Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК)

Учебно-методическое пособие по дисциплине

**ФИЗИКА ЗЕМЛИ И АТМОСФЕРЫ**

методические указания по выполнению Контрольной работы № 2

**Методы учета влияния атмосферы**

**на результаты геодезических измерений**

для студентов заочной формы обучения

по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия и

направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование

|  |  |
| --- | --- |
| Составитель: | Вшивкова О.В., д.т.н. |
|  | *Рекомендовано к использованию в учебном процессе МИИГАиК*  *решением Редакционно-издательского совета (протокол № ­­­ от*  *« » 2020 г.)* |
| Рецензенты: | Литвиненко М.В., декан факультета дистанционных форм обучения МИИГАиК, д.п.н. |

Москва 2020 г.

**Оглавление**

|  |  |
| --- | --- |
|  | стр. |
| 1. Требования к знаниям, умениям, которые студент должен будет продемонстрировать по результатам самостоятельной учебно-познавательной деятельности в ходе выполнения работы | 3 |
| 1. Критерии оценивания Контрольной работы № 2 | 4 |
| 1. Задание Контрольной работы № 2 | 5 |
| 1. Методические указания по выполнению контрольной работы № 2 | 7 |
| * 1. Некоторые методы определения поправок за влияние атмосферы, используемые в геодезическом производстве | 7 |
| Примеры решения задач | 11 |
| * 1. Некоторые практические рекомендации по решению задач Контрольной работы № 1 | 16 |
| 1. Методические указания по оформлению контрольной работы № 2 | 17 |
| 1. Вопросы для самоконтроля | 18 |
| 1. Перечень рекомендуемой литературы | 18 |
| 1. Приложения: |  |
| * 1. Индивидуальные исходные данные | 20 |
| * 1. Точность нивелирования I, II, III и IV классов | 22 |
| * 1. Образец оформления задач Контрольной работы № 2 | 23 |

1. **Требования к знаниям, умениям, которые студент должен будет продемонстрировать по результатам самостоятельной учебно-познавательной деятельности в ходе выполнения работы**

|  |  |
| --- | --- |
| **Знать** | что такое коэффициент рефракции; |
| каков характер его зависимости от градиентов показателя преломления и метеопараметров; |
| чему равен стандартный коэффициент рефракции, и каков разброс реальных значений коэффициента рефракции в земной атмосфере; |
| к каким ошибкам может привести использование стандартного коэффициента рефракции вместо его фактического значения; |
| каким образом в электронной тахеометрии вычисляют поправку за влияние атмосферы на результаты линейных измерений; |
|  | что такое тропосферная задержка, и какая информация необходима геодезисту для моделирования тропосферной задержки. |
| **Уметь** | вводить поправки за влияние атмосферы в результаты тригонометрического нивелирования, наземных и спутниковых линейных измерений. |

1. **Критерии оценивания Контрольной работы № 2:**

Для допуска к экзамену должны быть зачтены обе контрольные работы, предусмотренные учебным планом, и пройден тест по материалу Раздела 1 «Физика Земли». Окончательная оценка за пройденный курс «Физика Земли и атмосферы» формируется из четырех оценок:

1. Тест по Разделу 1.
2. Контрольная работа № 1.
3. Контрольная работа № 2.
4. Экзамен.

Контрольные работы считаются зачтенными, если оценка за их выполнение лежит в диапазоне 3-5 баллов.

Параметры, учитываемые при оценивании Контрольной работы № 2:

1. Умение использовать математический аппарат, изложенный в данном учебно-методическом пособии.
2. Умение выполнять расчеты, грамотно переходить от одних единиц измерений к другим.
3. Умение формулировать развернутый вывод (ответ) по результатам решения задачи.
4. Владение терминологией, используемой в геодезии, ТМОГИ, изучаемой дисциплине.
5. Соответствие оформления работы требованиям, изложенным в пункте 4.2, разделе 5 и Приложении 8.3 данного пособия.
6. Качество оформления.
7. **Задание контрольной работы № 2**

Исходные данные к задачам Контрольной работы № 2 приведены в Приложении 8.1. Расстояния *D* взять из исходных данных к Контрольной работе № 1. Номер варианта – две последние цифры шифра студента.

*Например*, если шифр заканчивается на 08, то номер варианта – 8.

**Учет влияния атмосферы в тригонометрическом нивелировании**

***Задача 1.*** Вычислить поправку *hr* в превышение за влияние вертикальной рефракции, если превышение измерено методом тригонометрического нивелирования на трассе протяженностью *D* (наклонная дальность), а фактический коэффициент рефракции равен *k*факт, средний радиус кривизны земного сфероида принять равным 6371 км.

***Задача 2.*** В условиях предыдущей задачи вычислить ошибку  определения поправки за рефракцию, если при вычислениях использовали стандартный коэффициент рефракции, равный +0,14. Сравнить полученное значение с предельной случайной средней квадратической ошибкой нивелирования I, II, III и IV классов (предельную ошибку принять равной **утроенной случайной средней квадратической ошибке** (Приложение 8.2)). Сделать вывод о соответствии полученной точности требованиям Инструкции по геометрическому нивелированию.

***Задача 3.*** В условиях *Задачи 1* вычислить значения вертикальных градиентов показателя преломления  и температуры , которые могли сформировать такое значение *k*факт. Градиент давления считать равным его нормальному значению 0,12 гПа/м. Градиентом влажности пренебречь.

**Учет влияния атмосферы в наземных линейных измерениях**

***Задача 4***. Вычислить поправку Δ*D* в измеренную наклонную дальность *D*, если температура и давление в точке стояния прибора равны *t*нач и *p*нач. Для определения индекса преломления использовать формулу (5).

***Задача 5.*** Показатель преломления вычисляли, используя температуру *t*нач и давление *p*нач, измеренные на высоте 1,5 м встроенными в электронный тахеометр датчиками. Между тем, в среднем траектория длиной *D* проходила на высоте 20 м над подстилающей поверхностью. Вычислить ошибку в измеренном расстоянии Δ*D*, если средние для слоя (1,5-20) м значения градиентов температуры и давления равны  . Влиянием влажности пренебречь.

***Примечание.***Изменение температуры Δ*T* и давления Δ*p* c высотой вычислить, используя их вертикальные градиенты и разность высот:



**Учет влияния атмосферы в спутниковых линейных измерениях**

***Задача 6***. Используя модель Хопфилд, вычислить значение тропосферной задержки  для спутника, расположенного на высоте *α* над горизонтом, если температура и давление в точке расположения спутникового приемника равны *t*нач и *p*нач, а влиянием влажной составляющей тропосферной задержки пренебрегли.

***Задача 7.*** В условиях предыдущей задачи оценить ошибку определения псевдодальности Δ*d*, обусловленную пренебрежением влажной составляющей тропосферной задержки, если парциальное давление водяного пара в точке расположения спутникового приемника равно *e*.

1. **Методические указания по выполнению контрольной работы № 2**
   1. Некоторые методы определения поправок за влияние атмосферы, используемые в геодезическом производстве

**В тригонометрическом нивелировании** для учета влияния вертикальной рефракции используют **коэффициент рефракции** *k*, под которым понимают отношение радиуса кривизны Земли *R*З к среднему радиусу кривизны рефракционной кривой *ρ*ср. В отличие от угла рефракции коэффициент рефракции не зависит от длины траектории:

, (1)

где  – средний для визирной линии вертикальный градиент показателя преломления. Поправку  в измеренное превышение за влияние рефракции вычисляют по формуле:

 (2)

где *D* – длина траектории.

Средняя квадратическая ошибка  определения поправки за рефракцию связана со средней квадратической ошибкой  определения коэффициента рефракции формулой вида:

 (3)

Формула (3) получена с помощью формулы средней квадратической ошибки функции общего вида при условии, что влияние других источников ошибок пренебрежимо мало.

В практике геодезического производства при расчете поправки за влияние вертикальной рефракции принято заменять фактическое значение коэффициента рефракции *k*факт его стандартным значением *k*ст, характеризующим некоторое среднестатистическое состояние атмосферы. Средний радиус кривизны рефракционной кривой равен семи радиусам Земли. Соответствующее значение коэффициента рефракции



и называют *стандартным коэффициентом рефракции*. В программном обеспечении электронных тахеометров при обработке тригонометрического нивелирования используют, как правило, *k*=+(0,13-0,14).

Если фактический коэффициент рефракции отличается от использованного при вычислении поправки на величину , поправка за влияние рефракции будет определена с ошибкой, равной

 (4)

**Наземные линейные измерения**. В современном геодезическом производстве наземные линейные измерения, как правило, выполняют посредством электронных тахеометров. В качестве источников излучения в электронных тахеометрах используют лазеры с длиной волны излучения, близкой к (800-900) нм (инфракрасный диапазон). При расчетах по умолчанию используют значение показателя преломления для данной длины волны излучения для cтандартных условий. В подавляющем большинстве марок электронных тахеометров стандартные значения температуры, атмосферного давления и абсолютной влажности принимают равными их нормальным значениям на уровне моря: +20 °C, 1013,25 гПа и 13,33 гПа, соответственно. Подставив эти значения в формулу, подобную зависимости (16) [2], получают **нормальное значение индекса преломления**.

Для различных тахеометров формулы для вычисления индекса преломления отличаются коэффициентами при отношениях  и , где *p*, *T* и *e* – давление, абсолютная температура и влажность (парциальное давление водяного пара) воздуха. Значения коэффициентов зависят от длины волны излучения, генерируемого в данном тахеометре. Например, в электронном тахеометре NikonNPL-632 с длиной волны излучения 870 нм значение нормального индекса преломления принимают равным 275 *N*-ед, а фактический индекс преломления вычисляют по упрощенной зависимости:

 (5)

Поправку в измеренное расстояние за отличие фактического состояния атмосферы от стандартных условий выражают в мм/км и обозначают ***ppm***:

 (6)

где  – значение индекса преломления, вычисленное по фактическим значениям температуры и давления. Отличие фактической влажности от ее нормального значения обычно не учитывают, что оправдано при измерениях в оптическом диапазоне. Температуру и давление, как правило, определяют только в точке стояния прибора, пренебрегая возможным изменением состояния атмосферы вдоль измеряемой дистанции.

**Спутниковые геодезические измерения.** Скорость  распространения спутникового сигнала в *нейтральной атмосфере* (⁓ нижние 50 км) меньше скорости *c* в вакууме и зависит от физического состояния атмосферы вдоль траектории, которое характеризуют температура, давление и влажность воздуха. Зависимость показателя преломления радиоволн от метеопараметров описывает формула Фрума-Эссена (17) [2]. Задержку сигнала в нейтральной атмосфере, несмотря на то, что она включает совокупное влияние тропосферы и стратосферы, принято называть **тропосферной задержкой** :

 (7)

, (8)

где  и  – расстояние, пройденное радиосигналом за время  в вакууме и тропосфере, соответственно.

Тропосферная задержка формируется в нижних слоях атмосферы толщиной (40-45) км и составляет около (2,3-2,5) м для спутника, расположенного в зените. Программное обеспечение, используемое при обработке спутниковых измерений, позволяет учесть влияние тропосферной задержки с помощью моделей атмосферы. Наибольшее распространение получили модели, позволяющие учесть фактические значения метеопараметров в месте расположения спутникового приемника. Это модели Хопфилд, Саастамойнена и др.

Процесс вычисления тропосферной задержки рассмотрим на примере модели Хопфилд [3]. Используя результаты наземных метеорологических измерений, вычисляют высоту тропосферы для сухой составляющей показателя преломления:

, (9)

где *T* – температура воздуха в точке расположения приемника в градусах по шкале Кельвина.

Высоту тропосферы *H*в для влажной составляющей показателя преломления принимают равной 11000 м (нижний слой атмосферы, в котором сосредоточена основная масса атмосферной влаги). Для определения сухой  и влажной  зенитных тропосферных задержек используют формулы:

 (10)

где *P* и *e* – давление и влажность (парциальное давление водяного пара) в точке расположения приемника, выраженные в гПа.

Полная тропосферная задержка для спутника, расположенного на произвольной высоте  над горизонтом, рассчитывают по формуле:

 (11)

**Примеры решения задач**

***Пример 1.*** Вычислить поправку за влияние вертикальной рефракции в превышение, измеренное методом тригонометрического нивелирования на трассе протяженностью 1500 м (наклонная дальность), используя стандартный коэффициент рефракции 0,14 и средний радиус кривизны земного сфероида 6371 км.

*Решение*. Воспользуемся формулой (2):



*Ответ:* при использовании стандартного коэффициента рефракции 0,14 поправка в превышение для дистанции длиной 1,5 км равна -25 мм.

***Пример 2***. В условиях предыдущей задачи вычислить ошибку  определения поправки за рефракцию, если на момент измерений фактический градиент температуры  на высоте визирного луча был равен +0,1 оС/м. Сравнить полученное значение с точностью геометрического нивелирования IV класса (Приложение 8.2). Градиент давления принять равным его нормальному значению , влиянием градиента влажности пренебречь.

*Решение*. По формуле (20) [2] вычислим средний для трассы градиент показателя преломления:



Воспользуемся формулой (1) для определения фактического значения коэффициента рефракции:



Тогда фактическая поправка за влияние вертикальной рефракции, согласно формуле (2), будет равна:



Ошибка определения поправки за рефракцию составит:



Согласно Инструкции случайная средняя квадратическая ошибка определения превышения в нивелирном ходе IV класса – 10 мм/км. Предельная случайная средняя квадратическая ошибка с учетом расстояния 1,5 км равна:



*Вывод:* Ошибка, обусловленная использованием стандартного коэффициента рефракции, в данном случае превысила допустимое значение в 2 раза.

***Пример 3.*** Вычислить наклонную дальность, исправленную за влияние атмосферы , если температура и давление, измеренные в точке стояния прибора равны -15 оС и 1020 гПа, соответственно, а измеренное расстояние составило 1025,098 м. При вычислении нормального и фактического значений индекса преломления использовать упрощенную зависимость (5).

*Решение*. Вычислим нормальный  и фактический *N* индексы преломления:

,



Поправка за отличие температуры и давления от нормальных условий:



Поправка в измеренное расстояние:



Наклонная дальность после коррекции:



*Ответ:* Расстояние, исправленное за отличие фактического состояния атмосферы от нормальных условий, равно 1025,058 м.

***Пример 4.*** В условиях предыдущей задачи сравнить ошибку определения расстояния, обусловленную неучетом поправки *ppm*, с приборной погрешностью (для Nikon NPL-632 ошибка измерения расстояния с призмой – 3мм+2мм/км).

*Решение.* Ошибка определения расстояния  вследствие неучета поправки за фактическое состояние атмосферы равна 39 мм/км или в относительной мере



Абсолютная и относительная приборные погрешности равны, соответственно:



*Вывод.* Неучет фактического состояния атмосферы при данных условиях приведет к ошибке, почти в 8 раз превышающей влияние приборной погрешности.

***Пример 5***. Оценить влияние ошибки определения показателя преломления, вычисленного по результатам измерения температуры и давления в начальной точке дистанции *t*нач=+25 оС, *p*нач=1005 гПа, если трасса протяженностью около 2 км проходит над двумя резко отличающимися подстилающими поверхностями, температура на высоте траектории в конце измеряемой дистанции *t*кон=+30 оС, протяженность трассы над каждой подстилающей поверхностью примерно одинаковая, давление вдоль трассы практически не менялось. Измерения выполнены тахеометром Nikon NPL-632.

*Решение.* Индекс преломления в начале трассы равен:



Т.к. протяженность участков трассы одинаковая, среднее значение индекса преломления вычислим, используя среднюю температуру:



Ошибка определения индекса преломления:



Ошибка определения расстояния:



В относительной мере:



*Вывод.* В данных условиях измерение температуры и давления только в начальной точке дистанции практически не сказалось на точности измерения наклонной дальности.

***Пример 6***. Используя модель Хопфилд, вычислить значение тропосферной задержки для спутника, расположенного на высоте 40о над горизонтом, если температура, давление и влажность в точке расположения спутникового приемника равны соответственно -10 оС, 1015 гПа и 1 гПа.

*Решение*. По формуле (9) вычислим высоту тропосферы для сухой составляющей показателя преломления:



Согласно формуле (10) сухая и влажная составляющие зенитной тропосферной задержки равны:





Воспользуемся формулой (11) для вычисления полной тропосферной задержки с учетом высоты спутника:



*Ответ:* В данном случае тропосферная задержка, вычисленная по модели Хопфилд, равна 3,614 м.

**4.2 Некоторые практические рекомендации по решению задач Контрольной работы № 1**

1. ***Задача 5.*** Нельзя забывать о том, что

***–*** вертикальные градиенты метеопараметров имеют знак «+», если параметр атмосферы убывает с высотой (нормальный высотный ход), и является отрицательным, если наблюдается инверсия метеопараметра (увеличение с высотой);

***–*** давление с высотой всегда убывает.

1. ***Задачи 6-7*** сводятся к определению сухой и влажной составляющих тропосферной задержки, вычисленных с учетом возвышения спутника над горизонтом.
2. Количество значащих цифр в численных значениях, используемых в процессе вычислений и полученных в результате решения задач, должно соответствовать точности данного вида геодезических измерений.
3. **Методические рекомендации по оформлению Контрольной работы № 2**

Задание Контрольной работы № 2 следует оформить в текстовом редакторе *WORD* и представить на проверку в виде файла с расширением *doc* или *docx*.

*Примечание.* При отсутствии у студента навыков работы в *WORD* или в редакторах формул допускается полное или частичное (в части формул и вычислений) оформление контрольной работы в виде рукописи с соблюдением прочих изложенных требований к оформлению. В этом случае рукопись может быть отсканирована и представлена в виде ОДНОГО файла в формате *pdf* или ОДНОГО файла в форматах *doc* или *docx*, в который фотографии отдельных страниц рукописи вставлены в текстовом редакторе *WORD* в качестве РИСУНКОВ.

На титульном листе указать

1. номер и название контрольной работы (см. титульный лист данного учебно-методического пособия);
2. название дисциплины;
3. ФИО студента и номер группы;
4. шифр студента.

Оформление каждой задачи включает:

1. Полный текст условия задачи.
2. Сокращенную форму записи условия в принятых обозначениях.
3. Процесс вычислений, изложенный в следующей последовательности:

формула (в принятых обозначениях) – формула с подставленными численными значениями – этапы вычислений (можно опустить) – полученный результат.

*Примечание.* Численные значения при необходимости округлять с учетом практической рекомендации 3 пункта 4.2 данного пособия.

1. Развернутый ответ (вывод).

Образец оформления задач контрольной работы представлен в Приложении 8.3.

1. **Вопросы для самоконтроля**
2. Как связан коэффициент рефракции с градиентом показателя преломления? С градиентами метеопараметров?
3. Какое значение коэффициента рефракции называют стандартным? На каком основании оно получено?
4. Каков реальный разброс значений коэффициента рефракции?
5. Какого порядка ошибку можно получить в превышении, если для учета вертикальной рефракции использовать стандартный коэффициент рефракции?
6. Какое значение индекса преломления использует по умолчанию электронный тахеометр?
7. Каким образом вводят поправку в результаты наземных линейных измерений за отличие фактического состояния атмосферы от нормальных условий?
8. Что такое тропосферная задержка?
9. Как ее вычисляют?
10. Какая информация необходима геодезисту для вычисления тропосферной задержки с помощью модели Хопфилд?
11. **Перечень рекомендуемой литературы:**
12. Вшивкова О.В. Физика Земли и атмосферы. Влияние атмосферы на результаты геодезических измерений: Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2017. – 88 с. Лекции по фа

<http://www.miigaik.ru/upload/iblock/122/1229544d453c8322928cfe9bca7fb6b1.pdf>

1. Вшивкова О.В. Физика Земли и атмосферы. Раздел 2. Физика атмосферы: учебно-методическое пособие и контрольные работы № 1, № 2. – М.: МИИГАиК, – 2017. – 38 с. Новое по КР 1

<http://www.miigaik.ru/upload/iblock/1b5/1b5fee26997a6c6b38e4a2a5473d4c58.pdf>

1. По модели хопфилд
2. **Приложения**

**8.1 Индивидуальные исходные данные**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **вариант** | ***k*факт** | ***p*нач,** в гПа | ***t*нач,** в оС | ***e*,** в гПа | *α°* |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | 6 |
| 0 | -0,90 | 1015 | -5 | 3 | 25 |
| 1 | 0,50 | 975 | 25 | 20 | 55 |
| 2 | 1,00 | 1015 | 25 | 20 | 55 |
| 3 | -0,90 | 1020 | 0 | 5 | 55 |
| 4 | 0,60 | 975 | -20 | 2 | 25 |
| 5 | -0,50 | 995 | -10 | 3 | 45 |
| 6 | 0,20 | 970 | -15 | 2 | 20 |
| 7 | 0,80 | 1025 | -15 | 2 | 40 |
| 8 | 0,05 | 990 | 0 | 5 | 65 |
| 9 | -0,05 | 980 | -25 | 2 | 40 |
| 10 | 0,60 | 975 | -30 | 2 | 60 |
| 11 | -0,30 | 1000 | 5 | 10 | 50 |
| 12 | 1,00 | 1020 | 20 | 20 | 15 |
| 13 | -0,80 | 1000 | -5 | 3 | 70 |
| 14 | 0,60 | 970 | 0 | 5 | 30 |
| 15 | -0,90 | 1025 | 15 | 15 | 20 |
| 16 | -0,80 | 1020 | -5 | 3 | 25 |
| 17 | -0,90 | 995 | -20 | 2 | 35 |
| 18 | 0,50 | 980 | -15 | 2 | 20 |
| 19 | -0,60 | 1015 | 5 | 10 | 70 |
| 20 | -0,20 | 980 | 30 | 25 | 70 |
| 21 | -1,00 | 1000 | 10 | 15 | 30 |
| 22 | 0,50 | 1025 | -25 | 2 | 65 |
| 23 | 0,40 | 975 | -15 | 2 | 20 |
| 24 | -0,70 | 990 | 15 | 15 | 45 |
| 25 | -0,10 | 980 | 0 | 5 | 35 |
| 26 | -0,60 | 995 | -20 | 2 | 80 |
| 27 | 0,05 | 985 | 5 | 10 | 70 |
| 28 | 0,20 | 985 | -30 | 2 | 75 |
| 29 | -1,00 | 1025 | -5 | 3 | 50 |
| 30 | -1,00 | 1015 | 25 | 20 | 60 |
| 31 | 0,80 | 970 | 15 | 15 | 35 |
| 32 | -0,20 | 995 | -25 | 2 | 55 |
| 33 | 0,30 | 975 | -20 | 2 | 15 |
| 34 | 1,00 | 1000 | -30 | 2 | 25 |
| 35 | 0,60 | 1025 | 0 | 5 | 70 |
| 36 | 0,90 | 1015 | 20 | 20 | 15 |
| 37 | -1,00 | 1025 | -15 | 2 | 15 |

Продолжение таблицы Приложения 8.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | 6 |
| 38 | 0,30 | 980 | 15 | 15 | 45 |
| 39 | 0,10 | 990 | 10 | 15 | 70 |
| 40 | 0,90 | 1025 | -10 | 3 | 75 |
| 41 | -0,40 | 1000 | -10 | 3 | 80 |
| 42 | 1,00 | 1025 | -10 | 3 | 45 |
| 43 | -0,60 | 1000 | -10 | 3 | 40 |
| 44 | -1,00 | 1020 | 30 | 25 | 20 |
| 45 | -0,50 | 990 | -30 | 2 | 15 |
| 46 | 0,20 | 980 | -5 | 3 | 80 |
| 47 | -0,60 | 990 | 10 | 15 | 50 |
| 48 | 0,10 | 985 | 30 | 25 | 35 |
| 49 | 0,50 | 970 | 5 | 10 | 25 |
| 50 | -0,80 | 1020 | 25 | 20 | 60 |
| 51 | -0,30 | 990 | 5 | 10 | 55 |
| 52 | -0,70 | 1000 | -10 | 3 | 35 |
| 53 | 0,30 | 970 | 5 | 10 | 55 |
| 54 | 0,10 | 975 | -15 | 2 | 45 |
| 55 | -0,10 | 995 | 20 | 20 | 60 |
| 56 | 0,70 | 1025 | 10 | 15 | 35 |
| 57 | -0,40 | 990 | -20 | 2 | 20 |
| 58 | 0,30 | 985 | 0 | 5 | 80 |
| 59 | 0,05 | 975 | 5 | 10 | 80 |
| 60 | -0,60 | 1015 | 0 | 5 | 35 |
| 61 | 0,70 | 1020 | 25 | 20 | 75 |
| 62 | -0,10 | 985 | 10 | 15 | 65 |
| 63 | -0,40 | 1000 | -20 | 2 | 45 |
| 64 | 0,40 | 980 | 20 | 20 | 50 |
| 65 | 0,70 | 970 | 30 | 25 | 65 |
| 66 | -0,50 | 1000 | -30 | 2 | 75 |
| 67 | -0,20 | 990 | -5 | 3 | 60 |
| 68 | 0,10 | 980 | 30 | 25 | 75 |
| 69 | -0,10 | 990 | -20 | 2 | 25 |
| 70 | -0,30 | 980 | 15 | 15 | 65 |
| 71 | -0,80 | 1015 | -30 | 2 | 30 |
| 72 | -0,40 | 995 | 10 | 15 | 50 |
| 73 | 1,00 | 1015 | 0 | 5 | 20 |
| 74 | -0,50 | 1015 | -10 | 3 | 40 |
| 75 | 0,90 | 970 | 30 | 25 | 40 |
| 76 | -0,30 | 995 | -10 | 3 | 15 |
| 77 | 0,20 | 985 | 25 | 20 | 40 |
| 78 | 0,80 | 1020 | -25 | 2 | 80 |

Продолжение таблицы Приложения 8.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | 6 |
| 79 | -0,10 | 975 | 20 | 20 | 75 |
| 80 | 0,80 | 970 | -5 | 3 | 70 |
| 81 | 0,40 | 970 | -15 | 2 | 60 |
| 82 | 0,40 | 980 | -20 | 2 | 15 |
| 83 | -0,20 | 995 | 10 | 15 | 20 |
| 84 | -0,50 | 985 | -15 | 2 | 55 |
| 85 | 0,20 | 975 | 30 | 25 | 50 |
| 86 | -0,90 | 1000 | -30 | 2 | 65 |
| 87 | -0,30 | 985 | 15 | 15 | 25 |
| 88 | 0,10 | 970 | -25 | 2 | 15 |
| 89 | -0,20 | 985 | 20 | 20 | 30 |
| 90 | -0,70 | 1020 | -25 | 2 | 30 |
| 91 | -0,70 | 995 | 20 | 20 | 75 |
| 92 | 0,70 | 975 | -30 | 2 | 30 |
| 93 | -0,70 | 1015 | -25 | 2 | 65 |
| 94 | -0,05 | 990 | -25 | 2 | 30 |
| 95 | -0,80 | 995 | 5 | 10 | 40 |
| 96 | 0,90 | 1020 | -5 | 3 | 45 |
| 97 | 1,00 | 1020 | 15 | 15 | 50 |
| 98 | 1,00 | 1025 | 25 | 20 | 80 |
| 99 | -0,40 | 985 | 10 | 15 | 60 |

**8.2** Точность нивелирования I, II, III и IV классов[[1]](#footnote-1)

| **Класс нивелирования** | **Случайная средняя**  **квадратическая ошибка, мм/км** |
| --- | --- |
| I | 0,8 |
| II | 2,0 |
| III | 5,0 |
| IV | 10,0 |

**8.3 Образец оформления задач Контрольной работы № 2**

***Задача 1.*** Вычислить поправку за влияние вертикальной рефракции в превышение, измеренное методом тригонометрического нивелирования на трассе протяженностью 1500 м (наклонная дальность), используя стандартный коэффициент рефракции 0,14 и средний радиус кривизны земного сфероида 6371 км.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *D* | = |  | |
| *k* | = | +0,14 | |
|  | = | 6371 км | |
|  | | = | ? |



*Ответ:* при использовании стандартного коэффициента рефракции 0,14 поправка в превышение для дистанции длиной 1,5 км равна -25 мм.

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М.: ЦНИИГАиК, 2003. 135 с. [↑](#footnote-ref-1)