Таким образом, проведенные исследования показывают, что при удалении гармоническим фильтром аддитивного импульсного шума с вероятностями, $p < 0.8$, $q < 0.5$ следует использовать алгоритм (4), в противном случае – алгоритм (5).

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Толстунов В.А. Усредняющие фильтры с весовыми коэффициентами // Инновационная наука. – 2016. – Часть 2. – № 1. – С. 130 – 143.
3. Толстунов В.А. Сглаживающий фильтр с обобщенным гауссовским весом // Уфа: Символ науки. – 2018. – №1-2. – С. 39–43.
4. Толстунов В.А. Нелинейная фильтрация с помощью обобщенного сглаживающего фильтра // Вестник КемГУ, серия математика-Кемерово: Изд. КемГУ. – 2000. – вып. 4. – С. 165-171.

Бесимбаева О.Г., Тумабаева Д.А.

**Инновационные технологии лазерного сканирования, применяемые
в дорожном строительстве**

*Карагандинский государственный технический университет
(Республика Казахстан, Караганда)*

doi:10.18411/lj-11-2018-165

idsp: ljjournal-11-2018-165

Аннотация:

В данной статье рассматривается технология георадарно-лазерного сканирования автомобильных дорог при их строительстве и реконструкции. Данная технология позволяет контролировать толщину слоев дорожной одежды при строительстве, а также реконструкции автомобильных дорог. Дорожная одежда всегда рассчитывается таким образом, чтобы исключить необоснованный расход дорожно-строительных материалов, поэтому даже незначительное уменьшение расчетных проектных значений толщины слоев может привести к необеспеченности требований по прочности, морозоустойчивости и осушению. Применение электронных тахеометров при строительстве и реконструкции автомобильных дорог, позволяет производить контроль через каждые 20 метров, что не всегда точно можно проследить укладку дорожной одежды между пикетажами. Благодаря применению георадарно-лазерному сканированию контроль ведется непрерывно, получая облако точек на всем участке объекта.

Ключевые слова:Георадарно-лазерное сканирование, автомобильные дороги, дорожная одежда, лазерное сканирование, инженерные изыскания.

В настоящей статье рассматривается технология лазерного сканирования, применяемая на автомобильных дорогах. Благодаря данной технологии, проектирование автомобильных дорог стало менее затратным по сравнению с классическими методами, основываемые на тахеометрической съемке. Автомобильные дороги по всему миру настолько пестрят своим разнообразием, что принято их классифицировать на различные категории. Строительство новых дорог, а также ремонт старых финансируется из разной уровневой казны, в зависимости от того, какое назначение для неё планируется. Но это не должно пагубно сказываться на выполняемых работах, все дороги должны строиться на высоком уровне. Ведь от качества выполнения и использованных материалов непосредственно зависит комфорт граждан и эксплуатационный срок транспортных средств.

В Республике Казахстан необходимо поддерживать хорошее состояние автомобильных дорог, а также искать более альтернативные варианты по улучшению и контролю их состояния. Геодезическое обеспечение сопровождает весь процесс

строительства автомобильной дороги и ее реконструкции. С целью контроля дорожного полотна, так же необходимо геодезическое сопровождение для постоянного наблюдения за просадками и деформациями, которые могут возникнуть, как в процессе строительных работ, так и во время эксплуатации. Очень важно контролировать процесс уплотнения слоев дорожной одежды, так как в дальнейшем это скажется на долговечность автомобильной дороги. Благодаря лазерному сканированию автомобильных дорог, стало доступным в процессе строительства осуществлять контроль за уплотнением дорожного полотна. Когда дорожные работы будут завершены, создается топографический план с уже нанесенными новыми автодорогами.

В наше время при строительстве и реконструкции автомобильных дорог геодезический контроль осуществляется на основе использования электронных, лазерных и цифровых приборов. При устройстве двух полосных дорог реализуется пятиточечная схема съемки точек поперечных профилей, далее формируется модель автомобильной дороги, но к сожалению полностью вся геометрическая поверхность автомобильной дороги не отображается.

Сегодня в инженерных изысканиях всё большее распространение получают технологии лазерного сканирования. При строительстве и реконструкции автомобильных дорог наибольшее распространение получило воздушное и наземное лазерное сканирование. Воздушное лазерное сканирование проводится с высоты 500-1500 м в зависимости от поставленных задач. От высоты съемки зависит точность получаемой информации. Средняя точность воздушного лазерного сканирования составляет 15 см в плане и 5 см по высоте. Детализация полученной информации очень высока и достаточна для выполнения работ по планированию территории, определению объемов земляных работ.

Дорожная одежда всегда рассчитывается таким образом, чтобы исключить необоснованный расход дорожно-строительных материалов, поэтому даже незначительное уменьшение расчетных проектных значений толщины слоев может привести к необеспеченности требований по прочности, морозоустойчивости и осужению.

Система мобильного лазерного сканирования состоит из 2-х основных блоков: измерительного блока и навигационного блока. Измерительный блок, аналогично системе НЛС, производит сканирование объектов, а система позиционирования осуществляет «привязку» траектории движения сканера. К примеру можно привести мобильный лазерный сканер Riegl VMX-250. Дальномерный блок состоит из 2-х импульсных лазерных сканеров, работающих в режиме профилографа. Каждый сканер, по времени задержки сигнала, измеряет расстояния до объекта с частотой до 300 кГц, на расстоянии до 200 м. Таким образом, общая частота системы – до 600 тысяч измерений в секунду. Вращающаяся с частотой 100 Гц призма производит отклонение сканирующего луча по полной окружности (0-360 град). Одновременно с измерением расстояния, производится регистрация угла отклонения сканирующего луча. Измеренное расстояние и угол позволяют определить координаты точек в системе координат сканера. Таким образом, осуществляется «развертка» облака точек в направлении поперечном движению. Продольная «развертка» производится за счет движения транспортного средства, на котором установлена сканирующая система, вдоль сканируемого объекта. [1]

Координатно-временную привязку полученного облака точек обеспечивает система высокоточного позиционирования, состоящая из ГНСС-приемника и инерциального блока. ГНСС приемник определяет текущие координаты сканерного блока, обычно с частотой 1 Гц, а также производит определение точного времени, для синхронизации всех элементов системы. Инерциальная система, основываясь на данных ГНСС приемника, определяет свое начальное положение, и далее производит измерение координат и углов ориентации сканерного блока с частотой 200 раз в секунду.

Сканирующая система Riegl VMX-250 (рисунок 1) оснащена 4-мя цифровыми калиброванными камерами, установленными на одной платформе со сканером. Камеры в автоматическом режиме, с заданной частотой (до 20 кадров в секунду) производят съемку. Использование фотокамер позволяет раскрашивать точки лазерных отражений в истинные цвета, что существенно облегчает дешифрирование объектов по точкам, а также может быть использовано для текстурирования трехмерных моделей. [1]

Рисунок 1 – Вид лазерного сканера Riegl VMX – 250

Для выполнения мобильного сканирования существует современная мобильная сканирующая система Riegl VMX-250. Данная система сочетает в себе все передовые разработки в области лазерного сканирования, навигационных измерений и мобильной фотосъемки. Riegl VMX-250 позволяет выполнять сканирование и фотосъемку местности с высокой скоростью, плотностью (600 000 измерений\сек, до 20кадр\сек) и точностью измерений (внутренняя точность – 8мм). Общий вид лазерной системы представлен на рисунке 2.

Мобильное лазерное сканирование с успехом применяется везде, где есть возможность проезда транспортного средства, на котором установлена система: автомобильные и железные дороги (рисунок 2), любые водные пути сообщения, промышленные объекты, улицы города. При необходимости, система может быть установлена на вездеходную технику и выполнять съемку объектов при отсутствии дорог.[1]

Рисунок 2 – Общий вид мобильной лазерной системы

Также МЛС применяется при съемке автомобильных, железнодорожных тоннелей, а также линий метрополитена. Мобильное лазерное сканирование может выполняться как самостоятельный вид работ, так и в сочетании с другими видами съемки (НЛС, воздушным лазерным сканированием, классическими геодезическими методами). Продукт мобильного лазерного сканирования (рисунок 3).

Рисунок 3 – Поперечный профиль дороги на вираже

В программном обеспечении выявляется деформация автодорожного покрытия (рисунок 4).

Рисунок 4 – Деформация автодорожного покрытия

В ходе дорожно-строительных работ толщина слоев дорожной одежды контролируется в локальных точках наблюдения. Например, согласно СП 78.13330.2012, толщину дополнительных слоев основания дорожной одежды и прослоек контролируют с шагом 100 м вдоль трассы в трех точках на поперечнике, толщину уплотненных асфальтобетонных слоев – в трех точках на 3 тыс. м² покрытия, согласно СНиП 3.06.03-85, – в трех точках на 7 тыс. м² покрытия. Локальный характер контрольных данных по толщине слоев не исключает ситуации, когда в ходе приемки завершеногo объекта строительства выявляются участки несоответствия толщины слоев дорожной одежды, хотя в ходе операционного контроля эти нарушения выявлены не были. При этом в неудобном положении оказывается высший инженерный состав дорожно-строительных организаций, поскольку он несет наибольшую ответственность

за соответствие объекта строительства проектным данным и требованиям нормативно-технических документов. [2]

Дорожная конструкция представлена двухслойным асфальтобетонным покрытием и основанием, состоящим из асфальтобетона, тощего бетона, щебеночной смеси и песка.

Методика работ включает в себя следующие этапы:

- георадарно-лазерное сканирование;
- назначение мест бурения;
- калибровку георадарных данных с учетом результатов буровых работ;
- подготовку отчетных материалов.

В статье Еремина Р.А. приведён опыт георадарно-лазерного сканирования участка реконструкции автомобильной дороги. [3]

Георадарно-лазерное сканирование представляет выполнение мобильного лазерного сканирования и георадарного обследования. Важным условием является обеспечение возможности высокоточной привязки георадарных данных на местности с последующим совмещением результатов съемки обеих систем. На рисунке 5 представлен один из примеров комплекса такого оборудования.

Рисунок 5 – Георадарно-лазерное сканирование

Синхронизация данных двух систем выполнена на уровне программного обеспечения, благодаря чему георадарные данные были преобразованы в массив и облако точек. На рисунке 2 представлен фрагмент трассы с проектными решениями и результатами георадарной съемки толщины пакета асфальтобетонных слоев в виде облака точек. Точки раскрашены по высоте, в данном случае красный цвет – это значения менее 17 см, зеленый – более 17 см. Данное значение установлено с учетом 20 % (40 мм) отклонения в меньшую сторону относительно проектного (максимально допустимое отклонение по СП 78.13330.2012 [1] – $\pm 10\%$, по СНиП 3.06.03-85 – от –15 до +20 мм). Представленные георадарные данные в виде облака точек были записаны при значении диэлектрической проницаемости асфальтобетона, равном 6, принятом на основании опытно-практических данных. Не следует считать, что полученные с помощью георадара значения толщины слоев являются абсолютными. Поскольку исходная диэлектрическая проницаемость задана условно, на рисунке 6 можно увидеть

только местоположение участков с наименьшей толщиной, на которых целесообразно выполнить буровые работы. [2]

Рисунок 6 – Преобразование георадарных данных в облако точек: красный цвет – толщина слоя асфальтобетона менее 17 см; зеленый – более 17 см

На основании полученных георадарных данных на плане с проектными решениями было назначено 19 участков для выполнения буровых работ по критерию наименьшей толщины. Отбор кернов показал отклонение в меньшую сторону толщины пакета асфальтобетонных слоев на разных участках от 18,25% до 23,25 %, что практически вдвое выше максимально допустимого по СП 78.13330.2012 [1] значения в 10 %. Максимальное отклонение от проектных значений в меньшую сторону составило по верхнему слою покрытия 54 %, по нижнему слою покрытия – 53,33 %, по верхнему слою основания – 57,78 %, по пакету асфальтобетонных слоев в целом – 36,67 %. При сопоставлении с требованиями СНиП 3.06.03-85 в каждом слое имелись отклонения, выходящие за допустимый интервал значений (от –15 до +20 мм). [3]

Максимальное отклонение от проектных значений в меньшую сторону составило по верхнему слою покрытия 27 мм, по нижнему слою покрытия – 32 мм, по верхнему слою основания – 52 мм, по пакету асфальтобетонных слоев в целом – 77 мм. По результатам отбора кернов в данном примере, говорят о грубом нарушении технологии выполнения дорожно-строительных работ. [4]

Как показывает практика георадарных обследований, обеспечить выполнение требований СНиП 3.06.03-85 в части максимально допустимых отклонений по толщине слоев дорожной одежды относительно проектных данных очень сложно, а требований СП 78.13330.2012 – практически невозможно. [5]

Поскольку несоответствие по толщине слоев встречается довольно часто, технически целесообразно рассмотреть вопрос о введении более жестких требований в методику расчета дорожных одежд, повышающих коэффициенты запаса на прогиб, сдвиг и изгиб. Отклонения по толщине слоев в 5 и 10 %, допустимые даже по СП 78.13330.2012, не заложены в методику расчета по ОДН 218.046-01. Как ранее было сказано, расчетные значения толщины слоев по проекту подбираются с учетом требований об экономии материалов, поэтому конструкция дорожной одежды зачастую имеет минимальные коэффициенты запаса. [6]

В заключении хотелось бы отметить что при строительстве и реконструкции автомобильных дорог даже незначительное уменьшение расчетных проектных значений дорожной одежды приводит к необеспеченности требований по прочности, осушению и морозоустойчивости дорожного полотна. Применение метода лазерной съемки позволяет выявить отклонения от проектных значений по толщине слоев

дорожной одежды в режиме реального времени при строительстве автомобильной дороги. К сожалению, не всегда возможно добиться такого результата с помощью традиционных методов контроля соответствия выполненных дорожно-строительных работ. Применяя при строительстве и реконструкции дорожной одежды георадарно-лазерное сканирование, обеспечивается точный контроль толщины слоев дорожной одежды ее плотности, что положительно скажется на долговечности автомобильных дорог.

1. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция
2. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги.
3. Р. А. Еремин, канд. техн. наук, ГБУ «Автомобильные дороги» (Москва)
4. Кулижников А. М., Еремин Р. А. О диэлектрической проницаемости при выполнении георадарных работ // Инженерная геофизика – 2014: X международная научно-практическая конференция и выставка. Геленджик, 2014.
5. Кулижников А. М., Р. А. Еремин. Степень качества // Дорожная держава. 2015. № 61. С. 23–27.
6. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд (взамен ВСН 46-83).

Mutasova O. Yu.

Idealization of the form and packing of loose material particles to perform mathematical modeling

*East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbayev
(Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk)*

doi: 10.18411/lj-11-2018-166

idsp: ljjournal-11-2018-166

Abstract

The frequency dependent conductivity and permittivity of loose materials are modelled using electrical networks consisting of resistors and capacitors. The electrical network consist a heterogeneous microstructure that contains insulating (the capaciting) materials, as well as conductive elements, such as the resistor. Fundamental the this model use is to, to obtain electrical properties of a loose materials consisting of particles of two different sizes. Results receieved in this article, allow to design moisture sensors for loose materials, calculate the mathematical model as well to increase the accuracy of their measurements

Keywords: heterogeneous microstructure; loose material; electrical network; moisture sensor

There is a need for an accurate measurement of the moisture content of heterogeneous loose materials regardless of the size of the particles contained. At the initial stage of development of such moisture meters it is expedient to perform mathematical modeling of the behavior of heterogeneous loose materials in the electric field of the sensor [1, 2].

Most mathematical loose material models have such a weak point as that they are not exactly able to obtain frequency and humidity properties of loose materials with varying particle sizes [3, 4, 5].

In general, a problem of modeling of electrical and physical properties of loose materials reduces to finding of integral values of the total electrical conductivity of a loose material sample. A structure consisting of two particles with different geometrical dimensions should be taken from the loose material sample in order to mathematically describe the whole sample. Such a structure is called the basic or elementary structure of the loose material. We assume that the whole volume of the loose material consists of such basic particles. Thus, properties of the whole volume of the loose material can be inferred when examining characteristics of an individual