

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 опорах20

в пролетах.....25

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

до 10 м.....15

более 10 м.....20

Таблица 1

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 расположении 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).

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 неплоскости [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 °C.

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

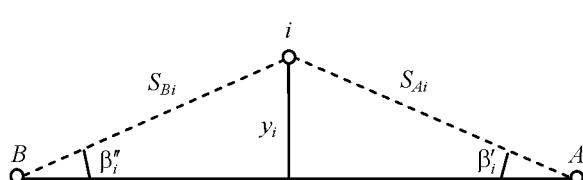


Рис.1. Схема определения нестворности рельсовых осей способом измерения малых углов по программе биполярных координат

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; β'_i (β''_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

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

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 в 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 _C – 9 _{IO}	22000,2 ± 0,9	21997,6 ± 0,9
8 _C – 8 _{IO}	21999,0 ± 0,9	21996,9 ± 0,9
7 _C – 7 _{IO}	21991,4 ± 0,9	21990,1 ± 0,9
6 _C – 6 _{IO}	21989,3 ± 0,9	21986,5 ± 0,9
5 _C – 5 _{IO}	21988,2 ± 0,9	21985,5 ± 0,9
4 _C – 4 _{IO}	21981,1 ± 0,9	21979,2 ± 0,9
3 _C – 3 _{IO}	21989,2 ± 0,9	21986,8 ± 0,9
2 _C – 2 _{IO}	21990,4 ± 0,9	21987,3 ± 0,9
1 _C – 1 _{IO}	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.

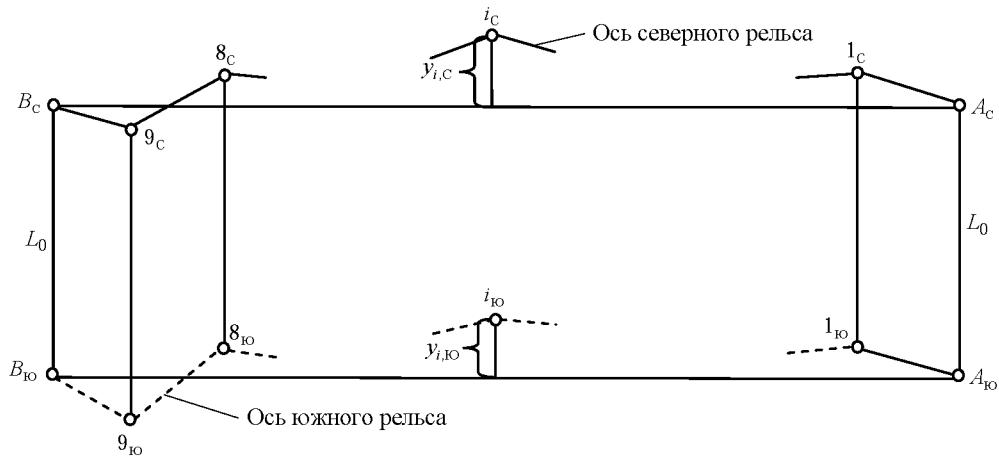


Рис.2. Схема плановой съемки подкрановых рельсов

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
<i>B_C</i>	$-5,4 \pm 1,4$	$-5,2 \pm 1,4$	$+6,2 \pm 1,6$	$+6,3 \pm 1,6$
9	$+7,6 \pm 1,4$	$+7,9 \pm 1,4$	$+6,6 \pm 1,6$	$+5,6 \pm 1,6$
8	$-10,8 \pm 1,4$	$-12,2 \pm 1,4$	$+1,0 \pm 1,6$	$+1,7 \pm 1,6$
7	$+13,4 \pm 1,4$	$+12,7 \pm 1,4$	$+8,8 \pm 1,6$	$+8,0 \pm 1,6$
6	$-5,8 \pm 1,4$	$-4,6 \pm 1,4$	$-6,5 \pm 1,6$	$-5,4 \pm 1,6$
5	$-4,4 \pm 1,4$	$-5,0 \pm 1,4$	$+3,4 \pm 1,6$	$+1,7 \pm 1,6$
4	$0,0 \pm 1,4$	$-0,2 \pm 1,4$	$-7,8 \pm 1,6$	$-7,2 \pm 1,6$
3	$-0,7 \pm 1,4$	$-0,3 \pm 1,4$	$+14,6 \pm 1,6$	$+14,0 \pm 1,6$
2	$-0,8 \pm 1,4$	$-0,3 \pm 1,4$	$-11,8 \pm 1,6$	$-12,2 \pm 1,6$
1				

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_{10} (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; $h'_{L,i} = b'_{i,\text{IO}} - b'_{i,\text{C}}$ ($h''_{L,i} = b''_{i,\text{IO}} - b''_{i,\text{C}}$) – превышение в i -м поперечнике пути, измеренное со станции $B_{\text{IO}}(A_{\text{C}})$; $P'_{h,i}(P''_{h,i})$ – вес превышения, измеренного со станции $B_{\text{IO}}(A_{\text{C}})$.

Веса превышений вычислялись по формулам:

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

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

где $\Delta l'_i(\Delta l''_i)$ – неравенство плеч для превышений, измеренных со станции $B_{\text{IO}}(A_{\text{C}})$.

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 перекрывают 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 Г 01 В 11/24. Устройство для контроля неглоскостности / Н.А.Гусев, В.Г.Потюхлев. Опубл. 1980. Бюл. № 18.

2. Донских И.Е. Створный метод измерения смещений сооружений. М.: Недра, 1974. 192 с.

3. Потюхлев В.Г. Об организации геодезического обслуживания цехового кранового оборудования / В.Г.Потюхлев, М.В.Шалыгин // Маркспейдерское 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. Румшицкий 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. K1.2 G 01 B 11/24. Device for control of non flatness / N.A.Gusev, V.G.Potjuchliaev. From 1980. Bull. № 18.
2. Donscich 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. Rumshisciy L.Z. Elements of the theory of probability. Moscow: Nauka, 1976. 240 p.
6. Sytnik V.S. Construction geodesy. Moscow: Nedra, 1974. 136 p.