1974. 192 p.

3. Potjuchliaev V.G., Shalygin M.V. On the organization of the geodesic maintenance shop of the crane equipment // Mine surveying and geodesy / Leningrad Mining Institute. Leningrad, 1987. P.47-51.

4. Rules of arrangement and safe operation of load-lifting cranes. Moscow: Metallurgy, 1973. 193 p.

5. Rumshitsiy L.Z. Elements of the theory of probability. Moscow: Nauka, 1976. 240 p.

6. Sytnik V.S. Construction geodesy. Moscow: Nedra, 1974. 136 p.