

ОСОБЕННОСТИ СГУЩЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

Виктор Петрович Голук

ООО «Мостовое бюро», 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Яблочкова, 12Ц, ведущий инженер-геодезист, тел. (812)703-36-93, e-mail: bridges-bureau@gpsm.ru

Денис Григорьевич Назаров

ООО «Мостовое бюро», 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Яблочкова, 12Ц, начальник отдела инженерной геодезии, тел. (812)703-36-93, e-mail: nazarovdg1916@mail.ru

Геодезическая разбивочная основа при строительстве мостовых сооружений является отчетной основой всех измерительных работ. Зачастую приходится выполнять сгущение геодезической разбивочной основы с соблюдением необходимых точностей возводимых конструкций. В процессе геодезического контроля строительства железнодорожного моста на участке № 3 протока между Тузлинской косой и островом Тузла возникли сложности по выносу проекта в натуру на всех стадиях возведения сооружения, связанного с малой плотностью пунктов геодезической разбивочной основы (ГРО), находящихся в акватории.

На основании вышеизложенного на строительной площадке мостового перехода (рабочий мост РМ-1 – участок №3) геодезической службой ООО «Мостовое Бюро» были выполнены работы по сгущению геодезической разбивочной основы с учетом: четвертый раздел СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве», ГОСТ 21780-2006 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности», СП 46.13330.2012 «Мосты и трубы». Выполнена априорная оценка точности результатов измерений для каждого из методов контроля планово-высотного положения пунктов сгущения.

В статье предлагается комбинированный подход к сгущению геодезической разбивочной основы.

Ключевые слова: априорная оценка точности, геометрическое нивелирование, тригонометрическое нивелирование, метод косвенной трилатерации.

FEATURES OF GEODETIC NETWORKS DENSIFICATION ON THE EXAMPLE OF A RAILWAY BRIDGE CROSSING CONSTRUCTION ACROSS THE KERCHEN STRAIT

Victor P. Goluk

LLC «Bridge Bureau», 12TS, Yablochkova, St.Petersburg, 197198, Leading surveyor, phone: (812)703-36-93, e-mail: bridges-bureau@gpsm.ru

Denis G. Nazarov

LLC «Bridge Bureau», 12TS, Yablochkova, St.Petersburg, 197198, Head of Engineering Geodesy Department, phone: (812)703-36-93, e-mail: bridges-bureau@gpsm.ru, phone: (812)703-36-93, e-mail: nazarovdg1916@mail.ru

The geodetic center base for the construction of bridge structures is the basis of all measurement work. Often it is necessary to carry out the densification of the geodetic center base in compliance with the necessary accuracy of recoverable structures. In the process of geodesic control of the

construction of a railway bridge on Section No. 3 of the channel between Tuzlinsky Spit and Tuzla Island, difficulties arose in bringing the project to life at all stages of the construction of a structure associated with the low density of geodetic center base points located in the aquatic area.

Based on the above the geodesic service of the LLC "Bridge Bureau" carried out work on the concentration of the geodetic center at the construction site of the bridge crossing (the working bridge RM-1 – site No. 3), as well as taking into account: Section 4 of the joint venture 126.13330.2017 "Geodetic works in construction", GOST 21780-2006 "System for ensuring the accuracy of geometrical parameters in construction. Calculation of accuracy", as well as SP 46.13330.2012 "Bridges and pipes." An a priori assessment of the accuracy of the measurement results for each of the methods for monitoring the planning and altitude position of the condensation points was made.

A combined approach to densification of the geodetic center base is suggested.

Key words: theoretical accuracy assessment; geometric leveling; trigonometric leveling, indirect trillation method.

Введение

Транспортный переход через Керченский пролив является крупнейшим из проектов в истории отечественного мостостроения. Крымский мостовой переход – это грандиозное сооружение. В общей сложности его протяженность составляет 19 км, на которых построены автомобильная и железная дороги. Согласно плану, перспективная интенсивность движения по автомагистрали в обоих направлениях составит почти 40 000 автомобилей в сутки. А по железной дороге за такой же промежуток времени пройдут более сотни поездов. Основные технические характеристики мостового перехода представлены далее.

Внеклассный большой мост начинается на Таманском полуострове, пересекает акваторию Керченского пролива и заканчивается на Керченском полуострове. Схема моста – для железной дороги $L_p=212 \times 63 + 220 + 53 \times 63$ М. Длина железнодорожного моста $L=17280,8$ м. Параметры железной дороги: категория железной дороги – II; количество путей – 2; тип мостового полотна – с ездой на балласте; наличие тротуаров – предусматривается два служебных прохода; расчетная нагрузка – С14;

Пролетные строения железнодорожного моста длиной 63 м разрезные, балочные сплошностенчатые, металлические с ортотропной плитой и ездой поверху на балласте индивидуальной проектировки. В поперечном сечении имеют главную балку коробчатого сечения. Высота главной балки – 3,6 м. Пролетное строение железнодорожного моста длиной 220 м выполнено в виде арки с жесткой затяжкой, цельнометаллическое, с ортотропной плитой проезжей части. Подвески – жесткие металлические. Мостовое полотно железнодорожного проезда принято на балласте. Тротуары и убежища служебных проходов железнодорожного проезда выполнены в виде металлического настила, также предусмотрены металлоконструкции коробов для прокладки коммуникаций. Убежища служебных проходов во всех вариантах располагаются в шахматном порядке с шагом по длине до 25 м. Для компенсации температурных перемещений по концам пролетных строений на опорах устраиваются водонепроницаемые деформационные швы модульного типа. Опорные части – шаровые сегментные линейно-подвижные и неподвижные (рис. 1).



Рис. 1. Железнодорожный мостовой переход через Керченский пролив

Постановка задачи

Перед началом строительства мостового перехода протяженностью более 19 км геодезической службой ООО «ГЕОАСПЕКТ» была создана геодезическая разбивочная основа, которая представляет собой пункты ГРО с принудительным центрированием и заложенные с интервалом 250–300 м. Определено их планово-высотное положение с применением традиционных и спутниковых методов. В соответствии с нормативными документами [1, 2], возникла необходимость выполнить сгущение ГРО с последующей математической обработкой результатов геодезических измерений и оценкой точности. Точность построения разбивочной геодезической основы (допустимая погрешность) регламентируется требованиями [3].

Плановое положение пунктов сгущения ГРО. Сравнительная оценка точности триангуляционных и трилатерационных методов

Точность геодезических разбивочных работ должна приниматься в соответствии с требованиями [4] для различных этапов строительства, при этом погрешность геодезических измерений должна быть не более 0,2 величины отклонений [2].

Полевые наблюдения планового положения пунктов ГРО производились комбинированными методами трилатерация и триангуляция с применением точных электронных тахеометров. Необходимо отметить, что в районе водоемов

в приземном слое атмосферы, как правило, образуются местные неоднородные рефракционные поля, обусловленные неравномерным распределением температуры и плотности воздуха [5]. Под влиянием боковой рефракции, как в нашем случае, визирный луч подвергается искажению, что вносит погрешность в результаты угловых измерений и ее полный учет не представляется возможным, поэтому метод триангуляции при определении планового положения пунктов вдоль береговой линии применять нецелесообразно.

Рассмотрим произвольный треугольник ABC (рис. 2). Известно, что если в треугольнике измерено три стороны, то, применив теорему косинусов (1), можно вычислить и соответствующий угол треугольника по формуле (2).

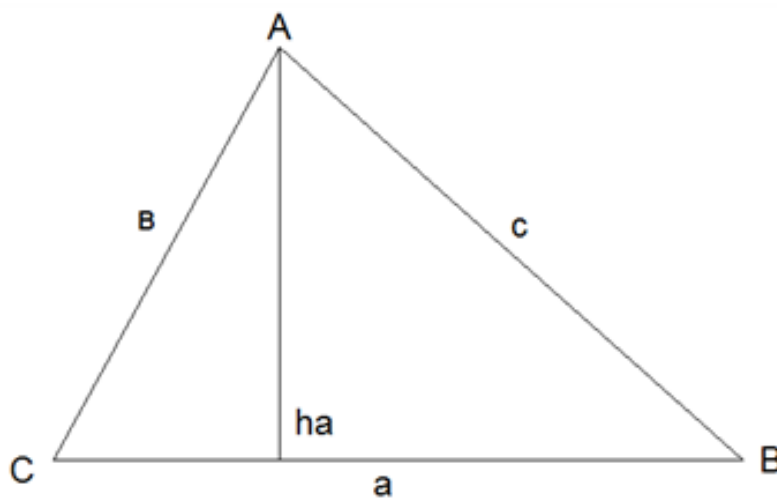


Рис. 2 Произвольный треугольник ABC

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos A; \quad (1)$$

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c}. \quad (2)$$

Продифференцируем (2) по a , b , c и A [6]:

$$-\sin A dA = -\frac{2a}{2 \cdot b \cdot c} da + \left(\frac{b^2 - c^2 + a^2}{2 \cdot b^2 \cdot c} \right) db + \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot b \cdot c^2} \right) dc;$$

$$dA = \frac{a}{b \cdot c \cdot \sin A} \left(da - \left(\frac{b^2 - c^2 + a^2}{2 \cdot a \cdot b} \right) db - \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c} \right) dc \right),$$

где

$$h_a = \frac{b \cdot c \cdot \sin A}{a};$$

$$\frac{1}{h_a} = \frac{a}{b \cdot c \cdot \sin A};$$

$$\frac{b^2 - c^2 + a^2}{2 \cdot a \cdot b} = \cos C;$$

$$\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c} = \cos B;$$

Тогда $dA = \frac{1}{h_a}(da - \cos Cdb - \cos Bdc)$.

Аналогично выполняем для углов В и С:

$$dB = \frac{1}{h_b}(db - \cos Cda - \cos Adc);$$

$$dC = \frac{1}{h_c}(dc - \cos Adb - \cos Bda).$$

От дифференциалов переходим к поправкам измеренных длин сторон и получаем систему следующих уравнений:

$$\begin{cases} Va = \frac{\rho}{h_a}(Va - \cos C \cdot Vb - \cos B \cdot Vc) \\ Vb = \frac{\rho}{h_b}(Vb - \cos C \cdot Va - \cos A \cdot Vc) \\ Vc = \frac{\rho}{h_c}(Vc - \cos A \cdot Vb - \cos B \cdot Va) \end{cases}$$

От поправок переходим к среднеквадратическим ошибкам углов [7]:

$$\begin{cases} m_A^2 = \frac{\rho}{h_a^2}(m_a^2 + \cos^2 C \cdot m_b^2 + \cos^2 B \cdot m_c^2) \\ m_B^2 = \frac{\rho}{h_b^2}(m_b^2 + \cos^2 C \cdot m_a^2 + \cos^2 A \cdot m_c^2) \\ m_C^2 = \frac{\rho}{h_c^2}(m_c^2 + \cos^2 A \cdot m_b^2 + \cos^2 B \cdot m_a^2) \end{cases}$$

Предположим, что стороны измеряются равноточно, тогда:

$$\begin{cases} m_A^2 = \frac{\rho^2 m_D^2}{h_a^2} (1 + \cos^2 C + \cos^2 B) \\ m_B^2 = \frac{\rho^2 m_D^2}{h_b^2} (1 + \cos^2 C + \cos^2 A) \\ m_C^2 = \frac{\rho^2 m_D^2}{h_c^2} (1 + \cos^2 A + \cos^2 B) \end{cases}$$

Чтобы значение всех углов в треугольнике было вычислено с одинаковой точностью, должны соблюдаться следующие условия:

$$1 + \cos^2 C + \cos^2 B = 1 + \cos^2 C + \cos^2 A = 1 + \cos^2 A + \cos^2 B ; \\ h_a^2 = h_b^2 = h_c^2 .$$

Равенство выполняется при условии, что $a = b = c = D$, то есть треугольник равносторонний ($A = B = C = 60^\circ$), тогда:

$$h_a = h_b = h_c = \frac{3 \cdot D}{\sqrt{2}} .$$

Следовательно, искомая СКП вычисления угла по измеренным сторонам:

$$m_\beta^2 = m_A^2 = m_B^2 = m_C^2 = \frac{4 \cdot \rho^2 \cdot m_D^2}{3 \cdot D^2} (1 + 2 \cdot \cos^2 60) = \frac{2 \cdot \rho^2 \cdot m_D^2}{D^2} .$$

Искомая СКП вычисления угла по измеренным сторонам:

$$m_\beta = \frac{\rho \cdot m_D \cdot \sqrt{2}}{D} , \quad (3)$$

где m_D – СКП измерения стороны;

D – измеряемая сторона;

$\frac{m_D}{D}$ – относительная ошибка стороны;

ρ – коэффициент перехода от угловых величин к линейным (206265).

Проведем априорную оценку погрешности измерения горизонтальных углов по формуле (3) (таблица).

Априорная оценка погрешности измерения горизонтальных углов.

Априорная оценка точности

Расстояние, м	m_d , СКП, мм	m_β , СКО, "
100	2,2	6,4
200	2,4	3,5
300	2,6	2,5
500	3,0	1,8

Допустимые предельные погрешности [1, 2, 4, 7, 8]:

- плановой геодезической основы ± 6 мм;
- высотного положения временных реперов ± 5 мм;
- относительная СКП базисной стороны не менее 1: 100 000;
- относительная СКП определения в наиболее слабом месте 1: 50 000;

Исходя из анализа (3) для сгущения планового положения пунктов ГРО был выбран метод трилатерации.

Полевой этап работ.

Особенности работы при закреплении знаков пленочными отражателями

В настоящее время для закрепления пунктов плановой геодезической разбивочной сети в условиях плотной застройки широко применяются отражательные пленки ОП. Вместе с тем, закрепление пунктов сети отражательными пленками определяет некоторые особенности выполнения геодезических работ.

Одна из особенностей заключается в том, что при измерениях на отражательные пленки в большинстве случаев не соблюдается условие перпендикулярности луча к поверхности отражателя. Это вызвано тем, что отражательные пленки, как правило, непосредственно наклеиваются на боковые поверхности окружающих зданий и сооружений, таким образом, они ориентированы только в одном направлении. Но, учитывая многообразие геодезических работ на строительной площадке, данный способ закрепления пунктов плановой геодезической разбивочной сети не представляется возможным.

Практика работ показывает, что линейные измерения на отражательные пленки возможны только, если измеряемое расстояние и угол падения луча не превышают предельных значений. Проблема заключается в том, что данные отражательные характеристики (предельный угол падения $\beta_{пр}$, и предельная дальность измерений $S_{пр}$) указываются производителями геодезического оборудования ориентировочно. Так, известно, что предельная дальность измерений зависит от размера отражателя и для большинства современных тахеометров составляет 250–300 м (на ОП50, где цифрами обозначается размер стороны отражательной пленки в мм), для тахеометров более ранних серий – 100–150 м. Предельный угол падения луча составляет около 30° . Подробный анализ приведен в работах [9,10].

Плановые измерения

Перед началом полевых работ производилась рекогносцировка на Участке № 3, определялись места закладки марок ОП-50. Намечался порядок производства геодезических работ.

Линейные измерения выполнялись точным электронным тахеометром SET230RK3, с погрешностью измерений длин сторон $m_D = 2 \text{ мм} + 2D \text{ км}$. Схема пунктов ГРО представлена на рис. 3.

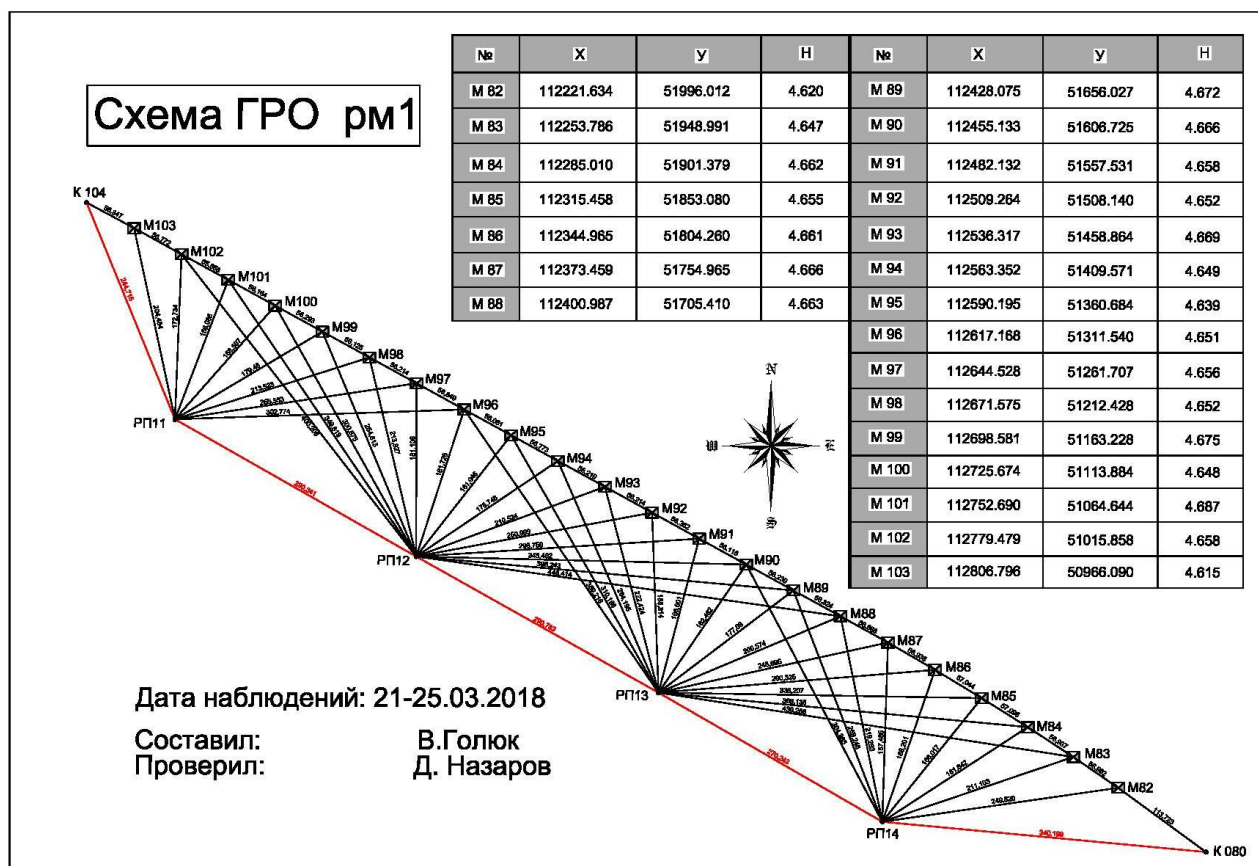


Рис. 3. Схема пунктов ГРО

Полевые измерения производились на пленочные отражатели тремя приемами и при двух кругах [11, 12]. В некоторых случаях из-за неблагоприятной схемы расположения пунктов недоступные длины сторон определялись по теореме косинусов с использованием встроенного программного обеспечения электронного тахеометра. При этом измерения выполнялись многократно с различных стоянок прибора. Перед измерением сторон в электронный тахеометр вводились поправки за температуру и давление.

Предварительный расчет точности планового положения

Ступение сети произведено методом косвенной трилатерации (использована программа электронного тахеометра «Определение недоступного расстояния»). Уравнивание линейных измерений было выполнено по методу наименьших квадратов с опиранием на 6 исходных пунктов. Среднеквадратические погрешности СКП определения координат пунктов плановой геодезической основы не превысили допустимой величины 6 мм.

Рассмотрим точность сети, построенной с реализацией приведенных исходных данных. В основу расчета точности положим следующие значения СКП измерений:

- СКП измерения угла $m_\beta = 2''$;
- СКП измерения линии $m_D = 2 \text{ мм} \cdot 2D \text{ км}$;
- СКП измерения при расстояниях до 250 м: $m_D = 2,5\sqrt{2} \text{ мм} = 3,5 \text{ мм}$;

В процессе камеральной обработки в измеренные стороны вводились поправки [13–19]:

- за приведение линии к уровню моря:

$$\Delta H = -\frac{H_{cp}}{R_{зем}} D; \quad (4)$$

- за редуцирование на плоскость в проекции Гаусса

$$\Delta H = \frac{y^2}{2R_{зем}^2} D, \quad (5)$$

где R – радиус Земли 6371 км.;

D – измеренная сторона км.

Уравнивание сети ГРО выполнено строгим математическим методом (методом максимального правдоподобия) [8, 14, 15] с наложением условия: $[PV^2] = \min$. По программе NV, разработанной на кафедре ПГУПС профессором Коугия В.А., в качестве исходных пунктов были приняты РП14, РП113, РП12, РП11, К80, К104, которые по материалам полевых наблюдений менее всего подвержены сезонным колебаниям.

Исходя из априорной оценки точности (таблица 1), погрешность определения горизонтальных углов составляет 1,8–3,5". При этом необходимо измерять углы точными геодезическими приборами, большим числом приемов в утренние или вечерние часы, что ведет к значительной потере времени.

Использование метода трилатерации через водное препятствие позволяет оперативно и без потери точности решить поставленную задачу. По материалам уравнивания погрешности пунктов ГРО не превысили допуск ± 3 мм в плане [2, 4].

**Высотное положение пунктов сгущения ГРО.
Предварительный расчет точности геометрического
нивелирования выполненного по программе III класса**

На основании критерия Райта-Шовене [2]:

$$\delta = tm, \quad (6)$$

где t – величина равная 2; 2,5; 3, указанная при разработке проекта производства геодезических работ (в нашем случае 2,5);

m – среднеквадратическая погрешность СКП;

Получим среднеквадратическую погрешность [20]:

$$f = 10\sqrt{1,2} = 11 \text{ мм}, \quad (7)$$

$$m = \frac{\Delta_{пред}}{\tau} \sqrt{1,2} = 4,4 \text{ мм}, \quad (8)$$

где D – длина хода в километрах 1200 м;

$\Delta_{пред}$ – предельное отклонение.

**Предварительный расчет точности
тригонометрического нивелирования**

Рассмотрим метод тригонометрического нивелирования. При односторонних измерениях превышение вычисляют по формуле:

$$h = D \cdot ctg(Z) + i + f - l, \quad (9)$$

где D – горизонтальное проложение;

Z – зенитное расстояние;

$f = \frac{(1-k)}{2R} D^2$ – поправка за кривизну земли и рефракцию;

R – средний радиус Земли (6371 км);

k – коэффициент рефракции (0,13 – 0,14);

i – высота инструмента;

l – высота визирной цели.

Рассмотрим источники погрешности тригонометрического нивелирования на основании принципа равных влияний с учетом кривизны Земли и рефракции [6]:

$$m_h = \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial D}\right)^2 m^2 d + \left(\frac{\partial h}{\partial z}\right)^2 \frac{m^2_z}{\rho^2} + \left(\frac{\partial h}{\partial k}\right)^2 m^2_k + \left(\frac{\partial h}{\partial i}\right)^2 m^2_i + \left(\frac{\partial h}{\partial l}\right)^2 m^2_l}, \quad (10)$$

где m_d – СКО измерения расстояния;

m_z – СКО измерения зенитного расстояния;

m_K – СКО определения коэффициента рефракции;

m_i и m_v – СКО измерения высоты инструмента и визирной цели;

$\rho = 206265$ – коэффициент перехода от угловых величин к линейным (модуль сопряжения).

Получим формулу априорной оценки тригонометрического нивелирования с учетом кривизны земли и рефракции [6]:

$$m_h = \sqrt{(m_D \operatorname{ctg} z)^2 + \left(\frac{m_z D}{\rho \sin^2 z}\right)^2 + \left(\frac{m_K D^2}{2R \sin^2 z}\right)^2 + m_i^2 + m_v^2}. \quad (11)$$

Примем, что измерения проводятся электронным тахеометром SET230 $m_D = 2$ мм, $m_z = 2''$, $m_K = 0,05''$, $Z = 70^\circ$, $D = 100$ м, $m_i = 1$ мм, $m_v = 1$ мм. Тогда для принятых значений получим $m_h = \frac{1,5}{\sqrt{2}} = 1,1$ мм.

Рассмотрим источники погрешности тригонометрического нивелирования на основании принципа равных влияний без учета кривизны Земли и рефракции с вышеуказанными исходными данными

$$m_h = \sqrt{(m_D \operatorname{ctg} z)^2 + \left(\frac{m_z D}{2R \sin^2 z}\right)^2 + m_i^2 + m_v^2} = \frac{1,9}{\sqrt{2}} = 1,3 \text{ мм}. \quad (12)$$

Составляющая ошибки тригонометрического нивелирования по точности определения коэффициента рефракции пропорциональна квадрату расстояния. Поэтому влияние правильности определения коэффициента рефракции на точность тригонометрического нивелирования значительно возрастает с увеличением расстояний.

Заключение

Предложенная в статье методика сгущения геодезической разбивочной основы при строительстве железнодорожной части Керченского мостового перехода сочетает в себе комбинированный подход.

Выполнена априорная оценка погрешности применения метода трилатерации, а также косвенной трилатерации по сравнению с методом триангуляции. В методе триангуляции необходимо измерять углы высокоточными геодезическими приборами, большим числом приемов в утренние или вечерние часы, что ведет к значительной потере времени. Использование метода трилатерации через водное препятствие позволяет оперативно и без потери точности решить поставленную задачу.

Проверка положения постоянных и временных реперов (расположенных на монтажном горизонте) выполнялась так же комбинированным методом геометрического и тригонометрического нивелирования. Выполнено сравнение погрешности применяемых методов, предложена методика передачи отметок на монтажный горизонт.

По результатам полевых измерений получены откорректированные высоты контрольных точек, крайних блоков металлоконструкции пролетного строения русловой части моста. Выполнена увязка высотной составляющей на разных берегах, и на основании полученных данных проектной организацией были выполнены расчеты и внесены изменения для дальнейшего успешного соединения русловых частей мостового перехода на участке №3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ООО «ГЕОАСПЕКТ» Проект производства геодезических работ ППГР «Строительство мостового перехода через Керченский пролив». М 2017. – С. 47–52.
2. СП126.13330.2017 Издание официальное. Геодезические работы в строительстве. М., 2017. – 6 с.
3. ГОСТ 21778-81 Издание официальное. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения. М 1981. – С. 2–6.
4. СП46.13330.2012 Издание официальное. Мосты и трубы. М. 2012г. – С. 3–7.
5. Коугия В.А., Грузинов В.В., Малковский О.Н., Петров В.Д.. Геодезические работы при строительстве мостов – М.: Недра, 1986. – 248 с.
6. Машимов, М. М. Уравнение геодезических сетей М.: ВИА, 1973. – С 53–57.
7. Кожухов И.Б., Прокофьев А.А. Универсальный справочник по математике– М. Лист Нью, 2003. – С. 423–424.
8. В.А. Коугия Избранные труды СПб.: ПГУПС, 2012. – С. 378–410.
9. Афонин Д.А. Построение геодезической разбивочной сети, закрепляемой пленочными отражателями // Записки Горного института. – Т.199. – С. 122–127.
10. Афонин Д.А. Контроль стабильности пунктов геодезической сети при геодезическом контроле деформаций инженерных сооружений // Геодезия и картография. СПб., 2013 №5. – С. 6–11.
11. Красовский Ф.Н., Данилов В.В. Руководство по высшей геодезии Часть I вып.2 М.: Ред.бюро ГУГК при СНК СССР, 1939. – 412 с.
12. СП 11-104-97 Издание официальное. Инженерно геодезические изыскания для строительства. М. 1997. – С. 17–34.
13. Пособие по производству геодезических работ в строительстве (к СНиП 3.01.03.-84), М. 1985. – С. 22–23.
14. Гайдаев П.А. Математическая обработка геодезических сетей М.: Недра, 1977. – 115 с.
15. ПНСТ 328-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Геодезические сети для проектирования и строительства. Технические требования. М., 2018. – С. 8–11.
16. Зайцев А.К. Трилатерация. М.: Недра, 1985. – С. 47–184.
17. Ермаков В.С. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации мостовых и воднотранспортных сооружений. СПб.: СПбГТУ, 2001. – С. 157–217.
18. Баландин В.Н., Брынь М.Я., Меньшиков И.В., Фирсов Ю.Г. Влияние плоских прямоугольных координат, сближение меридианов и масштаба проекции Гауса в 6-ти градусной зоне по геодезическим координатам // Геодезия и картография. СПб., 2014 №5. –С. 11–13.

19. Баландин В.Н., Брынъ М.Я., Меньшиков И.В., Фирсов Ю.Г. К вопросу вычисления геодезической высоты по пространственным прямоугольным координатам // Геодезия и картография. СПб., 2012 №1. – С. 2–4.

20. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03 Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов, М., ЦНИИГАиК, 2004. – 120 с.

© В. П. Голюк, Д. Г. Назаров, 2020

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ГЕОДЕЗИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ
УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ
НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОЖНОГО
МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ**

Виктор Петрович Голюк

ООО «Мостовое бюро», 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Яблочкова, 12Ц, ведущий инженер-геодезист, тел. (812)703-36-93, e-mail: bridges-bureau@gpsm.ru

Денис Григорьевич Назаров

ООО «Мостовое бюро», 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Яблочкова, 12Ц, начальник отдела инженерной геодезии, тел. (812)703-36-93, e-mail: nazarovdg1916@mail.ru

При строительстве мостовых сооружений особое внимание уделяется геометрическим параметрам, одним из важнейших параметров ездового полотна является ровность оснований и покрытий. Геодезические работы предусматривают комплексный подход к решению задачи по контролю ровности слоев оснований, который включает в себя: геодезическую съемку ездового полотна, проверку рабочей документации, контроль выставления копирной струны, геометрический контроль ровности уложенного асфальтобетонного покрытия плиты проезжей части для сталежелезобетонного пролетного строения и мостового полотна для металлического пролетного строения. Рассматривались и апробировались разные варианты контроля высотного положения копирной струны и уложенного асфальтобетонного покрытия (методами тригонометрического и геометрического нивелирования). Предварительно выполнена априорная оценка точности результатов измерений для каждого из методов контроля алгебраической разности высотных отметок (амплитуд). В статье предлагается комбинированный подход к геодезическому контролю на всех стадиях производства работ по проверки ровности асфальтобетонного покрытия.

Ключевые слова: ровность оснований и покрытий, геометрическое нивелирование, тригонометрическое нивелирования, априорная оценка точности результатов измерений, алгебраическая разность высотных отметок (амплитуд).

**INTEGRATED APPROACH TO THE GEODESIC CONTROL
OF THE INSTALLATION OF ASPHALT-CONCRETE COATING
ON THE EXAMPLE OF THE CONSTRUCTION
OF THE ROAD BRIDGE TRANSITION ACROSS THE KERCH SHEET**

Victor P. Goluk

LLC «Bridge Bureau», 12TS, Yablochkova, St.Petersburg, 197198, Russia, Leading Surveyor, phone: (812)703-36-93, e-mail: bridges-bureau@gpsm.ru

Denis G. Nazarov

LLC «Bridge Bureau», 12TS, Yablochkova, St.Petersburg, 197198, Russia, Head of Engineering Geodesy Department, phone: (812)703-36-93, e-mail: bridges-bureau@gpsm.ru, phone: (812)703-36-93, e-mail: nazarovdg1916@mail.ru

During the construction of bridges, special attention is paid to geometric parameters, one of the most important parameters of the rideable bed is the evenness of the bases and coatings. Geodetic works provide an integrated approach to solving the problem of controlling the flatness of the base layers, which includes: geodetic survey of the rideable canvas, verification of working documentation, control of the copying string, geometric control of the evenness of the laid asphalt concrete floor slab for the steel concrete span and bridge deck for a metal span structure. Various options for controlling the height position of a copier string and a laid asphalt concrete pavement (using trigonometric and geometric leveling) were reviewed and tested. A priori assessment of the accuracy of the measurement results for each of the methods for monitoring algebraic difference of elevations (amplitudes) was previously performed. The article proposes a combined approach to geodetic control at all stages of work on checking the evenness of the asphalt concrete pavement.

Key words: evenness of bases and coatings, geometric leveling, trigonometric leveling, priori assessment of the accuracy of measurement results, algebraic difference of elevations (amplitudes).

Введение

Транспортный переход через Керченский пролив является крупнейшим проектом в истории отечественного мостостроения. Крымский мостовой переход – это грандиозное сооружение. В общей сложности его протяженность составляет 19 километров, на которых построены автомобильная и железная дороги. Интенсивность движения по автомагистрали в обоих направлениях составляет почти 40 тысяч автомобилей в сутки. А по железной дороге за такой же промежуток времени проходит более сотни поездов. Основные технические характеристики мостового перехода представлены ниже.

Внеклассный большой мост начинается на Таманском полуострове, пересекает акваторию Керченского пролива и заканчивается на Керченском полуострове.

Схема моста для автодороги $L_p = 218 \times 63 + 220 + 54 \times 63$ м. Длина автодорожного моста – $L = 17728,4$ м. Параметры автомобильной дороги: категория дороги – I б; Габарит проезжей части – 2Г– 11,5 м. Наличие тротуаров предусматривает два служебных похода.

Пролетные строения автодорожного моста длиной 63 м разрезные, балочные сплошностенчатые, сталежелезобетонные с ездой поверху, индивидуальной проектировки. В поперечном сечении имеют четыре главные балки жесткости двутаврового сечения. Главные балки объединены поверху поперечными балками, установленными с шагом 3 м. Высота главных балок 3,6 м.

Пролетное строение автодорожного моста длиной 220 м выполнено в виде арки с жесткой затяжкой, цельнометаллическое, с ортотропной плитой проезжей части. Подвески – гибкие из высокопрочных прядей. Деформационные швы модульного типа с допускаемыми перемещениями $\pm 40, \pm 120, \pm 160$ мм. Одежда ездового полотна автопроезда и тротуаров принята из асфальтобетонной мелкозернистой смеси типа Б марки I [1] толщиной 110 мм, состав которой должен соответствовать требованиям по работе дорожной одежды на ортотропной плите. Общий вид мостового перехода через Керченский пролив представлен на рис. 1.



Рис. 1. Мостовой переход через Керченский пролив

Постановка задачи

Для качественного выполнения работ по укладке асфальтобетонного покрытия в соответствии с [2] на всех стадиях выполнения работ необходим комплексный подход по контролю геометрических параметров. Для этого ставится задача в получении корректных исходных данных для разработки картограммы толщин асфальтобетонного покрытия, анализа проектных решений по картограммам толщин асфальтобетонного покрытия. Контролю выставления копирных струны, при укладке нижнего слоя асфальтобетонного покрытия. Геометрическому контролю нижнего слоя асфальтобетонного покрытия. Контролю ровности верхнего слоя асфальтобетонного покрытия.

Подготовительный этап

Проектная организация при разработке рабочей документации (РД) выдает в табличной форме ведомость толщин асфальтобетонного покрытия по створам (рис. 2).

В картограмме толщин проезжей части указываются параметры, приведенные в табл. 1.

В табл. 1 Δ за прогиб – величина прогиба пролетного строения с учетом асфальтобетонного покрытия и временной нагрузки от подвижного состава; $R_{\text{кривой}}$, – радиус вертикальной кривой между контрольными точками.

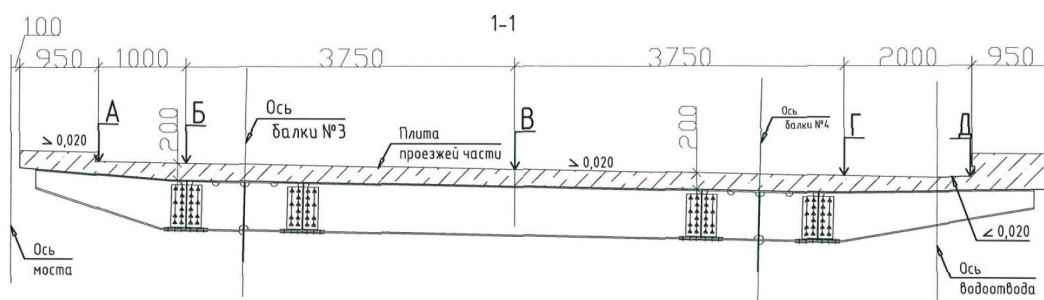


Рис. 2. Схема картограммы плиты проезжей части

Таблица 1

Картограмма толщин плиты проезжей части

№ сечения	ПК	Отметки струны, м						Отметки асфальта 40% врем.нагрузки, м							
		А	Б	В	Г	ось водоотвода	Д	А	Б	В	Г	ось водоотвода	Д		
1	99+05,99	8,724	8,704	8,629	8,554	8,522	8,514	8,724	8,704	8,629	8,554	8,522	8,514		
2	99+07,95	8,727	8,707	8,632	8,557	8,525	8,517	8,724	8,704	8,629	8,554	8,522	8,514		
3	99+10,00	8,730	8,710	8,635	8,560	8,528	8,520	8,724	8,704	8,629	8,554	8,522	8,514		
4	99+15,00	8,738	8,718	8,643	8,568	8,536	8,528	8,724	8,704	8,629	8,554	8,522	8,514		
5	99+20,00	8,744	8,724	8,649	8,574	8,542	8,534	8,725	8,705	8,630	8,555	8,523	8,515		
6	99+25,00	8,751	8,731	8,656	8,581	8,549	8,541	8,726	8,706	8,631	8,556	8,524	8,516		
7	99+30,00	8,751	8,731	8,656	8,581	8,549	8,541	8,726	8,706	8,631	8,556	8,524	8,516		
8	99+35,00	8,752	8,732	8,657	8,582	8,550	8,542	8,726	8,706	8,631	8,556	8,524	8,516		
9	99+40,00	8,749	8,729	8,654	8,579	8,547	8,539	8,725	8,705	8,630	8,555	8,523	8,515		
10	99+45,00	8,745	8,725	8,650	8,575	8,543	8,535	8,724	8,704	8,629	8,554	8,522	8,514		
№ сечения	Рабочие отметки, м						Δ за прогиб, м						Rкривой, м		
	А	Б	В	Г	ось водоотвода	Д	А	Б	В	Г	ось водоотвода	Д	5 м	10 м	20 м
1							0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
2	0,121	0,131	0,125	0,114	0,109	0,101	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	прямая		
3	0,129	0,135	0,125	0,121	0,126	0,117	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	прямая	-100000	
4	0,124	0,131	0,131	0,135	0,129	0,120	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	-25000	-50000	
5	0,111	0,133	0,127	0,126	0,124	0,118	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	прямая	прямая	400000
6	0,106	0,115	0,118	0,121	0,125	0,110	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	25000	50000	100000
7	0,100	0,123	0,124	0,129	0,140	0,115	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	прямая	50000	100000
8	0,096	0,113	0,119	0,122	0,114	0,109	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	25000	50000	100000
9	0,103	0,121	0,122	0,127	0,122	0,107	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	прямая	прямая	прямая
10	0,104	0,130	0,123	0,122	0,122	0,115	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	-25000	-50000	-100000

Для выполнения геодезической съемки рекомендовано закладывать временные репера [3, 4] в середине пролета над опорами в банкетную часть пролетного строения сверлением либо приваркой мебельных болтов с обеспечением дальнейшей их сохранности на весь период выполнения работ по укладке асфальтобетонного покрытия (табл. 2).

На основании проектных решений выполняется установка деформационных швов. При этом выполняется геометрический контроль рабочей поверхности деформационного шва. Точность установки в плане 5 мм, по высоте от 0 до минус 3 мм в соответствии с требованиями [4–8], которая, в свою очередь, должна обеспечивать заданную плавность сопряжения поверхности окаймления деформационного шва с последующим укладываемым асфальтобетонным покрытием.

Данные геодезической съемки

№ сечения	ПК	банкетка	кромка	1 м	4,750	8,500	10,100	кромка2	банкетка2
ДШ151				8,702	8,627	8,550			
1	99+05,99								
2	99+07,95	8,745	8,600	8,570	8,501	8,437	8,410	8,410	8,662
3	99+10,00	8,747	8,595	8,569	8,504	8,433	8,396	8,397	8,646
4	99+15,00	8,762	8,608	8,581	8,506	8,427	8,401	8,402	8,660
5	99+20,00	8,769	8,627	8,585	8,516	8,442	8,412	8,410	8,655
6	99+25,00	8,790	8,639	8,610	8,532	8,454	8,418	8,425	8,676
7	99+30,00	8,790	8,645	8,602	8,526	8,446	8,403	8,420	8,675
8	99+35,00	8,807	8,650	8,613	8,532	8,454	8,430	8,427	8,671
9	99+40,00	8,790	8,640	8,602	8,526	8,446	8,419	8,426	8,680
10	99+45,00	8,778	8,635	8,589	8,521	8,447	8,415	8,414	8,677

Подрядная организация, выполняющая работы по устройству плиты проезжей части для сталежелезобетонного пролетного строения, выполняет, при необходимости, работы по доведению поверхности плиты проезжей части до указанных проектной организацией высотных отметок (табл. 1).

После проведения контрольных измерений высотной составляющей участков, на которых выполнялись работы по шлифовке, производятся работы по устройству гидроизоляционного покрытия.

Устройство нижнего слоя асфальтобетонного покрытия

При геодезической разбивке устанавливаются кронштейны. Согласно схеме, приведенной на рис. 3, вдоль кромки будущего покрытия и параллельно ему восстанавливают краской разметку с закреплением точек, центры которых соответствуют очертанию кромки будущего покрытия, по которым предварительно была выполнена геодезическая съемка и выдана картограмма толщин. Расстояние точек от кромки должно быть таким, чтобы они находились в зоне, доступной для щупового датчика системы нивелирования асфальтоукладочного комплекса. Также учитывалось расстояние между кронштейнами (5 м) и провисание копирной струны.

Копирные струны являются базой для работы автоматических систем обеспечения ровности, поэтому точность и тщательность выполнения операций по установке копирных струн является одним из важнейших условий обеспечения качества работ. Установку копирных струн производят перед устройством асфальтобетонного покрытия. Для установки струн необходимы металлические стойки в комплекте с поперечными штангами и струбцинами. Штанги закрепляются на стойках на требуемой высоте с помощью зажимных винтов, и они могут перемещаться по стойке в горизонтальной плоскости в струбцине. На конце штанги имеется прорезь для установки в нее струны. Струны устанавливают с одной стороны проезжей части. Струна должна быть строго параллельна оси дороги

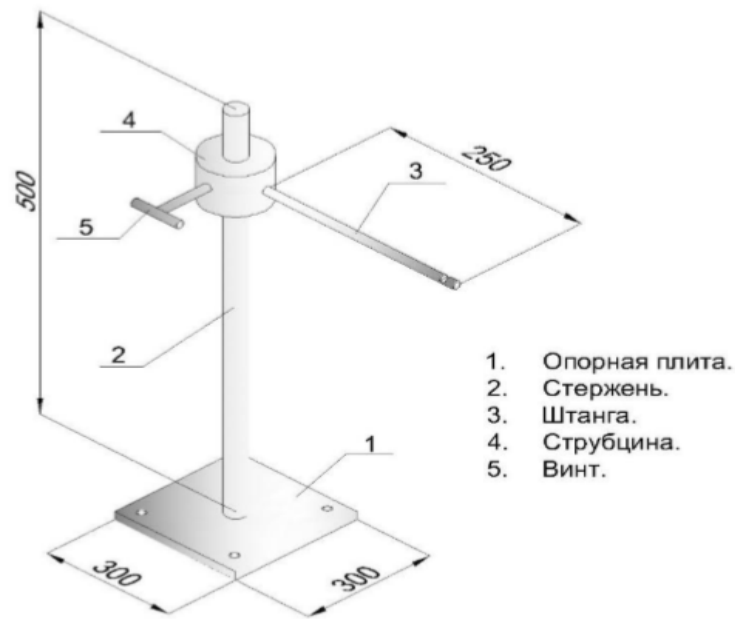


Рис. 3. Кронштейн для установки копирной струны

Металлические стойки с поперечными штангами и струбцинами устанавливаются так, чтобы штанга, на которой будет лежать копирная струна, была точно над ранее закрепленной точкой. С помощью нивелира закрепляется струбциной штанга на высоте h , рассчитываемая по формуле:

$$h = a + Const + b + c, \quad (1)$$

где a – рабочая отметка, полученная в результате наложения проектного продольного профиля на фактический продольный профиль существующего основания;

$Const$ – высота установки считывающего датчика, относительно плиты асфальтоукладчика;

b – величина, учитывающая коэффициент уплотнения;

c – величина, учитывающая строительный подъем.

После этого производится геодезическая съемка по штангам (методом тригонометрического нивелирования).

Результаты пересчитываются на абсолютные отметки по формуле:

$$HP = H - c - b - Const, \quad (2)$$

где H – отметка, полученная в результате геодезической съемки по штангам;

$Const$ – высота установки считывающего датчика, относительно плиты асфальтоукладчика;

b – величина, учитывающая коэффициент уплотнения;

c – величина, учитывающая строительный подъем.

Полученные отметки проверяются с помощью метода амплитуд на правильность установки струны. При необходимости делается корректировка. Следует отметить, что все геодезические работы и работы по установке копирной струны производятся на подготовленной плите мостового полотна, освобожденной от каких-либо сторонних нагрузок, а именно: дорожно-строительной техники, дополнительных временных ограждающих конструкций, вспомогательных приспособлений и механизмов, не относящихся к конструкции мостового перехода. После установки стоек производят натяжение струн.

Контроль геометрических параметров

Оценка ровности покрытия при контроле качества строительных работ регламентируется СП 78.13330.2012. Параметры ровности оснований и покрытий а/д в этом способе оцениваются в соответствии с СП 78.13330.2012. Также, для определения длинных (затяжных) волн используется метод амплитуд. Измерения ровности поверхности основания и покрытия следует вести путем нивелировки на расстоянии 0,5–1,0 м от каждой кромки покрытия или края полосы движения с шагом 5 м, захватками около 220 м. На основании полученных вертикальных отметок следует вычислять алгебраические разности отметок точек (амплитуда) по формуле:

$$\delta h_i = \frac{h_{i-k} + h_{i+k}}{2} - h_i \pm \Delta_i, \quad (3)$$

где h_i – относительная отметка точки, для которой оценивается отклонение;

h_{i-k} и h_{i+k} – относительные отметки предыдущей и последующей точек соответственно;

i – порядковый номер точки;

$i - k$ и $i + k$ – порядковые номера предыдущей и последующей точек;

Δ_i – значение поправки, учитывающей радиус вертикальной кривой:

$$\Delta_i = 125 \frac{L^2}{R}, \quad (4)$$

где L – длина прямой между смежными точками, м;

R – радиус вертикальной кривой, м.

С помощью данной формулы производится вычисление ровности, при этом если участок находится на вертикальной кривой, в результат вводится поправка (табл. 2), которая предусматривает получение значений по модулю, однако, для наглядности, значения неровностей целесообразно брать истинными. Пример полевого контроля ровности выставяемой струны приведен на рис. 4.



Рис. 4. Камеральная обработка результатов измерений ровности копирной струны

Вычисления неровностей производится для амплитуд 5, 10, и 20 м со сдвигом на 5 м. Затем производится подсчет неровностей, превышающих допустимое значение. При этом 90 % определений должны быть в пределах, указанных в табл. 1, а 10 % определений не должны превышать эти значения более чем в 1,5 раза.

По результатам геодезической съемки выполнялась корректировка установленной копирной струны (рис. 5) на соответствие требованиям ровности асфальтобетонного покрытия [6, 9–14].



Рис. 5. Контроль высотного положения копирной струны

Пример расчета приведен в табл. 3 (расчет ровности копирной струны)

Таблица 3

Расчет ровности копирной струны

№ сечения	ПК	Отметки струны проект, м		Отметки струны факт, м		ΔН, мм		Δ за прогиб, м		Δ на уплотнение, м		Ркривой, м			с шагом 5м допуск 5мм		с шагом 10м допуск 8мм		с шагом 20м допуск 16мм	
		А	Д	А	Д	А	Д	А	Д	А	Д	5 м	10 м	20 м	А	Д	А	Д	А	Д
1	99+05,9 9	8,984	8,774	8,984	8,774	0	0	0,000	0,000	0,010	0,010									
2	99+07,9 5	8,990	8,777	8,989	8,778	-1	1	0,003	0,003	0,014	0,011	прямая			-1	1				
3	99+10,0 0	8,994	8,782	8,994	8,782	0	0	0,006	0,006	0,014	0,012	прямая	-100000		0	0	0	-1		
4	99+15,0 0	9,002	8,793	9,002	8,792	0	-1	0,014	0,014	0,014	0,014	-25000	-50000		1	-1	2	-2		
5	99+20,0 0	9,009	8,797	9,007	8,799	-2	2	0,019	0,019	0,014	0,013	прямая	прямая	400000	-1	1	-2	2	-1	1
6	99+25,0 0	9,012	8,803	9,010	8,804	-2	1	0,025	0,025	0,011	0,012	25000	50000	100000	-2	1	-2	2	-1	0
7	99+30,0 0	9,014	8,805	9,015	8,804	1	-1	0,025	0,025	0,012	0,013	прямая	50000	100000	1	-1	3	-2	2	0
8	99+35,0 0	9,013	8,804	9,014	8,803	1	-1	0,026	0,026	0,011	0,012	25000	50000	100000	2	-1	2	-2	1	-1
9	99+40,0 0	9,011	8,802	9,009	8,802	-2	0	0,024	0,024	0,012	0,013	прямая	прямая	прямая	-3	0	-2	1	-1	-1
10	99+45,0 0	9,008	8,797	9,009	8,798	1	1	0,021	0,021	0,014	0,012	-25000	-50000	-100000	2	1	-1	2	1	0

В табл. 3 Δ на уплотнение – это расчетная величина на уплотнение асфальтобетонного покрытия.

Далее выполнялся контроль геометрических параметров нижнего слоя асфальтобетонного покрытия.

Описание методики выполнения геодезического контроля методом тригонометрического нивелирования

Рассмотрим метод тригонометрического нивелирования. При односторонних измерениях превышение вычисляют по формуле:

$$h = D \cdot ctg(Z) + i + f - l, \quad (5)$$

где D – горизонтальное проложение;

Z – зенитное расстояние;

f – поправка за кривизну земли и рефракцию:

$$f = \frac{(1-k)}{2R} D^2, \quad (6)$$

где R – средний радиус Земли (6371км);

k – коэффициент рефракции (0,13 – 0,14);

i – высота инструмента;
 l – высота визирной цели.

Рассмотрим источники погрешности тригонометрического нивелирования на основании принципа равных влияний:

$$m_h = \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial d}\right)^2 m_d^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial z}\right)^2 \frac{m_z^2}{\rho^2} + \left(\frac{\partial h}{\partial k}\right)^2 m_k^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial i}\right)^2 m_i^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial l}\right)^2 m_l^2}, \quad (7)$$

где m_d – СКО измерения расстояния;

m_z – СКО измерения зенитного расстояния;

m_k – СКО определения коэффициента рефракции,

m_i и m_l – СКО измерения высоты инструмента и визирной цели;

$\rho = 206265$ – коэффициент перехода от угловых величин к линейным (модуль сопряжения).

Получим формулу априорной оценки тригонометрического нивелирования с учетом кривизны земли и рефракции [15]:

$$m_h = \sqrt{(m_d \operatorname{ctg} z)^2 + \left(\frac{m_z D}{\rho \sin^2 z}\right)^2 + \left(\frac{m_k D^2}{2R \sin^2 z}\right)^2 + m_i^2 + m_v^2}. \quad (8)$$

Примем, что измерения проводятся электронным тахеометром SET230, для которого $m_d = 1$ мм, $m_z = 1,5''$, $m_k = 0,1''$, $Z = 88^\circ$, $D = 110$ м, тогда для принятых значений получим $m_h = 1,5$ мм.

Составляющая ошибки тригонометрического нивелирования зависит от погрешности определения коэффициента рефракции и значительно возрастает с увеличением расстояния (D).

Если составляющая ошибки тригонометрического нивелирования по точности определения коэффициента рефракции пропорциональна квадрату расстояния, то влияние правильности определения коэффициента рефракции на точность тригонометрического нивелирования значительно возрастает с увеличением расстояний.

Коэффициент рефракции можно вычислить по измеренным метеорологическим элементам, но этот способ малоэффективен, так как коэффициент рефракции по каждому направлению свой и формируется подстилающей поверхностью. Приземный слой воздуха (1–6 м) – наиболее активный и сложный в оптическом отношении. Основное влияние на формирование коэффициента рефракции оказывает температурный градиент, который в нижних слоях воздуха значительно зависит от свойств подстилающей поверхности. Большое влияние на изменение коэффициента рефракции оказывают погодные условия и в первую очередь наличие или отсутствие прямой солнечной радиации.

Другой путь ослабления влияния внешней среды на точность тригонометрического нивелирования – выполнение избыточных измерений для получения фактического значения коэффициента рефракции. Одним из таких способов являются синхронные двухсторонние наблюдения. В этом случае превышение между точками может быть вычислено по формуле:

$$h_{1,2} = D \cdot \operatorname{ctg} \frac{Z_{2,1} - Z_{1,2}}{2} + \frac{i_1 + l_1}{2} + \frac{i_2 + l_2}{2}, \quad (9)$$

где D – горизонтальное проложение;

$Z_{1,2}$ и $Z_{2,1}$ – прямое и обратное зенитное расстояние;

i_1, i_2, l_1, l_2 – соответственно высоты приборов и визирных целей.

Если необходимо выполнить тригонометрическое нивелирование через широкое водное препятствие, то рекомендуется выполнять синхронные двухсторонние наблюдения.

Основная погрешность этого метода – различие коэффициентов рефракций прямого и обратного лучей:

$$\Delta h_k = \frac{(k_1 - k_2) \cdot D^2}{4 \cdot R}. \quad (10)$$

Чтобы снизить влияние внешней среды, нужно принимать во внимание следующие моменты:

- наблюдения нужно проводить не раньше, чем 30 минут после восхода Солнца и не позже, чем через 30 минут после захода Солнца;
- в летний период с 9 до 17 часов коэффициент рефракции более устойчив;
- пасмурная погода более благоприятна для наблюдений;
- зимнее время вообще не пригодно для тригонометрического нивелирования;
- высота прохождения луча должна быть не менее 1,5 м над поверхностью.

Тригонометрическое нивелирование можно выполнять для расстояний до 300 м, прибором с точностью измерения зенитного расстояния не грубее 3". При расстояниях более 300 м необходимо использовать прибор с погрешностью измерения зенитных расстояний 1–2". Измерения необходимо выполнять в прямом и обратном направлении в наиболее благоприятных условиях.

Также тригонометрическое нивелирование применяется для передачи высот на пункты ГРО, в случае если геометрическое нивелирование применить невозможно. Это могут быть пункты, поднятые на монтажные горизонты.

Априорную оценку точности без учета кривизны Земли и рефракции выполним по формуле:

$$m_h = \sqrt{\left(2 \sin \frac{z}{2} \cdot m_d\right)^2 + \left(D \cos \frac{z}{2} \cdot \frac{m_z}{\rho}\right)^2}. \quad (11)$$

Поставив выше заданные параметры, получим $m_h = 1,5$ мм.

Описание методики выполнения геодезического контроля методом геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование выполнялось по программе III класса. Невязка хода определяется как:

$$f = \pm 10 \sqrt{D_{км}} = 3,3 \text{ мм}, \quad (12)$$

где $D_{км}$ – длина хода в километрах, $D_{км} = 0,11$ км.

На основании критерия Райта-Шовене [7]:

$$\delta = tm, \quad (13)$$

где t – величина равная 2; 2,5; 3, указанная при разработке проекта производства геодезических работ и в нашем случае равная 2,5;

m – среднеквадратическая погрешность;

δ – предельное отклонение.

Отсюда получим среднеквадратическую погрешность $m = \frac{\delta}{t} \sqrt{D} = 1,3$ мм.

Устройство верхнего слоя асфальтобетонного покрытия

После укладки нижнего слоя асфальтобетонного покрытия выполняется разметка контрольных точек. Далее выполняется геодезическая съемка по контролю ровности уложенного слоя асфальтобетонного покрытия [8].

Работы по устройству верхнего слоя асфальтобетонного покрытия выполняются с применением копирной лыжи, при этом особое внимание уделяется сопряжению верхнего слоя покрытия с рабочей гранью деформационного шва. Для обеспечения плавного перехода за 25 м до деформационного шва устанавливалась копирная струна. Контроль ровности асфальтобетонного покрытия [9–11, 16–20] представлен в табл. 4.

Расчет ровности верхнего слоя асфальтобетонного покрытия

№ амплитуды	ПК	Отметка, м	Значение амплитуды, мм
1	99+05,99	8,709	-
2	99+07,95	8,708	-
3	99+10,00	8,713	-
4	99+15,00	8,725	-
5	99+20,00	8,732	-4
6	99+25,00	8,739	0
7	99+30,00	8,741	1
8	99+35,00	8,745	3
9	99+40,00	8,744	4
10	99+45,00	8,738	3
11	99+55,00	8,731	3

Заключение

Предложенный в статье комплексный подход к геодезическому контролю укладки асфальтобетонного покрытия на примере строительства мостового перехода через Керченский пролив обобщает в себе все этапы по устройству асфальтобетонного покрытия и носит комбинированный подход к решению вышеуказанной задачи.

Дана расширенная информация о производстве работ по устройству асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях. Раскрыт порядок взаимодействия проектных и подрядных организаций на всех этапах устройства асфальтобетонного покрытия. Приведены примеры исходной информации для принятия проектных решений и выходной информации по контролю геометрических параметров асфальтобетонного покрытия.

Выполнена априорная оценка погрешности применяемых методов тригонометрического и геометрического нивелирования. Даны рекомендации по применению вышеуказанных методов производства работ по контролю ровности оснований и покрытий.

По результатам контрольных геодезических измерений можно сделать вывод о фактической ровности всех слоев асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях. Предложенный комбинированный подход оптимизирует производство работ и обеспечивает их выполнение в соответствии с требованиями нормативно технической документации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 9128-97 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой). М., 1999. – С. 3–12.
2. ГОСТ Р 56925-2016 Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий. М., 2016. С. 3–5.

3. СП46.13330.2012 Мосты и трубы. М., 2012. – С. 6–7.
4. СП126.13330.2017 Издание официальное. Геодезические работы в строительстве. М., 2017. – С. 5–12.
5. ОДМ 218.2.025-2012 Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах. М., 2012. – С. 6–7.
6. ОДМ 218.7.001-2009. Рекомендации по осуществлению строительного контроля на федеральных автомобильных дорогах / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М., 2009. – 32 с.
7. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. (с Изменением N 1) – С.7–8.
8. ОДМ 218.7.001-2009. Рекомендации по осуществлению строительного контроля на федеральных автомобильных дорогах / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М., 2009. – 32 с.
9. Чванов В.В., Лушников Н.А., Стрижевский А.М. Обоснование норм продольной ровности дорожных покрытий, методов ее измерения и контроля /В.В. Чванов, Н.А. Лушников, А.М. Стрижевский // Дороги России XXI века. – 2008. – № 6. – С. 58–62.
10. ISO 8608: 1995. Mechanical vibration – Road surface profile – Reporting of measured data.
11. Gillespie J.S. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board// Transportation Research Board of the National Academies. – Washington, D.C. – 2007. - No. 1990. – PP. 32– 39.
12. Лушников Н.А., Лушников П.А. К вопросу об оценке продольной ровности покрытий автомобильных дорог /Н.А. Лушников, П.А. Лушников// ДОРОГИ И МОСТЫ. – Сборник ст./ФГУП «РОСДОРНИИ. – М.: 2010, вып. № 23/1. – С. 97–104.
13. Красиков О.А. Оценка ровности автомобильных дорог с использованием международного индекса ровности // Тезисы докл. Всероссийской отраслевой научно-практической конференции / Минтранс РФ. Росавтодор. - Саратов, 2003. – С. 31–32.
14. Нестерович, И. В. Критерии ровности асфальтобетонных дорожных покрытий и их использование при оценке эксплуатационного состояния автомобильных дорог: автореф. дис. канд. техн. наук / И. В. Нестерович. – Минск, 2004. – 23 с.
15. Коугия В.А. Избранные труды СПб.: ПГУПС, 2012. С. 378–410.
16. Леонович, И. И. Диагностика автомобильных дорог / И. И. Леонович, С. В. Богушович, И. В. Нестерович. – М.: ИНФРА, 2011. – 350 с.
17. Питухин А.В., Петров А.Н. Влияние ровности покрытий на работоспособность дорог // Транспорт М. 2012. – С. 71–75.
18. Овчиников И.Г., Макаров В.Н., Овчинников И.И., Ефанов А.В., Старовойт Г.В. Деформационные швы, влияние опорных частей и опор // Мир дорог 2009 №42. – С. 36–37.
19. ГОСТ 33220-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию (Переиздание). М. 2015. – С. 5–7.
20. Казачков С.В., Овчиников И.И., Валиев Ш.Н., Овчиников И.Г. Рекомендуемые конструкции деформационных швов мостовых сооружений и рациональная область их применения // Интернет-журнал «Наукovedение». 2012. №3 [электронный ресурс] <http://naukovedenie.ru/lik/12/12-42.pdf>. – М. – 117 с.

© В. П. Голюк, Д. Г. Назаров, 2020