

СТАТЬЯ

УДК 528.486.4

DOI 10.17513/use.38199

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ЮЖНОЙ РОКАДЫ В МОСКВЕ****Тоболкин К.А.***¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва,
e-mail: portal@miigaik.ru*

Геодезические работы являются неотъемлемой частью при инженерных изысканиях, проектировании и строительстве улично-дорожной сети города Москвы. В статье описаны основные этапы геодезических работ при строительстве участка дорожной инфраструктуры в городе Москве. Описан метод создания геодезической разбивочной основы и её последующего сгущения на строительной площадке. Приведены допустимые погрешности определения положения смежных пунктов для различных типов сооружений. На основании действующих нормативных документов даны допустимые отклонения геометрических параметров конструкции дорожной одежды. Подробно рассмотрены два метода контроля устройства дорожной одежды с помощью тахеометрической съемки и последующей обработки результатов измерений в программном обеспечении Autodesk Civil 3D. Данное программное обеспечение позволяет создавать поверхности на основе проектных данных и в автоматическом режиме рассчитывать значения отклонений в контролируемых точках съемки. Для сравнения отклонения от проекта вычислялись с помощью метода интерполирования отметок между горизонталями. На основании сравнения двух способов сделан вывод о преимуществе способа построения поверхностей. Данный способ позволяет в несколько раз быстрее выявить отклонения от проекта и устранить их, что способствует экономии средств и более качественному устройству дорожной одежды.

Ключевые слова: геодезия, дорожная одежда, тахеометрическая съемка, Autodesk Civil 3D, поверхность рельефа**RESEARCH OF GEODETIC METHODS FOR CONTROL
OF ROAD PAVEMENT CONSTRUCTION ON THE EXAMPLE
OF THE SOUTH ROKADA SECTION IN MOSCOW****Tobolkin K.A.***Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, e-mail: portal@miigaik.ru*

Geodetic work is an integral part of engineering surveys, design and construction of the road network of the city of Moscow. The article describes the main stages of geodetic work during the construction of a section of road infrastructure in the city of Moscow. A method for creating a geodetic alignment base and its subsequent thickening at a construction site is described. The permissible errors in determining the position of adjacent points for various types of structures are given. Based on current regulatory documents, permissible deviations of the geometric parameters of the road pavement structure are given. Two methods for monitoring road pavement construction using tacheometric surveys and subsequent processing of measurement results in Autodesk Civil 3D software are discussed in detail. This software allows you to create surfaces based on design data and automatically calculate deviation values at controlled survey points. For comparison, deviations from the design were calculated using the method of interpolating elevations between horizontal lines. Based on a comparison of the two methods, it was concluded that the method of constructing surfaces is superior. This method makes it possible to identify deviations from the design several times faster and eliminate them, which contributes to cost savings and better construction of road pavement.

Keywords: geodesy, road pavement, total station survey, Autodesk Civil 3D, relief surface

Безопасность дорожного движения и количество дорожно-транспортных происшествий напрямую зависят от состояния дорожной инфраструктуры. Качественное дорожное покрытие, обеспечивающее безопасное вождение, достигается соблюдением требований нормативных документов по устройству дорожной одежды во время строительства [1]. Одним из главных способов контроля за соблюдением этих требований является выполнение измерений параметров возводимых конструкций геодезическими методами.

Целью настоящей работы является рассмотрение методов выполнения геодезических измерений и обработки их результатов для определения наиболее оптимального, позволяющего получить наглядные и достоверные результаты в кратчайшие сроки.

Материалы и методы исследования

Перед началом проектирования объектов дорожной инфраструктуры производятся инженерно-геодезические изыскания, в результате которых составляется инженерно-топографический план местно-

сти. Как правило, топографическая съемка производится в пределах «красных» линий градостроительного регулирования, внутри которых планируется расположить будущую трассу. На основании инженерно-топографического плана проектируются объекты дорожной инфраструктуры и инженерные коммуникации, выносимые из зоны строительства.

До начала строительных работ создается геодезическая разбивочная основа (ГРО). ГРО представляет собой сеть закрепленных на местности пунктов с известными координатами. Для рассматриваемого в данной статье объекта строительства пункты ГРО выполнены в виде грунтовых реперов, стенных реперов для строительства дорог и инженерных коммуникаций, и пунктов принудительного центрирования для строительства эстакад.

Площадь и точность определения взаимного расположения пунктов ГРО выбирается исходя из площади застройки, характера местности и типа возводимых сооружений. В данном случае объект строительства расположен в г. Москве в районе улицы Верхние поля и МКАД, за пределами городской застройки. Допустимые средние квадратические ошибки (СКО) определения координат пунктов ГРО для строительства эстакад в плане 6мм, по высоте 3мм, точность определения взаимного планового положения смежных пунктов – 20мм [2]. Для строительства дорог допустимая погрешность определения взаимного планового положения смежных пунктов 20мм, высотного положения 5мм [3]. Для создания сети ГРО используются высокоточные тахеометры, цифровые нивелиры и спутниковое оборудование.

На первом этапе с помощью спутниковых наблюдений определяются координаты пунктов каркасной сети. В качестве базовых станций используются постоянно действующие базовые станции системы навигационно-геодезического обеспечения Москвы (СНГО Москвы). Результаты измерений передаются в ГБУ «Мосгоргеотрест» для уравнивания и определения координат в местной системе координат Москвы (МСК Москвы).

Далее от пунктов каркасной сети прокладываются полигонометрические ходы 1-го и 2-го разрядов для определения координат пунктов ГРО. Затем для определения высотных отметок прокладываются нивелирные ходы III класса по пунктам ГРО и пунктам опорной геодезической сети

(ОГС) Москвы, используемых в качестве исходных. Система высот называется «московская система отсчета высот 1932 года». Разница абсолютных отметок с Балтийской системой 1977 г. составляет +92мм [4]. В результате работ по расчетам сети ГРО создается технический отчет и подписывается акт освидетельствования ГРО. Технический отчет передается подрядным организациям, выполняющим работы.

При производстве строительного-монтажных работ участки огораживаются заборами, возводятся временные конструкции, создаются навалы грунта. Это является препятствиями для видимости между пунктами ГРО. Не всегда удается найти место, с которого одновременно можно наблюдать несколько пунктов ГРО и нужный участок работ. Поэтому для удобства геодезических работ может производиться сгущение сети ГРО с помощью закрепления пленочных отражателей (марок) и определения их координат и высот.

Тахеометр устанавливается так чтобы можно было сориентировать его с помощью обратной линейно-угловой засечки от исходных пунктов ГРО и сделать съемку пленочных отражателей. Также можно прокладывать полигонометрические ходы от пунктов ГРО или строить линейно-угловые сети с последующим уравниванием и вычислением координат марок. Высотные отметки отражающих пленок определяется с помощью тригонометрического нивелирования.

В начале строительных работ производится разбивка трассы. На местности закрепляется ось и габариты дороги, бровка или подошва откосов насыпей, выемки. Перед устройством основных слоев дорожной одежды производят подготовку зоны работ. Срезают растительный слой грунта и разбирают существующие покрытия. Первоначальная разбивка трассы в ходе подготовки будет уничтожена и затем неоднократно восстановлена, поэтому вынос в натуру может производиться с помощью спутникового оборудования в режиме кинематики в реальном времени (Real Time Kinematic, RTK). При использовании режима RTK один спутниковый приемник устанавливается на точку с известными координатами, а вторым производится вынос проектных координат в натуру. При работе на рассматриваемом участке использовался приемник Topcon Huper SR подключением к базовым станциям СНГО Москвы. Технические характеристики приемника представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики приемника Topcon Hyper SR

Число каналов	226 универсальных
Отслеживаемые сигналы	GPS, ГЛОНАСС, SBAS, QZSS
Точность в «статике» и «быстрой статике» при 5 и более спутниках	В плане: 3 мм + 0,5 мм/км; По высоте: 5 мм + 0,5 мм/км
Точность в режиме реального времени (RTK)	В плане: 10 мм + 1,0 мм/км; По высоте: 15 мм + 1,0 мм/км

Далее при более детальных разбивках спутниковое оборудование может использоваться в сочетании с нивелиром. При контроле качества выполненных работ допустимое отклонение ширины слоя дорожной одежды от проектной составляет от -7.5см до +10см для 10% измерений и ±5см для остальных. При контроле отклонений высотных отметок от проектных – не более 10% результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений до ±20мм, остальные – до ±10мм [5]. Спутниковый приемник не может обеспечить данную точность при измерении отметок, следовательно, их необходимо контролировать нивелиром или тахеометром.

В проекте строительства дороги пикеты идут через 20 метров. Разбивка трассы производится через 10 метров с указанием пикетов, например, ПК0+00, ПК0+10, ПК1+00, ПК1+10 и так далее. Пикеты закрепляются деревянными кольями с подписью номера пикета. В зону строительства тахеометром или нивелиром от пункта ГРО или разбивочной сети на надёжно закреплённый объект переносится высотная отметка. Далее с помощью нивелира отмечают на кольях верх укладываемого слоя дорожной одежды. Данный метод разбивки применяют при устройстве земляного полотна, насыпей, дополнительного слоя основания из песка и щебеночного основания дороги. При устройстве слоев из бетона и асфальтобетона разбивочные работы выполняют тахеометром и нивелиром [6]. Конструкция дорожной одежды рассматриваемого участка представлена на рисунке 1.

На всех этапах устройства дорожной одежды производится контроль высотных отметок и планового положения уложенного слоя. Для этого выполняется тахеометрическая съёмка. Прибор устанавливается в месте работ, примерно в середине участка. Ориентирование производится с помощью обратной линейно-угловой засечки. Для определения координат тахеометру достаточно измерить углы между двумя пункта-

ми с известными координатами и расстояние до этих пунктов. Но что бы избежать неоднозначности в ориентировании добавляют третий пункт [7]. Далее производится непосредственно съёмка. Отражатель устанавливается в точку, где необходимо определить отметку, тахеометр производит измерение и записывает результат в виде координат и высотной отметки в память. Для съёмки использовался тахеометр Sokkia CX102. Технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики тахеометра Sokkia CX-102

Точность измерения углов	2"
Точность измерения расстояний, мм	
без отражателя	$\pm (3 + 2 \times 10^{-6} \times D)$
на призму	$\pm (2 + 2 \times 10^{-6} \times D)$
на отражающую пленку	$\pm (3 + 2 \times 10^{-6} \times D)$

После выполнения съёмки данные съёмки обрабатываются на компьютере. Проект вертикальной планировки представлен в виде горизонталей (рис. 2).

Основные горизонталы показаны черными жирными линиями с сечением рельефа 0,5м. Вспомогательные горизонталы показаны тонкими черными линиями с сечением рельефа 0,1м. Дополнительно в характерных точках указываются высотные отметки, направление и величина уклона. Так же на листе проекта синим цветом показаны линии лицевой стороны проектируемого бортового камня. Красным цветом нанесены красные линии градостроительного регулирования. Ось трассы с подписью пикетов показана сплошной красной линией по центру дороги.

Для выполнения разбивочных работ и анализа результатов геодезических съёмки от проектной организации были получены планировочные решения в формате «.dwg». Данные решения можно просматривать и редактировать в программном обеспечении Autodesk Civil 3D.

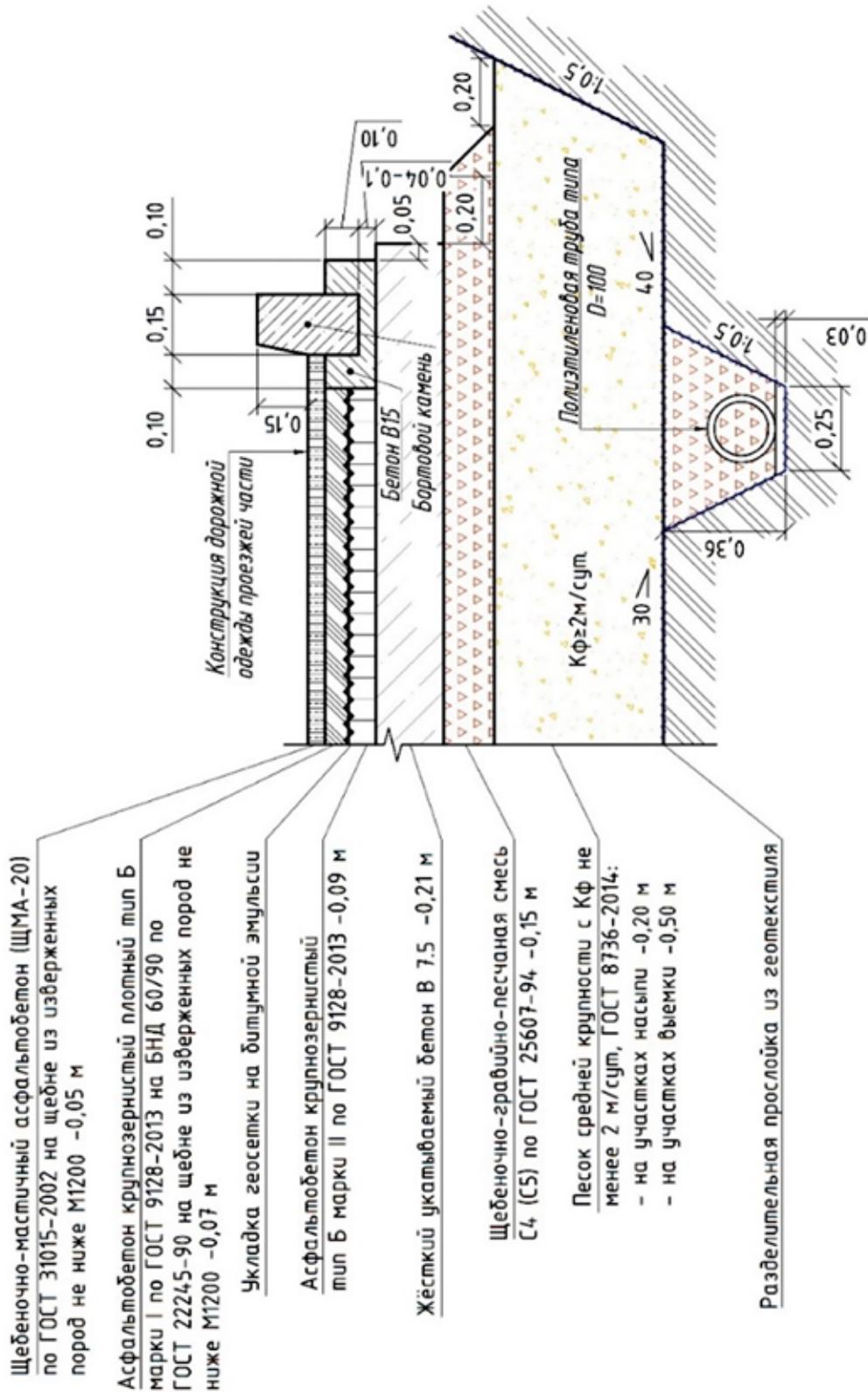


Рис. 1. Конструкция дорожной одежды

Горизонталы отображаются полилиниями с координатами вершин и уровнем, соответствующими системе координат и высот строящегося объекта. Система координат МСК Москвы задана в левой системе координат, а Civil 3D работает в правой. Ось X в Civil 3D направлена на восток, поэтому координаты X и Y меняются местами при переносе из проекта в ПО Autodesk.

Измерения из памяти тахеометра с помощью usb-flash-накопителя переносятся на компьютер и открываются в ПО Civil 3D. Данные отображаются в виде точек с подписанными высотами. Далее эти данные копируются в файл с проектными горизонталями и строятся две поверхности из треугольников, образующих нерегулярную сеть триангуляции TIN (Triangulated Irregular Network). Первая проектная поверхность строится по горизонталям в виде треугольников со сторонами соединяющие все вершины проектных полилиний. На построение оказывают влияние характеристики структурных линий, по которым она строится. Поверхность моделируется методом триангуляции Делоне, согласно которой окружность, проведенная через вершины треугольника, не содержит внутри себя вершин других треугольников [8]. Но в случае наличия ребра, добавленного как структурная линия к поверхности и находящегося между точками алгоритм программы предполагает соединение этих точек, даже если нарушается условие триангуляции Делоне. Перед построением этой поверхности удаляются совпадающие вершины. Большое количество близко расположенных друг к другу вершин горизонталы также оказывают влияние на поверхность. Для оператора очевидно, что углы горизонталей на оси трассы являются характерной линией водораздела и должны быть соединены при построении ребра, но программа может этого не сделать из-за присутствия нескольких вершин вблизи оси трассы. Тогда поверхность построится некорректно и при сравнении с фактическими отметками могут быть вычислены неверные значения отклонений. Для исключения этих факторов можно включить отображение горизонталей построенной поверхности и сравнить с исходными полилиниями (горизонталями). Если они не совпадают, то рекомендуется включить отображение сторон треугольников поверхности и переставить ребра для корректного перестроения горизонталей.

Отметки проектных горизонталей даны по верхнему слою покрытия дорожной одеж-

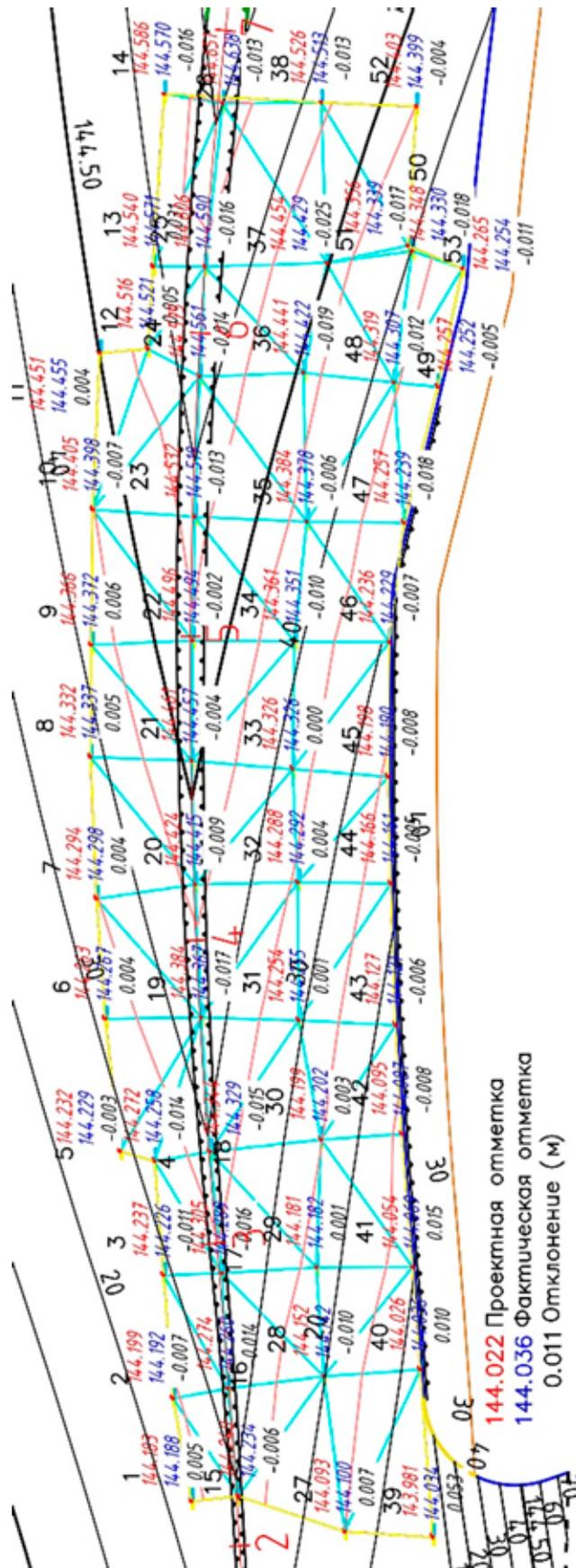
ды. Поэтому в случае съемки нижележащих слоев проектную поверхность необходимо опустить на толщину верхних слоев. Например, если выполнялась съемка нижнего слоя покрытия, то поверхность опускается на толщину верхнего слоя асфальта – 0,05м.

Вторая поверхность строится по точкам съемки. Программа соединяет вершины с условием Делоне, как и при построении проектной поверхности. Съёмочные точки тоже могут быть расположены близко друг к другу и это повлияет на будущую поверхность. Для корректного построения поверхности так же отображаются горизонталы и оператором визуально проверяются их расположение. В случае обнаружения резких изгибов или даже пересечений и уверенности в отсутствии таких мест на контролируемом участке, включается отображение сторон треугольников и ребра переставляются до получения реальной картины.

Затем строится еще одна поверхность – поверхность «TIN для объема», необходимая для расчета отклонений отметок от проекта. Эта поверхность представляет собой объединение элементов двух ранее построенных поверхностей. В качестве базовой назначается проектная поверхность. В качестве поверхности сравнения задается фактическая съёмочная поверхность. Отметки рассчитываются как разность отметок фактической и проектной поверхностей. Например, если отметка фактической поверхности 144,457, а проектной 144,461, то отметка поверхности TIN для объема будет -0,004. Далее в ручном или автоматическом режиме добавляются метки поверхностей, отображающие проектную отметку, фактическую и отклонение в точке съемки. Возможно поставить метку в любом произвольном месте в пределах границы съемки, но фактическая отметка и, соответственно, отклонение будут получены путем интерполирования отметок между съёмочными точками. Результат обработки съемки представлен на рисунке 3.

Проектные горизонталы отображены черным цветом. Горизонталы, построенные по съёмочным точкам красные. Грани фактической поверхности TIN построены голубыми линиями. Большое смещение фактических горизонталей объясняется съемкой нижнего слоя покрытия, который ниже верхнего на 5 см.

Второй способ вычисления отклонений отметок фактической съемки от проектной заключается в ручном интерполировании проектной отметки в точке съемки, находящейся между горизонталями.



Данный метод заключается в проведении кратчайшей прямой, соединяющей горизонтали и проходящей через точку, в которой нужно определить отметку. При интерполировании отметок на бумажном листе топографического плана измеряется длина линии и расстояние от одной горизонтали до точки. Из высоты сечения рельефа вычисляется разность отметок между горизонталями. Полученное значение делится на длину линии. Результат умножается на длину линии от горизонтали до точки и в зависимости от направления уклона поверхности прибавляется или вычитается из отметки горизонтали.

В данном случае интерполирование производится на компьютере. Горизонтали соединяются элементом «3D-полилинии». В отличие от обычной полилинии все ее вершины могут иметь разные отметки. Далее в окрестности съемочной точки, где необходимо определить отметку, ставится точка с привязкой к 3D-полилинии. Отметка точки интерполируется в соответствии с отметками начала и конца 3D-полилинии. Таким образом вычисляется проектная отметка верхнего слоя покрытия в точке съемки. Из этой отметки вычитается толщина слоя 50мм и получается проектная отметка контролируемого слоя, которую нужно сравнивать с фактической отметкой точки съемки. Вычислив все отметки рассчитывается отклонение от проекта. Две высотные отметки и отклонение от проекта добавляются рядом с точкой съемки в виде текста. Далее эти действия производились с каждой съемочной точкой. Результат обработки съемки методом интерполирования представлен на рисунке 4.

Проектное положение края слоя в плане рассчитывается с помощью расстояния от лицевой грани бортового камня (рис.1). Фактический край слоя строится по точкам съемки и сравнивается с проектным. Как правило, слой дорожной одежды укладывается с запасом по ширине, поэтому плановое положение исправлять не требуется.

Результаты исследования и их обсуждение

На обработку тахеометрической съемки методом построения поверхностей, включая их корректирование было затрачено менее 5 минут. Стиль метки поверхности, содержащий значения отметок всех поверхностей и отклонение был создан ранее. Метки проставлялись в каждую точку вручную. Обработка методом интерполирования по 3D-полилинии заняла около 40 минут. Количество обработанных съемочных то-

чек составляет 53 в обоих методах. Максимальная разница в определении проектной отметки составила 4мм в точке №40.

По результатам обработки тахеометрической съемки выявлены места с отклонениями высотных отметок, превышающие допустимые. Координаты этих мест выносятся на местность тахеометром, спутниковым оборудованием или определяются с помощью разметки пикетов и исправляются. Далее производится повторная тахеометрическая съемка. При отсутствии отклонений, превышающих допустимые пределы, составляется исполнительная схема.

Выводы

Использование тахеометра и спутникового оборудования позволяет существенно сократить время производства разбивочных и съемочных работ. Применение специализированного программного обеспечения Civil 3D для обработки данных измерений дает наглядный результат качества работы по устройству участка дорожной одежды и позволяет оперативно исправлять все выявленные отклонения, превышающие допустимые значения. Использование метода построения поверхностей для вычисления отклонений от проекта позволяет получить наглядный результат более чем в 8 раз быстрее, чем ручное интерполирование отметок. Данный метод является предпочтительным при необходимости обработки большого количества измерений.

Список литературы

1. Сапрыкин С.С., Пак В.В. Влияние состояния дорожного полотна и дорожных условий на безопасность дорожного движения // Вестник магистратуры. 2022. № 3-1(126). С. 6-8.
2. СП 46.13330.2012. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91. Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2017. 145 с.
3. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84. Введ. 25.04.2018. М.: Стандартинформ. 2018. 58 с.
4. Приказ Москомэкспертизы от 11.10.2021 № МКЭ-ОД/21-77 «Об утверждении требований к информационным моделям линейных объектов капитального строительства». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/mke/documents/prikazy/view/259221220/> (дата обращения: 12.10.2023).
5. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. Введ. 01.07.2013. М.: Стандартинформ, 2017. 145 с.
6. Филатова А.В., Поздышева О.Н., Арутюнян А.О. Изучение процессов работы геодезического оборудования при строительстве дорог: монография. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2017. 94 с. DOI: 10.17117/mon.2017.01.02.
7. Никонов А.В. К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. Т. 1, № 1. С. 93-100.
8. Левин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Моделирование рельефа на основе триангуляции Делоне // Наука и технологии железных дорог. 2018. Т. 2, № 1(5). С. 3-15.