

фракции. — *Астрономический журнал*, 1931, № 8. 4. *Kukamaki T. J. Verbesserung der Horizontalen Winkelmessungen Wegen der Seiten-refraktion.* — *Des Finischen Gedatischen Institutes, Helsinki*, 1939. 5. *Moritz H. Zur Geometrie der Refraktion*, *Osterr. Z. Vermesungswesen*, 1962, № 1, 59. 6. *Robitzsch M. Die mittlere Abnahme Dampfdruckes mit der Höhe*, *Meteorolog. — Zeitsch.*, 1944, Bd. 61, 7. *Saastamoinen J. The Effect of Path Curvature of light waves in the Refractive Index Application to Electronic Distance Measurement.* — *Canad Surveyor*, 1962, 16, № 2.

Статья поступила в редколлегию 15. 12. 81

УДК 528.024.1.06

П. В. ПАВЛИВ, П. И. ПНЕВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОСТЫЛЕЙ КОРОТКИМ ВИЗИРНЫМ ЛУЧОМ

Инструкцией [1] предусматривается применение костылей в качестве переходных точек при высокоточном нивелировании, но не даны рекомендации об их наиболее рациональных конструкциях при производстве работ на грунтах различной плотности. Фундаментальные исследования устойчивости костылей были выполнены в ЦНИИГАиК под руководством И. И. Энтина в 1949—1950 гг. [5]. При этом использовался специально сконструированный прибор — испытатель перемещений. Он позволил измерять перемещения костылей с ошибкой, не превышающей 0,005 мм.

Характер грунтов

Таблица 1

| Номер участка | Вид грунта | Объемный вес | Кoeffициент пористости | Число пластичности | Показатель консистенции | Степень влажности |
|---------------|---|--------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| | | | | | | |
| 1 | Песок пылеватый средней плотности, влажный | 2,03 | 0,44 | — | — | 0,63 |
| 2 | Элювий лещевого мела с суглинистым заполнителем (до 10% объема) | 1,99 | 0,67 | 8 | 0 | 0,96 |
| 3 | Супесь тяжелая, твердая | 1,93 | 0,60 | 7 | <0 | 0,68 |

Однако сложность установки испытателя перемещений на грунтах различной плотности не дает возможности широко применять его на практике.

И. С. Пандул и И. Н. Кметко [2] изучали устойчивость переходных точек в условиях Крайнего Севера при помощи визирного луча длиной 6,0 м и дали конкретные рекомендации по их использованию в зависимости от характера грунта и времени года.

С целью дальнейших исследований вертикальных перемещений костылей нами было выбрано три участка с различными грунта-

ми (табл. 1) и на этих грунтах была проверена устойчивость костылей длиной 17,0 и диаметром 2,5 см.

Испытуемый костыль забивался в грунт на расстоянии 6,0 м от нивелира, ножки которого устанавливались на металлические трубки, забитые прочно в землю. На испытуемый костыль ставилась рейка, по шкале которой с помощью нивелира производились отсчеты с момента забивки костыля до 10 мин с интервалом 30 с. Для контроля устойчивости нивелира производились отсчеты и по рейке, установленной на репере, удаленном от нивелира также на расстояние 6,0 м. Каждый костыль испытывался по 29—33 раза на одном участке. Отсчеты брались по основной и дополнительной шкалам.

Обработка полученных результатов заключалась в следующем: находили отклонения от среднего отсчета из каждой серии, затем эти отклонения суммировались по всем сериям на соответствующий момент времени и находилось среднее отклонение на одну серию наблюдений, а также отклонения от среднего значения из первых отсчетов каждой серии (табл. 2).

Вертикальные перемещения костылей на различных грунтах

Таблица 2

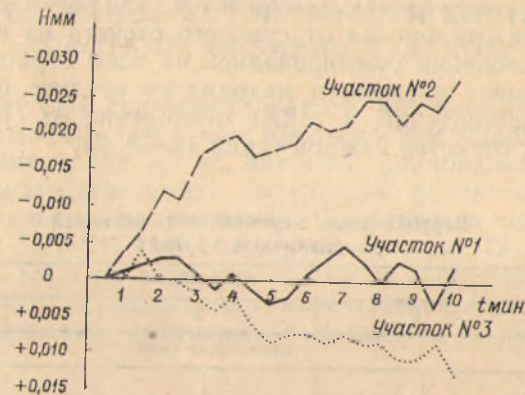
| Время (мин) | Участки | | | | | |
|-------------|-----------------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | 1 | | 2 | | 3 | |
| | отклонения (мм) | | | | | |
| | среднего | первого | среднего | первого | среднего | первого |
| 0,5 | +0,001 | 0,000 | +0,018 | 0,000 | -0,006 | 0,000 |
| 1,0 | 0,000 | -0,001 | +0,014 | -0,004 | -0,006 | 0,000 |
| 1,5 | -0,001 | -0,002 | +0,011 | -0,007 | -0,010 | -0,004 |
| 2,0 | -0,002 | -0,003 | +0,006 | -0,012 | -0,006 | 0,000 |
| 2,5 | -0,002 | -0,003 | +0,007 | -0,011 | -0,006 | 0,000 |
| 3,0 | 0,000 | -0,001 | +0,001 | -0,017 | -0,004 | +0,002 |
| 3,5 | +0,002 | +0,001 | -0,001 | -0,019 | -0,002 | +0,004 |
| 4,0 | 0,000 | -0,001 | -0,002 | -0,020 | -0,004 | +0,002 |
| 4,5 | +0,002 | +0,001 | +0,001 | -0,017 | 0,000 | +0,006 |
| 5,0 | +0,004 | +0,003 | 0,000 | -0,018 | +0,002 | +0,008 |
| 5,5 | +0,003 | +0,002 | -0,001 | -0,019 | +0,001 | +0,007 |
| 6,0 | 0,000 | -0,001 | -0,004 | -0,022 | +0,001 | +0,007 |
| 6,5 | -0,002 | -0,003 | -0,003 | -0,021 | +0,002 | +0,008 |
| 7,0 | -0,004 | -0,005 | -0,004 | -0,022 | +0,001 | +0,007 |
| 7,5 | -0,002 | -0,003 | -0,007 | -0,025 | +0,002 | +0,008 |
| 8,0 | +0,001 | 0,000 | -0,007 | -0,025 | +0,002 | +0,008 |
| 8,5 | -0,002 | -0,003 | -0,004 | -0,025 | +0,002 | +0,008 |
| 9,0 | -0,001 | -0,002 | -0,007 | -0,022 | +0,004 | +0,010 |
| 9,5 | +0,004 | +0,003 | -0,007 | -0,025 | +0,004 | +0,010 |
| 10,0 | -0,001 | -0,002 | -0,010 | -0,024 | +0,002 | +0,008 |
| | | | | -0,028 | +0,006 | -0,012 |

По полученным отклонениям построены графики (рисунок). Точность выявления вертикальных перемещений костылей можно определить по формулам, характеризующим как влияние отдельных источников погрешностей, так и их групп [4].

1. Погрешности, зависящие от длины визирного луча, определяем по формуле

$$m_{\text{взг}}^2 = D^2 \left[2,25 \cdot 10^{-8} \tau^2 + \frac{m_{\text{нав}}^2 10^6}{\rho^2} + \frac{10^6}{36\rho^2} + \frac{16 \cdot 10^{-4}}{V^2} (l_3 - l_n)^2 + K_p^2 D^2 \right]. \quad (1)$$

Последние два члена в этой формуле для нашего случая равны нулю, так как разность плеч равна нулю (погрешность установки сетки нитей), а также и рефракция не оказывает влияния, поскольку расстояние равно всего 6,0 м.



Графики отклонений.

Подставляя в формулу величины: D — расстояние в метрах от нивелира до рейки, равное 6,0 м; $\tau = 10''$ на 2 мм (цена деления контактного уровня); $m_{\text{нав}} = \tau''/V^x = 10/45 = 0,22$ (ошибка наведения); $\rho = 206265$, получим $m_{\text{взг}}^2 = 0,000142$ мм, т. е. $m_{\text{взг}} = 0,012$ мм.

II. Погрешности, обусловленные несовершенством и недостаточной полной выверкой и юстировкой нивелира и его частей, а также погрешностями, обусловленными влиянием среды и независимыми от длины визирного луча.

1. Погрешность, обусловленная влиянием остаточного значения угла i

$$m_i = (D_3 - D_n) \frac{i}{\rho''} = 0, \quad (2)$$

потому что $D_3 = D_n$.

2. Погрешность отсчета по оптическому микрометру [4]

$$m_{\text{мик}} = nm_\delta = 0,002 \text{ мм}, \quad (3)$$

где $n = 2$; $m_\delta = 0,001$ мм. Тогда средняя квадратическая погрешность отсчета по оптическому микрометру равна 0,002 мм.

3. Погрешность, обусловленная вертикальным перемещением штатива, отсутствует, так как он устанавливался на заранее забитые металлические трубки.

4. Погрешность, обусловленная изменением горизонта инструмента вследствие изменения температуры штатива и нивелира на один градус, составляет 0,005 мм [4].

III. Исследования показывают, что погрешности, обусловленные несовершенством конструкции реек, недостаточно полной их выверкой и неправильной установкой на переходные точки, составляют всего 0,003 мм, так как рейка устанавливалась на костыль один раз на всю серию отсчетов и биссектор сетки нитей наводили все время на один и тот же штрих рейки. Здесь оказывает влияние только погрешность непараллельности оси уровня к оси рейки

$$m_y = \frac{be^2}{2\rho^2} = 0,003 \text{ мм}, \quad (4)$$

где $b = 1,0$ м; $e = m \frac{\rho''}{l}$; $m = 5$ мм и $l = 2,0$ м.

Имея величины вышеперечисленных погрешностей, можно вычислить среднюю квадратическую погрешность m_1 определения вертикальных перемещений костыля по одной серии наблюдений.

Для нашего случая

$$m_1 = \sqrt{m_{\text{взг}}^2 + m_{\text{мик}}^2 + m^{\sigma^2} + m_y^2} = 0,013 \text{ мм}, \quad (5)$$

а из 30 серий наблюдений получим

$$m_{30} = \frac{m_1}{\sqrt{30}} = 0,0024 \text{ мм}. \quad (6)$$

Анализ данных, приведенных в табл. 2 и на графиках (рисунок), показывает, что на участке 1 максимальное отклонение в таких условиях от первоначального отсчета составляет 0,005 мм, что, по существу, не превышает точности определений перемещений костыля.

Соответствующие исследования на втором участке показали, что испытуемый костыль подвергался выпучиванию, достигающему 0,028 мм за 10 мин. На третьем участке такие же исследования выявили оседание костыля, достигающее 0,012 мм за 10 мин.

Следовательно, испытуемый костыль больше всего подходит для производства нивелирования по грунтам, представленным на первом участке. В заключение можно сделать вывод, что действующую инструкцию [1] следует дополнить положением о необходимости подбора костылей перед производством работ по высокоточному нивелированию для каждого участка нивелирной линии (с теми или другими характерными грунтами) по рассмотренной в этой статье методике.

Список литературы: 1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. — М.: Недра, 1974. 2. Пандул И. С., Кметко И. Н. Результаты исследований устойчивости нивелирных штативов и переходных точек в условиях Крайнего Севера. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1973, вып. 17. 3. Павлов П. В. Проблемы высокоточного нивелирования. — Львов: Вища шко-

УДК 528.024.1.06

П. В. ПАВЛИВ, П. И. ПНЕВСКИЙ

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫСОКОТОЧНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Большинство линий высокоточного нивелирования проложено и прокладывается по железным дорогам. В практике такого нивелирования принято считать, что железная дорога есть стабильная в высотном отношении [3, 8].

Однако железная дорога не всегда остается стабильной. Так, в работах [1, 2, 4] показано, что происходит вертикальный износ рельсов, а также угон рельсов, который, в свою очередь, на наклонных участках изменяет их высотное положение. Кроме того, в работах [5, 7] показано, что и земляное полотно оседает вследствие уплотнения тела и основания насыпей, от собственного веса грунта и веса верхнего строения пути, воздействия поездной нагрузки.

Рассмотрим степень влияния каждого фактора.

Расчеты [2] показывают, что величина износа рельсов малоощутима и после прохождения одного поезда составляет для рельсов Р 50 0,07 мкм для прямолинейного участка, и 0,4 мкм для кривой радиусом 300 м.

Под воздействием подвижного состава рельсы перемещаются по шпалам (иногда вместе со шпалами) по направлению движения поезда. Так, за 90 дней (зима—весна 1981 г.) на двухпутной дороге нами был зафиксирован угон рельсов, который составил 749,8 мм. На однопутной дороге 7 сентября 1981 г. после прохода одного поезда был зафиксирован угон в 32 мм.

Известно, что уклоны железных дорог могут достигать 40%. Тогда при угоне рельса равному 32 мм рельс изменит свое высотное положение на 1,28 мм.

С целью более детального изучения механизма накопления ошибок под влиянием рассматриваемого источника погрешностей нами были выполнены приведенные ниже исследования.

На однопутной дороге в течение дня определялась высота головки рельса после прохода каждого поезда по программе нивелирования 1-го класса с одного штатива. Задняя рейка была установлена на фундаментальном репере, расположенном вне земляного полотна. Репер представлял собой металлическую трубу длиной 5,5 м с маркой в верхней части. Ножки нивелирного штатива устанавливались на металлические трубки, прочно заби-

ты в грунт. Передняя рейка с подпятником устанавливалась на намеченную точку головки рельса после каждого прохода поезда в том или другом направлении. Длина визирного луча составляла 6,0 м.

Для иллюстрации сказанного составлен график (рис. 1). На графике показано изменение высоты рельса от первоначального значения после прохождения каждого поезда. По вертикали — изменение высоты рельса, по горизонтали — номер определения высоты рельса. Максимальное изменение высоты рельса после

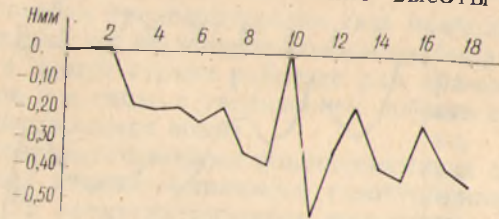


Рис. 1. Изменение высоты головки рельса после прохождения поезда.

прохода одного поезда составило 0,56 мм. Средняя квадратическая ошибка определения высоты рельса, согласно [6], составляет 0,013 мм.

Таким образом, можно сделать вывод, что угон рельсов весьма ощутимо влияет на результаты высокоточного нивелирования при применении их в качестве переходных точек.

Расчет полной осадки основания насыпи можно произвести по формулам, приведенным в работе [2].

$$S = \sum h_i \frac{\epsilon_{пр} - \epsilon_0}{1 + \epsilon_{пр}} + S_{доб}, \quad (1)$$

и осадка S_0 в период эксплуатации по формуле

$$S_0 = S 0,30 - 0,001 H. \quad (2)$$

Здесь h_i — мощность рассматриваемого слоя; $\epsilon_{пр}$ и ϵ_0 — природный и расчетный коэффициент пористости; $S_{доб}$ — добавочная осадка грунта основания, учитывающая уплотнение слоев, расположенных ниже рассматриваемых в расчете; H — высота насыпи; 0,001 — коэффициент погашения осадки основания в теле насыпи.

Так, вычисленная по формуле (1) полная осадка основания насыпи высотой 5 и 10 м составит соответственно 0,08 и 0,16 м. А осадка основания в эксплуатационный период, вычисленная по формуле (2), соответственно составит 0,02 и 0,05 м.

На ранее построенных железных дорогах также наблюдаются деформации и повреждения земляного полотна, так как оно построено в различные годы и по разным техническим условиям, а также в связи с систематически возрастающими скоростями движения поездов и ежегодным ростом грузонапряженности.

Для экспериментального исследования осадки земляного полотна нами был выбран участок железнодорожного пути со сла-