

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

на правах рукописи

УДК № 528.486,3

ТУРАПОВ ЭЛДОР ДАНИЯРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Специальность: 5А540101 «Прикладная геодезия»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра

**Работа рассмотрена и
руководитель:
допускается к защите
К.Р.**

Научный

к.т.н доц. Рахмонов

Консультант:

к.т.н. Абдуллаев Т.М.

**Зав. кафедрой
«Геодезия и кадастр»
А.Р. Бобожданов
«__» _____ 2012г.**

ТАШКЕНТ-2012

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан факультета

_____ Ташпулатов С.А.

«___» _____ 201_ г.

Задание по подготовке и написанию магистерской диссертации

Магистерская диссертация по теме: **Исследование точности геодезических работ при строительстве мостовых сооружений**

утвержденная приказом ректора института от **24.02. 2011г.**

за номером **2/87** по кафедре **"Геодезия и кадастр"**

за магистрантом **Турапов Элдор Даниярович**

научный руководитель **к.т.н. доц. Рахмонов К.Р.**

Ф.И.О., занимаемая должность, ученая степень, ученое звание

Должна быть подготовлена и представлена к предварительной защите на кафедре

"Геодезия и кадастр» 18 июня 2012 года.

число, месяц, год

1. В работе будут использованы: **Архивные материалы, статьи, ГОСТ 16263-70. Метрологическая аттестация средств измерений, Научно-технический отчет по теме универсальный измерительный комплекс.**

результаты экспериментов, стат. данные публикации, труды и т. д.
законодательные и нормативные акты, инструкции и положения

В работе предусматриваются: **Исследование точности геодезических работ при строительстве мостовых сооружений**

В работе предусматривается изложение следующих групп вопросов:

1-ая группа. **Определение длины мостового перехода. Закрепление опорных пунктов.**

2-ая группа. **Анализ точности опорных сетей при строительстве мостовых сооружений**

3-ая группа. **Применение современных геодезических приборов для разбивки и контроля центров опор мостовых сооружений.**

Задание выдано

дата, месяц, год

Научный руководитель: **К. т. н. доц. Рахмонов К.Р.**

подпись, Ф. И. О.

Задание приняла магистрант **Турапов Элдор Даниярович**

подпись, Ф. И. О., дата

ГРАФИК ЗАВЕРШЕНИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ В ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ ВАРИАНТЕ

Глава I. Определение длины мостового перехода. Закрепление опорных пунктов.

название первой главы в первоначальном варианте

19 декабрь 2011 года

рабочем плане и сроки представления

Глава II. Анализ точности опорных сетей при строительстве мостовых сооружений

название второй главы в первоначальном варианте

27 март 2012 года

рабочем плане и сроки представления

Глава III. Применение современных геодезических технологий для разбивки и контроля центров опор мостовых сооружений.

название третьей главы в первоначальном варианте

3 июня 2012 года

рабочем плане и сроки представления

Предварительная защита на кафедре 18 июня 2012 года

срок, дата, год

Задание выдано К. т. н. доц. Рахмонов К.Р.

Научный руководитель

подпись,

дата, месяц, год

Зав.кафедра Доц. Бобожданов.А.Р.

Консультант

подпись,

дата, месяц, год

к.т.н. Абдуллаев Т.М.

Консультант

подпись,

дата, месяц, год

Задание приняла Турапов Элдор Даниярович

Ф. И. О. магистранта,

подпись,

дата

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОРНЫХ ПУНКТОВ	8
1.1. Определение длины мостового перехода	8
1.2. Закрепление оси мостового перехода и установка геодезических знаков в вечномерзлых грунтах	10
1.3. Особенности измерения расстояний электронными тахеометрами при строительстве мостов. Оценка точности измерений	15
Глава II. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ	20
2.1. Мостовая триангуляция	20
2.2. Линейно-угловые сети	31
2.3. Трилатерационные построения	52
Глава III. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗБИВКИ И КОНТРОЛЯ ЦЕНТРОВ ОПОР МОСТА	66
3.1. Разбивка и контроль центров опор путем измерения расстояний в комбинациях	66
3.2. Планирование центра опор моста	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	90

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования: Правительство Республики Узбекистан много времени уделяют для реконструкции и строительства автомобильных и железных дорог. В целях создания нормальных условий проезда автомобильных потоков приходится строить мостовых сооружений различных конструкций.

Мосты – это сложные инженерные сооружения. Выбор места для постройки моста и проектирование его выполняют с учетом особенностей местности, в том числе – топографические, инженерно-геодезические и другие изысканий. Последующее возведение моста связано с постройкой его опор и пролетных строений и установкой готовых пролетных строений на опоры. На всех этих этапах требуется высокая точность исполнения проекта. Решение всех перечисленных задач выполняется геодезическими методами, вследствие чего геодезическое обеспечение строительства моста необходимо на всех его этапах. Научно-обоснованные методики и критерии оценки точности выполнения топографо-геодезических изысканий для проектирования и строительства мостовых сооружений с применением новых геодезических технологий в данный момент не освещены в геодезических и специальных литературы. Возможность применения существующих методик для этой цели требует дополнительные их изучения. Поэтому изучение, анализ и обобщение методик и точности произведенных работ, обоснование необходимой точности и разработка рекомендаций по выбору эффективных методов топографо-геодезических работ способствует качественному проектированию, строительству и надежной эксплуатации мостовых сооружений и представляет одно из задач, имеющую народнохозяйственное значение.

Цель диссертационной работы: Анализ, обоснование точности и разработка рекомендаций по совершенствованию геодезической технологии, топографо-геодезических изысканий для проектирования, строительства и эксплуатации мостовых сооружений.

Задачи исследования:

- анализ точности определение длины мостового перехода и закрепление опорно-геодезических пунктов;
- изучение особенностей светодальномерных измерений при строительстве мостовых сооружений;
- анализ точности различных способов опорно-геодезических сетей для проектирования и строительство мостовых сооружений;
- разработка рекомендаций о новых методах для разбивки и контроля центров опор моста с применением новых геодезических технологий;

Объект исследования: Объектом исследования являются отчетные производственные материалы, топографо-геодезические карты, исходные и обновленные планы, наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки, руководство по производству геодезических разбивочных работ при строительстве мостов, СНиП III-43-75, а также аналогичные материалы по проектированию и строительстве мостовых сооружений полученные при участии автора.

Методики исследования: Решение поставленные в диссертации задач базировались на теоретических разработках и практических исследованиях . Исследования по указанным вопросам выполнялись путем геодезических измерений и анализа точности топографо-геодезических материалов и других видов изысканий с использованием методом наименьших квадратов обработки полученных данных.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- необходимой точности вычисление по определения длины мостового перехода и установка геодезических знаков в разнообразных грунтах;
- особенности светодальномерных измерений при строительстве мостов в разных климатических условиях;
- выбор оптимальных методов опорно-геодезических сетей для геодезического обеспечения строительство мостов;

- разработка новых геодезических технологий (электронных тахеометров и светодальномеров);

Практическая значимость работы состоит в том, что применение предлагаемых в диссертации разработок и рекомендаций позволит обеспечить необходимую точность проектирования, повысит качество проектирование и строительства и способствует надёжной эксплуатации мостовых сооружений.

Достоверность работы: достоверность практической части работы обусловлена общепринятой схемой оценки точности функций измеренных величин, обоснованы повторностью и обработкой полученных данных методами наименьших квадратов.

ГЛАВА I ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОРНЫХ ПУНКТОВ

1.1. Определение длины мостового перехода

При изысканиях не требуется высокой точности определения длины мостового перехода. В среднем в полнее достаточно знать ее с относительной ошибкой порядка 1:5000.

Длина мостового перехода может определяться из непосредственных измерений или косвенным путем.

Наиболее просто и всегда с достаточной точностью длина мостового перехода может быть измерена электронным тахеометром.

Из других приборов для непосредственных измерений следует отметить длинномер АД-ИМ [1]. Счетчик длинномера прокатывают по некомпарированной проволоке, натянутой с помощью блочных станков гириями над базисными штативами А и В, установленными над конечными точками измеряемой линии. По шкалам, закрепленным над базисными штативами, одновременно берут отсчеты n_A и n_B . Взяв отсчеты N_A и N_B по счетчику в точках А и В, определяют длину цепной линии

$$S = (N_A - N_B) \cdot l + (n_A - n_B) \cdot c$$

Для окончательного вычисления горизонтального проложения используют формулу

$$S_{AB} = \frac{1}{n} \sum s + c + \Delta_v + \Delta_t + \Delta_k$$

Где n - количество приемов (прокатов счетчика); c - постоянная слагаемая счетчика (расстояние между фиксаторами, равное 202 мм); $\Delta_v, \Delta_f, \Delta_t, \Delta_k$ - соответственно поправки за наклон, стрелу повеса, температуру и компарирование.

Общая длина проволоки может достигать 400-500м. При измерениях над рекой проволока может частично находиться в воде. Счетчик через реку прокатывают, передвигаясь вдоль проволоки на лодке или перетягивая его с берега на берег бичевой. В зависимости от методики

точность измерений составляет 1:5000-1:15000. Из оптических дальномеров при определении длины мостового перехода может быть использован дальномер двойного изображения *ОТД*, позволяющий измерять расстояния от 40 до 400 м со средней относительной ошибкой порядка 1:5000.

На больших мостах непосредственное измерение длины мостового перехода может быть осуществлено зимой по льду. Для этой цели измеряемую линию разбивают на секции. Концы секции закрепляют вмороженными в лед столбами или кольями с фиксируемыми гвоздем центрами. При применении длинномера АД-ИМ или оптического дальномера *ОТД* длины секций могут быть порядка 300м и более. При непосредственных измерениях компарированными лентами длину секции делают на 2-5 см меньше мерного прибора. Иногда применяют параллактический и короткобазисный способы.

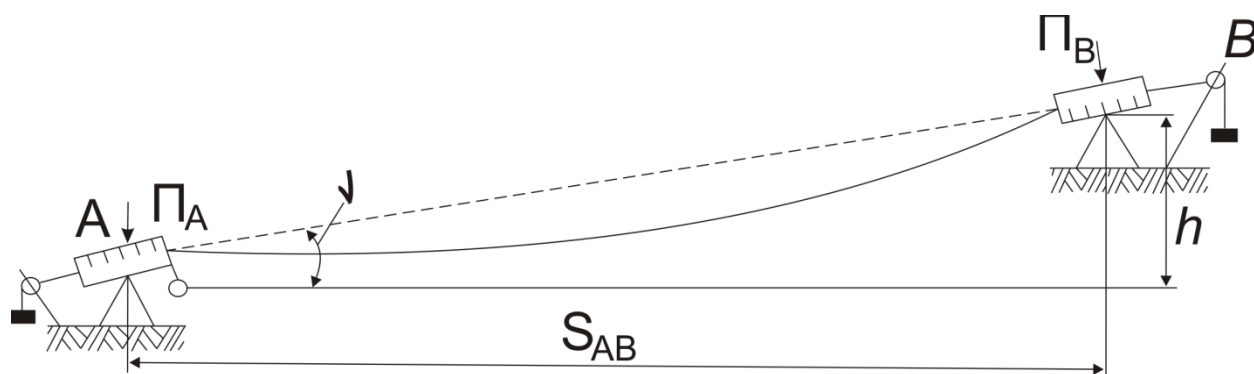


Рис.1.1. Схема измерения линий длинномером АД-ИМ

При возможности непосредственного определения длины мостового перехода АВ ее находят из простых триангуляционных построений (рис.1.2). При этом должно быть измерено обязательно два базиса. В треугольниках измеряют все три угла. Величины углов стремятся не делать менее 30° .

Значительно точнее требуется знать длину мостового перехода непосредственно перед строительством, когда проект моста уже составлен и предстоят разбивочные работы.

Обычно требуемую точность (предельную ошибку) определения длины мостового перехода в этом случае характеризуют формулой

$$\Delta_L = \sqrt{\sum_1^n \left(\frac{l_i}{T}\right)^2} + 0,5n \quad (1.1)$$

Где l_i – длина пролета с номером i ; n - число пролетов;

T - коэффициент, характеризующий точность изготовления и монтажа пролетных строений (для мостов сложных конструкций принимают $T=10000$, для простых $T=6000$).

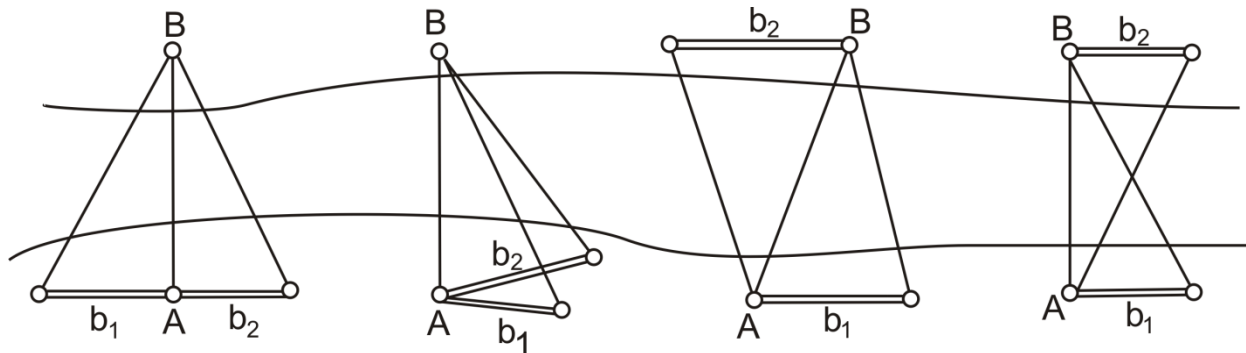


Рис. 1.2. Схемы косвенного определения длины мостового перехода

В формуле (1.1) все величины выражают в сантиметрах.

Например, при длине моста $L=1,5$ км, числе пролетов $n \times 15$ равной длины $l=100$ м и $T=10000$ получаем согласно (1.1)

$$\Delta_L = 4,7 \text{ см и } \frac{\Delta_L}{L} = 1 : 30 \text{ 000.}$$

Такая точность может быть обеспечена светодальномером. На практике же на этой стадии достаточно точно длину мостового перехода определяют включением в опорную сеть стороны, закрепляющей ось моста.

1.2. Закрепление оси мостового перехода и установка геодезических знаков в вечномёрзлых грунтах

Ось мостового перехода в процессе изысканий закрепляется деревянными столбами, для которых определяют пикетаж. Перед началом строительства моста должны быть установлены долговременные знаки как по оси мостового перехода, так и для плановой геодезической сети моста. В зависимости от геологических и природных условий знаки

имеют различную глубину заложения. На рис.1.3 представлены типовые знаки для сезонно-мерзлых грунтов и скальный знак.

В условиях вечномерзлых грунтов на устойчивость знаков следует обратить особое внимание. Для участков с вечномерзлыми грунтами глубину заглубления знака в вечномерзлый грунт, достаточную для противодействия выпучиванию, определяют по формуле (при температуре грунтов на глубине 10 м).

$$H \geq \frac{\tau_{cp} Ph - N}{\tau P} \quad (1.2)$$

где τ_{cp} - средняя расчетная сила смерзания для всего деятельного слоя, кгс/см² (0,2-0,3 кгс/см²);

τ - расчетная сила смерзания слояечно-мерзлых грунтов, кгс /см² .

P - периметр подошвы знака в зоне заанкеривания;

h - мощность деятельного слоя;

N – собственный вес знака плюс вес грунта, лежащего на его уступах.

Постоянные знаки, закрепляющие ось мостового перехода, представляют собой металлическую трубу с бетонным монолитом размером 0,4*0,4м. Вместо трубы можно заделывать железобетонный столб. Для такого монолита ($P=1,6м$) при $h=1м$ и $N=200$ кгс согласно формуле (1.2.) получим

$$H \geq \frac{0,2 \text{ кгс/см}^2 \cdot 160 \text{ см} \cdot 100 \text{ см} - 200 \text{ кгс}}{1 \text{ кгс/см}^2 \cdot 160 \text{ см}} = 18,8 \text{ см.}$$

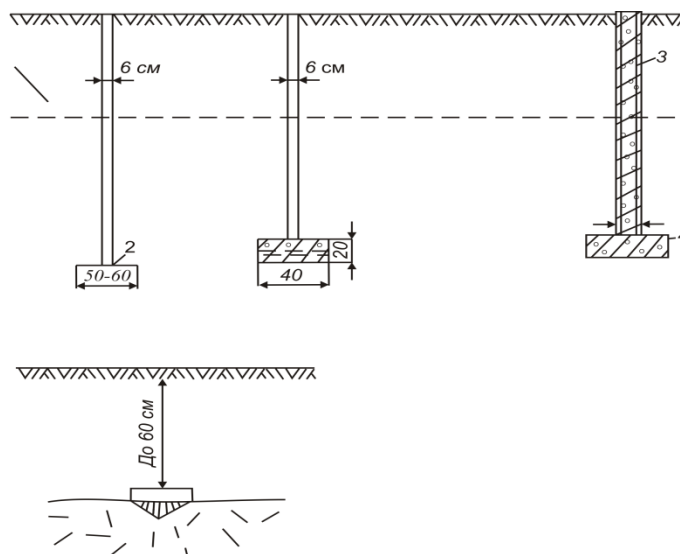


Рис.1.3. Типы знаков. 1-нижняя граница промерзания грунта: 2-металлический

якорь: 3-арматура: 4-бетонный якорь.

В целом соотношение выпучивания и сил сопротивления выпучиванию при одинаковых конструкциях знаков более выгодно в условиях вечномерзлых пород по сравнению с сезонными мерзлыми грунтами. Это позволяет применять в районах распространения вечномерзлых пород облегченные и малогабаритные металлические якоря и пользоваться менее трудоемкими способами закладки

знаков. Отпадает необходимость заглубления верхней части знака для предотвращения выпучивания. В районах распространения вечно мерзлых грунтов силы выпучивания могут быть больше, чем в районах сезонного промерзания. Однако и сопротивляемость знака выпучиванию в этих районах резко возрастает, так как якорь знака обычно располагается в вечно-мерзлом грунте, прочность которого значительно больше плотности немерзлого грунта.

Для уменьшения выпучивания знаков проводят ряд мероприятий: засыпают знак грунтом с наименьшими силами пучения (галькой, гравием) уменьшают мощность деятельного слоя путем насыпа у знака теплоизолирующих слоев.

Для уменьшения сил смерзания знака с деятельным слоем предусматривают устройство в виде защитных муфт на всю толщину деятельного слоя с углублением муфт в толщину вечномёрзлого грунта, составляющую примерно 0,5 м.

Кроме проверки на устойчивость геодезических знаков, необходимо обеспечить их прочность, ибо в деятельном слое может произойти разрыв знака.

Условия прочности на разрыв под действием сил пучения в предположении, что разрыв знака будет в деятельном слое, можно выразить формулой

$$K = \tau_{cp} Ph - 0,9(\delta_1 + g_1)$$

где K - расчетное усилие, кГс, разрывающее за анкерный геодезический центр силами пучения в наиболее опасном сечении δ_1 и g_1 - нагрузки от веса части геодезического центра и веса части грунта, лежащих выше расчетного сечения.

По расчетному усилию можно подобрать сечение геодезических центров.

Проверку прочности при подборе сечений геодезических центров из различных материалов можно производить по формуле $K \leq RF$, где R - расчетное сопротивление на растяжение бетона, арматуры или прокатной стали (в зависимости от типа знака); F - площадь сечения в предполагаемом месте разрыва.

Так, например, для бетонного монолита диаметром 10 см ($F = 78$ см) при $h = 1$ м и $R = 16$ кГс/см² (для марки 200) имеем $RF = 1256$ кгс; согласно (1.3) при $\delta_1 + g_1 = 50$ кгс.

$K = 0,2$ кГс/см² · 15,7 см · 100 см - 50 кгс = 264 кгс, следовательно знак достаточно прочен.

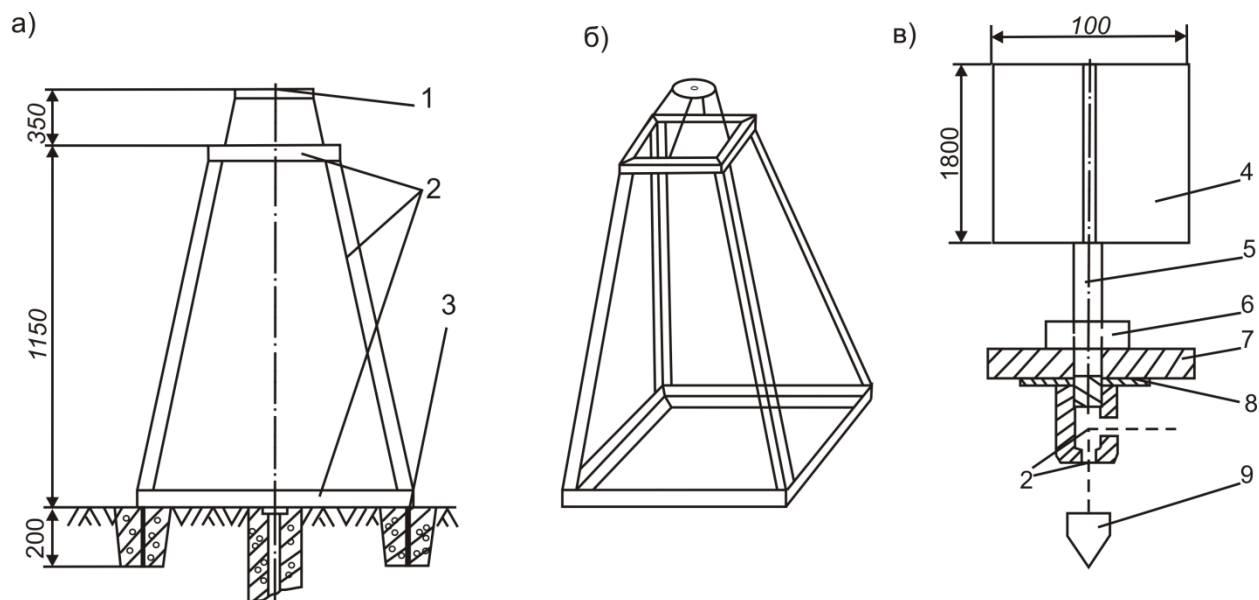


Рис. 1.4. Наблюдательный столик

Геодезические знаки опорной мостовой сети состоят из двух основных частей: подземной части – центра пункта и устанавливаемого под ним наружного сооружения – наблюдательного столика. Наблюдательные столики служат для обеспечения возможности угловых измерений и светодальномерных измерений расстояний и имеют приспособления для принудительного центрирования инструмента и визирных целей. В дальнейшем наблюдательные столики используются при разбивочных работах. На рис.1.4 изображен для возможных типов наблюдательных столиков.

Высота наблюдательного столика зависит от топографических условий местности и в случаях установки знака в затопляемой части поймы достигает нескольких метров. В этом случае устанавливают платформу для наблюдателя.

1.3. Особенности измерения расстояний электронными тахеометрами при строительстве мостовых сооружений. Оценка точности измерений

В общем виде ошибку измерения расстояния электронными тахеометрами принято выражать в виде равенства

$$m_s = a + bs,$$

где m_s – средняя квадратическая ошибка измерения расстояния;

a - постоянная составляющая, равная сумме ошибок, не зависящих от величины измеряемого расстояния s ;

b - коэффициент учитывающий влияние ошибок, зависящих от величины измеряемого расстояния.

Значение a и b для каждого электронного тахеометра находят путем статической обработки сопоставления расстояний, известных с высокой точностью, с соответствующим расстоянием, полученным из светодальномерных измерений.

К ошибкам, пропорциональным величине измеряемого расстояния, относятся ошибки определения рабочей скорости света, ошибки определения частоты и ошибки, вызванные незнанием точного пути распространения сигналов. Основными факторами, влияющими на точность измерений, считают внешние условия, в частности, неточный учет условий распространения электромагнитных волн и в атмосфере и их изменчивость. Поэтому для повышения точности светодальномерных измерений необходимо правильно учитывать влияние этих факторов, т.е. правильно оценивать трассу с точки зрения пригодности ее для светодальномерных измерений, выбрать время, объем и порядок наблюдений, погоду и высоту установки прибора.

Для получения расстояний, кроме времени распространения световых волн, получаемых измерением разности фаз или частот колебаний, необходимо знать скорость распространения электромагнитных колебаний во времени (рабочую скорость).

Чтобы получить рабочую скорость, необходимо знать показатель преломления воздуха на пути распространения волны во время измерения, который непрерывно меняется в пространстве и времени вследствие изменчивости метеорологических условий.

Определение среднего коэффициента преломления требуют знания средних температур t , давления воздуха P и давления водяных паров e . От точности определения этих величин зависит точность определения среднего коэффициента преломления, ошибочность которого сказывается на измеренных расстояниях электронными методами. Принято считать, что для диапазонов

$$0^{\circ} \leq t \leq \pm 20^{\circ}\text{C}; \quad 760 \geq P \geq 680 \text{ мм рт.ст.}, \quad 0 \leq e \leq 10 \text{ мм},$$

общее влияние внешних факторов оценивается выражением

$$\Delta s \sim (\pm 0,0055 \Delta \lambda \pm 1,0 \Delta t \pm 0,4 \Delta P \mp 0,053 \Delta e) 10^{-6} s$$

где $\Delta \lambda$, Δt , ΔP и Δe - соответственно погрешности определения длины световой волны, температуры, давления и влажности, отнесенные к единице измеряемого расстояния.

Как видно, погрешности в определении температуры атмосферы наиболее сильно искажают измеряемое расстояние. В действительности метеорологические условия вдоль измеряемой линии различны, и для точного определения скорости распространения световых волн необходимо знать среднее интегральное значение показателя преломления. Однако при массовых измерениях находить показатель преломления даже в нескольких промежуточных точках измеряемой линии сложно и дорого. Поэтому ограничиваются определением метеорологических данных на конечных пунктах измеряемой линии.

При измерении коротких расстояний на суше (до 1 км) температуру воздуха, как правило, определяют только на конечных пунктах с точностью $0,2^{\circ}\text{C}$ чтобы ошибки определения коэффициента преломления не превосходили точности индикации разности фаз. Однако при измерении расстояний над водной поверхностью такие определения недостаточны. На определение группового коэффициента показателя преломления оказывает

влияние температура приводного слоя воздуха. Изменение температуры приводного слоя воздуха над водными массивами небольшой протяженности вызывает прежде всего образование туманов. Светодалномерные измерения над водной поверхностью выполняют в условиях, характеризующихся температурными неоднородностями воздуха над руслом реки и в том же горизонтальном слое над берегом.

Так, в специфических условиях р. Амударья (мостовой переход в г. Ургенче) светодалномерные измерения, проводимые в декабре, были затруднены туманами охлаждения, наступающими в среднем с 20 ч и рассеивающимися только к 11 ч вечера. Образование таких туманов возможно только в том случае, когда воздух с относительной влажностью 80-90 % перемещается над водоемом, температура которого на 5 и более градусов ниже, чем температура. Причем, как показали измерения, температура воздуха над поверхностью р. Амударья даже в дневное время на 3-4°С ниже, чем над берегом, что связано с температурой воды в реке, которая даже в самое жаркое время не поднимается выше 12-14°С (средняя +9°С).

Методика проведения светодалномерных измерений над водными массивами содержит следующие основные положения. Светодалномерные наблюдения над водной поверхностью желательно проводить при облачном небе и ветре, что создает однородные условия для прохождения светового луча [2].

При расположении пунктов на разных берегах достаточно измерять температуру и давления воздуха только на конечных пунктах, если колебания температуры слоя воздуха невелики.

При больших дальностях над водной поверхностью наилучшим временем измерения следует считать полдень, когда дымка и туман охлаждения рассеиваются.

Для ослабления влияния приводного слоя воздуха на светодалномерные измерения пункты опорной сети следует располагать на возвышенных участках берега.

В специфических условиях измерений над водной поверхностью с резко отличающейся температурой приводного слоя следует проводить измерения в прямом и обратных направлениях в разные дни.

При измерении расстояния над водной поверхностью большой протяженности (несколько километров) можно вычислить изменения температуры воздуха при его движении над водоемом и получить более точное среднее значение температуры над всей траекторией луча.

Весьма важно при производстве измерений контролировать стабильность постоянной поправки прибора. Опыт эксплуатации приборов самых разных типов показывает, что постоянная поправка может изменяться весьма значительно, причем эти изменения могут достигать номинальной точности прибора и даже превышать ее. Эти изменения могут быть вызваны изменением электрических режимов работы прибора, повреждением его при транспортировке. Неучет их приводит к тому, что каждое измерение сопровождается систематической (постоянной ошибкой).

Согласно ГОСТ 19223-73 «Светодальномеры. Типы. Основные параметры и технические требования», постоянную поправку определяют на эталонных базисах, длины которых должны быть известны со средними квадратическими относительными ошибками 1:300000-1:1000000.

Измерив длину светодальномером, определяют его постоянную поправку

$$c = s_э - s_{и}$$

где $s_э$ - длина эталонной стороны (базиса);

$s_{и}$ – длина той же стороны, определенная светодальномером.

При строительстве мостов постоянную поправку следует контролировать на каждом мостовом переходе и при каждом новом цикле работ.

Поскольку создать эталонные базисы на каждом объекте невозможно, в полевых условиях уточняют величину постоянной поправки из измерений расстояний в комбинациях (IV).

После вычисления измеренных расстояний производят оценку их точности, обычно по внутренней сходимости: по расхождениям прямых и обратных измерений, измерений из разных приемов или на разных частотах. Как показали многочисленные исследования приборов разных типов, из-за систематических погрешностей величины ошибок, полученные таким путем, оказываются приуменьшенными в среднем в 1,5 раза. Поэтому для получения средней квадратической ошибки измеренного расстояния рекомендуется эмпирическая формула

$$m_s = 1,5m_{\text{вн}} \quad (1.4)$$

где $m_{\text{вн}}$ - ошибка расстояния, вычисленная по внутренней сходимости.

Формула (1.4) может быть использована для вычислений допусков на расхождение результатов измерений по размаху. Задаваясь требуемой точностью измерений m_{Δ} , получим, что при числе измерений 2,3,4 и 5 максимальное допускаемое расхождение между минимальным и максимальным результатами составит соответственно $2,6m_{\Delta}$, $3,8m_{\Delta}$, $4,8m_{\Delta}$, и $5,8m_{\Delta}$.

Для геодезической сети, изображенной на рисунке 2.1 $n=16$, $P=6$. Таким образом, количество условных уравнений, подлежащих составлению

$$R = 16 - 2 * 6 + 4 = 8$$

Количество уравнений фигур вычисляется по следующей формуле:

$$f = N - d - q + 1 \quad (2.2)$$

Здесь: d – количество уравнений;

q - количество горизонтальных условий;

N – количество измеренных углов.

В примере для сети

$$f = 16 - 11 - 0 + 1 = 6$$

Таким образом, для сети, изображенной на рисунке 2.1 составляются следующие условные уравнения:

Первая группа состоит из уравнений, относящихся к треугольникам:

EVD, CBD, ECB, FEA, BAE и FBA.

Вторая группа состоит из уравнений, относящихся к четырехугольникам:

EVCD и ABEF

Первая группа уравнений;

$$(1 + 2) + (4) + (7) + w_1 = 0;$$

$$(5 + 6) + (3) + (8) + w_2 = 0;$$

$$(1) + (6) + (3) + (4) + w_3 = 0;$$

$$(9 + 10) + (15) + (12) + w_4 = 0;$$

$$(13 + 14) + (11) + (16) + w_5 = 0;$$

$$(9) + (14) + (11) + (12) + w_6 = 0$$

Составление уравнений первой группы и вычисление поправок приведены в табл.

Таблица 2.1.

№№ п/п	Вершина угла	№№ углы	Измеренные углы	v_1	Исправленные углы
1	2	3	4	5	6
1	Е	1+2	90° 11' 42,8"	-3"	90° 11' 39,8"
	В	4	21° 30' 41,4"	-3"	21° 30' 38,4"
	Д	7	68° 17' 45,8"	-4"	68° 17' 41,8"
			180° 00' 10,0"		180° 00' 00,0"
			$\omega_1 = +10,0$		
2	С	3+4	103° 17' 44,1"	-3"	103° 17' 41,1"
	В	6	47° 52' 01,7"	-3"	47° 51' 58,7"
	Д	1	28° 50' 24,2"	-4"	28° 50' 20,2"
			180° 00' 10,0"		180° 00' 00,0"
			$\omega_2 = +10,0$		
3	Е	3	81° 47' 02,7"	+0,3"	81° 47' 03,0"
	С	5+6	65° 00' 23,9"	+0,3"	65° 00' 24,2"
	В	8	33° 12' 34,4"	+0,2"	33° 12' 34,6"
			179° 59' 59,2"		180° 00' 00,0"
			$\omega_3 = -0,8$		
4	Ф	9+10	54° 55' 59,7"	0"	54° 55' 59,7"
	Е	12	16° 23' 32,5"	0"	16° 23' 32,5"
	А	15	108° 40' 27,8"	0"	108° 40' 27,8"
			180° 00' 00,0"		180° 00' 00,0"
			$\omega_4 = 0$		
5	В	11+12	77° 41' 35,7"	0"	77° 41' 35,7"
	А	14	83° 38' 58,1"	0"	83° 38' 58,1"
	Е	9	18° 39' 26,2"	0"	18° 39' 26,2"
			180° 00' 00,0"		180° 00' 00,0"
			$\omega_5 = 0$		
6	Ф	11	61° 18' 03,2"	0"	61° 18' 03,2"
	В	13+14	96° 59' 47,6"	0"	96° 59' 47,6"
	А	16	21° 42' 09,2"	0"	21° 42' 09,2"
			180° 00' 00,0"		180° 00' 00,0"
			$\omega_6 = 0$		

Вторая группа уравнений;

$$(1 + 2) + (3 + 4) + (5 + 6) + (7 + 8) + w_7 = 0;$$

$$(15 + 16) + (9 + 10) + (11 + 12) + (13 + 14) + w_8 = 0$$

Условное уравнение четырехугольника **ЕBCD**

Таблица 2.2.

№ угла	Угол	lg sin угла	Δ1"	№ угла	Угол	lg sin угла	Δ1"
1+2	90° 11' 42,8"	9,9999975	+0,07	7	68° 17' 45,8"	9,9680658	+8,38
8	33° 12' 34,4"	9,7385449	+3,22	6+5	65° 00' 23,9"	9,9572992	+9,81
6	47° 52' 01,7"	9,8701646	+1,90	2	28° 50' 24,2"	9,6833768	+38,23
	Σ ₁	9,6087007			Σ ₂	9,6087418	

$$W_7 = \Sigma_1 - \Sigma_2 = -411 \cdot 10^{-7} = -4,11 \text{ в ед. 7- го знака.}$$

$$+0,07(1) - 38,17(2) + 8,38(7) + 3,22(8) + 7,91(6) - 9,81(5) + \omega_7 = 0$$

Условное уравнение четырехугольника **АВЕF**

Таблица 2.3.

№ угла	Угол	lg sin угла	Δ1"	№ угла	Угол	lg sin угла	Δ1"
11+12	77° 41' 35,7"	9,9899037	+4,59	14	83° 38' 58,1"	9,9973269	+2,34
13	13° 20' 49,5"	9,3633287	+8,74	15+16	130° 22' 37"	9,8818404	-1,79
15	108° 40' 27,8"	9,9965121	-7,11	11	61° 18' 03,2"	9,9430756	+11,52
	Σ ₁	9,7453445			Σ ₂	9,7453493	

$$W_8 = \Sigma_1 - \Sigma_2 = -411 \cdot 10^{-7} = -0,48 \text{ в ед. 7- го знака.}$$

$$-6,93(11) + 4,59(12) + 2,34(14) + 8,74(13) - 1,79(16) + 8,9(15) + \omega_8 = 0$$

Коэффициент переработки расчета условных уравнений

Таблица 2.4.

№	Коэффициенты условных уравнений второй группы							8
	1	2	3	4	5	6	7	
1				0,07				0,07
2	1,00			0,07				0,07
3	1,00				-2,31			
4				-1,76	1,44			-1,76
	2,00			-1,62	-0,87			-1,62
	-0,50			0,41	0,22			0,40
5					0,11			
6	1,00			+2,03	-2,03			2,03
7	1,00			-0,26	2,79			-0,26
8				-0,26	-0,33			-0,26
	2,00			+1,51	0,54			1,51
	-0,50			-0,38	-0,14			-0,38
9				0,18		-2,08		
10		1,00		0,18		+0,18		
11		1,00		-2,18		+2,18		-2,18
12								+2,6
		2,00		-1,82		+0,28		0,42
		-0,50		0,46		-0,07		-0,10
13						1,96		
14		1,00		-0,56		-0,56		
15		1,00		-0,56		1,96		
16				+1,42				
		2,00		0,3		3,36		
		-0,50		-0,08		-0,84		

Продолжения таблица 2.4.

Преобразованные коэффициенты условных уравнений II гр							8	
1	2	3	4	5	6	7		
		-						0,68
$A_1]$	$A_2]$	0,61 $A_3]$	0,48 $A_4]$	0,22 $A_5]$	$A_6]$	$A_7]$	0,48 $A_8]$	0,48
+2,00	0	0	0,90	-4,06	0	0	0,40	+1,89
0,5		0,72	-	2,09			-	0,79
-		-	1,36	1,66			1,36	-
0,5		0,39						1,56
			1,65	-			1,65	3,78
0,5		0,39	-	0,02			-	-
0,5		0,50	0,64	-			0,64	2,94
-		-	-	2,16			-	0,88
0,5		1,60	0,64	2,65			0,63	-
-		0,71	-	-			-	-
0,5			0,38	0,47			0,38	1,73
	-		0,63		-		-	-
	0,5		0,63		2,15		0,10	2,12
	0,5		-		0,11		-	1,14
	0,5		1,72		2,11		0,10	-
	-		0,46		-		-2,3	1,41
	0,5				0,07		2,5	2,39
	0,5		-					1,54
	0,5		0,08		1,12			-
	-		-		-1,4			1,53
	0,5		0,63		1,12			-
	-		-		-			0,01
	0,5		0,63		0,84			0
			1,34					
		-0,5	0,61			-		-
		0,5	1,72			2,26		3,37
		0,5	-			0,34		2,56
		-0,5	0,72			1,92		1,7
			-			0		-
			0,39					0,89
		0,5	0,39			1,38		2,27
		0,5	0,50			-		-
		-0,5	-			1,22		0,22
		-0,5	1,60			0,88		-
			0,71			-		1,22
						1,04		-
								0,88

Коэффициенты нормальных уравнений

Таблица 2.5.

0	+2,00	0	-1,72	0	+1,94	0	-2,4
0	0	2,00	+1,09	0	0	+1,92	0
+1,90	-1,72	+1,09	+19,62	-3,05	-5,98	-1,64	+11,13
-4,06	0	0	-3,05	+19,13	0	0	-3,02
0	+1,94	0	-5,98	0	+18,72	0	-4,82
0	0	+1,92	-1,64	0	0	+14,16	0
+1,89	-2,40	0	+11,13	-3,02	-4,82	0	17,70
+1,73	-0,18	+5,01	+21,35	+9,00	+9,86	+14,44	-20,48

Решение нормальных уравнений $\frac{1}{P_f}$ по схеме Гаусса

Таблица 2.6.

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	S
V ₁	+2,0	0	0	+1,90	-4,06	0	0	+1,89	+1,7
E ₁	-1,0	0	0	-0,95	+2,03	0	0	-0,945	-0,8
V ₂	0	+2,0	0	-1,72	0	+1,94	0	-2,4	-0,1
₁ N ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V ₂		+2,0	0	-1,72	0	+1,94	0	-2,4	-0,1
E ₂		-1,0	0	+0,86	0	-0,97	0	+1,2	+0,0
V ₃			+2,0	+1,09	0	0	+1,92	0	+5,0
₁ N ₂			0	0	0	0	0	0	0
₂ N ₂			0	0	0	0	0	0	0
₃ f			+2,0	+1,09	0	0	+1,92	0	+5,0
E ₃			-1,0	-0,545	0	0	-0,96	0	-2,5
₄ f				+19,62	-3,05	-5,98	-1,64	+11,13	+21,
₁ N ₁				-1,80	+3,86	0	0	-1,80	-1,6
₂ N ₂				-1,48	0	+1,67	0	-2,06	-0,1
₃ N ₃				-0,59	0	0	-1,05	0	-2,7
₄ f				+15,75	+0,81	-4,31	-2,69	+7,27	+16,
E ₄				-1	-0,0514	+0,2736	+1,1708	-0,4616	-1,06
₅ f					+19,13	0	0	-3,02	+9,0

N_1					-8,24	0	0	+3,84	+3,5
N_2					0	0	0	0	0
N_3					0	0	0	0	0
N_4					-0,04	+0,22	+0,14	-0,37	-0,8
V_5					+10,85	+0,22	+0,14	+0,45	+11,
E_5					-1	-0,0203	-0,0129	-0,0415	-1,07
V_6						+18,72	0	-4,82	+9,8
N_1						0	0	0	0
N_2						-1,88	0	+2,33	+0,1
N_3						0	0	0	0
N_4						-1,18	-0,74	+1,99	+4,6
N_5						-0,01	-0,00	-0,01	-0,2
V_6						+15,65	-0,74	-0,51	+14,
E_6						-1	+0,05	+0,3	-0,9
V_7							+14,16	0	+14,
N_1							0	0	0
N_2							0	0	0
N_3							-1,84	0	-4,8
N_4							-0,46	+1,24	+2,8
N_5							-0,00	-0,00	-0,1
N_6							-0,03	-0,02	+0,7
V_7							+11,83	+1,22	+13,
E_7							-1	-0,10	-1,1
V_8								+17,70	+20,
N_1								-1,79	-1,6
N_2								-2,88	-0,2
N_3								0	0
N_4								-3,35	7,7
N_5								-0,02	-0,4
N_6								-0,02	+0,4
N_7								-0,12	-1,3
V_8								+9,51	+9,5
E_8								-1	-1

Средняя квадратическая ошибка

$$m_{lgs} = \pm \mu \sqrt{\frac{1}{P_f}} = \pm 5'' \sqrt{+9,51} = +15,42 \text{ в.ед. 6 - го знака.}$$

Относительная ошибка

$$\frac{m_s}{S} = \frac{15,42}{0,43429 \cdot 1000000} = \frac{1}{45660}$$

$$\frac{1}{P_F} = +15,42$$

где: μ - ошибка измеренные угла;
 m_s - средняя квадратическая ошибка.

2.2. ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫЕ СЕТИ

В настоящее время специальные сети рекомендуются построить в виде линейно-угловых сетей, т.е. измерять все углы и все стороны или большую их часть. Уравнивание таких сетей имеет большое значение. В нашем примеров рассмотрим вопрос уравнивания четырехугольника, в котором измерены направления на всех пунктах и вес стороны.

Количество условных уравнений при коррелятном способе уравнивания подчитаем по формуле

$$r_{\text{нап}} = D + S - 3n \quad (2.3)$$

где D – число измеренных направлений, S -число измеренных сторон, n – число пунктов в построении.

Для четырехугольника, изображенного на рис.2.2 количество условных уравнений будет

$$r = 22 + 11 - 3 * 6 + 3 = 18$$

Количество условий фигур при этом определится формулой

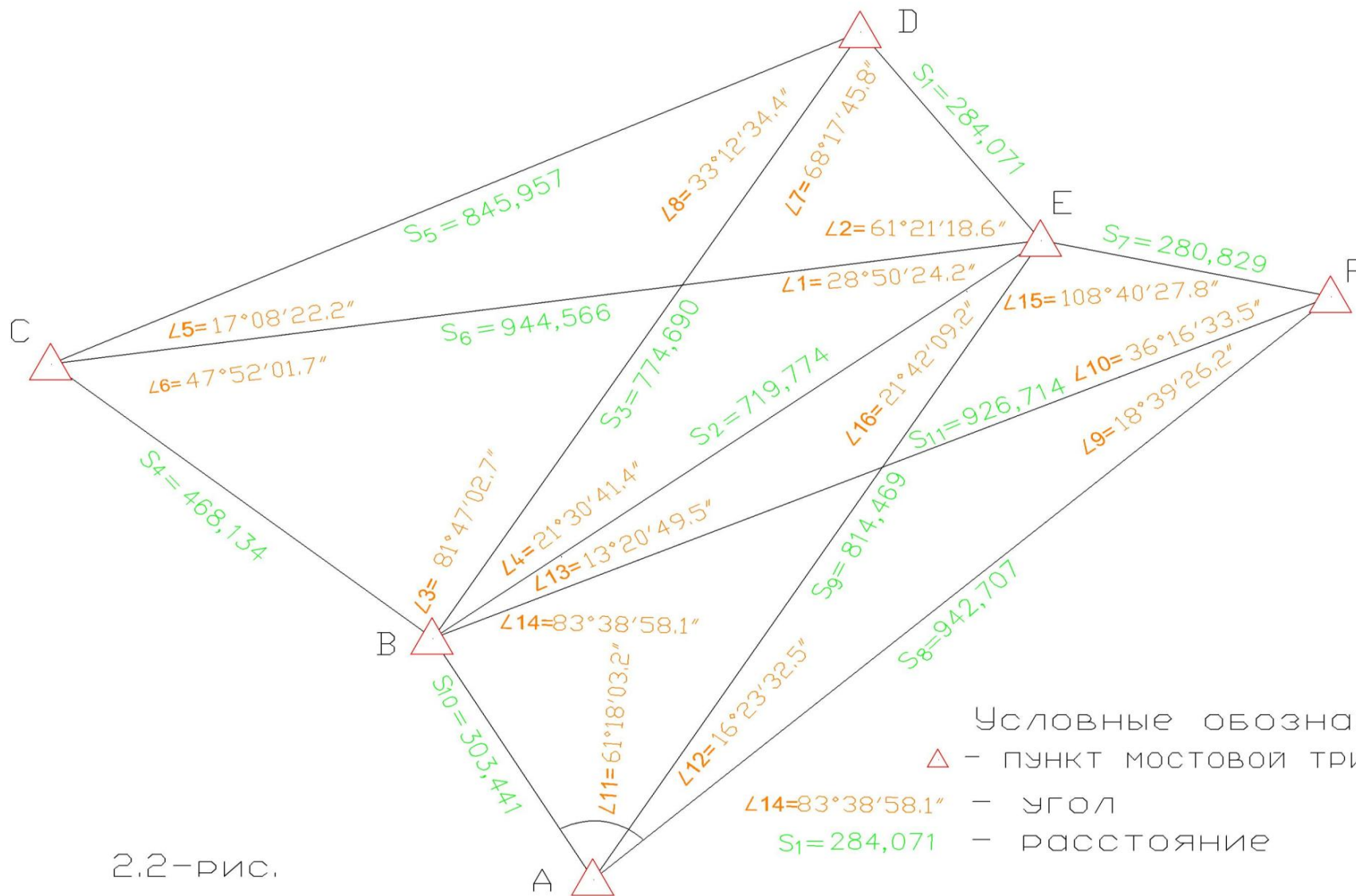
$$F = N - P - q + 1 \quad (2.4)$$

где N - число измеренных углов, p – число сторон, составляющих построение, q – число условий горизонта.

Для четырехугольника изображенного на рис.9 количество условий фигур будет

$$F = 16 - 11 - 0 + 1 = 6$$

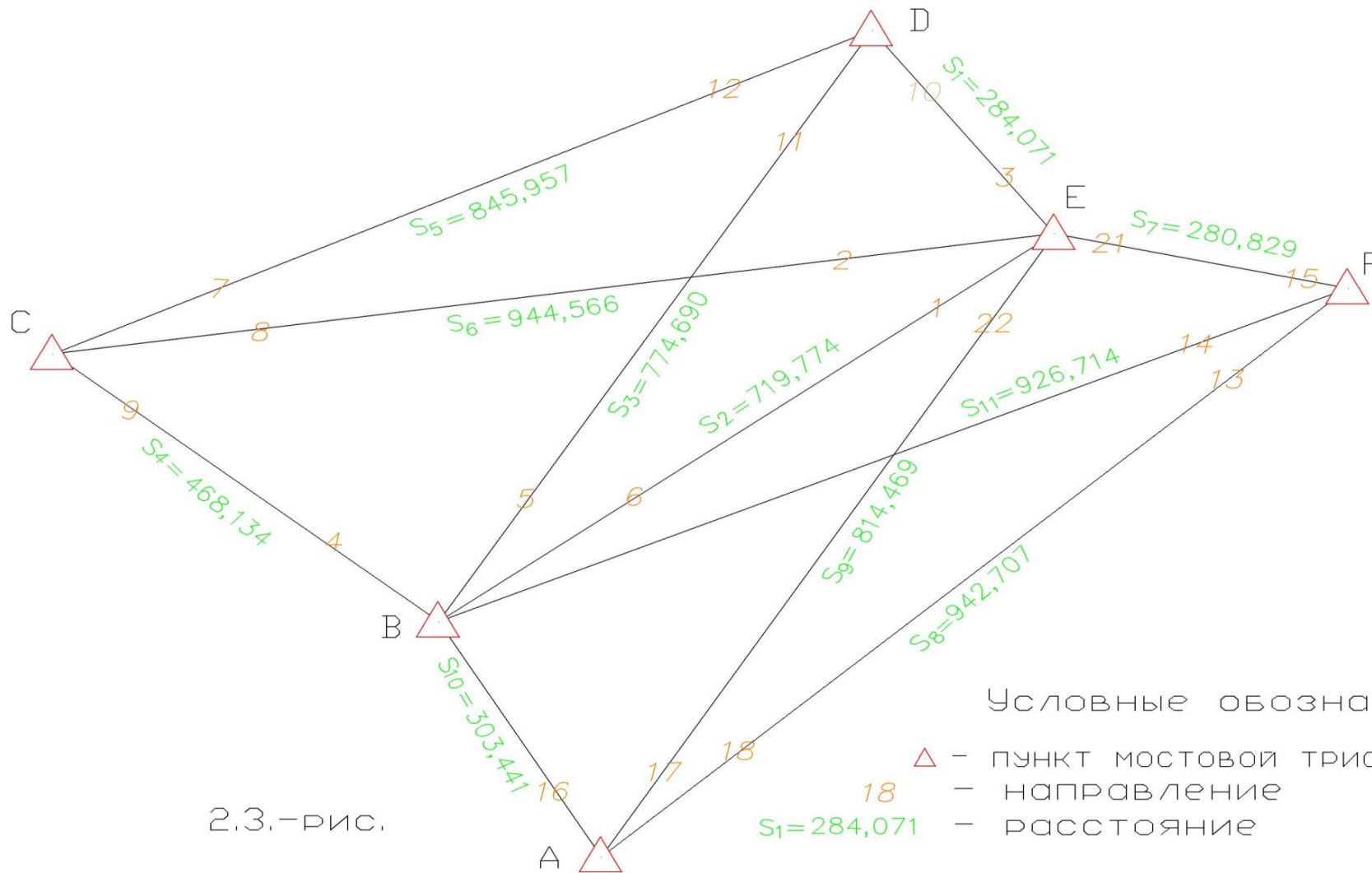
СХЕМА МОСТОВОЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ



Условные обозначения:
 \triangle - пункт мостовой триангуляции
 $L_{14}=83^{\circ}38'58.1''$ - УГОЛ
 $S_1=284,071$ - РАССТОЯНИЕ

2.2-рис.

СХЕМА ВСЕ НАПРАВЛЕНИЕ



Условные обозначения:

- \triangle - пункт мостовой триангуляции
- 18 - направление
- $S_1 = 284,071$ - расстояние

2.3.-рис.

Условные уравнения поправок с использованием направлений, которые показаны на рис.2.3 имеют вид

$$1. (1 + 2) + (4) + (7) - 180^\circ = 0;$$

$$2. (3 + 4) + (6) + (1) - 180^\circ = 0;$$

$$3. (3) + (5 + 6) + (8) - 180^\circ = 0;$$

$$4. \frac{S_1}{S_2} = \frac{\sin 4}{\sin 7};$$

$$S_1 \sin 7 - S_2 \sin 4 = 0;$$

$$5. \frac{S_2}{S_3} = \frac{\sin 7}{\sin(1 + 2)};$$

$$S_2 \sin(1 + 2) - S_3 \sin 7 = 0;$$

$$6. \frac{S_3}{S_4} = \frac{\sin(5 + 6)}{\sin 8};$$

$$S_3 \sin 8 - S_4 \sin(5 + 6) = 0;$$

$$7. \frac{S_4}{S_5} = \frac{\sin 8}{\sin 3};$$

$$S_4 \sin 3 - S_5 \sin 8 = 0;$$

$$8. \frac{S_5}{S_6} = \frac{\sin 2}{\sin(7 + 8)};$$

$$S_5 \sin(7 + 8) - S_6 \sin 2 = 0;$$

$$9. \frac{S_6}{S_1} = \frac{\sin(7 + 8)}{\sin 5};$$

$$S_6 \sin 5 - S_1 \sin(7 + 8) = 0;$$

$$10. (9 + 10) + (12) + (15) - 180^\circ = 0;$$

$$11. (11 + 12) + (14) + (9) - 180^\circ = 0;$$

$$12. (11) + (13 + 14) + (16) - 180^\circ = 0;$$

$$13. \frac{S_7}{S_8} = \frac{\sin 12}{\sin 15};$$

$$S_7 \sin 15 - S_8 \sin 12 = 0;$$

$$14. \frac{S_8}{S_9} = \frac{\sin 15}{\sin(9 + 10)};$$

$$S_8 \sin(9 + 10) - S_9 \sin 15 = 0;$$

$$15. \frac{S_9}{S_{10}} = \frac{\sin(13 + 14)}{\sin 16};$$

$$S_9 \sin 16 - S_{10} \sin(13 + 14) = 0;$$

$$16. \frac{S_{10}}{S_{11}} = \frac{\sin 16}{\sin 11};$$

$$S_{10} \sin 11 - S_{11} \sin 16 = 0;$$

$$17. \frac{S_{11}}{S_{12}} = \frac{\sin 10}{\sin(15 + 16)};$$

$$S_{11} \sin(15 + 16) - S_{12} \sin 10 = 0;$$

$$18. \frac{S_{12}}{S_7} = \frac{\sin(15 + 16)}{\sin 13};$$

$$S_{12} \sin 13 - S_7 \sin(15 + 16) = 0;$$

Условное уравнение

1. $\{3 - 1\} + \{6 - 5\} + \{11 - 10\} - 180^\circ = 0$
2. $\{6 - 4\} + \{9 - 8\} + \{2 - 1\} - 180^\circ = 0$
3. $\{5 - 4\} + \{9 - 7\} + \{12 - 11\} - 180^\circ = 0$
4. $S_1 \sin\{11 - 10\} - S_2 \sin\{6 - 5\} = 0$
5. $S_2 \sin\{3 - 1\} - S_3 \sin\{11 - 10\} = 0$
6. $S_3 \sin\{12 - 11\} - S_4 \sin\{9 - 7\} = 0$
7. $S_4 \sin\{5 - 4\} - S_5 \sin\{12 - 11\} = 0$
8. $S_5 \sin\{12 - 10\} - S_6 \sin\{3 - 2\} = 0$
9. $S_6 \sin\{8 - 7\} - S_1 \sin\{12 - 10\} = 0$
10. $\{15 - 13\} + \{18 - 17\} + \{22 - 21\} - 180^\circ = 0$
11. $\{18 - 16\} + \{20 - 19\} + \{14 - 13\} - 180^\circ = 0$
12. $\{17 - 16\} + \{20 - 6\} + \{12 - 22\} - 180^\circ = 0$
13. $S_7 \sin\{22 - 21\} - S_8 \sin\{18 - 17\} = 0$
14. $S_8 \sin\{15 - 13\} - S_9 \sin\{22 - 21\} = 0$
15. $S_9 \sin\{1 - 22\} - S_{10} \sin\{20 - 6\} = 0$
16. $S_{10} \sin\{17 - 16\} - S_2 \sin\{1 - 22\} = 0$
17. $S_2 \sin\{1 - 21\} - S_{11} \sin\{15 - 14\} = 0$
18. $S_{11} \sin\{19 - 6\} - S_7 \sin\{1 - 21\} = 0$

Поправка к уравнению

$$\omega_1 = \angle\{3 - 1\} + \angle\{6 - 5\} + \angle\{11 - 10\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_2 = \angle\{6 - 4\} + \angle\{9 - 8\} + \angle\{2 - 1\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_3 = \angle\{5 - 4\} + \angle\{9 - 7\} + \angle\{12 - 11\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_4 = S_1 \sin\{11 - 10\} - S_2 \sin\{6 - 5\} = 0$$

$$\omega_5 = S_2 \sin\{3 - 1\} - S_3 \sin\{11 - 10\} = 0$$

$$\omega_6 = S_3 \sin\{12 - 11\} - S_4 \sin\{9 - 7\} = 0$$

$$\omega_7 = S_4 \sin\{5 - 4\} - S_5 \sin\{12 - 11\} = 0$$

$$\omega_8 = S_5 \sin\{12 - 10\} - S_6 \sin\{3 - 2\} = 0$$

$$\omega_9 = S_6 \sin\{8 - 7\} - S_1 \sin\{12 - 10\} = 0$$

$$\omega_{10} = \angle\{15 - 13\} + \angle\{18 - 17\} + \angle\{22 - 21\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_{11} = \angle\{18 - 16\} + \angle\{20 - 19\} + \angle\{14 - 13\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_{12} = \angle\{17 - 16\} + \angle\{20 - 6\} + \angle\{12 - 22\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_{13} = S_7 \sin\{22 - 21\} - S_8 \sin\{18 - 17\} = 0$$

$$\omega_{14} = S_8 \sin\{15 - 13\} - S_9 \sin\{22 - 21\} = 0$$

$$\omega_{15} = S_9 \sin\{1 - 22\} - S_{10} \sin\{20 - 6\} = 0$$

$$\omega_{16} = S_{10} \sin\{17 - 16\} - S_2 \sin\{1 - 22\} = 0$$

$$\omega_{17} = S_2 \sin\{1 - 21\} - S_{11} \sin\{15 - 14\} = 0$$

$$\omega_{18} = S_{11} \sin\{19 - 6\} - S_7 \sin\{1 - 21\} = 0$$

Поправки

1. $-(1) + (3) - (5) + (6) - (10) + (11) - 180^\circ = 0$
2. $-(4) + (6) - (8) + (9) - (1) + (2) - 180^\circ = 0$
3. $-(4) + (5) - (7) + (9) - (11) + (12) - 180^\circ = 0$
4. $\sin\{11 - 10\} \mathcal{V}_{S_1} - \sin\{6 - 5\} \mathcal{V}_{S_2} - \frac{S_1}{\rho} \cos\{11 - 10\}(10) + \frac{S_1}{\rho} \cos\{11 - 10\}(11) + \frac{S_2}{\rho} \cos\{6 - 5\}(5) - \frac{S_2}{\rho} \cos\{6 - 5\}(6) + \omega_4 = 0$
5. $\sin\{3 - 1\} \mathcal{V}_{S_2} - \sin\{11 - 10\} \mathcal{V}_{S_3} - \frac{S_2}{\rho} \cos\{3 - 1\}(1) + \frac{S_2}{\rho} \cos\{3 - 1\}(3) + \frac{S_3}{\rho} \cos\{11 - 10\}(10) - \frac{S_3}{\rho} \cos\{11 - 10\}(11) + \omega_5 = 0$
6. $\sin\{12 - 11\} \mathcal{V}_{S_3} - \sin\{9 - 7\} \mathcal{V}_{S_4} - \frac{S_3}{\rho} \cos\{12 - 11\}(11) + \frac{S_3}{\rho} \cos\{12 - 11\}(12) + \frac{S_4}{\rho} \cos\{9 - 7\}(7) - \frac{S_4}{\rho} \cos\{9 - 7\}(9) + \omega_6 = 0$
7. $\sin\{5 - 4\} \mathcal{V}_{S_4} - \sin\{12 - 11\} \mathcal{V}_{S_5} - \frac{S_4}{\rho} \cos\{5 - 4\}(4) + \frac{S_4}{\rho} \cos\{5 - 4\}(5) + \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 11\}(11) - \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 11\}(12) + \omega_7 = 0$
8. $\sin\{12 - 10\} \mathcal{V}_{S_5} - \sin\{3 - 2\} \mathcal{V}_{S_6} - \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 10\}(10) + \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 10\}(12) + \frac{S_6}{\rho} \cos\{3 - 2\}(2) - \frac{S_6}{\rho} \cos\{3 - 2\}(3) + \omega_8 = 0$
9. $\sin\{8 - 7\} \mathcal{V}_{S_6} - \sin\{12 - 10\} \mathcal{V}_{S_1} - \frac{S_6}{\rho} \cos\{8 - 7\}(7) + \frac{S_6}{\rho} \cos\{8 - 7\}(8) + \frac{S_1}{\rho} \cos\{12 - 10\}(10) - \frac{S_1}{\rho} \cos\{12 - 10\}(12) + \omega_9 = 0$

$$10. - (13) + (15) - (17) + (18) - (21) + (22) - 180^\circ = 0$$

$$11. - (16) + (18) - (19) + (20) - (13) + (14) - 180^\circ = 0$$

$$12. - (16) + (17) - (6) + (20) - (22) + (1) - 180^\circ = 0$$

$$13. \sin\{22 - 21\}v_{s7} - \sin\{18 - 17\}v_{s8} - \frac{S_7}{\rho} \cos\{22 - 21\}(21) + \frac{S_7}{\rho} \cos\{22 - 21\}(22) + \frac{S_8}{\rho} \cos\{18 - 17\}(17) - \frac{S_8}{\rho} \cos\{18 - 17\}(18) + \omega_{13} = 0$$

$$14. \sin\{15 - 13\}v_{s8} - \sin\{22 - 21\}v_{s9} - \frac{S_8}{\rho} \cos\{15 - 13\}(13) + \frac{S_8}{\rho} \cos\{15 - 13\}(15) + \frac{S_9}{\rho} \cos\{22 - 21\}(21) - \frac{S_9}{\rho} \cos\{22 - 21\}(22) + \omega_{14} = 0$$

$$15. \sin\{1 - 22\}v_{s9} - \sin\{20 - 6\}v_{s10} - \frac{S_9}{\rho} \cos\{1 - 22\}(22) + \frac{S_9}{\rho} \cos\{1 - 22\}(1) + \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{20 - 6\}(6) - \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{20 - 6\}(20) + \omega_{15} = 0$$

$$16. \sin\{17 - 16\}v_{s10} - \sin\{1 - 22\}v_{s2} - \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{17 - 16\}(16) + \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{17 - 16\}(17) + \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 22\}(22) - \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 22\}(1) + \omega_{16} = 0$$

$$17. \sin\{1 - 21\}v_{s2} - \sin\{15 - 14\}v_{s11} - \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 21\}(21) + \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 21\}(1) + \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{15 - 14\}(14) - \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{15 - 14\}(15) + \omega_{17} = 0$$

$$18. \sin\{19 - 6\}v_{s11} - \sin\{1 - 21\}v_{s7} - \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{19 - 6\}(6) + \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{19 - 6\}(19) + \frac{S_7}{\rho} \cos\{1 - 21\}(21) - \frac{S_7}{\rho} \cos\{1 - 21\}(1) + \omega_{18} = 0$$

Расчетное график работ

1. $(1 + 2) + (4) + (7) - 180^\circ = 0$
1. $(28^\circ 50' 24,2'' + 61^\circ 21' 18,6'') + (21^\circ 30' 41,4'') + (68^\circ 17' 45,8'') - 180^\circ = 10''$
2. $(3 + 4) + (6) + (1) - 180^\circ = 0$
2. $(81^\circ 47' 02,7'' + 21^\circ 30' 41,4'') + (47^\circ 52' 01,7'') + (28^\circ 50' 24,2'') - 180^\circ = 10''$
3. $(3) + (5 + 6) + (8) - 180^\circ = 0$
3. $(81^\circ 47' 02,7'') + (17^\circ 08' 22,2'' + 47^\circ 52' 01,7'') + (33^\circ 12' 34,4'') - 180^\circ = -0,8''$

$$4. \frac{S_1}{S_2} = \frac{284,071\text{м}}{719,774\text{м}} = 0,394667; \quad \frac{\sin 4}{\sin 7} = \frac{0,366688}{0,929107} = 0,394667; \quad S_1 \sin 7 - S_2 \sin 4 = 263,932\text{м} - 263,932\text{м} = 0,000\text{м};$$

$$5. \frac{S_2}{S_3} = \frac{719,774\text{м}}{774,690\text{м}} = 0,929074; \quad \frac{\sin 7}{\sin(1 + 2)} = \frac{0,929107}{1} = 0,929107; \quad S_2 \sin(1 + 2) - S_3 \sin 7 = 719,774\text{м} - 719,770 = 0,004\text{м};$$

$$6. \frac{S_3}{S_4} = \frac{774,690\text{м}}{468,134\text{м}} = 1,654847; \quad \frac{\sin(5 + 6)}{\sin 8} = \frac{0,906357}{0,547703} = 1,654833; \quad S_3 \sin 8 - S_4 \sin(5 + 6) = 424,300\text{м} - 424,297\text{м} = 0,003\text{м};$$

$$7. \frac{S_4}{S_5} = \frac{468,134\text{м}}{845,957\text{м}} = 0,553378; \quad \frac{\sin 8}{\sin 3} = \frac{0,547703}{0,989736} = 0,553383; \quad S_4 \sin 3 - S_5 \sin 8 = 463,329\text{м} - 463,333\text{м} = -0,004\text{м};$$

$$8. \frac{S_5}{S_6} = \frac{845,957\text{м}}{944,566\text{м}} = 0,895604; \quad \frac{\sin 2}{\sin(7 + 8)} = \frac{0,877608}{0,979905} = 0,895605; \quad S_5 \sin(7 + 8) - S_6 \sin 2 = 828,957\text{м} - 828,958\text{м} = -0,001\text{м};$$

$$9. \frac{S_6}{S_1} = \frac{944,566\text{м}}{284,071\text{м}} = 3,325105; \quad \frac{\sin(7 + 8)}{\sin 5} = \frac{0,979905}{0,294699} = 3,325105; \quad S_6 \sin 5 - S_1 \sin(7 + 8) = 278,362\text{м} - 278,362\text{м} = 0,000\text{м}$$

$$10. (9 + 10) + (12) + (15) - 180^\circ = 0$$

$$10. (18^{\circ} 39' 26,2'' + 36^{\circ} 16' 33,5'') + (16^{\circ} 23' 32,5'') + (108^{\circ} 40' 27,8'') - 180^{\circ} = 0''$$

$$11. (11) + (12) + (14) + (9) - 180^{\circ} = 0$$

$$11. (61^{\circ} 18' 03,2'' + 16^{\circ} 23' 32,5'') + (83^{\circ} 38' 58,1'') + (18^{\circ} 39' 26,2'') - 180^{\circ} = 0''$$

$$12. (11) + (13 + 14) + (16) - 180^{\circ} = 0$$

$$12. (61^{\circ} 18' 03,2'') + (13^{\circ} 20' 49,5'' + 83^{\circ} 38' 58,1'') + (21^{\circ} 42' 09,2'') - 180^{\circ} = 0''$$

$$13. \frac{S_7}{S_8} = \frac{280,829M}{942,707M} = 0,297896; \quad \frac{\sin 12}{\sin 15} = \frac{0,282214}{0,947353} = 0,297897; \quad S_7 \sin 15 - S_8 \sin 12 = 266,044M - 266,045M = -0,001M;$$

$$14. \frac{S_8}{S_9} = \frac{942,707M}{814,469M} = 1,157450; \quad \frac{\sin 15}{\sin(9 + 10)} = \frac{0,947353}{0,818483} = 1,157450; \quad S_8 \sin(9 + 10) - S_9 \sin 15 = 771,590M - 771,590M = 0M;$$

$$15. \frac{S_9}{S_{10}} = \frac{814,469M}{303,441M} = 2,684110; \quad \frac{\sin(13 + 14)}{\sin 16} = \frac{0,992553}{0,369788} = 2,684114; \quad S_9 \sin 16 - S_{10} \sin(13 + 14) = 301,181M - 301,181M = 0M;$$

$$16. \frac{S_{10}}{S_{11}} = \frac{303,441M}{719,774M} = 0,421578; \quad \frac{\sin 16}{\sin 11} = \frac{0,369788}{0,877154} = 0,421577; \quad S_{10} \sin 11 - S_{11} \sin 16 = 266,164M - 266,164M = 0M;$$

$$17. \frac{S_{11}}{S_{12}} = \frac{719,774M}{926,714} = 0,776695; \quad \frac{\sin 10}{\sin(15 + 16)} = \frac{0,591675}{0,761799} = 0,776681; \quad S_{11} \sin(15 + 16) - S_{12} \sin 10 = 548,323M - 548,314M = 0,009M;$$

$$18. \frac{S_{12}}{S_7} = \frac{926,714M}{280,829M} = 3,299923; \quad \frac{\sin(15 + 16)}{\sin 13} = \frac{0,761799}{0,230849} = 3,299988; \quad S_{12} \sin 13 - S_7 \sin(15 + 16) = 213,931M - 213,935M = -0,004M$$

Условное уравнение

$$1. \{3 - 1\} + \{6 - 5\} + \{11 - 10\} - 180^\circ = 0$$

$$1. \{90^\circ 21' 42,8''\} + \{21^\circ 30' 41,4''\} + \{68^\circ 17' 45,8''\} - 180^\circ = 10''$$

$$2. \{6 - 4\} + \{9 - 8\} + \{2 - 1\} - 180^\circ = 0$$

$$2. \{103^\circ 17' 44,1''\} + \{47^\circ 52' 01,7''\} + \{28^\circ 50' 24,2''\} - 180^\circ = 10''$$

$$3. \{5 - 4\} + \{9 - 7\} + \{12 - 11\} - 180^\circ = 0$$

$$3. \{81^\circ 47' 02,7''\} + \{65^\circ 00' 23,9''\} + \{33^\circ 12' 34,4''\} - 180^\circ = 1''$$

$$4. S_1 \sin\{11 - 10\} - S_2 \sin\{6 - 5\} = 0$$

$$4. 284,071\text{м} \sin\{68^\circ 17' 45,8''\} - 719,774\text{м} \sin\{21^\circ 30' 41,4''\} = 263,932\text{м} - 263,932\text{м} \\ = 0,000\text{м};$$

$$5. S_2 \sin\{3 - 1\} - S_3 \sin\{11 - 10\} = 0$$

$$5. 719,774\text{м} \sin\{90^\circ 21' 42,8''\} - 774,690\text{м} \sin\{68^\circ 17' 45,8''\} = 719,774\text{м} - 719,770 = 0,004\text{м};$$

$$6. S_3 \sin\{12 - 11\} - S_4 \sin\{9 - 7\} = 0$$

$$6. 774,690\text{м} \sin\{33^\circ 12' 34,4''\} - 468,134\text{м} \sin\{65^\circ 00' 23,9''\} = 424,300\text{м} - 424,296\text{м} \\ = 0,004\text{м};$$

$$7. S_4 \sin\{5 - 4\} - S_5 \sin\{12 - 11\} = 0$$

$$7. 468,134\text{м} \sin\{81^\circ 47' 02,7''\} - 845,957\text{м} \sin\{33^\circ 12' 34,4''\} = 463,329\text{м} - 463,333\text{м} \\ = -0,004\text{м};$$

$$8. S_5 \sin\{12 - 10\} - S_6 \sin\{3 - 2\} = 0$$

$$8. 845,957\text{м} \sin\{101^\circ 30' 20,2''\} - 944,566\text{м} \sin\{61^\circ 21' 18,6''\} = 828,958\text{м} - 828,958\text{м} \\ = 0,000\text{м};$$

$$9. S_6 \sin\{8 - 7\} - S_1 \sin\{12 - 10\} = 0$$

$$9. 944,566\text{м} \sin\{17^\circ 08' 22,2''\} - 284,071\text{м} \sin\{101^\circ 30' 20,2''\} = 278,362\text{м} - 278,362\text{м} \\ = 0,000\text{м}$$

$$10. \{15 - 13\} + \{18 - 17\} + \{22 - 21\} - 180^\circ = 0$$

$$10. \{90^\circ 21' 42,8''\} + \{21^\circ 30' 41,4''\} + \{68^\circ 17' 45,8''\} - 180^\circ = 10''$$

$$11. \{18 - 16\} + \{20 - 19\} + \{14 - 13\} - 180^\circ = 0''$$

$$11. \{6 - 4\} + \{9 - 8\} + \{2 - 1\} - 180^\circ = 10''$$

$$12. \{17 - 16\} + \{20 - 6\} + \{12 - 22\} - 180^\circ = 0''$$

$$12. \{5 - 4\} + \{9 - 7\} + \{12 - 11\} - 180^\circ = 1''$$

$$13. S_7 \sin\{22 - 21\} - S_8 \sin\{18 - 17\} = 0$$

$$13. 280,829M \sin\{108^\circ 40' 27,8''\} - 942,707M \sin\{16^\circ 23' 32,5''\} = 266,044M - 266,043M$$

$$= 0,001M;$$

$$14. S_8 \sin\{15 - 13\} - S_9 \sin\{22 - 21\} = 0$$

$$14. 942,707M \sin\{54^\circ 55' 59,7''\} - 814,469M \sin\{108^\circ 40' 27,8''\} = 771,590M - 771,590M$$

$$= 0M;$$

$$15. S_9 \sin\{1 - 22\} - S_{10} \sin\{20 - 6\} = 0$$

$$15. 814,469M \sin\{21^\circ 42' 09,2''\} - 303,441M \sin\{96^\circ 59' 07,6''\} = 301,181M - 301,181M$$

$$= 0M;$$

$$16. S_{10} \sin\{17 - 16\} - S_2 \sin\{1 - 22\} = 0$$

$$16. 303,441M \sin\{61^\circ 18' 03,2''\} - 719,774M \sin\{21^\circ 42' 09,2''\} = 266,164M - 266,165M$$

$$= -0,001M;$$

$$17. S_2 \sin\{1 - 21\} - S_{11} \sin\{15 - 14\} = 0$$

$$17. 719,774M \sin\{130^\circ 22' 37''\} - 926,714M \sin\{36^\circ 16' 33,5''\} = 548,323M - 548,314M$$

$$= 0,009M;$$

$$18. S_{11} \sin\{19 - 6\} - S_7 \sin\{1 - 21\} = 0$$

$$18. 926,714M \sin\{13^\circ 20' 49,5''\} - 280,829M \sin\{130^\circ 22' 37''\} = 213,931M - 213,935M$$

$$= -0,004M$$

Поправка к уравнению

$$\omega_1 = \angle\{3 - 1\} + \angle\{6 - 5\} + \angle\{11 - 10\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_1 = \{90^\circ 21' 42,8''\} + \{21^\circ 30' 41,4''\} + \{68^\circ 17' 45,8''\} - 180^\circ = 10''$$

$$\omega_2 = \angle\{6 - 4\} + \angle\{9 - 8\} + \angle\{2 - 1\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_2 = \{103^\circ 17' 44,1''\} + \{47^\circ 52' 01,7''\} + \{28^\circ 50' 24,2''\} - 180^\circ = 10''$$

$$\omega_3 = \angle\{5 - 4\} + \angle\{9 - 7\} + \angle\{12 - 11\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_3 = \{81^\circ 47' 02,7''\} + \{65^\circ 00' 23,9''\} + \{33^\circ 12' 34,4''\} - 180^\circ = 1''$$

$$\omega_4 = S_1 \sin\{11 - 10\} - S_2 \sin\{6 - 5\} = 0$$

$$\omega_4 = 284,071M \sin\{68^\circ 17' 45,8''\} - 719,774M \sin\{21^\circ 30' 41,4''\} = 263,932M - 263,932M$$

$$= 0,000M;$$

$$\omega_5 = S_2 \sin\{3 - 1\} - S_3 \sin\{11 - 10\} = 0$$

$$\omega_5 = 719,774\text{M} \sin\{90^\circ 21' 42,8''\} - 774,690\text{M} \sin\{68^\circ 17' 45,8''\} = 719,774\text{M} - 719,770\text{M} \\ = 0,004\text{M};$$

$$\omega_6 = S_3 \sin\{12 - 11\} - S_4 \sin\{9 - 7\} = 0$$

$$\omega_6 = 774,690\text{M} \sin\{33^\circ 12' 34,4''\} - 468,134\text{M} \sin\{65^\circ 00' 23,9''\} = 424,300\text{M} - 424,296\text{M} \\ = 0,004\text{M};$$

$$\omega_7 = S_4 \sin\{5 - 4\} - S_5 \sin\{12 - 11\} = 0$$

$$\omega_7 = 468,134\text{M} \sin\{81^\circ 47' 02,7''\} - 845,957\text{M} \sin\{33^\circ 12' 34,4''\} = 463,329\text{M} - 463,333\text{M} \\ = -0,004\text{M};$$

$$\omega_8 = S_5 \sin\{12 - 10\} - S_6 \sin\{3 - 2\} = 0$$

$$\omega_8 = 845,957\text{M} \sin\{101^\circ 30' 20,2''\} - 944,566\text{M} \sin\{61^\circ 21' 18,6''\} = 828,958\text{M} - 828,958\text{M} \\ = 0,000\text{M};$$

$$\omega_9 = S_6 \sin\{8 - 7\} - S_1 \sin\{12 - 10\} = 0$$

$$\omega_9 = 944,566\text{M} \sin\{17^\circ 08' 22,2''\} - 284,071\text{M} \sin\{101^\circ 30' 20,2''\} = 278,362\text{M} - 278,362\text{M} \\ = 0,000\text{M}$$

$$\omega_{10} = \angle\{15 - 13\} + \angle\{18 - 17\} + \angle\{22 - 21\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_{10} = \{90^\circ 21' 42,8''\} + \{21^\circ 30' 41,4''\} + \{68^\circ 17' 45,8''\} - 180^\circ = 10''$$

$$\omega_{11} = \angle\{18 - 16\} + \angle\{20 - 19\} + \angle\{14 - 13\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_{11} = \{77^\circ 41' 35,7''\} + \{83^\circ 38' 58,1''\} + \{18^\circ 39' 26,2''\} - 180^\circ = 0''$$

$$\omega_{12} = \angle\{17 - 16\} + \angle\{20 - 6\} + \angle\{12 - 22\} - 180^\circ = 0$$

$$\omega_{12} = \{61^\circ 18' 03,2''\} + \{96^\circ 59' 47,6''\} + \{21^\circ 42' 09,2''\} - 180^\circ = 0''$$

$$\omega_{13} = S_7 \sin\{22 - 21\} - S_8 \sin\{18 - 17\} = 0$$

$$\omega_{13} = 280,829\text{M} \sin\{108^\circ 40' 27,8''\} - 942,707\text{M} \sin\{16^\circ 23' 32,5''\} = 266,044\text{M} - 266,043\text{M} \\ = 0,001\text{M};$$

$$\omega_{14} = S_8 \sin\{15 - 13\} - S_9 \sin\{22 - 21\} = 0$$

$$\omega_{14} = 942,707\text{M} \sin\{54^\circ 55' 59,7''\} - 814,469\text{M} \sin\{108^\circ 40' 27,8''\} = 771,590\text{M} - 771,590\text{M} \\ = 0\text{M};$$

$$\omega_{15} = S_9 \sin\{1 - 22\} - S_{10} \sin\{20 - 6\} = 0$$

$$\omega_{15} = 814,469\text{M} \sin\{21^{\circ} 42' 09,2''\} - 303,441\text{M} \sin\{96^{\circ} 59' 07,6''\} = 301,181\text{M} - 301,181\text{M} \\ = 0\text{M};$$

$$\omega_{16} = S_{10} \sin\{17 - 16\} - S_2 \sin\{1 - 22\} = 0$$

$$\omega_{16} = 303,441\text{M} \sin\{61^{\circ} 18' 03,2''\} - 719,774\text{M} \sin\{21^{\circ} 42' 09,2''\} = 266,164\text{M} - 266,165\text{M} \\ = -0,001\text{M};$$

$$\omega_{17} = S_2 \sin\{1 - 21\} - S_{11} \sin\{15 - 14\} = 0$$

$$\omega_{17} = 719,774\text{M} \sin\{130^{\circ} 22' 37''\} - 926,714\text{M} \sin\{36^{\circ} 16' 33,5''\} = 548,323\text{M} - 548,314\text{M} \\ = 0,009\text{M};$$

$$\omega_{18} = S_{11} \sin\{19 - 6\} - S_7 \sin\{1 - 21\} = 0$$

$$\omega_{18} = 926,714\text{M} \sin\{13^{\circ} 20' 49,5''\} - 280,829\text{M} \sin\{130^{\circ} 22' 37''\} = 213,931\text{M} - 213,935\text{M} \\ = -0,004\text{M}$$

Поправки

$$1. \quad -(1) + (3) - (5) + (6) - (10) + (11) - 180^{\circ} = 0$$

$$2. \quad -(4) + (6) - (8) + (9) - (1) + (2) - 180^{\circ} = 0$$

$$3. \quad -(4) + (5) - (7) + (9) - (11) + (12) - 180^{\circ} = 0$$

$$4. \quad \sin\{11 - 10\} \mathcal{V}_{S_1} - \sin\{6 - 5\} \mathcal{V}_{S_2} - \frac{S_1}{\rho} \cos\{11 - 10\}(10) + \frac{S_1}{\rho} \cos\{11 - 10\}(11) + \\ \frac{S_2}{\rho} \cos\{6 - 5\}(5) - \frac{S_2}{\rho} \cos\{6 - 5\}(6) + \omega_4 = 0$$

$$5. \quad \sin\{3 - 1\} \mathcal{V}_{S_2} - \sin\{11 - 10\} \mathcal{V}_{S_3} \\ - \frac{S_2}{\rho} \cos\{3 - 1\}(1) + \frac{S_2}{\rho} \cos\{3 - 1\}(3) + \frac{S_3}{\rho} \cos\{11 - 10\}(10) \\ - \frac{S_3}{\rho} \cos\{11 - 10\}(11) + \omega_5 = 0$$

$$6. \quad \sin\{12 - 11\} \mathcal{V}_{S_3} - \sin\{9 - 7\} \mathcal{V}_{S_4} \\ - \frac{S_3}{\rho} \cos\{12 - 11\}(11) + \frac{S_3}{\rho} \cos\{12 - 11\}(12) + \frac{S_4}{\rho} \cos\{9 - 7\}(7) \\ - \frac{S_4}{\rho} \cos\{9 - 7\}(9) + \omega_6 = 0$$

$$\begin{aligned}
7. \quad & \sin\{5 - 4\}\mathcal{V}_{S_4} - \sin\{12 - 11\}\mathcal{V}_{S_5} \\
& - \frac{S_4}{\rho} \cos\{5 - 4\}(4) + \frac{S_4}{\rho} \cos\{5 - 4\}(5) + \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 11\}(11) \\
& - \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 11\}(12) + \omega_7 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
8. \quad & \sin\{12 - 10\}\mathcal{V}_{S_5} - \sin\{3 - 2\}\mathcal{V}_{S_6} \\
& - \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 10\}(10) + \frac{S_5}{\rho} \cos\{12 - 10\}(12) + \frac{S_6}{\rho} \cos\{3 - 2\}(2) \\
& - \frac{S_6}{\rho} \cos\{3 - 2\}(3) + \omega_8 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
9. \quad & \sin\{8 - 7\}\mathcal{V}_{S_6} - \sin\{12 - 10\}\mathcal{V}_{S_1} \\
& - \frac{S_6}{\rho} \cos\{8 - 7\}(7) + \frac{S_6}{\rho} \cos\{8 - 7\}(8) + \frac{S_1}{\rho} \cos\{12 - 10\}(10) \\
& - \frac{S_1}{\rho} \cos\{12 - 10\}(12) + \omega_9 = 0
\end{aligned}$$

$$10. \quad - (13) + (15) - (17) + (18) - (21) + (22) - 180^\circ = 0$$

$$11. \quad - (16) + (18) - (19) + (20) - (13) + (14) - 180^\circ = 0$$

$$12. \quad - (16) + (17) - (6) + (20) - (22) + (1) - 180^\circ = 0$$

$$\begin{aligned}
13. \quad & \sin\{22 - 21\}\mathcal{V}_{S_7} - \sin\{18 - 17\}\mathcal{V}_{S_8} - \frac{S_7}{\rho} \cos\{22 - 21\}(21) + \frac{S_7}{\rho} \cos\{22 - 21\}(22) \\
& + \frac{S_8}{\rho} \cos\{18 - 17\}(17) - \frac{S_8}{\rho} \cos\{18 - 17\}(18) + \omega_{13} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
14. \quad & \sin\{15 - 13\}\mathcal{V}_{S_8} - \sin\{22 - 21\}\mathcal{V}_{S_9} \\
& - \frac{S_8}{\rho} \cos\{15 - 13\}(13) + \frac{S_8}{\rho} \cos\{15 - 13\}(15) + \frac{S_9}{\rho} \cos\{22 - 21\}(21) \\
& - \frac{S_9}{\rho} \cos\{22 - 21\}(22) + \omega_{14} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
15. \quad & \sin\{1 - 22\}\mathcal{V}_{S_9} - \sin\{20 - 6\}\mathcal{V}_{S_{10}} \\
& - \frac{S_9}{\rho} \cos\{1 - 22\}(22) + \frac{S_9}{\rho} \cos\{1 - 22\}(1) + \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{20 - 6\}(6) \\
& - \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{20 - 6\}(20) + \omega_{15} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
16. \quad & \sin\{17 - 16\}\mathcal{V}_{S_{10}} - \sin\{1 - 22\}\mathcal{V}_{S_2} \\
& - \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{17 - 16\}(16) + \frac{S_{10}}{\rho} \cos\{17 - 16\}(17) + \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 22\}(22) \\
& - \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 22\}(1) + \omega_{16} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
17. \quad & \sin\{1 - 21\}\mathcal{V}_{S_2} - \sin\{15 - 14\}\mathcal{V}_{S_{11}} \\
& - \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 21\}(21) + \frac{S_2}{\rho} \cos\{1 - 21\}(1) + \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{15 - 14\}(14) \\
& - \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{15 - 14\}(15) + \omega_{17} = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
18. \quad & \sin\{19 - 6\}\mathcal{V}_{S_{11}} - \sin\{1 - 21\}\mathcal{V}_{S_7} \\
& - \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{19 - 6\}(6) + \frac{S_{11}}{\rho} \cos\{19 - 6\}(19) + \frac{S_7}{\rho} \cos\{1 - 21\}(21) \\
& - \frac{S_7}{\rho} \cos\{1 - 21\}(1) + \omega_{18} = 0
\end{aligned}$$

Решение нормальных уравнений $\frac{1}{P_f}$ по схеме Гаусса

Таблица 2.7

№	каторларны белгиләш	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
		V_{S1}	V_{S2}	(10)	(11)	(5)	(6)	V_{S3}	(1)	(3)	V_{S4}	(12)
1	K_1	+0,90	+0,44	+2,04	+2,04	+8,25	+8,25					
2	E_1	-1	-0,489	-2,267	-2,267	-9,166	-9,166					
3		(-1,1111)										
4	K_2		+1,00	+4,59	+4,59			+0,90	+9,22	+9,22		
5	$E_{12}^{K_1}$		-0,05	-0,23	-0,23			0	0	0		
6	K_{21}		+0,95	+4,36	+4,36			+0,90	+9,22	+9,22		
7	E_2		-1	-4,589	-4,589			-0,948	-9,705	-9,705		
8			(-1,0526)									
9	K_7			+9,22	+9,22			+0,44		+1,00	+9,22	
10	$E_{13}^{K_1}$			-2,26	-2,26			0		0	0	
11	$E_{22}^{K_{21}}$			-2,18	-2,18			-0,45		0	0	
12	K_{71}			+4,78	+4,78			-0,01		+1,00	+9,22	
13	E_3			+4,78	+4,78			-1		+100	+9,22	
14								(+100)				
15	K_{10}			+4,59	+4,59					+0,90	+4,59	
16	$E_{14}^{K_1}$			-2,26	-2,26					0	0	
17	$E_{22}^{K_{21}}$			-2,18	-2,18					0	0	
18	$E_{32}^{K_{21}}$			-2,39	-2,39					-0,50	-4,61	
19	$K_{10,1}$			-2,24	-2,24					+0,40	-0,02	
20	E_4			+5,600	+5,600					-1	+0,05	
21				+11,425	+11,425					(-2,500)		
22	K_{14}			+9,22	+9,22					+4,59	+9,22	
23	$E_{15}^{K_1}$			-2,26	-2,26					0	0	
24	$E_{22}^{K_{21}}$			-2,18	-2,18					-4,61	0	
25	$E_{32}^{K_{21}}$			0	0					0	-4,61	
26	$K_{4,5}^{K_{21}}$			0	0					0	+0,01	
27	$K_{14,1}$			+4,78	+4,78					-0,02	+4,62	
28	E_5			-6,128	-6,128					+0,025	-5,923	
29												

K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	K_{19}	K_{20}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{26}	K_{27}	K_{28}	K_{29}	K_{30}	K_{31}	K_{32}	K_{33}	K_{34}	ρ	S	Текшириш	
(7)	(9)	V_{S5}	(4)	V_{S6}	(2)	(8)	V_{S7}	V_{S8}	(21)	(22)	(17)	(18)	V_{S9}	(13)	(15)	V_{S10}	(16)	(17)	(22)	V_{S11}	(14)	(19)				
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
																								+10,29	+32,21	+32,21
																								-11,431	-35,786	-35,785
																								+10,12	+39,64	+39,64
																								-1,14	-1,65	
																								+8,98	+37,99	+37,99
																								-9,452	-39,988	-39,988
																								+9,18	+38,24	+38,24
																								-11,43	-13,69	
																								+0,57	-2,63	
																								-1,68	+22,49	+22,49
																								-168	+2249	+2192
																								+9,18	+28,88	+28,88
																								-11,43	-22,85	
																								+0,57	-1,61	
																								+0,84	-6,66	
																								-0,84	-2,24	-2,24
																								+2,100	+5,6	+5,6
																								+5,30	+34,55	+34,55
																								-11,43	-13,69	
																								-4,49	-11,28	
																								+0,84	-3,77	
																								+0,42	+0,21	
																								-10,20	+5,45	+5,45
																								+13,077	-6,988	-6,988

2.3 Трилатерационный построения

Трилатерация (от лат. *trilaterus* — трёхсторонний) — метод определения положения геодезических пунктов путём построения на местности системы смежных треугольников, в которых измеряются длины их сторон. Является одним из методов определения координат на местности наряду с триангуляцией (в которой измеряются углы соответствующих треугольников) и полигонометрией (производится измерение как углов, так и расстояний).

Метод трилатерации применяют для построения инженерно-геодезических сетей 3 и 4 классов, а также сетей сгущения 1 и 2 разрядов различного назначения. Приведем наиболее распространенные требования к сетям (табл. 2.8).

Сети трилатерации, создаваемые для решения инженерно-геодезических задач, часто строят в виде свободных сетей, состоящих из отдельных типовых фигур: геодезических четырехугольников, центральных систем или их комбинаций с треугольниками.

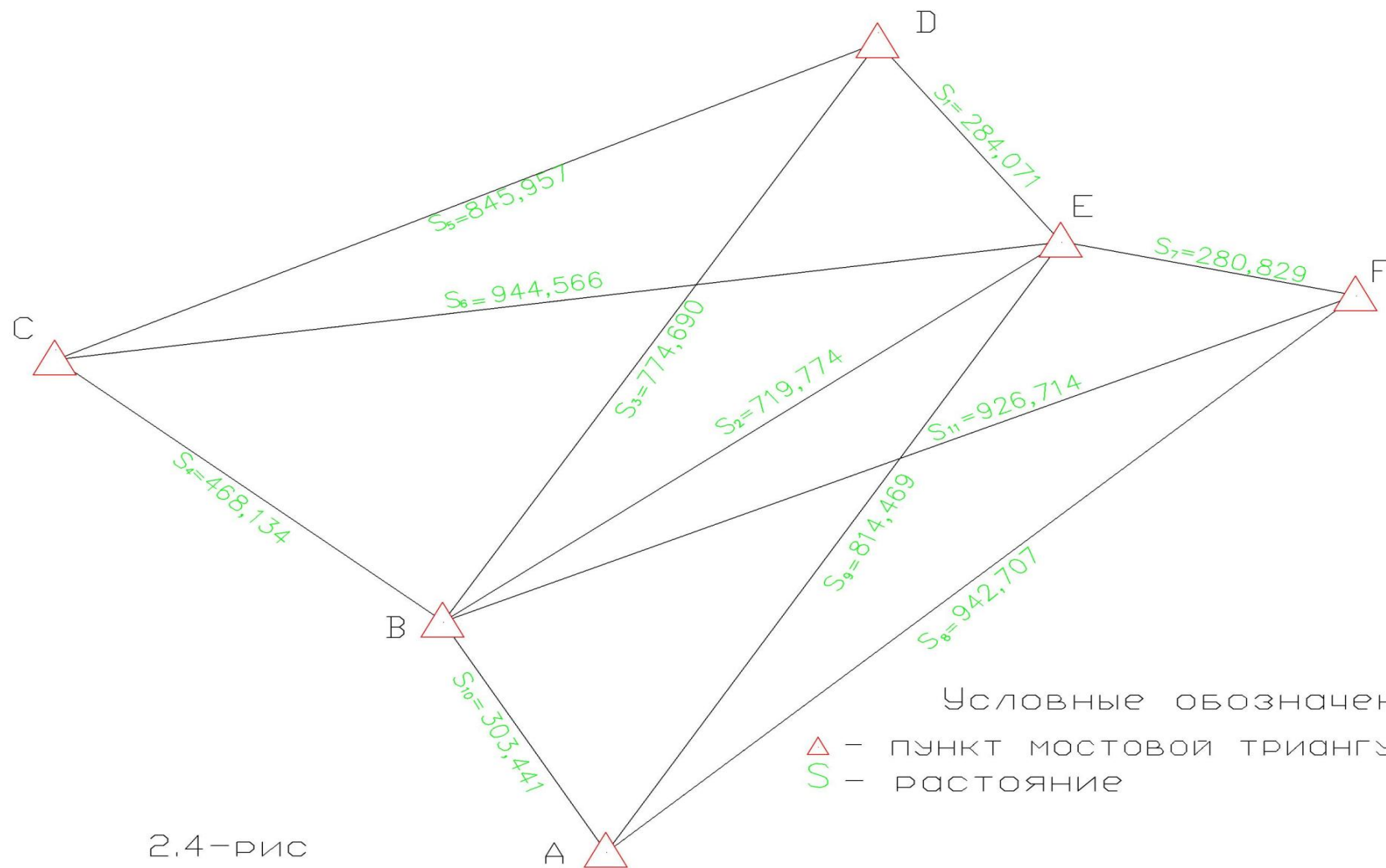
Типовой фигурой трилатерации является треугольник с измеренными сторонами a , b и c .

Таблица 2.8.

Основные показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Длина стороны, км	1 - 5	0,5 - 6	0,25 - 3
Предельная относительная ошибка определения длин сторон	1:50000	1:20000	1:10000

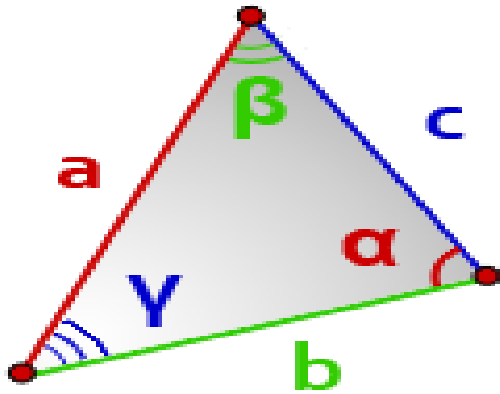
Минимальный угол в треугольнике, угл. Градус	20	20	20
Минимальный угол в четырехугольнике, угл. Градус	25	25	25
Число треугольников между исходными пунктами	6	8	10

СХЕМА МОСТОВОЙ ТРИЛАТЕРАЦИЯ



2.4-рис

Теорема косинуса



a, b, c- стороны треугольника

alpha, beta, gamma- углы треугольника

Формулы:

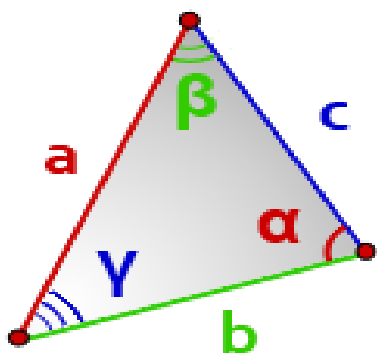
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos(\alpha)$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos(\beta)$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(\gamma)$$

Теорема косинуса определяется каждого треугольника угла.

Первый треугольник BDE



a, b, c- стороны треугольника

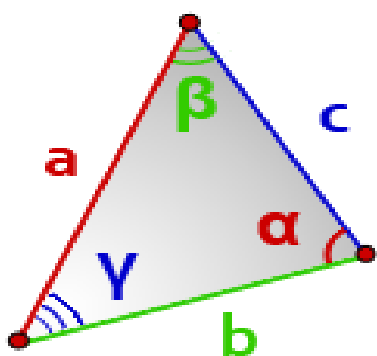
α, β, γ- углы треугольника

$$\cos \alpha = \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} = \frac{-774,690^2 + 719,774^2 + 284,071^2}{2 * 719,774 * 284,071} = 90^\circ 11' 42,8''$$

$$\cos \beta = \frac{-b^2 + a^2 + c^2}{2ac} = \frac{-719,774^2 + 774,690^2 + 284,071^2}{2 * 774,690 * 284,071} = 68^\circ 17' 45,8''$$

$$\cos \gamma = \frac{-c^2 + a^2 + b^2}{2ab} = \frac{-284,071^2 + 774,690^2 + 719,774^2}{2 * 774,690 * 719,774} = 21^\circ 30' 41,4''$$

Второй треугольник ВDC



a, b, c- стороны треугольника

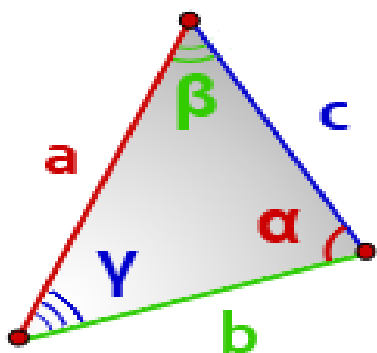
α, β, γ- углы треугольника

$$\cos \alpha = \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} = \frac{-468,134^2 + 774,690^2 + 845,957^2}{2 * 774,690 * 845,957}$$

$$\cos \beta = \frac{-b^2 + a^2 + c^2}{2ac} = \frac{-774,690^2 + 468,134^2 + 845,957^2}{2 * 468,134 * 845,957} = 65^\circ 00' 24,0''$$

$$\cos \gamma = \frac{-c^2 + a^2 + b^2}{2ab} = \frac{-845,957^2 + 468,134^2 + 774,690^2}{2 * 468,134 * 774,690} = 81^\circ 47' 02,7''$$

Третий треугольник ВЕС



a, b, c- стороны треугольника

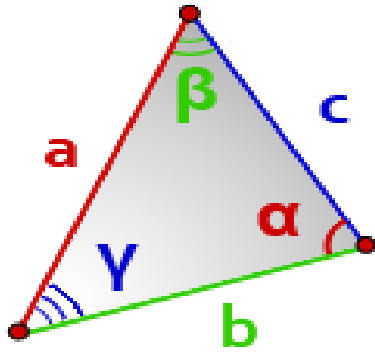
α, β, γ- углы треугольника

$$\cos \alpha = \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} = \frac{-468,134^2 + 719,774^2 + 944,566^2}{2 * 719,774 * 944,566}$$

$$\cos \beta = \frac{-b^2 + a^2 + c^2}{2ac} = \frac{-719,774^2 + 468,134^2 + 944,566^2}{2 * 468,134 * 944,566} = 47^\circ 52' 02,5''$$

$$\cos \gamma = \frac{-c^2 + a^2 + b^2}{2ab} = \frac{-944,566^2 + 468,134^2 + 719,774^2}{2 * 468,134 * 719,774} = 103^\circ 17' 44,3''$$

Четвертый треугольник АFE



a, b, c- стороны треугольника

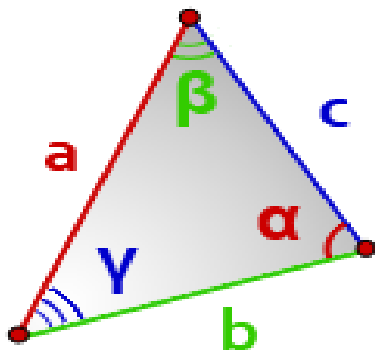
α, β, γ- углы треугольника

$$\cos \alpha = \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} = \frac{-814,469^2 + 942,707^2 + 280,829^2}{2 * 942,707 * 280,829}$$

$$\cos \beta = \frac{-b^2 + a^2 + c^2}{2ac} = \frac{-942,707^2 + 814,469^2 + 280,829^2}{2 * 814,469 * 280,829} = 108^\circ 40' 27,8''$$

$$\cos \gamma = \frac{-c^2 + a^2 + b^2}{2ab} = \frac{-280,829^2 + 814,469^2 + 942,707^2}{2 * 814,469 * 942,707} = 16^\circ 23' 32,4''$$

Пятый треугольник АЕВ



a, b, c- стороны треугольника

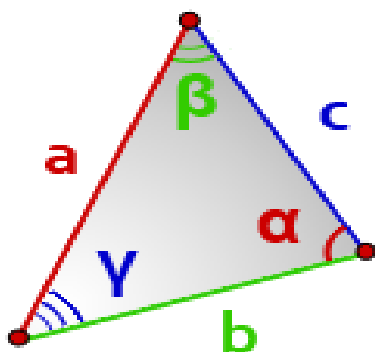
α, β, γ- углы треугольника

$$\cos \alpha = \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} = \frac{-303,441^2 + 814,469^2 + 719,774^2}{2 * 814,469 * 719,774}$$

$$\cos \beta = \frac{-b^2 + a^2 + c^2}{2ac} = \frac{-814,469^2 + 303,441^2 + 719,774^2}{2 * 303,441 * 719,774} = 96^\circ 59' 47,6''$$

$$\cos \gamma = \frac{-c^2 + a^2 + b^2}{2ab} = \frac{-719,774^2 + 303,441^2 + 814,469^2}{2 * 303,441 * 814,469} = 61^\circ 18' 03,1''$$

Шестой треугольник АFB

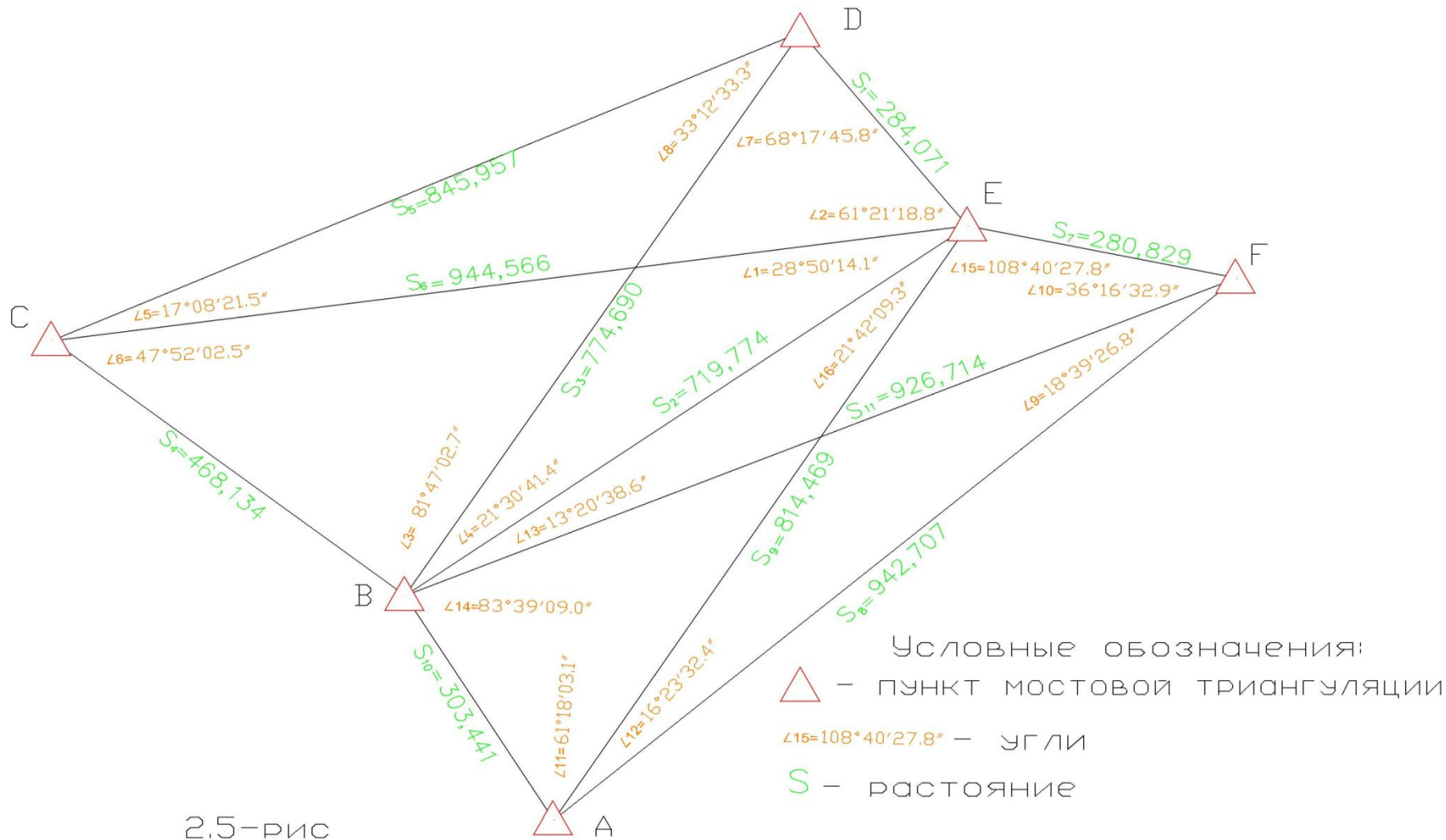


a, b, c- стороны треугольника

α, β, γ- углы треугольника

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} = \frac{-303,441^2 + 942,707^2 + 926,714^2}{2 * 942,707 * 926,714} = 83^\circ 39' 26,8'' \\ \cos \beta &= \frac{-b^2 + a^2 + c^2}{2ac} = \frac{-942,707^2 + 303,441^2 + 926,714^2}{2 * 303,441 * 926,714} = 83^\circ 39' 09,0'' \\ \cos \gamma &= \frac{-c^2 + a^2 + b^2}{2ab} = \frac{-926,714^2 + 303,441^2 + 942,707^2}{2 * 303,441 * 942,707} = 77^\circ 41' 24,2'' \end{aligned}$$

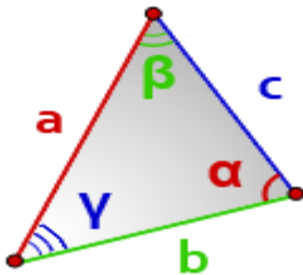
СХЕМА МОСТОВОЙ ТРИЛАТЕРАЦИЯ



2.5-рис

Для вычисления длины сторон сети триангуляции используем теорему синусов. Рис.2.6

Теорема синусов



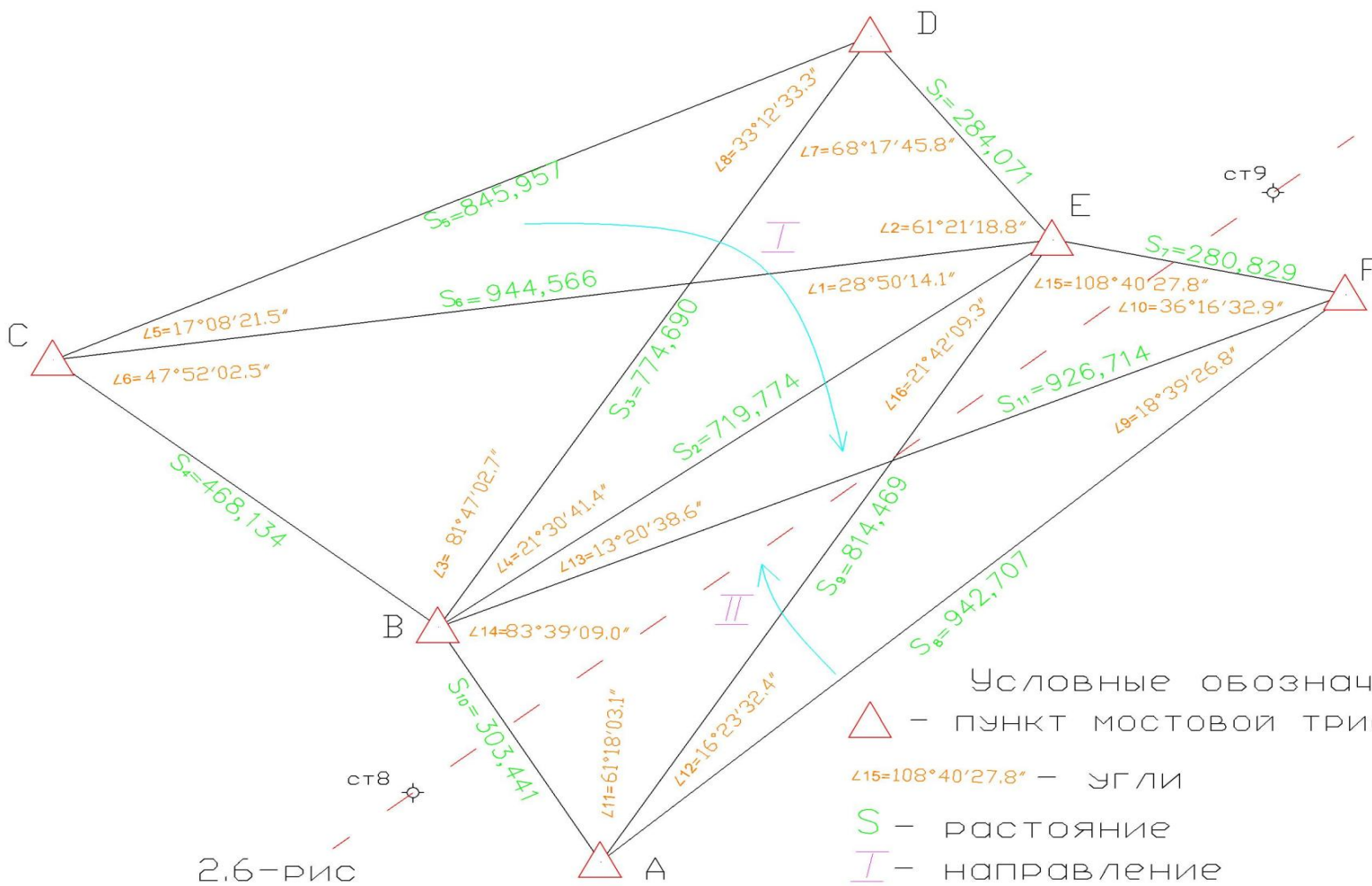
a, b, c - стороны треугольника

α, β, γ - противолежащие углы

Формула:

$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)}$$

СХЕМА МОСТОВОЙ ТРИЛАТЕРАЦИЯ



Условные обозначения:
 △ - пункт мостовой триангуляции
 $L_{15} = 108^\circ 40' 27.8''$ - углы
 S - расстояние
 I - направление

2.6-РИС

I - направление:

$$1) \frac{CD}{\sin 2} = \frac{CE}{\sin 7 + 8};$$

$$CE = \frac{CD \sin 7 + 8}{\sin 2} = \frac{845,957\text{м} \sin 101^{\circ}30'19,1''}{\sin 61^{\circ}21'18,8''} = 944,565\text{м};$$

$$2) \frac{CE}{\sin 3 + 4} = \frac{BE}{\sin 6};$$

$$BE = \frac{CE \sin 6}{\sin 3 + 4} = \frac{944,565\text{м} \sin 77^{\circ}41'24,2''}{\sin 103^{\circ}17'44,3''} = 719,776\text{м}$$

II - направление:

$$1) \frac{FA}{\sin 14} = \frac{FB}{\sin 11 + 12};$$

$$CE = \frac{FA \sin 11 + 12}{\sin 14} = \frac{942,707\text{м} \sin 36^{\circ}16'32,9''}{\sin 130^{\circ}22'37,1''} = 926,714\text{м};$$

$$2) \frac{FB}{\sin 16 + 15} = \frac{BE}{\sin 10};$$

$$BE = \frac{FB \sin 10}{\sin 16 + 15} = \frac{944,565\text{м} \sin 47^{\circ}52'02,5''}{\sin 103^{\circ}17'44,3''} = 719,759\text{м}$$

Нормативы точности геодезических работ строительства мостов

Длина моста	ТУСМ-58 точность изм. Базиса по (тех.условия	Точность разб. базиса по Проф. Лютц А.Ф	Точность измерения углов (секунд)	
			в триангуляция	При разбивка опор

	устрои мости)			
200	1:10000	1:10000	20	20
500	1:25000	1:28000	7	8
1000	1:50000	1:56000	3	4
1500	1:30000	1:84000	2,6	-

Таблица 2.9.

Оценка проекта трилатерация упрощенным методом

Составляют проект трилатерация. Он может быть в виде геодезического четырехугольника, двухстворчатого геодезического четырехугольника и.т.д. Для оценки проекта вначале “TRIMBLE M3” тахеометр измеряют все углы с точностью 3". Каждый четырехугольника сумма углов составила 180°.

Выписывают из таблицы семизначных логарифмов или вычисляют значений изменения логарифма синуса на одну секунда в пределах измеренного угла. Производят оценку слабой стороны трилатерации.

Оценка трилатерация

Оценка трилатерации моста осуществляется по следующей формуле:

$$M_{lgsv-v_1}^2 = m_{lgb}^2 + \frac{2}{3} m_{\text{бур}}^2 \sum_1^n R = m_{lgb}^2 + \frac{2}{3} m_{\text{бур}}^2 \sum_1^n (\delta_{A^2} + \delta_{B^2} + \delta_A + \delta_B) \quad (2.5)$$

Трилатерация моста (рис. 2.5) состоит из нескольких геодезических треугольников и четырех угольников.

Для геометрической оценки построения трилатерации обратный вес логарифма слабой стороны определяется по следующей формуле:

$$\frac{1}{P_s} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=1}^h R_i \quad (2.6)$$

В настоящем уравнении R_i является геометрической связью отдельно взятых треугольников или четырехугольников, она вычисляется по следующей формуле:

$$R_i = \delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \cdot \delta_B \quad (2.7)$$

δ_A, δ_B - пропорционально при изменении связующих углов треугольника на одну секунду, они являются результатом изменения логарифмов синусов, в свою очередь определяется по следующей формуле:

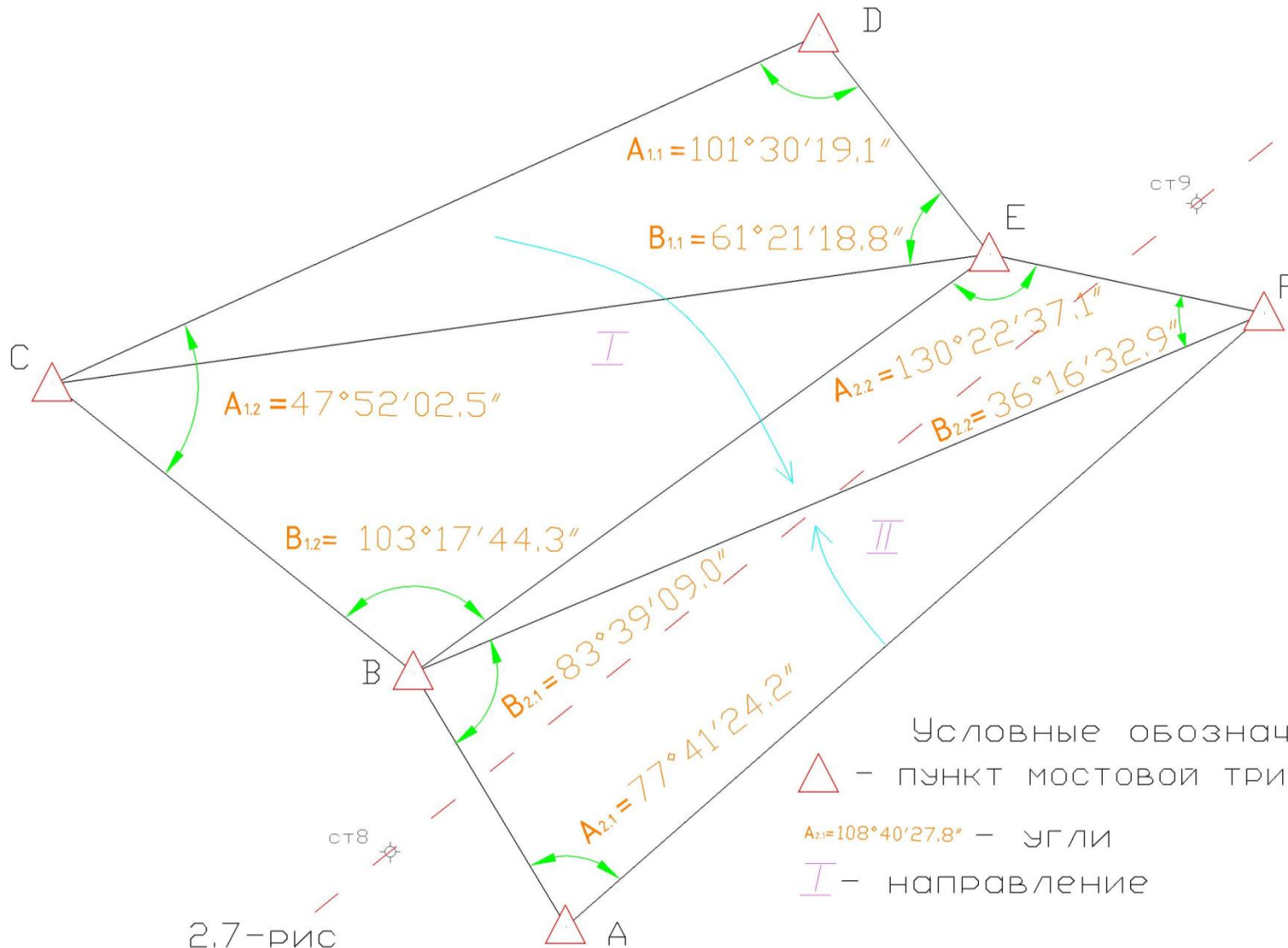
$$\partial \sin A = \frac{M \cdot 10^6}{206265 \cdot \operatorname{tg} A} \quad (2.8)$$

$M=0,43429$ – модуль логарифма; A – значение рассматриваемого угла.

$$\delta_A = \delta_B = 2.10552 \cdot \operatorname{Ctg} A$$

$$\begin{aligned} R_1 &= \delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \cdot \delta_B; & M_{R_1} &= 2 \sqrt{\frac{2}{3} \cdot R_1}; \\ R_2 &= \delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \cdot \delta_B; & M_{R_2} &= 2 \sqrt{\frac{2}{3} \cdot R_2} \end{aligned}$$

СХЕМА УПРОЩЕННОЙ МОСТОВОЙ ТРИЛАТЕРАЦИЯ



Сеть ориентируется по стороне ст9-ст8, дирекционный угол равен

$$\alpha=224^{\circ}09' 28''$$

В высотном отношении сеть привязана к пункту полигонометрии 9325 с отметкой **99,781м**. Система высот - Балтийская. (рис 3.1)

$$\alpha_{ст9Е} = \alpha_{ст9ст8} + \angle 17 = 249^{\circ}20'29,63''$$

$$\alpha_{ЕА} = \alpha_{Ест9} + \angle (19 + 15) = 211^{\circ}16'11,10''$$

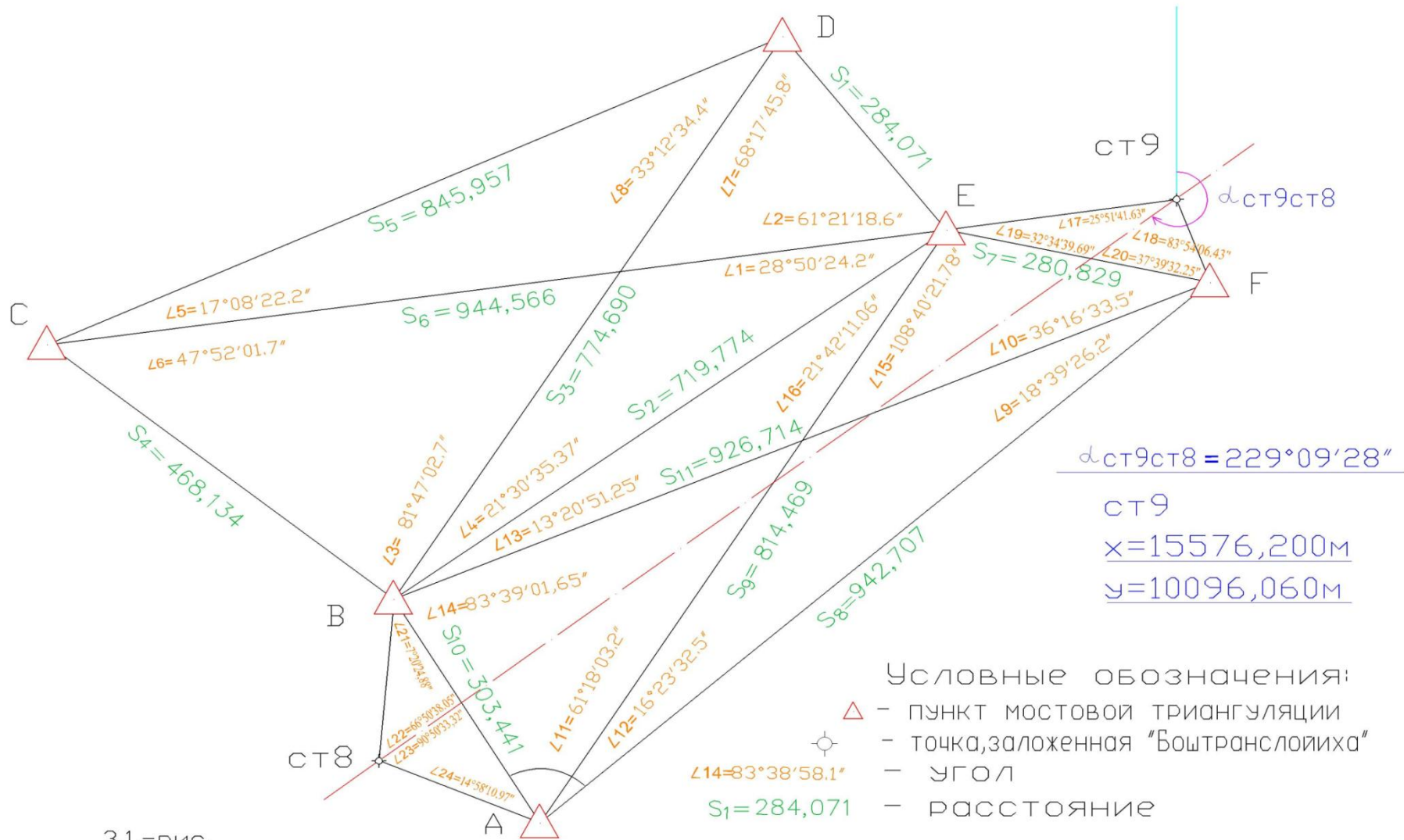
$$\alpha_{ЕВ} = \alpha_{ЕА} + 16 = 232^{\circ}58'22,16''$$

$$\alpha_{ст8В} = (360^{\circ} - 22 + 23) + (\alpha_{ст8ст9} + \angle 23) = 337^{\circ}18'40,06''$$

При вычислении дирекционных углов пунктов триангуляции следует не забывать о том, что дирекционные углы $\alpha_{ст9Е}$, $\alpha_{ЕА}$, $\alpha_{ЕВ}$ и $\alpha_{ст8В}$ являются обратными дирекционными углами, отличающимся от дирекционных углов $\alpha_{Ест9}$, $\alpha_{АЕ}$, $\alpha_{ВЕ}$ и $\alpha_{Вст8}$ на 180° .

Уравнение $\alpha_{ЕВ} = \alpha_{ВЕ} \pm 180^{\circ}$ служит для контроля точности вычисления.

СХЕМА МОСТОВОЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ



3.1.-рис.

Результаты вычисления приведены в таблице 3.1. После этого на строках $\sin\alpha$ и $\cos\alpha$ данной таблицы написаны вычисленные значения синусов и косинусов дирекционных углов.

На строках X_n, Y_n написаны координаты пункта СТ9 (см. графы 2,3,5,7,9,11,13). Координаты остальных пунктов вычисляется исходя из этих координатов.

На строку d таблицы 3.1, выбрав из таблицы 4, пишется $d_{СТ9F}, d_{СТ9D}, d_{СТ9E}, d_{СТ9A}, d_{СТ9B}$ и $d_{СТ9C}$ триангуляции, расстояние соответственно от пунктов СТ8 и СТ9 до центра колон №1 и №22 (они определяются по схеме моста)(см. рисунок 3.2).

Например: $d_{СТ9СТ8} = 956,503\text{м}$; $d_{СТ9 \text{ опора } \#1} = 908,484$ (см. таблицу 3.1 и рисунок 3.3).

Координаты пунктов триангуляции и центры опор моста вычисляются по следующей формуле:

$$\begin{aligned} X_{n+1} &= X_n + \Delta x & \Delta x &= d \cdot \cos\alpha; \\ Y_{n+1} &= Y_n + \Delta y & \Delta y &= d \cdot \sin\alpha; \end{aligned} \quad (3.1)$$

При вычислении координаты пункта СТ8 основанием служит пункт СТ9, при вычислении координатов пунктов F и E пункты СТ9 и СТ8 являются основанием. Вычисления выполняются с точностью 0,001 метр (см. графу 3 таблицы 3.1).

Например:

$$\begin{aligned} \Delta x &= d_{СТ9F} \cdot \cos\alpha_{СТ9F} = 160,693 \cdot (-0,768909) = -123,545\text{м}; \\ \Delta y &= d_{СТ9F} \cdot \sin\alpha_{СТ9F} = 160,693 \cdot (+0,639360) = +102,757\text{м} \text{ и т.д.} \\ X_F &= X_{СТ9} + \Delta x = 15576,200\text{м} - 123,545\text{м} = 15452,655\text{м}; \\ Y_F &= Y_{СТ9} + \Delta y = 10096,060\text{м} + 102,757\text{м} = 10198,817\text{м} \end{aligned}$$

Координаты пунктов F и E вычисляются дважды разными способами. Результаты не должны превышать 2мм. Если разница не превышает предельный размер, вычисляется среднее значение координатов, они пишутся на строку $X_{\text{ср}}, Y_{\text{ср}}$.

РАЗБИВОЧНАЯ СХЕМА ОСЕЙ ОПОР МОСТА

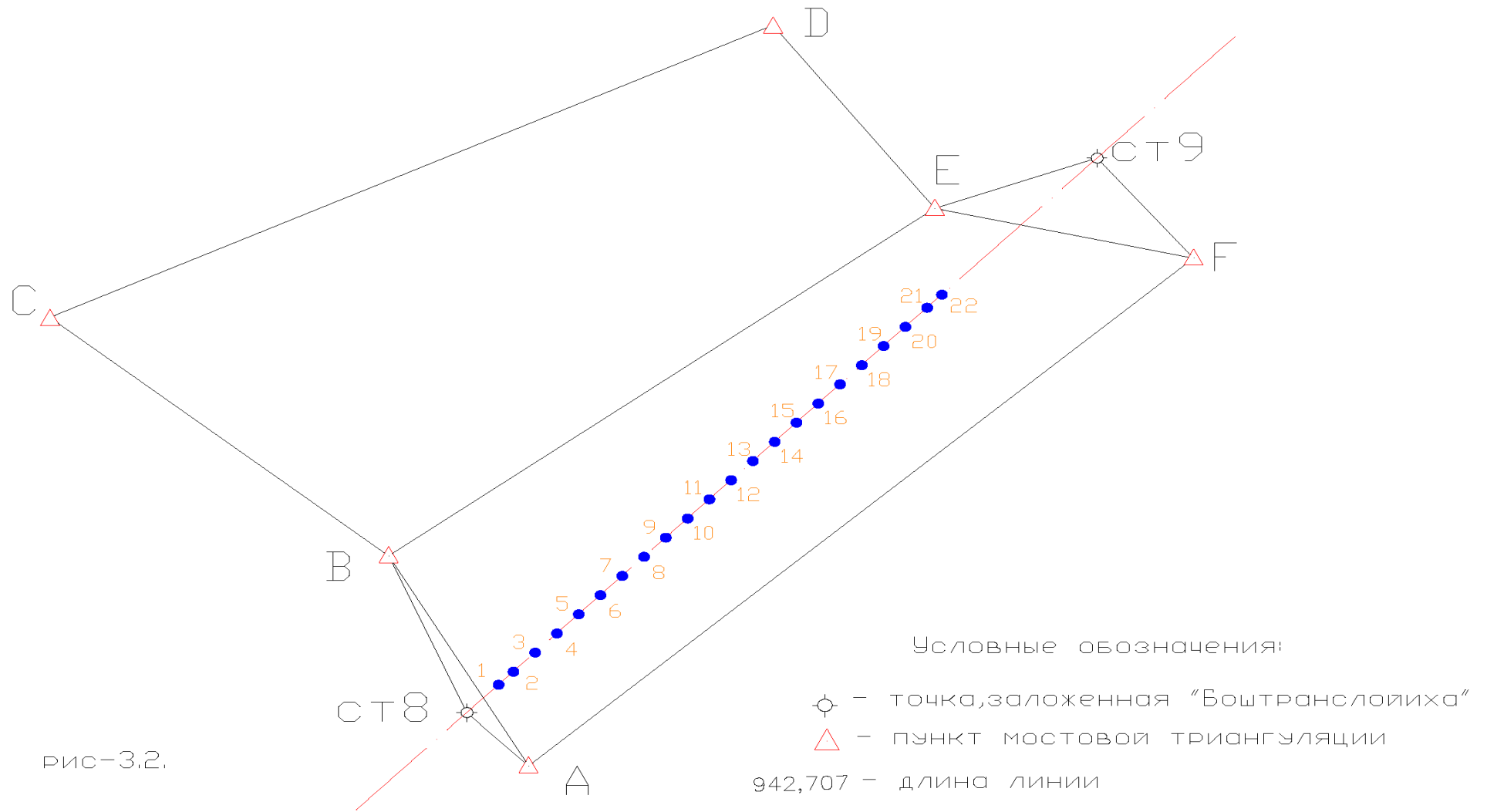


Таблица 3.1.

	n.Ст9 n+1. Ст8	Ст9 F	Ст8 F	Ст9 E	Ст8 E	Ст9 D	Ст8 D
1	2	3	4	5	6	7	8
α	224°09'28"	140°15'21,57"	53°48'34,22"	250°01'09,63"	38°25'37,69"	295°47'14,45"	20°52'45,20"
X_n	15576,200	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	14889,982	15452,655	15452,655	15513,902	15513,900	15741,252	15741,252
Δx	-686,218	-123,545	+562,673	-62,298	+623,920	+165,052	+851,270
$\cos \alpha$	-0,717424	-0,768908	+0,590471	-0,341703	+0,783399	+0,435032	+0,934334
d	956,503	160,693	952,923	182,289	796,427	379,378	911,099
$\sin \alpha$	-0,696637	+0,639360	+0,807059	-0,939808	+0,621519	-0,900415	+0,356399
Δy	-666,307	+102,757	+769,064	-171,313	+494,994	-341,592	+324,715
Y_n	10096,060	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	9429,753	10198,817	10198,817	9924,747	9924,747	9754,468	9754,468
X_{cp}	14889,982	15452,655		15513,901		15741,252	
Y_{cp}	9429,753	10198,817		9924,747		9754,468	

Окончание таблицы 3.1 .

	Ст9 C	Ст8 C	Ст9 A	Ст8 A	Ст9 B	Ст8 B
1	9	10	11	12	13	14
α	259°54'38,18"	318°02'46,65"	218°04'14,88"	135°04'09"	236°23'33,95"	337°18'40,06"
X_n	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	15379,361	15379,359	14817,748	14817,749	15080,464	15080,462
Δx	-196,838	+489,379	-758,451	-72,233	-495,734	+190,480
$\cos \alpha$	-0,175184	+0,743685	-0,787249	-0,707960	-0,553497	+0,922613
d	1123,607	658,046	963,420	102,151	895,641	206,457
$\sin \alpha$	-0,984536	-0,668530	-0,616635	+0,706252	-0,832851	-0,385727
Δy	-1106,231	-439,923	-594,078	+72,229	-745,936	-79,629

Y_n	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	8989,829	8989,830	9501,982	9501,982	9350,124	9350,124
X_{cp}	15379,360		14817,748		15080,463	
Y_{cp}	8989,830		9501,982		9350,124	

$$\alpha_{EB} = \alpha_{EA} + \angle 16 = 211^{\circ}16'11,10'' + 21^{\circ}42'11,06'' = 232^{\circ}58'22,16''$$

$$\alpha_{BE} = \alpha_{BCT8} - \angle(13 + 14 + 21) = 157^{\circ}18'40,06'' - (13^{\circ}20'51,25'' + 83^{\circ}39'01,65'' + 7^{\circ}20'24,88'') = 52^{\circ}58'22,28''$$

$$\text{КОНТРОЛЬ: } \alpha_{EB} = \alpha_{BE} \pm 180^{\circ} = 52^{\circ}58'22,28'' + 180^{\circ} = 232^{\circ}58'22,28''$$

Таблица 3.2.

	Ст 9 Оп. №1	Ст 8 Оп. №1	Ст 9 Оп. №2	Ст 8 Оп. №2	Ст 9 Оп. №3	Ст 8 Оп. №3	Ст 9 Оп. №4	Ст 8 Оп. №4
1	2	3	4	5	6	7	6	7
α	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"
X_n	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	14924,418	14924,418	14940,591	14924,587	14964,217	14964,215	14987,926	14987,926
Δx	-651,782	+34,436	-635,609	+50,607	-611,983	+74,235	-588,272	+97,946
$\cos \alpha$	-0,717083	+0,717083	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424
d	908,484	48,000	885,960	70,540	853,028	103,475	819,978	136,525
$\sin \alpha$	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637
Δy	-632,896	+33,438	-617,192	+49,141	-594,222	+72,084	-571,200	+65,108
Y_n	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	9463,191	9463,191	9478,893	9478,894	9501,838	9501,837	9524,860	9524,861
X_{cp}	14924,418		14940,589		14964,216		14987,926	
Y_{cp}	9463,191		9478,894		9501,837		9524,860	

Продолжения таблица 3.2.

	Ст 9 Оп. №5	Ст 8 Оп. №5	Ст 9 Оп. №6	Ст 8 Оп. №6	Ст 9 Оп. №7	Ст 8 Оп. №7	Ст 9 Оп. №8	Ст 8 Оп. №8
1	2	3	4	5	6	7	6	7
α	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"
X_n	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	15011,639	15011,637	15035,350	15035,348	15059,060	15059,058	15082,771	15082,770
Δx	-564,561	+121,657	-635,609	+145,681	-517,139	+169,078	-493,428	+192,790
$\cos \alpha$	-0,717083	+0,717083	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424
d	786,928	169,575	753,878	202,625	720,828	235,675	687,778	268,725
$\sin \alpha$	-0,696988	+0,331893	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637
Δy	-548,203	+118,321	-525,151	+141,156	-502,125	+164,180	-479,101	+187,204
Y_n	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	9547,857	9547,857	9570,909	9570,909	9593,905	9593,933	9616,959	9616,957

X_{cp}	15011,638	15035,349	15059,059	15082,770
Y_{cp}	9547,857	9570,909	9593,933	9616,958

Продолжения таблица 3.2.

	Ст 9 Оп. №9	Ст 8 Оп. №9	Ст 9 Оп. №10	Ст 8 Оп. №10	Ст 9 Оп. №11	Ст 8 Оп. №11	Ст 9 Оп. №12	Ст 8 Оп. №12
1	2	3	4	5	6	7	6	7
α	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"
X_n	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	15106,482	15106,481	15130,195	15130,194	15153,906	15153,904	15177,617	15177,615
Δx	-469,718	+216,500	-446,005	+240,214	-422,294	+263,924	-398,583	+287,354
$\cos \alpha$	-0,717083	+0,717083	-540,850	+0,717424	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424
d	654,728	301,775	621,675	334,828	588,625	367,878	555,575	400,928
$\sin \alpha$	-0,696988	+0,331893	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637
Δy	-456,087	+210,228	-433,082	+233,253	-410,028	+256,277	-387,004	+279,301
Y_n	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	9639,983	9639,982	9662,978	9662,978	9686,032	9686,030	9709,055	9709,054
X_{cp}	15106,482		15130,194		15153,905		15177,616	
Y_{cp}	9639,982		9663,006		9686,031		9709,054	

Продолжения таблица 3.2.

	Ст 9 Оп. №13	Ст 8 Оп. №13	Ст 9 Оп. №14	Ст 8 Оп. №14	Ст 9 Оп. №15	Ст 8 Оп. №15	Ст 9 Оп. №16	Ст 8 Оп. №16
1	2	3	4	5	6	7	6	7
α	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"	224°09'28"	44°09'28"
X_n	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	15201,328	15201,326	15225,039	15225,037	15248,749	15248,748	15272,460	15272,457
Δx	-374,872	+311,346	-351,161	+335,057	-327,450	+358,768	-303,740	+382,477
$\cos \alpha$	-0,717083	+0,717083	-540,850	+0,717424	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424
d	522,525	433,978	489,475	467,028	456,425	500,078	423,375	533,128
$\sin \alpha$	-0,696988	+0,331893	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637
Δy	-363,080	+302,325	-340,956	+325,349	-317,932	+348,373	-294,912	+371,396
Y_n	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	9732,080	9732,078	9755,104	9755,102	9778,128	9778,126	9801,148	9801,149

X_{cp}	15201,327	15225,038	15248,749	15272,458
Y_{cp}	9732,079	9755,103	9778,127	9801,149

Продолжения таблица 3.2.

	Ст 9 Оп. №17	Ст 8 Оп. №17	Ст 9 Оп. №18	Ст 8 Оп. №18	Ст 9 Оп. №19	Ст 8 Оп. №19	Ст 9 Оп. №20	Ст 8 Оп. №20
1	2	3	4	5	6	7	6	7
α	224° 09' 28"	44° 09' 28"	224° 09' 28"	44° 09' 28"	224° 09' 28"	44° 09' 28"	224° 09' 28"	44° 09' 28"
X_n	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	15296,172	15296,170	15319,882	15319,880	15343,591	15343,592	15367,304	15367,302
Δx	-280,028	+406,190	-256,328	+429,901	-232,607	+453,611	-208,896	+477,322
$\cos \alpha$	-0,717083	+0,717083	-540,850	+0,717424	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424
d	390,325	566,178	357,275	599,228	324,225	632,278	291,175	665,328
$\sin \alpha$	-0,696988	+0,331893	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637
Δy	-271,884	+394,420	-248,861	+417,444	-225,837	+440,468	-202,813	+463,492
Y_n	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	9824,176	9824,173	9847,199	9847,197	9870,223	9870,221	9893,247	9893,245
X_{cp}	15296,171		15319,881		15343,592		15367,303	
Y_{cp}	9824,174		9847,198		9870,222		9893,246	

	Ст 9 Оп. №21	Ст 8 Оп. №21	Ст 9 Оп. №22	Ст 8 Оп. №22
1	6	7	6	7
α	224 09' 28"	44 09' 28"	224 09' 28"	44 09' 28"
X_n	15576,200	14889,982	15576,200	14889,982
X_{n+1}	15390,932	15390,931	15407,103	15407,101
Δx	-185,268	+500,951	-169,097	+517,215
$\cos \alpha$	-0,717424	+0,717424	-0,717424	+0,717424
d	258,240	698,263	235,700	720,803
$\sin \alpha$	-0,696637	+0,696637	-0,696637	+0,696637
Δy	-225,867	+468,436	-164,167	+502,138
Y_n	10096,060	9429,753	10096,060	9429,753
Y_{n+1}	9870,193	9916,161	9931,893	9931,891
X_{cp}	15390,932		15407,102	
Y_{cp}	9870,193		9931,892	

3.2. ПЛАНИРОВАНИЕ ЦЕНТРА ОПОР МОСТА

Вычисление горизонтальных углов планирования

Необходимо подготовить геодезических сведений (приведены в таблице 3.1) для планирования посредством правильного пересечения опор №№ 1-22 от пунктов AB , CD и EF см 9, то есть требуется вычислить горизонтальных углов планирования CD_2 , DC_2 , CD_3 и DC_3 .

Вычисление горизонтальных углов планирования выполняется в следующей последовательности. Зная координаты пунктов E и F триангуляции моста, центров опор от № 1 до № 22 вычисляются дирекционные углы сторон $F-1 \dots 22$, $E-1 \dots 22$ пересечений. При этом используется формула обратной геодезической задачи:

$$tg\alpha = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (3.2)$$

Координаты пункта триангуляции X_1, Y_1 – (E или F);

Координаты центра X_2, Y_2 – (от опоры № 1 до опоры № 22).

Расчеты пересечений дирекционных углов прописываются в таблицу 3.3, координаты пунктов и центров опор берутся из таблиц 3.1 и 3.2.

По формуле (3.2) вычисляются тангенсы дирекционных углов посредством вычисления разницы координат $\Delta x = X_2 - X_1$ и $\Delta y = Y_2 - Y_1$. Используя микрокалькулятор сначала вычисляется ось румба по тангенсу, а затем дирекционные углы пересечений.

Например, для направления E – опоры №1 (см. Таблицу 3.3)

$$tg\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{-461,556}{-589,482} = -0,782986$$

Здесь абсцисса является отрицательным, а ординат - положительным, при этом направление расположено в южно-западной (Ю.З) части.

Из стр.262 таблицы Петерса по тангенсу находим числовое значение оси румба: $38^{\circ}03'37,57''$. Так как направление расположено в южно-западной (Ю.З) части, дирекционный угол равен следующему:

$$\alpha = 180^{\circ} + r = 180^{\circ} - 38^{\circ}03'37,57'' = 218^{\circ}03'37,57''.$$

Таблица 3.3.

№	Е - Оп. №1	F - Оп. №1	Е - Оп. №2	F - Оп. №2	Е - Оп. №3	F - Оп. №3
X ₂	14924,418	14924,418	14940,589	14940,589	14964,216	14964,216
X ₁	15513,901	15452,655	15513,901	15452,655	15513,901	15452,655
ΔX	-589,482	-528,238	-573,314	-512,067	-549,685	-488,438
Y ₂	9463,191	9463,191	9478,894	9478,894	9501,837	9501,837
Y ₁	9924,747	10198,817	9924,747	10198,817	9924,747	10198,817
ΔY	-461,556	-735,626	-445,853	-719,923	-422,910	-696,980
tan α	-0,782986	-1,392603	-0,777677	-1,405916	-0,769368	-1,426957
r	Ю.З: 38° 03' 37,57"	Ю.З: 54° 19' 07,09"	Ю.З: 37° 52' 16,96"	Ю.З: 54° 34' 35,43"	Ю.З: 37° 34' 24,70"	Ю.З: 54° 58' 39,13"
α	218° 03' 37,57"	234° 19' 07,09"	217° 52' 16,96"	234° 34' 35,43"	217° 34' 24,70"	234° 58' 39,13"

Продолжения таблица 3.3.

№	Е - Оп. №4	F - Оп. №4	Е - Оп. №5	F - Оп. №5	Е - Оп. №6	F - Оп. №6
X ₂	14987,926	14987,926	15011,638	15011,638	15035,349	15035,349
X ₁	15513,901	15452,655	15513,901	15452,655	15452,655	15452,655
ΔX	-525,975	-464,728	-589,482	-528,238	-478,553	-417,306
Y ₂	9524,860	9524,860	9547,857	9547,857	9570,909	9570,909
Y ₁	9924,747	10198,817	9924,747	10198,817	10198,817	10198,817
ΔY	-399,868	-673,938	-461,556	-735,626	-353,838	-627,908
tan α	-0,760242	-1,450177	-0,782986	-1,392603	-0,739391	-1,504670
r	Ю.З: 37° 14' 36,96"	Ю.З: 55° 24' 39,54"	Ю.З: 36° 52' 54,72"	Ю.З: 54° 19' 07,09"	Ю.З: 36° 28' 44,05"	Ю.З: 56° 23' 31,53"
α	217° 14' 36,96"	235° 24' 39,54"	216° 52' 54,72"	234° 19' 07,09"	216° 28' 44,05"	236° 23' 31,53"

№	E - Оп. №13	F - Оп. №13	E - Оп. №14	F - Оп. №14	E - Оп. №15	F - Оп. №15
X ₂	15201,327	15201,327	15225,038	15225,038	15248,749	15248,749
X ₁	15513,901	15452,655	15513,901	15452,655	15452,655	15452,655
ΔX	-312,575	-251,328	-288,864	-227,617	-265,153	-203,906
Y ₂	9732,079	9732,079	9755,103	9755,103	9778,127	9778,127
Y ₁	9924,747	10198,817	9924,747	10198,817	10198,817	10198,817
ΔY	-192,669	-466,739	-169,645	-443,715	-146,621	-420,691
tan α	-0,616393	-1,857091	-0,587283	-1,949393	-0,552967	-2,063161
r	Ю.З: 31° 38' 57,78"	Ю.З: 61° 41' 54,88"	Ю.З: 30° 25' 30,01"	Ю.З: 62° 50' 35,07"	Ю.З: 28° 56' 28,20"	Ю.З: 64° 08' 27,07"
α	211° 38' 57,78"	241° 41' 54,88"	210° 25' 30,01"	242° 50' 35,07"	208° 56' 28,20"	244° 08' 27,07"
№	E - Оп. №7	F - Оп. №7	E - Оп. №8	F - Оп. №8	E - Оп. №9	F - Оп. №9
X ₂	15059,059	15059,059	15082,770	15082,770	15106,482	15106,482
X ₁	15513,901	15452,655	15513,901	15452,655	15452,655	15452,655
ΔX	-454,842	-393,595	-431,131	-369,884	-407,385	-346,138
Y ₂	9593,933	9593,933	9616,958	9616,958	9639,982	9639,982
Y ₁	9924,747	10198,817	9924,747	10198,817	10198,817	10198,817
ΔY	-330,814	-604,884	-307,790	-581,860	-284,767	-558,837
tan α	-0,727310	-1,536818	-0,713913	-1,573088	-0,699012	-1,614492
r	Ю.З: 36° 01' 43,53"	Ю.З: 56° 56' 53,33"	Ю.З: 35° 31' 24,71"	Ю.З: 57° 33' 22,27"	Ю.З: 34° 57' 14,43"	Ю.З: 58° 13' 34,83"
α	216° 01' 43,53"	236° 56' 53,33"	215° 31' 24,71"	237° 33' 22,27"	214° 57' 14,43"	238° 13' 34,83"
№	E - Оп. №16	F - Оп. №16	E - Оп. №17	F - Оп. №17	E - Оп. №18	F - Оп. №18
X ₂	15130,194	15130,194	15153,905	15153,905	15177,616	15177,616
X ₁	15513,901	15452,655	15513,901	15452,655	15452,655	15452,655
ΔX	-383,707	-322,460	-359,996	-298,749	-336,285	-275,038
Y ₂	9663,006	9663,006	9686,031	9686,031	9709,054	9709,054
Y ₁	9924,747	10198,817	9924,747	10198,817	10198,817	10198,817
ΔY	-261,741	-535,811	-238,717	-512,787	-215,693	-489,763
tan α	-0,682067	-1,661636	-0,663110	-1,716447	-0,641399	-1,780710
r	Ю.З: 34° 17' 47,83"	Ю.З: 58° 57' 35,16"	Ю.З: 33° 32' 55,54"	Ю.З: 59° 46' 29,93"	Ю.З: 32° 40' 33,91"	Ю.З: 60° 40' 57,29"
α	214° 17' 47,83"	238° 57' 35,16"	213° 32' 55,54"	239° 46' 29,93"	212° 40' 33,91"	240° 40' 57,29"

X ₂	15272,458	15272,458	15296,171	15296,171	15319,881	15319,881
X ₁	15452,655	15452,655	15452,655	15452,655	15452,655	15452,655
ΔX	-241,442	-180,195	-217,731	-156,484	-194,020	-132,773
Y ₂	9801,149	9801,149	9824,174	9824,174	9847,198	9847,198
Y ₁	10198,817	10198,817	10198,817	10198,817	10198,817	10198,817
ΔY	-123,598	-397,668	-100,574	-374,644	-77,550	-351,620
tan α	-0,511916	-2,206876	-0,461919	-2,394136	-0,399701	-2,648279
r	Ю.З: 27° 06' 31,06"	Ю.З: 65° 37' 23,98"	Ю.З: 24° 47' 35,13"	Ю.З: 67° 19' 49,19"	Ю.З: 21° 47' 11,91"	Ю.З: 68° 18' 47,80"
α	207° 06' 31,06"	245° 37' 23,98"	204° 47' 35,13"	247° 19' 49,19"	201° 47' 11,91"	248° 18' 47,80"
№	Е - Оп. №19	Ф - Оп. №19	Е - Оп. №20	Ф - Оп. №20	Е - Оп. №21	Ф - Оп. №21
X ₂	15343,592	15343,592	15367,303	15367,303	15390,932	15390,932
X ₁	15452,655	15452,655	15452,655	15452,655	15452,655	15452,655
ΔX	-170,039	-109,062	-146,598	-85,351	-122,970	-61,723
Y ₂	9870,222	9870,222	9893,246	9893,246	9870,193	9931,892
Y ₁	10198,817	10198,817	10198,817	10198,817	10198,817	10198,817
ΔY	-54,526	-328,596	-31,502	-305,572	-8,558	-282,628
tan α	-0,620668	-3,012928	-0,214887	-3,580181	-0,069594	-4,578974
r	Ю.З: 17° 46' 45,70"	Ю.З: 71° 38' 19,82"	Ю.З: 12° 07' 39,68"	Ю.З: 74° 23' 38,85"	Ю.З: 3° 58' 51,72"	Ю.З: 77° 40' 50,24"
α	197° 46' 45,70"	251° 38' 19,82"	192° 07' 39,68"	254° 23' 38,85"	183° 58' 51,72"	257° 40' 50,24"

Окончание таблица 3.3.

№	Е - Оп. №22	Ф - Оп. №22
X ₂	15407,102	15407,102
X ₁	15513,901	15452,655
ΔX	-106,799	-45,552
Y ₂	9931,892	9931,892
Y ₁	9924,747	10198,817
ΔY	+7,144	-266,926
tan α	-0,066834	-5,859808
r	Ю.В: 3° 49' 36,94" ⁷⁷	Ю.З: 80° 18' 55,93"
α	176° 10' 23,06"	260° 18' 55,93"

Таблица 3.4.

Наименование пункта триангуляции	Номер опоры	Дирекционный угол сторон триангуляции		Дирекционный угол линии пересечения		Угол планирования	
		Наименование сторон	Значение угла	Наименование линии	Значение угла	Наименование угла	Значение угла
1	2	3	4	5	6	7	8
F	1	F – E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №1	234° 19' 07,09"	FE ₁	48° 16' 42,23"
	2	F – E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №2	234° 34' 35,43"	FE ₂	48° 01' 13,89"
	3	F – E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №3	234° 58' 39,13"	FE ₃	47° 37' 10,19"
	4	F – E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №4	235° 24' 39,54"	FE ₄	47° 11' 09,78"
	5	F – E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №5	234° 19' 07,09"	FE ₅	46° 42' 55,06"
	6	F – E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №6	236° 23' 31,53"	FE ₆	46° 12' 17,79"
	7	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №7	236° 56' 53,33"	FE ₇	45° 38' 55,99"
	8	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №8	237° 33' 22,27"	FE ₈	45° 38' 55,99"
	9	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №9	238° 13' 34,83"	FE ₉	44° 22' 14,49"
	10	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №10	238° 57' 35,16"	FE ₁₀	43° 38' 14,16"
	11	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №11	239° 46' 29,93"	FE ₁₁	42° 49' 19,39"
	12	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №12	240° 40' 57,29"	FE ₁₂	41° 54' 52,03"
	13	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №13	241° 41' 54,88"	FE ₁₃	40° 53' 54,44"
	14	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №14	242° 50' 35,07"	FE ₁₄	39° 45' 14,25"
	15	F – E	282° 35' 49,32"	Оп. №15	244° 08' 27,07"	FE ₁₅	38° 27' 22,25"

Окончание таблица 3.4.

Наименование пункта триангуляции	Номер опоры	Дирекционный угол сторон триангуляции		Дирекционный угол линии пересечения		Угол планирования	
		Наименование сторон	Значение угла	Наименование линии	Значение угла	Наименование угла	Значение угла
1	2	3	4	5	6	7	8
F	16	F - E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №16	245° 37' 23,98"	FE ₁₆	36° 58' 25,34"
	17	F - E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №17	247° 19' 49,19"	FE ₁₇	35° 16' 00,13"
	18	F - E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №18	248° 18' 47,80"	FE ₁₈	34° 17' 01,52"
	19	F - E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №19	251° 38' 19,82"	FE ₁₉	30° 57' 29,50"
	20	F - E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №20	254° 23' 38,85"	FE ₂₀	28° 12' 10,47"
	21	F - E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №21	257° 40' 50,24"	FE ₂₁	24° 54' 59,08"
	22	F - E	282° 35' 49,32"	F - Оп. №22	260° 18' 55,93"	FE ₂₂	22° 16' 53,39"

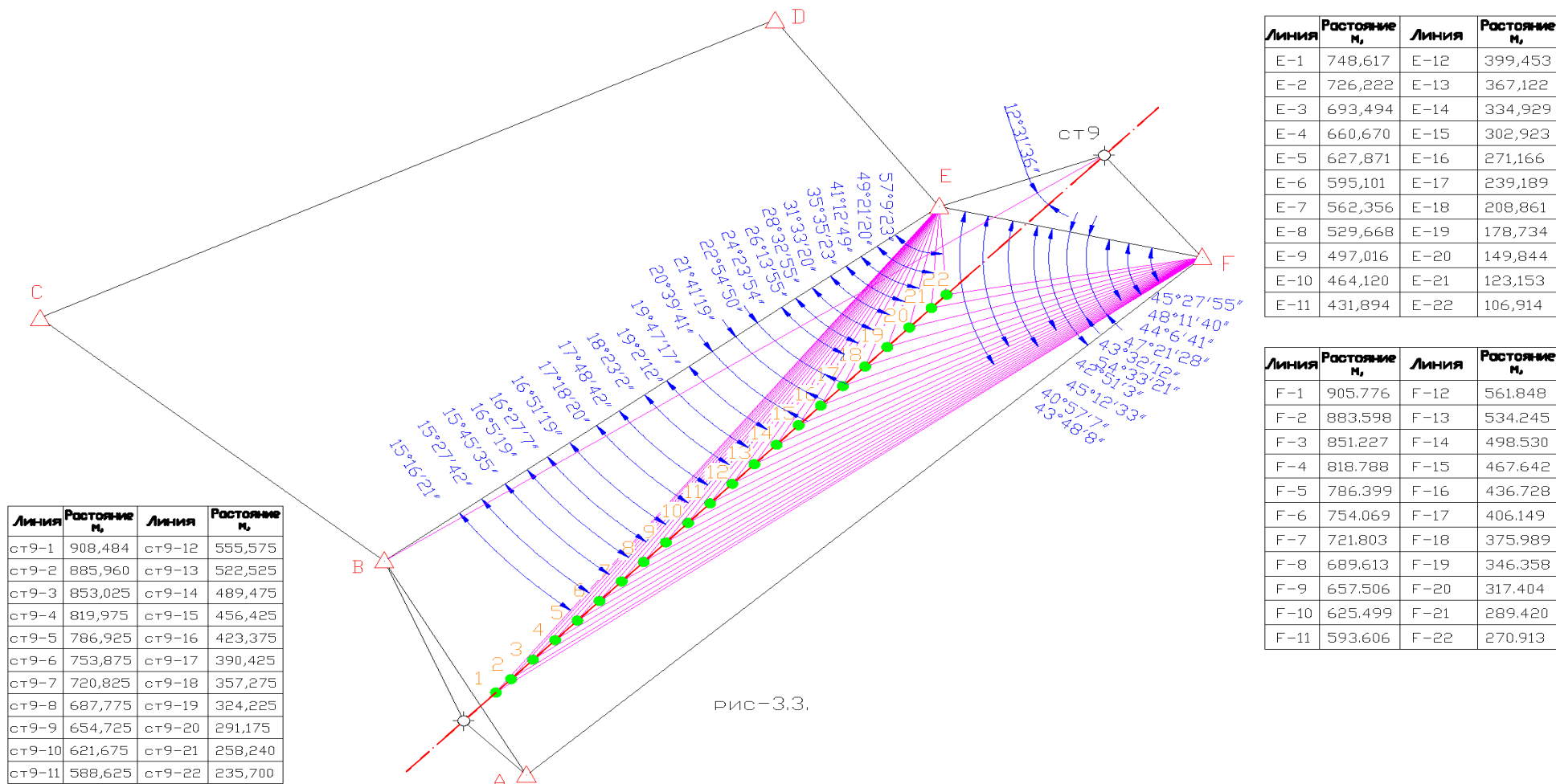
Таблица 3.5.

Наименование пункта триангуляции	Номер опоры	Дирекционный угол сторон триангуляции		Дирекционный угол линии пересечения		Угол планирования	
		Наименование сторон	Значение угла	Наименование линии	Значение угла	Наименование угла	Значение угла
1	2	3	4	5	6	7	8
Е	1	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №1	218°03'37,57"	ЕВ ₁	14°54'44,59"
	2	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №2	217°52'16,96"	ЕВ ₂	15°06'05,20"
	3	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №3	217°34'24,70"	ЕВ ₃	15°23'57,46"
	4	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №4	217°14'36,96"	ЕВ ₄	15°43'45,20"
	5	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №5	216°52'54,72"	ЕВ ₅	16°05'27,44"
	6	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №6	216°28'44,05"	ЕВ ₆	16°29'38,11"
	7	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №7	216°01'43,53"	ЕВ ₇	16°56'38,63"
	8	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №8	215°31'24,71"	ЕВ ₈	17°26'97,45"
	9	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №9	214°57'14,43"	ЕВ ₉	18°01'07,73"
	10	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №10	214°17'47,83"	ЕВ ₁₀	18°40'34,33"
	11	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №11	213°32'55,54"	ЕВ ₁₁	19°25'26,62"
	12	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №12	212°40'33,91"	ЕВ ₁₂	20°17'48,25"
	13	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №13	211°38'57,78"	ЕВ ₁₃	21°19'24,38"
	14	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №14	210°25'30,01"	ЕВ ₁₄	22°32'52,15"
	15	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №15	208°56'28,20"	ЕВ ₁₅	24°01'53,96"

Окончание таблица 3.6.

Наименование пункта триангуляции	Номер опоры	Дирекционный угол сторон триангуляции		Дирекционный угол линии пересечения		Угол планирования	
		Наименование сторон	Значение угла	Наименование линии	Значение угла	Наименование Угла	Значение угла
1	2	3	4	5	6	7	8
Е	16	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №16	207°06'31,06"	ЕВ ₁₆	25°51'51,10"
	17	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №17	204°47'35,13"	ЕВ ₁₇	28°10'47,03"
	18	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №18	201°47'11,91"	ЕВ ₁₈	31°11'10,25"
	19	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №19	197°46'45,70"	ЕВ ₁₉	35°11'36,46"
	20	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №20	192°07'39,68"	ЕВ ₂₀	40°50'42,48"
	21	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №21	183°58'51,72"	ЕВ ₂₁	48°59'30,44"
	22	Е – В	232°58'22,16"	Е - Оп. №22	176°10'23,06"	ЕВ ₂₂	56°47'59,10"

СХЕМА РАЗБИВКИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ОПОР МОСТА С ОСЬЮ МОРФОСТВОРА С ПУНКТОВ Е-F И СТ9



Вычисляется разница дирекционных углов, затем вычисляются углы планирования для правильного пересечения центра опоры № 2:

$$\angle EB2 = \alpha_{EB} - \alpha_{E2} ;$$

$$\angle FE2 = \alpha_{FE} - \alpha_{F2} ;$$

и для правильного пересечения центра опоры

$$\angle EB3 = \alpha_{EB} - \alpha_{E3} ;$$

$$\angle FE3 = \alpha_{FE} - \alpha_{F3} \text{ и т.д.}$$

Индексы в данных формулах показывают то, какому направлению относится настоящий дирекционный угол при их определении.



№ 3:

к

α_{E2} является дирекционным углом направления опоры № 2 от пункта Е.

Вычисления оформляются в виде таблицы 3.6, Необходимые дирекционные углы прописываются в графы 4 и 6 из таблиц 5 и 6. Вычисленные углы планирования прописываются в графу 8.

Комплектация тахеометра TRIMBLE M3

В стандартный комплект входят:

- тахеометр с алфавитно-цифровой клавиатурой;
- пластиковый кейс;

- кабель передачи данных;
- зарядное устройство;
- внутренняя батарея питания 1 шт.;
- программа передачи данных Data Transfer;
- CD-руководство на русском и английском языках;
- чехол от дождя;
- мини-веха с мини-призмой;
- юстировочные винты.

Опционально тахеометр может оснащаться дополнительной панелью для удобства проведения измерений.

Также по желанию заказчика комплект дополняется металлической измерительной линейкой или рулеткой (также возможно дополнить комплект любыми другими необходимыми аксессуарами).



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

Безотражательный режим (белая цель)¹ 1,5 м - 300 м

Дальность с указанными призмами Благоприятные условия (отсутствие тумана, видимость свыше 40 км)

С отражающей пленкой 5 см x 5 см

2" 1,5 м - 270 м

3", 5" 1,5 м - 300 м

С одной призмой 6,25 см

2" 1,5 м - 3000 м

3", 5" 1,5 м - 5000 м

Точность² (точный режим) 2" С призмой. ±(2+2 ppm ? D) мм

2" В безотражательном режиме.	$\pm(3+2 \text{ ppm} \times D)$ мм
3", 5" С призмой.	$\pm(3+2 \text{ ppm} \times D)$ мм
3", 5" В безотражательном режиме.	$\pm(3+2 \text{ ppm} \times D)$ мм
Время измерений ³ По призме	
2" Точный режим	1,6 с
3", 5" Точный режим	1,5 с
Нормальный режим	0,8 с
Безотражательный режим	
2" Точный режим	2,1 с
3", 5" Точный режим	1,8 с
2" Нормальный режим	1,2 с
3", 5" Нормальный режим	1,0 с
Наименьший отсчет	
Точный режим	1 мм
Нормальный режим	10 мм



ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ

Точность по DIN 18723 (ГК и ВК) 2"/0,5 мгон, 3"/1,0 мгон, 5"/1,5 мгон

Система считывания Абсолютный декодер

Диаметр круга 62 мм

Система наведения Соосные закрепительные и наводящие винты с фиксатором

Считывание по ГК/ВК диаметральное

Наименьший отсчет (град., гон, MIL6400) Град.: 1/5/10", Гон: 0,2/1/2 мгон,

MIL6400: 0,005/0,02/0,05 мил

ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА

Длина зрительной трубы 125 мм

Изображение 30x (18x/36x с дополнительными окулярами)

2" Эффективный диаметр объектива. 40 мм

2" Диаметр дальномера 45 мм

3", 5" Эффективный диаметр объектива. 45 мм

3", 5" Диаметр дальномера. 50 мм

Поле зрения 1°20'
Разрешающая способность 3", 5"
Минимальное расстояние фокусирования 1,5 м
Лазерный указатель Коаксиальный, видимый красный свет

ПИТАНИЕ

Внутренняя Li-ion аккумуляторная батарея (x2) Выходное напряжение: 3,8 В пост. ток

Время работы 2" /углов), приблизит. 26 часов (измерение расстояний/углов каждые 30 секунд), приблизит. 28 часов (непрерывное измерение углов)

3", 5" приблизит. 7,5 часов (непрерывное измерение расстояний/углов), приблизит. 16 часов (измерение расстояний/углов каждые 30 секунд), приблизит. 20 часов (непрерывное измерение углов)

Время зарядки Полная зарядка: 4 часа

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Чувствительность круглого уровня 10'/2 мм

Наводящие винты Бесконечные

Экран при КЛ QVGA, 16-битный цвет, ЖК-дисплей TFT, с задней подсветкой (320x240 пикселей)

Экран при КП С задней подсветкой, графический ЖК-дисплей (128x64 пикселей)

Память для измерений RAM 128 Мб, флэш-память 128 Мб

Размеры (Ш x Д x В) 149 мм x 145 мм x 306 мм

Масса (приблизит.) 2" Инструмент (без батареи). 3,9 кг

3", 5" Инструмент (без батареи) 3,8 кг

Батарея. 0,1 кг

Чемодан для переноски. 2,3 кг



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изысканиях не требуется высокой точности определения длины мостового перехода. В среднем вполне достаточно знать ее с относительной ошибкой порядка 1:5000. Ось мостового перехода в процессе изысканий закрепляется

деревянными столбами, для которых определяют пикетаж. Перед началом строительства моста должны быть установлены долговременные знаки как по оси мостового перехода, так и для плановой геодезической сети моста.

При применении метода коррелата количество уравнений для свободной сети является равным условным уравнениям в геодезической сети и вычисляется. В настоящее время специальные сети рекомендуются построить в виде линейно-угловых сетей, т.е. измерять все углы и все стороны или большую их часть. Уравнивание таких сетей имеет большое значение. В нашем примере рассмотрим вопрос уравнивания четырехугольника, в котором измерены направления на всех пунктах и вес стороны. Оценка трилатерации моста осуществляется по следующей формуле:

Вычислены координаты опорных пунктов моста, в том числе его опор. Найдены дирекционные углы опорных пунктов и посредством этих дирекционных углов вычислены горизонтальные углы. С помощью данных горизонтальных углов выполнены работы по планированию.

Исходя из вышеуказанного можно предложить следующее:

Считается целесообразным применение современных приборов и системы GPS при выполнении геодезических работ по построению мостовых сооружений. Во-первых, это повышает качество работы, в частности достигается высокая точность. Во-вторых, это уменьшает физический и интеллектуальный труд человека и служит экономии времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Геодезическое обеспечение при строительстве мостов.
под редакцией Коугия В.А., Грузинов В.В., Малковский Под
О.Н, Петров В.Д.
2. Мосты и тоннели
Под редакцией Попов С.А., Осипов В.О., Бобриков Б.В.
Храпов В.Г. и др.
3. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в
строительстве /В.Д. Большаков, И.Ю. Васютинский, Е.Б. Ключин и др.
М.:Недра, 1976.
4. Судаков С.Г. Основные геодезические сети. М.: Недра, 1975.
5. Лебедев Н.Н., Барков Д.П. Уравнивание линейно-угловых сетей
инженерно-геодезического обоснования. М.: Недра, 1980.
6. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование. М.: Мир,
1967
7. Н.Нишонбоев. Амалий геодезия. Мақбул усулларда ечиладиган геодезик
масалар . Тошкент 2008. Ўқутувчи 1992.
8. INTERNET [www.GeoForm. Uz](http://www.GeoForm.Uz).
9. Инженерные сооружения в транспорте сооружения (пособие).
10. Проектирование мостовых и строительных конструкций. П.М.
Саламахин. 2011.
11. Вейцман С.Г. и др. Контроль качества на строительстве мостов. Россия
2010.
12. [Геодезические работы в строительстве](#) Ганьшин В.Н., Коськов Б.И.,
Зимин К.И. и др.
13. Попов В.В. Уравновешивание полигонов. – М.: Геодезиздат, 1954 – 10
изданий.
14. Новак В. Г., **Курс инженерной геодезии.** Учебник для вузов — М.:
Недра, 1989, с.

15. Реферат. Строительство мостов.
16. (автор): Колоколов Н.М., Вейнблат Б.М. Строительство мостов. Учебник. 1981.
17. **Колоколов Н.М., Вейнблат Б.М. Строительство мостов: Учебник. - М.: Транспорт, 1981, - 504 с.**
18. Новиков В.И., Рассада А.Б. Геодезические измерения в строительстве. Учебное пособие. Саратовский гос. тех. Университет. 2009.
19. Реферат - Геодезические работы при строительстве мостов.
20. [Лекция - Геодезические работы при строительстве мостов.](#)
21. Загребин Д.В. - Основы геометрической геодезии.
22. [www. Geodeziya. Ru](http://www.Geodeziya.Ru).
23. <http://www.mii.gaik.ru>.
24. Красовский Ф. Н., Избр. соч., т. 3, ч. 1, т. 4, ч. 2, М., 1955; Хоманько А. А., Иодис Я. Я., Об уравнении триангуляции по направлениям, "Геодезия и картография", 1988, No 1
25. *ЛИТЕРАТУРА*. И. Ю.. Golionko и соавт., Izmer. Техн., № 4 (1978). *Точность оценки для метода триангуляции.*