

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия»
(СибАДИ)

На правах рукописи

Пронина Лилия Анатольевна



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

25.00.32 – Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Столбов Юрий Викторович

Омск – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ТОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.....	12
1.1 Классификация допусков в системе обеспечения точности геометрических параметров при строительстве сооружений.....	12
1.2 Функциональные допуски, обеспечивающие эксплуатационные свойства сооружения.....	16
1.3 Технологические допуски, обеспечивающие необходимую точность строительства автомобильных дорог на этапах строительства.....	17
1.4 Анализ нормативных документов по точности устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог при их строительстве.....	18
2 МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И НАЗНАЧЕНИЯ ДОПУСКОВ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.....	28
2.1 Существующие методики расчета и назначения допусков на геодезические и строительные работы при строительстве сооружений.....	28
2.2 Исследование методик расчета и назначения допусков на строительные работы и геодезический контроль при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог.....	40
2.3 Исследование методик расчета и назначения допусков на геодезические разбивочные работы при строительстве автомобильных дорог.....	50
3 ОБОСНОВАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ ДОПУСКОВ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ	58

	АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ИХ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	
3.1	Обоснование и назначение допусков на строительные работы и геодезический контроль при строительстве автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов.....	58
3.2	Обоснование и назначение допусков на геодезические разбивочные работы при строительстве автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов.....	62
4	ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ.....	70
4.1	Теоретические основы статистических исследований точности определения высотного положения поверхностей конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог.....	70
4.2	Методика исследования точности высотного положения покрытия автомобильной дороги с применением геодезических приборов (на полигоне).....	77
4.3	Исследование точности конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с применением геодезических приборов на объектах строительства.....	101
5	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ИХ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	117
5.1	Рекомендации по обеспечению допусков на геодезический контроль для строительства автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов.....	117
5.2	Рекомендации по обеспечению допусков на детальную разбивку отметок для строительства автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов.....	127

5.3	Рекомендации по обеспечению допусков выноса отметок пикетов и проложения нивелирных ходов для строительства дорог с учетом точности их технологических процессов.....	131
5.4	Рекомендации по применению современных геодезических приборов для строительства автомобильных дорог.....	136
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	140
	ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИВЕЛИРА Н-3 (S = 100 м).....	156
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА (S = 100 м).....	158
	ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИВЕЛИРА Н-3 (S = 150 м).....	160
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА (S = 150 м).....	162
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ВЕДУЩЕЙ КРАСНОГОРСКОМУ ГИДРОУЗЛУ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИВЕЛИРА Н-3 (S = 100 м).....	164

ПРИЛОЖЕНИЕ Е (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ВЕДУЩЕЙ КРАСНОГОРСКОМУ ГИДРОУЗЛУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА (S = 100 м).....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ, ШАГ 10 м (ЧЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ, ЛЕВАЯ БРОВКА).....	168
ПРИЛОЖЕНИЕ И (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ, ШАГ 10 м (ЧЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ, ЦЕНТР).....	170
ПРИЛОЖЕНИЕ К (обязательное) ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ, ШАГ 10 м (ЧЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ, ПРАВАЯ БРОВКА).....	172
ПРИЛОЖЕНИЕ Л (обязательное) СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ ЦИФРОВОГО НИВЕЛИРА.....	174
ПРИЛОЖЕНИЕ М (обязательное) СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА.....	175

ВВЕДЕНИЕ

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 СНиП 3.01.03–84 [97] и СП 126.13330.2012 [107] 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 назначения 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., Брынъ 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 отклонений (предельных 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.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ТОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

1.1 Классификация допусков в системе обеспечения точности геометрических параметров при строительстве сооружений

Проектные нормативно технические документы, межгосударственные стандарты (ГОСТ) и государственные национальные стандарты Российской Федерации (ГОСТ Р) устанавливают требования к точности конкретных элементов и конструкции зданий и сооружений, регламентируют выполнение работ и контроль точности их строительства.

При строительстве зданий и сооружений из-за возникающих ошибок в технологических операциях строительного-монтажного процесса, линейные и угловые элементы сооружения не всегда совпадают с параметрами, определенными при проектировании. В этой связи, точность изготовления и установки конструкций зданий и сооружений в проектное положение является важной характеристикой качества строительства. Показатели точности геометрических параметров при сборке конструкции сооружения с учетом функциональных, конструктивных, технологических и экономических требований должны устанавливаться не только на заключительном этапе, но и соблюдаться на всех стадиях строительства.

Точность геометрического параметра x , представляющего собой случайную величину, определяет характеристики допустимых отклонений угловых и линейных размеров, в соответствии с ГОСТ 21778–81 [22]. Для наглядного графического изображения характеристик точности геометрических параметров и их взаимосвязей можно воспользоваться кривой нормального распределения, представленной на рисунке 1.1.

Номинальными x_{nom} или проектными характеристиками геометрического параметра называют расчетные размеры, полученные при проектировании. Действительные размеры величины x_i получают в результате выноса проекта на

местность при строительстве автомобильных дорог, ошибки измерений при этом исключаются.

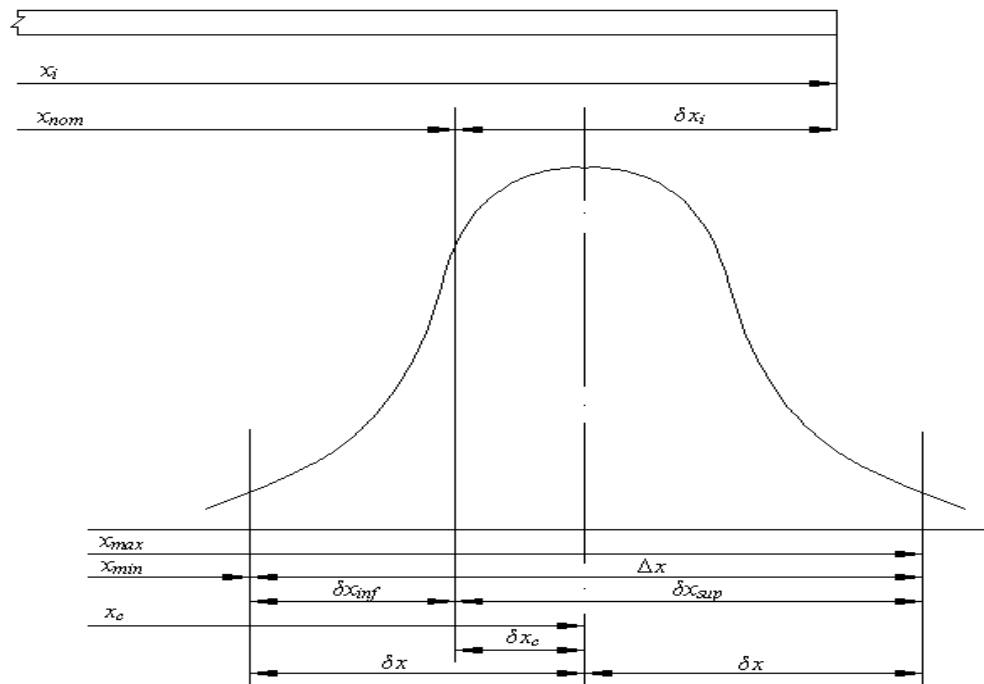


Рисунок 1.1 – Распределение точности геометрического параметра в виде кривой нормального распределения

Сходимость действительного значения параметра с его номинальной величиной может быть вычислена по формуле (1.1) и в каждом отдельном случае она будет характеризовать точность геометрического параметра [22]

$$\delta x_i = x_i - x_{nom} \cdot \quad (1.1)$$

В результате послойного строительства дорожной одежды и измерительных действий, связанных с выносом проектных данных на местность, происходит накопление случайных и систематических ошибок, их количественное выражение и является действительным отклонением δx_i .

В проектной и нормативно технической документации точность геометрических параметров характеризуется минимальным x_{min} и максимальным x_{max} предельными размерами. Эти величины могут отклоняться, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения от номинального значения. Точность

геометрического параметра, характеризуется степенью приближения действительных значений к их номинальной величине.

Величина δx_i – показывающая точность геометрического параметра может изменяться от характеристики δx_{sup} – размер, показывающий верхнюю границу отклонения до δx_{inf} – соответственно нижней границы предельных отклонений от номинального значения. Совокупность значений геометрического параметра, ограниченная его предельными отклонениями δx_{sup} и δx_{inf} характеризуется значением Δx и называется полем допуска или просто допуском.

Связь этих величин приведена в [22] и выражена формулами:

$$x_{min} = x_{nom} + \delta x_{inf} = x_c - \delta x, \quad (1.2)$$

$$x_{max} = x_{nom} + \delta x_{sup} = x_c + \delta x, \quad (1.3)$$

$$\Delta x = 2\delta x = x_{max} - x_{min} = \delta x_{sup} - \delta x_{inf}, \quad (1.4)$$

$$\delta x_c = x_c - x_{nom} = \frac{(x_{max} - x_{min})}{2} - x_{nom} = \frac{(\delta x_{sup} + \delta x_{inf})}{2}. \quad (1.5)$$

Статистическими характеристиками точности параметра x , является его среднее значение m_x и среднеквадратическое отклонение σ_x . Эти показатели, могут быть вычислены в результате объединения подлинных значений x_i полученных при строительстве сооружения. В случае если распределение геометрического параметра подчиняется нормальному закону случайных величин, то точечными статистическими характеристиками, которыми являются среднее значение m_x и среднеквадратическое отклонение σ_x , будут выборочное среднее x_m и выборочное среднее отклонение (стандартное) S_x , определяемые по формулам:

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.6)$$

$$S_X = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1.7)$$

В процессе строительства, в измерениях может накапливаться систематическое отклонение δm_x геометрического параметра, которое должно быть извлечено из результатов измерений. Систематическое отклонение геометрического параметра x , при нормальном распределении [22], является выборочным средним отклонением δx_m и определяется по формуле

$$\delta x_m = x_m + \delta x_{nom}. \quad (1.8)$$

Значения в пределах которых, могут изменяться величины геометрического параметра, удовлетворяющие определенным вероятностям возникновения результатов этого геометрического параметра называются предельными значениями и соответственно обозначают x_{min} и x_{max} [22]. Взаимосвязь этих величин со статистическими характеристиками точности геометрического параметра, выражается формулами:

$$x_{min} = m_x - t_{min} \delta x, \quad (1.9)$$

$$x_{max} = m_x + t_{max} \delta x. \quad (1.10)$$

где t_{min} и t_{max} – коэффициент, зависящий от вероятности появления предельных значений геометрического параметра (вероятность принимается одинаковой, но не более 0,05) и типа его статистического распределения.

Если распределение геометрического параметра x является симметричным [22], как на рисунке 1.1, и подходит под закон нормального распределения, то взаимосвязь между характеристиками точности может быть выражена формулами:

$$x_c = m_x, \quad (1.11)$$

$$x_{min} = x_{nom} + \delta x_c - \delta x, \quad (1.12)$$

$$x_{max} = x_{nom} + \delta x_c - \delta x. \quad (1.13)$$

В случае если номинальное значение параметра и среднее значение m_x практически одинаковы, то в конечном итоге предельные отклонения геометрического параметра можно представить выражениями [22]:

$$\delta x_c = \delta m_x = 0, \quad (1.14)$$

$$-\delta x_{inf} = \delta x_{sup} = \delta x, \quad (1.15)$$

$$x_{min} = x_{nom} - \delta x, \quad (1.16)$$

$$x_{max} = x_{nom} + \delta x. \quad (1.17)$$

1.2 Функциональные допуски, обеспечивающие эксплуатационные свойства сооружения

Основным документом, устанавливающим номенклатуру и основные принципы назначения функциональных допусков геометрических параметров в строительном производстве, является ГОСТ 26607–85 [27]. При проектировании сооружений необходимо учитывать возможность определения функциональных допустимых отклонений для того чтобы, в последствии обеспечить его эксплуатацию.

Функциональные допуски, согласно ГОСТ 26607–85 [27], делятся на три основных группы. Группа характеризующая точность размеров элементов сооружения; группа формы элементов сооружения и группа положения элементов сооружения. Кроме того каждая группа включает в себя несколько видов допусков, рассмотрим каждую в отдельности.

Группа допусков, характеризующая точность размеров элементов сооружения включает в себя: допуски размеров опирания элементов (ширины и длины) и допуски расстояния между элементами или характерными участками (зазора, высоты, пролета).

Группа допусков определяющих формы включает допуски: профиля (прямолинейности, заданного профиля) и поверхности (плоскостности, формы заданной поверхности).

Группа допусков определяющих положение содержит допуски: положения элементов в пространстве (заданного наклона, горизонтальности, вертикальности) и взаимного положения элементов (заданного угла между поверхностями, перпендикулярности поверхностей, совпадения осей, совпадения поверхностей).

При строительстве автомобильных дорог, согласно ГОСТ 26607–85 [27], следует придерживаться соблюдения следующих из перечисленных функциональных допусков: прямолинейности и формы заданного профиля; плоскостности и формы заданной поверхности; расстояния между элементами или характерными участками сооружения; положения элементов в пространстве; взаимного положения элементов.

1.3 Технологические допуски, обеспечивающие необходимую точность строительства автомобильных дорог на этапах строительства

При строительстве зданий и сооружений выполняется комплекс возможных операций и технологических процессов. На стадии окончания каждого этапа строительства сооружения стандарт устанавливает технологические допуски, которые способствуют обеспечению необходимой функциональной точности сооружения. Нормативным документом, регламентирующим значение технологических допусков геометрических параметров в строительном производстве, является ГОСТ 21779–82 [23].

В зависимости от функциональных, конструктивных, технологических и экономических требований технологические допуски и предельные отклонения различных геометрических параметров сооружения разбиты на классы точности.

В данном нормативном документе технологические допуски и отклонения рассматриваются по группам в соответствии с видами работ.

Первая группа включает в себя допуски и предельные отклонения изготовления элементов линейных размеров, прямолинейности, плоскостности и перпендикулярности.

Вторая группа допусков и отклонений характеризует точность разбивочных работ и включает в себя допуски и отклонения: разбивки точек и осей в плане;

передачи точек и осей по вертикали; разбивки отметок; от створности точек; передачи отметок; перпендикулярности.

Третья группа допусков и отклонений устанавливает точность строительных и монтажных работ при строительстве элементов сборных сооружений. В эту группу входят допуски и отклонения от: совмещения ориентиров и симметричности установки элементов.

На различных этапах строительства автомобильных дорог, согласно приведенного в ГОСТ 21779–82 [23] перечня технологических допусков, необходимо придерживаться соблюдения следующих допусков и отклонений от: линейных размеров, прямолинейности, плоскостности, разбивки точек и осей в плане, разбивки отметок, передачи отметок. Нормативный документ [23] устанавливает точность геометрических параметров возводимых сооружений и их элементов, из мелкогазмерных, монолитных и сыпучих материалов.

1.4 Анализ нормативных документов по точности устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог при их строительстве

Рассчитывая проектную точность устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, руководствуются нормами точности геометрических параметров строительных конструкций, которые приводятся нормативных документах. В соответствии с ними назначаются функциональные и технологические допуски на возведение сооружения. Качество проектных решений и возведенного по проекту дорожного покрытия зависит от обоснованности допусков точности изложенных в нормативных документах.

Достижению точности геометрических параметров, при строительстве автомобильных дорог, способствует выполнение цепочки геодезических мероприятий, связанной со строительством сооружения. Она включает в себя: создание опорной геодезической сети, создание геодезической разбивочной сети, вынос в натуру основных осей автомобильной дороги, геодезические и разбивочные работы в процессе строительства, исполнительные съемки компонентов автомобильной дороги в плановом и высотном положении,

контрольные геодезические съемки, выполненные на заключительном этапе строительства автомобильной дороги.

В нормативно технической документации отражаются требования к точности и методике выполнения перечисленных видов работ, и их взаимосвязь между собой.

Одной из характеристик соблюдения этих требований, является геометрическая точность в процессе строительства, которая устанавливает технико-экономические показатели (заводскую и построечную трудоемкость), качество и стоимость строительства сооружения. Единая система допусков в строительном производстве была разработана в 1961–1964 гг. Госстроем СССР в 1961 г. была утверждена Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского промышленного и поселкового строительства СН–212–62 [95], которая являлась основным нормативным документом по выполнению геодезических работ на строительной площадке.

В нормативном документе, в общем виде, были изложены геодезические разбивочные работы. Подробно рассматривались такие виды работ как вынос в натуру красных линий, осей улиц, главных осей зданий и сооружений. Кроме того в нормативном документе приведены допуски на посадку зданий и сооружений относительно красных линий, нормы точности на этот вид работ, определены в зависимости от способов измерения, но конструктивные особенности сооружений при этом не учитывались, не рассмотрена организация и технология выполнения строительного-монтажных работ.

Что касается определения точности строительства сооружений, то в 1962 г., Госстроем СССР был утвержден ряд нормативных документов, основным из которых являлся СНиП I–А.4–62 [100]. Этот нормативный документ объединил в себе нормы точности на изготовление, монтаж и разбивочные работы. Здесь были учтены основные требования по обеспечению точности строительных конструкций и возможность их замены друг другом.

Стандартизацию точности технологических процессов, при строительстве зданий и сооружений, определяет система допусков, основанная на принципе

группировки предельных ошибок $\delta = 3m$ или удвоенного значения предельных ошибок $\Delta = 6m$ отдельных процессов и операций, по возведению зданий и сооружений в классы точности, где m – средняя квадратическая ошибка.

Госстрой СССР в 1963 г. утвердил СНиП III–Д.5–62 [103], а взамен ему в 1973 г. Госстроем СССР был утвержден СНиП III–Д.5–73 [104]. В соответствии с данным нормативным документом необходимо при приемке выполненных и освидетельствовании скрытых, выполнять оценку качества работ, проверять их соответствие рабочим чертежам и требованиям «Строительных норм и правил». В документе регламентировались допускаемые отклонения от проектных размеров при приемке работ по устройству земляного полотна, конструктивных слоев оснований и покрытий и выносу проекта на местность. Эти отклонения считались предельными и должны составлять не более 10 % общего числа промеров каждого соответствующего коэффициента, исключением считались показатели по ровности. Что касалось уширения участков дорог, то допустимые отклонения могли быть повышены в два раза и более, при соответствующем обосновании [104].

С введением Госстроем СССР в 1976 г. в действие СНиП III–2–75 «Геодезические работы в строительстве» [101], устанавливаются значения средних квадратических ошибок при построении геодезической разбивочной основы для обеспечения процесса строительства дорог. Среднеквадратические ошибки соответственно (линейных измерений 1/5000 и 1/2000, угловых измерений 20" и 30" и определения отметок от 3 до 5 мм) приведены для застраиваемых и не застраиваемых территорий.

Взамен СНиП III–Д.5–73, в 1978 г. Госстроем СССР был утвержден СНиП III–40–78 [102]. В введенном в действие нормативном документе, как и в [104], рассмотрены допустимые отклонения от проектных размеров при строительстве слоев дорожной одежды и приведены правила приемки работ при их строительстве. В этом нормативном документе приведены требования по измерению ровности и контроля отметок.

Измерения ровности и поперечных уклонов при приемке законченной строительством автомобильной дороги, согласно данного нормативного документа, следует вести на 10–25 % длины сдаваемого участка захватками длиной по 300–400 м. Такие участки выбираются визуально при осмотре дорожного полотна или на основании графической записи, полученной при помощи приборов типа ПКРС. Ровность верхнего слоя дорожной одежды следует измерять на расстоянии 0,75–1,0 м от каждой кромки покрытия.

На каждом таком участке (захватке), следует через равные расстояния произвести: 100–130 измерений просветов или непрерывную графическую запись неровностей; 80–100 измерений поперечных уклонов рейкой с уровнем; Измерение вертикальных абсолютных или относительных отметок путем нивелирования с шагом 5 м [102].

По полученным результатам нивелирования отметок, пользуясь формулой (1.19), вычисляют алгебраические разности отметок точек (амплитуды) по выражению:

$$\delta H_{i+1} = \frac{H_i + H_{i+2}}{2} - H_{i+1}, \quad (1.19)$$

где H_i, H_{i+1}, H_{i+2} – отметки смежных точек.

Таблица 1.1 – Допустимые величины амплитуд отметок при оценке ровности автомобильных дорог

Категория дороги	Допускаемые величины амплитуд, мм, при использовании комплектов дорожных машин					
	Без автоматической системы задания отметок			С автоматической системой задания отметок		
	Расстояние между точками, м					
	5	10	20	5	10	20
I, II и III	7	12	24	5	8	16
IV и V	10	16	–	–	–	–

Вычисления должны выполняться со сдвижкой на 5 м. Каждая захватка составит не менее 50–60 значений амплитуд.

Допустимые отклонения должны составлять 90 % всех определений амплитуд отметок. Размеры величин амплитуд указаны в таблице 1.1. При этом 10 % определений амплитуд не должны превышать допускаемых величин более чем в полтора раза.

Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений [39], вступила в силу в 1983 г., была введена в действие Министерством автомобильных дорог РСФСР. Инструкция устанавливает состав и содержание работ по перенесению проектов сооружений на местность, их разбивке, геодезическому управлению работой строительных машин и исполнительным съемкам. Здесь же приведены характеристики норм точности геодезических разбивочных работ при перенесении проекта автомобильных дорог на местность, в зависимости от характера местности и категорий дорог, а также расхождения фактически определяемых данных от проектных величин при детальной разбивке земляного полотна их конструктивных слоев оснований и покрытий.

СНиП III–2–75 [101] был заменен в 1985 г. введенным в действие СНиП 3.01.03–84 [97]. В нормативном документе приведена точность построения разбивочной сети при строительстве дорог, значения величин средних квадратических ошибок построения разбивочной сети должны быть в пределах: для линейных измерений $1/2000$; для измерения горизонтальных углов $30''$; для определения превышений на станции 5 мм.

Госстрой СССР в 1986 г. утверждает СНиП 3.06.03–85 [98], заменяя тем самым СНиП III–40–78 [102]. Нормативный документ [98] устанавливает длину захватки для внутренних дорог промышленных предприятий в пределах 100–150 м, измерять ровность покрытия нужно на расстоянии 0,5–1,0 м от каждой кромки. В нормативном документе, в дополнение, приведены нормы точности на законченные строительные работы, которые выполняются при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой задания отметок, все остальные нормы были оставлены практически без изменения.

В обязательном приложении к СНиП 3.06.03–85 [98] имеется таблица параметров, применяемых при оценке качества строительно–монтажных работ, так оценке «хорошо», что соответствует доверительной вероятности $P = 0,90$, должны соответствовать 90 % определений отклонений, при этом не более 10% допускаемых отклонений отметок по оси, от проектных значений, должно быть в пределах до ± 100 (20) мм, а остальные до ± 50 (10) мм. При оценивании качества работ на «отлично», при этом доверительная вероятность составит $P = 0,95$, не более 5 % допускаемых отклонений отметок от проектных значений должно быть в указанных пределах. В скобках приведены данные, относящиеся к работам, выполняемым комплектом машин с автоматической системой задания отметок. Приложение не содержит никаких разъяснений, о нивелировании поверхности конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при их устройстве с шагом 10; 20 м. Кроме того, в этом нормативном документе не приведены, такие показатели оценки качества работ по устройству конструктивных слоев дорожных одежд, как значения амплитуд отметок, а имеются показатели допускаемых отклонений отметок от проектных значений.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 30412–96 [28], Минстрой России вводит в 1997 г. и регламентирует по результатам нивелирования вычислять значения относительных отметок h_i точек поверхности покрытия или основания дороги в местах разметки (рисунок 1.2).

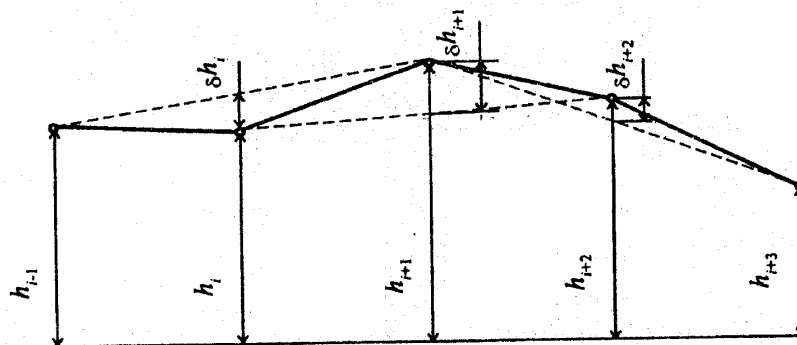


Рисунок 1.2 – Чертеж вычисления амплитуд отметок трех смежных точек поверхности конструктивных слоев оснований и покрытий дорог

По значениям относительных отметок точек поверхности, по линии разметки, необходимо определять значения отклонений δh_i (амплитуд) этих точек (кроме первой и последней на участке измерений) по прямой линии, проходящей через предыдущую $(i-1)$ и последующую $(i+1)$ точки (рисунок 1.2) по формуле

$$\delta h_i = \left| \frac{h_{i-1} + h_{i+1}}{2} - h_i \right|, \quad (1.20)$$

где h_{i-1} и h_{i+1} – относительные отметки предыдущей и последующей точек.

В стандарте [28] говорится, что значение допустимых отклонений δh_i устанавливает СНиП 3.06.03–85 [98] и СНиП 32.03.96 [99].

В 2012 г. утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) и 2013 г. введен в действие СП 78.13330.2012 [109], который является актуализированной редакцией СНиП 3.06.03–85 [98]. В документе говорится, что для оценки ровности поверхности в продольном направлении выбираются наиболее худшие участки длиной 300–400 м. В сумме длина таких участков должна составлять не менее 10 % длины сдаваемого участка дороги в одном направлении, но быть не менее 300 м [109]. Нивелирование должно выполняться на расстоянии 0,5–1,0 м от каждой кромки покрытия с шагом 5 м.

По данным нивелирования определяют относительные отметки точек поверхности h_i покрытия дороги, по которым вычисляют отклонения δh_i этих точек от прямой линии, проходящей через предыдущую $i-k$ и последующую $i+k$ точки, согласно рисунка 1.2 [109], по формуле

$$\delta h_i = \left| \frac{h_{i-k} + h_{i+k}}{2} - h_i \pm \Delta_i \right|, \quad (1.21)$$

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

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

Δ_i – величина поправки, учитывающей радиус вертикальной кривой.

Таблица 1.2 – Допустимые значения амплитуд поверхности покрытия

Категория автомобильной дороги	Допустимые значения амплитуды, мм			IRI, м/км
	Длина прямой линии, м			
	10	20	40	Не более
I, II, III	5	8	16	2,2
IV, V	6	10	20	2,6

Длина прямой линии (таблица 1.2) равная 10; 20; 40 м соответствует шагам нивелирования 5; 10; 20 м. Отклонения относительных отметок поверхности покрытия должны быть в пределах 90 % данных указанных в таблице 1.2, а 10 % из них не должны превышать этих величин более чем в полтора раза.

В приложении этого нормативного документа приведена таблица параметров, используемых при оценке качества строительно-монтажных работ. Для оценки покрытия дорожной одежды приняты отклонения отметок по оси от проектных значений. При этом не более 10 % результатов определений должны быть в пределах до ± 20 мм, а остальные до ± 10 мм для комплекта с автоматической системой выдерживания заданных отметок для всех категорий дорог. При применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок для дорог категорий IV и V общего пользования и ведомственных эти значения должны быть в пределах ± 50 мм (± 25 мм – соответственно).

В этом нормативном документе, нормы точности отклонения фактических отметок от проектных, при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы задания отметок в два раза больше чем в СНиП 3.06.03–85 [98].

При устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог I, II, III категорий при применении комплекта дорожных

машин с автоматической системой задания отметок нормы на отклонения фактических отметок от проектных и амплитуды отметок те же самые, что и в СНиП 3.06.03–85 [98].

Для дорог IV и V категорий значения амплитуд изменены и регламентируются следующим образом: для прямых участков дороги протяженностью 10; 20; 40 м значения амплитуд допускаются соответственно 6; 10; 20 мм [109].

Проектированию и строительству конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог посвящены труды таких ученых как: Бабкова В. Ф. [1], Брынъ М. Я. [10], Белятынского А. А. [6], [149], Васильева А. П. [1], Величко В. А. [12], Горельшева Н. В. [127], Дивочкина О. А. [1], Иванова Н. Н. [36], Игнатова С. Л. [149], Кардаева М. А. [12], Мепуришвили Г. Е. [12], Лобанова Е. М. [61], Малофеева А. Г. [54], [55], Могилевича В. М. [68], [69], Некрасова В. К. [1], [61], Пенькова В. А. [6], Полосина–Никитина С. М. [124], Подольский В. П. [73], Пополова А. С. [61], Петрашкевича Ю. И. [68], [69], [93], Райфельд В. Ф. [20], Сиденко В. М. [2], [88], Сиротюка В. В. [89], Смирнова А. В. [91], [92], [93], Старовойда В. П. [149], Федорова В. И. [130], Федотова Г. А. [131], Шестакова В. Н. [136], Цибенко Ю. А. [149], и др.

Тематика методов расчета точности геодезических и строительных работ при строительстве сооружений представлена в работах отечественных и зарубежных авторов: Асташенкова Г. Г. [4], [142], Видуева Н. Г. [14], [19], Визгина А. А. [15], [37], Войтенко С. П. [19], Ганьшина В. Н. [17], Кайнер Г. В. [56], Кондра Г. С. [19], Коугия В. А. [37], Ковтуна Н. Т. [48], Лапицкого И. В. [48], [49], Левчука Г. П. [50], [51], Маркова Н. Н. [56], Матвеева С. И. [57], Пенькова В. А. [6], Репалова И. М. [17], Сацердотова П. А. [56], Побережный А. А. [72], Столбова Ю. В. [3], [18], [42], [63], [64], [65], [66], [67], [82], [112], [113], [114], [115], [116], [117], [118], [119], [120], [121], Столбовой С. Ю. [115], [122], [123], Сытника В. С. [125], [126], Тимошенко Е. И. [4], Уставича Г. А. [81], [129], Шилова П. И. [137], Федорова В. И. [130], Федотова Г. А. [131], Хохлова Г. П. [132], Чмчяна Т. Т. [134] и др.

Согласно проведенному анализу нормативных документов и технической литературы по проектированию и строительству автомобильных дорог можно отметить, что вопросам точности по устройству их конструктивных слоев оснований и покрытий уделялось и уделяется большое внимание. С развитием и совершенствованием технологии строительного производства корректировались требования к точности строительства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог.

В рассмотренных нормативных документах регламентируются значения допусков планового и высотного положения на законченные строительством основания и покрытия автомобильных дорог. При строительстве автомобильных дорог одним из показателей качества их строительства является точность высотного положения поверхностей конструктивных слоев дорожных одежд. Несоблюдение нормативных требований высотного положения (отклонения фактических отметок от проектных и амплитуд отметок поверхностей) конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог приводит к преждевременному выходу из строя транспортных средств и самих сооружений.

В нормативных документах по строительству автомобильных дорог нет норм точности на контрольные измерения при строительстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, нет пояснений по обеспечению высотного положения.

В связи с этим возникает необходимость продолжения дальнейших исследований по обоснованию и обеспечению точности высотного положения при строительстве автомобильных дорог.

2 МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И НАЗНАЧЕНИЯ ДОПУСКОВ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

2.1 Существующие методики расчета и назначения допусков на геодезические и строительные работы при строительстве сооружений

Согласно ГОСТ 21778–81 [22], при проектировании сооружений и их отдельных элементов, разработке технологии изготовления элементов и строительстве, следует предусматривать, а в производстве – применять необходимые средства и правила технологического обеспечения точности.

В зависимости от функциональных требований, предъявляемых к результирующим геометрическим параметрам, при строительстве конструкций сооружений выполняется обоснование точности геодезических и строительных работ. Обоснование норм точности геометрических параметров во многом зависит от применяемых методов их расчета.

Исходя из требований, предъявляемых к точности геометрических параметров конструкции сооружений, рассчитываются допуски на геодезические и строительные работы. В нормативных документах и проектной документации приведены нормы точности на законченные строительством элементы конструкций сооружений. Необходимые характеристики точности составляющих параметров, определяются по установленным допустимым (предельным) значениям законченных строительством элементов конструкций сооружений. Для этого необходимо решать обратные задачи расчета точности, то есть по нормативному показателю рассчитывать нормы точности геодезических и строительных работ.

В существующих методиках расчета и назначения допусков на геодезические и строительные работы при строительстве сооружений, находят применение следующие методы:

- метод расчета допусков, основанный на принципе равного влияния отдельных источников ошибок на конечный результат;
- метод расчета допусков, основанный на принципе ничтожного или пренебрегаемо-малого влияния отдельных источников ошибок на конечный результат;
- метод расчета допусков контрольных измерений по заданной доверительной вероятности оценки строительного допуска;
- метод расчета допусков с учетом точности технологических процессов строительства сооружений.

Рассмотрим перечисленные методы и выполним анализ возможности их применения для обоснования точности геодезических (разбивочных) и строительных работ при строительстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог.

Метод расчета допусков основанный на принципе равного влияния источников ошибок. Расчет точности этим методом заключается в допущении того, что отдельные, независимые источники ошибок, оказывают одинаковое влияние на суммарную ошибку [50,51]

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2, \quad (2.1)$$

где m – суммарная ошибка;

m_1, m_2, \dots, m_n – отдельные ошибки, составляющие суммарную.

Принимая равными влияние отдельных ошибок $m_1 = m_2 = \dots = m_n$ на суммарную, определим их значение по выражению

$$m_i = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (2.2)$$

где n – количество источников ошибок.

В этом методе не учитывается истинное распределение величин, составляющих ошибок внутри суммарной, что и является его недостатком.

Практикой не всегда подтверждается предположение равного влияния отдельных ошибок тех или иных работ на суммарную. В связи с этим, этот метод следует считать приближенным, его возможно применять на начальных стадиях проектирования строительства сооружений.

Метод расчета допусков основанный на принципе ничтожного влияния источников ошибок. Расчет точности этим методом заключается в том, что накладывается условие о ничтожном влиянии отдельных ошибок на суммарную, то есть отдельная ошибка, по отношению к суммарной, будет пренебрегаемой малой или ничтожной величиной [50,51]. Тогда суммарная ошибка определяется по выражению

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2, \quad (2.3)$$

где m – суммарная ошибка;

m_1, m_2 – ошибки составляющих процессов.

При расчете необходимой точности второго процесса, должно накладываться условие, что ошибка m_2 , будет составлять такую часть от m_1 , чтобы фактически можно было принять $m = m_1$. В связи с этим можно записать

$$m_2 = \frac{m_1}{Z}, \quad (2.4)$$

где Z – коэффициент повышения точности работ во втором процессе или $\frac{1}{Z}$ – коэффициент пренебрегаемого влияния ошибок работ во втором процессе [52,53]. Исходя из сказанного, будет иметь место равенство

$$m = m_1 \sqrt{1 + \frac{1}{Z^2}}. \quad (2.5)$$

Коэффициент повышения точности Z , можно представить так

$$Z = \frac{m_1}{\sqrt{m^2 - m_1^2}}. \quad (2.6)$$

Если принять, что влияние ошибки m_2 , минимально, условимся, чтобы разность $m - m_1$ не превышает величину средней квадратической ошибки суммарной ошибки m_m , то есть, разность этих ошибок удовлетворяет условию

$$m - m_1 \leq m_m, \quad (2.7)$$

в этом случае можно записать

$$m^2 - m_1^2 = (m - m_1)(m + m_1) \approx 2m_1m_m, \quad (2.8)$$

выполнив замену в выражении (2.6) с учетом выражения (2.8) [50,51], будем иметь

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{2m_m}{m_1}}}. \quad (2.9)$$

При расчетах точности этим методом в общей ошибке не учитывается истинная величина ошибки 2-го процесса. Это является недостатком метода расчета допусков с применением принципа ничтожного влияния.

Значение допустимой ошибки m_2 устанавливается отношением $\frac{m_m}{m}$, которое зависит от условий, в которых выполняются работы и самого их вида, в зависимости от этого, отношение может быть принято равным 10; 20 %. Если принять $\frac{m_m}{m} = 10\%$, будем иметь значение коэффициента $Z = 2,2$, если $\frac{m_m}{m} = 20\%$,

то $Z = 1,6$. На основании изложенного, коэффициент $\frac{I}{Z}$ будет иметь соответственно значения 0,45 и 0,63, с учетом этого $m_2 = 0,45 \cdot m_1$ и $m_2 = 0,63 \cdot m_1$.

Анализируя рассмотренные методы расчета допусков, можно сделать вывод, что метод расчета допусков основанный на принципе ничтожного влияния, так же как и рассмотренный ранее метод расчета допусков основанный на принципе равного влияния источников ошибок, возможно применять на начальных стадиях проектирования и строительства сооружений.

Рассмотренные методы расчета точности на отдельные виды работ, при проектировании и строительстве сооружений, могут способствовать, как необоснованному завышению точности, что повлечет за собой повышение материальных и фактических затрат на производство работ, так и необоснованное занижение точности строительства, что может привести к некачественному их выполнению.

Метод расчета допусков контрольных измерений по заданной доверительной вероятности оценки строительного допуска. Расчет допусков контрольных измерений предложен Сытником В. С., в работе [125]. Метод основывается на расчете точности контрольных измерений с учетом заданной величины доверительной вероятности оценки строительных работ Q , то есть оценки выхода величины за установленные пределы.

Необходимую точность контрольных измерений, можно установить по заданной величине Q части конструкции, при этом задаются плотности вероятностей измеряемого параметра (размер конструкции, ошибка в её положении) $\varphi(x)$ и ошибки контрольных измерений $\varphi(y)$. Величина Q содержит ошибки в размерах или в положении, которые неправильно отнесены к допустимым значениям. Значения ошибок величин x и y независимы друг от друга. При решении поставленной задачи ставится условие

$$-\delta_0 \leq v_0 = v_x + v_y \leq +\delta_0, \quad (2.10)$$

где δ_0 – предельное допустимое отклонение параметра от проектного значения;

v_x – отклонение параметра от проектного значения;

v_y – ошибка контрольных геодезических измерений.

В работе [125], отмечается, что значение величины Q может быть вычислено по формуле (2.11), если выполняется условие (2.10)

$$Q = \frac{\varphi(a) \int_a^{\infty} Y \psi(y) dy + \varphi(b) \int_{-\infty}^b |y| \psi(y) dy}{F(b) - F(a) + [\varphi(b) - \varphi(a)] \mu_y}, \quad (2.11)$$

где $\varphi(x)$ – плотность вероятности измеряемого параметра x ;

$F(x)$ – интегральный закон распределения величины x ;

μ_y – математическое ожидание ошибки геодезических измерений y .

Учитывая, что контрольные измерения имеют ошибки, которые подчинены закону нормального распределения с характеристиками m_x , μ_x , m_y , μ_y равными нулю измеряемого параметра x и распределения величины y , в ограниченном интервале от a до b условие (2.11), согласно [125], можно записать в виде

$$Q = \frac{m_y \exp\left\{\left[-\frac{(b - \mu_x)^2}{2m_x^2}\right] + \exp\left[-\frac{(a - \mu_x)^2}{2m_x^2}\right]\right\}}{2\pi m_x \left[\Phi\left(\frac{b - \mu_x}{m_x}\right) - \Phi\left(\frac{a - \mu_x}{m_x}\right)\right]}. \quad (2.12)$$

С учетом этого выражения, можно определить среднюю квадратическую ошибку контрольных геодезических измерений m_y , задаваясь заданной частью конструкций Q , выходящей за пределы допустимой величины δ_0 , по формуле

$$m_z = \frac{2\pi m_0 Q \left[\Phi\left(\frac{b - \mu_0}{m_0}\right) - \Phi\left(\frac{a - \mu_0}{m_0}\right) \right]}{\exp\left[-\frac{(b - \mu_0)^2}{2m_0^2}\right] + \exp\left[-\frac{(a - \mu_0)^2}{2m_0^2}\right]}, \quad (2.13)$$

где $m_0 = m_x$; $\mu_0 = \mu_x$.

При симметричных границах a и b относительно μ_0 , запишем равенство $b - \mu_0 = \mu_0 - a = tm_0$, тогда формула (2.13), согласно [122], представится как

$$m_z = 2\pi m_0 Q \frac{\Phi(t)}{\exp\left[-\frac{t^2}{2}\right]}, \quad (2.14)$$

где m_0 – нормативная величина средней квадратической ошибки в положении конструкции;

Q – заданная часть конструкций, ошибки, в положении которых, неправильно отнесены к допустимым;

t – нормированный множитель, зависящий от принятой доверительной оценки результата расчета ($t = 3$ при $P = 0,9973$, $t = 2$ при $P = 0,9544$);

$\Phi(t)$ – значение функции Лапласа, для заданного значения величины t .

Связь между нормативным значением предельной ошибки, при $t = 3$ и $Q = 0,05$, и средней квадратической ошибкой контрольных измерений, определится по выражению

$$m_z = 0,21\delta_0. \quad (2.15)$$

Достоинством рассмотренного метода расчета допусков является то, что при расчете точности контрольных измерений строительных работ учитывается заданная доверительная вероятность выполнения строительных работ, но не учитывается достигнутый уровень точности технологического процесса, это

является недостатком этого метода расчета допусков. Расчет допусков на контрольные измерения, этим методом, по существу не отличается от метода, основанного на принципе ничтожного влияния ошибок.

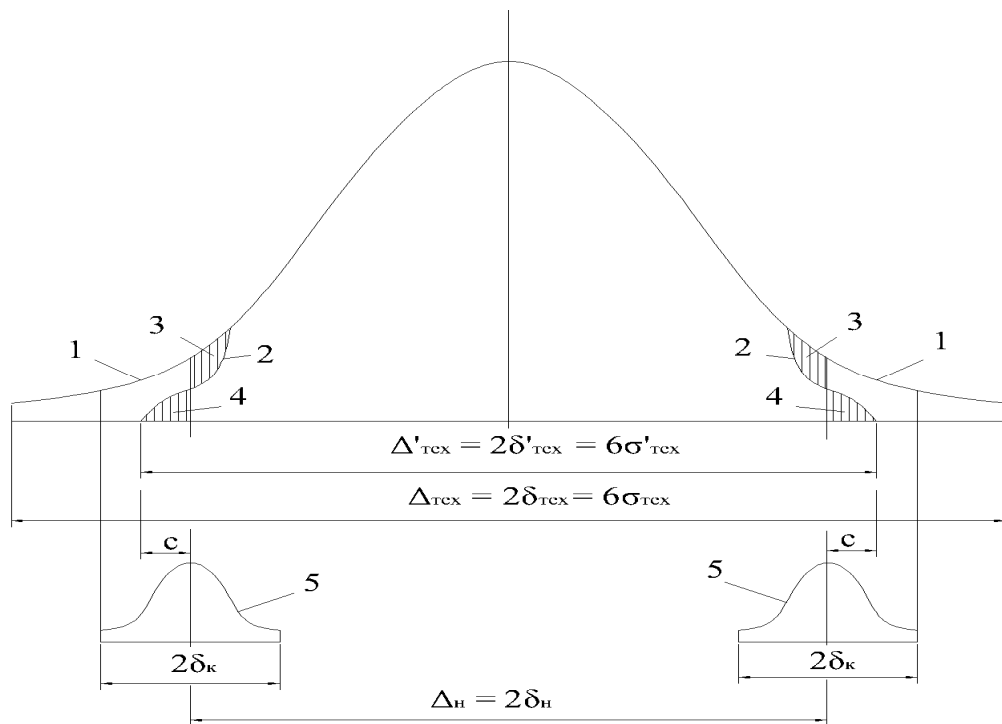
Метод расчета допусков с учетом точности технологических процессов строительства сооружения.

Метод расчета точности контрольных измерений и применение его к машиностроительному производству изложен в [56]. В работах Столбова Ю. В. [116], [119], [120], этот метод рассмотрен для промышленного и гражданского строительства. Его сущность состоит в определении допустимых отклонений контрольных геодезических измерений, рассчитанных с учетом достигнутого уровня точности технологии строительства.

Ошибки контрольных геодезические измерения вступают во взаимодействие с технологическими ошибками и влияют на оценку результатов технологического процесса, что положено в основу рассматриваемого метода.

Ошибки контрольных измерений оказывают влияние на технологические ошибки, поэтому кривая нормального распределения (рисунок 2.1) технологических процессов будет иметь по границам поля допуска искажения. Ближе к центру поля допуска будут располагаться технологические ошибки, в которые также включаются ошибки контрольных измерений, при этом, их влияние не сказывается на величине результата контроля.

Поэтому не выполняется неправильного отнесения элементов конструкции или работ в качественно другую группу, так как они годные и не признаются бракованным.



- 1 – кривая распределения технологических ошибок без учета ошибок контрольных измерений;
 2 – кривая распределения технологических ошибок с учетом влияния ошибок контрольных измерений; 3 – поле ошибочно забракованных элементов; 4 – поле ошибочно принятых элементов; 5 – кривая распределения ошибок контрольных измерений

Рисунок 2.1 – Влияние ошибок контрольных геодезических измерений на расположение кривой распределения технологических ошибок

Полученные результаты при контроле можно рассматривать как сложное событие состоящее из двух простых [118]:

- появление результата технологического процесса с отклонением, выходящим за границу поля допуска на величину x ;
- ошибочное определение результата, как соответствующего полю нормативного допуска.

Функция Лапласа $2 \cdot \Phi(z)$, согласно [118], дает возможность получить вероятностную характеристику результата технологического процесса, с отклонением в границах поля нормативного допуска. Величина z определяется по выражению

$$z = \frac{\delta_n}{\sigma_{mex}}, \quad (2.16)$$

где δ_n – нормативное предельное допустимое отклонение;

σ_{mex} – среднеквадратическое отклонение технологического процесса.

Вероятность получения результата технологического процесса с отклонением в границах поля, большего чем нормативное, на величину предельного допустимого отклонения контрольных измерений, определится функцией Лапласа $2 \cdot \Phi(z')$ [118], а значение z' , опреляется по формуле

$$z' = \frac{\delta_n \pm \delta_k}{\sigma_{mex}}. \quad (2.17)$$

Руководствуясь коэффициентами функции Лапласа, полученными по формулам (2.16) и (2.17), можно определить вероятность появления результата с отклонением превышающим границы поля допуска в зоне влияния ошибок контроля, по выражению $P = 2 \cdot [\Phi(z') - \Phi(z)]$.

Если в момент контроля ошибка измерения превышала величину ошибки результата технологического процесса и была противоположна ей по знаку, это свидетельствовало о неверном получении результата, соответствующего нормативному полю допуска.

Вероятность такого сложного события выразится произведением плотности вероятности получения результата с отклонением x на вероятность появления ошибки измерения, большей, чем x и противоположной по знаку [118]:

$$\varphi(u) = \varphi(x) \int_{-x}^{-\infty} \varphi(y) dy, \quad (2.18)$$

где

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma_{mex} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\delta_H + x)^2}{2\sigma_{mex}^2}}, \quad (2.19)$$

$$\varphi(y) = \frac{1}{\sigma_K \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_K^2}}. \quad (2.20)$$

Полная вероятность ошибочной приемки элементов конструкций или работ при строительстве сооружений, на обеих границах поля допуска, будет равна интегралу этого произведения [56], [118]

$$K_{II} = 2\Phi(u) = 2 \int_x^{\infty} \varphi(u) du. \quad (2.21)$$

Используя метод численного интегрирования, предложенный профессором Тайцем В. А. [56], можно практически определить величину K_{II} . Для определения величины K_{II} область распределения технологических ошибок, находящаяся за границей поля допуска, делится на интервалы. Кривая распределения ошибок измерений, делится на такое же количество интервалов. Для каждого интервала определяется вероятность сложного события, после чего они последовательно умножаются. Вероятности определяются по таблицам функций Лапласа $\Phi(z)$ при конкретных значениях K_{II} , после чего находится сумма полученных произведений.

Таким же образом, вычисляется полная вероятность ошибочно бракованных результатов K_H . Для удобного использования результатов численного интегрирования, могут быть составлены графики, которые приведены в [56], или таблицы, которые представлены в статьях Столбова Ю. В. [119], [120]. Процентное соотношение ошибочно принятых K_{II} и ошибочно бракованных результатов K_H , в зависимости от коэффициента точности технологического

процесса строительства сооружений и вероятной величины выхода ошибки результата за границу поля допуска C , представлены в таблице 2.1.

Связь предельного допустимого отклонения контрольных измерений и нормативного строительного допуска, определяется коэффициентом точности контроля измерений T_K , а точность технологического процесса T_{II} устанавливает зависимость, между нормированной допустимой (предельной) ошибкой и среднеквадратическим отклонением результата технологического процесса, по этим коэффициентам составлены графики и таблицы [119], [120]:

$$T_K = \frac{\delta_K}{\Delta_H} ; \quad (2.22)$$

$$T_{II} = \frac{\delta_H}{\sigma_{mex}}, \quad (2.23)$$

где T_K – коэффициент точности геодезического контроля;

T_{II} – коэффициент точности технологического процесса строительства сооружений;

δ_K – допустимое (предельное) отклонение геодезического контроля;

δ_H – нормированная допустимая (предельная) ошибка строительства;

Δ_H – нормативный строительный допуск;

σ_{mex} – среднеквадратическое отклонение результатов технологического процесса строительства сооружений.

Метод расчета допусков на строительные работы и контрольные измерения, с учетом точности технологических процессов строительства сооружений, применим на всех этапах строительства (при условии, что точность технологического процесса уже известна или может быть вычислена опытным путем) [118]. На участке проведения строительных работ по результатам исполнительной съемки определяется величина σ_{mex} , пользуясь формулой (2.23), вычисляется коэффициент точности технологического процесса строительства сооружения T_{II} . Из таблицы 2.2, выбирается коэффициент точности контрольных

измерений T_K . По формуле (2.22), вычисляется величина допустимого (предельного) отклонения геодезического контроля [119]

$$\delta_K = T_K \cdot \Delta_n = T_K \cdot 2\delta_n. \quad (2.24)$$

Составной частью технологического процесса строительства сооружений, являются разбивочные работы и контрольные геодезические измерения. Ошибки разбивочных работ будут оказывать влияние аналогичное, ошибкам геодезического контроля, на распределение технологических ошибок в границах поля допуска. В связи с этим метод расчета допусков с учетом точности технологического процесса может быть применен для определения точности, как геодезического контроля так и для геодезических и строительных работ.

В этом методе, ошибка геодезического контроля и разбивочных работ рассматриваются, как составные части в общей ошибки строительства сооружения. При этом точность геодезических и строительных работ будет наиболее обоснована, а следовательно, это приведет к сокращению затрат времени и средств на их выполнение в процессе строительства, так как учитывается уровень технологии строительства с точки зрения обеспечения заданных геометрических параметров конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог.

2.2 Исследование методик расчета и назначения допусков на строительные работы и геодезический контроль при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог

Для расчета и обоснования допусков на строительные работы и геодезический контроль, при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог могут быть использованы методы расчета рассмотренные в 2.1. Перед всеми приведенными методами расчета допусков преимущество имеет метод расчета допусков с учетом точности технологических

процессов. Для того чтобы практически убедиться в преимуществе этого метода, перед методами расчета допусков, основанных на применении принципов равного и ничтожного влияния, выполним расчеты допусков строительных работ и геодезического контроля с применением каждого метода.

Значение средней квадратической ошибки в высотном положении при строительстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог можно вычислить, согласно [118], по выражению

$$m^2 = m_c^2 + m_g^2, \quad (2.25)$$

где m_c – величина средней квадратической ошибки строительных работ;

m_g – величина средней квадратической ошибки геодезических работ.

Значения амплитуд (алгебраических разностей) отметок конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог являются одним из основных критериев оценки качества их строительства.

В соответствии с СП 78.13330.2012 [109], и межгосударственным стандартом ГОСТ 30412–96 [28], этот показатель рекомендуется применять при приемке законченного строительством автомобильных дорог.

На момент начала исследований для автомобильных дорог нормы точности геометрических параметров конструктивных слоев были регламентированы в СНиП 3.06.03–85 [98]. С июля 2013 г. введен в действие СП 78.13330.2012, актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85 [109]. Поэтому в настоящей работе используются оба нормативных документа.

Рассчитывая, допуски строительных работ и геодезического контроля, следует переходить от нормативных допустимых отклонений (предельных ошибок) к средним квадратическим ошибкам, при этом задаваясь доверительными вероятностями $P = 0,90$ или $P = 0,95$. Для выполнения расчетов, согласно [67], применим формулу

$$m_H = \frac{\delta_H}{t}, \quad (2.26)$$

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

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

В СП 78.13330.2012 [109], регламентация значения амплитуд отметок изложена следующим образом:

– для дорог I, II, III категорий при длинах прямых линий 10; 20; 40 м (шагах нивелирования соответственно 5; 10; 20 м) 90 % определений амплитуд допускаются не более 5; 8; 16 мм, а 10 % не должны превышать эти значения более чем в полтора раза;

– для дорог IV и V категории при длинах прямых линий 10; 20; 40 м 90 % определений амплитуд допускаются не более 6; 10; 20 мм, а 10 % не должны превышать эти значения более чем в полтора раза.

Для расчета допусков строительных работ и геодезического контроля, с применением перечисленных методов, зададимся нормируемым значением амплитуд отметок равным $\delta_H = 8$ мм (при длине прямой линии равной 20 м или шаге нивелирования 10 м). Данный показатель применяется при использовании комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания отметок, для дорог I, II и III категорий. Значения средних квадратических ошибок при доверительных вероятностях $P = 0,90$ и $P = 0,95$ соответственно будут равны

$$m_H = \frac{8}{1,645} = 4,86 \text{ мм} \quad \text{и} \quad m_H = \frac{8}{2,0} = 4,00 \text{ мм}.$$

Рассчитывая значения средних квадратических ошибок строительных (m_c) и геодезических (m_g) работ, с применением метода расчета допусков,

основанного на принципе равного влияния ошибок, воспользуемся формулой (2.25), и примем их значения равными между собой [67]

$$m_z = m_c = m_H / \sqrt{2}, \quad (2.27)$$

при $P = 0,90$ $m_z = m_c = 4,86 / \sqrt{2} = 3,44$ мм;

при $P = 0,95$ $m_z = m_c = 4,00 / \sqrt{2} = 2,83$ мм.

По выражению (2.26), вычислим значение допустимых (предельных) ошибок геодезических и строительных работ, которые соответственно так же будут равны между собой, при соответствующих доверительных вероятностях

$$\delta_z = \delta_c = 3,44 \cdot 1,645 = 5,66 \text{ мм}; \quad \delta_z = \delta_c = 2,83 \cdot 2,00 = 5,66 \text{ мм}.$$

Применяя метод расчета допусков, основанного на принципе ничтожного влияния, значение средней квадратической ошибки геодезических работ определим по выражению [117]:

$$m_z = \frac{m}{Z}, \quad (2.28)$$

где $\frac{1}{Z}$ – коэффициент пренебрегаемого влияния ошибок геодезических работ на общую ошибку высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог.

Если принять отношение средней квадратической ошибки к самой ошибке $\frac{m_m}{m}$, равным 10 %, то коэффициент $Z = 2,2$, а если принять $\frac{m_m}{m}$, равным 20 %, то $Z = 1,6$. Тогда величины средних квадратических ошибок геодезического контроля определяются соответственно по выражениям [67]

$$m_z = 0,45 \cdot m_H \quad \text{и} \quad m_z = 0,63 \cdot m_H, \quad (2.29)$$

Приведем пример расчета средней квадратической ошибки геодезического контроля при $Z = 1,6$. Применяя доверительные вероятности $P = 0,90$ и $P = 0,95$ значения средних квадратических ошибок геодезического контроля, будут соответственно равны

$$m_z = 0,63 \cdot 4,86 = 3,06 \text{ мм} \quad \text{и} \quad m_z = 0,63 \cdot 4,00 = 2,52 \text{ мм};$$

Пользуясь формулой (2.25) вычислим величину средней квадратической ошибки строительных работ

$$m_c = \sqrt{4,86^2 - 3,06^2} = 3,78 \text{ мм} \quad \text{и} \quad m_c = \sqrt{4,0^2 - 2,52^2} = 3,10 \text{ мм}.$$

Величины допустимых (предельных) ошибок геодезических и строительных работ, при доверительных вероятностях $P = 0,90$ и $P = 0,95$ соответственно составят:

$$\delta_z = 3,06 * 1,645 = 5,03 \text{ мм}; \quad \delta_z = 2,72 * 2,00 = 5,44 \text{ мм};$$

$$\delta_c = 3,78 * 1,645 = 6,21 \text{ мм}; \quad \delta_c = 3,10 * 2,00 = 6,20 \text{ мм}.$$

Определим значения средних квадратических ошибок геодезического контроля, используя *метод расчета допусков с учетом точности технологического процесса* устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог [67].

Чтобы вычислить значения предельных ошибок контрольных измерений, необходимо установить коэффициенты точности геодезического контроля (T_K) строительства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог. Для этого зададимся значением вероятной величины выхода ошибки за границу поля допуска C , равной 10 % от допуска Δ_n , и коэффициентами точности технологических процессов (T_{II}) строительства конструктивных слоев оснований

и покрытий автомобильных дорог. Пользуясь данными таблицы 2.1, выберем значение точности геодезического контроля (T_K).

Таблица 2.1 – Значение точности геодезического контроля

T_K %	$T_{II} = 3,0$			$T_{II} = 2,5$			$T_{II} = 2,0$			$T_{II} = 1,5$			$T_{II} = 1,0$		
	$K_{II}\%$	$K_H\%$	$C\%$	$K_{II}\%$	$K_H\%$	$C\%$	$K_{II}\%$	$K_H\%$	$C\%$	$K_{II}\%$	$K_H\%$	$C\%$	$K_{II}\%$	$K_H\%$	$C\%$
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,5	0,8	0,4	0,6	1,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,2	0,6	1,2	0,7	1,1	2,5	1,0	1,3	3,5
15	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,4	1,0	2,5	1,0	1,8	4,2	1,5	2,0	5,5
20	0,0	0,3	0,0	0,0	0,8	0,5	0,5	1,6	3,8	1,5	2,5	7,0	2,0	2,8	9,0
25	0,0	0,5	0,0	0,1	1,2	1,0	0,8	2,2	5,0	1,8	3,3	9,0	2,5	3,5	11,0
30	0,0	0,8	0,0	0,1	1,6	1,5	0,9	2,9	6,2	2,0	4,1	11,0	3,0	4,5	14,0
35	0,0	1,2	0,0	0,1	2,2	2,0	1,0	3,6	7,5	2,3	5,0	12,5	3,5	5,5	16,0
40	0,0	1,8	0,0	0,2	2,9	2,5	1,0	4,5	8,3	2,6	6,0	15,0	4,0	6,0	19,0
45	0,0	2,4	0,0	0,2	3,8	3,0	1,1	5,5	10,0	3,0	7,0	16,5	4,5	7,0	21,0
50	0,0	3,2	0,0	0,2	4,7	4,0	1,2	8,6	11,0	3,4	8,0	18,0	5,0	8,0	25,0

При наличии результатов исполнительных съемок покрытий автомобильных дорог, коэффициент точности технологического процесса (T_{II}) вычисляется по формуле (2.23). При отсутствии материалов исполнительных съемок высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий, точность можно рассчитать его с применением методов расчета допусков, основанных на принципах равного или ничтожного влияния. В начальный период устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог и с получением результатов исполнительных съемок можно выполнить корректировку необходимой точности геодезического контроля.

При расчете значений допусков на контрольные измерения, следует учитывать требования к качеству различной продукции, изучив при этом опыт отечественной и мировой практики. В работе [128] изложено «строить следует не так прочно как можно, а так прочно как нужно»

Величиной выхода ошибки за границу поля допуска (C), при расчете значения допусков на контрольные измерения, следует задаваться с учетом опыта отечественной и мировой практики, а также требований предъявляемых к

качеству различной продукции. В цитате отечественных авторов [128], можно заменить слово «прочно», словом «точно», смысл выражения от этого не изменится, но при этом следует учитывать, что чрезмерная точность способствует увеличению стоимости продукции [67].

В нормативных документах, которые действовали в СССР и странах экономической взаимопомощи, а многие из них находят применение и в настоящее время, величина выхода ошибки за границу поля допуска у ошибочно принятых элементов конструкций сооружений, принимается равной 10 % от значения нормативного строительного допуска Δ_n . В соответствии с таблицей 2.1, приведем значения коэффициентов точности технологических процессов и величин контрольных измерений, в зависимости от вероятной величины C , при ее значении 10 % [118]:

$$T_{II} = 1,0; \quad T_K = 0,225 \quad \text{или } 22,5 \%; \quad (2.30)$$

$$T_{II} = 1,5; \quad T_K = 0,275 \quad \text{или } 27,5 \%; \quad (2.31)$$

$$T_{II} = 1,64; \quad T_K = 0,305 \quad \text{или } 30,5 \%; \quad (2.32)$$

$$T_{II} = 2,0; \quad T_K = 0,45 \quad \text{или } 45 \%; \quad (2.33)$$

$$T_{II} = 2,5 - 3,0; \quad T_K = 0,5 \quad \text{или } 50 \%. \quad (2.34)$$

Для получения, значений необходимой точности контрольных геодезических измерений устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, подставим в формулу (2.22) значение коэффициента точности геодезического контроля T_K , при этом получим следующие результаты:

$$T_{II} = 1,0; \quad \delta_2 = 0,225 \cdot \Delta_n = 0,45 \cdot \delta_n; \quad (2.35)$$

$$T_{II} = 1,5; \quad \delta_2 = 0,275 \cdot \Delta_n = 0,55 \cdot \delta_n; \quad (2.36)$$

$$T_{II} = 1,64; \quad \delta_2 = 0,305 \cdot \Delta_n = 0,61 \cdot \delta_n; \quad (2.37)$$

$$T_{II} = 2,0; \quad \delta_2 = 0,45 \cdot \Delta_n = 0,9 \cdot \delta_n; \quad (2.38)$$

$$T_{II} = 2,5 - 3,0; \quad \delta_2 = 0,5 \cdot \Delta_n = \delta_n. \quad (2.39)$$

При устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, в зависимости от значения коэффициента точности технологического процесса, значение средней квадратической ошибки контрольных, геодезических измерений m_2 , получают в процентах от нормируемого допускаемого отклонения δ_n , при этом осуществляется переход от предельных ошибок контрольных геодезических измерений к средним квадратическим с доверительными вероятностями P (таблица 2.2). Выход ошибки за границу поля допуска, в этом случае, составляет вероятную величину C и принимается в пределах 10 % от ошибочно принятых элементов конструкции [67].

Таблица 2.2 – Значение величин среднеквадратических ошибок контрольных геодезических измерений m_2

Доверительная вероятность, P	Процентное соотношение m_2 от предельно допустимой ошибки высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог δ_n в зависимости от точности технологического процесса, T_{II}				
	1,0	1,5	1,64	2,0	2,5–3,0
0,90	27,5	33,5	37,0	55,0	61,0
0,95	22,5	27,5	30,50	45,0	50,0

Рассчитаем допуски контрольных геодезических измерений с использованием метода их расчета с учетом точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог. Значение допустимого отклонения (предельной ошибки) технологического процесса, в соответствии с СП 78.13330.2012 [109], примем равным нормируемому значению амплитуд отметок, то есть $\delta_n = 8$ мм (шаг нивелирования 10 м) при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания отметок для дорог I, II и III категорий, а

значение вероятной величины выхода ошибки за границу поля допуска ошибочно забракованных элементов $C = 10 \%$.

В таблице 2.3 приведены значения допустимых отклонений и среднеквадратических ошибок на строительные работы и геодезический контроль, полученные с применением разных методов и обеспечивающие точность высотного положения автомобильных дорог.

Таблица 2.3 – Значения допустимых (предельных) отклонений (δ) и средних квадратических ошибок (m) на строительные работы и геодезический контроль, рассчитанные разными методами

Методы расчета допусков с учетом	Коэффициент точности процесса T_{II}	P	Нормированное значение отметок		Допуски на строительные работы		Допуски на геодезический контроль	
			$\pm \delta_n$, мм	$\pm m_n$, мм	$\pm \delta_c$, мм	$\pm m_c$, мм	$\pm \delta_2$, мм	$\pm m_2$, мм
Принципа равного влияния ошибок	—	0,90	8	4,86	5,66	3,44	5,66	3,44
		0,95	8	4,00	5,66	2,83	5,66	2,83
Принципа ничтожного влияния ошибок	$Z = 1,60$	0,90	8	4,86	6,21	3,78	5,03	3,06
		0,95	8	4,00	6,20	3,10	5,04	2,52
	$Z = 2,00$	0,90	8	3,47	4,44	2,70	3,59	2,18
		0,95	8	2,86	4,42	2,21	3,60	1,80
Точности технологического процесса устройства конструктивных слоев оснований и покрытий	$T_{II} = 1,00$	0,90	8	4,86	7,14	4,34	3,60	2,19
		0,95	8	4,00	7,14	3,57	3,60	1,80
	$T_{II} = 1,50$	0,90	8	4,86	6,68	4,06	4,40	2,67
		0,95	8	4,00	6,68	3,34	4,40	2,20
	$T_{II} = 1,64$	0,90	8	4,86	6,39	3,88	4,82	2,93
		0,95	8	4,00	6,39	3,19	4,82	2,41
	$T_{II} = 2,00$	0,90	8	4,86	3,49	2,12	7,20	4,38
		0,95	8	4,00	3,49	1,74	7,20	3,60
	$T_{II} = 2,50$	0,90	8	4,86	0	0	8,00	4,86
		0,95	8	4,00	0	0	8,00	4,00

Коэффициент точности технологического процесса примем $T_{II} = 1$, тогда, в соответствии с таблицей 2.2, коэффициент точности контрольных измерений составит $T_K = 22,5 \%$ или будет равен 0,225. В этом случае значение предельной ошибки геодезического контроля, в зависимости от допустимого отклонения (предельной ошибки) высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильной дороги, будет выражено равенством

$\delta_2 = 0,225 \cdot \Delta_n = 0,45 \cdot \delta_n = 3,6 \text{ мм}$. Значения величин средних квадратических ошибок на контрольные измерения, при доверительных вероятностях $P = 0,90$ и $P = 0,95$, соответственно будут равны $m_2 = 3,6/1,645 = 2,19 \text{ мм}$ и $m_2 = 3,6/2 = 1,8 \text{ мм}$. Подставив значения m_2 и m_n в формулу (2.25), получим величины средних квадратических ошибок на строительные работы при доверительных вероятностях $P = 0,90$ и $P = 0,95$ соответственно $m_c = 4,34 \text{ мм}$ и $m_c = 3,57 \text{ мм}$, а предельная ошибка $\delta_c = 7,14 \text{ мм}$.

Порядок расчета средних квадратических ошибок геодезических и строительных работ, с учетом точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог представлен на рисунке 2.2 [118]



Рисунок 2.2 – Схема расчета средних квадратических ошибок геодезических и строительных работ с учетом точности технологических процессов

Полученные результаты с применением разных методов допусков на строительные работы и геодезический контроль, позволяют сделать следующие выводы:

– при применении метода расчета допусков, основанного на принципе равного влияния, получены значения допустимых отклонений (предельных

ошибок) равные на строительные работы и геодезический контроль, что не реально в практике строительства;

– при применении метода расчета допусков, основанного на принципе ничтожного влияния, с $Z = 1,6$ для расчета норм точности строительных работ и геодезического контроля, полученные результаты практически совпадают с ошибками, рассчитанными с применением метода расчета допусков с учетом точности технологического процесса $T_{II} = 1,64$, а при $Z = 2,2$ совпадают с результатами полученными с применением метода расчета допусков с учетом точности технологического процесса $T_{II} = 1$;

– при использовании метода расчета допусков с учетом точности технологического процесса, когда строительное производство налажено, при коэффициентах точности технологических процессов $T_{II} > 1,64$ точность геодезического контроля может быть понижена.

2.3 Исследование методик расчета и назначения допусков на геодезические разбивочные работы при строительстве автомобильных дорог

В нормативных документах регламентированы значения отклонений отметок от проектных значений, которые следует принимать за основу расчета точности разбивочных работ.

Выполним расчеты допусков на разбивочные работы при строительстве плоскостных сооружений (какими являются автомобильные дороги), с применением методов, упомянутых в 2.1.

Для расчета точности отдельных видов работ, с обеспечением допустимых отклонений отметок конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с доверительными вероятностями $P = 0,90$ и $P = 0,95$, зададимся нормируемой величиной $\delta_n = 25$ мм, согласно [109], при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок для дорог IV, V категорий общего пользования и ведомственных. Тогда нормированные средние квадратические ошибки

высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог и ошибки строительных и геодезических работ, вычисленные по формуле (2.26), будут соответственно равны:

$$\text{при } P=0,90 \quad m_H = \frac{25}{1,64} = 15,2 \text{ мм};$$

$$\text{при } P=0,95 \quad m_H = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ мм}.$$

Метод расчета допусков, основанный на принципе равного влияния. Применяя, принцип равного влияния отдельных ошибок строительных (m_c) и геодезических работ (m_2) работ, составляющих суммарную ошибку высотного положения устройства конструктивных слоев оснований и покрытий, рассчитаем их значения по выражению (2.27):

$$\text{при } P = 0,90 \quad m_2 = m_c = 15,2/\sqrt{2} = 10,74 \text{ мм}.$$

$$\text{при } P = 0,95 \quad m_2 = m_c = 12,5/\sqrt{2} = 8,84 \text{ мм};$$

На общую среднюю квадратическую ошибку геодезических разбивочных работ при изыскании и строительстве автомобильных дорог оказывают влияние ошибки их на разных ступенях

$$m_2 = \sqrt{m_{др}^2 + m_{ен}^2 + m_{нх}^2}, \quad (2.40)$$

где, $m_{др}$ – средняя квадратическая ошибка при детальной разбивки отметок;

$m_{ен}$ – средняя квадратическая ошибка при выносе отметок пикетов от рабочих реперов;

$m_{нх}$ – средняя квадратическая ошибка при проложении нивелирного хода.

Применяя принцип равного влияния отдельных ошибок разбивочных работ составляющих суммарную ошибку, рассчитаем их значения с учетом доверительных вероятностей:

$$\text{- при } P = 0,90 \quad m_{\Gamma} = 10,74 \text{ мм}; \quad m_{\text{др}} = m_{\text{вн}} = m_{\text{нх}} = \frac{10,74}{\sqrt{3}} = 6,20 \text{ мм};$$

$$\text{- при } P = 0,95 \quad m_{\Gamma} = 8,84 \text{ мм}; \quad m_{\text{др}} = m_{\text{вн}} = m_{\text{нх}} = \frac{8,84}{\sqrt{3}} = 5,10 \text{ мм}.$$

Метод расчета допусков, основанный на принципе ничтожного влияния.

Для расчета ошибок этим методом зададимся коэффициентом повышения точности $Z = 1,6$, что соответствует $\frac{m_m}{m} = 20\%$. Коэффициент $\frac{1}{Z}$ будет иметь значение $0,63$, а средняя квадратическая ошибка геодезических работ составит $m_z = 0,63 \cdot m_n$.

Задаваясь доверительными вероятностями $P = 0,90$ и $P = 0,95$, вычислим значение средней квадратической ошибки геодезических работ:

$$\text{при } P = 0,90 \quad m_z = 0,63 \cdot 15,2 = 9,58 \text{ мм};$$

$$\text{при } P = 0,95 \quad m_z = 0,63 \cdot 12,5 = 7,88 \text{ мм}.$$

Общая средняя квадратическая ошибка геодезических разбивочных работ, вычисляемая по формуле (2.40) включает в себя, ошибки детальной разбивки отметок, выноса отметок пикетов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог, которые являются независимыми.

Ошибки измерений на высших ступенях для низших ступеней будут являться ошибками исходными данных. Потребуем, чтобы ошибки на последних ступенях были в Z раз меньше суммарного влияния всех ошибок в данной ступени [51]

$$m_{исх} = \frac{m_{изм}}{Z}. \quad (2.41)$$

Точность детальной разбивки отметок является низшей ступенью по отношению к точности выноса отметок пикетов от рабочих реперов. Точность выноса отметок пикетов от рабочих реперов является низшей ступенью по отношению к точности проложения нивелирных ходов. Применительно к трем ступеням выполнения геодезических работ при изысканиях и строительстве автомобильных дорог и значении коэффициента $Z=1,6$ имеем:

$$m_{ен} = \frac{m_{нх}}{Z}; \quad m_{оп} = \frac{m_{ен}}{Z} = \frac{m_{нх}}{Z^2}. \quad (2.42)$$

С учетом выражения (2.42) формула (2.40) будет иметь вид:

$$m_z = \sqrt{m_{оп}^2 + \frac{m_{ен}^2}{Z^2} + \frac{m_{нх}^2}{Z^4}}; \quad (2.43)$$

или

$$m_z = m_{оп} \cdot Q; \quad (2.44)$$

где

$$Q = \sqrt{\frac{1}{Z^4} + \frac{1}{Z^2} + 1}. \quad (2.45)$$

При коэффициенте $Z = 1,6$ величина $Q = 1,24$. Средние квадратические ошибки отдельных видов работ, составляющих суммарную ошибку, с учетом доверительных вероятностей $P = 0,90$ и $P = 0,95$ будут иметь значения:

$$\text{при } P = 0,90 \quad m_{нх} = \frac{9,58}{2,56 \cdot 1,24} = \frac{9,58}{3,17} = 3,02 \text{ мм};$$

$$\text{при } P = 0,95 \quad m_{нх} = \frac{7,88}{2,56 \cdot 1,24} = \frac{7,88}{3,17} = 2,48 \text{ мм};$$

$$\text{при } P = 0,90 \quad m_{ен} = \frac{9,58}{1,6 \cdot 1,24} = \frac{9,58}{1,98} = 4,84 \text{ мм};$$

$$\text{при } P = 0,95 \quad m_{ен} = \frac{7,88}{1,6 \cdot 1,24} = \frac{7,88}{1,98} = 3,98 \text{ мм};$$

$$\text{при } P = 0,90 \quad m_{др} = \frac{9,58}{1,24} = 7,72 \text{ мм};$$

$$\text{при } P = 0,95 \quad m_{др} = \frac{7,88}{1,24} = 6,35 \text{ мм}.$$

Выполним контроль правильности вычисления ошибок

$$m_z = \sqrt{2,48^2 + 3,98^2 + 6,35^2} = \sqrt{62,31} = 7,89 \text{ мм}.$$

Метод расчета допусков с учетом точности технологических процессов при изыскании и строительстве автомобильных дорог. Для выполнения расчетов допусков зададимся коэффициентом точности технологического процесса устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог равным $T_{П} = 1,64$, а значение допустимого отклонения (предельной ошибки) вычисленное по выражению (2.37) будет равно $\delta_{др} = 0,61 \cdot 25 = 15,25 \text{ мм}$.

Коэффициент точности технологического процесса $T_{П}$ это коэффициент соотношения фактической средней квадратической ошибки (апостериори) к нормированной предельной ошибке, подобный нормируемому множителю t (априори) при переходе от средней квадратической ошибки к предельной [82]. В СНиП 3.06.03–85 [98], при приемке и оценке качества строительных работ на «хорошо» и «отлично», предусмотрено обеспечение допустимых отклонений отметок от проектных с доверительными вероятностями $P = 0,90$ и $P = 0,95$, тогда точность технологических процессов детальной разбивки можно принять равными $T_{др} = 1,64$ и $T_{др} = 2,0$.

Величины средней квадратической ошибки детальной разбивки отметок, в этом случае составят:

$$\text{при } T_{\partial p} = 1,64 \quad m_{\partial p} = 15,25 / 1,64 = 9,27 \text{ мм};$$

$$\text{при } T_{\partial p} = 2,0 \quad m_{\partial p} = 15,25 / 2,0 = 7,63 \text{ мм}.$$

Для расчета допустимых отклонений (предельных ошибок) выноса (разбивки) отметок пикетов от рабочих реперов на трассу автомобильных дорог, зададимся точностью технологического процесса выноса отметок пикетов $T_{\text{вн}} = 2,0$, соответствующей доверительной вероятности $P = 0,95$, и от допусков детальной разбивки отметок перейдем к допускам выноса пикетов от рабочих реперов.

Тогда средние квадратические ошибки выноса пикетов на трассу автомобильных дорог будут иметь значения:

$$T_{\Pi} = 1,64 \quad T_{\partial p} = 1,64 \quad T_{\text{вн}} = 2,0 \quad m_{\text{вн}} = 9,27 \cdot 0,9 = 8,34 \text{ мм};$$

$$T_{\partial p} = 2,0 \quad T_{\text{вн}} = 2,0 \quad m_{\text{вн}} = 7,63 \cdot 0,9 = 6,87 \text{ мм}.$$

При переходе от средних квадратических ошибок, к предельным нормируемый множитель, на выполнение геодезических работ t , принимают согласно [107], равным 2; 2,5; 3. Учитывая неизвестность уровня технологий на стадии изысканий автомобильных дорог, примем $T_{\text{нх}} = 2,0$. В этом случае, допуски на геодезические работы при проложении нивелирных ходов будут иметь значения:

$$T_{\Pi} = 1,64 \quad T_{\partial p} = 1,64 \quad T_{\text{вн}} = 2,0 \quad T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 8,34 \cdot 0,9 = 7,51 \text{ мм};$$

$$T_{\partial p} = 2,0 \quad T_{\text{вн}} = 2,0 \quad T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 6,87 \cdot 0,9 = 6,18 \text{ мм}.$$

Допустимые отклонения и средние квадратические ошибки на детальную разбивку, вынос отметок пикетов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог, для обеспечения их высотного положения разными методами расчета точности, представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значения допустимых отклонений (δ) и средних квадратических ошибок (m) на геодезические разбивочные работы, рассчитанные разными методами

Методы расчета с учетом	Коэффициент точности процесса T_{II}	P	Нормированное значение отклонений отметок		Средние квадратические ошибки геодезических разбивочных работ			
			$\pm \delta_H$, мм	$\pm m_H$, мм	$\pm \delta_{др}$, мм	$\pm m_{др}$, мм	$\pm m_{вп}$, мм	$\pm m_{нх}$, мм
Равного влияния ошибок	—	0,90	25	15,2	10,20	6,20	6,20	6,20
		0,95	25	12,5	10,20	5,10	5,10	5,10
Ничтожного влияния ошибок	—	0,90	25	15,2	12,70	7,72	4,84	3,02
		0,95	25	12,5	12,70	6,35	3,98	2,48
Точности технологического процесса устройства конструктивных слоев оснований и покрытий	$T_{II} = 1,64$	0,90	25	15,2	15,25	9,27	8,34	7,51
	$T_{др} = 1,64$	0,90						
	$T_{вп} = 2,00$	0,95						
	$T_{нх} = 2,00$	0,95						
	$T_{II} = 1,64$	0,90	25	12,5	15,25	7,63	6,87	6,18
	$T_{др} = 2,00$	0,95						
	$T_{вп} = 2,00$	0,95						
	$T_{нх} = 2,00$	0,95						

Анализ результатов, полученных с применением разных методов расчета допусков разбивочных работ представленный в таблице 2.4, позволяет сделать следующие выводы:

– при расчете допусков с применением метода, основанного на принципе равного влияния на все этапы выполнения геодезических работ, получены равные значения норм точности, что противоречит практике при изыскании и строительстве автомобильных дорог;

– при расчете допусков с применением метода, основанного на принципе ничтожного влияния, получены заниженные значения средних

квадратических ошибок на вынос отметок пикетов и проложение нивелирных ходов по сравнению с другими методами, а на точность детальной разбивки несколько больше по сравнению с методом их расчета, основанного на принципе равного влияния;

– при расчете допусков с применением метода с учетом точности технологических процессов, получены значения средних квадратических ошибок больше на все этапы выполнения геодезических работ по сравнению с другими методами, то есть точность геодезических работ может быть понижена.

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* устройства их конструктивных слоев оснований и покрытий, а также доверительных вероятностей обеспечения предельных погрешностей при производстве геодезических работ.

Применение метода расчета допусков *с учетом точности технологических процессов* позволит снизить затраты на производство работ и повысить качество строительства автомобильных дорог.

Для обеспечения заданной точности геометрических параметров конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог при строительстве приемке и оценке качества работ необходимо выполнять налаживание технологических процессов по их выполнению не по предельным а по средним квадратическим ошибкам соответственно с доверительными вероятностями $P = 0,90$ и $P = 0,95$.

3 ОБОСНОВАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ ДОПУСКОВ НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ИХ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

3.1 Обоснование и назначение допусков на строительные работы и геодезический контроль при строительстве автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов

В нормативных документах приводятся допуски отметок на законченные строительством основания и покрытия автомобильных дорог, причем без разграничения их на геодезические и строительные работы. Контрольные геодезические измерения и разбивочные работы (детальная разбивка и вынос отметок пикетов на трассу автомобильных дорог), являются составной частью строительного процесса конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог при их строительстве [67]. Для того чтобы обеспечить заданное в нормативных документах СНиП 3.06.03–85 [98] и СП 78.13330.2012 [109] высотное положение конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, необходимо обоснование норм точности для:

- проложения нивелирных ходов по трассе автомобильных дорог с закреплением (вне зоны земляных работ при строительстве дорог) рабочих реперов, согласно рекомендации в [109], через 500 м;
- разбивки (выноса) отметок пикетов от рабочих реперов на трассу автомобильных дорог;
- детальной разбивки отметок поверхностей конструктивных слоев конструктивных слоев оснований и покрытий при их строительстве;
- геодезического контроля при устройстве конструктивных слоев конструктивных слоев 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 их проведения в строительной практике, т. е. при расчетах точности решать обратные задачи.

Сначала необходимо обосновать допуски на строительные работы и геодезический контроль, при этом за основу следует принимать, заданные в нормативных документах допустимые значения амплитуд отметок конструктивных слоев оснований и покрытий дорожных одежд. [122]

Расчет точности строительных работ и геодезического контроля отметок конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок, разными методами расчета допусков изложен в 2.2.

В процессе строительства, приемки и оценки качества работ, при строительстве автомобильных дорог, должен быть применен дифференцированный подход. В соответствии с [98] нормативные допустимые отклонения (предельные ошибки) устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог приведены с учетом доверительных вероятностей $P = 0,90$ или $P = 0,95$, а в [109] доверительная вероятность принята $P = 0,90$.

Расчет допусков на строительные работы и геодезический контроль ведут придерживаясь последовательности, приведенной на рисунке 2.2, в виде схемы.

На основании полученных предельных ошибок на контрольные измерения с учетом коэффициентов точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий T_{II} , определенных по формулам (2.35)–(2.39) и, задаваясь при этом доверительными вероятностями, рассчитаем допуски на строительные работы и геодезический контроль при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог. Результаты расчетов выполнены в соответствии с [109], для разных шагов нивелирования (длин прямых линий), категорий дорог и использования комплектов дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Допуски на геодезические и строительные работы для обеспечения заданного высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог (для дорог I, II, III категорий)

Коэффициент точности технологического процесса (T_{II})	Длина прямой линии (шаг нивелир.), м	Нормированное значение амплитуд отметок		Допуски на:			
				строительные работы		геодезические работы	
		$\pm \delta_n$, мм	$\pm m_n$, мм	$\pm \delta_c$, мм	$\pm m_c$, мм	$\pm \delta_z$, мм	$\pm m_z$, мм
При $P = 0,90$							
$T_{II} = 1,00$	10	5	3,04	4,46	2,71	2,25	1,37
$T_{II} = 1,50$				4,18	2,54	2,75	1,67
$T_{II} = 1,64$				3,97	2,41	3,05	1,85
$T_{II} = 2,00$				2,18	1,33	4,50	2,74
$T_{II} = 2,50$				0	0	5,00	3,04
$T_{II} = 1,00$	20	8	4,86	7,14	4,34	3,60	2,19
$T_{II} = 1,50$				6,68	4,06	4,40	2,67
$T_{II} = 1,64$				6,33	3,55	4,88	2,97
$T_{II} = 2,00$				3,47	2,11	7,20	4,38
$T_{II} = 2,50$				0	0	10,0	4,86
$T_{II} = 1,00$	40	16	9,73	14,29	8,69	7,20	4,38
$T_{II} = 1,50$				13,37	8,13	8,80	5,35
$T_{II} = 1,64$				12,69	7,71	9,76	5,93
$T_{II} = 2,00$				6,99	4,25	14,40	8,75
$T_{II} = 2,50$				0	0	16,00	9,73
При $P = 0,95$							
$T_{II} = 1,00$	10	5	2,50	4,46	2,23	2,25	1,12
$T_{II} = 1,50$				4,18	2,09	2,75	1,37
$T_{II} = 1,64$				3,95	1,98	3,05	1,53
$T_{II} = 2,00$				2,18	1,09	4,50	2,25
$T_{II} = 2,50$				0	0	5,00	2,50
$T_{II} = 1,00$	20	8	4,00	7,14	3,57	3,60	1,80
$T_{II} = 1,50$				6,68	3,34	4,40	2,20
$T_{II} = 1,64$				6,33	3,16	4,88	2,44
$T_{II} = 2,00$				3,47	1,74	7,20	3,60
$T_{II} = 2,50$				0	0	8,00	4,00
$T_{II} = 1,00$	40	16	8,00	14,29	7,14	7,20	3,60
$T_{II} = 1,50$				13,37	6,68	8,80	4,40
$T_{II} = 1,64$				12,68	6,34	9,76	4,88
$T_{II} = 2,00$				6,99	3,50	14,40	7,20
$T_{II} = 2,50$				0	0	16,00	8,00

Таблица 3.2 – Допуски на геодезические и строительные работы для обеспечения заданного высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог (для дорог IV и V категории общего пользования)

Коэффициент точности технологического процесса (T_{II})	Длина прямой линии (шаг нивелир.), м	Нормированное значение амплитуд отметок		Допуски на:			
				строительные работы		геодезические работы	
		$\pm \delta_n$, мм	$\pm m_n$, мм	$\pm \delta_c$, мм	$\pm m_c$, мм	$\pm \delta_z$, мм	$\pm m_z$, мм
При $P = 0,90$							
$T_{II} = 1,00$	10	6	3,65	5,56	3,26	2,70	1,64
$T_{II} = 1,50$				5,01	3,05	3,30	2,01
$T_{II} = 1,64$				5,74	2,87	3,70	2,25
$T_{II} = 2,00$				2,62	1,59	5,40	3,28
$T_{II} = 2,50$				0	0	6,00	3,65
$T_{II} = 1,00$	20	10	6,08	8,93	5,43	4,50	2,74
$T_{II} = 1,50$				8,35	5,08	5,50	3,34
$T_{II} = 1,64$				9,64	4,82	6,10	3,71
$T_{II} = 2,00$				4,36	2,65	9,00	5,47
$T_{II} = 2,50$				0	0	10,0	6,08
$T_{II} = 1,00$	40	20	12,16	17,86	10,86	9,00	5,47
$T_{II} = 1,50$				16,70	10,15	11,00	6,69
$T_{II} = 1,64$				19,26	9,63	12,20	7,42
$T_{II} = 2,00$				8,72	5,30	18,00	10,94
$T_{II} = 2,50$				0	0	20,00	12,16
При $P = 0,95$							
$T_{II} = 1,00$	10	6	3,00	5,36	2,68	2,70	1,35
$T_{II} = 1,50$				5,01	2,51	3,30	1,65
$T_{II} = 1,64$				4,72	2,36	3,70	1,85
$T_{II} = 2,00$				2,62	1,31	5,40	2,70
$T_{II} = 2,50$				0	0	6,00	3,00
$T_{II} = 1,00$	20	10	5,00	8,93	4,47	4,50	2,25
$T_{II} = 1,50$				8,35	4,18	5,50	2,75
$T_{II} = 1,64$				7,92	3,96	6,10	3,05
$T_{II} = 2,00$				4,36	2,18	9,00	4,50
$T_{II} = 2,50$				0	0	10,00	5,00
$T_{II} = 1,00$	40	20	10,00	17,86	8,93	9,00	4,50
$T_{II} = 1,50$				16,70	8,35	11,00	5,50
$T_{II} = 1,64$				15,84	7,92	12,20	6,10
$T_{II} = 2,00$				8,72	4,36	18,00	9,00
$T_{II} = 2,50$				0	0	20,00	10,00

В таблицах 3.1 и 3.2 представлены допуски на геодезические и строительные работы, которые позволят, в процессе устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, обеспечить их заданное высотное положение.

Изучив материалы исследований, касающиеся вопросов точности высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, проведенных в Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ) можно сделать вывод, что при строительстве сооружений допуски, на отдельные виды работ, не всегда обеспечиваются. Для того чтобы обеспечить, согласно СП 78.13330.2012 [109], заданное высотное положение конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при их строительстве, необходимо налаживать технологический процесс не по допускаемым отклонениям, а по средним квадратическим ошибкам с доверительными вероятностями $P = 0,90$ или $P = 0,95$.

3.2 Обоснование и назначение допусков на геодезические разбивочные работы при строительстве автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов

Для обеспечения точности высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, согласно СП 78.13330.2012 [109], необходимо обоснование допусков на детальную разбивку, вынос отметок пикетов от рабочих реперов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог.

Расчет точности геодезических разбивочных работ для обеспечения высотного регламентированного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок, и разными методами расчета допусков изложен в 2.3. Для обоснования допусков на детальную разбивку, вынос отметок пикетов от рабочих реперов и проложение

нивелирных ходов вдоль или по трассе используем метод их расчета с учетом точности технологических процессов.

За основу расчета примем критерий оценки качества строительно-монтажных работ конструктивных слоев оснований и покрытий дорожных одежд, приведенный в СП 78.13330.2012 [109]. Для оценки качества строительных работ, приняты отклонения отметок по оси от проектных значений, при этом - не более 10 % результатов определений должны быть в пределах до ± 20 мм, а остальные до ± 10 мм для комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок для всех категорий дорог, и ± 50 мм (± 25 мм – соответственно) при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок для дорог категорий IV и V общего пользования и ведомственных.

Контрольные измерения и геодезические разбивочные работы (детальная разбивка и вынос отметок пикетов на трассу автомобильных дорог), являются составной частью процессов строительства автомобильных дорог [82]. Их предельная ошибка определяется по формуле (2.24), и зависит от значения вероятной величины выхода ошибки за границу поля допуска S , составляющей 10 % от допустимого нормируемого значения Δ_n , и коэффициента T_{II} .

Поэтому, в соответствии с формулами (2.35)–(2.39), в зависимости от коэффициентов точности технологических процессов T_{II} , и нормируемых величин (предельных ошибок) отклонений отметок по оси от проектных значений, принятых равными $\delta_n = 10$ мм и $\delta_n = 25$ мм, нормы точности детальной разбивки будут определяться по выражениям:

– для всех категорий дорог при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок:

$$\begin{aligned}
 T_{II} = 1,0, & \quad \delta_{op} = 0,45 \cdot \delta_n = 0,45 \cdot 10 = 4,5 \text{ мм}; \\
 T_{II} = 1,5, & \quad \delta_{op} = 0,55 \cdot \delta_n = 0,55 \cdot 10 = 5,5 \text{ мм}; \\
 T_{II} = 1,64, & \quad \delta_{op} = 0,61 \cdot \delta_n = 0,61 \cdot 10 = 6,1 \text{ мм}; \\
 T_{II} = 2,0, & \quad \delta_{op} = 0,90 \cdot \delta_n = 0,90 \cdot 10 = 9,0 \text{ мм}; \\
 T_{II} = 2,5, & \quad \delta_{op} = \delta_n = 10,0 \text{ мм}.
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

– для дорог IV и V категории общего пользования при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок:

$$\begin{aligned}
 T_{II} &= 1,0, & \delta_{\partial p} &= 0,45 \cdot \delta_n = 0,45 \cdot 25 = 11,25 \text{ мм}; \\
 T_{II} &= 1,5, & \delta_{\partial p} &= 0,55 \cdot \delta_n = 0,55 \cdot 25 = 13,75 \text{ мм}; \\
 T_{II} &= 1,64, & \delta_{\partial p} &= 0,61 \cdot \delta_n = 0,61 \cdot 25 = 15,25 \text{ мм}; \\
 T_{II} &= 2,0, & \delta_{\partial p} &= 0,90 \cdot \delta_n = 0,90 \cdot 25 = 22,5 \text{ мм}; \\
 T_{II} &= 2,5, & \delta_{\partial p} &= \delta_n = 25 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

В СНиП 3.06.03–85 [98], при приемке и оценке качества строительных работ на «хорошо» и «отлично», предусмотрено обеспечение допустимых отклонений (предельных ошибок) отметок от проектных с доверительными вероятностями $P = 0,90$ и $P = 0,95$, в соответствии с этим коэффициенты точности технологических процессов детальной разбивки, можно принять равными $T_{\partial p} = 1,64$ и $T_{\partial p} = 2,0$. В актуализированной редакции этого нормативного документа, СП 78.13330.2012 [109], при приемке и оценке качества строительных работ предусмотрено обеспечение 90 % результатов определений отклонений отметок от проектных значений, что соответствует $P = 0,90$.

Рассчитаем предельные и средние квадратические ошибки детальной разбивки, выноса отметок пикетов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог, с учетом коэффициентов точности технологических процессов. За основу расчета примем отклонение отметок от проектных значений $\delta_n = 10 \text{ мм}$, согласно СП 78.13330.2012 [109], для дорог всех категорий при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок. Для выполнения расчетов, зададимся коэффициентами точности технологического процесса устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог и коэффициентами точности технологических процессов геодезических работ при детальной разбивке $T_{\partial p} = 1,64$ и $T_{\partial p} = 2,0$:

$T_{II} = 1,0$	$\delta_{\partial p} = 0,45 \cdot 10 = 4,5 \text{ мм};$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 4,5/1,64 = 2,74 \text{ мм};$
		$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 4,5/2,0 = 2,25 \text{ мм};$
$T_{II} = 1,5$	$\delta_{\partial p} = 0,55 \cdot 10 = 5,5 \text{ мм};$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 5,5/1,64 = 3,35 \text{ мм};$
		$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 5,5/2,0 = 2,75 \text{ мм};$
$T_{II} = 1,64$	$\delta_{\partial p} = 0,61 \cdot 10 = 6,1 \text{ мм};$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 6,1/1,64 = 3,72 \text{ мм};$
		$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 6,1/2,0 = 3,05 \text{ мм};$
$T_{II} = 2,0$	$\delta_{\partial p} = 0,90 \cdot 10 = 9,0 \text{ мм};$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 9,0/1,64 = 5,49 \text{ мм};$
		$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 9,0/2,0 = 4,5 \text{ мм};$
$T_{II} = 2,5$	$\delta_{\partial p} = 10,0 \text{ мм};$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 10,0/1,64 = 6,1 \text{ мм};$
		$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 10,0/2,0 = 5,0 \text{ мм};$

Предельные и средние квадратические ошибки выноса отметок пикетов от рабочих реперов на трассу автомобильных дорог будут зависеть, от коэффициентов точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий T_{II} , и коэффициентов точности технологических процессов геодезических работ при их детальной разбивке $T_{\partial p}$.

Принимая во внимание, что вынос пикетов на трассу автомобильных дорог выполняют специалисты геодезического профиля, зададимся коэффициентом точности геодезических работ при выносе отметок пикетов $T_{en} = 2,0$, т. е. с доверительной вероятностью $P = 0,95$ получим следующие результаты:

$T_{II} = 1,0$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 2,74 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 2,74 \cdot 0,9 = 2,47 \text{ мм};$
	$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 2,25 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 2,25 \cdot 0,9 = 2,02 \text{ мм};$
$T_{II} = 1,5$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 3,35 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 3,35 \cdot 0,9 = 3,02 \text{ мм};$
	$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 2,75 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 2,75 \cdot 0,9 = 2,47 \text{ мм};$
$T_{II} = 1,64$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 3,72 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 3,72 \cdot 0,9 = 3,35 \text{ мм};$
	$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 3,05 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 3,05 \cdot 0,9 = 2,74 \text{ мм};$
$T_{II} = 2,0$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 5,49 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 5,49 \cdot 0,9 = 4,94 \text{ мм};$
	$T_{\partial p} = 2,0$	$m_{\partial p} = 4,50 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 4,5 \cdot 0,9 = 4,05 \text{ мм};$
$T_{II} = 2,5$	$T_{\partial p} = 1,64$	$m_{\partial p} = 6,10 \text{ мм};$	$T_{en} = 2,0$	$m_{en} = 6,1 \cdot 0,9 = 5,49 \text{ мм};$

$$T_{\text{др}} = 2,0 \quad m_{\text{др}} = 5,0 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 5,0 \cdot 0,9 = 4,50 \text{ мм};$$

Уровень технологии строительного производства на стадии изысканий автомобильных дорог не известен. Принимая во внимание то, что при выполнении геодезических работ нормируемый множитель при переходе от средних квадратических ошибок к предельным t , принимают равным 2; 2,5; 3, согласно СП 126.13330.2012 [107], зададимся коэффициентом точности геодезических работ при проложении нивелирных ходов $T_{\text{нх}} = 2,0$. В этом случае предельные и средние квадратические ошибки на геодезические работы при проложении нивелирных ходов, для коэффициентов точности технологических процессов строительства автомобильных дорог $T_{\text{п}} = 1,64$ и $T_{\text{п}} = 2,0$, будут иметь значения:

$$T_{\text{п}} = 1,0 \quad T_{\text{др}} = 1,64 \quad m_{\text{др}} = 2,74 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 2,47 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 2,47 \cdot 0,9 = 2,22 \text{ мм};$$

$$T_{\text{др}} = 2,0 \quad m_{\text{др}} = 2,25 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 2,02 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 2,02 \cdot 0,9 = 1,82 \text{ мм};$$

$$T_{\text{п}} = 1,5 \quad T_{\text{др}} = 1,64 \quad m_{\text{др}} = 3,35 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 3,02 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 3,02 \cdot 0,9 = 2,72 \text{ мм};$$

$$T_{\text{др}} = 2,0 \quad m_{\text{др}} = 2,75 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 2,47 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 2,47 \cdot 0,9 = 2,22 \text{ мм};$$

$$T_{\text{п}} = 1,64; \quad T_{\text{др}} = 1,64 \quad m_{\text{др}} = 3,72 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 3,35 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 3,35 \cdot 0,9 = 3,02 \text{ мм};$$

$$T_{\text{др}} = 2,0 \quad m_{\text{др}} = 3,05 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 2,74 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 2,74 \cdot 0,9 = 2,47 \text{ мм};$$

$$T_{\text{п}} = 2,0; \quad T_{\text{др}} = 1,64 \quad m_{\text{др}} = 5,49 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 4,94 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 4,94 \cdot 0,9 = 4,45 \text{ мм};$$

$$T_{\text{др}} = 2,0 \quad m_{\text{др}} = 4,5 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 4,05 \text{ мм};$$

$$T_{\text{нх}} = 2,0 \quad m_{\text{нх}} = 4,05 \cdot 0,9 = 3,65 \text{ мм};$$

$$T_{\text{п}} = 2,5 \quad T_{\text{др}} = 1,64 \quad m_{\text{др}} = 6,10 \text{ мм}; \quad T_{\text{ен}} = 2,0 \quad m_{\text{ен}} = 5,49 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{нх}} &= 2,0 & m_{\text{нх}} &= 5,49 \cdot 0,9 = 4,94 \text{ мм}; \\
 T_{\text{оп}} &= 2,0 & m_{\text{оп}} &= 5,0 \text{ мм}; & T_{\text{ен}} &= 2,0 & m_{\text{ен}} &= 4,50 \text{ мм}; \\
 T_{\text{нх}} &= 2,0 & m_{\text{нх}} &= 4,50 \cdot 0,9 = 4,05 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

Для вычисления длин нивелирных ходов рассчитаем их предельные ошибки при коэффициенте точности технологического процесса геодезических работ при проложении нивелирных ходов $T_{\text{нх}} = 2,0$ по выражению

$$\delta_{\text{нх}} = 2 \cdot m_{\text{нх}} \quad (3.3)$$

получим следующие результаты:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{п}} = 1,0 & & T_{\text{оп}} = 1,64 & & m_{\text{оп}} = 2,74 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 2,47 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 2,47 \cdot 0,9 = 2,22 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 2,22 \cdot 1,64 = 3,64 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{оп}} = 2,0 & & m_{\text{оп}} = 2,25 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 2,02 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 2,02 \cdot 0,9 = 1,82 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 1,82 \cdot 2 = 3,64 \text{ мм}; \\
 T_{\text{п}} = 1,5 & & T_{\text{оп}} = 1,64 & & m_{\text{оп}} = 3,35 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 3,02 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 3,02 \cdot 0,9 = 2,72 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 2,72 \cdot 1,64 = 4,46 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{оп}} = 2,0 & & m_{\text{оп}} = 2,75 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 2,47 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 2,47 \cdot 0,9 = 2,22 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 2,22 \cdot 2 = 4,44 \text{ мм}; \\
 T_{\text{п}} = 1,64; & & T_{\text{оп}} = 1,64 & & m_{\text{оп}} = 3,72 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 3,35 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 3,35 \cdot 0,9 = 3,02 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 3,02 \cdot 1,64 = 4,95 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{оп}} = 2,0 & & m_{\text{оп}} = 3,05 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 2,74 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 2,74 \cdot 0,9 = 2,47 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 2,47 \cdot 2 = 4,94 \text{ мм}; \\
 T_{\text{п}} = 2,0; & & T_{\text{оп}} = 1,64 & & m_{\text{оп}} = 5,49 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 4,94 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 4,94 \cdot 0,9 = 4,45 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 4,45 \cdot 1,64 = 7,3 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{оп}} = 2,0 & & m_{\text{оп}} = 4,5 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 4,05 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 4,05 \cdot 0,9 = 3,65 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 3,65 \cdot 2 = 7,3 \text{ мм}; \\
 T_{\text{п}} = 2,5 & & T_{\text{оп}} = 1,64 & & m_{\text{оп}} = 6,10 \text{ мм}; & & T_{\text{ен}} = 2,0 & & m_{\text{ен}} = 5,49 \text{ мм}; \\
 & & T_{\text{нх}} = 2,0 & & m_{\text{нх}} = 5,49 \cdot 0,9 = 4,94 \text{ мм}; & & \delta_{\text{нх}} = 4,94 \cdot 1,64 = 8,1 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

$$T_{др} = 2,0 \quad m_{др} = 5,0 \text{ мм}; \quad T_{ен} = 2,0 \quad m_{ен} = 4,50 \text{ мм};$$

$$T_{нх} = 2,0 \quad m_{нх} = 4,50 \cdot 0,9 = 4,05 \text{ мм}; \quad \delta_{нх} = 4,05 \cdot 2 = 8,1 \text{ мм}.$$

Предельные и средние квадратические ошибки геодезических работ приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Предельные (δ) и средние квадратические (m) ошибки геодезических работ

$T_{П}$	Детальная разбивка			Вынос отметок пикетов			Проложение нивелирных ходов		
	$\delta_{др}, \text{ мм}$	$T_{др}$	$m_{др}, \text{ мм}$	$T_{ен}$	$m_{ен}, \text{ мм}$	$\delta_{ен}, \text{ мм}$	$T_{нх}$	$m_{нх}, \text{ мм}$	$\delta_{нх}, \text{ мм}$
Для всех категорий дорог при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок									
1,00	4,5	1,64	2,74	2,0	2,47	4,04	2,0	2,22	3,64
		2,00	2,25		2,02			1,82	
1,50	5,5	1,64	3,35	2,0	3,02	4,94	2,0	2,72	4,46
		2,00	2,75		2,47			2,23	
1,64	6,1	1,64	3,72	2,0	3,35	5,48	2,0	3,02	4,94
		2,00	3,05		2,74			2,47	
2,00	9,0	1,64	5,49	2,0	4,94	8,10	2,0	4,45	7,30
		2,00	4,50		4,05			3,65	
2,50	10,0	1,64	6,10	2,0	5,49	9,00	2,0	4,94	8,10
		2,00	5,00		4,40			4,05	
Для дорог IV и V категории общего пользования при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок									
1,00	11,25	1,64	6,86	2,0	6,17	10,12	2,0	5,55	9,11
		2,00	5,62		5,06			4,55	
1,50	13,75	1,64	8,39	2,0	7,55	12,38	2,0	6,86	11,14
		2,00	6,86		6,19			5,57	
1,64	15,25	1,64	9,30	2,0	8,37	13,72	2,0	7,53	12,35
		2,00	7,62		6,86			6,17	
2,00	22,25	1,64	13,72	2,0	12,35	20,24	2,0	11,12	18,22
		2,00	11,25		10,12			9,11	
2,50	25,00	1,64	15,24	2,0	13,72	22,50	2,0	12,35	20,27
		2,00	12,50		11,25			10,13	

Таким образом, данные представленные в таблице 3.3, позволяют устанавливать точность геодезических работ (детальной разбивки, выноса отметок пикетов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог) для разных категорий дорог и применяемых комплектов дорожных машин, с доверительными вероятностями ($P = 0,90$ или $P = 0,95$). Поэтому при строительстве автомобильных дорог необходимо налаживать технологический процесс не по предельным (допускаемым отклонениям), а по средним квадратическим ошибкам геодезических и строительных работ.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

4.1 Теоретические основы статистических исследований точности определения высотного положения поверхностей конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог

При строительстве зданий и сооружений выполняют различные измерения, по которым контролируют качество их строительства. Оценку точности геометрических параметров конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог выполняют с применением методов теории вероятностей и математической статистики.

Для определения точности высотного положения покрытий автомобильных дорог по результатам измеренных отметок были вычислены отклонения, из которых сформированы вариационные ряды. В процессе математической обработки устанавливалась закономерность распределения отклонений отметок, для этого рассчитывалась интервальная разность h ряда по формуле Стерджесса [14], [31], [45], [67], [119], [120], [123]

$$h = \frac{R}{1 + 3,32 \lg N}, \quad (4.1)$$

где R – размах варьирования отклонений отметок;

N – количество отклонений отметок.

Размах варьирования был вычислен по формуле

$$R = (x_{max} - x_{min}), \quad (4.2)$$

где x_{min} и x_{max} – соответственно минимальное и максимальное значение отклонений отметок.

Число интервалов в вариационном ряду, позволяет определить формула (4.3)

$$k = R/h . \quad (4.3)$$

За начала первого интервала примем величину $x_{нач} = (x_{min} - k / 2)$.

Величины, показывающие, какое количество раз значение x_i встречается в данном интервале, носят название частоты и обозначаются буквой n , а их отношение к общему числу выбранных значений наблюдений или к объему выборки называется частотами или относительными частотами

$$W_i = n_i / N . \quad (4.4)$$

Перечень интервалов и соответствующих им частот составляет статистическое распределение вариационного ряда. Частотой интервала характеризуется сумма частот отклонений отметок попавших в интервал, при этом сумма всех частот равна количеству значений вариационного ряда.

Величиной статистической оценки вокруг которой концентрируется распределение отклонений отметок $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ величины x принята средняя арифметическая вариационного ряда, а ее количественное значение этой характеристики определяется формулой

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i x_i}{N} , \quad (4.5)$$

где N – количество отклонений;

n_i - частота;

x_i – середины интервалов вариационных рядов.

Простейшим коэффициентом вариации наблюдаемых значений, количественного признака вариационного ряда относительно своего среднего значения \bar{x} , является выборочная дисперсия D и выборочное среднее квадратическое отклонение σ определяемые по формулам:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2}{N}, \quad (4.6)$$

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (4.7)$$

Несмещенной характеристикой является генеральная дисперсия, которая характеризуется при использовании исправленной дисперсии формулой (4.8)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}. \quad (4.8)$$

Пользуясь «исправленным» средним квадратическим отклонением (средней квадратической ошибкой) можно вычислить среднее квадратическое отклонение генеральной совокупности по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}. \quad (4.9)$$

По значению среднего квадратического отклонения, пользуясь формулой (4.10), рассчитывается величина M – средняя квадратическая ошибка среднего арифметического значения вариационного ряда. Средняя квадратическая ошибка самой средней квадратической ошибки m_m вычисляется по формуле (4.11):

$$M = \frac{m}{\sqrt{N}}; \quad (4.10)$$

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(N-1)}}. \quad (4.11)$$

Предложенная по формулам (4.5)–(4.9) оценка является точечной, т. е. она определяется одним числом. В нашем случае имеется вариационный ряд, который ограничивается максимальным и минимальным отклонением отметок, поэтому

следует использовать интервальные оценки, которые будут определены двумя значениями характеризующими точность и надежность оценок.

Для оценки среднего значения \bar{x} и среднеквадратического отклонения или дисперсии используется метод «доверительных интервалов». Для определения границ доверительных интервалов воспользуемся точечными характеристиками \bar{x} и m , доверительной вероятностью $P = 0,95$ и уровнем значимости (точностью оценки) $q = 0,05$. При этом учитывается, что вероятность появления отклонений отметок, превышающих по абсолютному значению величину равную $2m$, будет минимальной и исследуемые вариационные ряды имеют ограниченный объем.

Для математического ожидания a и стандарта σ в пределах вариационного ряда доверительные интервалы [13], [21], [31], [45] будут иметь вид:

$$\bar{x} - t \cdot m / \sqrt{N} < a < \bar{x} + t \cdot m / \sqrt{N}, \quad (4.12)$$

$$m - t \cdot m / \sqrt{2 \cdot (N - 1)} < a < m + t \cdot m / \sqrt{2 \cdot (N - 1)}, \quad (4.13)$$

где t – нормируемый множитель, который определяется из таблиц по доверительной вероятности p и количеству отклонений N .

Приведенные формулы (4.12)–(4.13), для определения доверительных оценок математического ожидания a и стандарта σ , справедливы при числе отклонений отметок $N > 50$. В результатах исследований мы используем ограниченный вариационный ряд, поэтому для оценки математического ожидания применяется распределение Стьюдента и в неравенство (4.12) вводится коэффициент t_q – нормируемый множитель, который заменяет коэффициент t , и зависит, как от доверительной вероятности p , так и от количества элементов в ряду. В этом случае доверительный интервал для оценки математического ожидания можно записать в виде

$$\bar{x} - t_q \cdot m / \sqrt{N} < a < \bar{x} + t_q \cdot m / \sqrt{N}. \quad (4.14)$$

В этом же случае доверительный интервал для оценок стандарта σ , с применением распределения χ^2 , с $N - 1$ степенями свободы, будет определяться неравенством (4.15)

$$m(1 - g) < \sigma < m(1 + g), \quad (4.15)$$

где m – средняя квадратическая ошибка отклонений отметок;

g – коэффициент, который выбирается по таблицам [13], [21], [31], [45] и зависит от объема вариационного ряда и вероятности, может быть определен из выражения (4.16)

$$\int_{\sqrt{N-1}/(1-g)}^{\sqrt{N+1}/(1+g)} R(\chi, N) \cdot d\chi = q, \quad (4.16)$$

где $R(\chi, N)$ – плотность распределения;

q – заданная доверительная вероятность.

Наглядно характер эмпирического распределения отклонений отметок покажет кривая теоретического распределений и гистограмма (кривая эмпирического распределения).

Кривая теоретического распределения строится по серединам интервалов и соответствующим им значениям вероятностей $P(x_i)$, а в свою очередь, кривая эмпирического распределения строится по относительным частотам и тем же серединам интервалов. Гистограмма представляет собой, ступенчатую фигуру из прямоугольников, и поэтому не дает полного представления о характере эмпирического распределения.

Вопросами точности процессов строительства сооружений занимались многие исследователи, обобщая полученные ими результаты можно сказать, что при налаженных технологических процессах, ошибки их распределения подчиняются закону нормального распределения. При распределении полученных отклонений отметок, в пределах вариационного ряда, можно принять гипотезу о

нормальном характере распределения, в качестве нулевой статистической гипотезы, при этом вероятности $P(x_i)$ будут определены по формуле Лапласа

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} \cdot dt, \quad (4.17)$$

где $t = (a - \bar{x})/m$ или $t = (b - \bar{x})/m$;

a и b – границы интервалов;

\bar{x} – средняя арифметическая характеристика вариационного ряда;

m – средняя квадратическая ошибка отклонений высот.

По результатам исследований проведенных отечественными и зарубежными учеными, при строительстве сооружений, можно констатировать тот факт, что исследуемые отклонения отметок в процессе строительства сооружений носят нормальный характер и подчиняются нормальному закону распределения случайных величин. В качестве нулевой гипотезы, в наших исследованиях было принято, что распределение значений x – отклонений отметок, в результате статистического анализа подчиняется нормальному закону. Гипотезу можно считать правдоподобной, если найти вероятность того, что случайная величина приняла значение не меньше, чем фактически наблюдаемые в вариационном ряду, в качестве меры расхождения была принята величина χ^2 (хи-квадрат), равная сумме отклонений эмпирических и теоретических частот. В теории вероятностей величина χ^2 носит название критерия Пирсона. При этом следует обратить внимание на то, что проверяемый критерий отличающейся большой чувствительностью к используемой гипотезе, и определяется по формуле

$$\chi_{набл}^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - NP(x_i))^2 / NP(x_i), \quad (4.18)$$

где n – эмпирические частоты;

$NP(x_i)$ – теоретические частоты;

k – число интервалов;

$P(x_i)$ – теоретическая вероятность попадания x_i в интервал.

$$N = \sum_{i=1}^n n_i . \quad (4.19)$$

В результате проверки подчинения опытных данных нулевой гипотезе возникают ошибки. Они могут быть первого рода, если будет принята правдоподобная гипотеза и второго рода, если принята неправильная гипотеза. Особенно значимым условием, является - устранить в результатах исследований ошибки первого рода, для этого выбирается достаточно малый уровень значимости $q = 1 - P = 0,05$. При таком уровне значимости, ошибки первого рода допускается в пределах 5 % из 100 % случаев, и величину равную $2m$ будут превышать по абсолютной величине значения с вероятностью равной 0,05.

Кроме критерия Пирсона, гипотезу о предполагаемом законе распределения, рассматривают критерии, предложенные такими учеными как Колмогоров А. Н., Смирнов Н. В., Ястремский Б. С., Романовский В. И. и другие.

В результатах исследований может оказаться, что значение вычисленного критерия Пирсона получится меньше критического, определенного по уровню значимости, т. е. $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, в этом случае отвергать нулевую гипотезу о нормальном распределении, нет оснований. Если же вычисленное значение критерия Пирсона окажется больше критического $\chi_{набл}^2 > \chi_{кр}^2$, то целесообразно применить другой критерий проверки гипотезы о нормальном распределении. Величину критического значения $\chi_{кр}^2$ определяют из статистических таблиц, по принятому уровню значимости q и числу степеней свободы, количество которых вычисляют по формуле

$$s = k - l - r , \quad (4.20)$$

где k – количество интервалов в вариационном ряду;

r – количество параметров нормального распределения оцениваемое двумя величинами, такими как a – математическое ожидание и σ – среднее квадратическое отклонение, исходя из этого можно записать $s = k - 3$.

В случае, когда величина критерия Пирсона, вычисленная в результате статистического анализа получилась больше критического значения, что возможно при малых размерах вариационного ряда, необходимо выполнить проверку экспериментальных данных с привлечением других критериев менее чувствительных к проверяющей гипотезе. Таким критерием может быть критерий согласия Ястремского Б. С., он характеризуется [12], [67], [120], [123] формулой (4.21.)

$$J = Q - k / \sqrt{2k + 4\Theta}, \quad (4.21)$$

где k – количество интервалов в вариационном ряду.

Составляющая $\Theta = 0,6$ при $k < 20$, а значение Q вычисляется по формуле

$$Q = \frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i) \cdot [1 - P(x_i)]}. \quad (4.22)$$

При использовании этого критерия, нулевая гипотеза о нормальном распределении принимается при $J < 3$.

Используем предложенную методику статистических исследований точности для определения высотного положения покрытий автомобильных дорог с применением разных геодезических приборов.

4.2 Методика исследования точности высотного положения 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 М3 средняя квадратическая ошибка измерения углов 5"). Так как в действующей инструкции по нивелированию [36],

изложены программы нивелирования оптическими нивелирами, и ничего не сказано о применении цифровых нивелиров и электронных тахеометров. Поэтому выполненные исследования определения высот этими приборами позволят 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 дюбеля и обозначены пикеты. На полигоне выполнены измерения высот покрытия участка автомобильной дороги, по программе нивелирования II класса коротким горизонтальным лучом визирования (рисунок 4.1).

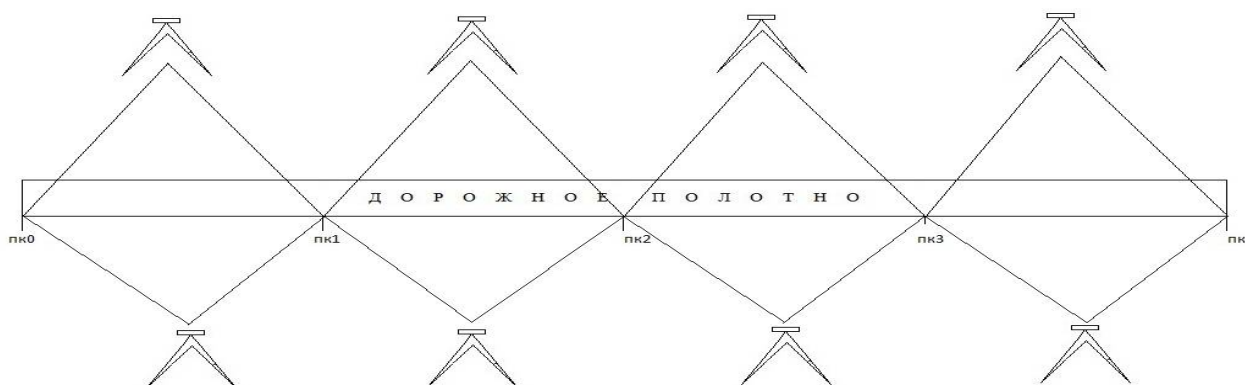


Рисунок 4.1 – Схема нивелирования связующих точек высокоточным нивелиром по программе II класса

Наблюдения на станции выполнялись способом совмещения, при нивелировании применялся высокоточный нивелир Н-2 и штриховые инварные рейки, вместо костылей использовались дюбеля. Предварительно были обозначены места стоянок прибора при удалении от противоположной кромки примерно на 1 м, так чтобы нивелирование выполнялось равными плечами, удаление реек от прибора составляло около $S = 50$ м.

При нивелировании в прямом направлении использовался следующий порядок наблюдений на станции:

Нечетная станция

1. Отчет по основной шкале задней рейки
2. Отчет по основной шкале передней рейки
3. Отчет по дополнительной шкале передней рейки
4. Отчет по дополнительной шкале задней рейки

Четная станция

1. Отчет по основной шкале передней рейки
2. Отчет по основной шкале задней рейки
3. Отчет по дополнительной шкале задней рейки
4. Отчет по дополнительной шкале передней рейки

При выполнении нивелирования в обратном направлении, наблюдения на нечетных станциях начинались с передней рейки. Длина визирного луча составляла около 50 м, высота визирного луча над подстилающей поверхностью была не менее 50 см.

На полигоне было выполнено нивелирование замкнутого короткого хода, невязка, полученная в результате нивелирования, составила 3 мм, при допустимой 4,5 мм. По уравниваем превышениям, вычислены высоты пикетов, которые далее при проведении эксперимента, 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), схема представлена на рисунке 4.2. Нивелирование промежуточных точек выполнено в одном направлении, оптическим нивелиром Н-2, короткими визирными лучами примерно $S = 10$ м, по программе нивелирования II класса. Невязка хода составила 1,8 мм и была распределена между превышениями, по которым получены высоты промежуточных точек.

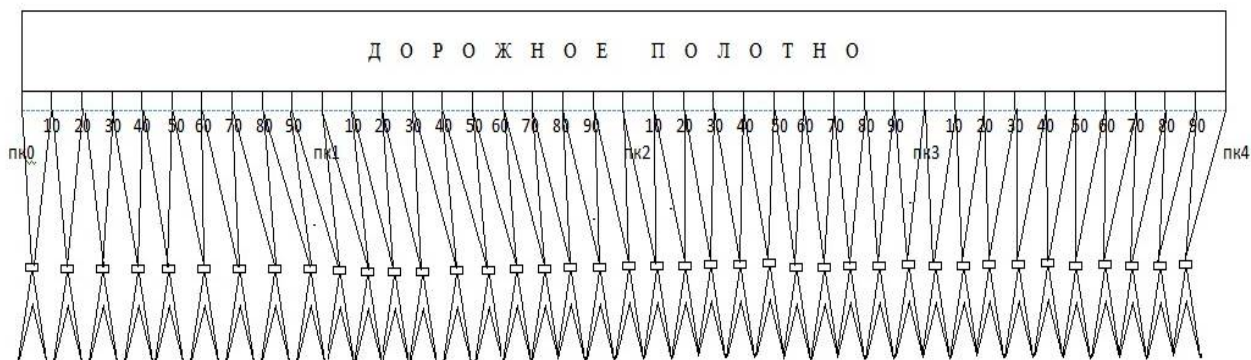


Рисунок 4.2 – Схема нивелирования нивелиром Н-2 при длине плеча $S = 10$ м

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, схемы нивелирования представлены на рисунках 4.3–4.5. При этом были использованы: нивелир Н-3 и трех метровые деревянные рейки с черной и красной стороной (по программе технического нивелирования), цифровой нивелир (типа TRIMBLE DINI 0.7) и штрих-кодовые рейки, электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3) и отражатели, которые прошли метрологическое освидетельствование. Свидетельства о поверках средств измерений приведены в приложении Л, М.

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 высотами. Полученные, в результате экспериментальных работ, отклонения высот сформированы в вариационные ряды.

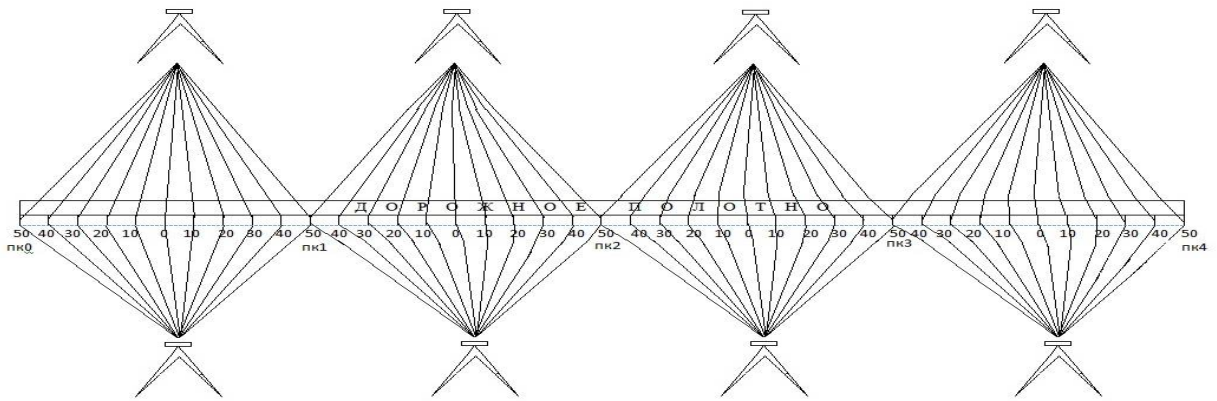


Рисунок 4.3 – Схема нивелирования промежуточных и связующих точек с применением нивелира типа Н-3, цифрового нивелира и электронного тахеометра при длине визирного луча $S = 50$ м

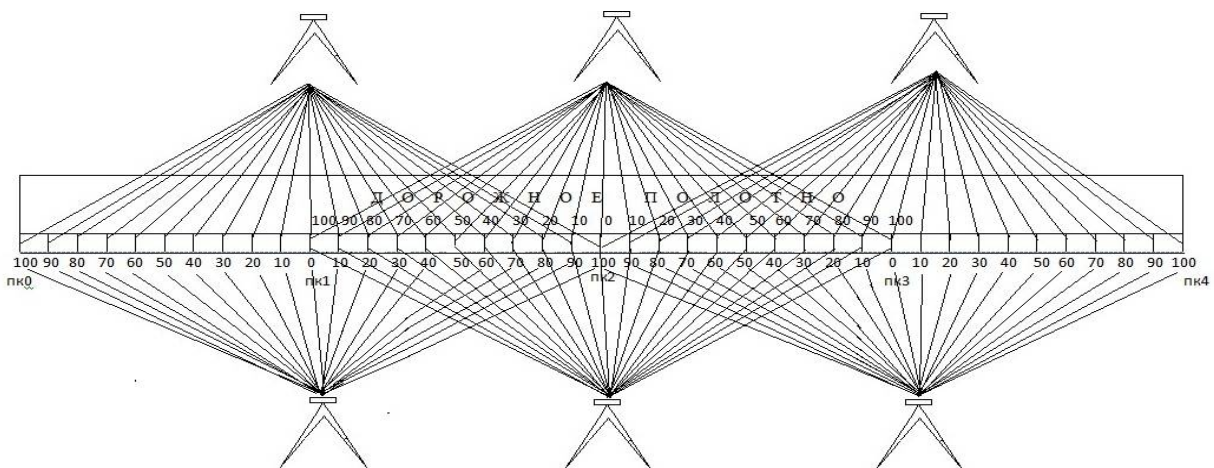


Рисунок 4.4 – Схема нивелирования промежуточных и связующих точек с применением нивелира типа Н-3, цифрового нивелира и электронного тахеометра при длине визирного луча $S = 100$ м

Цифровой нивелир (типа TRIMBLE DINI 0.7) считывает показания со штрих-кодовой рейки в пределах 100 м, поэтому в дальнейших исследованиях мы его не использовали, а на расстоянии более 100 м использовали электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3) и нивелир Н-3.

При дальности визирного луча до $S = 150$ м нивелирование выполнялось в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.5.

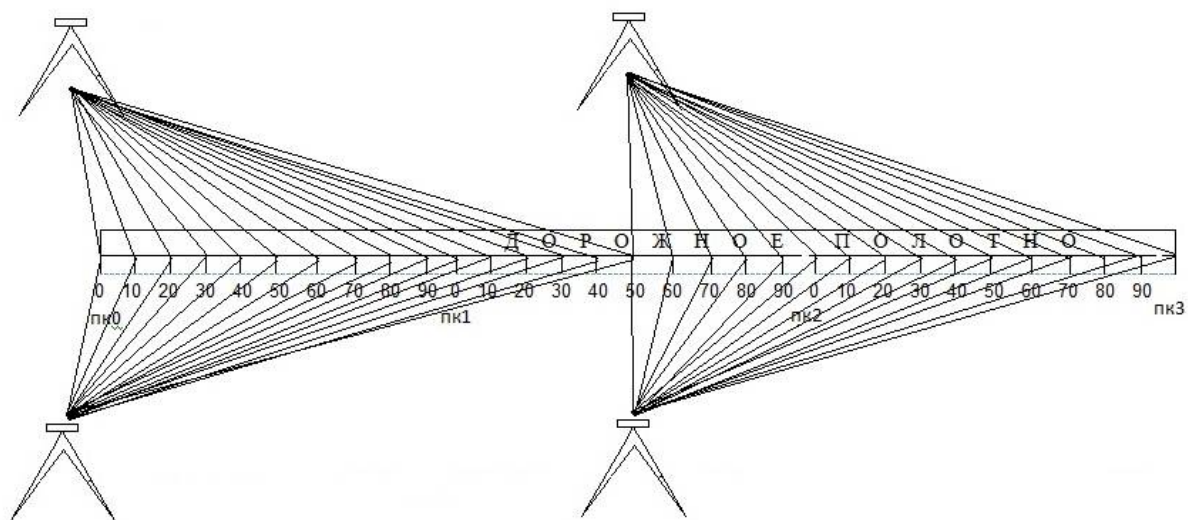


Рисунок 4.5 – Схема нивелирования промежуточных и связующих точек с применением нивелира типа Н-3 и электронного тахеометра при $S = 150$ м

Сравнивая значения высот покрытия автомобильной дороги, полученные с применением перечисленных приборов при указанных длинах визирного луча и исходные (точные) значения высот, определены отклонения. По отклонениям высот, выполнена статистическая обработка, в соответствии с 4.1, с использованием методов теории вероятностей и математической статистики, изложенных в работах [13], [14], [18], [33], [45], [67], [107].

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.

Исследование точности высотного положения покрытия автомобильной дороги с применением геодезических приборов при длине визирного луча $S = 50$ м. Результаты статистической обработки отклонений, вычисленных как разность высот, полученных при нивелировании цифровым нивелиром (длина визирного луча $S = 50$ м) и нивелиром Н-2, приведены в таблице 4.1.

Кривые эмпирического и теоретического распределения отклонений высот, полученных цифровым нивелиром, показаны на рисунке 4.6. Гипотеза о нормальном распределении отклонений высот, проверена с применением

критерия Пирсона, результаты представлены в таблице 4.2. При этом обрабатывался вариационный ряд, содержащий 88 отклонений высот. Шаг в вариационном ряду определяли по формуле (4.1), количество интервалов по выражению (4.3). Критерий Пирсона вычисленный по формуле (4.18), при шести интервалах данного ряда, равен $\chi^2 = 1,93$, а его критическое значение, полученное, согласно формулы (4.20), по количеству степеней свободы $s = 3$ и уровню значимости $q = 0,05$ оказалось равным $\chi_{крит}^2 = 7,8$. По полученным результатам видно, что $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, на основании методики изложенной в 4.1, можно констатировать, что нулевая гипотеза о нормальном распределении отклонений высот покрытия автомобильной дороги, с применением критерия Пирсона, не отвергается. Средняя квадратическая ошибка отклонений высот составила $m = 1,05$ мм.

Результаты статистической обработки отклонений высот, вычисленных как разность высот, полученных с применением оптического нивелира Н-3 (при длине визирного луча $S = 50$ м) и Н-2, (параметров распределения и доверительные интервалы), приведены в таблице 4.3.

Кривые эмпирического и теоретического распределений отклонений высот, вычисленных по результатам нивелирования с применением нивелира Н-3 ($S = 50$ м) представлены на рисунке 4.7.

Гипотеза о нормальном распределении отклонений высот, проверена с применением критерия Пирсона. Результаты проверки сходимости эмпирического распределения с теоретическим (нормальным) распределением приведены в таблице 4.4, значение критерия Пирсона χ^2 при шести интервалах выборки, составило $\chi^2 = 4,42$, а его критическая величина, полученная по количеству степеней свободы $s = 3$ и уровню значимости $q = 0,05$, равна $\chi_{крит}^2 = 7,8$. Поскольку $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, то при этом нулевая гипотеза о нормальном распределении отклонений высот на основании применения критерия Пирсона, не отвергается.

Таблица 4.1 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот, полученных с применением цифрового нивелира (S = 50 м)

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i , мм	nx_i , мм	$(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-3	-2	3	0,034	-2,5	-7,5	-2,44	-7,33	17,91	-2,81	-1,85	-0,4975	-0,4678	0,0297
-2	-1	13	0,148	-1,5	-19,5	-1,44	-18,76	27,08	-1,85	-0,90	-0,4678	-0,3179	0,1499
-1	0	27	0,307	-0,5	-13,5	-0,44	-11,97	5,30	-0,90	0,05	-0,3179	0,0199	0,3378
0	1	34	0,386	0,5	17,0	0,56	18,93	10,54	0,05	1,01	0,0199	0,3438	0,3239
1	2	9	0,102	1,5	13,5	1,56	14,01	21,81	1,01	1,96	0,3438	0,4750	0,1312
2	3	2	0,023	2,5	5,0	2,56	5,11	13,07	1,96	2,91	0,4750	0,4981	0,0231
Сумма		88	1,000		-5,0			95,72					0,9956

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = -5 / 88 = -0,06 \text{ мм}$$

$$M = 1,05 / \sqrt{88} = 0,11 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{95,72 / 87} = 1,05 \text{ мм}$$

$$m_m = 1,05 / \sqrt{2 \cdot (88 - 1)} = 0,08 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 88; P = 0,95) = 1,99$$

$$-0,06 - 1,99 \cdot 0,11 < a < -0,06 + 1,99 \cdot 0,11 \Rightarrow -0,28 \text{ мм} < a < 0,22 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 88, P = 0,95) = 0,15$$

$$1,05 \cdot (1 - 0,15) < \sigma < 1,05 \cdot (1 + 0,15) \Rightarrow 0,89 \text{ мм} < \sigma < 1,21 \text{ мм}$$

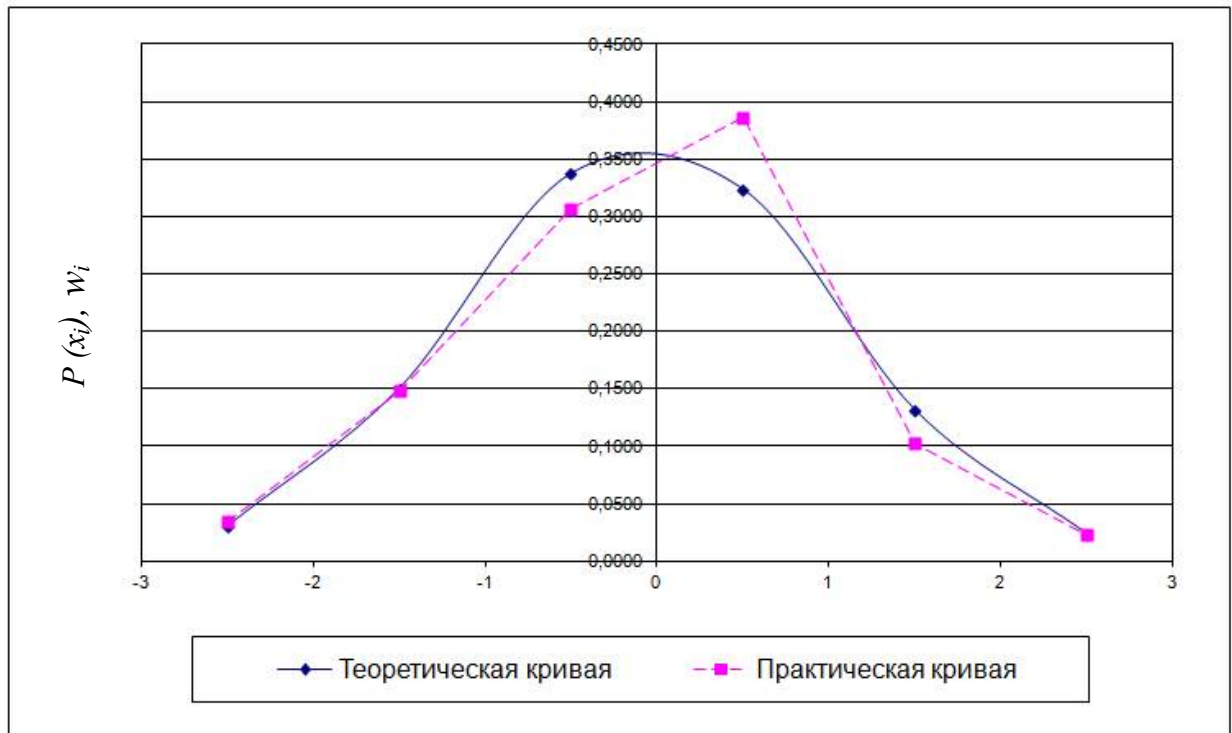


Рисунок 4.6 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот, полученных с применением цифрового нивелира ($S = 50$ м)

Таблица 4.2 – Результаты вычисления критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот, полученных с применением цифрового нивелира ($S = 50$ м), с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-3	-2	3	0,0297	2,6136	0,386	0,149	0,06
-2	-1	13	0,1499	13,1912	-0,191	0,037	0,00
-1	0	27	0,3378	29,7264	-2,726	7,433	0,25
0	1	34	0,3239	28,5032	5,497	30,215	1,06
1	2	9	0,1312	11,5456	-2,546	6,480	0,56
2	3	2	0,0231	2,0328	-0,033	0,001	0,00
Сумма		88					$\chi^2_{\text{выч}} = 1,93$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05;3) = 7,8.$$

Таким образом, $1,93 < 7,8$. Нулевая гипотеза не отвергается.

Таблица 4.3 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот, полученных с применением нивелира Н-3 (S = 50 м)

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i , мм	nx_i , мм	$(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-6	-4	3	0,034	-5	-15	-5,16	-15,48	79,85	-2,80	-1,89	-0,4974	-0,4706	0,0268
-4	-2	8	0,091	-3	-24	-3,16	-25,27	79,84	-1,89	-0,98	-0,4706	-0,3365	0,1341
-2	0	32	0,364	-1	-32	-1,16	-37,09	42,99	-0,98	-0,07	-0,3365	-0,0279	0,3086
0	2	30	0,341	1	30	0,84	25,23	21,21	-0,07	0,84	-0,0279	0,2995	0,3274
2	4	10	0,114	3	30	2,84	28,41	80,71	0,84	1,74	0,2995	0,4591	0,1596
4	6	5	0,057	5	25	4,84	24,20	117,17	1,74	2,65	0,4591	0,4960	0,0369
Сумма		88	1,000		14			421,77					0,9934

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 14 / 88 = 0,16 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 88; P = 0,95) = 1,99$$

$$M = 2,20 / \sqrt{88} = 0,23 \text{ мм}$$

$$0,16 - 1,99 \cdot 0,23 < a < 0,16 + 1,99 \cdot 0,23 \Rightarrow -0,30 \text{ мм} < a < 0,62 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{421,77 / 87} = 2,20 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m_m = 2,20 / \sqrt{2 \cdot (88 - 1)} = 0,17 \text{ мм}$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 88, P = 0,95) = 0,15$$

$$2,20 \cdot (1 - 0,15) < \sigma < 2,20 \cdot (1 + 0,15) \Rightarrow 1,87 \text{ мм} < \sigma < 2,53 \text{ мм}$$

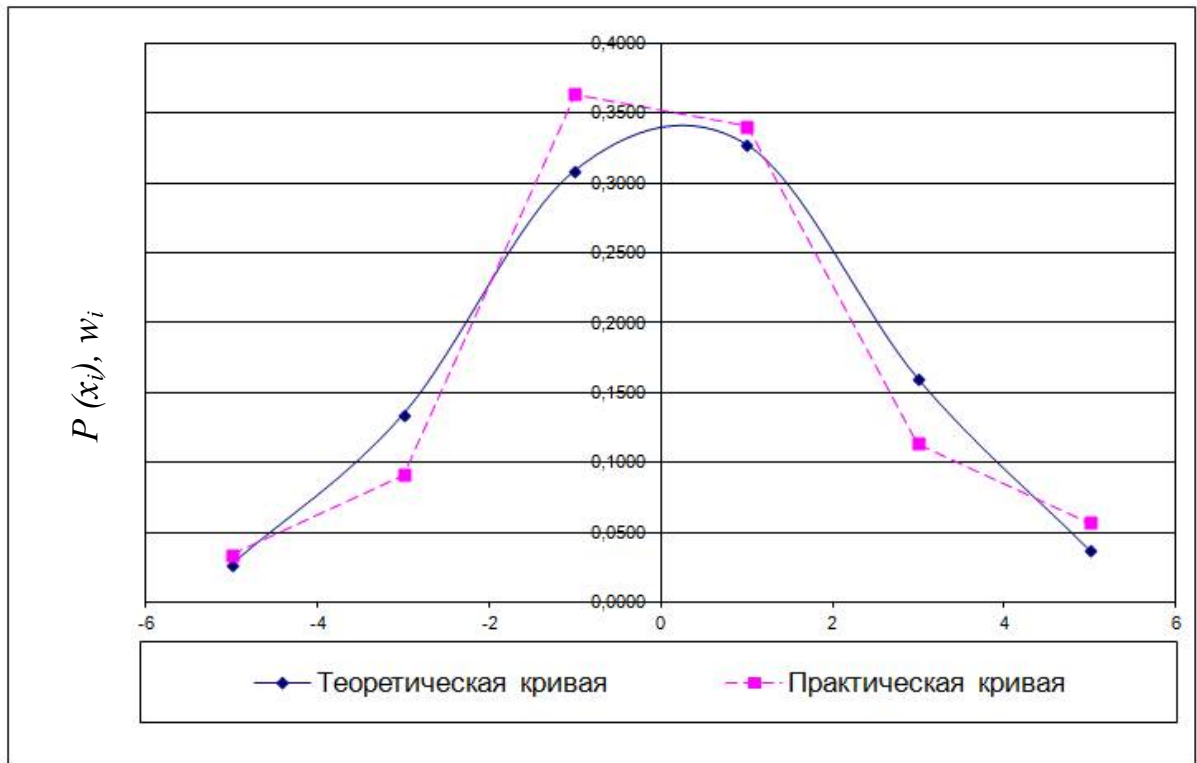


Рисунок 4.7 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот, полученных с применением нивелира Н-3 ($S = 50$ м)

Таблица 4.4 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот, полученных с применением нивелира Н-3 ($S = 50$ м), с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$	
a	b							
-6	-4	3	0,0268	2,3584	0,642	0,412	0,17	
-4	-2	8	0,1341	11,8008	-3,801	14,446	1,22	
-2	0	32	0,3086	27,1568	4,843	23,457	0,86	
0	2	30	0,3274	28,8112	1,189	1,413	0,05	
2	4	10	0,1596	14,0448	-4,045	16,360	1,16	
4	6	5	0,0369	3,2472	1,753	3,072	0,95	
Сумма		88						$\chi^2_{\text{выч}} = 4,42$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,8.$$

Таким образом, $4,42 < 7,8$. Нулевая гипотеза не отвергается.

Средняя квадратическая ошибка отклонений высот составила $m = 2,20$ мм.

Результаты статистической обработки отклонений высот, вычисленных как разность высот, полученных при нивелировании этого же участка электронным тахеометром ($S = 50$ м) и нивелиром Н-2, (параметров распределения и доверительных интервалов) приведены в таблице 4.5. Графики кривых теоретического и практического распределений вероятностей и частот, показаны на рисунке 4.8.

Гипотеза о нормальном распределении отклонений высот проверена с применением критерия Пирсона, расчеты приведены в таблице 4.6. Анализируя представленные данные отметим, что с применением электронного тахеометра было получено 88 отклонений высот, составивших вариационный ряд. Значение критерия Пирсона при шести интервалах выборки, составило $\chi^2 = 10,56$, а критическое значение критерия, полученное по количеству степеней свободы $s = 3$ и уровню значимости $q = 0,05$, равно $\chi_{крит}^2 = 7,8$. Поскольку значение χ^2 превышает критическое ($\chi_{набл}^2 > \chi_{кр}^2$), то нулевая гипотеза о нормальном распределении отклонений высот на основании критерия Пирсона, отвергается. Применение критерия Ястремского Б. С., расчеты представлены в таблице 4.7, показало, что величина $J = 1,09$ меньше критического значения $J = 3$, при этом гипотеза о нормальном распределении отклонений высот, полученных с применением электронного тахеометра, подтверждается.

Средняя квадратическая ошибка отклонений высот составила $m = 2,09$ мм.

Таблица 4.5 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот, полученных с применением электронного тахеометра (S = 50 м)

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i , мм	nx_i , мм	$(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-6	-4	4	0,045	-5	-20	-5,43	-21,73	118,02	-3,08	-2,12	-0,4987	-0,483	0,0157
-4	-2	9	0,102	-3	-27	-3,43	-30,89	106,00	-2,12	-1,17	-0,4830	-0,3790	0,1040
-2	0	29	0,330	-1	-29	-1,43	-41,52	59,45	-1,17	-0,21	-0,3790	-0,0832	0,2958
0	2	28	0,318	1	28	0,57	15,91	9,04	-0,21	0,75	-0,0832	0,2734	0,3566
2	4	12	0,136	3	36	2,57	30,82	79,15	0,75	1,71	0,2734	0,4640	0,1906
4	6	6	0,068	5	30	4,57	27,41	125,21	1,71	2,67	0,4640	0,4962	0,0322
Сумма		88	1,000		38			378,85					0,9949

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 38 / 88 = 0,43 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 88; P = 0,95) = 1,99$$

$$M = 2,09 / \sqrt{88} = 0,22 \text{ мм}$$

$$0,43 - 1,99 \cdot 0,22 < a < 0,43 + 1,99 \cdot 0,22 \Rightarrow -0,01 \text{ мм} < a < 0,87 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{378,85 / 87} = 2,09 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m_m = 2,09 / \sqrt{2 \cdot (88 - 1)} = 0,16 \text{ мм}$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 88, P = 0,95) = 0,15$$

$$2,09 \cdot (1 - 0,15) < \sigma < 2,09 \cdot (1 + 0,15) \Rightarrow 1,78 \text{ мм} < \sigma < 2,40 \text{ мм}$$

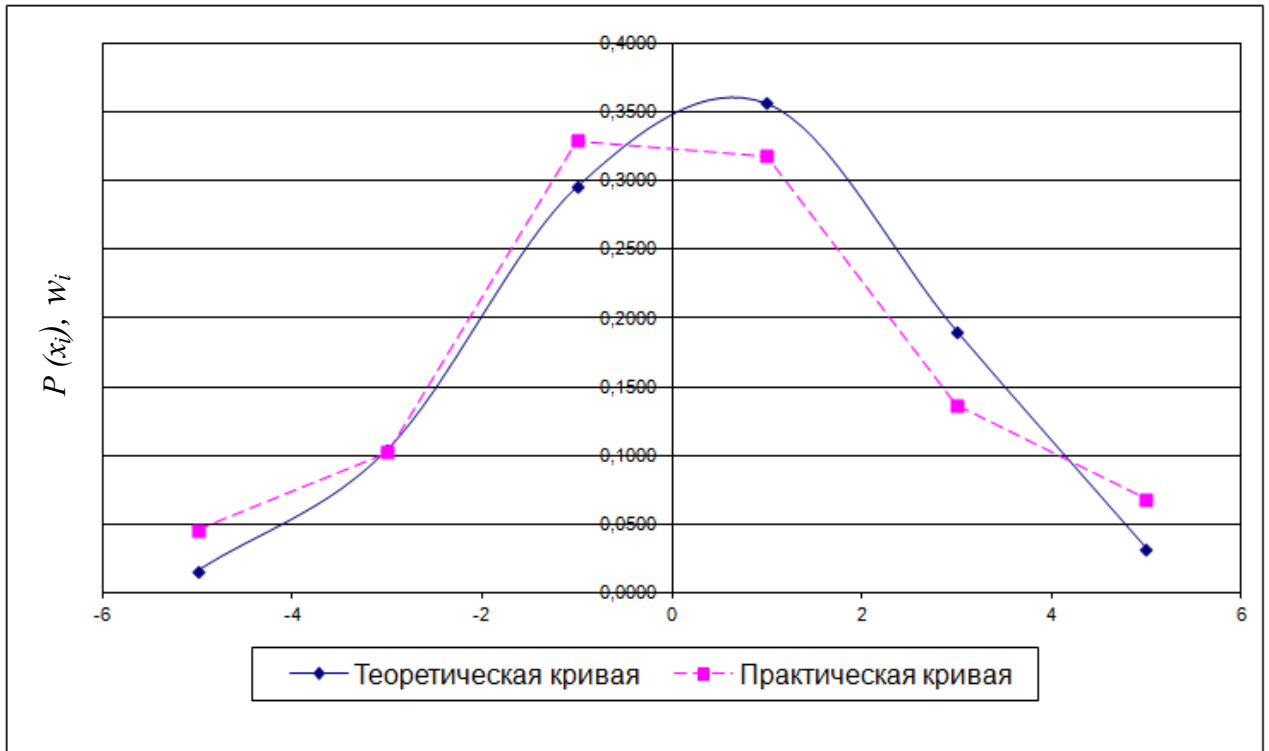


Рисунок 4.8 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот, полученных с применением электронного тахеометра ($S = 50$ м)

Таблица 4.6 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот, полученных с применением электронного тахеометра ($S = 50$ м), с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-6	-4	4	0,0157	1,3816	2,618	6,856	4,96
-4	-2	9	0,1040	9,152	-0,152	0,023	0,00
-2	0	29	0,2958	26,0304	2,970	8,819	0,34
0	2	28	0,3566	31,3808	-3,381	11,430	0,36
2	4	12	0,1906	16,7728	-4,773	22,780	1,36
4	6	6	0,0322	2,8336	3,166	10,026	3,54
Сумма		88					$\chi^2_{\text{выч}} = 10,56$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,8.$$

Таким образом, $10,56 > 7,8$. Нулевая гипотеза отвергается.

Таблица 4.7 – Вычисление критерия Ястремского Б.С. для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот, полученных с применением электронного тахеометра ($S = 50$ м), с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$1 - P(x_i)$	$NP(x_i)[1 - P(x_i)]$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)[1 - P(x_i)]}$
a	b								
-6	-4	4	0,0157	1,382	2,618	6,856	0,984	1,360	5,04
-4	-2	9	0,1040	9,152	-0,152	0,023	0,896	8,200	0,00
-2	0	29	0,2958	26,030	2,970	8,819	0,704	18,331	0,48
0	2	28	0,3566	31,381	-3,381	11,430	0,643	20,190	0,57
2	4	12	0,1906	16,773	-4,773	22,780	0,809	13,576	1,68
4	6	6	0,0322	2,834	3,166	10,026	0,968	2,742	3,66
Сумма		88							$Q = 11,43$

При шести интервалах $S = 6$, $\theta = 0,6$,

$$J = \frac{(Q - S)}{\sqrt{(2S - 4\theta)}} = 2,56.$$

Так как $1,09 < 3$, то нулевая гипотеза подтверждается.

По результатам статистической обработки отклонений высот, полученных в процессе экспериментальных исследований, с применением трех геодезических приборов при длине визирного луча $S = 50$ м, 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.

Исследование точности высотного положения покрытия автомобильной дороги с применением геодезических приборов при длине визирного луча $S = 100$ м. Определение высот покрытия автомобильной дороги выполнялось, в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.4. Вариационный ряд отклонений, вычисленных как разность высот, полученных с применением цифрового нивелира, электронного тахеометра, нивелира Н-3 при ($S = 100$ м) и точных, составил 126 отклонений.

Результаты статистической обработки данных нивелирования, приведены в таблице 4.8. Кривые практического и теоретического распределения отклонений высот, полученных при нивелировании цифровым нивелиром (длина визирного луча $S = 100$ м) представлены на рисунке 4.9.

Проверка нулевой гипотезы о нормальном распределении отклонений выполнена на основании критерия согласия Пирсона, результаты расчета представлены в таблице 4.9. Из результатов вычислений можно наблюдать, что $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, нулевая гипотеза о нормальном распределении отклонений высот с применением этого критерия, не отвергается.

Средняя квадратическая ошибка отклонений высот покрытия составила $m = 1,83$ мм.

Далее поочередно пользуясь нивелиром Н-3 (применяя программу технического нивелирования) и электронным тахеометром выполнялось нивелирование покрытия автомобильной дороги, в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.4, были получены высоты промежуточных и связующих точек, по которым вычислены отклонения.

Таблица 4.8 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот, полученных с применением цифрового нивелира (S = 100 м)

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i , мм	nx_i , мм	$(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-6	-4	2	0,016	-5	-10	-5,06	-10,13	51,28	-3,31	-2,22	-0,4994	-0,4868	0,0126
-4	-2	14	0,111	-3	-42	-3,06	-42,89	131,39	-2,22	-1,13	-0,4868	-0,3708	0,1160
-2	0	49	0,389	-1	-49	-1,06	-52,11	55,42	-1,13	-0,03	-0,3708	-0,0120	0,3588
0	2	46	0,365	1	46	0,94	43,08	40,34	-0,03	1,06	-0,0120	0,3554	0,3674
2	4	11	0,087	3	33	2,94	32,30	94,85	1,06	2,15	0,3554	0,4842	0,1288
4	6	4	0,032	5	20	4,94	19,75	97,48	2,15	3,24	0,4842	0,4993	0,0151
Сумма		126	1,0		8			419,48					0,9861

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 8 / 126 = 0,06 \text{ мм}$$

$$M = 1,83 / \sqrt{126} = 0,16 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{419,48 / 125} = 1,83 \text{ мм}$$

$$m_m = 1,83 / \sqrt{2 \cdot (126 - 1)} = 0,12 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 126; P = 0,95) = 1,98$$

$$0,06 - 1,98 \cdot 0,16 < a < 0,06 + 1,98 \cdot 0,16 \Rightarrow -0,26 \text{ мм} < a < 0,38 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 126, P = 0,95) = 0,13$$

$$1,83 \cdot (1 - 0,13) < \sigma < 1,83 \cdot (1 + 0,13) \Rightarrow 1,59 \text{ мм} < \sigma < 2,07 \text{ мм}$$

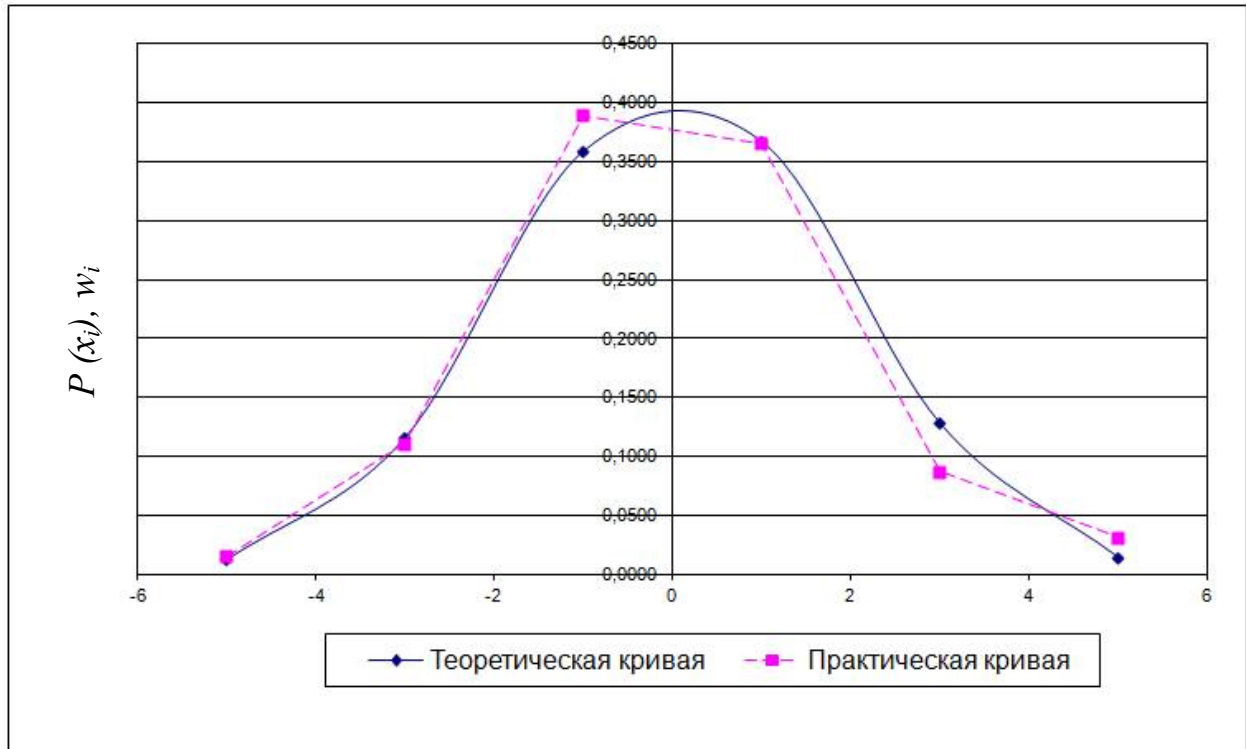


Рисунок 4.9 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот, полученных с применением цифрового нивелира ($S = 100$ м)

Таблица 4.9 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот, полученных с применением цифрового нивелира ($S = 100$ м), с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-6	-4	2	0,0126	1,5876	0,412	0,170	0,11
-4	-2	14	0,1160	14,616	-0,616	0,379	0,03
-2	0	49	0,3588	45,2088	3,791	14,373	0,32
0	2	46	0,3674	46,2924	-0,292	0,085	0,00
2	4	11	0,1288	16,2288	-5,229	27,340	1,68
4	6	4	0,0151	1,9026	2,097	4,399	2,31
Сумма		126					$\chi^2_{\text{выч}} = 4,45$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,8.$$

Таким образом, $4,45 < 7,8$. Нулевая гипотеза не отвергается

Статистическая обработка отклонений высот приведена в таблице А.1 (приложение А) и в таблице Б.1 (приложение Б), соответственно с применением нивелира Н-3 и электронного тахеометра при длине визирного луча $S = 100$ м. Кривые практического и теоретического распределения отклонений показаны на рисунке А.1 (приложение А) и рисунке Б.1 (приложение Б).

Отклонения высот проверены на соответствие гипотезе о нормальном распределении в таблице А.2 (приложение А) при применении Н-3 и в таблице Б.2 (приложение Б) при применении электронного тахеометра.

Результаты статистической обработки отклонений высот, полученных с применением цифрового нивелира (нивелира Н-3, электронного тахеометра) при длине визирного луча $S = 100$ м сведены в таблицу 4.10.

Т а б л и ц а 4.10 – Результаты статистической обработки отклонений высот, полученных с применением трех геодезических приборов ($S = 100$ м)

Вид прибора	\bar{x} , мм	M , мм	m , мм	m_m , мм	a_{min}/a_{max} , мм	$\sigma_{min}/\sigma_{max}$, мм
Цифровой нивелир (типа TRIMBLE DINI 0.7)	0,06	$\pm 0,16$	$\pm 1,83$	$\pm 0,12$	-0,26/0,38	1,59/2,07
Электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3)	-0,07	$\pm 0,26$	$\pm 2,88$	$\pm 0,18$	-0,58/0,44	2,50/3,25
Нивелир Н-3	0,14	$\pm 0,26$	$\pm 2,91$	$\pm 0,18$	-0,37/0,65	2,53/3,29

По результатам статистической обработки отклонений высот, полученных с применением трех геодезических приборов ($S = 100$ м), можно сделать вывод, что наиболее точные результаты измерений получены с применением цифрового нивелира, а нивелир Н-3 и электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3) одного порядка точности.

Исследование точности высотного положения покрытия автомобильной дороги с применением нивелира Н-3 и электронного тахеометра при длине визирного луча $S = 150$ м. Нивелирование покрытия автомобильной дороги выполнялось в соответствии с рисунком 4.5, при этом использовались нивелир Н-3

(по программе технического нивелирования) и электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3).

В результате нивелирования были получены высоты промежуточных и связующих точек покрытия автомобильной дороги при максимальном удалении прибора от рейки (отражателя) на расстоянии 150 м. При сравнении полученных высот с точными, были вычислены отклонения.

Статистическая обработка отклонений высот выполнялась по методике, описанной в 4.1. Результаты статистической обработки отклонений высот, полученных с применением нивелира Н-3 ($S = 150$ м) приведены в таблице В.1 (приложение В). Ряд включает в себя 64 отклонения, разделен на шесть интервалов, значение критерия Пирсона, представленное в таблице В.2 (приложение В), меньше критического, гипотеза о нормальном распределении подтверждается, средняя квадратическая ошибка отклонений равна $m = 3,77$ мм.

Вариационный ряд отклонений высот в таблице Г.1 (приложение Г), полученных с применением электронного тахеометра ($S = 150$ м), включает 64 отклонения высот покрытия, разделен на шесть интервалов, значение критерия Пирсона в таблице Г.2 (приложение Г) равно $\chi^2 = 4,55$ не превышает критического значения, поэтому гипотеза о нормальном распределении не отвергается, средняя квадратическая ошибка отклонений равна $m = 3,70$ мм. Кривые практического и теоретического распределений показаны на рисунке В.1 (приложения В) при использовании Н-3 и рисунке Г.1 (приложение Г) при использовании электронного тахеометра.

Экспериментальные исследования по определению высот разными геодезическими приборами показали, что наиболее точные результаты получены с применением цифрового нивелира, при этом значение средних квадратических ошибок отклонений высот получились наименьшими. Точность измерения высот полученных с применением электронного тахеометра одного порядка с результатами, полученными с применением нивелира Н-3.

Обоснование и обеспечение точности детальной разбивки высотного положения поверхностей конструктивных слоев оснований и покрытий

автомобильных дорог. На основании выполненных исследований в по определению отклонений высот покрытия автомобильной дороги на полигоне с применением оптических Н-2, Н-3 нивелиров, цифрового нивелира (TRIMBLE DINI 0.7) со штрих кодовой рейкой и электронного тахеометра типа TRIMBLE M3 (средняя квадратическая ошибка измерения угла, 5") с отражателем, сформируем вариационный ряд полученных результатов при максимальных удалениях реек и отражателя от соответствующих приборов на расстояниях 50; 100; 150 м. Вычислим значения ошибок отклонений высот от исходных (точных) значений с применением основных положений теории вероятностей и математической статистики.

Результаты обработки отклонений высот с применением перечисленных приборов приведены в таблицах 4.11–4.13

Анализируя результаты определения высот покрытия автомобильной дороги при максимальных удалениях реек (отражателя) от приборов на расстояниях 50; 100; 150 м, можно констатировать, что при детальной разбивке высот покрытия автомобильных дорог, результаты полученные с применением цифрового нивелира, по точности выше данных, полученных с применением нивелира Н-3 и электронного тахеометра.

Показатели точности определения высот покрытия автомобильных дорог, полученные с применением электронного тахеометра, не значительно отличаются от данных при применении нивелира Н-3.

На основании выполненных исследований следует рекомендовать на стадии изысканий автомобильных дорог для широкого применения электронные тахеометры, позволяющие обеспечить необходимую точность планового и высотного положения. На стадии строительства (выноса высот пикетов от рабочих реперов на трассу автомобильных дорог, детальной разбивки высот и геодезического контроля при устройстве их конструктивных слоев оснований и покрытий) особенно при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания высот следует рекомендовать применение цифровых нивелиров.

Таблица 4.11 – Результаты обработки отклонений высот с применением цифрового нивелира, электронного тахеометра и нивелира Н-3 при удалении прибора от рейки (отражателя) на расстоянии 50 м

Цифровой нивелир (типа TRIMBLE DINI 0.7)					Электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3)					Нивелир Н-3							
Интервалы, мм		Часто- та n_i	Сред. интер. x_i , мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	Интервалы, мм		Часто- та n_i	Сред. интер. x_i , мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	Интервалы, мм		Часто- та n_i	Сред. интер. x_i , мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм
a	b					a	b					a	b				
-3	-2	1	-2,5	-2,5	6,2	-6	-4	2	-5	-10	50	-6	-4	2	-5	-10	60,5
-2	-1	3	-1,5	-4,5	6,8	-4	-2	2	-3	-6	18	-4	-2	4	-3	-12	49,0
-1	0	10	-0,5	-5,0	2,5	2	0	11	1	11	11	2	0	11	1	11	2,8
0	1	8	0,5	4,0	2,0	0	2	12	1	12	12	0	2	10	1	10	2,5
1	2	4	1,5	6,0	9,0	2	4	4	3	12	36	2	4	4	3	12	25,0
2	3	2	2,5	5,0	12,5	4	6	1	5	5	25	4	6	1	5	5	20,2
Сумма		28		3,0	39,00	Сумма		32		24	152	Сумма		32		16	160
$\bar{x} = 3 / 28 = 0,11$ мм					$\bar{x} = 24 / 32 = 0,75$ мм					$\bar{x} = 16 / 32 = 0,5$ мм							
$m = \sqrt{39 - / (28 - 1)} = 1,20$ мм					$m = \sqrt{152 - / (32 - 1)} = 2,21$ мм					$m = \sqrt{160 - / (32 - 1)} = 2,27$ мм							

Таблица 4.12 – Результаты обработки отклонений высот с применением цифрового нивелира, электронного тахеометра и нивелира Н-3 при удалении прибора от рейки (отражателя) на расстоянии 100 м

Цифровой нивелир (типа TRIMBLE DINI 0.7)						Электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3)						Нивелир Н-3					
Интервалы, мм		Часто- та n_i	Серед. интер. x_i , мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	Интервалы, мм		Часто- та n_i	Серед. интер. x_i , мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	Интервалы, мм		Часто- та n_i	Серед. интер. x_i , мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм
a	b					a	b					a	b				
-6	-4	1	-5	-5	25	-9	-6	1	-7,5	-7,5	56,25	-9	-6	2	-7,5	-15,0	128
-4	-2	2	-3	-6	18	-6	-3	3	-4,5	-13,5	60,75	-6	-3	3	-4,5	-13,5	75
-2	0	3	-1	-3	3	-3	0	3	-1,5	-4,5	6,75	-3	0	4	-1,5	-6,0	16
0	2	4	1	4	4	0	3	5	1,5	7,5	11,25	0	3	4	1,5	6,0	4
2	4	2	3	6	18	3	6	3	4,5	13,5	60,75	3	6	1	4,5	4,5	16
4	6	0	5	0	0	6	9	1	7,5	7,5	56,25	6	9	2	7,5	15,0	98
Сумма		12		-4	68	Сумма		16		3	252	Сумма		16		-9,0	337
$\bar{x} = -4/12 = 0,33$ мм						$\bar{x} = 3/16 = 0,19$ мм						$\bar{x} = -9/16 = -0,56$ мм					
$m = \sqrt{68 - / (12 - 1)} = 2,48$ мм						$m = \sqrt{252 - / (16 - 1)} = 4,10$ мм						$m = \sqrt{337 - / (16 - 1)} = 4,74$ мм					

Таблица 4.13 – Результаты обработки отклонений высот с применением электронного тахеометра и нивелира Н-3 при удалении прибора от рейки (отражателя) на расстоянии 150 м

Электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3)						Нивелир Н-3					
Интервалы, мм		Частота n_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	Интервалы, мм		Частота n_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм
a	b					a	b				
-12	-8	1	-10	-10	100	-12	-8	2	-10	-20	220,5
-8	-4	2	-6	-12	72	-8	-4	2	-6	-12	84,5
-4	0	2	-2	-4	8	-4	0	2	-2	-4	12,5
0	4	2	2	4	8	0	4	2	2	4	4,5
4	8	3	6	18	108	4	8	2	6	12	60,5
8	12	2	10	20	200	8	12	2	10	20	180,5
Сумма		12		16	496	Сумма		12		0	563
$\bar{x} = 16 / 12 = 1,33$ мм						$\bar{x} = 0 / 12 = 0$ мм					
$m = \sqrt{496 - / (12 - 1)} = 6,71$ мм						$m = \sqrt{563 - / (12 - 1)} = 7,15$ мм					

4.3 Исследование точности конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с применением геодезических приборов на объектах строительства

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. Элементы автомобильной дороги приведены на рисунке 4.10.

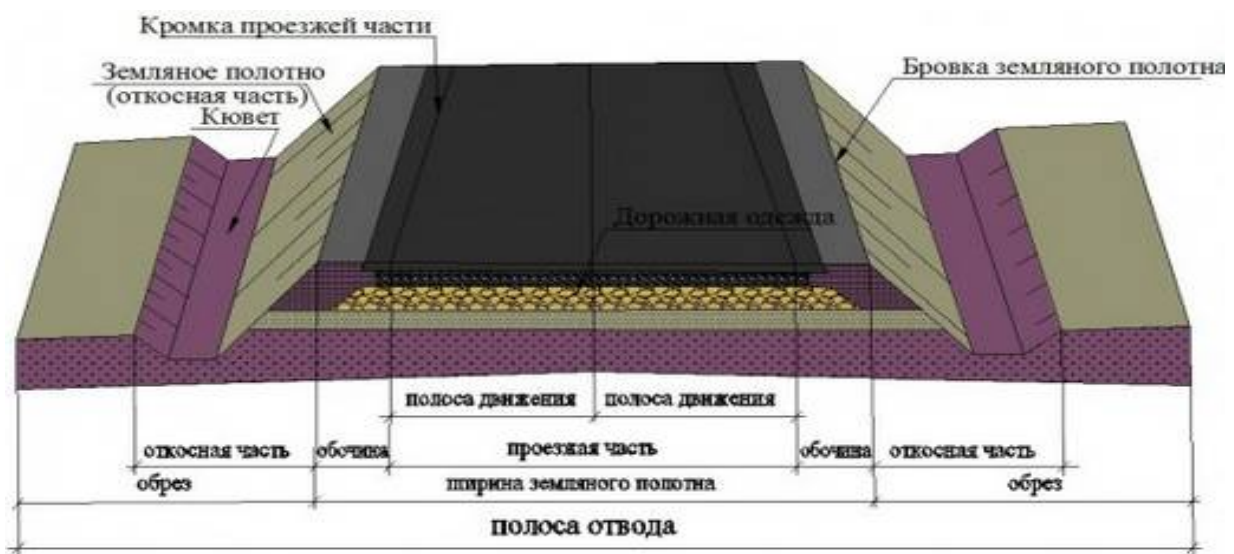


Рисунок 4.10 – Элементы автомобильной дороги

В соответствии со СНиП 3.06.03-85 [98], действовавшим на момент строительства автомобильной дороги, при приемке работ законченного строительством сооружения, выполняется оценка неровности покрытия в продольном направлении, для этого намечаются захватки длиной до 400 м. Показателями ровности покрытия автомобильной дороги являются амплитуды высот. Конструктивные слои автомобильной дороги показаны на рисунке 4.11.

Исследования были выполнены на участке дороги длиной 400 м, с применением цифрового нивелира, электронного тахеометра и нивелира Н-3, полученные результаты сравнивались с данными полученными при экспериментальных исследованиях на полигоне. По отметкам, полученным из

нивелирования покрытия автомобильной дороги по левой, правой кромке и центру, вычислены амплитуды высот, по которым определена неровность покрытия автомобильной дороги, ведущей к Красногорскому гидроузлу в Омской области.



Рисунок 4.11 – Конструктивные слои автомобильной дороги

Нивелирование участка покрытия автомобильной дороги протяженностью 400 м, выполнено при длине визирного луча $S=100$ м по левой, правой кромке и центру, схема нивелирования представлена на рисунке 4.12.

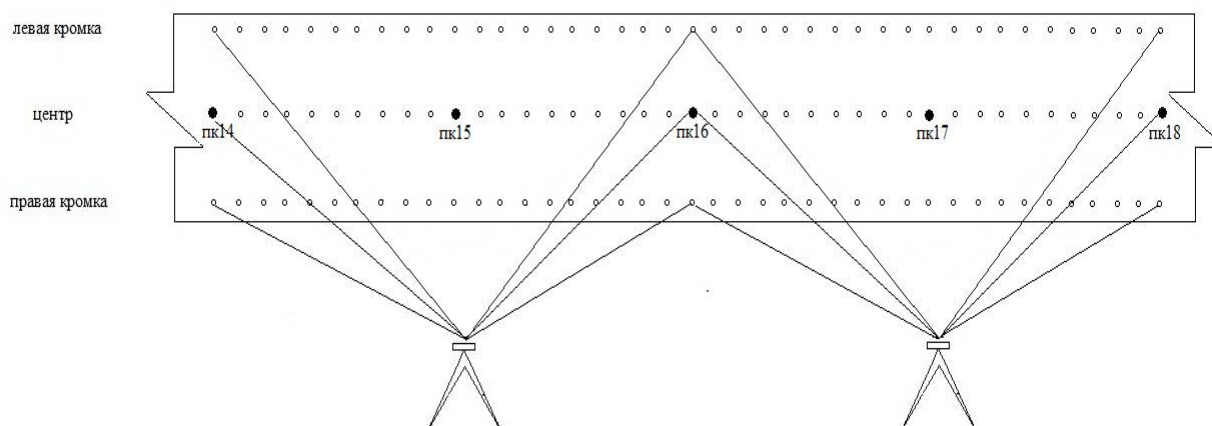


Рисунок 4.12 – Схема нивелирования покрытия автомобильной дороги ведущей Красногорскому гидроузлу на участке протяженностью 400 м

Высоты, полученные цифровым нивелиром, были приняты за исходные. Вычислены отклонения высот, как разность их, полученных с применением нивелира Н-3 или электронного тахеометра от исходных значений.

По отклонениям высот рассчитывались статистические характеристики их точности, данные приведены в таблице Д.1 (приложение Д) и таблице Е.1 (приложение Е), проверялась статистическая однородность характеристик, согласие теоретического и эмпирического распределений показаны на рисунке Д.1 (приложение Д) и рисунке Е.1 (приложение Е). Вычисление критерия согласия Пирсона приведено в таблице Д.2 (приложение Д) и таблице Е.2 (приложение Е). Результаты статистической обработки сведены в таблицу 4.14.

Значения средних квадратических ошибок отклонений высот, полученных с применением электронного тахеометра $m=2,82$ мм, а с применением нивелира Н-3 $m=2,85$ мм. Результаты статистической обработки отклонений высот при нивелировании покрытия автомобильной дороги ведущей Красногорскому гидроузлу, приведенные в таблице Д.1 (приложение Д) и таблице Е.1 (приложение Е), подтверждают результаты, полученные при экспериментальных работах. Значения высот, полученных с применением электронного тахеометра, одного порядка с высотами полученными нивелиром Н-3.

Таблица 4.14 – Результаты статистической обработки отклонений высот, полученных с применением электронного тахеометра и нивелира Н-3, на покрытии автомобильной дороги ведущей Красногорскому гидроузлу

Вид прибора	\bar{x} , мм	M , мм	m , мм	m_m , мм	a_{min}/a_{max} , мм	$\sigma_{min}/\sigma_{max}$, мм
Электронный тахеометр (типа TRIMBLE M3)	0,01	0,25	2,82	0,18	0,49/0,51	2,45/3,19
Нивелир Н-3	0,41	0,26	2,85	0,18	-0,10/0,92	2,48/3,22

Определение ровности покрытия автомобильной дороги выполнялось на этом же участке с шагом нивелирования 10 м (при длине прямой линии 20 м). По отметкам, полученным при использовании нивелира Н-3 и электронного тахеометра, определены алгебраические разности (амплитуды) высот по формуле (1.20).

Результаты статистической обработки значений амплитуд высот полученных нивелиром Н-3 и электронным тахеометром, приведены в таблицах 4.15 и 4.17. Кривые эмпирического и теоретического распределения алгебраических разностей (амплитуд) высот показаны на рисунках 4.13 и 4.14.

Подтверждение гипотезы о нормальном распределении значений амплитуд высот основывалось на применении критерия Пирсона. Проверка эмпирического и теоретического распределений амплитуд приведена в таблицах 4.16 и 4.18. Вычисленные значения критерия согласия Пирсона χ^2 не превышают критического предела, то есть $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, поэтому нулевая гипотеза о нормальном распределении амплитуд высот не отвергается.

Средняя квадратическая ошибка амплитуд высот полученных при использовании электронного тахеометра составила $m = 8,19$ мм, а алгебраических разностей высот полученных с применением нивелира Н-3, составила $m = 8,98$ мм, что подтверждает результаты экспериментальных исследований.

Согласно СНиП 3.06.03-85 [98], действующего на момент строительства автомобильной дороги, 90 % определений амплитуд высот, должны быть не более 16 мм (при шаге нивелирования 10 м), для дорог IV и V категорий и внутренних дорог промышленных предприятий (при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных высот).

На исследуемом участке автомобильной дороги, при выполнении нивелирования покрытия, с применением нивелира Н-3, 12 из 117 значений амплитуд высот превышают 16 мм, что составляет 10,3 % при 10 % определений, регламентированных СНиП 3.06.03-85 [98].

Значение среднего квадратического отклонения амплитуд высот покрытия автомобильной дороги, полученное при использовании электронного тахеометра составило $\sigma = 9,28$ мм, а величина среднего квадратического отклонения алгебраических разностей высот полученных с применением нивелира Н-3 получилась равной $\sigma = 10,17$ мм.

Т а б л и ц а 4.15 – Статистическая обработка амплитуд высот покрытия левобережной, подъездной автомобильной дороги, полученных при использовании электронного тахеометра

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-20	-15	2	0,017	-17,5	-35,0	-18,12	-36,24	656,64	-2,52	-1,91	-0,4951	-0,4719	0,0232
-15	-10	9	0,077	-12,5	-112,5	-13,12	-118,08	1549,13	-1,91	-1,30	-0,4719	-0,4032	0,0687
-10	-5	21	0,179	-7,5	-157,5	-8,12	-170,51	1384,51	-1,30	-0,69	-0,4032	-0,2519	0,1513
-5	0	23	0,197	-2,5	-57,5	-3,12	-71,75	223,84	-0,69	-0,08	-0,2519	-0,0319	0,2200
0	5	28	0,239	2,5	70,0	1,88	52,65	99,00	-0,08	0,53	-0,0319	0,2019	0,2338
5	10	16	0,137	7,5	120,0	6,88	110,09	757,43	0,53	1,14	0,2019	0,3729	0,1710
10	15	14	0,120	12,5	175,0	11,88	166,32	1976,00	1,14	1,76	0,3729	0,4605	0,0876
15	20	4	0,034	17,5	70,0	16,88	67,52	1139,78	1,76	2,37	0,4605	0,4911	0,0306
Сумма		117	1,0		72,5			7786,32					0,9862

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 72,5 / 117 = 0,62 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 117; P = 0,95) = 1,98$$

$$M = 8,19 / \sqrt{117} = 0,76 \text{ мм}$$

$$0,62 - 1,98 \cdot 0,76 < a < 0,62 + 1,98 \cdot 0,76 \Rightarrow -0,885 \text{ мм} < a < 2,125 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{7786,32 / (117 - 1)} = 8,19 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m_m = 8,19 / \sqrt{2 \cdot (117 - 1)} = 0,54 \text{ мм}$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 117, P = 0,95) = 0,133$$

$$8,19 \cdot (1 - 0,133) < \sigma < 8,19 \cdot (1 + 0,133) \Rightarrow 7,100 \text{ мм} < \sigma < 9,279 \text{ мм}$$

Таблица 4.16 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения амплитуд высот покрытия левобережной, подъездной автомобильной дороги, полученных при использовании электронного тахеометра, с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-20	-15	2	0,0232	2,7144	-0,714	0,510	0,19
-15	-10	9	0,0687	8,0379	0,962	0,926	0,12
-10	-5	21	0,1513	17,7021	3,298	10,876	0,61
-5	0	23	0,2200	25,74	-2,740	7,508	0,29
0	5	28	0,2338	27,3546	0,645	0,417	0,02
5	10	16	0,1710	20,007	-4,007	16,056	0,80
10	15	14	0,0876	10,2492	3,751	14,069	1,37
15	20	4	0,0306	3,5802	0,420	0,176	0,05
Сумма		117					$\chi^2_{\text{выч}} = 3,45$

При восьми интервалах число степеней свободы $k = 5$.

$$\chi^2(0,05; 5) = 11,1.$$

Таким образом $3,45 < 11,1$. Нулевая гипотеза не отвергается.

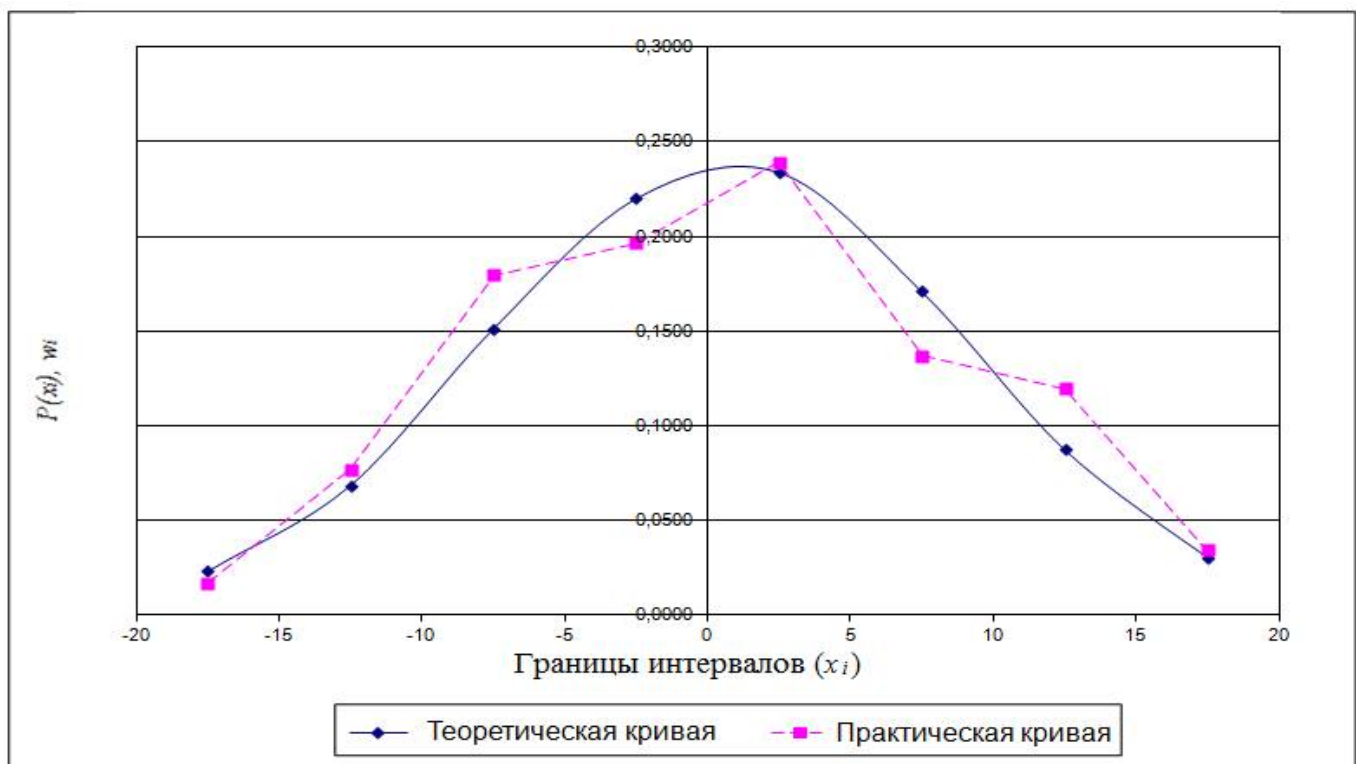


Рисунок 4.13 – Теоретическая и практическая кривые распределения амплитуд высот покрытия левобережной, подъездной автомобильной дороги, полученных при использовании электронного тахеометра

Исследование неровности покрытия автомобильной дороги II категории Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино, было выполнено по согласованию с ООО «Автодорпроект», в период ее реконструкции. Нивелирование участка выполнено электронным тахеометром и нивелиром Н-3 с шагом 10 м при длине визирного луча $S = 100$ м на участке протяженностью 400 м по левой, правой кромке и центру.

В соответствии, с требованиями СНиП 3.06.03-85 [98], при использовании комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных высот, значения амплитуд при расстоянии между точками 10 м составляет 8 мм. Определение высот выполнялось электронным тахеометром и нивелиром Н-3, полученные значения амплитуд высот, в пределах 93 %, соответствуют требованиям нормативного документа.

Т а б л и ц а 4.17 – Статистическая обработка амплитуд высот покрытия левобережной, подъездной автомобильной дороги, полученных при использовании нивелира Н-3

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-20	-15	7	0,060	-17,5	-122,5	-18,76	-131,32	2463,74	-2,37	-1,81	-0,4912	-0,4649	0,0263
-15	-10	6	0,051	-12,5	-75,0	-13,76	-82,56	1136,14	-1,81	-1,25	-0,4649	-0,3944	0,0705
-10	-5	15	0,128	-7,5	-112,5	-8,76	-131,41	1151,24	-1,25	-0,70	-0,3944	-0,2580	0,1364
-5	0	22	0,188	-2,5	-55,0	-3,76	-82,74	311,14	-0,70	-0,14	-0,2580	-0,0557	0,2023
0	5	25	0,214	2,5	62,5	1,24	30,98	38,40	-0,14	0,42	-0,0557	0,1628	0,2185
5	10	20	0,171	7,5	150,0	6,24	124,79	778,58	0,42	0,97	0,1628	0,3340	0,1712
10	15	17	0,145	12,5	212,5	11,24	191,07	2147,48	0,97	1,53	0,3340	0,4370	0,1030
15	20	5	0,043	17,5	87,5	16,24	81,20	1318,58	1,53	2,09	0,4370	0,4816	0,0446
Сумма		117	1,0		147,5			9345,30					0,9728

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 147,5 / 117 = 1,26 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 117; P = 0,95) = 1,98$$

$$M = 8,98 / \sqrt{117} = 0,83 \text{ мм}$$

$$1,26 - 1,98 \cdot 0,83 < a < 1,26 + 1,98 \cdot 0,83 \Rightarrow -0,383 \text{ мм} < a < 2,903 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{9345,3 / (117 - 1)} = 8,98 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m_m = 8,98 / \sqrt{2 \cdot (117 - 1)} = 0,59 \text{ мм}$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 117, P = 0,95) = 0,133$$

$$8,98 \cdot (1 - 0,133) < \sigma < 8,98 \cdot (1 + 0,133) \Rightarrow 7,78 \text{ мм} < \sigma < 10,17 \text{ мм}$$

Таблица 4.18 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения амплитуд высот покрытия левобережной, подъездной автомобильной дороги, полученных при использовании нивелира Н-3, с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-20	-15	7	0,0263	3,0771	3,923	15,389	5,00
-15	-10	6	0,0705	8,2485	-2,249	5,056	0,61
-10	-5	15	0,1364	15,9588	-0,959	0,919	0,06
-5	0	22	0,2023	23,6691	-1,669	2,786	0,12
0	5	25	0,2185	25,5645	-0,564	0,319	0,01
5	10	20	0,1712	20,0304	-0,030	0,001	0,00
10	15	17	0,1030	12,051	4,949	24,493	2,03
15	20	5	0,0446	5,2182	-0,218	0,048	0,01
Сумма		117					$\chi^2_{\text{выч}} = 7,84$

При восьми интервалах число степеней свободы $k = 5$.

$$\chi^2(0,05; 5) = 11,1.$$

Таким образом $7,84 < 11,1$. Нулевая гипотеза не отвергается.

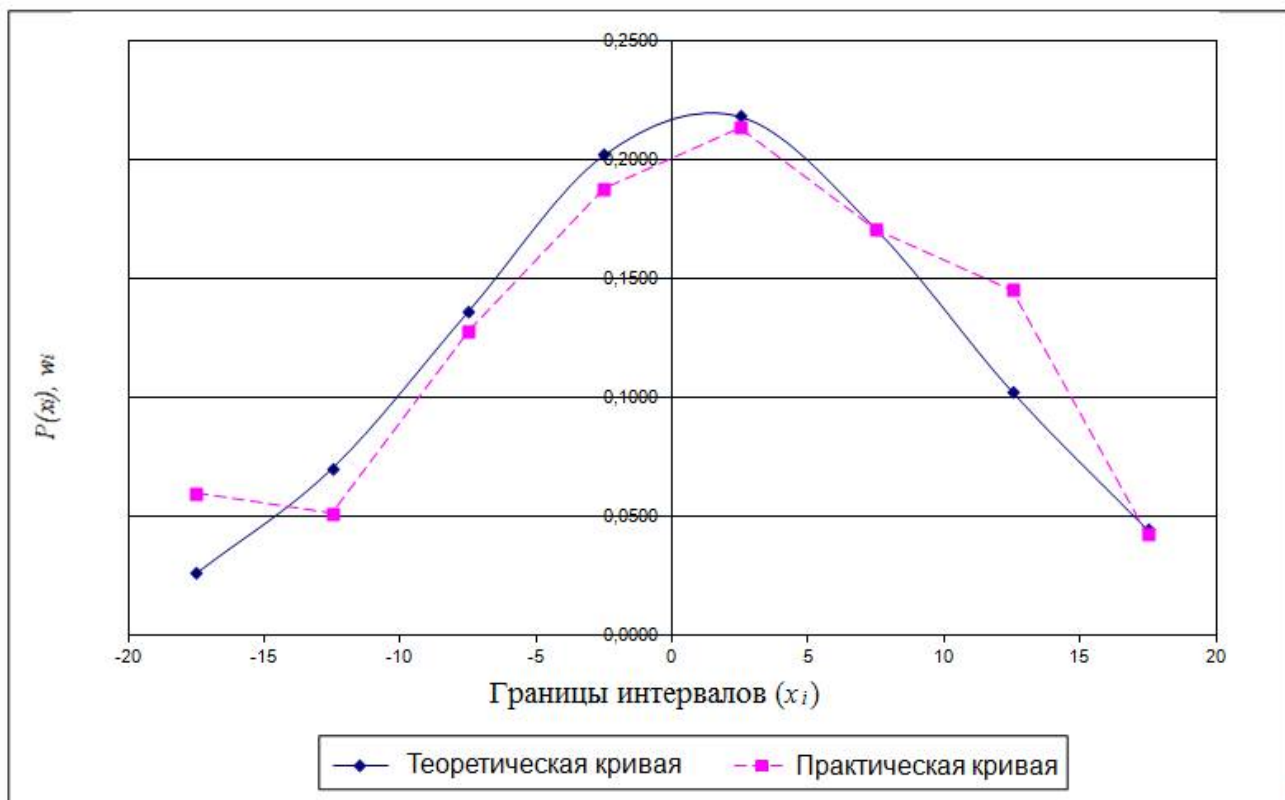


Рисунок 4.14 – Теоретическая и практическая кривые распределения амплитуд высот покрытия левобережной, подъездной автомобильной дороги, полученных при использовании нивелира Н-3

Статистическая обработка значений амплитуд высот полученных с применением электронного тахеометра приведена в таблице 4.19, а нивелира Н-3 в таблице 4.21. Кривые эмпирического и теоретического распределений амплитуд высот показаны на рисунках 4.15 и 4.16, соответственно.

Проверка соответствия эмпирического и теоретического распределения амплитуд высот, с применением нивелира Н-3 и электронного тахеометра, по критерию Пирсона приведена в таблицах 4.20 и 4.22. Полученные данные показывают, что критическое значение коэффициента Пирсона находится в допустимом пределе, и нулевая гипотеза о нормальном распределении не отвергается.

Таблица 4.19 – Статистическая обработка амплитуд высот покрытия автомобильной дороги Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино, полученных с применением электронного тахеометра

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-9	-6	3	0,026	-7,5	-22,5	-7,79	-23,38	182,28	-2,54	-1,72	-0,4981	-0,4554	0,0427
-6	-3	21	0,179	-4,5	-94,5	-4,79	-100,69	482,81	-1,72	-0,90	-0,4554	-0,3133	0,1421
-3	0	33	0,282	-1,5	-49,5	-1,79	-59,23	106,31	-0,90	-0,08	-0,3133	-0,0279	0,2854
0	3	28	0,239	1,5	42,0	1,21	33,74	40,67	-0,08	0,74	-0,0279	0,2703	0,2982
3	6	27	0,231	4,5	121,5	4,21	113,54	477,44	0,74	1,56	0,2703	0,4394	0,1691
6	9	5	0,043	7,5	37,5	7,21	36,03	259,57	1,56	2,38	0,4394	0,4909	0,0515
Сумма		117	1,0		34,5			1549,08					0,9890

111

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 34,5 / 117 = 0,29 \text{ мм}$$

$$M = 3,65 / \sqrt{117} = 0,34 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{1549,08 / (117 - 1)} = 3,65 \text{ мм}$$

$$m_m = 3,65 / \sqrt{2 \cdot (117 - 1)} = 0,24 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 117; P = 0,95) = 1,98$$

$$0,29 - 1,98 \cdot 0,34 < a < 0,29 + 1,98 \cdot 0,34 \Rightarrow -0,38 \text{ мм} < a < 0,96 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 117, P = 0,95) = 0,133$$

$$3,65 \cdot (1 - 0,133) < \sigma < 3,65 \cdot (1 + 0,133) \Rightarrow 3,165 \text{ мм} < \sigma < 4,135 \text{ мм}$$

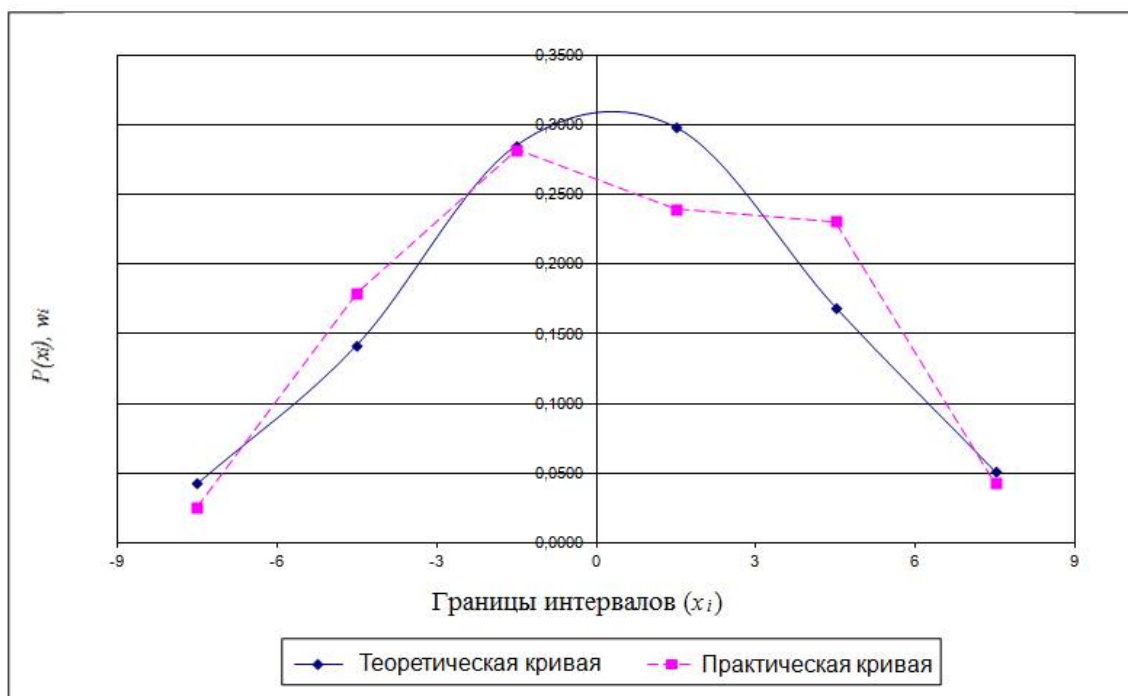


Рисунок 4.15 – Теоретическая и практическая кривые распределения амплитуд высот покрытия автомобильной дороги Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино, полученных с применением электронного тахеометра

Таблица 4.20 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения амплитуд высот покрытия автомобильной дороги Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино, полученных с применением электронного тахеометра с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-9	-6	3	0,0427	4,9959	-1,996	3,984	0,80
-6	-3	21	0,1421	16,6257	4,374	19,135	1,15
-3	0	33	0,2854	33,3918	-0,392	0,154	0,00
0	3	28	0,2982	34,8894	-6,889	47,464	1,36
3	6	27	0,1691	19,7847	7,215	52,061	2,63
6	9	5	0,0515	6,0255	-1,026	1,052	0,17
Сумма		117					$\chi^2_{\text{выч}} = 6,12$
<p>При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.</p> <p>$\chi^2(0,05; 3) = 7,8$.</p> <p>Таким образом $6,12 < 7,8$. Нулевая гипотеза не отвергается.</p>							

Т а б л и ц а 4.21 – Статистическая обработка амплитуд высот покрытия автомобильной дороги Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино, полученных с применением нивелира Н-3

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-9	-6	5	0,043	-7,5	-37,5	-7,44	-37,18	276,46	-2,33	-1,55	-0,4981	-0,4554	0,0427
-6	-3	25	0,214	-4,5	-112,5	-4,44	-110,90	491,93	-1,55	-0,77	-0,4554	-0,3133	0,1421
-3	0	30	0,256	-1,5	-45,0	-1,44	-43,08	61,85	-0,77	0,02	-0,3133	-0,0279	0,2854
0	3	29	0,248	1,5	43,5	1,56	45,36	70,95	0,02	0,80	-0,0279	0,2703	0,2982
3	6	22	0,188	4,5	99,0	4,56	100,41	458,28	0,80	1,58	0,2703	0,4394	0,1691
6	9	6	0,051	7,5	45,0	7,56	45,38	343,29	1,58	2,37	0,4394	0,4909	0,0515
Сумма		117	1,0		-7,5			1702,77					0,9890

113

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = -7,5 / 117 = -0,06 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 117; P = 0,95) = 1,98$$

$$M = 3,83 / \sqrt{117} = 0,35 \text{ мм}$$

$$-0,06 - 1,98 \cdot 0,35 < a < -0,06 + 1,98 \cdot 0,35 \Rightarrow -0,753 \text{ мм} < a < 0,633 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{1702,77 / (117 - 1)} = 3,83 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m_m = 3,83 / \sqrt{2 \cdot (117 - 1)} = 0,25 \text{ мм}$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 117, P = 0,95) = 0,133$$

$$3,83 \cdot (1 - 0,133) < \sigma < 3,83 \cdot (1 + 0,133) \Rightarrow 3,321 \text{ мм} < \sigma < 4,339 \text{ мм}$$

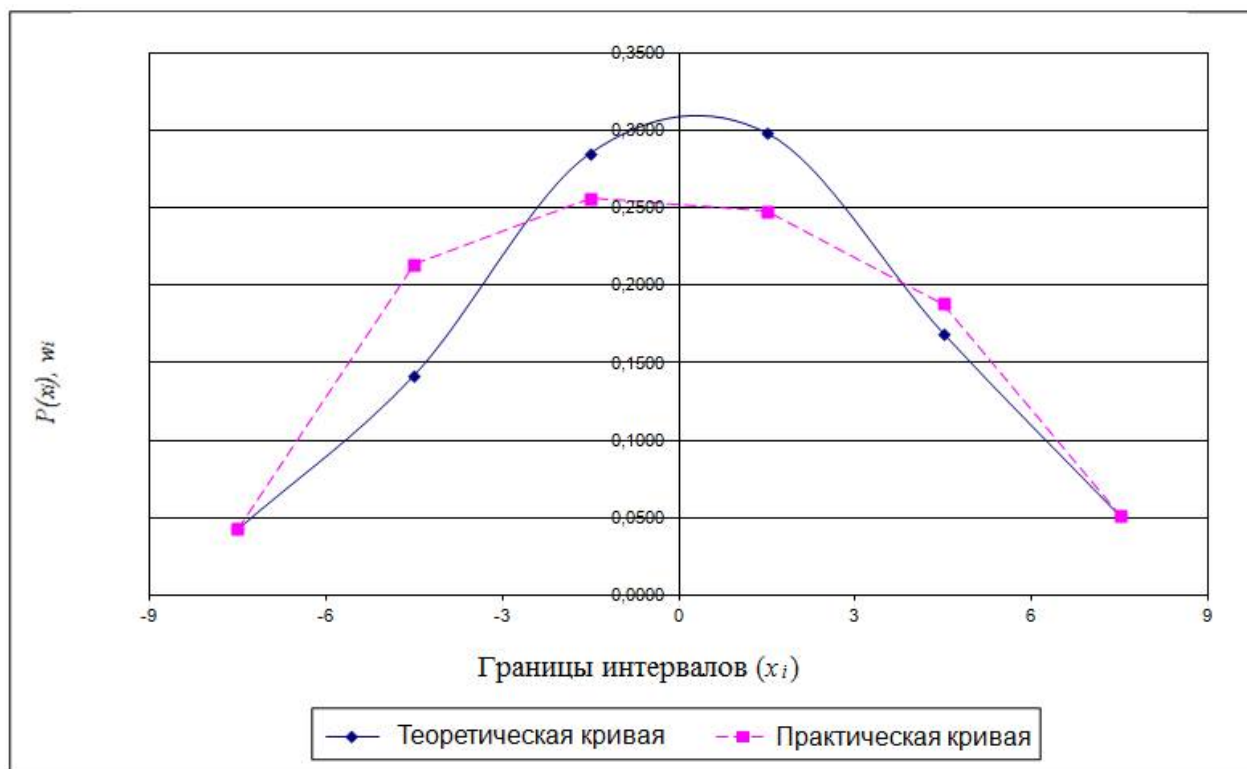


Рисунок 4.16 – Теоретическая и практическая кривые распределения амплитуд высот покрытия автомобильной дороги Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино, полученных с применением нивелира Н-3

Т а б л и ц а 4.22 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения амплитуд высот покрытия автомобильной дороги Исилькуль – Каскат – Кромы – Благовещенка – Юнино, полученных с применением с применением нивелира Н-3 с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-9	-6	5	0,0427	4,9959	0,004	0,000	0,00
-6	-3	25	0,1421	16,6257	8,374	70,129	4,22
-3	0	30	0,2854	33,3918	-3,392	11,504	0,34
0	3	29	0,2982	34,8894	-5,889	34,685	0,99
3	6	22	0,1691	19,7847	2,215	4,908	0,25
6	9	6	0,0515	6,0255	-0,025	0,001	0,00
Сумма		117					$\chi^2_{\text{выч}} = 5,80$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,8.$$

Таким образом $5,80 < 7,8$. Нулевая гипотеза не отвергается.

Средняя квадратическая ошибка амплитуд высот полученных электронным тахеометром, составила $m = 3,65$ мм, а нивелиром Н-3, соответственно, $m = 3,83$ мм. При выполнении доверительного оценивания, среднеквадратическое отклонение алгебраических разностей высот, полученных электронным тахеометром составляет $\sigma = 4,14$ мм, и $\sigma = 4,34$ мм - для результатов нивелирования полученных нивелиром Н-3

В СНиП 3.06.03-85 [98] рекомендовано при приемке выполненных работ определение высот с шагом нивелирования 5; 10; 20 м, но в каких случаях применяются какие шаги нивелирования 10; 20 м не указывается.

На участке обьездной автомобильной дороги, в городе Сургуте Ханты-Мансийского автономного округа, было выполнено исследование точности высотного положения верхнего слоя ее покрытия, с шагом нивелирования 10м, результаты изложены в статье [42]. Выполненные исследования показали, что фактические отклонения относительных высот поверхности верхнего слоя покрытия дорожной одежды соответствуют требованиям нормативного документа [98]. При исследовании точности высотного положения поверхности покрытия этого же участка автомобильной дороги с шагом 5 м, значения амплитуд высот не соответствуют требованиям (число значений амплитуд высот, превышающих нормативные составляет 9 %). Выполненные исследования показывают, что для обеспечения заданного высотного положения верхнего слоя покрытия необходимы обоснованные нормы точности не только по завершению их строительства, но и в процессе их устройства.

В статье [18] рассмотрено исследование точности высотного положения верхнего слоя основания автомобильной дороги из черного щебня, с применением нивелира Н-3 и трехметровых реек с сантиметровыми делениями. Нивелирование поверхности верхнего слоя основания автомобильной дороги (относительных высот точек) осуществлялось, на участках с равными уклонами, с шагом 10 м по левой, правой кромкам и центру полотна. Оценка точности высотного положения (ровности) верхнего слоя основания выполнена с применением методов математической статистики и теории вероятностей.

Статистическая обработка вычисленных отклонений фактических относительных высот точек поверхности верхнего слоя основания от проектных значений (результаты представлены в таблице Ж.1 (приложение Ж); таблице И.1 (приложение И); таблице К.1 (приложение К)), оценка сходимости на нормальное распределение фактических отклонений высот от проектных – в таблице Ж.2 (приложение Ж); таблице И.2 (приложение И); таблице К.2 (приложение К), кривые эмпирического и теоретического распределений приведены на рисунке Ж.1 (приложение Ж); рисунке И.1 (приложение И); рисунке К.1 (приложение К). Результаты статистической обработки сведены в таблицу 4.23.

Таблица 4.23 – Результаты статистической обработки амплитуд высот верхнего слоя основания автомобильной дороги из черного щебня

Основание	\bar{x} , мм	M , мм	m , мм	m_m , мм	χ^2	$\chi^2_{\text{крит}}$	a_{\min}/a_{\max} , мм	$\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$, мм
Левая кромка	0,46	±1,23	±7,71	±0,88	5,14	14,1	-2,03<a<2,95	5,86<σ<9,56
Центр	0,26	±1,42	±8,84	±1,01	6,50	14,1	-2,62<a<3,14	6,72<σ<10,96
Правая кромка	0,05	±1,01	±6,28	±0,72	3,78	9,5	-2,00<a<2,10	4,77<σ<7,79

Полученные статистические характеристики точности высотного положения точек верхнего слоя основания дорожной одежды из черного щебня, использованы для обоснования допусков на геодезические и строительные работы при строительстве автомобильных дорог. На основании полученных результатов исследований предложено, при устройстве верхнего слоя основания дорожной одежды из черного щебня, выполнять нивелирование с шагом 10 м.

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, выполненным с использованием электронного тахеометра. Результаты точности нивелирования, полученные при экспериментальных исследованиях, подтверждены на объектах строительства автомобильных дорог.

5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ИХ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

5.1 Рекомендации по обеспечению допусков на геодезический контроль для строительства автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов

На стадии проектирования автомобильных дорог, неизвестен уровень технологического процесса строительного производства. Поэтому для расчета допусков на строительные работы и геодезический контроль при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог коэффициент точности технологического процесса можно принять равным $T_{II} = 1$. Уровень технологии строительного производства, в ходе строительства сооружений, может быть изменен, и тогда точность первоначально установленных геометрических параметров на строительные работы и геодезический контроль при их строительстве может корректироваться.

В настоящее время, в нормативных документах предъявляются высокие требования к точности строительства автомобильных дорог. В связи с этим возникает необходимость при изысканиях 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 0.7, обеспечивают точность нивелирования II класса при определенных методиках выполнения работ [45], [85], [86]. При этом в современной литературе нет официально утвержденной и научно-обоснованной сертификации их применения. Это же замечание можно отнести и к электронным тахеометрам.

Измерение превышения на станции с использованием электронного тахеометра может выполняться полным приемом, такое измерение соответствует

геометрическому нивелированию, которое выполнялось бы с применением инварной рейки, способом «совмещений» [2], [7]. Средняя квадратическая ошибка превышения на станции, при таком методе измерения, вычисляется по формуле

$$m_h = m_{\text{взгл}} \sqrt{2}, \quad (5.1)$$

где $m_{\text{взгл}}$ – значение «ошибки взгляда» на один отражатель.

С учетом воздействия основных факторов ошибок на «ошибку взгляда», формула для определения средней квадратической ошибки взгляда будет иметь вид [2],[7]

$$m_{\text{взгл}} = \sqrt{m_S^2 \sin^2 v + \frac{m_v^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 v + m_\rho^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{вн}}^2 + m_{\text{шт}}^2}, \quad (5.2)$$

где m_S – среднеквадратическая ошибка измерения наклонного расстояния;

m_v – среднеквадратическая ошибка измерения угла наклона;

m_ρ – среднеквадратическая ошибка за наклон отражателя;

$m_{\text{виз}}$ – среднеквадратическая ошибка визирования;

$m_{\text{вн}}$ – среднеквадратическая ошибка воздействия внешних условий;

$m_{\text{шт}}$ – среднеквадратическая ошибка возможного вертикального перемещения системы «штатив-тахеометр».

Исследования электронных тахеометров, выполненные в России и за рубежом, показывают, что этими приборами обеспечивается точность нивелирования IV класса, при создании геодезических сетей для выполнения топографических работ. Применение цифровых нивелиров и электронных тахеометров, в массовом строительстве автомобильных дорог разных категорий, не достаточно освещены в технической литературе.

В результате экспериментальных исследований, с применением цифрового нивелира, электронного тахеометра и нивелира Н-3, описанных в 4.2 и 4.3, установлено, что результаты определения отметок покрытия автомобильных дорог, полученных с применением цифрового нивелира, по точности превосходят данные, полученные с применением нивелира Н-3. Показатели точности определения отметок покрытия автомобильных дорог, полученные с применением электронного тахеометра и нивелира Н-3 одного порядка. С учетом изложенного, рассмотрим обеспечение допустимых отклонений заданного высотного положения на примере применения нивелира Н-3, как показано в работах [112], [118].

При расчете средней квадратической ошибки превышения на одной станции, применима формула [118]

$$m_h = \sqrt{m_{\epsilon_1}^2 + m_{\epsilon_2}^2 + m_o^2}, \quad (5.3)$$

где m_{ϵ_1} и m_{ϵ_2} – средние квадратические ошибки визирования соответственно на точки 1 и 2;

m_o – средняя квадратическая ошибка невыполнения главного условия нивелира, из-за неравенства визирного луча от нивелира до соответствующих реек S_1 и S_2 , которую можно определить по формуле

$$m_o = \epsilon''(S_1 - S_2) \cdot \frac{1}{\rho''}, \quad (5.4)$$

где ϵ – угол между визирной осью трубы и осью цилиндрического уровня нивелира, $\epsilon'' = 10''$.

Средняя квадратическая ошибка определения отметок, в процессе нивелирования с применением нивелира Н-3, зависит от точности визирования на рейку [118], и может быть вычислена по формуле

$$m_{\epsilon} = \sqrt{m_y^2 + m_{\text{отс}}^2 + m_{\text{д}}^2}, \quad (5.5)$$

где m_{ϵ} – средняя квадратическая ошибка визирования;

m_y – средняя квадратическая ошибка приведения визирной оси нивелира в горизонтальное положение (уровня);

$m_{\text{отс}}$ – средняя квадратическая ошибка отсчета по рейке;

$m_{\text{д}}$ – средняя квадратическая ошибка делений рейки.

Средняя квадратическая ошибка отчета по рейке за не точную установку уровня m_y (мм) для нивелира Н-3, в соответствии [118], вычисляется по формуле

$$m_y = \pm 0,2 \cdot \sqrt{\tau} \cdot S \cdot \frac{1}{\rho''}, \quad (5.6)$$

где τ – цена деления уровня ($\tau = 20''$);

S – длина визирного луча, мм.

Средняя квадратическая ошибка взятия отсчета по рейке при использовании нивелира Н-3, согласно [118], определяется по формуле

$$m_{\text{отс}} = \pm \left(0,2 \cdot \frac{S}{V} + 0,03 \cdot t \right), \quad (5.7)$$

где V – увеличение зрительной трубы нивелира;

S – длина визирного луча, м;

t – цена наименьшего деления рейки.

Величина средней квадратической ошибки нанесения делений на рейке составляет $m_{\text{д}} = 0,5$ мм, подставив в выражение (5.5) составляющие ошибок, для нивелира Н-3 получим формулу [118]

$$m_s = \sqrt{\left(0,2 \cdot \sqrt{\tau} \cdot S \cdot \frac{1}{\rho''}\right)^2 + \left(0,2 \cdot \frac{S}{V} + 0,03 \cdot t\right)^2 + (0,5)^2}. \quad (5.8)$$

Значения среднеквадратических ошибок визирования на рейку при использовании нивелира Н-3, имеющего увеличение зрительной трубы $V = 31^{\times}$ и цену деления уровня $\tau = 20''$, вычисленных по формуле (5.8), приведены в работах [112], [118] и таблице (5.1).

Значения среднеквадратических ошибок отсчета по рейкам, из за неравенства длины визирного луча (разности плеч в диапазоне от 10 до 200 м), в процессе нивелирования, вычисленные по формуле (5.7), представлены в таблице 5.2 [104].

Т а б л и ц а 5.1 – Значения среднеквадратических ошибок визирования на рейку при использовании нивелира Н-3, для расстояний от нивелира до рейки от 10 до 200 м

Расстояние от нивелира до рейки S, м	Средняя квадратическая ошибка визирования m_s , мм	Расстояние от нивелира до рейки S, м	Средняя квадратическая ошибка визирования m_s , мм
10	±0,62	110	±1,23
20	±0,67	120	±1,29
30	±0,72	130	±1,37
40	±0,77	140	±1,44
50	±0,83	150	±1,51
60	±0,89	160	±1,58
70	±0,96	170	±1,66
80	±1,02	180	±1,73
90	±1,09	190	±1,80
100	±1,17	200	±1,88

При приемке законченных строительством конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, в соответствии с СП 78.13330.2012 [109], выполняют оценку ровности покрытия, которая является основным показателем соблюдения геометрических параметров строительства.

Критерием оценки ровности покрытия, являются значения амплитуд (алгебраических разностей) высот точек поверхностей.

Т а б л и ц а 5.2 Значения среднеквадратических ошибок, при нивелировании на станции, за неравенство длины визирного луча (плеча)

Разность плеч δS , м	Ошибка m_o , мм	Разность плеч δS , м	Ошибка m_o , мм
10	$\pm 0,5$	110	$\pm 1,5$
20	$\pm 1,0$	120	$\pm 2,0$
30	$\pm 1,5$	130	$\pm 6,5$
40	$\pm 2,0$	140	$\pm 7,0$
50	$\pm 2,5$	150	$\pm 7,5$
60	$\pm 3,0$	160	$\pm 8,0$
70	$\pm 3,5$	170	$\pm 8,5$
80	$\pm 4,0$	180	$\pm 9,0$
90	$\pm 4,5$	190	$\pm 9,5$
100	$\pm 5,0$	200	$\pm 10,0$

Расчеты значений средних квадратических ошибок на геодезический контроль при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог I, II и III категорий, для комплекта дорожных машин без автоматической системы задания отметок, приведены в работах [121], [128], а для комплекта дорожных машин с автоматической системой задания отметок в работе [118].

Рассчитаем среднюю квадратическую ошибку на геодезический контроль, при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог IV и V категории общего пользования, с применением комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок.

Для расчета нормированного значения средней квадратической ошибки $m_{сн}$, примем регламентированное значение амплитуд отметок $\delta_n = 6$ мм, соответствующее длине прямой линии (шаге нивелирования) равной 10 м, и коэффициентом точности технологического процесса строительства

автомобильной дороги равным $T_{II} = 1,5$, согласно [116], [118], [120], получим, что: $m_{zn} = 0,275 \cdot \delta_n = 0,275 \cdot 6 = 1,65 \text{ мм}$.

Для расчета значения средней квадратической ошибки определения превышений между двумя точками с одной станции, при выполнении измерений нивелиром Н-3, задаваясь максимальным (предельным) и минимальным расстояниями от прибора до реек $S_1 = 60 \text{ м}$; $S_2 = 80 \text{ м}$, пользуясь, данными таблиц 5.1 и 5.2, получим:

$$m_{e1} = 0,89 \text{ мм}; \quad m_{e2} = 1,02 \text{ мм}; \quad m_o = 1,0 \text{ мм};$$

$$m_{zk} = \sqrt{m_{e1}^2 + m_{e2}^2 + m_o^2} = \sqrt{0,89^2 + 1,02^2 + 1,0^2} = 1,68 \text{ мм}.$$

Расчеты показывают, что для обеспечения заданного СП 78.13330.2012 [109], нормативного показателя, при выполнении измерений нивелиром Н-3, шаге нивелирования 10 м и коэффициенте точности технологического процесса $T_{II} = 1,5$, наибольшее расстояние от прибора до реек, возможно до 80 м, а значение δS не должно превышать 20 м.

Задаваясь нормируемым значением амплитуд отметок $\delta_n = 20 \text{ мм}$, соответствующим длине прямой линии равной 40м, и коэффициентом точности технологического процесса строительства автомобильной дороги равным $T_{II} = 1,64$, получим: $m_{zn} = 0,305 \cdot \delta_n = 0,305 \cdot 20 = 6,1 \text{ мм}$.

Средняя квадратическая ошибка определения превышений между двумя точками с одной станции, при выполнении измерений нивелиром Н-3, максимальном (предельном) и минимальном расстояниях от прибора до реек $S_1 = 200 \text{ м}$; $S_2 = 160 \text{ м}$, в соответствии с данными таблиц 5.1 и 5.2 $m_{e1} = 1,88 \text{ мм}$; $m_{e2} = 1,58 \text{ мм}$; $m_o = 2,0 \text{ мм}$ составит

$$m_{\Gamma} = \sqrt{m_{e1}^2 + m_{e2}^2 + m_o^2} = \sqrt{1,88^2 + 1,58^2 + 2,0^2} = 3,17 \text{ мм}.$$

Расчеты показывают, что при коэффициенте точности технологического процесса строительства автомобильной дороги $T_{II} = 1,64$ и длине прямой линии равной 40 м, при геодезическом контроле максимальное расстояние от прибора до реек, возможно до 200 м.

Расчеты выполненные по данной методике, позволяют при геодезическом контроле строительства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, назначать требуемую нормативную точность, задаваясь коэффициентом точности технологического процесса, нормируемым значением амплитуд отметок и расстоянием от прибора до реек.

Значения предельных и средних квадратических ошибок определения высот на геодезический контроль при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, для разных шагов нивелирования, коэффициентов точности технологического процесса их строительства, доверительных вероятностей и категорий дорог с применением комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок приведены в таблицах 5.3 и 5.4.

Данные представленные в таблицах 5.3 и 5.4, позволят назначать максимальные и минимальные расстояния от прибора до рейки, для обеспечения геодезического контроля высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, с учетом категорий дорог, длин прямых линий (шагов) нивелирования, доверительных вероятностей и коэффициентов точности технологического процесса.

Отметим, что при строительстве автомобильных дорог IV и V категорий при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания отметок, в соответствии с [109], значения амплитуд отметок не регламентируются.

Таблица 5.3 – Значение предельных расстояний (S) реек от нивелира (Н-3) до реек, при геодезическом контроле высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при $P = 0,90$

Длина прямой линии (шаг нивелирования), м	Коэффициент точности технологического процесса (T_{II})	$\pm \delta_n$ амплитуды, мм	$\pm \delta_{2n}$, мм	$\pm m_{2n}$, мм	$\pm m_2$, мм	S_{max} , м	S_{min} , м	ΔS , м
Для дорог I, II и III категорий								
10 (5)	$T_{II} = 1,00$	5	2,25	1,37	1,40	70	60	10
	$T_{II} = 1,50$		2,75	1,67	1,68	100	90	10
	$T_{II} = 1,64$		3,05	1,85	1,85	120	110	10
	$T_{II} = 2,00$		4,50	2,74	2,65	200	190	10
	$T_{II} = 2,50$		5,0	3,04	2,65	200	190	10
20 (10)	$T_{II} = 1,00$	8	3,60	2,19	1,76	90	70	20
	$T_{II} = 1,50$		4,40	2,67	2,64	190	170	20
	$T_{II} = 1,64$		4,88	2,97	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 2,00$		7,20	4,38	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 2,50$		8,0	4,86	2,74	200	180	20
40 (20)	$T_{II} = 1,00$	16	7,20	4,38	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,50$		8,80	5,35	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,64$		9,76	5,93	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,00$		14,40	8,75	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,50$		16,0	9,73	3,17	200	160	40
Для дорог IV и V категории и общего пользования								
10 (5)	$T_{II} = 1,00$	6	2,70	1,64	1,68	100	90	10
	$T_{II} = 1,50$		3,30	2,01	2,05	140	130	10
	$T_{II} = 1,64$		3,66	2,22	2,24	160	150	10
	$T_{II} = 2,00$		5,40	3,28	2,65	200	190	10
	$T_{II} = 2,50$		6,0	3,65	2,65	200	190	10
20 (10)	$T_{II} = 1,00$	10	4,50	2,74	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 1,50$		5,50	3,34	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 1,64$		6,10	3,71	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 2,00$		9,00	5,47	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 2,50$		10,0	6,08	2,74	200	180	20
40 (20)	$T_{II} = 1,00$	20	9,00	5,47	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,50$		11,00	6,69	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,64$		12,20	7,42	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,00$		18,00	10,94	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,50$		20,0	12,16	3,17	200	160	40

Таблица 5.4 – Значения предельных расстояний (S) реек от нивелира (Н-3) до реек, при геодезическом контроле высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, при $P = 0,95$

Длина прямой линии (шаг нивелирования), м	Коэффициент точности технологического процесса (T_{II})	$\pm \delta_n$ амплитуды, мм	$\pm \delta_{ZH}$, мм	$\pm m_{ZH}$, мм	$\pm m_z$, мм	S_{max} , м	S_{min} , м	ΔS , м
Для дорог I, II и III категорий								
10 (5)	$T_{II} = 1,00$	5	2,25	1,13	1,17	40	30	10
	$T_{II} = 1,50$		2,75	1,38	1,40	70	60	10
	$T_{II} = 1,64$		3,05	1,53	1,49	80	70	10
	$T_{II} = 2,00$		4,50	2,25	2,24	160	150	10
	$T_{II} = 2,50$		5,0	2,50	2,45	180	170	10
20 (10)	$T_{II} = 1,00$	8	3,60	1,80	1,76	90	70	20
	$T_{II} = 1,50$		4,40	2,20	2,18	140	120	20
	$T_{II} = 1,64$		4,88	2,44	2,46	170	150	20
	$T_{II} = 2,00$		7,20	3,60	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 2,50$		8,0	4,0	2,74	200	180	20
40 (20)	$T_{II} = 1,00$	16	7,20	3,60	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,50$		8,80	4,40	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,64$		9,76	4,88	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,00$		14,40	7,20	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,50$		16,0	8,0	3,17	200	160	40
Для дорог IV и V категории и общего пользования								
10 (5)	$T_{II} = 1,00$	6	2,70	1,35	1,32	60	50	10
	$T_{II} = 1,50$		3,30	1,65	1,68	100	90	10
	$T_{II} = 1,64$		3,66	1,83	1,85	120	110	10
	$T_{II} = 2,00$		5,40	2,70	2,65	200	190	10
	$T_{II} = 2,50$		6,0	3,0	2,65	200	190	10
20 (10)	$T_{II} = 1,00$	10	4,50	2,25	2,27	150	130	20
	$T_{II} = 1,50$		5,50	2,75	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 1,64$		6,1	3,05	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 2,00$		9,0	4,50	2,74	200	180	20
	$T_{II} = 2,50$		10,0	5,0	2,74	200	180	20
40 (20)	$T_{II} = 1,00$	20	9,00	4,50	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,50$		11,00	5,50	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 1,64$		12,20	6,10	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,00$		18,00	9,00	3,17	200	160	40
	$T_{II} = 2,50$		20,0	10,0	3,17	200	160	40

5.2 Рекомендации по обеспечению допусков на детальную разбивку отметок для строительства автомобильных дорог с учетом точности их технологических процессов

Для обеспечения регламентируемых, в СНиП 3.03.06–85 [98] и СП 78.13330.2012 [109], отклонений отметок по оси, от проектных значений, принятых равными $\delta_n = 10$ мм (для дорог всех категорий при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок) и $\delta_n = 25$ мм (для дорог IV и V категории общего пользования с применением комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок), в соответствии с формулами (3.1) и (3.2) приведенными в 3.2, рассчитаем значения средних квадратических ошибок детальная разбивки отметок конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, в зависимости от коэффициентов точности их технологических процессов T_{II} .

Выполним расчеты средних квадратических ошибок детальная разбивки отметок конструктивных слоев оснований и покрытий (при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой задания отметок для дорог IV и V категории общего пользования).

Для выполнения расчетов зададимся максимальным и минимальным расстоянием от нивелира до реек, соответственно $S_1 = 10$ м; $S_2 = 70$ м; $\Delta S = 60$ м, при работе с нивелиром Н-3 и трехметровыми рейками, с сантиметровыми делениями, расчетное значение средней квадратической ошибки определения превышения, между двумя точками, с одной станции составит:

$$m_{\epsilon_1} = 0,62 \text{ мм}; \quad m_{\epsilon_2} = 0,96 \text{ мм}; \quad m_o = 3,0 \text{ мм};$$

$$m_{cp} = \sqrt{m_{\epsilon_1}^2 + m_{\epsilon_2}^2 + m_o^2} = \sqrt{0,62^2 + 0,96^2 + 3,0^2} = 3,21 \text{ мм}.$$

Предельная ошибка определения превышения будет равна $\delta_{\text{зр}} = 6,42 \text{ мм}$, а значение предельной нормированной ошибки, в соответствии с формулами (3.1), при доверительной вероятности $P = 0,90$, будет равным $\delta_{\text{др}} = 6,1 \text{ мм}$. Из приведенного расчета, следует, что нормируемое значение предельной ошибки геодезического контроля, будет обеспечено при коэффициенте точности технологического процесса строительства автомобильных дорог $T_{\text{П}} = 1,64$, предельное расстояние между прибором и рейкой, при этом допустимо до 70 м.

Если максимальное и минимальное расстояние от нивелира до рек, соответственно $S_1 = 10 \text{ м}$; $S_2 = 120 \text{ м}$; $\Delta S = 110 \text{ м}$, при работе с нивелиром Н-3 расчетное значение средней квадратической ошибки определения превышения, между двумя точками, с одной станции учитывая составляющие ошибки равные: $m_{\text{с1}} = 0,62 \text{ мм}$; $m_{\text{с2}} = 1,29 \text{ мм}$; $m_o = 5,5 \text{ мм}$, составит $m_{\text{зр}} = 5,68 \text{ мм}$, значение средней квадратической нормированной ошибки $m_{\text{зн}} = 5,63 \text{ мм}$. Нормируемый коэффициент точности технологического процесса строительства автомобильных дорог $T_{\text{П}} = 1,0$ будет обеспечен при максимальной длине плеча равной 120 м.

Выполненные результаты аналогичных расчетов средних квадратических ошибок, для обеспечения допустимых отклонений (предельных ошибок) детальной разбивки высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, представлены в таблицах 5.5 и 5.6.

Исследования проведенные в разделе 4 показали, что точность высот полученных при использовании нивелира Н-3 одного порядка с результатами, полученными с применением электронного тахеометра (типа TRIMBLE М3, средняя квадратическая ошибка измерения углов 5"). Поэтому для детальной разбивки отметок, при использовании комплекта дорожных машин с автоматической системой и без автоматической системы выдерживания заданных отметок, возможно применение современных геодезических приборов (электронного тахеометра и цифрового нивелира).

Таблица 5.5 – Значения предельных и средних квадратических ошибок, расстояний (S) реек от нивелира (Н-3) при детальной разбивке высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с доверительной вероятностью $P = 0,90$

Коэффициент точности технологического процесса (T_{II})	Предельная нормированная ошибка $\pm \delta_{gn}$, мм	Средние квадратические ошибки		Расстояние от реек до прибора		Разница расстояний ΔS , м
		Нормированная $\pm m_{gn}$, мм	Разбивочных работ $\pm m_{gp}$, мм	S_{max} , м	S_{min} , м	
При использовании комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок						
$T_{II} = 1,00$	11,25	6,84	6,69	140	10	130
$T_{II} = 1,50$	13,75	8,36	8,19	170	10	160
$T_{II} = 1,64$	15,25	9,27	9,20	190	10	180
$T_{II} = 2,00$	22,5	13,65	9,70	200	10	190
$T_{II} = 2,50$	25,0	15,20	15,20	9,70	10	190
При использовании комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок						
$T_{II} = 1,00$	4,5	2,74	2,73	60	10	50
$T_{II} = 1,50$	5,5	3,34	3,21	70	10	60
$T_{II} = 1,64$	6,1	3,71	3,70	80	10	70
$T_{II} = 2,00$	9,0	5,47	5,19	110	10	100
$T_{II} = 2,50$	10,0	6,08	6,19	130	10	120

Таблица 5.6 – Значения предельных и средних квадратических ошибок, расстояний (S) реек от нивелира (Н-3) при детальной разбивке высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог с доверительной вероятностью $P = 0,95$

Коэффициент точности технологического процесса (T_{II})	Предельная нормированная ошибка $\pm \delta_{2H}$, мм	Средние квадратические ошибки		Расстояние от реек до прибора		Разница расстояний ΔS , м
		Нормированная $\pm m_{2H}$, мм	Разбивочных работ $\pm m_{2P}$, мм	S_{max} , м	S_{min} , м	
При использовании комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок						
$T_{II} = 1,00$	11,25	5,63	5,68	120	10	110
$T_{II} = 1,50$	13,75	6,88	6,69	140	10	130
$T_{II} = 1,64$	15,25	7,63	7,69	160	10	150
$T_{II} = 2,00$	22,5	11,25	9,70	200	10	190
$T_{II} = 2,50$	25,0	12,5	9,70	200	10	190
При использовании комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок						
$T_{II} = 1,00$	4,5	2,25	2,25	50	10	40
$T_{II} = 1,50$	5,5	2,75	2,73	60	10	50
$T_{II} = 1,64$	6,1	3,05	3,21	70	10	60
$T_{II} = 2,00$	9,0	4,5	4,69	100	10	90
$T_{II} = 2,50$	10,0	5,0	5,19	110	10	100

5.3 Рекомендации по обеспечению допусков выноса отметок пикетов и проложения нивелирных ходов для строительства дорог с учетом точности их технологических процессов

В соответствии с требованиями СП 126.13330.2012 [107], для обеспечения регламентированной точности (предельных ошибок или допустимых отклонений с соответствующими доверительными вероятностями) высотного положения при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, необходимо обосновать значения средних квадратических ошибок выноса отметок пикетов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе при их строительстве.

Зная средние квадратические и предельные ошибки, на отмеченные виды 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 ошибок детальной разбивки отметок (δ_{op}), выноса отметок пикетов (δ_{en}) и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог (δ_{hx}), в соответствии с коэффициентами точности технологических процессов, для различных категорий дорог, представлены в таблице 5.7 [113].

Таблица 5.7 – Предельные ошибки детальной разбивки, выноса отметок пикетов и проложения нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог

Коэффициент точности	Для дорог всех категорий при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок			Для дорог IV и V категории общего пользования при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок		
	$\pm\delta_{op}$, мм	$\pm\delta_{en}$, мм	$\pm\delta_{hx}$, мм	$\pm\delta_{op}$, мм	$\pm\delta_{en}$, мм	$\pm\delta_{hx}$, мм
T_{II}						
1,00	4,5	4,04	3,64	11,25	10,12	9,11
1,50	5,5	4,94	4,46	13,75	12,38	11,14
1,64	6,1	5,48	4,94	15,25	13,72	12,35
2,00	9,0	8,1	7,30	22,25	20,24	18,22
2,50	10,0	9,0	8,1	25,00	22,5	20,27

Предельная ошибка δ_{hx} в самом слабом месте геометрического нивелирования (середине хода) после его уравнивания равна половине полученной невязки в ходе f_h ($\delta_{hx} = f_h / 2$).

Согласно инструкции по нивелированию [38], приведем формулы определения допустимых невязок в ходах геометрического нивелирования различных классов точности и технического:

$$\text{I класс:} \quad f_{пред} = \pm 3 \text{ мм} \sqrt{L}; \quad (5.9)$$

$$\text{II класс:} \quad f_{пред} = \pm 5 \text{ мм} \sqrt{L}; \quad (5.10)$$

$$\text{III класс:} \quad f_{пред} = \pm 10 \text{ мм} \sqrt{L}; \quad (5.11)$$

$$\text{IV класс:} \quad f_{пред} = \pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}; \quad (5.12)$$

$$\text{Техническое:} \quad f_{пред} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (5.13)$$

где L – длина хода в километрах.

Зная предельные допустимые невязки нивелирных ходов, рассчитаем предельные их длины, прокладываемые по трассам автомобильных дорог с закреплением (вне зоны земляных работ при строительстве дорог) рабочих реперов и установим каким классом нивелирования следует определять их отметки. Например, если предельная ошибка равна $\delta_{hx} = 4,94 \text{ мм}$, а $f_h = 9,88 \text{ мм}$ тогда предельная длина нивелирного хода III класса, с учетом формулы (5.11), вычисляется по выражению

$$L_{пред} = \left(\frac{f_{пред}}{10} \right)^2. \quad (5.14)$$

Для рассматриваемого примера длина хода выполняемого по программе нивелирования III класса точности составит $L=1,0 \text{ км}$.

Результаты вычисления предельных ошибок, допустимых невязок и предельных длин нивелирных ходов, для разных категорий дорог приведены в таблицах 5.8 и 5.9.

Таблица 5.8 – Значения предельных ошибок, допустимых невязок и предельных длин нивелирных ходов для всех категорий дорог, при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок

Коэффициент технологического процесса, T_{Π}	Предельная ошибка хода $\pm\delta_{нх}$, мм	Невязка хода $\pm f$, мм	Длина хода L , км	Класс точности нивелирного хода
1,0	3,64	7,28	0,54	III класс
1,5	4,46	8,92	0,80	III класс
1,64	4,94	9,88	0,98	III класс
2,0	7,30	14,60	2,13	III класс
2,5	8,10	16,20	2,62	III класс

Таблица 5.9 Значения предельных ошибок, допустимых невязок и предельных длин нивелирных ходов для IV и V категории дорог, при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок

Коэффициент технологического процесса, T_{Π}	Предельная ошибка хода $\pm\delta_{нх}$, мм	Невязка хода $\pm f$, мм	Длина хода L , км	Класс точности нивелирного хода
1,0	9,11	18,22	0,82	IV класс
1,5	11,14	22,28	1,24	IV класс
1,64	12,35	24,70	1,50	IV класс
2,0	18,22	36,44	3,30	IV класс
2,5	20,27	40,52	4,10	IV класс

При строительстве автомобильных дорог, вынос отметок пикетов выполняется путем проложения коротких нивелирных ходов между рабочими реперами. В СП 78.13330.2012 [109] регламентируется, что расстояния между закрепленными рабочими реперами, должно быть 500 м. Рассчитаем предельные ошибки и невязки высотных ходов прокладываемых между рабочими реперами и подберем класс нивелирования, для обеспечения нормированного значения выноса отметок пикетов. Результаты расчетов представлены в таблице 5.10 и 5.11.

Таблица 5.10 – Значения предельных ошибок, невязок и классы нивелирных ходов между рабочими реперами при выносе отметок пикетов на трассу автомобильных дорог для всех категорий, с применением комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок

Коэффициент технологического процесса, T_{II}	Предельная ошибка хода, $\pm\delta_{вп}$, мм	Невязка хода $\pm f$, мм	Класс точности нивелирования
1,0	4,04	8,08	III класс
1,5	4,94	9,88	III класс
1,64	5,48	10,96	III класс
2,0	8,10	16,20	IV класс
2,5	9,00	18,00	IV класс

Таблица 5.11 – Значения предельных ошибок, невязок и классы нивелирных ходов между рабочими реперами при выносе отметок пикетов на трассу автомобильных дорог IV и V категории, с применением комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок

Коэффициент технологического процесса T_{II}	Предельная ошибка хода $\pm\delta_{вп}$, мм	Невязка хода $\pm f$, мм	Класс точности нивелирования
1,0	10,12	20,24	IV класс
1,5	12,38	24,76	IV класс
1,64	13,72	27,44	IV класс
2,0	20,24	40,48	техническое
2,5	22,50	45,00	техническое

Анализируя данные, приведенные в таблицах, можно констатировать, что для дорог всех категорий, при применении комплекта дорожных 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 при $T_{II} = 1,0 - T_{II} = 1,64$, следует выполнять с по программе нивелирования III класса, а при $T_{II} = 2,0$ и $T_{II} = 2,5$ – по программе нивелирования IV класса.

Для дорог IV и V категории общего пользования (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 коэффициентах точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог $T_{II} = 1,0; 1,5; 1,64$, следует выполнять по программе нивелирования IV класса точности, а при $T_{II} = 2,0; 2,5$, по программе технического нивелирования.

При расчете допусков на детальную разбивку, вынос отметок пикетов и проложение нивелирных ходов вдоль или по трассе автомобильных дорог, с учетом коэффициентов точности технологических процессов, предлагается следующая методика:

- из нормативного документа СП 78.13330.2012 [109], выбираются допустимые отклонения отметок от проектных значений δ_n (мм), применяемые при оценке качества строительно-монтажных работ при устройстве конструктивных слоев оснований и покрытий дорожных одежд, в соответствии с категориями дорог и комплектами дорожных машин;
- в соответствии с формулами (2.35)–(2.39), рассчитываются значения допускаемых отклонений (предельных ошибок) на детальную разбивку;
- рассчитываются средние квадратические ошибки на детальную разбивку, с учетом доверительных вероятностей, обеспечивающих допустимые отклонения (предельные ошибки) их отметок;
- вычисляются средние квадратические ошибки выноса отметок пикетов на трассу автомобильных дорог, задаваясь коэффициентом точности технологического процесса равным $T_{en} = 2,0$;
- рассчитываются средние квадратические ошибки нивелирных ходов, от которых переходят к их предельным ошибкам, принимая коэффициент точности проложения нивелирных ходов равный $T_{nx} = 2,0$;

– по значению предельной ошибки вычисляют невязку нивелирного хода, от ее значения, согласно регламентации классов точности нивелирования, в соответствии с [38], вычисляют длины нивелирных ходов.

Для обеспечения регламентированного, в СП 78.13330.2012 [109], высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, необходимо выполнять налаживание точности технологических процессов устройства конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог, не по допускаемым отклонениям (предельным ошибкам), а по средним квадратическим ошибкам с доверительными вероятностями $P = 0,90$ или $P = 0,95$.

5.4 Рекомендации по применению современных геодезических приборов для строительства автомобильных дорог

Анализ результатов, проведенных полевых исследований, выполненный в 4.2 показал, что результаты определения отметок покрытия автомобильных дорог, полученных с применением цифрового нивелира (типа TRIMBLE DINI 0.7), по точности превосходят данные, полученные с применением нивелира Н-3. А показатели точности определения отметок покрытия автомобильных дорог, полученные с применением электронного тахеометра типа TRIMBLE M3, (со средней квадратической ошибкой измерения углов 5"), не значительно отличаются от данных при применении нивелира Н-3.

Рекомендации по обеспечению допустимых отклонений на геодезические и строительные работы, рассмотренные в 5.1 и 5.2, изложены на основе применения нивелира Н-3, как наиболее изученного.

Расчет длин нивелирных ходов в зависимости от классов точности нивелирования и коэффициентов точности технологического процесса, приведенный в 5.3 показывает, что для обеспечения, согласно СП 78.13330.2012 [109], заданного высотного положения конструктивных слоев оснований и покрытий автомобильных дорог всех категорий при применении

комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания заданных отметок необходимо прокладывать нивелирные ходы III класса точности. Для дорог категорий IV и V общего пользования и ведомственных при применении комплекта дорожных машин без автоматической системы выдерживания заданных отметок необходимо прокладывать нивелирные ходы IV класса точности.

Исследования, проведенные в ФГБОУ ВО «Сибирском государственном университете геосистем и технологий» (СГУГиТ), по точности измерения превышений показали, что результаты измерений, полученные тригонометрическим нивелированием с применением электронных тахеометров, при соблюдении определенных условий (равных или близких к равным плеч удаления реек от прибора), соответствуют по точности геометрическому нивелированию III класса.

На основании выполненных исследований можно констатировать, что цифровые нивелиры (типа TRIMBLE DINI 0.7) следует рекомендовать для широкого применения при строительстве автомобильных дорог, особенно при применении комплекта дорожных машин с автоматической системой выдерживания отметок, а применение электронных тахеометров (типа TRIMBLE M3, со средней квадратической ошибкой измерения углов 5") целесообразно применять на стадии изысканий.

В заключении отметим, что в диссертации изложены научно обоснованные технические решения и технологические разработки, имеющие существенное значение для строительства автомобильных дорог и развития страны.

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, средняя квадратическая ошибка 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, средняя квадратическая ошибка 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 государственная 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 ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Автомобильные дороги: проектирование и строительство [Текст] / В. Ф. Бабков [и др.] – М. : Транспорт, 1983. – 240 с.
- 2 Автомобильные дороги: совершенствование методов проектирования и строительства [Текст] : учебник / В. М. Сиденко [и др.]. – Киев : Будівельник, 1973. – 279 с.
- 3 Анализ методов расчета точности геодезического контроля высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Вестн. СибАДИ. – 2012. – Вып. 2 (24). – С. 69–73.
- 4 Асташенков, Г. Г. Рациональные способы определения оптимального положения осей вытянутых инженерных сооружений и промышленных агрегатов [Текст] / Г. Г. Асташенков, Е. И. Тимошенко // Изв. ВУЗов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1983. – № 10. – С. 89–92.
- 5 Баранов, Г. Г. Зависимость стоимости от изменения допуска [Текст] / Г. Г. Баранов // Тр. Ин-та машиноведения. – М., 1957. – Вып. II. – С. 62–65.
- 6 Белятынский, А. А. О точности разбивочных работ в дорожном строительстве [Текст] / А. А. Белятынский, В. А. Пеньков // Изв. ВУЗов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1980. – № 12. – С. 121–125.
- 7 Беспалов, Ю. И. Исследование точности измерения превышений электронными тахеометрами [Текст] / И. Ю. Беспалов, С. Г. Мирошниченко // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 12–13.
- 8 Большаков, В. Д. О поверке главного условия нивелира [Текст] / В. Д. Большаков // Труды / Новосиб. ин-т инженеров геодезии, аэрофотосъёмки и картографии. – Новосибирск, 1964. – Вып. 44. – С. 27–29.
- 9 Большаков, В. Д. Теория математической обработки геодезических измерений [Текст] : учебник для вузов / В. Д. Большаков, П. А. Гайдаев. – М. : Высш. шк., 1977. – 479 с.

10 Брынь, М. Я. Относительный метод космической геодезии для изысканий трасс автодорог [Текст] / М. Я. Брынь, А. В. Астапович // Геодезия и картография. – 2005. – № 8. – С. 5–38.

11 Васютинский, Ю. И. Современная техника нивелирования [Текст] / И. Ю. Васютинский // Итоги науки и техники. Сер. Геодезия и аэросъемка. – 1986. – Т. 24. – С. 52–94.

12 Величко, В. А. Геодезия в дорожном строительстве [Текст] / В. А. Величко, М. А. Кардаев, Г. Е. Мепуришвили. – М.: Недра, 1972. – 144 с.

13 Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и её инженерные приложения [Текст] : учеб. пособие / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2003. – 464 с.

14 Видуев, Н. Г. Вероятностно-статистический анализ ошибок измерений [Текст] / Н. Г. Видуев, Г. С. Кондра. – М. : Недра, 1969. – 320 с.

15 Визгин, А. А. Теоретические и практические вопросы оценки точности геодезического обоснования инженерно-топографических съемок [Текст] / А. А. Визгин // Труды / Ин-т инженеров железнодорож. трансп. – Новосибирск, 1975. – Вып. 149. – С. 31–36.

16 Визиров, Ю. В. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров [Текст] / Ю. В. Визиров, С. В. Ковалев, А. И. Спиридонов // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17–19.

17 Ганьшин, В. Н. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей [Текст] / В. Н. Ганьшин, И. М. Репалов. – М. : Недра, 1980. – 120 с.

18 Геодезические исследования точности высотного положения верхнего слоя основания автомобильной дороги из черного щебня [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Роль и значение землеустроительной науки и образования в развитии Сибири : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Омск, 2012. – С. 353–356.

19 Геодезические разбивочные работы [Текст] / Н. Г. Видуев [и др.]. – М. : Недра, 1973. – 216 с.

20 Геодезическое обеспечение трассирования и строительства железных и автомобильных дорог [Текст] : учеб. пособие / В. Ф. Райфельд. – Новосибирск: НИИГАИК, 1984. – 78 с.

21 Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] : учебник / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 1977. – 479 с.

22 ГОСТ 21778–81 (СТ СЭВ 2045–79). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения [Текст]. – Введ. 1980.12.02. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 8 с.

23 ГОСТ 21779–82 (СТ СЭВ 2681–80). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски [Текст]. – Введ. 1983.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 21 с.

24 ГОСТ 21780–2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности [Текст]. – Введ. 2008.01.01. – М. : МНТКС, 2007. – 15 с.

25 ГОСТ 23615–79. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Статистический анализ точности [Текст]. – Введ. 1980.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 14 с.

26 ГОСТ 23616–79. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Контроль точности [Текст]. – Введ. 1980.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 10 с.

27 ГОСТ 26607–85 (СТ СЭВ 4416–83). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Функциональные допуски [Текст]. – Введ. 1986.01.01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 16 с.

28 ГОСТ 30412–96. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий [Текст]. – Введ. 1997.01.01. – М. : МНТКС, 1996. – 13 с.

29 ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [Текст]. – Введ. 2015.07.01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 16 с.

- 30 ГОСТ Р 52399–2005. Геометрические элементы автомобильных дорог [Текст]. – Введ. 2006.05.01. – М. : Стандартиформ, 2006. – 11 с.
- 31 ГОСТ Р 52577–2006. Дороги автомобильные общего пользования. Методы определения параметров геометрических элементов автомобильных дорог [Текст]. – Введ. 2007.01.01. – М. : Стандартиформ, 2006. – 8 с.
- 32 ГОСТ Р 8.563–2009. Методики (методы) измерений [Текст]. – Введ. 2009.12.15. – М. : Стандартиформ, 2011. – 15 с.
- 33 Длин, А. М. Математическая статистика в технике [Текст] / А. М. Длин. – М. : Совет. наука, 1958. – 466 с.
- 34 Жаббарова, Г. Ж. О точности определения отметок точек электронным тахеометром Та5 [Текст] / Г. Ж. Жаббарова // Геодезия и картография. – 1986. – № 6 – С. 36–37.
- 35 Замараев, Н. Н. Из опыта создания высотного обоснования методом тригонометрического нивелирования [Текст] / Н. Н. Замараев, Б. Г. Богданов // Геодезия и картография. – 1981. – № 10. – С. 19–21.
- 36 Иванов, В. Г. Влияние угла i на результаты нивелирования [Текст] / В. Г. Иванов // Геодезия и картография. – 1983. – № 9. – С. 19–22.
- 37 Инженерная геодезия [Текст] : учебник / А. А. Визгин [и др.] ; под ред. Л. С. Хренова – 2-е изд. – М. : Высш. шк., 1985. – 352 с.
- 38 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. [Текст] – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
- 39 Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений (ВСН 5-81) [Текст] – М. : ГУП ЦПП, 2001. – 104 с.
- 40 Исследование влияния вибрации на точность измерения цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами [Текст] / А. Б. Ашраф [и др.] // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 123–126.
- 41 Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Г. А. Уставич [и др.] // Геодезия и картография – 2011. – № 5. – С. 3–9.

42 Исследование точности высотного положения верхнего слоя покрытия автомобильной дороги с шагом нивелирования десять метров [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Вестн. СибАДИ. – 2012. – Вып. 6 (28). – С. 73–77.

43 Исследование цифровых нивелиров и реек [Текст] / Г. А. Уставич [и др.] // Геодезия и картография. – 2011. – № 4 – С. 9–15.

44 Карлсон, А. А. О классификации точного нивелирования короткими лучами [Текст] / А. А. Карлсон // Геодезия и картография. – 1993. – № 6. – С. 11–13.

45 Крамер, Г. Математические методы статистики [Текст] : учебник / Г. Крамер. – М. : Мир, 1975. – 648 с.

46 Кудрявцев, М. Н. Изыскания и проектирование автомобильных дорог [Текст] : учебник / М. Н. Кудрявцев, В. Е. Каганович. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1980. – 296 с.

47 Лавриненко, Л. Л. Изыскания и проектирование автомобильных дорог [Текст] : учебник / Л. Л. Лавриненко. – М. : Транспорт, 1991. – 296 с.

48 Лапицкий, И. В. Геодезический контроль качества дорожно-строительных работ вероятностно-статистическим методом последовательного анализа [Текст] / И. В. Лапицкий, Н. Т. Ковтун // Инженер. геодезия. – 1983. – Вып. 26. – С. 49–54.

49 Лапицкий, И. В. Комбинированный метод разбивки и геодезического контроля строительства транспортных развязок [Текст] / И. В. Лапицкий // Инженер. геодезия. – 1985. – Вып. 27. – С. 59–65.

50 Левчук, Г. П. Инженерная геодезия [Текст] : учеб. пособие в 3 ч. – М. : Геодезиздат, 1958. – Ч. 2-3. – 371 с.

51 Левчук, Г. П. Курс инженерной геодезия: основные виды инженер.-геодез. работ. Геодез. работы при изыскании и строительстве транспортных и промышл. сооружений [Текст] : учебник. – М. : Недра, 1970. – 408 с.

52 Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: геодез. работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений [Текст] : учебник / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, Н. Н. Лебедев. – М. : Недра, 1983. – 399 с.

53 Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: основные методы и принципы инженер.-геодез. работ [Текст] : учебник / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – М. : Недра, 1981. – 438 с.

54 Малафеев, А. Г. Автомобильные дороги и автомобили [Текст] / А. Г. Малафеев. – Омск: СибАДИ, 2001. – 132 с.

55 Малафеев, А. Г. Изыскания автомобильных дорог [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Малафеев, О. А. Рычкова, И. А. Шевцова – Омск: СибАДИ, 2015. – 212 с.

56 Марков, Н. Н. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях [Текст] / Н. Н. Марков, Г. В. Кайнер, П. А. Сацердотов. – М. : Машиностроение, 1967. – 392 с.

57 Матвеев, С. И. Роль геодезии в современном информационном сообществе [Текст] / С. И. Матвеев // Геодезия и картография. – 2010. – № 5. – С. 16–18.

58 Мюллер, Г. Основы трассирования и разбивка автомобильных и железных дорог [Текст] / Г. Мюллер ; пер. с нем. В. А. Федотова. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с.

59 Нагаев, Д. О. Рекомендации по геодезическому обеспечению точности высотного положения оснований и покрытий при строительстве автомобильных дорог [Текст] / Д. О. Нагаев // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск, 2009. – С. 45–48.

60 Надежность автомобильных дорог [Текст] : сб. науч. тр. / Моск. автомобильно-дорож. ин-т. – М. : МАДИ, 1980. – 149 с.

61 Некрасов, В. К. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог [Текст] / В. К. Некрасов, Е. М. Лобанов, А. С. Пополов. – М. : ВНИИТИ, 1972. – 126 с.

62 Никонов, А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров [Текст] / А. В. Никонов // Вестн. СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.

63 Обеспечение точности контроля неровностей конструктивных слоев дорожных одежд с применением нивелиров типа Н-3 [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Вестн. СибАДИ. – 2012. – Вып. 4 (26). – С. 55–60.

64 Обеспечение точности проложения нивелирных ходов при изыскании и выноса высотных отметок пикетов при строительстве автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Вестн. СибАДИ. – 2016. – Вып. 2 (48). – С. 120–125.

65 Обоснование допусков на строительные и геодезические работы для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Изв. вузов. Сер. Строительство. – 2010. – № 9. – С. 75–80.

66 Обоснование и обеспечение необходимой точности детальной разбивки отметок конструктивных слоев дорожных одежд [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Ом. науч. вестн. – 2012. – № 2 (114). – С. 261–263.

67 Обоснование точности выноса отметок пикетов от рабочих реперов на трассы автомобильных дорог при их строительстве [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Ом. науч. вестн. – 2013. – № 2 (124) – С. 144–146.

68 Петрашкевич, Ю. И. Проектирование производства работ по строительству автомобильной дороги. Строительство дорожных одежд [Текст] : учеб. пособие / Ю. И. Петрашкевич, В. М. Могилевич. – Омск : ОмПИ, 1988. – 88 с.

69 Петрашкевич, Ю. И. Проектирование производства работ по строительству автомобильной дороги. Строительство земляного полотна [Текст] : учеб. пособие / Ю. И. Петрашкевич, В. М. Могилевич. – Омск : СибАДИ, 1987. – 87 с.

70 Пискунов, А. М. О точности превышений, полученных из тригонометрического нивелирования короткими лучами [Текст] / А. М. Пискунов, Н.И. Майоров // Геодезия и картография. – 1990 – № 1. – С. 12–14.

71 Пискунов, М. Е. Метод высокоточного тригонометрического нивелирования короткими (до 100 м) лучами [Текст] / М. Е. Пискунов, Нгуен Ван Дау // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1971 – № 6. – С. 37–48.

72 Побережный, А. А. Обоснование точности геодезических работ по обеспечению высотного положения взлетно-посадочных полос аэродромов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32 / Побережный Анатолий Аксентьевич. – Новосибирск, 2009. – 20 с.

73 Подольский, В. П. Технология и организация строительства автомобильных дорог. Дорожные покрытия [Текст] : учебник / В. П. Подольский [и др.]. – М. : Академия, 2012. – 304 с.

74 Подшивалов, В.П. Тригонометрическое нивелирование коротким лучем [Текст] / В. П. Подшивалов, Али Салим // Геодезия и картография. – 1994. – № 6. – С. 18–19.

75 Пособие по производству геодезических работ в строительстве [Текст] : (к СНиП 3.01.03.84) / Центр. науч.-исслед. и проектно-эксперимент. ин-т орг., механизации и техн. помощи стр-ву Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1985. – 15 с.

76 Практические пособия по метрологическому обеспечению строительного производства. [Текст] – М. : Стройиздат, 1975. – 64 с.

77 Прикладная геодезия [Текст] : учебник / Н. П. Булгаков [и др.] – М. : Недра, 1990. – 416 с.

78 Проектирование автомобильных дорог [Текст] : справ. инженера-дорожника / Г. А. Федотов [и др.]. – М. : Транспорт, 1989. – 437 с.

79 Проектирование автомобильных дорог [Текст] : сб. науч. тр. / Моск. автомобильно-доророж. ин-т. – М. : МАДИ, 1990. – 144 с.

80 Пронина, Л. А. Обоснование точности строительных и геодезических работ при возведении автомобильных дорог категории IV и V общего

пользования и ведомственных. [Электронный ресурс] / Л. А. Пронина // Техника и технологии строительства. – 2016. – № 2 (6). – Режим доступа : <http://ttc.sibadi.org>.

81 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования [Текст] / Г. А. Уставич [и др.] // Геодезия и картография. – 2004. – № 7. – С. 6–13.

82 Расчет допусков на геодезические разбивочные работы с учетом точности технологических процессов при изысканиях и строительстве автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов [и др.] // Вестн. СибАДИ. – 2015. – Вып. 5 (45). – С. 87–92.

83 Руководство по эксплуатации цифрового нивелира Dini [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://geo-book.ru/trimble003.htm> – Загл. с экрана.

84 Руководство по эксплуатации электронного тахеометра trimble [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.geosalut.ru/img/file/trimble_m3dr_ru.pdf – Загл. с экрана.

85 Рыхимбердина, М. Е. Исследование по совершенствованию высокоточного инженерно-геодезического нивелирования цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32 / Рахимбердина Маржан Есенбековна. – Новосибирск, 2013. – 24 с.

86 Рябова, Н. М. Исследование и совершенствование методики нивелирования I и II классов с применением цифровых нивелиров [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32 / Рябова Надежда Михайловна. – Новосибирск, 2013. – 24 с.

87 Сальников, В. Г. Совершенствование методики геодезических измерений для обеспечения строительства и эксплуатации энергетических объектов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32 / Сальников Валерий Геннадьевич. – Новосибирск, 2015. – 24 с.

88 Сиденко, В. М. Организация, планирование и управление строительством автомобильных дорог [Текст] : учебник / В. М. Сиденко, Г. Е. Липский, О. Т. Батраков. – Киев : Вища шк., 1987. – 263 с.

89 Сиротюк, В. В. Сооружение земляного полотна из грунтов с влажностью выше оптимальной [Текст] : учеб. пособие / В. В. Сиротюк. – Омск : СибАДИ, 2004. – 150 с.

90 Система допусков в строительстве. [Текст] – М. : Стройиздат, 1981. – 63 с.

91 Смирнов, А. В. Взаимодействие подвижных нагрузок на покрытия и основания автомагистралей [Текст] / А. В. Смирнов, Е. В. Андреева, В. Н. Герцог // Актуальные проблемы архитектуры и строительства : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Благовещенск, 2014. – С. 117–124.

92 Смирнов, А. В. Дорожные конструкции с асфальтобетонными покрытиями для тяжелого движения [Текст] / А. В. Смирнов // Вестн. СибАДИ. – 2010. – Вып. 18. – С. 32–35.

93 Смирнов, А. В. Сборник задач по технологии и организации строительства автомобильных дорог [Текст] : учеб. пособие / А. В. Смирнов, Ю. И. Петрашкевич. – Омск : ОмПИ, 1989. – 78 с.

94 Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1969. – 511 с.

95 СН-212–62. Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, промышленного и поселкового строительства. [Текст]. – М. : Госстройиздат, 1962. – 150 с.

96 СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги [Текст]. – М. : Стройиздат, 1987. – 96 с.

97 СНиП 3.01.03.84. Геодезические работы в строительстве [Текст]. – М. : Стройиздат, 1985. – 28 с.

98 СНиП 3.06.03–85. Автомобильные дороги [Текст]. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 106 с.

99 СНиП 32.03.96. Аэродромы [Текст]. – М. : ГУП ЦПП, 1996. – 22 с.

100 СНиП I–А.4–62. Система допусков. Основные положения. [Текст]. – М. : Стройиздат, 1962. – Ч. I, разд. А, гл. 4. – 12 с.

101 СНиП II–Д.5–72. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. [Текст]. – М. : Стройиздат, 1973. – Ч. II, разд. Д, гл. 5. 112 с.

102 СНиП III–40–78. Правила производства и приемки работ. Автомобильные дороги : Ч. III, гл. 40 [Текст]. – М. : Стройиздат, 1978. – 133 с.

103 СНиП III–Д.5–62. Автомобильные дороги. Правила организации строительства и производства работ. Приемка в эксплуатацию [Текст]. – М. : Стройиздат, 1963. – Ч. III, Разд. Д, гл. 5. – 62 с.

104 СНиП III–Д.5-73. Автомобильные дороги. Правила производства и приемки работ. Приемка в эксплуатацию [Текст].– М. : Стройиздат, 1973. – Ч. III, разд. Д, гл. 5. – 109 с.

105 Соболева, Е. Л. Разработка и совершенствование методики высокоточного нивелирования с применением цифровых нивелиров [Текст] / автореф. ... дис. канд. техн. наук / Соболева Екатерина Леонидовна. – Новосибирск, 2008. – 27 с.

106 СП 11–104–97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. [Текст]. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 77 с.

107 СП 126.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.01.03–84 Геодезические работы в строительстве. [Текст]. – М. : Минрегион России, 2012. – 13 с.

108 СП 34.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85* Автомобильные дороги. [Текст]. – М. : Минрегион России, 2012. – 112 с.

109 СП 78.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85 Автомобильные дороги. [Текст]. – М. : Минрегион России, 2012. – 118 с.

110 Справочник по геодезическим разбивочным работам [Текст] / Г. В. Багратуни [и др.]. – М. : Недра, 1982. – 128 с.

111 Справочник по инженерной геодезии [Текст] / П. И. Баран [и др.]. – Киев : Вища шк., 1978. – 376 с.

112 Столбов, Ю. В. Исследование точности высотного положения поверхности верхнего слоя покрытия автомобильных дорог [Текст] / Ю. В.

Столбов, Д. О. Нагаев, С. Ю. Столбова // Изв. вузов. Сер. Строительство. – 2011. – № 4. – С. 53–60.

113 Столбов, Ю. В. Исследование точности определения вертикальных отметок покрытий автомобильных дорог с применением цифровых нивелиров и электронных тахеометров [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Сиб. гос. автомобильно-дорож. акад. – Омск, 2014. – С. 199–201.

114 Столбов, Ю. В. Методика количественной оценки качества строительно-монтажных работ [Текст] / Ю. В. Столбов // Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1981. – № 6. – С. 90–94.

115 Столбов, Ю. В. Назначение точности строительства строительных конструкций с учетом ответственности зданий и сооружений [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова // Вестн. СибАДИ. – 2006. – Вып. 4. – С. 134–138.

116 Столбов, Ю. В. О нормировании точности контрольных измерений при монтаже строительных конструкций [Текст] / Ю. В. Столбов, В. В. Столбов // Промышл. стр-во. – 1978. – № 4. – С. 29–31.

117 Столбов, Ю. В. О регламентации точности геометрических параметров высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог в нормативных документах [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова // Вестн. СибАДИ. – 2014. – Вып. 3 (37). – С. 59–63.

118 Столбов, Ю. В. Обеспечение точности высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [Текст] : монография / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев. – Омск : СибАДИ, 2013. – 144 с.

119 Столбов, Ю. В. Основы расчета и анализа точности строительства сборных зданий и сооружений [Текст] : учеб. пособие / Ю. В. Столбов. – Омск : РИЦ СибАДИ, 1981. – 64 с.

120 Столбов, Ю. В. Статистические методы контроля качества строительного-монтажных работ [Текст] / Ю. В. Столбов. – М. : Стройиздат, 1982. – 87 с.

121 Столбов, Ю. В. Точность геодезических и строительных работ для обеспечения заданного высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев // Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостов и подземных сооружений : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Белорус. национал. техн. ун-та. – Минск, 2010. – Ч. 1. – С. 194–199.

122 Столбова, С. Ю. Расчет допусков на разбивку отметок пикетов с учетом точности технологических процессов их строительства [Текст] / С. Ю. Столбова // Вестн. СибАДИ. – 2014. – Вып. 4 (38). – С. 83–87.

123 Столбова, С. Ю. Расчет технологических допусков и назначение точности монтажа строительных конструкций [Текст] : учеб. пособие / С. Ю. Столбова. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. – 108 с.

124 Строительство автомобильных дорог [Текст] : учебник в 2 т. / Н. Н. Иванов [и др.] ; под ред. В. К. Некрасова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Транспорт, 1980. – Т. 1. – 416 с.

125 Сытник, В. С. Основы расчета и анализа точности геодезических измерений в строительстве [Текст] / В. С. Сытник. – М. : Стройиздат, 1974. – 192 с.

126 Сытник, В. С. Строительная геодезия [Текст] / В. С. Сытник. – М. : Недра, 1974. – 136 с.

127 Технология и организация строительства автомобильных дорог [Текст] : учебник / Н. В. Горельшев [и др.]. – М. : Транспорт, 1992. – 551 с.

128 Управление качеством строительства [Текст] / И. А. Акимова [и др.]. – М. : Стройиздат, 1974 – 200 с.

129 Уставич, Г. А. Совершенствование технологии нивелирования [Текст] / Г. А. Уставич // Геодезия и картография. – 2005. – № 3. – С. 11–13.

- 130 Федоров, В. И. Инженерная геодезия [Текст] : учебник / В. И. Федоров, П. И. Шилов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1982. – 357 с.
- 131 Федотов, Г. А. Инженерная геодезия [Текст] : учебник / Г. А. Федотов. – 4-е, изд. стер. – М. : Высш. шк., 2007. – 462 с.
- 132 Хохлов, Г. П. Точность геодезических измерений при изысканиях и строительстве [Текст] / Г. П. Хохлов // Стр-во трубопроводов. – 1990. – № 10. – С. 38–40.
- 133 Хромченко, А. В. Особенности производства тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров [Текст] / А. В. Хромченко // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строит. комплекса. – 2014. – № 1. – С. 568–571.
- 134 Чмчян, Т. Т. Расчеты точности геодезических работ в строительстве [Текст] : справочник / Т. Т. Чмчян. – М. : Недра, 1988. – 150 с.
- 135 Шалыгина, Е. Л. Цифровое нивелирование – основные источники ошибок [Текст] / Е. Л. Шалыгина // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 15–17.
- 136 Шестаков, В. Н. Теплофизические основы технологии строительства автомобильных дорог в зимнее время [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Шестаков. – Омск : ОмПИ, 1988. – 88 с.
- 137 Шилов, П. И. Инженерная геодезия и аэрогеодезия [Текст] : учебник / П. И. Шилов, В. И. Федоров. – М. : Недра, 1971. – 384 с.
- 138 Эксплуатация автомобильных дорог [Текст] : сб. науч. тр. / Сиб. автомобильно-дорож. ин-т им. В. В. Куйбышева. – Омск : ОмПИ, 1989. – 175 с.
- 139 Эксплуатация автомобильных дорог [Текст] : учебник / В. К. Некрасов, Р. М. Алиев. – 2-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1983. – 287 с.
- 140 Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения [Текст] : учеб. пособие / И. И. Леонович [и др.]. – Минск : Вышэйш. шк., 1988. – 348 с.
- 141 Accuracy of height measurements for leveling across wide water bodies [Text] / A. Celms [et al.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва :

збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК / Західне геодезичне товариство Українського товариства геодезії і картографії, Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Львів, 2013. – Вип. 2 (26). – С. 97–101.

142 Astasenkov, G. Geodätische Messungen an Drehofen mit grossen Querachseschwankungen [Text] / G. Astasenkov // Vermessungstechnik. – 1979. – № 4. – S. 132–134.

143 Becker, J. M. Levelling Across the Öresund Bridge at the Millimeter Level [Electronic resource] / J. M. Becker // FIG XII International Congress Washington, D. C. USA, April 19-26, 2002. – URL : http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2002/Ts5-2/TS5_2_becker.pdf.

144 Flach, P. Analysis of refraction influences in geodesy using image processing and turbulence models [Electronic resource] : Dissertation of Doctor of Technical Sciences : No. 13844 / Philipp Flach ; Swiss Federal Institute of Technology. – Zurich, 2000. – URL : <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:23778/eth-23778-01.pdf>.

145 Hibbert, R. J. Practical EDM height traversing to geodetic levelling accuracies as used in a geophysical monitoring scheme [Text] / R. J. Hibbert // Survey Reviewer. – 1992. – Vol. 31. – P. 434–453.

146 Khalil, R. Enlargement the Sighting Distance of Sokkia Digital Level SDL30 [Electronic resource] / R. Khalil // Strategic Integration of Surveying Services. FIG Working Week 2007. Hong Kong SAR, China, 13–17 May 2007. – URL : http://www.fig.net/pub/fig_2007/papers/ts_2b/ts02b_02_khalil_1429.pdf.

147 Kovačič, B. Accuracy of trigonometric heighting and monitoring the vertical displacements [Text] / B. Kovačič, R. Kamnik // Engineering modelling. – 2007. – № 20. – P. 77–84.

148 Kozłowski, J. Electronic total stations are levels too [Electronic resource] / J. Kozłowski // Professional Surveyor Magazine. – 1998. – Vol. 19, Iss. 8. – URL : <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=359#>.

149 Методи розв'язання математичної моделі побудови оптимальної дорожньо-транспортної мережі [Text] / О. А. Білятинський [та ін.] // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво // Будівельник. – 1997. – Вип. 54. – С. 51–54.

150 Monitoring of the refraction coefficient of the lower atmosphere using a controlled set-up of simultaneous reciprocal vertical angle measurements [Text] / С. Hirt [et al.] // Journal of Geophysical Research. – 2010. – Vol. 115. – P. 21102.

151 Takalo, M. On digital Levelling Technique Applied in Water Crossing [Electronic resource] / M. Takalo, P. Rouhiainen // Shaping the Change XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8-13, 2006. – URL : http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2006/papers/ts53/ts53_03_takalo_rouhiainen_0507.pdf

152 Welborn, J. Y. State of the Art in Asphalt Pavement Specification, Report No FHWA/RD-84/075 [Text] / J. Y. Welborn ; Federal Highway Administration, Office of Engineering and Highway Operations, Research and Development. – Washington : [s. n.], 1984. – 16 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ
НА ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИВЕЛИРА Н-3 (S = 100 м)

Таблица А.1 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-9	-6	3	0,024	-7,5	-22,5	-7,64	-22,93	175,24	-3,15	-2,11	-0,4990	-0,4825	0,0165
-6	-3	9	0,071	-4,5	-40,5	-4,64	-41,79	194,01	-2,11	-1,08	-0,4825	-0,3599	0,1226
-3	0	51	0,405	-1,5	-76,5	-1,64	-83,79	137,65	-1,08	-0,05	-0,3599	-0,0199	0,3400
0	3	46	0,365	1,5	69	1,36	62,43	84,72	-0,05	0,98	-0,0199	0,3365	0,3564
3	6	13	0,103	4,5	58,5	4,36	56,64	246,80	0,98	2,02	0,3365	0,4788	0,1423
6	9	4	0,032	7,5	30	7,36	29,43	216,51	2,02	3,05	0,4788	0,4986	0,0198
Сумма		126	1,0		18			1054,93					0,9976

$$\bar{x} = 18 / 126 = 0,14 \text{ мм}$$

$$M = 2,91 / \sqrt{126} = 0,26 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{1054,93 / 125} = 2,91 \text{ мм}$$

$$m_m = 2,91 / \sqrt{2 \cdot (126 - 1)} = 0,18 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 126; P = 0,95) = 1,98$$

$$0,14 - 1,98 \cdot 0,26 < a < 0,14 + 1,98 \cdot 0,26 \Rightarrow -0,37 \text{ мм} < a < 0,65 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 126, P = 0,95) = 0,13$$

$$2,91 \cdot (1 - 0,13) < \sigma < 2,91 \cdot (1 + 0,13) \Rightarrow 2,53 \text{ мм} < \sigma < 3,29 \text{ мм}$$

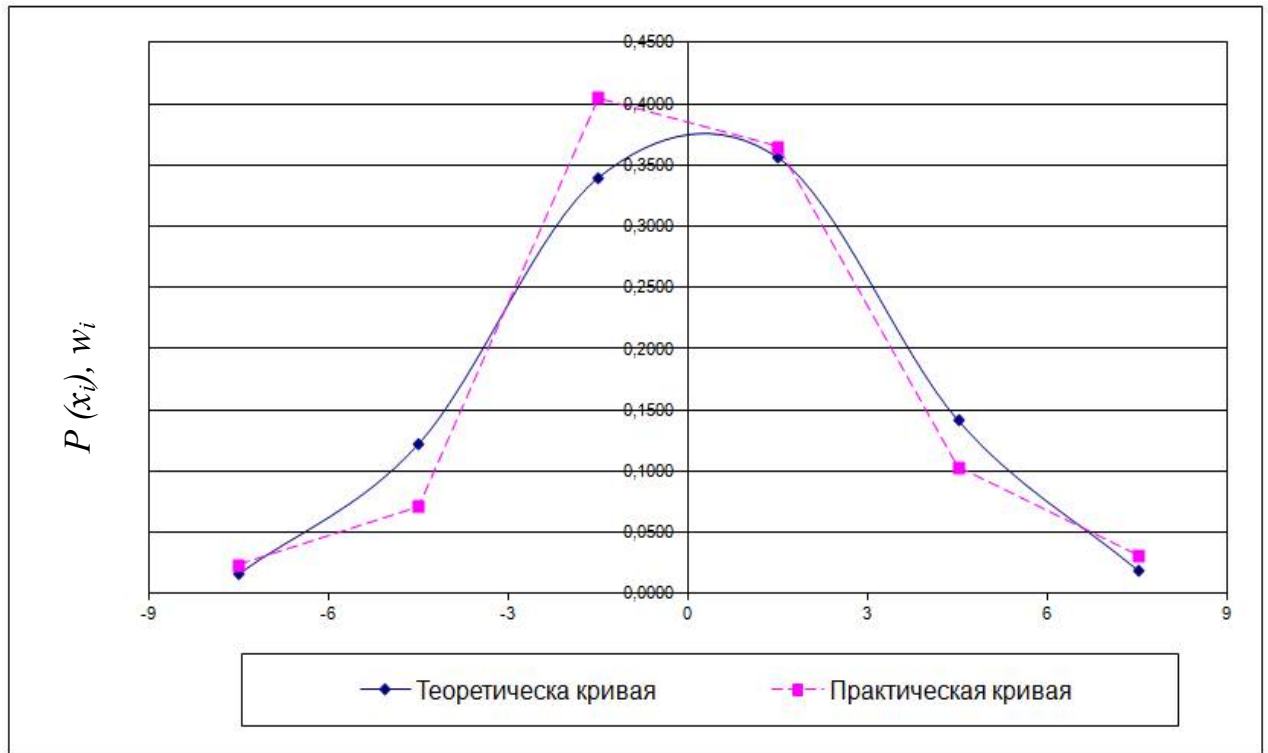


Рисунок А.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот

Таблица А.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-9	-6	3	0,0165	2,079	0,921	0,848	0,41
-6	-3	9	0,1226	15,4476	-6,448	41,572	2,69
-3	0	51	0,3400	42,84	8,160	66,586	1,55
0	3	46	0,3564	44,9064	1,094	1,196	0,03
3	6	13	0,1423	17,9298	-4,930	24,303	1,36
6	9	4	0,0198	2,4948	1,505	2,266	0,91
Сумма		126					$\chi^2_{\text{выч}} = 6,94$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,8.$$

Таким образом, $6,94 < 7,8$. Нулевая гипотеза не отвергается.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ
НА ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА (S=100 м)

Таблица Б.1 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-9	-6	3	0,024	-7,5	-22,5	-7,43	-22,29	165,55	-3,10	-2,06	-0,4989	-0,4803	0,0186
-6	-3	12	0,095	-4,5	-54	-4,43	-53,14	235,35	-2,06	-1,02	-0,4803	-0,3461	0,1342
-3	0	50	0,397	-1,5	-75	-1,43	-71,43	102,04	-1,02	0,02	-0,3461	0,0080	0,3541
0	3	48	0,381	1,5	72	1,57	75,43	118,53	0,02	1,07	0,0080	0,3577	0,3497
3	6	9	0,071	4,5	40,5	4,57	41,14	188,08	1,07	2,11	0,3577	0,4826	0,1249
6	9	4	0,032	7,5	30	7,57	30,29	229,31	2,11	3,15	0,4826	0,4992	0,0166
Сумма		126	1,0		-9			1038,86					0,9981

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = -9 / 126 = -0,07 \text{ мм}$$

$$M = 2,88 / \sqrt{126} = 0,26 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{1038,86 / 125} = 2,88 \text{ мм}$$

$$m_m = 2,88 / \sqrt{2 \cdot (126 - 1)} = 0,18 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 126; P = 0,95) = 1,98$$

$$-0,07 - 1,98 \cdot 0,26 < a < -0,07 + 1,98 \cdot 0,26 \Rightarrow -0,58 \text{ мм} < a < 0,44 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 126, P = 0,95) = 0,13$$

$$2,88 \cdot (1 - 0,13) < \sigma < 2,88 \cdot (1 + 0,13) \Rightarrow 2,50 \text{ мм} < \sigma < 3,25 \text{ мм}$$

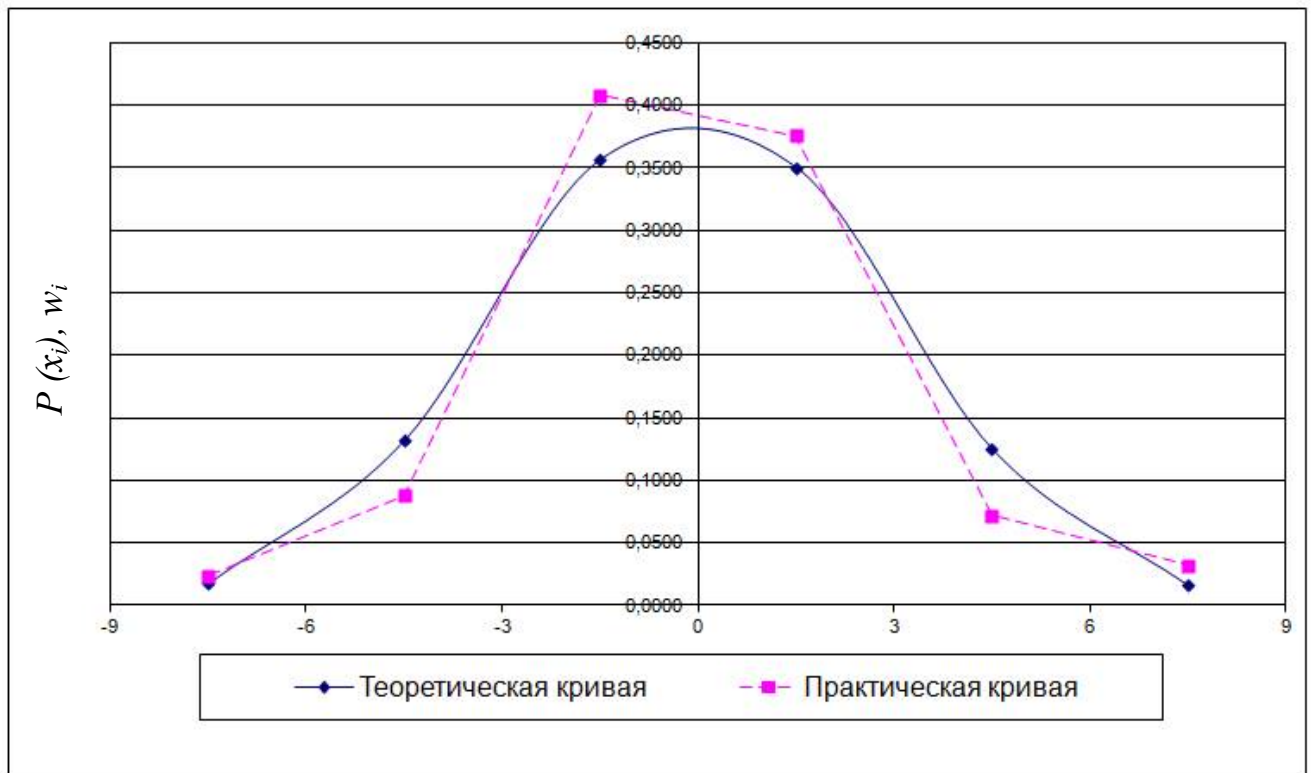


Рисунок Б.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот

Таблица Б.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-9	-6	3	0,0186	2,3436	0,656	0,431	0,18
-6	-3	12	0,1342	16,9092	-4,909	24,100	1,43
-3	0	50	0,3541	44,6166	5,383	28,981	0,65
0	3	48	0,3497	44,0622	3,938	15,506	0,35
3	6	9	0,1249	15,7374	-6,737	45,393	2,88
6	9	4	0,0166	2,0916	1,908	3,642	1,74
Сумма		126					$\chi^2_{\text{выч}} = 7,24$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,8.$$

Таким образом, $7,24 < 7,8$. Нулевая гипотеза не отвергается

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИВЕЛИРА Н-3 (S=150 м)

Таблица В.1 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-12	-8	1	0,016	-10	-10	-10,13	-10,13	102,52	-3,22	-2,16	-0,4993	-0,4846	0,0147
-8	-4	6	0,094	-6	-36	-6,13	-36,75	225,09	-2,16	-1,09	-0,4846	-0,3621	0,1225
-4	0	24	0,375	-2	-48	-2,13	-51,00	108,38	-1,09	-0,03	-0,3621	-0,0120	0,3501
0	4	26	0,406	2	52	1,88	48,75	91,41	-0,03	1,03	-0,0120	0,3485	0,3605
4	8	5	0,078	6	30	5,88	29,38	172,58	1,03	2,09	0,3485	0,4817	0,1332
8	12	2	0,031	10	20	9,88	19,75	195,03	2,09	3,15	0,4817	0,4889	0,0072
Сумма		64	1,0		8			895,00					0,9882

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 8 / 64 = 0,13 \text{ мм}$$

$$M = 3,77 / \sqrt{64} = 0,47 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{895,0 / 63} = 3,77 \text{ мм}$$

$$m_m = 3,77 / \sqrt{2 \cdot (64 - 1)} = 0,34 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 64; P = 0,95) = 1,99$$

$$0,13 - 1,99 \cdot 0,47 < a < 0,13 + 1,99 \cdot 0,47 \Rightarrow -0,80 \text{ мм} < a < 1,06 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 64, P = 0,95) = 0,18$$

$$3,77 \cdot (1 - 0,18) < \sigma < 3,77 \cdot (1 + 0,18) \Rightarrow 3,09 \text{ мм} < \sigma < 4,45 \text{ мм}$$

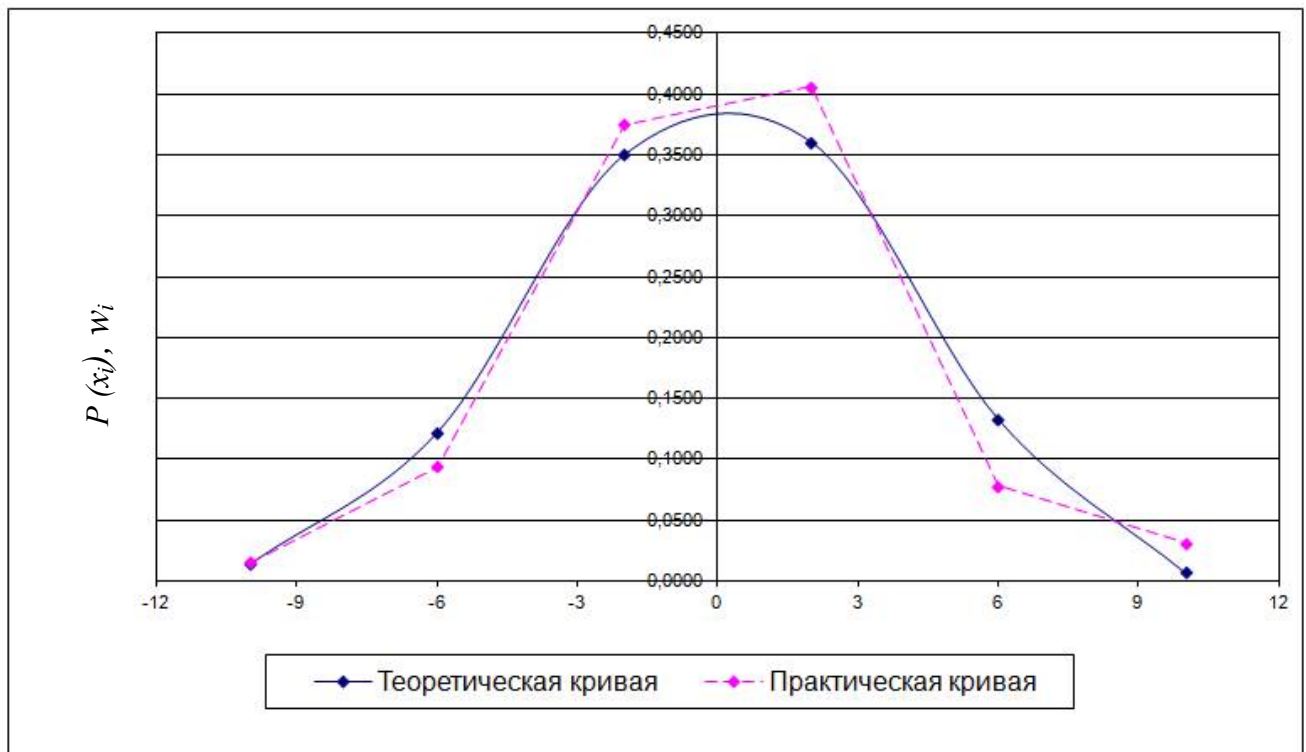


Рисунок В.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот

Таблица В.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-12	-8	1	0,0147	0,9408	0,059	0,004	0,00
-8	-4	6	0,1225	7,84	-1,840	3,386	0,43
-4	0	24	0,3501	22,4064	1,594	2,540	0,11
0	4	26	0,3605	23,072	2,928	8,573	0,37
4	8	5	0,1332	8,5248	-3,525	12,424	1,46
8	12	2	0,0072	0,4608	1,539	2,369	5,14
Сумма		64					$\chi^2_{\text{выч}} = 7,52$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,80$$

Таким образом, $7,52 < 7,80$. Нулевая гипотеза не отвергается.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА
ПОЛИГОНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА (S=150м)

Таблица Г.1 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-12	-8	2	0,031	-10	-20	-9,81	-19,63	192,57	-3,19	-2,11	-0,4993	-0,4825	0,0168
-8	-4	6	0,094	-6	-36	-5,81	-34,88	202,71	-2,11	-1,03	-0,4825	-0,3485	0,1340
-4	0	23	0,359	-2	-46	-1,81	-41,69	75,56	-1,03	0,05	-0,3485	0,0199	0,3684
0	4	28	0,438	2	56	2,19	61,25	133,98	0,05	1,13	0,0199	0,3708	0,3509
4	8	4	0,063	6	24	6,19	24,75	153,14	1,13	2,21	0,3708	0,4865	0,1157
8	12	1	0,016	10	10	10,19	10,19	103,79	2,21	3,30	0,4865	0,4994	0,0129
Сумма		64	1,0		-12			861,75					0,9987

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = -12 / 64 = -0,19 \text{ мм}$$

$$M = 3,70 / \sqrt{64} = 0,46 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{861,75 / 63} = 3,70 \text{ мм}$$

$$m_m = 3,70 / \sqrt{2 \cdot (64 - 1)} = 0,33 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 64; P = 0,95) = 1,99$$

$$-0,19 - 1,99 \cdot 0,46 < a < -0,19 + 1,99 \cdot 0,46 \Rightarrow -1,11 \text{ мм} < a < 0,72 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 64, P = 0,95) = 0,18$$

$$3,70 \cdot (1 - 0,18) < \sigma < 3,70 \cdot (1 + 0,18) \Rightarrow 3,03 \text{ мм} < \sigma < 4,37 \text{ мм}$$

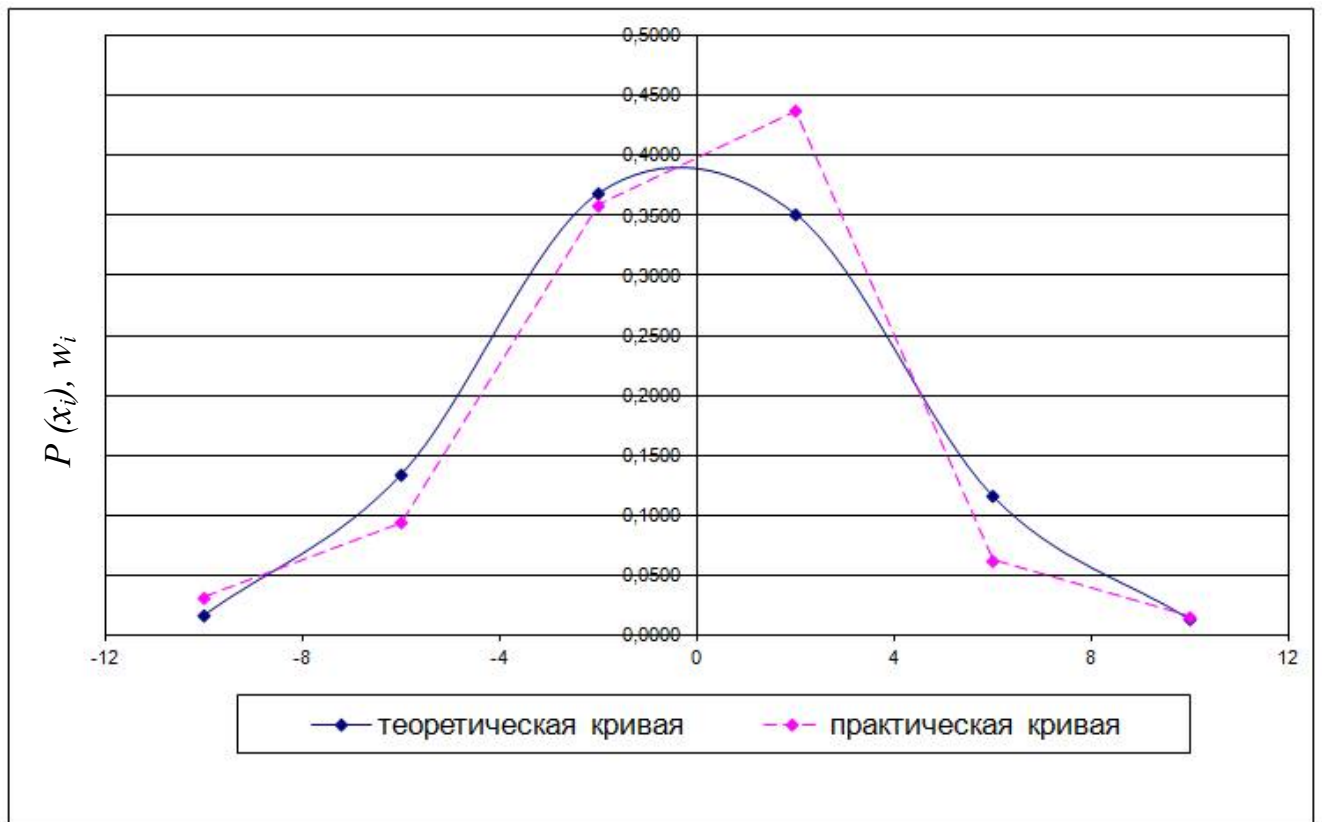


Рисунок Г.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот

Таблица Г.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-12	-8	2	0,0168	1,0752	0,925	0,855	0,80
-8	-4	6	0,1340	8,576	-2,576	6,636	0,77
-4	0	23	0,3684	23,5776	-0,578	0,334	0,01
0	4	28	0,3509	22,4576	5,542	30,718	1,37
4	8	4	0,1157	7,4048	-3,405	11,593	1,57
8	12	1	0,0129	0,8256	0,174	0,030	0,04
Сумма		64					$\chi^2_{\text{выч}} = 4,55$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,80$$

Таким образом, $4,55 < 7,80$. Нулевая гипотеза не отвергается

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ
ДОРОГИ ВЕДУЩЕЙ КРАСНОГОРСКОМУ ГИДРОУЗЛУ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИВЕЛИРА Н-3 (S=100м)

Таблица Д.1 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-6	-4	11	0,089	-5	-55	-5,41	-59,56	322,50	-2,25	-1,55	-0,4878	-0,4394	0,0484
-4	-2	15	0,122	-3	-45	-3,41	-51,22	174,90	-1,55	-0,85	-0,4394	-0,3023	0,1371
-2	0	24	0,195	-1	-24	-1,41	-33,95	48,03	-0,85	-0,15	-0,3023	-0,0596	0,2427
0	2	34	0,276	1	34	0,59	19,90	11,65	-0,15	0,56	-0,0596	0,2123	0,2719
2	4	27	0,220	3	81	2,59	69,80	180,47	0,56	1,26	0,2123	0,3962	0,1839
4	6	12	0,098	5	60	4,59	55,02	252,31	1,26	1,96	0,3962	0,4750	0,0788
Сумма		123	1,0		51			989,85					0,9628

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 51 / 123 = 0,41 \text{ мм}$$

$$M = 2,85 / \sqrt{123} = 0,26 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{989,85 / (123 - 1)} = 2,85 \text{ мм}$$

$$m_m = 2,85 / \sqrt{2 \cdot (123 - 1)} = 0,18 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q(N = 123; P = 0,95) = 1,98$$

$$0,41 - 1,98 \cdot 0,26 < a < 0,41 + 1,98 \cdot 0,26 \Rightarrow -0,10 \text{ мм} < a < 0,92 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ"

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g(N = 123, P = 0,95) = 0,13$$

$$2,85 \cdot (1 - 0,13) < \sigma < 2,85 \cdot (1 + 0,13) \Rightarrow 2,48 \text{ мм} < \sigma < 3,22 \text{ мм}$$

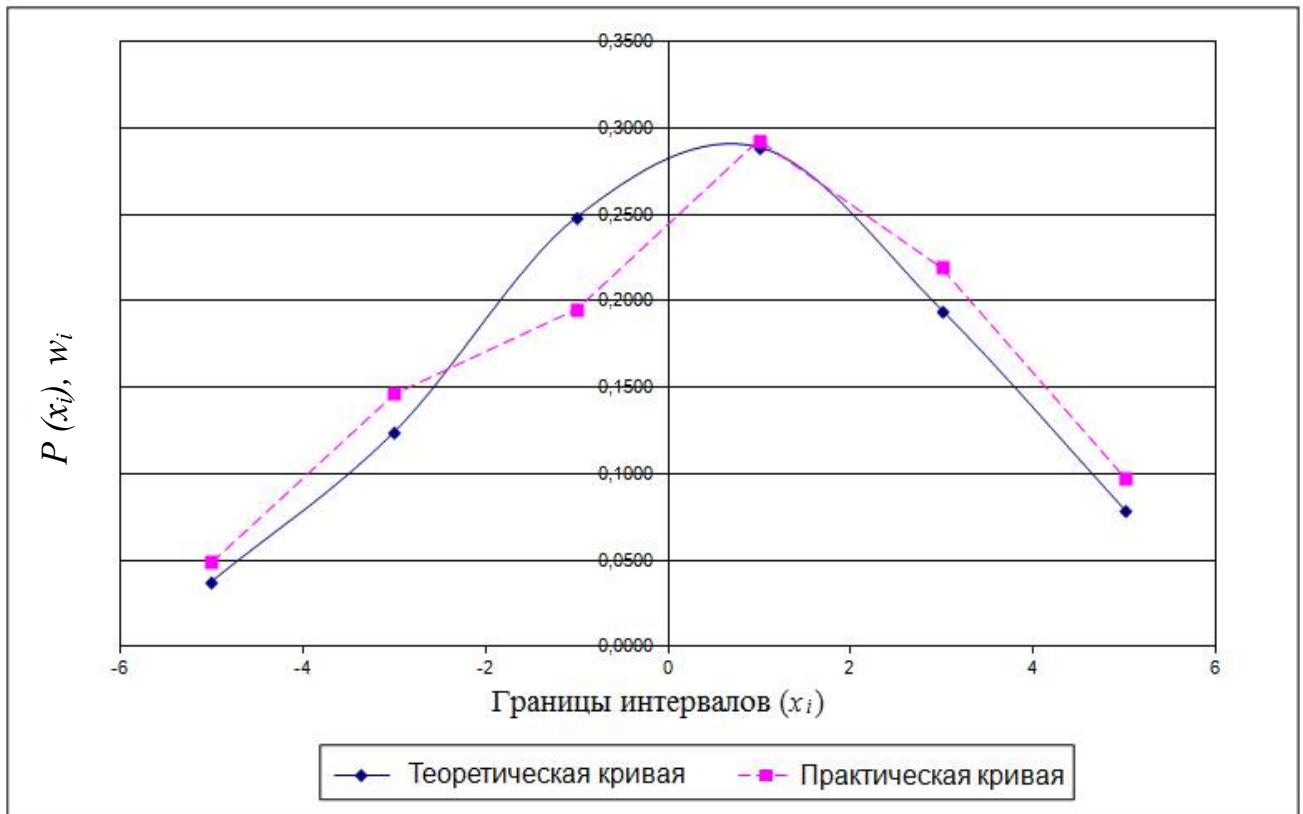


Рисунок Д.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот

Таблица Д.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-6	-4	11	0,0484	5,9532	5,047	25,470	4,28
-4	-2	15	0,1371	16,8633	-1,863	3,472	0,21
-2	0	24	0,2427	29,8521	-5,852	34,247	1,15
0	2	34	0,2719	33,4437	0,556	0,309	0,01
2	4	27	0,1839	22,6197	4,380	19,187	0,85
4	6	12	0,0788	9,6924	2,308	5,325	0,55
Сумма		123					$\chi^2_{\text{выч}} = 7,04$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,80$$

Таким образом $7,04 < 7,80$. Нулевая гипотеза не отвергается.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ
ДОРОГИ ВЕДУЩЕЙ КРАСНОГОРСКОМУ ГИДРОУЗЛУ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА (S=100м)

Таблица Е.1 – Статистическая обработка параметров распределения отклонений высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-6	-4	11	0,089	-5	-55	-5,01	-55,09	275,90	-2,13	-1,42	-0,4834	-0,4222	0,0612
-4	-2	18	0,146	-3	-54	-3,01	-54,15	162,88	-1,42	-0,71	-0,4222	-0,2611	0,1611
-2	0	34	0,276	-1	-34	-1,01	-34,28	34,56	-0,71	0,00	-0,2611	0,0000	0,2611
0	2	31	0,252	1	31	0,99	30,75	30,50	0,00	0,71	0,0000	0,2611	0,2611
2	4	16	0,130	3	48	2,99	47,87	143,22	0,71	1,41	0,2611	0,4207	0,1596
4	6	13	0,106	5	65	4,99	64,89	323,94	1,41	2,12	0,4207	0,4830	0,0623
Сумма		123	1,0		1			970,99					0,9664

$$\bar{x} = 1 / 123 = 0,01 \text{ мм}$$

$$M = 2,82 / \sqrt{123} = 0,25 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{970,99 / (123 - 1)} = 2,82 \text{ мм}$$

$$m_m = 2,82 / \sqrt{2 \cdot (123 - 1)} = 0,18 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 123; P = 0,95) = 1,98$$

$$0,01 - 1,98 \cdot 0,25 < a < 0,01 + 1,98 \cdot 0,25 \Rightarrow 0,49 \text{ мм} < a < 0,51 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 123, P = 0,95) = 0,13$$

$$2,82 \cdot (1 - 0,13) < \sigma < 2,82 \cdot (1 + 0,13) \Rightarrow 2,45 \text{ мм} < \sigma < 3,19 \text{ мм}$$

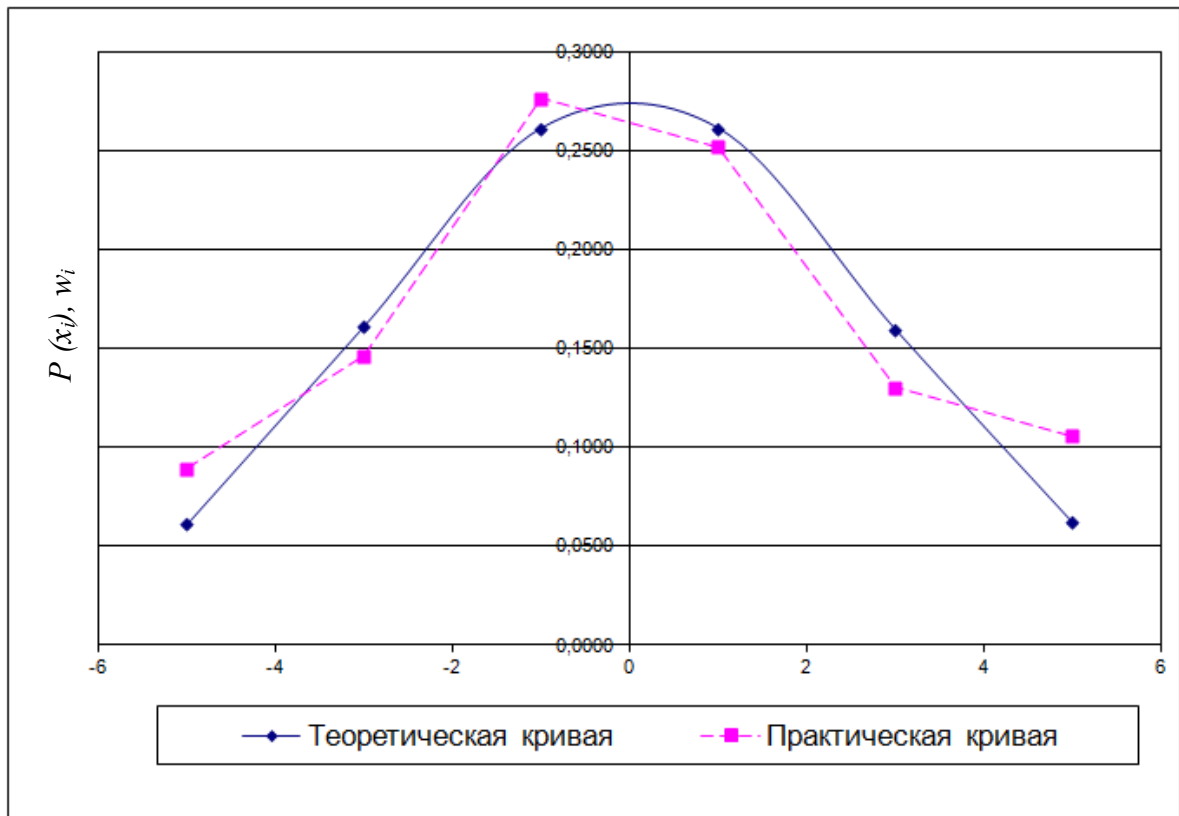


Рисунок Е.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения отклонений высот

Таблица Е.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости эмпирического распределения отклонений высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-6	-4	11	0,0612	7,5276	3,472	12,058	1,60
-4	-2	18	0,1611	19,8153	-1,815	3,295	0,17
-2	0	34	0,2611	32,1153	1,885	3,552	0,11
0	2	31	0,2611	32,1153	-1,115	1,244	0,04
2	4	16	0,1596	19,6308	-3,631	13,183	0,67
4	6	13	0,0623	7,6629	5,337	28,485	3,72
Сумма		123					$\chi^2_{\text{выч}} = 6,31$

При шести интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 3) = 7,8.$$

Таким образом $6,31 < 7,80$. Нулевая гипотеза не отвергается

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(обязательное)
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ
(ЧЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ, ЛЕВАЯ БРОВКА) ШАГ 10м

Таблица Ж.1 – Статистическая обработка параметров распределения амплитуд высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-20	-16	1	0,026	-18	-18	-18,46	-18,46	340,83	-2,65	-2,13	-0,4960	-0,4825	0,0135
-16	-12	0	0,000	-14	0	-14,46	0,00	0,00	-2,13	-1,62	-0,4825	-0,4474	0,0351
-12	-8	3	0,077	-10	-30	-10,46	-31,38	328,33	-1,62	-1,10	-0,4474	-0,3643	0,0831
-8	-4	8	0,205	-6	-48	-6,46	-51,69	334,01	-1,10	-0,58	-0,3643	-0,2190	0,1453
-4	0	7	0,179	-2	-14	-2,46	-17,23	42,41	-0,58	-0,06	-0,2190	-0,0239	0,1951
0	4	9	0,231	2	18	1,54	13,85	21,30	-0,06	0,46	-0,0239	0,1772	0,2011
4	8	5	0,128	6	30	5,54	27,69	153,37	0,46	0,98	0,1772	0,3365	0,1593
8	12	2	0,051	10	20	9,54	19,08	181,96	0,98	1,50	0,3365	0,4332	0,0967
12	16	3	0,077	14	42	13,54	40,62	549,87	1,50	2,02	0,4332	0,4788	0,0456
16	20	1	0,026	18	18	17,54	17,54	307,60	2,02	2,53	0,4788	0,4943	0,0155
Сумма		39	1,0		18			2259,69					0,9903

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 18 / 39 = 0,46 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 39; P = 0,95) = 2,03$$

$$M = 7,71 / \sqrt{39} = 1,23 \text{ мм}$$

$$0,46 - 2,03 \cdot 1,23 < a < 0,46 + 2,03 \cdot 1,23 \Rightarrow - 2,03 \text{ мм} < a < 2,95 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{2259,69 / (39 - 1)} = 7,71 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m_m = 7,71 / \sqrt{2 \cdot (39 - 1)} = 0,88 \text{ мм}$$

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 39, P = 0,95) = 0,24$$

$$7,71 \cdot (1 - 0,24) < \sigma < 7,71 \cdot (1 + 0,24) \Rightarrow 5,86 \text{ мм} < \sigma < 9,56 \text{ мм}$$

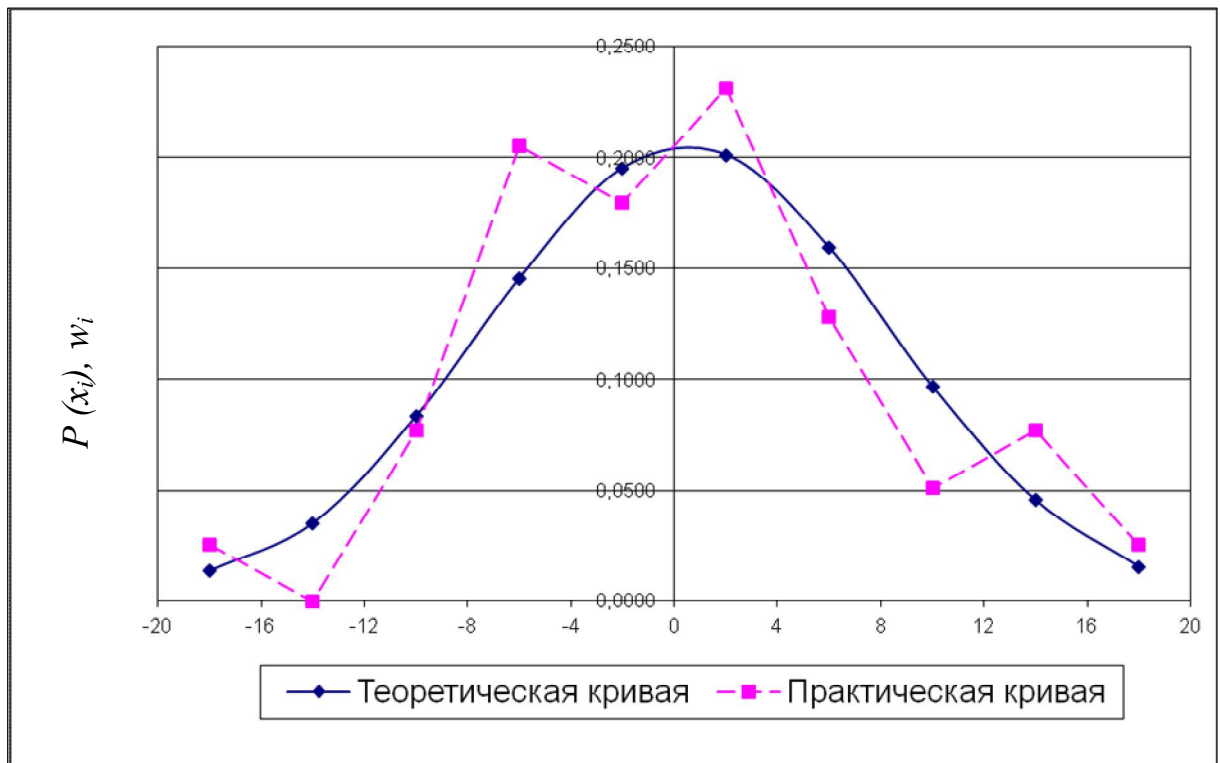


Рисунок Ж.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения амплитуд высот

Таблица Ж.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости распределения амплитуд высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-20	-16	1	0,0135	0,5265	0,474	0,224	0,43
-16	-12	0	0,0351	1,3689	-1,369	1,874	1,37
-12	-8	3	0,0831	3,2409	-0,241	0,058	0,02
-8	-4	8	0,1453	5,6667	2,333	5,444	0,96
-4	0	7	0,1951	7,6089	-0,609	0,371	0,05
0	4	9	0,2011	7,8429	1,157	1,339	0,17
4	8	5	0,1593	6,2127	-1,213	1,471	0,24
8	12	2	0,0967	3,7713	-1,771	3,138	0,83
12	16	3	0,0456	1,7784	1,222	1,492	0,84
16	20	1	0,0155	0,6045	0,396	0,156	0,26
Сумма		39					$\chi^2_{\text{выч}} = 5,14$

При 10 интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 7) = 14,1.$$

Таким образом $5,14 < 14,1$. Нулевая гипотеза не отвергается

ПРИЛОЖЕНИЕ И
(обязательное)
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ
(ЧЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ, ЦЕНТР) ШАГ 10м

Таблица И.1 – Статистическая обработка параметров распределения амплитуд высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-20	-16	2	0,051	-18	-36	-18,26	-36,51	666,59	-2,29	-1,84	-0,4890	-0,4671	0,0219
-16	-12	2	0,051	-14	-28	-14,26	-28,51	406,49	-1,84	-1,39	-0,4671	-0,4177	0,0494
-12	-8	3	0,077	-10	-30	-10,26	-30,77	315,58	-1,39	-0,93	-0,4177	-0,3238	0,0939
-8	-4	5	0,128	-6	-30	-6,26	-31,28	195,71	-0,93	-0,48	-0,3238	-0,1844	0,1394
-4	0	4	0,103	-2	-8	-2,26	-9,03	20,37	-0,48	-0,03	-0,1844	-0,0120	0,1724
0	4	10	0,256	2	20	1,74	17,44	30,40	-0,03	0,42	-0,0120	0,1628	0,1748
4	8	7	0,179	6	42	5,74	40,21	230,92	0,42	0,88	0,1628	0,3106	0,1478
8	12	3	0,077	10	30	9,74	29,23	284,81	0,88	1,33	0,3106	0,4048	0,0942
12	16	1	0,026	14	14	13,74	13,74	188,89	1,33	1,78	0,4048	0,4625	0,0577
16	20	2	0,051	18	36	17,74	35,49	629,67	1,78	2,23	0,4625	0,4871	0,0246
Сумма		39	1,0		10			2969,44					0,9761

$$\bar{x} = 10 / 39 = 0,26 \text{ мм}$$

$$M = 8,84 / \sqrt{39} = 1,42 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{2969,84 / (39 - 1)} = 8,84 \text{ мм}$$

$$m_m = 8,84 / \sqrt{2 \cdot (39 - 1)} = 1,01 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 39; P = 0,95) = 2,03$$

$$0,26 - 2,03 \cdot 1,42 < a < 0,26 + 2,03 \cdot 1,42 \Rightarrow -2,62 \text{ мм} < a < 3,14 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 39, P = 0,95) = 0,24$$

$$8,84 \cdot (1 - 0,24) < \sigma < 8,84 \cdot (1 + 0,24) \Rightarrow 6,72 \text{ мм} < \sigma < 10,96 \text{ мм}$$

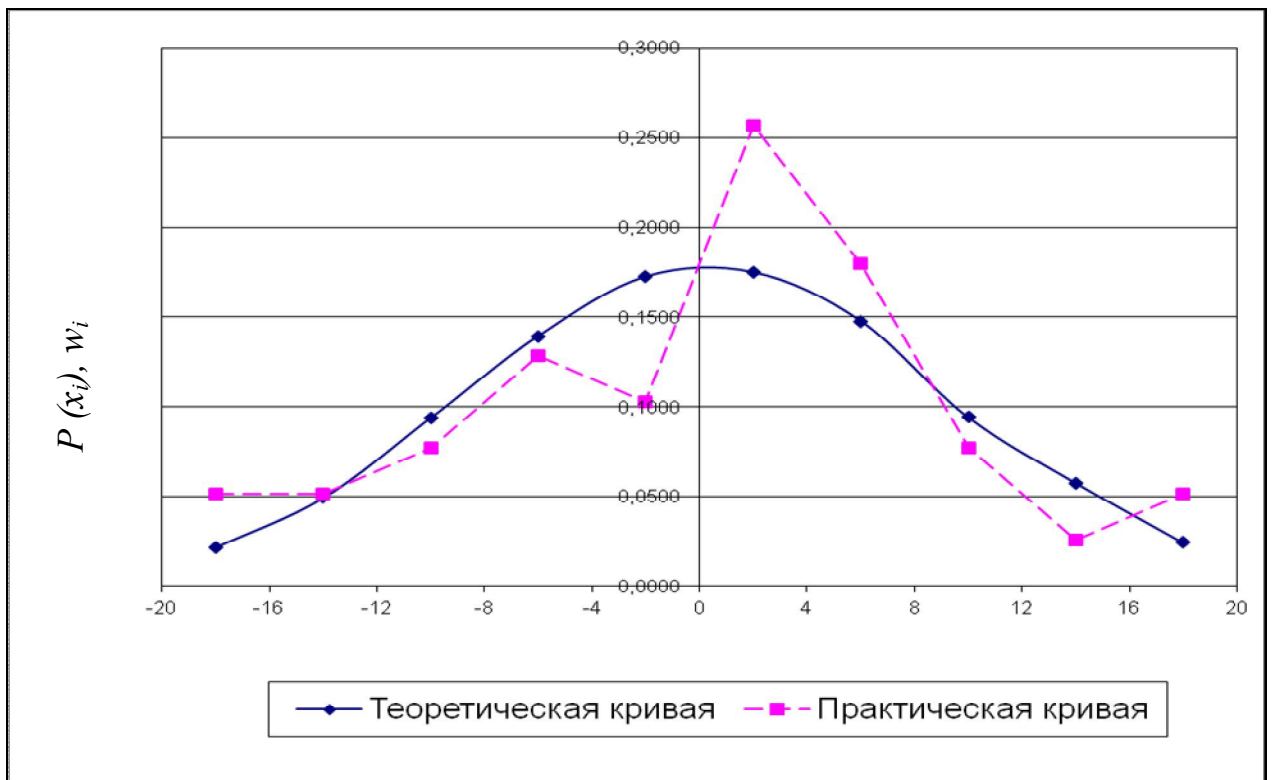


Рисунок И.2 – Теоретическая и практическая кривые распределения амплитуд высот

Таблица И.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости распределения амплитуд высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-20	-16	2	0,0219	0,8541	1,146	1,313	1,54
-16	-12	2	0,0494	1,9266	0,073	0,005	0,00
-12	-8	3	0,0939	3,6621	-0,662	0,438	0,12
-8	-4	5	0,1394	5,4366	-0,437	0,191	0,04
-4	0	4	0,1724	6,7236	-2,724	7,418	1,10
0	4	10	0,1748	6,8172	3,183	10,130	1,49
4	8	7	0,1478	5,7642	1,236	1,527	0,26
8	12	3	0,0942	3,6738	-0,674	0,454	0,12
12	16	1	0,0577	2,2503	-1,250	1,563	0,69
16	20	2	0,0246	0,9594	1,041	1,083	1,13
Сумма		39					$\chi^2_{\text{выч}} = 6,50$

При 10 интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 7) = 14,1.$$

Таким образом $6,50 < 14,1$. Нулевая гипотеза не отвергается

ПРИЛОЖЕНИЕ К
(обязательное)
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ
(ЧЕРНЫЙ ЩЕБЕНЬ, ПРАВАЯ БРОВКА) ШАГ 10м.

Таблица К.1 – Статистическая обработка параметров распределения амплитуд высот

Интервалы, мм		Частота n_i	Относ. частота w_i	Середина интерв. x_i мм	nx_i , мм	$x_i - \bar{x}$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})$, мм	$n_i(x_i - \bar{x})^2$, мм	$t_1 = \frac{a - \bar{x}}{m}$	$t_2 = \frac{b - \bar{x}}{m}$	$\frac{1}{2} \Phi(t_1)$	$\frac{1}{2} \Phi(t_2)$	$P(x_i)$
a	b												
-12	-8	3	0,077	-10	-30	-10,05	-30,15	303,08	-1,92	-1,28	-0,4726	-0,3997	0,0729
-8	-4	10	0,256	-6	-60	-6,05	-60,51	366,18	-1,28	-0,64	-0,3997	-0,2389	0,1608
-4	0	7	0,179	-2	-14	-2,05	-14,36	29,45	-0,64	-0,01	-0,2389	-0,0040	0,2349
0	4	7	0,179	2	14	1,95	13,64	26,58	-0,01	0,63	-0,0040	0,2357	0,2397
4	8	8	0,205	6	48	5,95	47,59	283,10	0,63	1,27	0,2357	0,3980	0,1623
8	12	3	0,077	10	30	9,95	29,85	296,93	1,27	1,90	0,3980	0,4713	0,0733
12	16	1	0,026	14	14	13,95	13,95	194,57	1,90	2,54	0,4713	0,4945	0,0232
Сумма		39	1,0		2			1499,90					0,9671

Доверительный интервал для "а"

$$\bar{x} = 1 / 39 = 0,05 \text{ мм}$$

$$M = 6,28 / \sqrt{39} = 1,01 \text{ мм}$$

$$m = \sqrt{1499,90 / (39 - 1)} = 6,28 \text{ мм}$$

$$m_m = 6,28 / \sqrt{2 \cdot (39 - 1)} = 0,72 \text{ мм}$$

$$\bar{x} - t_q \cdot M < a < \bar{x} + t_q \cdot M, \text{ где } t_q (N = 39; P = 0,95) = 2,03$$

$$0,05 - 2,03 \cdot 1,01 < a < 0,05 + 2,03 \cdot 1,01 \Rightarrow - 2,00 \text{ мм} < a < 2,10 \text{ мм}$$

Доверительный интервал для "σ":

$$m \cdot (1 - g) < \sigma < m \cdot (1 + g), \text{ где } g (N = 39, P = 0,95) = 0,24$$

$$6,28 \cdot (1 - 0,24) < \sigma < 6,28 \cdot (1 + 0,24) \Rightarrow 4,77 \text{ мм} < \sigma < 7,79 \text{ мм}$$

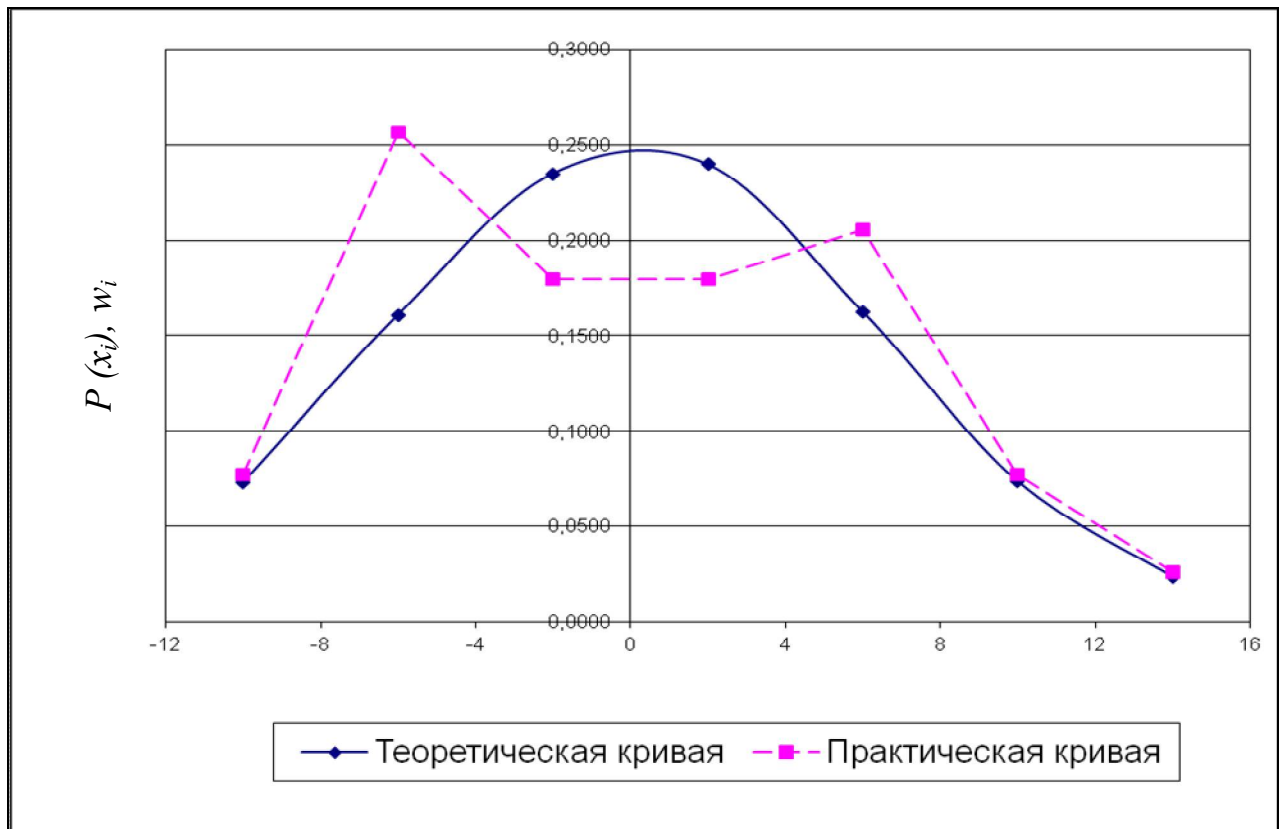


Рисунок К.1 – Теоретическая и практическая кривые распределения амплитуд высот

Таблица К.2 – Вычисление критерия Пирсона χ^2 для оценки сходимости распределения амплитуд высот с нормальным распределением

Интервалы, мм		Частота n_i	Вероятность $P(x_i)$	Теорет. частота $NP(x_i)$	$n_i - NP(x_i)$	$[n_i - NP(x_i)]^2$	$\frac{[n_i - NP(x_i)]^2}{NP(x_i)}$
a	b						
-12	-8	3	0,0729	2,8431	0,157	0,025	0,01
-8	-4	10	0,1608	6,2712	3,729	13,904	2,22
-4	0	7	0,2349	9,1611	-2,161	4,670	0,51
0	4	7	0,2397	9,3483	-2,348	5,515	0,59
4	8	8	0,1623	6,3297	1,670	2,790	0,44
8	12	3	0,0733	2,8587	0,141	0,020	0,01
12	16	1	0,0232	0,9048	0,095	0,009	0,01
Сумма		39					$\chi^2_{\text{выч}} = 3,78$

При семи интервалах число степеней свободы $k = 3$.

$$\chi^2(0,05; 4) = 9,5.$$

Таким образом $3,78 < 9,5$. Нулевая гипотеза не отвергается

ПРИЛОЖЕНИЕ Л
СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ ЦИФРОВОГО НИВЕЛИРА

РОССТАНДАРТ
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации
метрологии и испытаний в Омской области»
ФБУ «Омский ЦСМ»

Аттестат аккредитации на право поверки средств измерений № 027 от 15.08.2011 г.
Адрес: 644116, г. Омск, ул. 24-я Северная, д. 117а, тел. (3812) 68-07-99, факс: 68-04-07
http://csm.omsk.ru E-mail: info@ocsm.omsk.ru

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ
№ 0014848 Действительно до
29 мая 2014 г.

Средство измерений: Нивелир цифровой DiNi 0.7

номер по ГРСИ: 36716-08
диапазон измерений: Не нормирован
заводской номер(номера): 705274
принадлежащее: ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. Столыпина, ИНН 5502030791

поверено в соответствии МИ 1496-87
исходный эталон: УПТН (0,4 ")
при следующих значениях влияющих факторов: Т 22 *С; Р 753 мм.рт.ст.
и на основании результатов первичной (периодической) поверки
соответствует описанию типа, и признано пригодным к применению

Поверительное
клеймо:

Начальник отдела: /П.А.Мокеев/
Поверитель: /А.Н.Цыганок/
28 мая 2013 г.

Примечание: оборотная сторона заполняется при наличии соответствующих указаний в нормативном документе по поверке средств измерений

Результаты поверки

№	Параметр	по НД	Действит.
1	Внешний вид	НД	соответствует
2	Опробование	НД	соответствует
3	СКО измерения превышения по обычной рейке, НУ, мм/км	2,0	2,0
4	СКО измерения превышения по кодовой рейке, НУ, мм/км	0,7	0,4
5	СКО измерения дальности при нивелировании по кодовой рейке, НУ, мм/км	25	19

Нивелир поверен с рейкой

Протокол

1925 от 28.05.2013

Поверитель:

А.Н.Цыганок

ПРИЛОЖЕНИЕ М
СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА

РОССТАНДАРТ
Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации
метрологии и испытаний в Омской области»
ФБУ «Омский ЦСМ»

Аттестат аккредитации на право поверки средств измерений № 027 от 15.08.2011 г.
Адрес: 644116, г. Омск, ул. 24-я Северная, д. 117а, тел. (3812) 68-07-99, факс: 68-04-07
http://csm.omsk.ru E-mail: info@ocsm.omsk.ru

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ
№ 0014849 Действительно до
29 мая 2014 г.

Средство измерений: Тахеометр электронный Trimble M3 DR
номер по ГРСИ: 38253-08
диапазон измерений: Углов: (0 - 360)*; Расстояний: (1.2 - 3 000) м
заводской номер(номера): 131300
принадлежащее: ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. Столыпина, ИНН 5502030791

поверено в соответствии МИ 2798-2003
исходный эталон: Базис ОМ-1 (2 разряд); УПТН (0,4 ")
при следующих значениях влияющих факторов: Т 15 *С; Р 753 мм.рт.ст.
и на основании результатов первичной (периодической) поверки
соответствует описанию типа, и признано пригодным к применению

Поверительное
клеймо:  

Начальник отдела: _____ /П.А.Мокеев/
Поверитель: А.Н.Цыганок /А.Н.Цыганок/
28 мая 2013 г.

Примечание: оборотная сторона заполняется при наличии соответствующих указаний в нормативном документе по поверке средств измерений

Результаты поверки

№	Параметр	по НД	Действит.
1	Внешний вид	НД	соответствует
2	Опробование	НД	соответствует
3	СКО измерения углов, НУ, сек	5	5
4	СКО измерения расстояния на отражатель, РУ, мм/км	(5mm+2ppm)	(3mm+2ppm)
5	Погрешность измерения расстояния без отражателя, НУ, мм	(5mm+2ppm)	(4mm+2ppm)

Протокол 1926 от 28.05.2013

Поверитель:

А.Н.Цыганок

А.Н.Цыганок