

Н. Е. ГРУЗИН, А. Е. ФЕДОРИЩЕВ,
В. К. МИСКОВЕЦ, В. Ц. КАРПИНСКИЙ

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СЪЕМКИ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ

Особенность геодезических работ при выверке путей мостовых электрических кранов заключается в том, что они проводятся на определенной высоте в неблагоприятных условиях: плохая видимость, ограниченность рабочего места и времени и т. д. Основная цель съемки — установить отклонения от проектного положения подкрановых путей в плане и по высоте, а также в расстоянии между осями рельсов в каждом пролете.

Обычно отклонения в плане находят из створных наблюдений, а по высоте из геометрического нивелирования головки рельса. При этом точность получаемых результатов зависит от ряда факторов, в том числе и от внешних условий. В закрытом помещении на уровне подкранового пути воздух представляет собой прозрачную, оптически неоднородную среду, в которой коэффициент преломления (n) непрерывно изменяется от точки к точке:

$$n = f(x, y, z). \quad (1)$$

Известно, что между показателем преломления и плотностью среды существует функциональная зависимость

$$n = 1 + cP, \quad (2)$$

где P — плотность воздуха относительно его нормальной плотности; c — коэффициент, равный для лучей белого цвета 0,000293.

А плотность воздуха в любой точке есть функция ряда аргументов

$$P = f(B, T, e),$$

где B — давление, T — абсолютная температура, e — влажность среды.

Влажность среды в надрельсовом пространстве можно принять постоянной (для данного цеха) величиной, ввиду незначительного влияния влажности на траекторию светового луча. На искривление светового луча в вертикальной плоскости в основном влияют вертикальные градиенты температуры и давления (последнее в наших расчетах не учтено, так как оно не превышает 1% от установленных погрешностей). Искривление светового луча в горизонтальной плоскости будет происходить преимущественно за счет горизонтальных градиентов температуры, влиянием давления можно пренебречь. На результаты створных наблюдений и геометрического нивелирования будут влиять соответственно боковая и вертикальная рефракции.

Чтобы выявить наличие рефракционных полей на уровне подкрановых путей, проведены экспериментальные исследования, заключающиеся в изучении температуры в надрельсовом пространстве.

В двух цехах двухпролетного здания (рис. 1, а) против каждой колонны на уровне подкрановых путей психрометрами Асмана с точностью $0,1^{\circ}\text{C}$ измерялась температура одновременно в девяти точках (рис. 1, б), положения которых фиксировались деревянным шаблоном. Подкрановый путь представляет собой рельс (тип КР), уложенный на металлических балках. Отметка верха головки рельса относительно пола $+6,2\text{ м}$. Ширина пролета 19 м. Вдоль рядов колонн цеха установлено однотипное оборудование. Оба цеха выпускают одинаковую продукцию.

При определении прямолинейности рельса линия визирования или совмещалась с его осью, или проходила параллельно ей на расстоянии 1—1,5 м, а высота визирного луча над головкой рельса при вертикальной съемке в среднем не превышала 1,5 м.

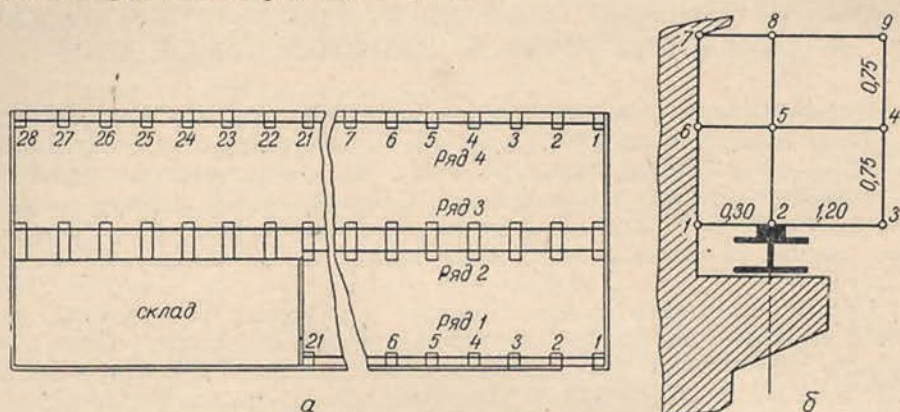


Рис. 1. Схема двухпролетного здания:

а — план здания; б — схема расположения точек, в которых измерялась температура.

Первая серия наблюдений выполнена по всем четырем рельсам при температуре наружного воздуха -4°C . Было произведено 1500 измерений температуры. Общий характер температурного поля в горизонтальной плоскости на высоте 1,5 м относительно рельса по результатам первой серии наблюдений показан на рис. 2, а (первый ряд колонн 1—21).

Общий характер температурного поля в надрельсовой вертикальной плоскости по той же первой серии наблюдений показан на рис. 3, а. Аналогично, для второй серии наблюдений характер температурного поля в горизонтальной и вертикальной плоскостях показан соответственно на рис. 2, б и 3, б.

В результате обработки полученных данных* и проведенного анализа установлено:

1. Температура надрельсового пространства по всем рядам повышается от начала цеха к концу. Самая низкая температура ($+4^{\circ}\text{C}$) наблюдалась по первому ряду на колоннах 1 и 2, расположенных около двери, а по остальным рядам она несколько выше, однако тенденция изменения ее вдоль пути остается той же. Общий перепад температур по длине пути 120 м (ряд 1 и 2) составляет 6°C , а на участке 150 м (ряд 3 и 4) $5,5^{\circ}\text{C}$. Кроме того, перепад температуры в пролете на колоннах 1 между рядом 1—2 составляет $4,5^{\circ}\text{C}$, а в пролетах (2—3) и (3—4) не превышает $0,4^{\circ}\text{C}$. Такое изменение температуры объясняется тем, что во время наблюдений очень часто открывали дверь и холодные потоки воздуха интенсивно поступали в цех.

2. Температурное поле у каждой колонны непостоянно и изменяется в плане от колонны (К) к рельсу (Р) и от рельса по пролету (П), а по

* Из-за обширности материала результаты измерений не приводятся.

вертикали от рельса вверх, то есть между горизонтами (0—0,75), и (0,75—1,50).

Для более детальной характеристики этих полей вычислены температурные разности на горизонтах 0,75 и 1,50 в интервалах ($K-P$) и ($P-II$) в плане по четырем рядам и на уровне (0,0—0,75) и (0,75—1,50) по вертикали для первого ряда.

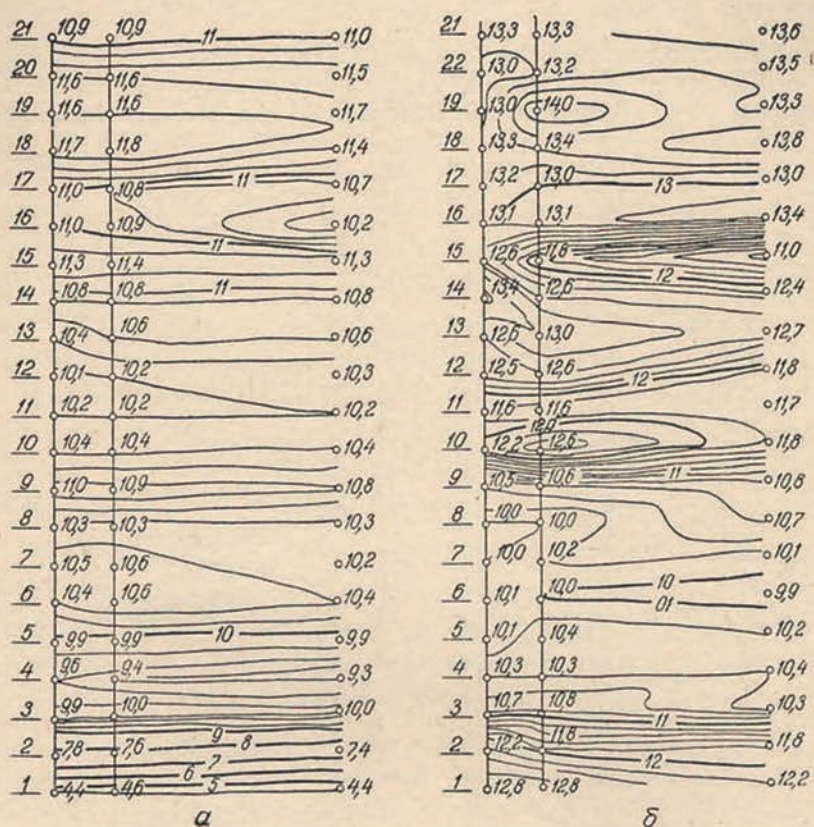


Рис. 2. Изотермы в горизонтальной плоскости на уровне визирного луча: а — при открытой двери; б — при закрытой двери. Масштабы: вертикальный 1 : 600; горизонтальный 1 : 20.

Анализ этих данных показывает, что на исследуемых горизонтах изменение температуры носит случайный характер. Результаты проведенных температурных съемок позволяют вычислить погрешности измерений, обусловленные действием горизонтальной и вертикальной рефракции (см. рис. 3, а). Однако в интервале ($K-P$) по рядам 1—2 в большей мере преобладают отрицательные разности, а по рядам 3—4 — положительные. Это объясняется тем, что на температуру надрельсового пространства 1 и 2 рядов в большей мере влияют потоки холодного воздуха, поступающего через оконные проемы. Следует также отметить, что по всем рядам большие по величине разности преобладают в начале (колонны 1—7) и в конце (16—28) пути. Максимальные положительные разности температуры (Δt_{\max}) составляют $+0,8^{\circ}\text{C}$ (колонны 4) и отрицательные $\Delta t_{\min} = -0,7^{\circ}\text{C}$ (колонны 2, 3), что соответствует температурным градиентам $\left(\frac{dt}{dh}\right) + 2,7$ град/м и $- 2,3$ град/м.

В интервалах ($P-II$) наблюдается обратная картина. При этом $\Delta t_{\max} = +0,8^{\circ}\text{C}$ (колонна 2), $\Delta t_{\min} = -0,7^{\circ}\text{C}$ (колонна 16) и темпера-

турные градиенты соответственно $+0,7$ град/м и $-0,6$ град/м. Изменение температуры по вертикали происходит от рельса вверх. Так в плоскости колонн в интервале $(0,0-0,75)$ $\Delta t_{\max}=2,6^{\circ}\text{C}$ (колонна 2), $\Delta t_{\min}=-0,5^{\circ}\text{C}$, что вызывает температурные градиенты $-3,5$ град/м и $-0,4$ град/м, а в интервале $(0,75-1,5)$. $|\Delta t_{\max}|=|\Delta t_{\min}|=|0,5^{\circ}\text{C}|$ и $\left|\frac{dt}{dh}\right|=$
 $=\left|0,4\frac{\text{град}}{\text{м}}\right|$.

В плоскости рельса в интервале $(0,0-0,75)$ $\Delta t_{\max}=+2^{\circ}\text{C}$ (колонна 2) и $\Delta t_{\min}=-1^{\circ}\text{C}$ (колонна 1), а вертикальные градиенты будут $+2,7$ град/м и $-1,3$ град/м, и в интервале $(0,75-1,50)$ температурные

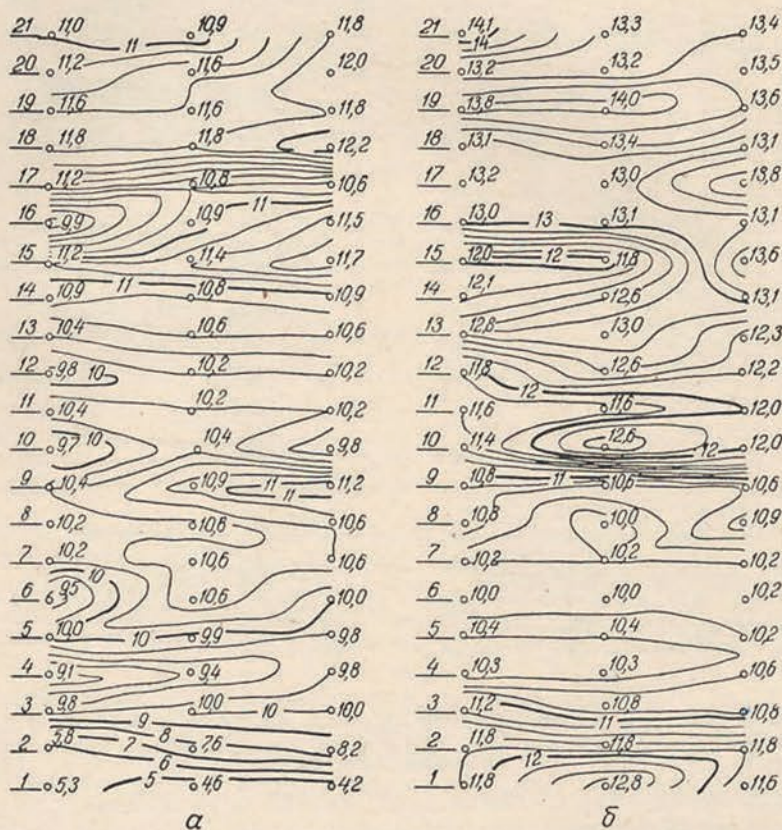


Рис. 3. Изотермы в вертикальной плоскости:

а — при открытой двери; б — при закрытой двери. Масштабы: вертикальный 1 : 600; горизонтальный 1 : 20.

разности и градиенты почти в 1,5 раза меньше. В интервале $(0,0-0,75)$ плоскости пролета, проходящей параллельно рельсу, $\Delta t_{\max}=+0,5^{\circ}\text{C}$ и $\Delta t_{\min}=-1,2^{\circ}\text{C}$, а между уровнями $(0,75-1,50)$ $\Delta t_{\max}=1,1^{\circ}\text{C}$ (колонна 21) и $\Delta t_{\min}=-0,6^{\circ}\text{C}$ (колонна 6, рис. 1, а), что характеризуется вертикальными градиентами $+0,7$ град/м, $-1,6$ град/м и $+1,5$ град/м, $-0,8$ град/м. Что касается изменений температуры по вертикали для рядов 2—4, то они также носят случайный характер, однако температурные градиенты сравнительно меньше, так как $\Delta t_{\max}\leq 0,5^{\circ}\text{C}$ и $\Delta t_{\min}\leq -0,5^{\circ}\text{C}$. На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что изменение температуры надрельсового пространства носит случайный характер, но большие по модулю перепады температур происходят в интервале (К—Р) и $(0,0-0,75)$ и особенно по ряду 1, где имели место притоки холодного воздуха. Поэтому была проведена вто-

рая серия наблюдений при температуре наружного воздуха (t_n) — 4° С, но с частичной изоляцией (при закрытой двери) холодных потоков. После закрывания двери в течение часа наблюдения не велись, пока не стабилизировалась температура в закрытом помещении. Анализ результатов измерений температуры показал, что в начале цеха температура повысилась на +8° С, а общий перепад ее между колоннами 1 и 21 составил +2° С.

Значения средних температур и температурных градиентов

$t, ^\circ\text{C}$	Уро- вень	$t, ^\circ\text{C}$ (в плане)		$\frac{dt}{dh}, \text{град/м}$		$t, ^\circ\text{C}$ (по высоте)			$\frac{dt}{dh}, \text{град/м}$			
		К-Р	К-П	К-Р	Р-П	пл. К	пл. Р	пл. П	пл. К	пл. Р	пл. П	
-4	0	10,0	10,0	-0,2	+0,3							
	0,75	10,2	10,0	0,0	-0,3	10,0	10,0	9,9	3,9	3,7	1,3	
	1,50	10,3	10,3	0,0	-0,15	10,3	10,3	10,3	1,5	2,7	2,8	
-4	0	11,9	11,9	+0,1	-0,1							
	0,75	11,9	11,9	+0,05	+0,1	11,9	11,9	11,9	0,7	1,1	1,3	
	1,50	11,9	11,9	-0,1	+0,3	11,9	11,9	11,9	2,0	1,3	0,0	
+4	0	19,4	11,4	0,0	-0,1							
	0,75	19,4	19,4	-0,1	-0,07	19,4	19,4	19,4	0,7	1,1	1,3	
	1,50	19,4	19,4	0,1	0,0	19,4	19,4	19,4	0,0	0,0	0,0	
+7	0	19,6	19,6	0,2	0,0							
	0,75	19,6	19,6	0,0	0,0	19,6	19,6	19,6	-1,3	0,6	-0,3	
	1,50	19,6	19,6	0,0	0,1	19,6	19,6	19,6	0,0	0,0	0,0	

Как показали исследования, визирный луч в надрельсовом пространстве не будет прямолинейным и при съемке подкрановых путей в результате искривления луча возникают ошибки. Для введения поправок в результаты измерений при проведении особо точных работ обычно на пути прохождения луча создают стабильные внешние условия или определяют температурные градиенты и вычисляют поправки за рефракцию, которые затем вводят в измерения [1]. Для вычисления поправок за рефракцию воспользуемся приближенной формулой [2]:

$$\sigma_{\text{мм}} = 0,05 \frac{P_{\text{ср}} \cdot d(S-d)}{(273,2 + t_{\text{ср}}^0)^2} \cdot \frac{dt}{dh}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ср}}$ — среднее в створе давление воздуха, мм рт. ст.; $t_{\text{ср}}^0$ — средняя для створа температура воздуха по Цельсию; S — общая длина створа, м; d — расстояния от инструмента до точки створа, м; $\frac{dt}{dh}$ — средний в створе градиент температуры воздуха в направлении перпендикулярном створу.

Поскольку шаг колонн одинаков и составляет 6 м, то $S = l(n-1)$ и $d = li$ ($n = 1, 2, \dots, 21$ — номер колонн в ряду, $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$), то для нашего случая формула (3) примет вид:

$$\sigma_{\text{мм}} = 0,05 \frac{P_{\text{ср}} \cdot l^2 \cdot i[(n-1) - i]}{(273,2 + t_{\text{ср}}^0)^2} \cdot \frac{dt}{dh}. \quad (4)$$

Принимая $P = 760$ мм, после подстановки значений P и l в (4), получим:

$$\sigma_{\text{мм}} = 1350 \frac{i[(n-1) - i]}{(273,2 + t_{\text{ср}}^0)^2} \cdot \frac{dt}{dh}. \quad (5)$$

Для вычисления поправок σ в результаты измерений вычислены значения средних температур и средних температурных градиентов (таблица). Средние горизонтальные градиенты при отрицательной температуре наружной среды колеблются от $-0,3$ град/м до $+0,3$ град/м, с повышением t^n они не превышают $+0,2$ град/м. Вертикальные температурные градиенты в большинстве положительные и могут достигать $+3,9$ град/м. При положительной температуре наружного воздуха вертикальные градиенты уменьшаются и на высоте $1,5$ м равны нулю.

Очевидно, в самом неблагоприятном случае $\left(\frac{dt}{dh} = \pm 0,3 \frac{\text{град}}{\text{м}}, t^{\circ}_{\text{ср}} = 10,2^{\circ} \text{С} \text{ и } i = 10 \right)$ поправка в результаты створных наблюдений составит $\pm 0,5$ мм. При геометрическом нивелировании в худшем случае (при $\frac{dt}{dh} = 2,7 \frac{\text{град}}{\text{м}}, t^{\circ}_{\text{ср}} = 10^{\circ} \text{С}, i = 10$) $\sigma = +4,3$ мм. Таким образом результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

При съемке подкрановых путей в зимнее время на результаты измерений и особенно на результаты геометрического нивелирования рефракция оказывает существенное влияние. Для уменьшения этого влияния необходимо предупредить поступление холодного воздуха в цех, линии створа вынести в плане на расстояние не менее $1,0$ м от колонн и выше подкрановых рельсов или же на линиях створа измерить температурные градиенты и в результаты измерений ввести поправки за рефракцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левчук Г. П. Инженерная геодезия. М., «Недра», 1970.
2. Михелев Д. Ш. Формулы учета боковой рефракции при выполнении геодезических работ в закрытых помещениях. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1967, вып. 3.

Работа поступила 10 января 1973 года.
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.