

Н. Г. ЦАБЕКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕДАНИЙ НИВЕЛИРНЫХ ШТАТИВОВ НА АСФАЛЬТОВОМ ПОКРЫТИИ

Как известно, на твердых грунтах нивелирные штативы оседают и выпучиваются, на мягких — только выпучиваются, что вносит в измеренные превышения погрешность порядка 0,02... 0,18 мм [4, 6].

Оседание штативов на асфальтовом покрытии в солнечную погоду отмечают многие нивелировщики. Так, в работе [3] рекомендуется для уменьшения оседаний штативов устанавливать их в углубления, пробитые в асфальте. Однако специальных исследований по этому вопросу еще недостаточно.

Поэтому на территории одного из заводов Днепропетровска проведены специальные исследования.

Программой исследования предусматривалось определение величины оседаний нивелирных штативов на асфальтовом покрытии в летнюю солнечную погоду в зависимости от физико-механического состава асфальта, его «свежести», температуры, высоты штатива над асфальтовым покрытием и массы инструмента.

Для этого выбрано два участка с асфальтовым покрытием: площадка у склада и отмостка у цеха, где асфальт уложен с разницей во времени около десяти лет.

Известно, с течением времени асфальт подвергается различным воздействиям как химическим, так атмосферным и механическим, что приводит к его уплотнению и «старению» [2]. Следовательно, асфальтовое покрытие отмостки цеха отличается своей «свежестью» по сравнению с асфальтовым покрытием площадки у склада.

На основании анализа установлено, что асфальт обоих участков содержит битум марки БН-IV, минеральный порошок, песок, а поверхность покрыта щебнем с размером зернин 5...10 мм. Твердость битума определена при помощи иглы пенетromетра и составила на площадке у склада 1,7 мм, а на отмостке у цеха 8,0 мм.

Толщина слоя асфальта соответственно 14 и 9 см.

Исследование оседаний штативов проводилось в мае и июне 1979 г. (продолжительность наблюдений с 7.00 до 19.30) с помощью выверенных нивелиров НА-1 и НЗ и в трех комплексах: утром, в полдень и вечером, с перестановкой штативов в начале каждого комплекса. Приборы в процессе наблюдений защищали от прямых солнечных лучей топографическими зонтами. Параллельно измеряли двумя термометрами температуру асфальта и слоя воздуха на высоте инструмента.

На участках исследовали по четыре нивелирных штатива: три стандартных, деревянных с цельными ножками, и один металлический — раздвижной. Длина деревянных штативов 1,5 и 1,7 м, а масса вместе с приборами 12, 11, 12 и 6 кг. Первые два штатива устанавливали на разной высоте над поверхностью асфальта, третий и четвертый — на высоте, удобной для наблюдений. При этом на наконечники ножек третьего штатива во избежание оседаний одевали дисковые ограничители, изготовленные из текстолита в виде круга радиусом 3 см и толщиной 5 мм с вырезанным в центре дисков отверстием по форме острия наконечника штатива. Фиксацию дисков на поверхности асфальта производили тремя стопорными винтами.

Методика наблюдений на станции заключалась в одновременном производстве отсчетов четырьмя наблюдателями по штриховой прецизионной рейке, укрепленной на стене здания в 6 м от инструментов. Отсчеты брали сериями по три в серии и через каждые полчаса с точностью до 0,1 деления барабана оптического микрометра и до 0,1 деления шкалы рейки нивелиром НЗ.

Таблица 1

Оседание штативов с приборами (мм) различной массы (кг) при их установке по высоте (h) у цеха

| Время | Температура, °С | | Масса 12 кг | Масса 11 кг | Масса 12 кг | Масса 6 кг |
|-------|-----------------|---------|-------------|-------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | асфальта | воздуха | $h_1=0,86$ | $h_2=1,54$ | штатив с ограничителями $h_3=1,79$ | штатив металлический $h_4=1,44$ |

Утренний комплекс наблюдений

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---|
| 7.30 | +14,0 | +14,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8.00 | 15,0 | 14,8 | -0,42 | -0,17 | +0,010 | 0 |
| 8.30 | 16,1 | 15,0 | 0,71 | 0,43 | -0,060 | 0 |
| 9.00 | 16,8 | 16,0 | 1,04 | 0,60 | +0,010 | 0 |
| 9.30 | 18,2 | 17,2 | 1,33 | 0,87 | +0,014 | 0 |
| 10.00 | 18,6 | 18,9 | 1,53 | 1,03 | 0,011 | 0 |
| 10.30 | 19,0 | 20,6 | 1,78 | 1,38 | +0,014 | 0 |
| 11.00 | 20,00 | 22,0 | 2,16 | 1,65 | -0,013 | 0 |
| 11.30 | -21,0 | +24,0 | -2,61 | 1,99 | +0,014 | 0 |

Полуденный комплекс наблюдений

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 11.35 | +21,1 | +24,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12.00 | 28,8 | 25,0 | 1,91 | 2,52 | -0,070 | 0 |
| 12.30 | 32,0 | 26,0 | -8,57 | 6,64 | -0,090 | 0 |
| 13.00 | 36,1 | 26,4 | 30,51 | 13,47 | -0,10 | -4,0 |
| 13.00 | 37,0 | 27,3 | 52,82 | 19,95 | -0,060 | -7,5 |
| 14.00 | 37,9 | 27,3 | 59,71 | 24,30 | -0,012 | -14,5 |
| 14.30 | 38,0 | 27,3 | 66,82 | 26,45 | -0,010 | -17,5 |
| 15.00 | 40,0 | 27,4 | 72,00 | 27,34 | -0,060 | -20,5 |
| 15.30 | 40,1 | +27,8 | -74,85 | 27,53 | -0,080 | -21,5 |

Вечерний комплекс наблюдений

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|------|
| 15.35 | +41,0 | +27,8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16.00 | +38,0 | 27,6 | -36,25 | -6,85 | -0,080 | -1,0 |
| 16.30 | 32,0 | 26,2 | 45,90 | 12,79 | -0,050 | 1,5 |
| 17.00 | 30,2 | 26,0 | 46,06 | 12,36 | -0,030 | 1,5 |
| 17.30 | 29,0 | 25,0 | 46,27 | 12,27 | 0 | 1,5 |
| 18.00 | 27,2 | 24,2 | 46,46 | 12,38 | -0,050 | 1,5 |
| 18.30 | 26,0 | 24,0 | 46,52 | 12,38 | +0,020 | 1,5 |
| 19.00 | 24,0 | +23,0 | 46,52 | 12,38 | +0,020 | 1,5 |

Всего на участках получено по двадцать шесть серий отсчетов. Оседание штативов вычисляли по формуле

$$S_i = a_i - a_1, \quad (1)$$

где a_i и a_1 — средние отсчеты i -й и первой серий наблюдения.

Результаты вычислений S_i приведены в табл. 1, 2. Так как поверхность асфальта нагревалась быстрее, чем слой воздуха на высоте инструмента, проверено наличие корреляционной связи между переменными величинами. Коэффициент корреляции вычисляли из 122 выборок по формуле из работы [1]. Он оказался равным $r=0,89$.

Таблица 2

Оседание штативов с приборами (мм) различной массы (кг) при их установке по высоте (h) на площадке у склада

| Время | Температура, °C | | Масса 12 кг | Масса 11 кг | Масса 12 кг | Масса 6 кг |
|------------------------------|-----------------|---------|--------------|--------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | асфальта | воздуха | $h_1=1,11$ м | $h_2=1,54$ м | штатив с ограничителем $h_3=1,43$ м | штатив металлический $h_4=1,44$ м |
| Утренний комплекс наблюдений | | | | | | |
| 7.00 | +15,3 | +14,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7.30 | 15,9 | 14,1 | -0,48 | -0,03 | -0,015 | 0 |
| 8.00 | 18,00 | 15,3 | 0,54 | 0,04 | -0,095 | 0 |
| 8.30 | 19,1 | 16,2 | 0,64 | 0,08 | 0 | 0 |
| 9.00 | 20,8 | 17,2 | 0,65 | 0,20 | +0,095 | +0,50 |
| 9.30 | 22,0 | 18,5 | 0,68 | 0,31 | +0,050 | 0 |
| 10.00 | 24,8 | 19,3 | 0,69 | 0,32 | +0,042 | +0,50 |
| 10.30 | 25,00 | 20,1 | 0,70 | 0,42 | 0 | +0,50 |
| 11.00 | 26,3 | 21,0 | 0,80 | 0,46 | +0,050 | 0 |
| 11.30 | +26,3 | +21,1 | -0,92 | -0,48 | +0,051 | +0,50 |

Полуденный комплекс наблюдений

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 11.35 | +26,3 | +21,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12.00 | 26,3 | 21,2 | -0,05 | 0 | +0,013 | +0,50 |
| 12.30 | 27,0 | 22,1 | -0,42 | 0 | -0,070 | 0 |
| 13.00 | 28,3 | 22,3 | 1,52 | -0,02 | -0,089 | +0,50 |
| 13.30 | 28,5 | 23,0 | 2,24 | -0,04 | -0,017 | +0,50 |
| 14.00 | 28,6 | 23,1 | 2,63 | 0,05 | -0,013 | +0,50 |
| 14.30 | 30,2 | 23,1 | 3,67 | 0,23 | -0,015 | +0,50 |
| 15.00 | 30,5 | 23,1 | 4,08 | 0,31 | -0,013 | +0,50 |

Вечерний комплекс наблюдений

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---|
| 15.30 | +29,3 | +23,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16.00 | 26,2 | 23,0 | -0,49 | -0,40 | +0,035 | 0 |
| 16.30 | 26,0 | 23,0 | 0,88 | 0,44 | -0,064 | 0 |
| 17.00 | 24,2 | 23,0 | 1,03 | 0,48 | +0,045 | 0 |
| 17.30 | 24,0 | 22,8 | 1,05 | 0,48 | +0,090 | 0 |
| 18.00 | 24,0 | 22,0 | 1,06 | 0,50 | +0,011 | 0 |
| 18.30 | 22,0 | 21,2 | 1,13 | 0,52 | +0,017 | 0 |
| 19.00 | +21,3 | +20,7 | -1,23 | -0,58 | +0,025 | 0 |

Надежность коэффициента корреляции проверена по критерию В. И. Романовского при $n \geq 50$:

$$\sigma(r) = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}. \quad (2)$$

Связь считается установленной, если выполняется условие

$$|r| \geq 3\sigma(r). \quad (3)$$

Так как $(0,89 > 0,09)$, то наличие прямолинейной корреляционной связи между температурой асфальта и слоем воздуха можно считать установленной.

В процессе наблюдений замечено, что штативы, размещенные на неодинаковой высоте над поверхностью асфальта, оседают на разные величины. Для этого рассчитаны усилия ножек штатива на асфальт [5] при высоте установки штативов $h_1 = 0,86$ м и $h_2 = 1,54$ м (рис. 1). Полагая, что ножки в основании

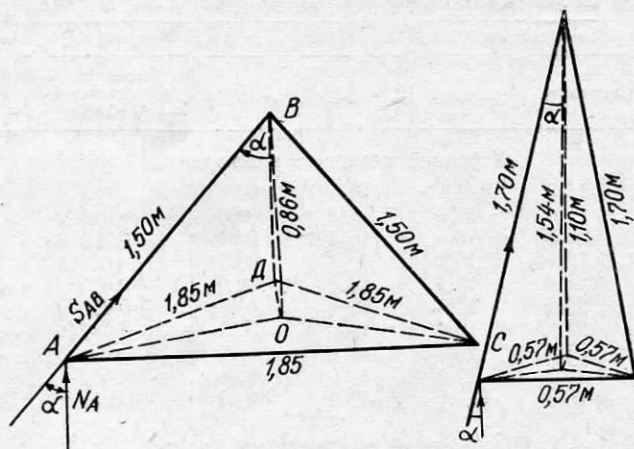


Рис. 1. Расчет усилия ножек штатива на асфальт.

штатива соединены шарнирно, а расстояние на поверхности асфальта между кончиками равны ($AD = DC = CA$), считаем и реакции нормального давления в точках A , C и D также равными и вычисляем по формуле

$$N_i = \frac{P(AB) + P(BC) + P(BD) + P}{3}, \quad (4)$$

где $N_i = N(A) = N(C) = N(D)$ — реакции нормального давления в точках A , C , D ; $P(AB) = P(BC) = P(BD) = 2$ кг — масса ножек штатива; $P = 5$ кг — масса прибора.

Усилия ножек штативов на асфальт определяем по формуле

$$S_i = \frac{N_i}{\cos \alpha}, \quad (5)$$

где α — угол наклона ножек штатива к вертикальной оси инструмента, получаемый из треугольников AOB или BOC , BOC следующим образом:

$$\alpha = \sin B = AO/AB. \quad (6)$$

Считая высоту первого штатива над поверхностью асфальта равной 0,86 м, а второго — 1,54 м, по формулам (4) — (6) по-

лучим следующие результаты: $N_1=3,9$ кг, $\alpha_1=54^\circ 25'$, $S_1=6,7$ кг; $N_2=4$ кг, $\alpha_2=24^\circ 41'$, $S_2=4,4$ кг.

Следовательно, усилие штатива на асфальт зависит от его высоты над поверхностью асфальта или угла наклона ножек штатива, т. е. чем меньше высота и наклон ножек, тем будет большим усилие штатива на асфальт и оседание, и наоборот.

Усилие штатива на асфальт можно рассматривать как функцию от переменного угла α :

$$S_i = f(\alpha). \quad (7)$$

В свою очередь, штатив, установленный на дисковых ограничителях, испытывает значительно меньшее оседание. Однако изучить его на дисковых ограничителях с помощью нивелира НА-1 зачастую затруднительно, так как на результаты может влиять внешняя среда.

Для исследования оседания штативов на дисковых ограничителях был изготовлен специальный прибор (рис. 2). Он включает: измерительный механизм 1, в качестве которого использован индикатор с ценой деления равной 0,01 мм; кронштейн 2 с зажимным винтом 3, что позволяет привести подвижный стержень механизма в соприкосновение с ин-

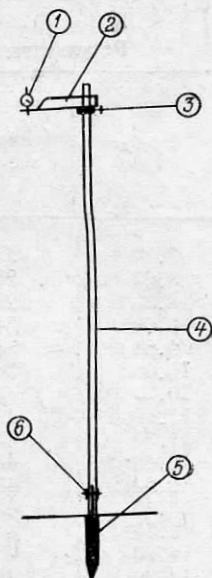


Рис. 2. Прибор для исследования оседания штативов на дисковых ограничителях.

струментом; две раздвижные металлические трубки 4; металлический штырь 5 длиной 40 см, который, прорезая асфальт, забивается в грунт на глубину 30 см, что обеспечивает устойчивость прибора по высоте в процессе испытаний. Металлическая трубка 4 надевается на головку штыря и стопорится винтом 6.

Штативы с дисковыми ограничителями исследовали на отстойке у цеха, где наблюдается наибольшее размягчение асфальта. Эти исследования должны решить вопрос об эффективности применения дисковых ограничителей к наконечникам нивелирных штативов при производстве работ в летнюю солнечную погоду.

Подвижный стержень индикатора приводили в соприкосновение с нивелиром, наблюдатель поочередно стоял у каждой ножки штатива по 15 с. Отсчеты по индикатору и секундомеру брали в начале и в конце подхода к штативу. Затем в соответствии с программой нивелирования II кл. имитировали наблюдения реек для нечетной и четной станций, обходя штатив со стороны одной, а потом — двух ножек с одновременным производством отсчетов по шкале индикатора и секундомера. Временной интервал наблюдений реек — 2 мин.

Результаты приведены в табл. 3, они подтверждают эффективность применения дисковых ограничителей к наконечникам нивелирных штативов.

Анализ данных табл. 1—3 позволяет сделать следующие выводы и дать рекомендации по установкам штативов на асфальтовом покрытии:

1. Оседание нивелирных штативов на асфальтированной поверхности в летнюю солнечную погоду зависит от степени раз-

Таблица 3

Результаты оседаний штативов с дисковыми ограничителями

| Время | Температура, °C | | Оседание штатива через 45 мм | Программы наблюдений | |
|-------|-----------------|---------|------------------------------|--|--------|
| | асфальта | воздуха | | ЗППЗ | ПЗПЗ |
| | | | | оседание штатива через двухминутный интервал, мм | |
| 7.30 | +25,0 | +23,8° | 0 | 0 | —0,001 |
| 8.00 | 28,9 | 26,1 | —0,001 | 0 | —0,004 |
| 8.30 | 29,0 | 26,2 | 0 | 0 | 0 |
| 9.00 | 31,0 | 28,1 | 0 | —0,004 | +0,004 |
| 9.30 | 33,8 | 28,7 | +0,009 | 0 | +0,010 |
| 10.00 | 38,1 | 31,0 | —0,005 | —0,012 | +0,007 |
| 10.30 | 41,0 | 35,0 | —0,013 | 0 | +0,024 |
| 11.00 | 42,0 | 36,0 | 0 | —0,007 | —0,002 |
| 11.30 | 42,6 | 36,3 | —0,010 | +0,011 | —0,001 |
| 12.00 | 43,1 | 36,6 | 0 | 0 | 0 |
| 12.30 | 43,6 | 37,0 | 0 | 0 | +0,001 |
| 13.00 | 45,0 | 37,2 | —0,001 | 0 | 0 |
| 13.30 | 44,9 | 37,2 | —0,001 | —0,003 | —0,003 |
| 14.00 | 46,0 | 38,2 | —0,002 | —0,001 | 0 |
| 14.30 | 45,0 | 38,0 | 0 | 0 | —0,008 |
| 15.00 | 47,0 | 38,8 | 0 | +0,010 | +0,004 |
| 15.30 | 45,0 | 35,0 | —0,011 | 0 | +0,001 |
| 16.00 | 41,0 | 34,0 | 0 | 0 | 0 |
| 16.30 | 38,0 | 32,3 | 0 | 0 | 0 |
| 17.00 | 37,0 | 32,0 | 0 | 0 | 0 |
| 17.30 | 35,4 | 31,0 | 0 | 0 | 0 |
| 18.00 | 34,2 | 30,2 | 0 | 0 | 0 |
| 18.30 | 33,3 | 29,4 | 0 | 0 | 0 |
| 19.00 | 32,1 | 29,2 | 0 | 0 | 0 |
| 19.30 | +30,0 | +28,1 | 0 | 0 | 0 |

мягчения асфальта, его плотности и «свежести», а также от высоты и массы прибора.

2. Наиболее оседают штативы в полуденный период наблюдений.

3. Если за временной интервал принять трехминутный, что соответствует наблюдению пяти осадочных марок в одном направлении, оседание штативов на отмошке у цеха составит $S_1 = -0,69$ мм, $S_2 = -0,33$, $S_4 = -0,24$; на площадке у склада — $S_1 = -0,06$ мм, $S_2 = -0,003$ мм; $S_4 = 0$.

Таким образом, деревянные стандартные штативы с цельными ножками при нагреве асфальта до $+30^\circ\text{C}$ на уплотнен-

ных асфальтах можно размещать на асфальтовом покрытии обычным способом и по возможности выше. При нагревании асфальта свыше $+30^{\circ}\text{C}$ штативы необходимо устанавливать на дисковые ограничители. Металлические раздвижные штативы с нивелирами НЗ можно устанавливать обычным способом в течение всего дня.

На «свежих» асфальтах деревянные штативы с цельными ножками при его нагревании до 18°C можно размещать обычным способом, но по возможности выше. При нагреве асфальта свыше $+18^{\circ}\text{C}$ штативы необходимо ставить на дисковые ограничители, а при температурах свыше $+36^{\circ}\text{C}$ нивелирные работы лучше прекращать. Металлические штативы с нивелирами НЗ при температуре асфальта свыше $+32^{\circ}\text{C}$ необходимо устанавливать на дисковые ограничители.

Список литературы: 1. *Большаков В. Д., Гайдаев П. А.* Теория математической обработки геодезических измерений. — М.: Недра, 1977. 2. *Крайцер Г. Д.* Асфальты, битумы и пески. — М.: Промстройиздат, 1952. 3. *Лебедев Н. Н.* Курс инженерной геодезии. — М.: Недра, 1974. 4. *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. 5. *Тарг С. М.* Краткий курс теоретической механики. — М.: Наука, 1970. 6. *Энтин И. И.* Высокоточное нивелирование. — Тр. ЦНИИГАиК, 1956, вып. 111.

Работа поступила в редколлегию 11 января 1980 года.