

**Отзыв**  
**официального оппонента**

на диссертационную работу Кочневой Алины Александровны «Разработка модифицированных цифровых моделей рельефа по данным воздушного лазерного сканирования для проектирования автодорог», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32 – Геодезия.

Работа, выполненная А.А. Кочневой, является крупным исследованием, имеющим теоретическое и практическое значение при применении лазерного сканирования для решения прикладных задач по изысканиям и проектированию автомобильных дорог.

Актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений. Она обусловлена появлением и активным применением в России средств лазерного сканирования, необходимостью адаптирования полученных результатов к существующим технологиям обработки результатов измерений и их оптимизации. Избыточность измерений, получаемых по данным лазерного сканирования, требует на предварительном этапе оптимизации их объемов с целью получения модифицированных разреженных цифровых моделей рельефа для решения задач проектирования автомобильных дорог в соответствие с существующими нормативными документами.

Исследования автора основаны на использовании методологии анализа результатов измерений лазерного сканирования для выбора оптимальных технологий их обработки с целью решения задач проектирования автодорог.

Научная новизна диссертационной работы состоит в обосновании необходимой плотности точек лазерного отражения (ТЛО) в зависимости от типа рельефа (для топографической съемки масштаба 1:1000), разработке алгоритма обработки массива координат ТЛО путем сравнения с нормалью до плоскости рельефа, обоснованием критериев интерполяции данных сканирования с целью обеспечения точности ЦМР, разработке методики построения ЦМР с целью получения разреженного массива ТЛО, обеспечивающего точность создания топографических карт масштаба 1:1000 и разработке алгоритма построения структурных линий поверхности.

Практическая ценность работы состоит в разработке алгоритма интерполяции данных лазерного сканирования и его реализации на экспериментальных участках поверхности при проектировании автодороги. Выносимые на защиту положения соответствуют целям и задачам исследований, соответствующим сформулированным положениям научной новизны и реализации модифицированных цифровых моделей рельефа.

*№ 160-10*  
*от 10.09.2018*

Диссертационная работа включает 144 стр. текста, 4 главы, 18 таблиц и 59 рисунков, а список использованной литературы включает 100 наименований. Основное содержание работы опубликовано в 7 изданиях, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты исследований докладывались на двух международных научных конференциях и на кафедре инженерной геодезии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет».

Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций и заключения, сформулированных в диссертации, а так же их достоверность и новизна, полученные автором, не вызывают сомнений и подтверждены обоснованием актуальности темы, анализом и этапов проектирования автодорог, анализом цифровых моделей рельефа, полученных по данным воздушного лазерного сканирования, исследованием эффективности разработанного алгоритма интерполяции данных ТЛО и методике автоматизированного построения ЦМР для проектирования автодорог и их апробации.

Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов, таблиц, графиков и рисунков. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и в работе в целом сделаны четкие выводы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, а так же научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе выполнен анализ нормативно-технической документации проектирования и строительства автомобильных дорог, сложившейся на сегодняшний день стадии проектирования, технологии трассирования и воздушного лазерного сканирования (ВЛС) автодорог. В частности детально рассмотрены история создания цифровых карт, технологии сбора и обработки геопространственных данных (воздушное сканирование и применение БПЛА), большое внимание уделено технологии воздушного лазерного сканирования, и в частности требованиям к классификации ТЛО, и в частности к ТЛО относящимся к поверхности земли. Отмечается крайняя необходимость разрежения массива ТЛО и фильтрации результатов, дается краткое описание существующего программного обеспечения для обработки данных ВЛС. В выводах отмечается необходимость обоснования плотности ТЛО на 1 кв.м. для различных характеристик рельефа в зависимости от способа описания рельефа (регулярная и нерегулярная сетка) и необходимость разработки алгоритмов

интерполяции ТЛО ВЛС и построения рельефа для масштаба 1:1000 (высота сечения рельефа)

Во второй главе выполнен анализ данных ВЛС с целью оптимизации цифровых моделей рельефа (ЦМР) и выполнено ГИС-моделирование рельефа в зависимости от углов наклона с целью определения минимального количества ТЛО на 1 кв.м. В частности, в зависимости от высоты сечения рельефа определены средние и ср. к.в. погрешности съемки рельефа, которые будут положены в основу расчетов по оптимизации ТЛО. В качестве эталонной поверхности принималась облако ТЛО, относящихся к поверхности земли. В качестве исследуемой модели принималась GRID поверхность с ячейками 0.5x0.5, 0.1x0.1 и 1.0x1.0. По статистическим данным установлено, что для участков с углами наклона рельефа до 2 град. минимальное количество ТЛО на 1 кв.м. составляет 0.25, для участков с углами наклона рельефа до 4 град. минимальное количество ТЛО на 1 кв.м. составляет 0.49, что для участков с углами наклона рельефа до 6 град. минимальное количество ТЛО на 1 кв.м. составляет 1.0, а для участков с углами наклона рельефа более 6 град. минимальное количество ТЛО на 1 кв.м. составляет 1.5. Достоверность полученных результатов в рамках параметров исследуемых участков не вызывает сомнений. Следует отметить, что в данном случае ТЛО поверхности земли принимались за безошибочные. В реальности ТЛО имели реальную погрешность. В этой связи в качестве погрешности определения высот ТЛО принималась расчетная паспортная величина, составляющая около 10 см. В этом случае минимальное количество точек на 1 кв.м. поверхности составило для следующих углов наклона: до 2 град- 0.41, до 4 град – 0.67, до 6 град – 1.2, более 65 град.- 1.93. Полученные результаты логичны, и не вызывают сомнения. На основе полученных данных сделан обобщающий вывод, что плотность точек лазерного сканирования на 1 кв.м. должна составлять от 0.2 до 1.99. Для подтверждения полученных результатов проводились эксперименты, когда в качестве эталонной поверхности принимались данные тахеометрической точности. В целом делается вывод о небольшом различии в полученных результатах ВЛС и тахеометрической съемки. Для более точного анализа даются некоторые рекомендации по ВЛС для отдельных типов рельефа. В частности рекомендуется для территорий с нарушенным рельефом некоторые участки уточнять методом тахеометрической съемок, что вполне разумно.

В третьей главе выполнен анализ существующих алгоритмов разрежения данных ВЛС и исследование алгоритма интерполяции данных ТЛО. В частности отмечена низкая вычислительная сложность и эффективность алгоритма

разрезать точки плоских участков и достаточную детализацию горного и всхолмлённого ландшафта, сопровождении итераций величиной ср. кв. отклонения точек от исходной ЦМР, что позволяет добиться более высокой степени разрежения ТЛО по сравнению с GRID поверхностями, применяемая технология позволяет получить более высокую точность построения модели рельефа по сравнению с ЦМР, полученной по ключевым точкам, при этом степень разрежения данных ВЛС может достигать 20%-40% без снижения точности.

В четвертой главе приводятся данные исследования разработанной методики автоматизированного построения ЦМР для проектирования автодорог. В частности отмечено, что значение D может служить элементом управления точности разреженной поверхности, а так же приводятся примеры автоматизированного построения продольного и поперечного профилей автодороги.

В заключении даются в обобщённом виде полученные в работе результаты и приводятся выводы.

Замечания:

1. В диссертационной работе имеются ряд стилистических неточностей, не оказывающих влияния на полученные выводы и заключения.

2. В диссертационной работе автор пытается в традиционном стиле все свои результаты привязать к топоплану масштаба 1:1000. Однако известно, что получаемая по данным ВЛС модель является трехмерной цифровой моделью, и в таком же виде может использоваться при проектировании автодорог (программное обеспечение это позволяет). В этой связи считаем правильным уход от традиционного построения топопланов масштаба 1:1000 к трёхмерным моделям с характеристикой их точности. При этом полученные в работе алгоритмы вполне могут работать и на моделях.

3. В работе не акцентируется внимание на реальных результатах сканирования, в которых, как правило, лазерный луч не всегда доходит до самой поверхности, а отражается от элементов ситуации и растительности. В этом случае получаемая модель будет искажена не только результатами измерений, а может и в большей степени будет искажена ошибками по фильтрации ТЛО с целью исключения отражений от растительности. При обработке данных ВЛС на это необходимо обращать особое внимание и стремиться к тому, чтобы максимально исключить этот факт. В реальности точность получения поверхности будет ниже, чем расчетная точность измерений.

4. В работе автор применяет термин «тепловая карта», которая по названию не несет никакого смысла. В данном случае целесообразнее применять термин: цветовое отображение шкалы расхождения сравниваемых поверхностей по высоте.

5. Автор работы существенно сужает сферу выполненных исследований используя выражения: воздушное лазерное сканирование и автомобильные дороги. В действительности полученные результаты имеют отношение к лазерному сканированию вообще и получению ЦМР для широких нужд применения.

Высказанные замечания не снижают качество и полноту выполненных исследований и больше являются пожеланием для будущих исследований.

Диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как новые разработки по созданию модифицированных цифровых моделей рельефа по данным ВЛС. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, П. 8 и П.11 паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, а ее автор Кочнева А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32-Геодезия.

**Официальный оппонент**

**Середович  
Владимир Адольфович**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (НГАСУ Сибстрин)», кандидат технических наук, профессор, директор Сибирского центра лазерного сканирования в строительстве. Адрес: 630108, г.Новосибирск-8, ул Ленинградская 113. Тел. 8(383)2664125, моб. +79139865680, эл. почта v.serebovich@list.ru. Шифр и наименование специальности 25.00.32 – Геодезия.

Подпись официального оппонента заверяю.

дата 04.09.2018 г.

