

На правах рукописи

Пронина Лилия Анатольевна



Методика расчета и назначения допусков на геодезические работы
для обеспечения высотного положения автомобильных дорог

25.00.32 – Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Столбов Юрий Викторович

Официальные оппоненты:

Брынь Михаил Ярославович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», заведующий кафедрой инженерной геодезии;

Сальников Валерий Геннадьевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), заведующий кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (г. Новосибирск).

Защита состоится 28 марта 2017 г. в 13-00 на заседании диссертационного совета Д 212.251.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <http://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/pronina-liliya-anatolievna/>

Автореферат разослан 30 января 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аврунев Е. И.

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 20.01.2017. Формат 60 × 84 1/16.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ .
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На точность геометрических параметров конструкций сооружений оказывают влияние ошибки, возникающие при выполнении отдельных видов работ в процессе их строительства. В нормативных документах приведены допустимые отклонения планового, вертикального и высотного положения на законченные строительством конструктивные элементы зданий и сооружений.

Приведенные в нормативных документах требования к точности высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог при их строительстве значительно выше требований, предъявляемых к точности их планового положения. Такой подход обусловлен типом конструкции и действиями, совершающимися на поверхностях конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог. Вопросы обеспечения точности планового положения автомобильных дорог не вызывают затруднений, а что касается вопросов обеспечения точности высотного положения конструктивных слоев их оснований и покрытий, то они требуют дополнительных исследований.

В нормативных документах по строительству автомобильных дорог не отражены требования по обеспечению точности выполнения геодезических работ. В строительных нормах и правилах (СНиП 3.01.03–84) и своде правил (СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве) приведены значения среднеквадратических ошибок разбивочной сети при строительстве автомобильных дорог для застроенных и незастроенных территорий, без учета их категорий и использования комплектов дорожных машин.

Расчетами и назначением обоснованных норм точности геодезических работ при строительстве автомобильных дорог занимались многие отечественные и зарубежные ученые. В последнее время в нашей стране произошел пересмотр нормативных документов по регламентации точности строительства зданий и сооружений, в том числе и при строительстве автомобильных дорог, но в этих документах отражены не все положения. Поэтому вопросы расчета и назначе-

ния допусков на геодезические работы при строительстве автомобильных дорог актуальны и в настоящее время.

В нормативных документах по регламентации точности строительства автомобильных дорог не всегда учитывается доверительная вероятность обеспечения допустимых отклонений при выполнении геодезических разбивочных работ. При применении известных методов расчета допусков для строительства автомобильных дорог не учитываются коэффициенты точности технологических процессов выполнения строительных и геодезических работ.

С появлением современных измерительных приборов необходимо совершенствовать технологию выполнения геодезических работ. Приведенные расчеты и назначение обоснованных допусков позволяют обеспечить точность высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с необходимой доверительной вероятностью.

Степень разработанности темы. Исследованиями в области разработки темы диссертации занимались: Асташенков Г. Г., Брынь М. Я., Видуев Н. Г., Визгин А. А., Ганьшин В. Н., Коугия В. А., Левчук Г. П., Лютц А. Ф., Матвеев С. И., Никитин А. В., Побережный А. А., Столбов Ю. В., Столбова С. Ю., Сытник В. С., Тимошенко Е. И., Уставич Г. А., Шилов П. И., Федоров В. И., Федотов Г. А., Хохлов Г. П., Чмчян Т. Т., Щербаков В. В. и др. Исследования с применением цифровых нивелиров и электронных тахеометров были выполнены в работах: Соболевой Е. Л., Рябовой Н. М., Рыхембердиной М. Е., Сальникова В. Г., Никонова А. В. под руководством проф. Уставича Г. А. и др. при практически одинаковой длине визирного луча (плеча). В практике строительства приходится выполнять геодезические работы при разных длинах плеч. Возникает необходимость проведения исследований по применению этих приборов в производственных условиях при строительстве автомобильных дорог.

Целью исследования является разработка методики расчета и назначения допусков для обеспечения высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с учетом точности технологических процессов при их устройстве и применения геодезических приборов.

Основные задачи исследования:

- выполнить анализ нормативных документов по регламентации точности высотного положения и существующих методик расчета и назначения допусков на геодезические работы при строительстве автомобильных дорог;
- разработать методику расчета допусков на геодезические и строительные работы с учетом точности технологических процессов при изыскании и строительстве автомобильных дорог;
- предложить методику назначения допусков на геодезические и строительные работы с учетом доверительных вероятностей обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог;
- исследовать возможности применения при выполнении геодезических работ разных приборов, в том числе цифровых нивелиров и электронных тахеометров для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог;
- разработать рекомендации по обеспечению точности высотного положения устройства оснований и покрытий автомобильных дорог с учетом их категорий, использованию комплектов дорожных машин с автоматической системой и без автоматической системы задания отметок и с применением геодезических приборов.

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем:

- разработана методика расчета допусков на геодезические и строительные работы при строительстве автомобильных дорог с учетом коэффициентов точности технологических процессов, категорий дорог, использованием комплектов дорожных машин с автоматической системой и без автоматической системы выдерживания отметок при устройстве их оснований и покрытий;
- предложена методика назначения точности геодезических работ для обеспечения допустимых отклонений отметок от проектных значений с учетом доверительных вероятностей при приемке и оценке качества устройства их оснований и покрытий при строительстве автомобильных дорог;

– обоснованы нормы точности на геодезические работы (детальная разбивка отметок поверхностей конструктивных слоев, вынос отметок пикетов от рабочих реперов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог), согласно регламентации допускаемых отклонений в СНиП 3.06.03–85 и СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги;

– даны рекомендации по обеспечению высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с применением геодезических приборов.

Теоретическая и практическая значимость диссертации. Теоретическая значимость работы заключается в разработке методики расчета и назначении допусков на геодезические работы при строительстве автомобильных дорог с учетом коэффициентов точности технологических процессов, категорий дорог, использованием комплектов дорожных машин и шагов нивелирования для обеспечения их высотного положения.

Практическая значимость работы состоит в выполнении исследований по обоснованию технологических допусков для обеспечения высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, способствующих повышению качества их строительства.

Методология и методы исследования включают: использование теории математической обработки измерений, теории вероятностей и математической статистики, современные технологии производства геодезических работ при строительстве автомобильных дорог.

Положения, выносимые на защиту:

– методика расчета допусков на геодезические работы (проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог, выноса отметок пикетов от рабочих реперов, детальной разбивки и геодезического контроля отметок при устройстве оснований и покрытий дорожной одежды) с учетом точности технологических процессов при строительстве автомобильных дорог;

– методика назначения допусков на геодезические и строительные работы с учетом доверительных вероятностей обеспечения допускаемых откло-

нений (пределных ошибок) при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог;

– результаты исследования норм точности на геодезические и строительные работы при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог для обеспечения их высотного положения;

– результаты исследований точности определения отметок с применением разных приборов, в том числе цифровых нивелиров и электронных тахеометров;

– рекомендации по обеспечению точности высотного положения при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог с применением геодезических приборов.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. На основе фундаментальных, достоверно изученных положений и методологической базы исследований выполнены измерения высотного положения поверхности покрытий автомобильных дорог при проведении экспериментальных исследований с использованием современных геодезических приборов, в том числе цифрового нивелира и электронного тахеометра, прошедших метрологическую аттестацию.

Методика расчета и назначения допусков на геодезические работы была внедрена в геодезическое производство ООО «Автодорпроект» г. Омска, а методики расчета и назначения допусков на геодезические и строительные работы с учетом точности технологических процессов при строительстве автомобильных дорог и доверительных вероятностей обеспечения допускаемых отклонений устройства их оснований и покрытий внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «СибАДИ» и ФГБОУ ВО Омский ГАУ.

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались, обсуждались и нашли положительные отклики на трех международных научно-практических конференциях:

– на Международной научно-практической конференции «Роль и значение землеустроительной науки и образования в развитии Сибири», г. Омск, 30–31 марта 2012 г.;

– на Международной научно-практической конференции «Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки», г. Омск, 15–16 декабря 2014 г.;

– на Международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, транспорт», г. Омск, 2–3 декабря 2015 г.

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в девяти научных статьях, в том числе шесть статей опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 175 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 152 наименования, содержит 43 таблицы, 20 рисунков, 11 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цель и основные задачи диссертационной работы, раскрывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость, излагаются основные положения, выносимые на защиту, отмечается степень достоверности результатов исследования.

В первом разделе проведен анализ нормативных документов и технической литературы по проектированию и строительству автомобильных дорог. В нормативно-технических документах регламентируются значения допусков планового и высотного положения на законченные строительством основания и покрытия автомобильных дорог, нет пояснений по обеспечению точности высотного положения при их строительстве. В связи с этим возникает необходимость продолжения дальнейших исследований по обоснованию

и обеспечению точности высотного положения при строительстве автомобильных дорог.

Во втором разделе выполнен анализ методик расчета допусков на контрольные измерения, строительные и геодезические работы при изыскании и строительстве автомобильных дорог. В существующих методиках расчета допусков находят применение методы, основанные на принципах равного влияния и ничтожного влияния отдельных источников ошибок на конечный результат, методы расчета допусков по заданной доверительной вероятности строительного допуска и с учетом коэффициентов точности технологических процессов их устройства.

Выполнив анализ методов расчета допусков, можно констатировать, что методы, основанные на принципе равного влияния и ничтожного влияния источников ошибок, возможно применять на начальных стадиях проектирования и строительства сооружений. Эти методы могут способствовать как необоснованному завышению точности, что повлечет за собой повышение затрат на производство работ, так и занижению точности строительства, что приведет к некачественному их выполнению. Расчет допусков методом по заданной доверительной вероятности строительного допуска практически не отличается от метода, основанного на принципе ничтожного влияния погрешностей. Метод расчета допусков с учетом точности технологических процессов строительства сооружений применим на всех этапах строительства, при условии, что точность технологического процесса уже известна или может быть определена опытным путем.

В работе выполнен расчет допусков на строительные работы и геодезический контроль перечисленными методами, где за основу принято нормируемое значение амплитуд отметок, равное $\delta_H = \pm 8$ мм (при длине прямой линии равной 20 м или шаге нивелирования 10 м), при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания отметок для дорог I, II и III категорий.

Амплитуды являются одним из основных критериев оценки качества соблюдения геометрических параметров при приемке законченного строительством автомобильных дорог.

При расчете норм точности на строительные работы и геодезический контроль следует переходить от нормативных допустимых отклонений (предельных ошибок) к средним квадратическим ошибкам (СКО), при этом задаваясь доверительными вероятностями $P = 0,90$ или $P = 0,95$. Для выполнения расчетов применим формулу

$$m_H = \frac{\delta_H}{t}, \quad (1)$$

где δ_H – допустимое отклонение (предельная ошибка) высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог;

t – величина, равная $t = 1,64$ при $P = 0,90$ и $t = 2,0$ при $P = 0,95$.

Значение СКО в высотном положении при строительстве оснований и покрытий автомобильных дорог можно определить по выражению

$$m^2 = m_c^2 + m_r^2, \quad (2)$$

где m_c – величина СКО строительных работ;

m_r – величина СКО геодезических работ.

В нормативных документах регламентированы значения отклонений отметок от проектных значений, которые следует принимать за основу расчета точности разбивочных работ (детальную разбивку, вынос отметок пикетов и продолжение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог).

На общую СКО геодезических разбивочных работ при изыскании и строительстве автомобильных дорог оказывают влияние погрешности их на разных ступенях

$$m_r = \sqrt{m_{др}^2 + m_{ВП}^2 + m_{НХ}^2}, \quad (3)$$

где $m_{др}$ – СКО при детальной разбивке отметок;

$m_{вп}$ – СКО при выносе отметок пикетов от рабочих реперов;

$m_{нх}$ – СКО при проложении нивелирного хода.

В работе выполнен расчет допусков на геодезические работы при изыскании и строительстве плоскостных сооружений (какими являются автомобильные дороги), с применением рассматриваемых методов. За основу расчета принято отклонение отметок от проектных значений, равное $\delta_n = \pm 25$ мм, согласно СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги, при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок для дорог IV, V категорий общего пользования и ведомственных.

Приведенный анализ методов расчета допусков при изыскании и строительстве автомобильных дорог показал, что наиболее обоснованные нормы получены при применении метода *с учетом точности технологических процессов* ($T_{п}$) устройства их оснований и покрытий, а также доверительных вероятностей обеспечения предельных погрешностей при производстве геодезических работ.

В *третьем разделе* выполнен расчет допусков на геодезические работы для обеспечения заданного высотного положения автомобильных дорог при их строительстве методом *с учетом точности технологических процессов*, при этом необходимо обоснование норм точности для следующих их видов:

- проложения нивелирных ходов по трассе автомобильных дорог с закреплением (вне зоны земляных работ при строительстве дорог) рабочих реперов через 500 м;
- разбивки (выноса) отметок пикетов от рабочих реперов на трассу автомобильных дорог;
- детальной разбивки отметок поверхностей конструктивных слоев оснований и покрытий при их строительстве;
- геодезического контроля при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог, приемке и оценке качества строительных работ.

Обоснование допусков на геодезические разбивочные работы по ступеням их выполнения следует выполнять в обратной последовательности проведения их в строительной практике, т. е. при расчетах точности решать обратные задачи. Сначала в работе обоснованы допуски на строительные работы и геодезический контроль при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при этом за основу приняты допустимые значения амплитуд, регламентируемые в нормативных документах.

Затем приведен расчет допусков на геодезические работы (детальную разбивку, вынос отметок пикетов от рабочих реперов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог), выполненный с учетом коэффициентов точности технологических процессов устройства оснований и покрытий и доверительных вероятностей их обеспечения, в зависимости от шагов нивелирования (длин прямых линий), категорий дорог и комплектов дорожных машин. За основу расчета приняты отклонения отметок по оси от проектных значений, равные $\delta_n = \pm 10$ мм и $\delta_n = \pm 25$ мм, соответственно для всех категорий дорог при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок и для дорог категорий IV и V общего пользования и ведомственных при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок. Результаты представлены в таблице 1.

Полученные результаты позволяют устанавливать точность геодезических работ (детальной разбивки $T_{др}$, выноса отметок пикетов $T_{ВП}$ и проложения нивелирных ходов $T_{НХ}$ вдоль или по трассе автомобильных дорог) на стадии изысканий и строительства для разных категорий дорог и комплектов машин. Поэтому при строительстве автомобильных дорог необходимо налаживать технологический процесс не по предельным (допускаемым) отклонениям, а по СКО геодезических работ.

Таблица 1 – Нормы точности на геодезические работы

$T_{\text{П}}$	Детальная разбивка			Вынос отметок пикетов			Проложение нивелирных ходов		
	$\delta_{\text{др}}$, мм	$T_{\text{др}}$	$m_{\text{др}}$, мм	$T_{\text{ВП}}$	$m_{\text{ВП}}$, мм	$\delta_{\text{ВП}}$, мм	$T_{\text{НХ}}$	$m_{\text{НХ}}$, мм	$\delta_{\text{НХ}}$, мм
Для всех категорий дорог с применением комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок									
1,00	±4,50	2,0	±2,25	2,0	±2,02	±4,04	2,0	±1,82	±3,64
1,50	±5,50	2,0	±2,75	2,0	±2,47	±4,94	2,0	±2,23	±4,46
1,64	±6,10	2,0	±3,05	2,0	±2,74	±5,48	2,0	±2,47	±4,94
2,00	±9,00	2,0	±4,50	2,0	±4,05	±8,10	2,0	±3,65	±7,30
2,50	±10,00	2,0	±5,00	2,0	±4,40	±9,00	2,0	±2,23	±8,10
Для дорог категории IV и V общего пользования и ведомственных с применением комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок									
1,00	±11,25	2,0	±5,62	2,0	±5,06	±10,12	2,0	±4,55	±9,11
1,50	±13,75	2,0	±6,86	2,0	±6,19	±12,38	2,0	±5,57	±11,14
1,64	±15,25	2,0	±7,62	2,0	±6,86	±13,72	2,0	±6,17	±12,35
2,00	±22,25	2,0	±11,25	2,0	±10,12	±20,24	2,0	±9,11	±18,22
2,50	±25,00	2,0	±12,50	2,0	±11,25	±22,50	2,0	±10,13	±20,27

В четвертом разделе приведены теоретические основы статистических исследований точности определения высотного положения поверхностей конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог. Для определения точности результатов измерений и закономерностей распределения отклонений высот был выполнен их статистический анализ. Изложена методика исследования точности, определения высот покрытия автомобильной дороги, с применением геодезических приборов (на полигоне).

Для исследования точности, определения высот покрытий автомобильных дорог применялся следующий комплект приборов: оптические (высокоточный Н-2 и точный Н-3) и цифровой (типа TRIMBLE DINI 0,7) нивелиры и электронный тахеометр типа TRIMBLE M3 (типа TRIMBLE M3, СКО измерения углов 5"). В действующей инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов изложены программы нивелирования оптическими нивелирами и ничего не сказано о применении цифровых нивелиров и электронных тахеометров, поэтому выполненные исследования определения высот этими приборами позволяют дать рекомендации по их применению при строительстве автомобильных дорог.

На территории федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина» в процессе экспериментальных исследований был создан полигон протяженностью 400 м. В асфальтное покрытие автомобильной дороги на расстоянии 0,5 м от кромки были забиты дюбели и обозначены пикеты. Измерение покрытия участка автомобильной дороги выполнялось по программе нивелирования II класса коротким горизонтальным лучом визирования. Наблюдения на станции выполнялись способом совмещения, при нивелировании применялся высокоточный нивелир Н-2 и штриховые инварные рейки, вместо костылей использовались дюбели. Предварительно были обозначены места стоянок прибора при удалении от противоположной кромки примерно на 1 м, так чтобы при нивелировании были равные плечи, $S = 50$ м. На полигоне выполнено нивелирование замкнутого короткого хода, вычисленные высоты пикетов приняты за высоты связующих точек.

Экспериментальный участок покрытия автомобильной дороги между связующими точками был разбит на отрезки, концы которых закреплены дюбелями через 10 м (промежуточными точками). Нивелирование промежуточных точек выполнено в одном направлении, оптическим нивелиром Н-2, коротким визирным лучом, $S = 10$ м, по программе нивелирования II класса.

Высоты, полученные по результатам нивелирования II класса связующих и промежуточных точек покрытия автомобильной дороги, приняты за исходные (точные) значения.

С целью исследования возможностей применения современных геодезических приборов при строительстве автомобильных дорог было выполнено нивелирование промежуточных и связующих точек покрытия автомобильной дороги при длине визирного луча $S = 50; 100; 150$ м. При этом были использованы: нивелир Н-3 и трехметровые деревянные рейки с черной и красной стороной (по программе технического нивелирования), цифровой нивелир и штрих-

кодовые рейки, электронный тахеометр и отражатели, которые прошли метрологическое освидетельствование.

Для получения статистических данных нивелирование выполнялось при двух горизонтах. Каждый прибор применялся поочередно. Высоты покрытия автомобильной дороги, полученные с применением каждого прибора, сравнивались с точными.

На основе статистического анализа результатов определения отклонений высот покрытия автомобильной дороги установлена закономерность их распределения, определены статистические характеристики точности, проверена статистическая однородность и стабильность с применением критериев согласия теоретического и опытного распределений. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки параметров распределения отклонений высот, полученных на полигоне

Прибор	Длина визир. луча, м	Объем ряда, шт.	\bar{x} , мм	$\pm m$, мм	$\pm M$, мм	$\pm m_m$, мм	Доверительный интервал, мм	
							a	σ
Цифровой нивелир	50	88	-0,06	1,05	0,11	0,08	$-0,28 < a < 0,22$	$0,89 < \sigma < 1,21$
Электронный тахеометр	50	88	0,43	2,09	0,22	0,16	$-0,01 < a < 0,87$	$1,78 < \sigma < 2,40$
Нивелир Н-3	50	88	0,16	2,20	0,23	0,17	$-0,30 < a < 0,62$	$1,87 < \sigma < 2,53$
Цифровой нивелир	100	126	0,06	1,83	0,16	0,12	$-0,26 < a < 0,38$	$1,59 < \sigma < 2,07$
Электронный тахеометр	100	126	-0,07	2,88	0,26	0,18	$-0,58 < a < 0,44$	$2,50 < \sigma < 3,25$
Нивелир Н-3	100	126	0,14	2,91	0,26	0,18	$-0,37 < a < 0,65$	$2,53 < \sigma < 3,29$
Электронный тахеометр	150	64	-0,19	3,70	0,46	0,33	$-1,11 < a < 0,72$	$3,03 < \sigma < 4,37$
Нивелир Н-3	150	64	0,13	3,77	0,77	0,34	$-0,80 < a < 1,06$	$3,09 < \sigma < 4,45$

По результатам статистической обработки отклонений установлено, что наиболее точные значения высот получены с применением цифрового нивелира. Результаты нивелирования, полученные электронным тахеометром, по точности одного порядка с результатами, полученными с использованием нивелира Н-3.

На основании выполненных исследований в диссертационной работе приведено обоснование и обеспечение точности детальной разбивки высотного положения поверхности покрытия применяемым комплектом приборов при максимальных удалениях реек (отражателя) на расстояниях 50; 100; 150 м. Вычислены СКО отклонений высот с применением основных положений теории вероятностей и математической статистики, которые приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения СКО определения отклонений высот, полученных с применением трех геодезических приборов

Наименование прибора	Удаление прибора от рейки (отражателя)/Значения СКО		
	50 м	100 м	150 м
Цифровой нивелир	$m = \pm 1,20$ мм	$m = \pm 2,48$ мм	
Электронный тахеометр	$m = \pm 3,21$ мм	$m = \pm 4,10$ мм	$m = \pm 6,71$ мм
Нивелир Н-3	$m = \pm 2,27$ мм	$m = \pm 4,74$ мм	$m = \pm 7,15$ мм

По результатам исследований можно сделать вывод, что электронные тахеометры, позволяющие обеспечить необходимую точность планового и высотного положения, следует рекомендовать для широкого применения на стадии изысканий автомобильных дорог. А на стадии строительства (выноса отметок пикетов от рабочих реперов на трассу автомобильных дорог, детальной разбивки отметок и геодезического контроля при устройстве их оснований и покрытий), особенно при применении комплекта машин с автоматической системой выдерживания отметок, следует рекомендовать применение цифровых нивелиров.

С целью подтверждения экспериментальных исследований и определения неровности покрытия автомобильной дороги были выполнены исследования на левобережной подъездной автомобильной дороге, ведущей к Красногорскому гидроузлу в Омской области, и автомобильной дороге II категории Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино.

Исследования выполнялись тем же комплектом приборов, что и на полигоне. Высоты, полученные цифровым нивелиром, были приняты за исходные. По вычисленным отклонениям высот, полученных с применением электронного тахеометра или нивелира Н-3, от исходных значений выполнена статистическая обработка параметров распределения, результаты исследований подтверждают данные, полученные на полигоне. Показатели неровности покрытия соответствуют требованиям СНиП 3.06.03–85, действовавшего на момент выполнения работ.

Выполненный статистический анализ точности на экспериментальном участке показал, что наиболее точные значения высот покрытия автомобильной дороги получены с применением цифрового нивелира. Отклонения высот, полученные с применением нивелира Н-3, практически одного порядка точности с результатами нивелирования, выполненного с использованием электронного тахеометра.

В пятом разделе приведены рекомендации по обеспечению точности заданного высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог при их строительстве.

Современные нормативные документы предъявляют высокие требования к точности строительства автомобильных дорог. В связи с этим возникает необходимость при изыскании и строительстве автомобильных дорог (особенно, при использовании комплектов дорожных машин с автоматической системой выдерживания отметок) применения новых геодезических приборов (цифровых нивелиров и электронных тахеометров). Цифровые нивелиры типа TRIMBLE DINI обеспечивают точность нивелирования II класса при определенных методиках выполнения работ. При этом в современной литературе нет официально утвержденной и научно-обоснованной сертификации их применения. Это же замечание можно отнести и к электронным тахеометрам.

Исследования электронных тахеометров, выполненные в России и за рубежом, показывают, что этими приборами обеспечивается точность нивелиро-

вания IV класса при создании геодезических сетей для выполнения топографических работ. Применение цифровых нивелиров и электронных тахеометров в массовом строительстве автомобильных дорог разных категорий недостаточно освещено в технической литературе.

В работе приведены значения предельных и средних квадратических ошибок отметок, максимальные и минимальные расстояния от прибора до рейки (для обеспечения геодезического контроля при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог). Расчеты выполнены для разных шагов нивелирования, показателей точности технологического процесса устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и доверительных вероятностей их обеспечения, категорий дорог, применения комплекта дорожных машин с автоматической системой и без автоматической системы выдерживания заданных отметок.

Для обеспечения регламентируемых в СНиП 3.03.06–85 и СП 78.13330.2012 отклонений отметок по оси от проектных значений, принятых $\delta_n = \pm 10$ мм и $\delta_n = \pm 25$ мм, выполнены расчеты СКО детальной разбивки отметок конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, в зависимости от коэффициентов точности их технологических процессов T_n . Выполненный анализ полученных результатов показал, что при строительстве дорог с использованием комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок возможно применение оптических нивелиров типа Н-3 и электронных тахеометров (типа TRIMBLE M3, СКО измерения углов 5"). Применение цифровых нивелиров целесообразно для детальной разбивки отметок конструктивных слоев оснований и покрытий при использовании комплектов дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок.

В соответствии с требованиями СП 126.13330.2012, для обеспечения регламентированной точности высотного положения при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог необходимо обосновать значения СКО выноса отметок пикетов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе при их строительстве.

Зная средние квадратические и предельные ошибки геодезических работ, можно рассчитать необходимый класс нивелирования выноса отметок пикетов, а при проложении высотных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог можно рассчитать класс нивелирования и их длину. Значения предельных погрешностей геодезических работ представлены в таблице 1.

Предельная погрешность $\delta_{\text{нх}}$ в самом слабом месте геометрического нивелирования (середине хода) после его уравнивания равна половине полученной невязки в ходе f_h ($\delta_{\text{нх}} = f_h / 2$). Согласно инструкции по нивелированию предельные допустимые невязки нивелирных ходов, их длины и классы нивелирования приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения предельных ошибок, невязок и длин нивелирных ходов при проложении их вдоль или по трассе автомобильных дорог, согласно регламентации классов точности нивелирования

$T_{\text{п}}$	Предельная ошибка хода, $\delta_{\text{нх}}$, мм	Невязка хода f , мм	Длина хода L , км	Класс точности нивелирного хода
Для всех категорий дорог, при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок				
1,00	±3,64	±7,28	0,54	III класс
1,50	±4,46	±8,92	0,80	III класс
1,64	±4,94	±9,88	0,98	III класс
2,00	±7,30	±14,60	2,13	III класс
2,50	±8,10	±16,20	2,62	III класс
Для дорог категории IV и V общего пользования и ведомственных, при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок				
1,00	±9,11	±18,22	0,82	IV класс
1,50	±11,14	±22,28	1,24	IV класс
1,64	±12,35	±24,70	1,50	IV класс
2,00	±18,22	±36,44	3,30	IV класс
2,50	±20,27	±40,52	4,10	IV класс

При строительстве автомобильных дорог, вынос отметок пикетов выполняется путем проложения коротких нивелирных ходов между рабочими реперами, расстояние между ними должно быть 500 м. Предельные погрешности проложения высотных ходов между рабочими реперами, их невязки и класс нивелирования представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения предельных ошибок, допустимых невязок и предельных длин нивелирных ходов при выносе отметок пикетов

T_{Π}	Предельная ошибка хода $\delta_{вп}$, мм	Невязка хода f , мм	Класс точности нивелирования
Для всех категорий дорог, при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок			
1,00	±4,04	±8,08	III класс
1,50	±4,94	±9,88	III класс
1,64	±5,48	±10,96	III класс
2,00	±8,10	±16,20	IV класс
2,50	±9,00	±18,00	IV класс
Для дорог категории IV и V общего пользования и ведомственных, при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок			
1,00	±10,12	±20,24	IV класс
1,50	±12,38	±24,76	IV класс
1,64	±13,72	±27,44	IV класс
2,00	±20,24	±40,48	техническое
2,50	±22,50	±45,00	техническое

Анализируя данные таблиц 4, 5, можно констатировать, что для дорог всех категорий, при применении комплекта машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок, проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог следует выполнять по программе нивелирования III класса точности. Вынос отметок пикетов, при коэффициентах точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог $T_{\Pi} = 1,0; 1,5; 1,64$, следует выполнять по программе нивелирования III класса, а при $T_{\Pi} = 2,0; 2,5$ – по программе нивелирования IV класса.

Для дорог категорий IV и V общего пользования и ведомственных (с применением комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок) проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог следует выполнять по программе нивелирования IV класса точности. Вынос отметок пикетов, при показателях точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог $T_{\Pi} = 1,0; 1,5; 1,64$, следует выполнять по программе нивелирования IV класса точности, а при $T_{\Pi} = 2,0; 2,5$ – по программе технического нивелирования.

На основании выполненных исследований можно констатировать, что цифровые нивелиры следует рекомендовать для широкого применения при строительстве автомобильных дорог, особенно при использовании комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания отметок, а применение электронного тахеометра целесообразно на стадии изысканий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе теоретических и практических исследований решена научно-техническая задача по совершенствованию методики расчета и назначения допусков на геодезические работы при изыскании и строительстве автомобильных дорог.

Итоги диссертационного исследования заключаются в следующем:

– выполнен анализ нормативных документов по регламентации точности высотного положения и существующих методик расчета и назначения допусков на геодезические работы при строительстве автомобильных дорог;

– предложена методика расчета допусков на геодезические (контрольные измерения, детальную разбивку, вынос отметок пикетов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог) и строительные работы с применением метода с учетом коэффициентов точности технологического процесса устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог и доверительных вероятностей их обеспечения, а также категорий дорог, шагов нивелирования (длин прямых линий), использования комплектов дорожных машин с автоматической системой и без автоматической системы выдерживания отметок, позволяющая определять наиболее обоснованные нормы точности;

– установлено, что при расчете и назначении допусков по предложенным методикам получены дифференцированные научно-обоснованные нормы точности строительства автомобильных дорог, обеспечивающие регламентированное их высотное положение;

– обоснованы допуски на геодезические и строительные работы при строительстве автомобильных дорог с учетом их категорий, шагов нивелирования (длин прямых линий), использования комплектов дорожных машин с автоматической системой и без автоматической системы выдерживания отметок и коэффициентов точности технологических процессов при их устройстве;

– при расчете и назначении допусков на строительные работы и геодезический контроль для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог за основу предложено принимать значения амплитуд отметок. Для расчетов и назначения допусков на детальную разбивку, вынос отметок пикетов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог, за основу предложено принимать допустимые отклонения отметок от проектных значений;

– исследованы возможности применения, при выполнении геодезических работ, разных приборов, в том числе цифровых нивелиров (типа TRIMBLE DINI 0.7) и электронных тахеометров (типа TRIMBLE M3, СКО измерения углов 5") для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог;

– разработаны рекомендации по обеспечению точности высотного положения устройства оснований и покрытий автомобильных дорог с учетом выполнения геодезических и строительных работ с доверительными вероятностями $P = 0,90$ и $P = 0,95$;

– даны рекомендации по применению оптических нивелиров Н-3, цифровых нивелиров (типа TRIMBLE DINI 0.7) и электронных тахеометров (типа TRIMBLE M3, СКО измерения углов 5") при строительстве автомобильных дорог, что способствует повышению точности, производительности работ и качества их строительства.

Результаты выполненных исследований рекомендованы для внедрения в геодезическое производство при строительстве автомобильных дорог, а также к внедрению в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирская государствен-

ная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина». В перспективе результаты исследований будут рекомендоваться к внедрению в существующие нормативные документы, регламентирующие точность геодезических работ при строительстве автомобильных дорог. Дальнейшие исследования по обоснованию норм точности на геодезические работы при изыскании и строительстве автомобильных дорог должны проводиться по применению электронных тахеометров и цифровых нивелиров разной точности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Анализ методов расчета точности геодезического контроля высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев, Л. А. Пронина // Вестник СибАДИ. – 2012. – Вып. 2 (24). – С. 69–73.

2 Обоснование и обеспечение необходимой точности детальной разбивки вертикальных отметок конструктивных слоев дорожных одежд [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев, Л. А. Пронина // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (114). – С. 261–263.

3 Исследование точности высотного положения верхнего слоя покрытия автомобильной дороги с шагом нивелирования десять метров [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев, Л. А. Пронина // Вестник СибАДИ. – 2012. – Вып. 6 (28). – С. 73–77.

4 Обоснование точности выноса вертикальных отметок пикетов от рабочих реперов на трассы автомобильных дорог при их строительстве [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина, А. О. Гумерова // Омский научный вестник. – 2013. – № 2 (124). – С. 144–146.

5 Расчет допусков на геодезические разбивочные работы с учетом точности технологических процессов при изысканиях и строительстве автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина, И. Е. Старовойтов // Вестник СибАДИ. – 2015. – Вып. 5 (45). – С. 87–92.

6 Обеспечение точности проложения нивелирных ходов при изыскании и выноса высотных отметок пикетов при строительстве автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина, И. Е. Старовойтов // Вестник СибАДИ. – 2016. – Вып. 2 (48). – С. 120–125.

7 Геодезические исследования точности высотного положения верхнего слоя основания автомобильной дороги из черного щебня [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев, Л. А. Пронина // Роль и значение землеустроительной науки и образования в развитии Сибири: материалы междунар. науч.-практ. конф., Омск, 30–31 марта 2012 г. – Омск, 2012. – С. 353–356.

8 Столбов, Ю. В. Исследование точности определения вертикальных отметок покрытий автомобильных дорог с применением цифровых нивелиров и электронных тахеометров [Электронный ресурс] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Омск, 15–16 декабря 2014 г., Сиб. гос. автомобильно-дорож. акад. – Омск, 2014. – Кн. 1. – С. 199–201. – Режим доступа : <http://bek.sibadi.org/fulltext/EPD992.pdf>.

9 Пронина, Л. А. Обоснование точности строительных и геодезических работ при строительстве автомобильных дорог категории IV и V общего пользования и ведомственных [Электронный ресурс] / Л. А. Пронина // Техника и технологии строительства : науч.-практ. электрон. журн. – 2016. – Вып. 2 (6). – Режим доступа : <http://ttc.sibadi.org>.