

УДК 622.831.1

Н. Н. Грищенко¹, д-р техн. наук, А. Н. Грищенко²

¹ УкрНИМИ НАН України, Донецьк, Україна

² Донецький національний технічний університет, Донецьк, Україна

Исследование влияния различных видов измерительных средств и различных конфигураций ходов на погрешность определения пунктов теодолитных и полигонометрических ходов

В статье исследовано влияние различных видов измерительных средств на погрешность определения пунктов полигонометрических ходов. Установлены зависимости этой погрешности для ходов различной протяженности и конфигурации. Расчет погрешности наиболее удаленных пунктов имеет актуальное значение, так как определяет критерий точности хода. Результаты исследования можно использовать при решении маркшейдерских задач, например, при планировании и развитии подземных маркшейдерских сетей.

Ключевые слова: погрешность, конфигурации, точность, подземные маркшейдерские сети.

На горном предприятии планирование ведения горных работ и отработки полезного ископаемого невозможно без построения в подземных горных выработках единой сети опорных пунктов, пространственные координаты которых должны быть определены с необходимой точностью в единой общегосударственной системе координат. В связи с этим предварительный расчет погрешности наиболее удаленных пунктов опорной сети приобретает актуальное значение, так как именно эта погрешность является критерием качества выполненной работы. В основе таких расчетов лежит теория накопления погрешностей в подземных полигонах. Также в настоящее время актуальным вопросом является оценка надежности подземной маркшейдерской опорной сети, создаваемой в деформируемых горных выработках, так как последнее уравнивание опорных сетей производилось 20-30 лет назад. Значительное увеличение размеров шахтных полей и глубины разработки, широкое внедрение механизированных комплексов и конвейерного транспорта полезных ископаемых, а также процесс укрупнения горных предприятий явились теми факторами, которые обусловили необходимость в построении точного и надежного подземного планового обоснования.

Для решения горно-геометрических задач, таких как маркшейдерское обеспечение сбоек, построение подземных маркшейдерских опорных сетей и т. д., требуется охарактеризовать используемые в качестве плановой основы маркшейдерские пункты с точки зрения точности. В качестве такой характеристики используется средняя квадратическая погрешность положения пунктов маркшейдерского обоснования. На точность создания подземной маркшейдерской опорной сети большое влияние оказывают погрешности угловых и линейных измерений, погрешности измерений координат исходных пунктов и дирекционных углов исходных сторон, погрешности гиросторон. Эти ошибки также оказывают существенное влияние на ошибку положения наиболее удаленного пункта подземной маркшейдерской опорной сети. Все это требует оценки точности существующих и проектируемых подземных маркшейдерских опорных сетей. Предварительный расчет погрешности наиболее удаленных пунктов имеет актуальное значение, так как эта погрешность является критерием произведенной работы.

Над данным вопросом трудились различные исследователи [1, 2], однако развитие методов математического моделирования с использованием ЭВМ открывает новые возможности для исследования влияния различных видов измерительных средств и различных конфигураций ходов на погрешность определения пунктов полигонометрических ходов.

Условия моделирования. Произведен анализ структуры информации о полевых измерениях в сетях полигонометрии. В среде Excel создана база данных. В базе данных указывается: средства измерений; станция, на которой производятся измерения; координаты станции; измеренная длина; дирекционный угол; измеренный горизонтальный угол; измеренный вертикальный угол; стороны хода. Так как набрать необходимое количество фактических измерений в полигонометрических ходах не представлялось возможным из-за большого количества запланированных моделирований, поэтому тестовые примеры, по которым строились модели, составлялись на основе статистического генерирования, с использованием датчика случайных чисел и допусков на погрешности измерений, которые существуют и определены действующей инструкцией [3].

Измерения производились по четырем схемам с использованием следующих средств измерений:

- Теодолит, рулетка;
- Теодолит, светодальномер;
- Теодолит, рулетка, гирокомпас;
- Теодолит, светодальномер, гирокомпас.

Было принято, что рулеточные измерения производились с погрешностью 1:3000 во всех случаях. В качестве светодальномера брался светодальномер аналогичный по точности светодальномеру 1МСД-1М (ДИ100А8), среднеквадратические ошибки определения дирекционного угла начальной стороны 20" и 30", а погрешность измерения углов бралась 5", 15" и 30", исходя из возможности применения теодолитов серии Т 5 для ходов полигонометрии опорной сети и теодолитов Т15, Т30 для теодолитных ходов съемочной сети.

Ходы моделировались разной длины, взяты наиболее характерные ходы, периметр которых 2 км, 3 км и 4 км, что соответствует 20, 30 и 40 точкам для висячих ходов и 2,5 км, 4 км, 5 км для замкнутых и разомкнутых ходов. С использованием датчика случайных чисел были сгенерированы исходные координаты пунктов. Для расчетов исходные данные брались из созданных ранее баз данных. В среде Excel написаны программы для вычисления расстояния между двумя точками, заданными своими координатами; программы для вычисления дирекционного угла стороны по координатам ее начальной и конечной точки; вычисление фактической и допустимой невязок; вычисление исправленного дирекционного угла, которые позволили автоматизировать обработку восьмидесяти четырех цифровых моделей.

С использованием датчика случайных чисел были сгенерированы длины в прямом и обратном направлении, а также горизонтальные и вертикальные углы. В среде Excel запрограммированы формулы для расчета истинных координат пунктов хода, а также формулы для расчета среднеквадратической погрешности наиболее слабого пункта хода.

Выполнен расчет средней квадратической погрешности (СКП) удаленного пункта [4] для различных конфигураций висячих, замкнутых и разомкнутых ходов, имеющих разное количество точек.

Виды и схемы ходов. Проанализированы основные виды конфигураций подземной маркшейдерской опорной сети и составлены цифровые модели подземных полигонометрических ходов в зависимости от формы хода и средств измерений.

Рассматривались висячие, разомкнутые и замкнутые ходы. На примере свободного (висячего) полигонометрического хода, замкнутого и разомкнутого хода, проложенного между двумя жесткими сторонами, исследовано, как влияют измерения длин с помощью стальных рулеток и светодальномеров на погрешность определения координат последних пунктов, а также какое влияние оказывают гироскопические вставки.

Т.к. висячий ход может быть различных конфигураций, то рассматривались наиболее типичные формы ходов.

1. Ход вытянутый, проложенный в прямом и обратном направлении.
2. Ход изломанный зигзагообразный, проложенный в прямом и обратном направлении.
3. Ход диагональный, проложенный в прямом и обратном направлении.
4. Ход перпендикулярный с изломом, проложенный в прямом и обратном направлении.
5. Ход изогнутый, П-образной формы, проложенный в прямом и обратном направлении.

Конфигурация замкнутого и разомкнутого ходов (см. ниже случай 6 и 7) соответствует выемочному столбу при отработке.

Разработана программа, с помощью которой обеспечивается возможность выполнения сложных расчетов при решении маркшейдерских задач, возникающих при построении ходов подземных маркшейдерских опорных сетей. Расчеты по указанной программе выполняются с целью контроля точности положения удаленных маркшейдерских пунктов, предварительной оценки точности смыкания встречных забоев, выбора наиболее рациональных схем построения полигонометрических ходов, определения оптимальных вариантов размещения гиросторон и решения других вопросов подземной полигонометрии, связанных с анализом точности сетей.

Анализ результатов. Рассмотрим основные схемы конфигураций маркшейдерских ходов. Их мы представим семью случаями.

Случай 1. Вытянутый висячий полигонометрический ход.

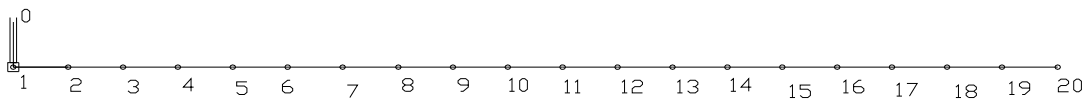


Рис. 1. Общая схема вытянутого висячего хода

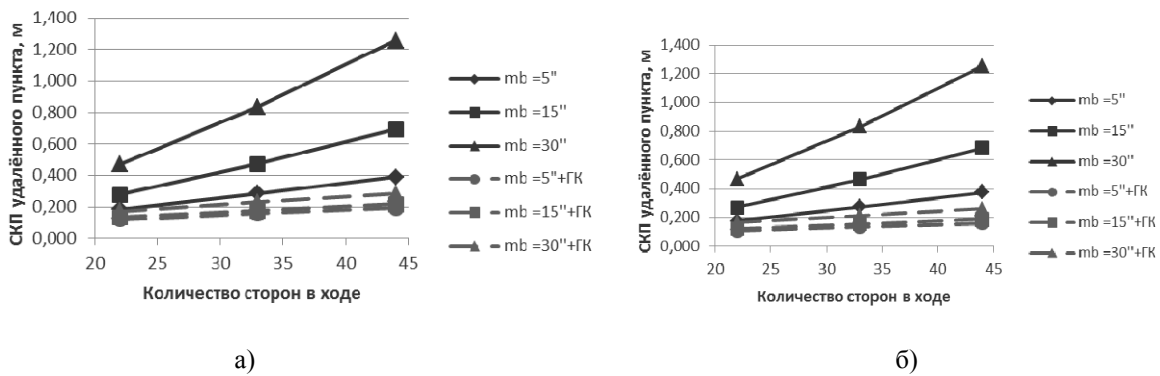


Рис. 2. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от количества сторон в ходе, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны измерения без гиросторон, а пунктиром – с гиросторонами

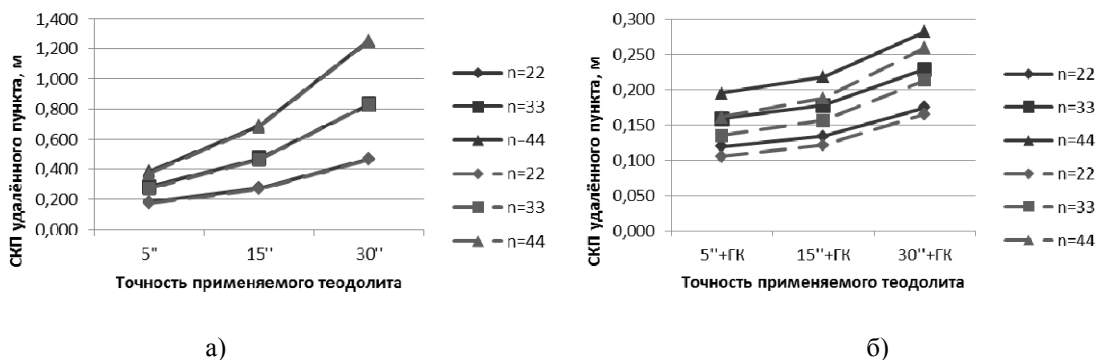


Рис. 3. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от точности применяемого прибора, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны рулеточные измерения, а пунктиром – со светодальномером

Случай 2. Зигзагообразный висячий полигонометрический ход.

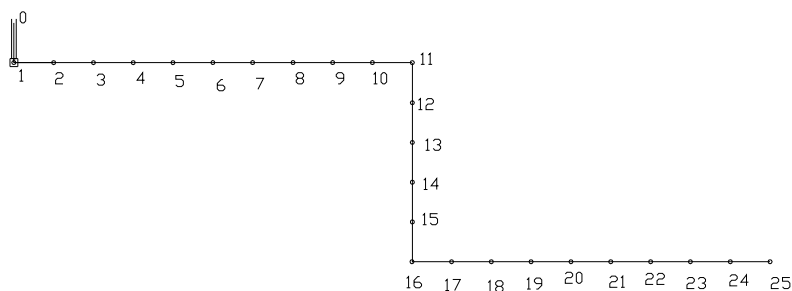


Рис. 4. Схема зигзагообразного висячего хода

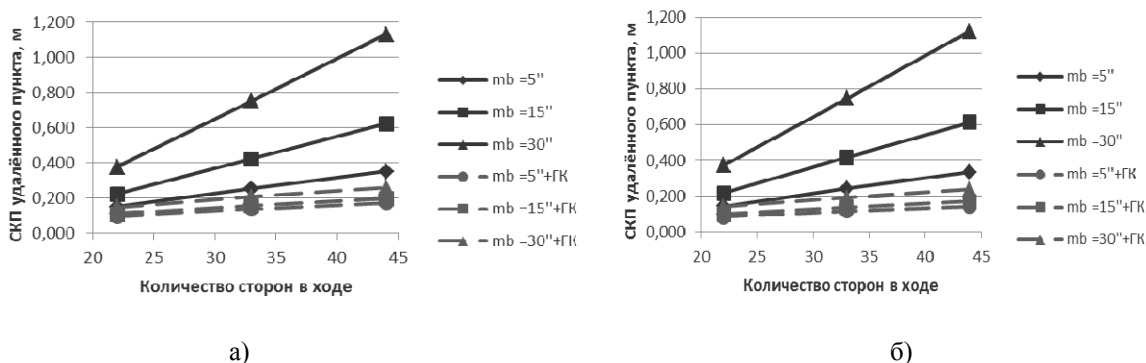


Рис.5. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от количества сторон в ходе, где длины измерены рулеткой а) и светодальнономером б). Сплошным цветом показаны измерения без гиросторонов, а пунктиром – с гиросторонами

Рассмотрим случаи 1-4. Как свидетельствуют графики, использование светодальномера не уменьшает существенно погрешность удаленного пункта. Это говорит о том, что если измерять длины стальной рулеткой протяженностью 50 метров с требованием нормативного допуска (1:3000), то линейная погрешность не будет существенно больше, если бы эти длины были бы измерены светодальнономером МСД-1М. Разница в погрешности удаленного пункта будет не более 50мм.

Далее на графиках отчетливо видно, что использование гирокомпаса очень (в разы) существенно влияет на погрешность удаленного пункта. При этом все 3 вида хода по протяженности (22, 33, 44 стороны) входят в допуск 0.6м для погрешности наиболее удаленного пункта. Если же гировставки не использовать, то необходимую точность можно достичь только теодолитом типа Т5, либо теодолитом Т15 для ходов с 22 и 33 сторонами. Теодолит Т30 может обеспечить необходимую точность только для варианта хода с 22 сторонами.

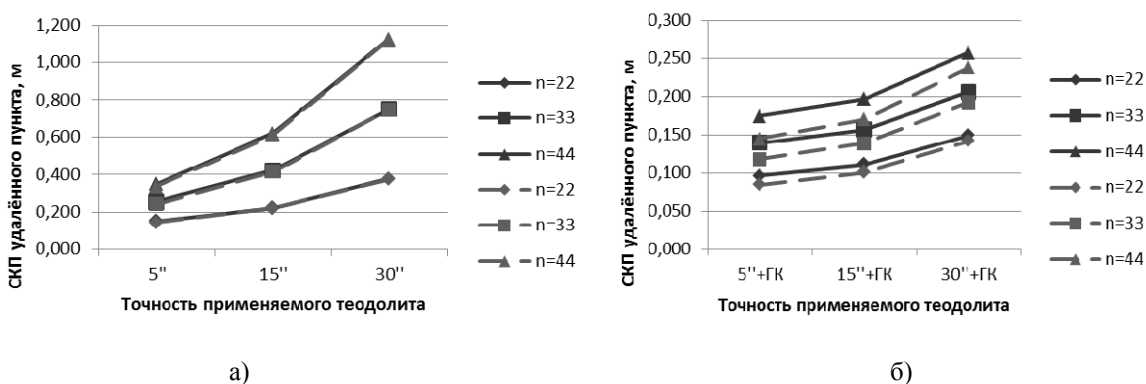


Рис. 6. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от точности применяемого прибора, где длины измерены рулеткой а) и светодальнономером б). Сплошным цветом показаны рулеточные измерения, а пунктиром – со светодальнономером

Случай 3. Диагональный висячий полигонометрический ход.

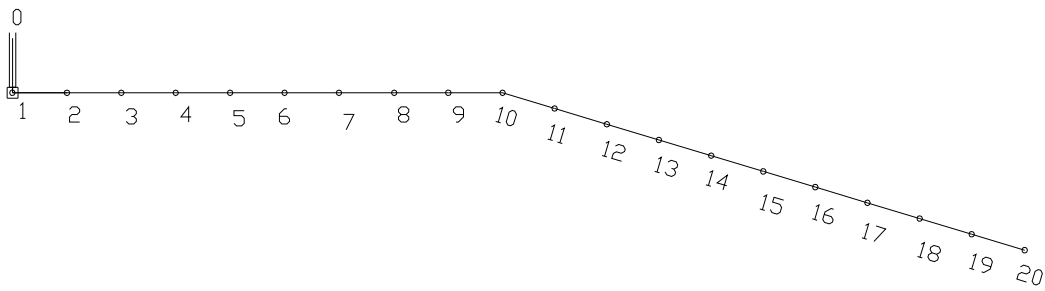


Рис. 7. Схема диагонального висячего хода

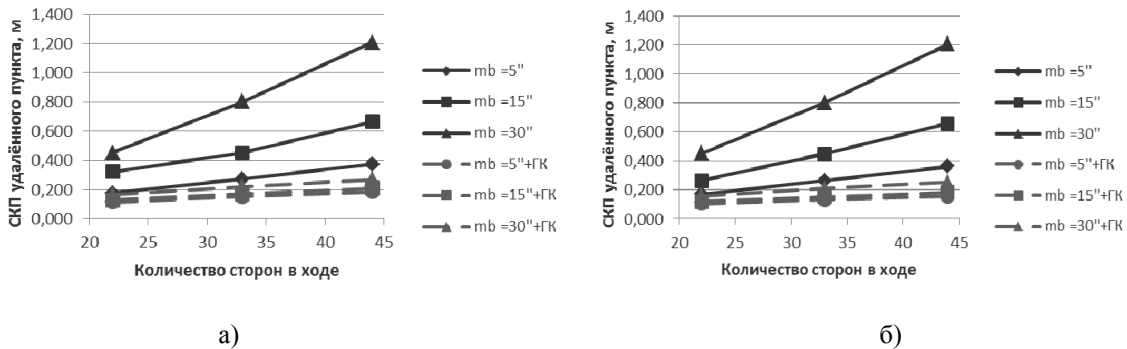


Рис. 8. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от количества сторон в ходе, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны измерения без гиросторон, а пунктиром – с гиросторонами

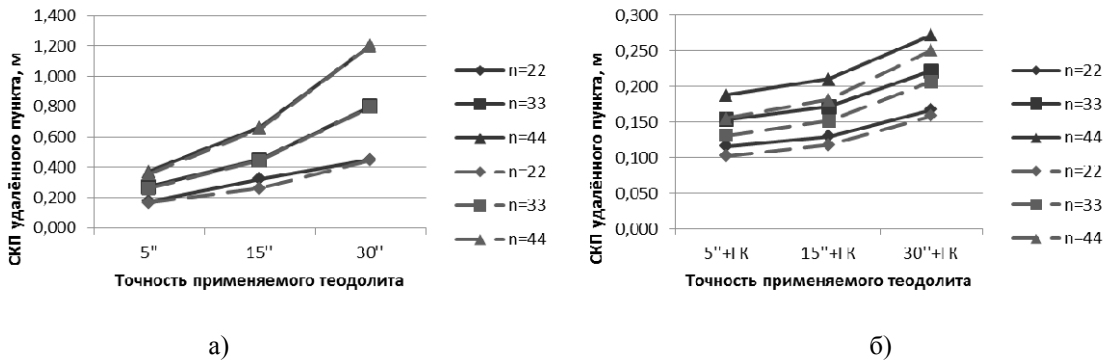


Рис. 9. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от точности применяемого прибора, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны рулеточные измерения, а пунктиром – со светодальномером

Случай 4. Г-образный висячий полигонометрический ход.

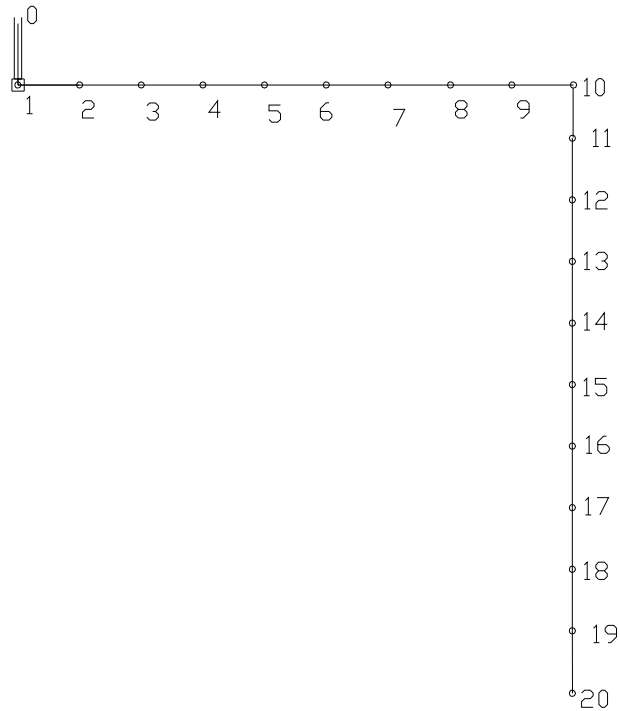


Рис. 10. Общая схема Г-образного висячего хода

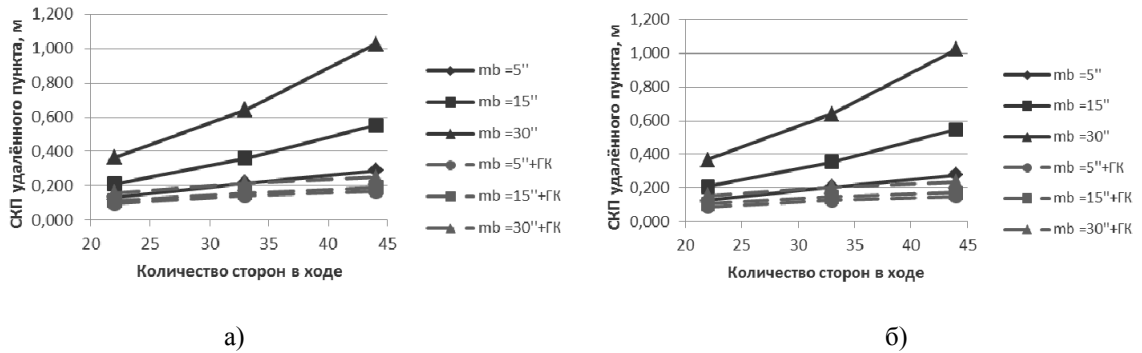


Рис. 11. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от количества сторон в ходе, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны измерения без гиросторон, а пунктиром – с гиросторонами

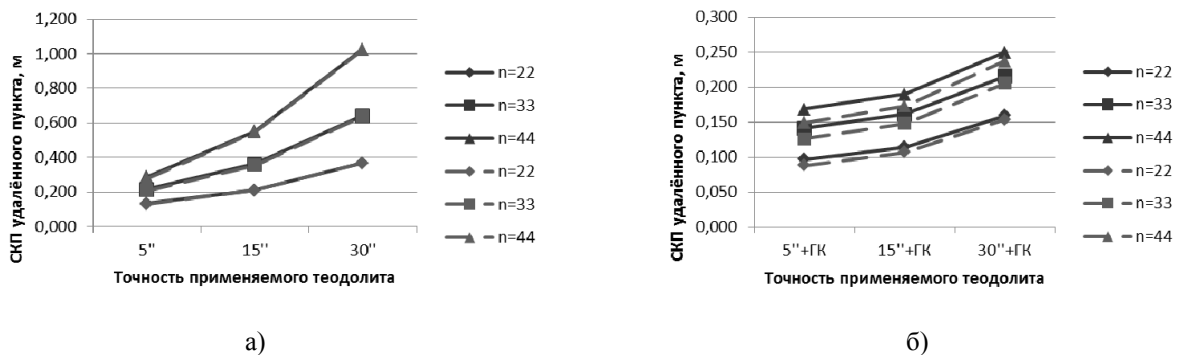


Рис. 12. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от точности применяемого прибора, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны рулеточные измерения, а пунктиром – со светодальномером

Случай 5. П-образный висячий полигонометрический ход.

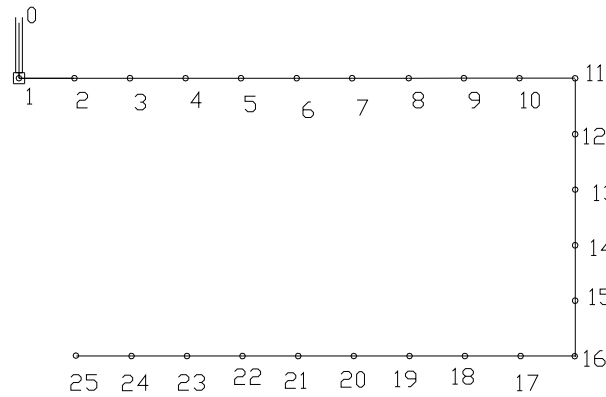


Рис. 13. Общая схема П-образного висячего хода

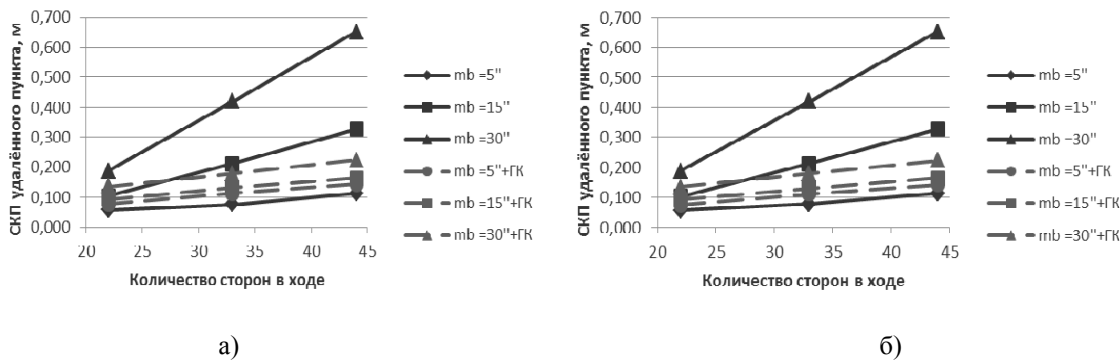


Рис. 14. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от количества сторон в ходе, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны измерения без гиросторон, а пунктиром – с гиросторонами

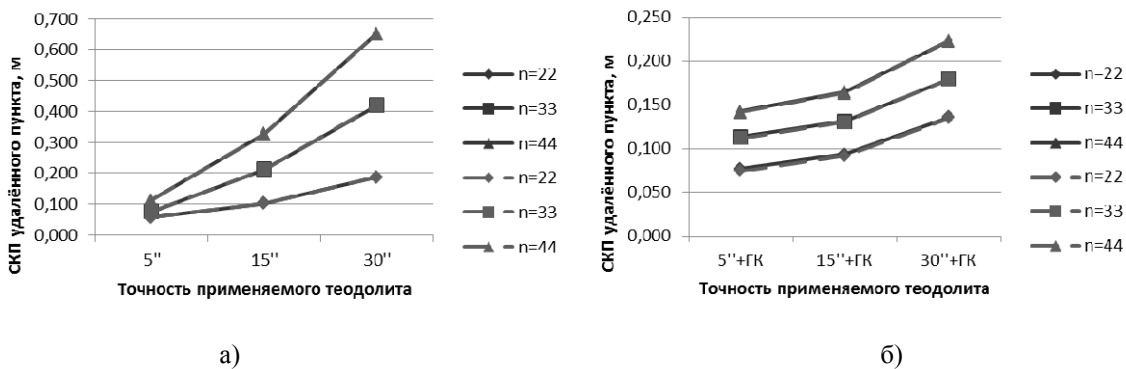


Рис. 15. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от точности применяемого прибора, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны рулеточные измерения, а пунктиром – со светодальномером

Рассмотрим случай 5. Как можно заметить, в предыдущих случаях максимальная погрешность удаленного пункта составляла 1 – 1,2 м. Здесь же максимальная погрешность удаленного пункта не превышает 0,7 м. Можно утверждать, что на величину погрешности удаленного пункта оказывает влияние П-образная форма хода. Погрешность уменьшается на 50%. Также можно отметить, что допуск маркшейдерской инструкции в 0,6м превышен только тогда, когда использовали рулетку и теодолит Т30 в ходе с 44 сторонами.

Рассмотрим случай 6 и 7. Из графиков видно, что светодальномер существенно не поднимает точность. Наибольшее влияние на погрешность удаленного пункта оказывает гирокомпас.

Случай 6. Разомкнутый полигонометрический ход.

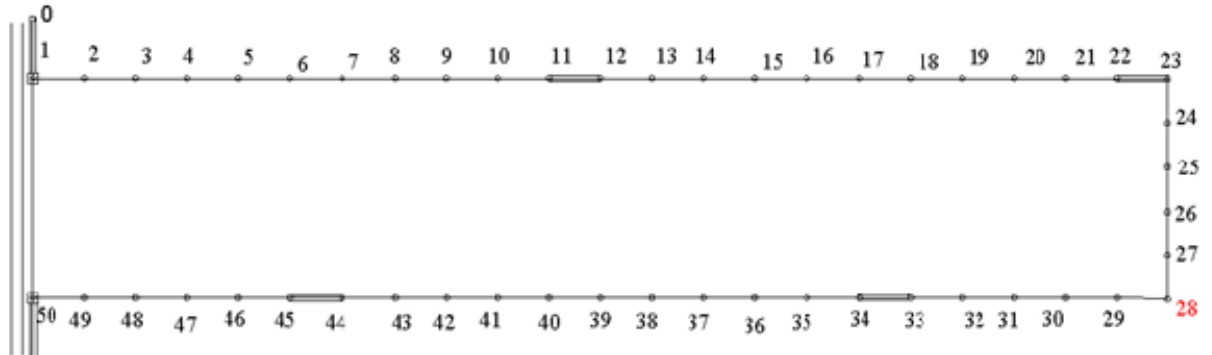


Рис. 16. Схема разомкнутого полигонометрического хода с гиросторонами

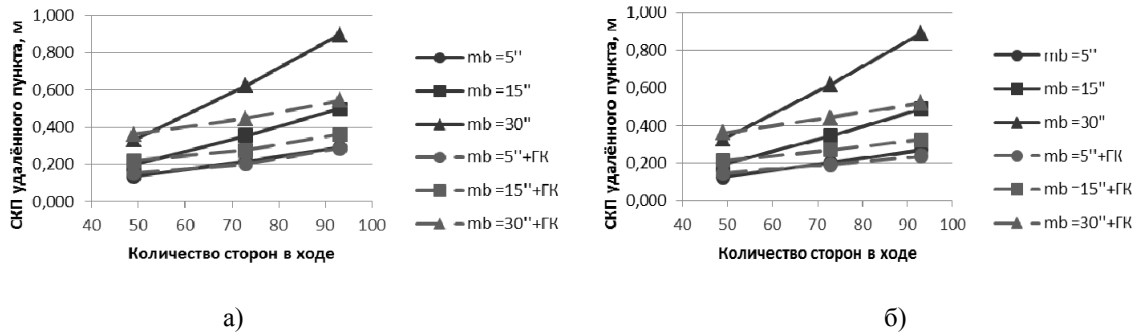


Рис. 17. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от количества сторон в ходе, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны измерения без гиросторон, а пунктиром – с гиросторонами

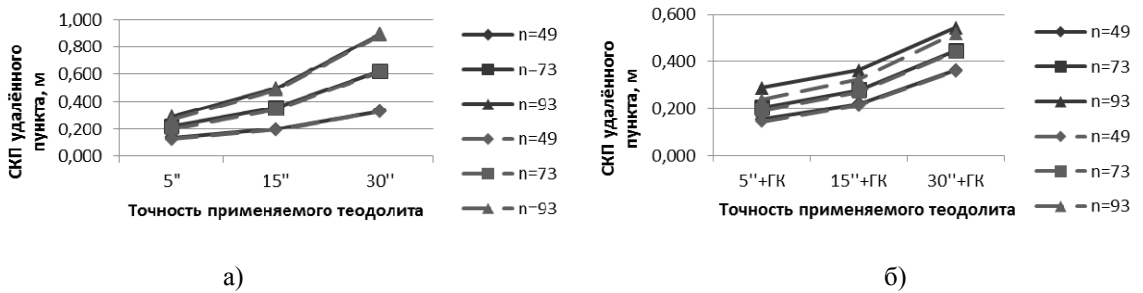


Рис. 18. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от точности применяемого прибора, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны рулеточные измерения, а пунктиром – со светодальномером

Случай 7. Замкнутый полигонометрический ход.

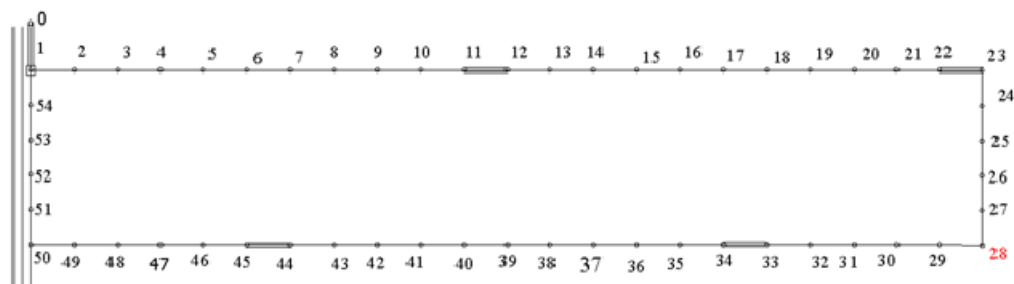
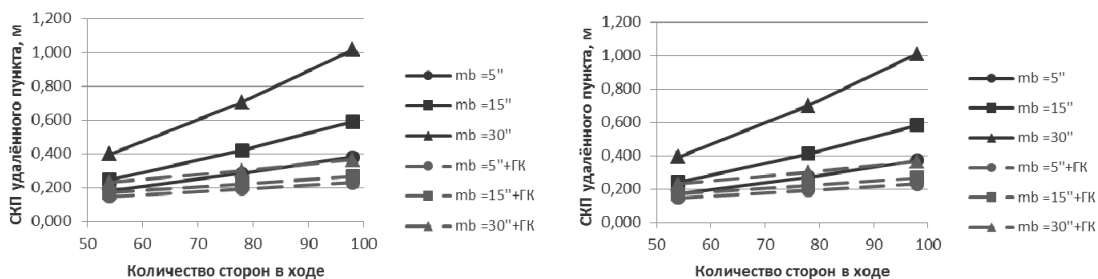


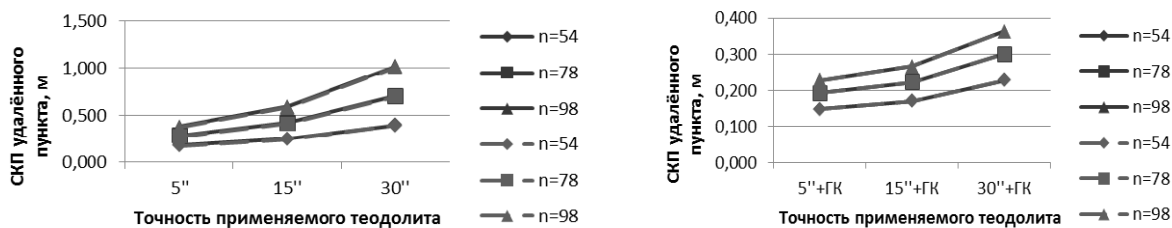
Рис. 19. Схема замкнутого полигонометрического хода с гиросторонами



а)

б)

Рис. 20. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от количества сторон в ходе, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны измерения без гиросторон, а пунктиром – с гиросторонами



а)

б)

Рис. 21. Графики зависимости СКП удаленного пункта хода от точности применяемого прибора, где длины измерены рулеткой а) и светодальномером б). Сплошным цветом показаны рулеточные измерения, а пунктиром – со светодальномером

Использование теодолита Т30 без гирокомаса допустимо лишь для хода из 22 сторон, в то же время для ходов даже с 44 сторонами теодолит Т15 и рулетку можно использовать. Следует отметить то, что в случае замкнутого хода величина погрешности удаленного пункта больше на 15%. Особенно заметно это для тех ходов, где не было гироскопических вставок.

Согласно действующей маркшейдерской инструкции [3] относительно подземных маркшейдерских сетей, отмечается, что полигонометрические ходы опорной сети разделяют гиросторонами на секции. Также в ней говорится, что по возможности гиростороны совмещают с группами постоянных пунктов. Длина секции должна быть не более 1,5 км. Висячих полигонометрических ходах длиной более 1 км, которые не будут прокладываться дальше, следует ориентировать конечную сторону. Выбранное размещение гиросторон должно обеспечивать требуемую погрешность пунктов опорной сети с учетом ее будущего развития.

При анализе разных конфигураций висячего хода длины подбирались примерно одинаковые. В таблицы сводились данные расчетов для ходов, состоящих из 22, 33 и 44 сторон. При анализе разных конфигураций замкнутого и разомкнутого ходов подбирались хода, состоящие соответственно из 54, 78, 98 сторон и 49, 73, 93 сторон. Длины сторон принимались приблизительно 50м. Гиростороны вставлялись примерно через 500м.

Применение гирокомпаса для разбивки всего хода на отдельные гироучастки, приводит к резкому снижению среднеквадратической ошибке удаленного пункта. Для двойного хода с периметром 2212 м, состоящего из 22 сторон, наблюдается снижение СКО от 0,454 м до 0,157 м – почти в 3 раза для хода с периметром 3288 м, состоящего из 33 сторон, наблюдается снижение СКО от 0,816 м до 0,207 м – почти в 4 раза; для хода с периметром 4350 м, состоящего из 44 сторон, наблюдается снижение с 1,235 м до 0,256 м – почти в 5 раз. Из чего следует следующая закономерность, чем больше периметр хода, тем существенней уточнение, вносимое гирокомпасом, т.е. разбивкой на отдельные гироучастки. Тогда средняя квадратическая погрешность удаленного пункта не накапливается, а локализуется в пределах гироучастков.

Рассмотрим влияние методики измерения горизонтальных углов на погрешность конечного пункта при использовании различных типов инструментов серии Т5 с точностью 5", серии Т15 с точностью 15" и серии Т30 с точностью 30". При использовании теодолита со среднеквадратической погрешностью измерения угла 5" среднеквадратическая ошибка конечного пункта всяческого хода, состоящего из 22 сторон, составит 0,141 м. А для теодолита со среднеквадратической погрешностью измерения угла 30" - 0,454 м. При этом, погрешность измерения угла выросла в 6 раз, а среднеквадратическая погрешность удаленного пункта увеличилась всего в 3 раза. Нужно обратить внимание на тот факт, что измерения производились одним приемом. Если же измерения производить двумя приемами, то $\frac{30''}{\sqrt{2}} = 20''$, этой точности

достаточно, чтобы среднеквадратическая ошибка конечного пункта не превышала допустимого значения для хода, не превышающего 3,5 км. Если же измерения производить тремя приемами, то $\frac{30''}{\sqrt{3}} = 17''$, этой точности достаточно, чтобы среднеквадратическая ошибка конечного пункта не

превышала допустимого значения для хода, не превышающего 4,5 км. Если же измерения производить четырьмя приемами, то $\frac{30''}{\sqrt{4}} = 15''$, этой точности достаточно, чтобы

среднеквадратическая ошибка конечного пункта не превышала допустимого значения для хода, не превышающего 5,5 км. Из этого следует, что достаточной точности можно добиться и теодолитом со среднеквадратической погрешностью измерения угла 30".

Вывод: при длине вытянутого всяческого хода близкого к 4-м км измерения можно производить теодолитом, погрешность измерения угла которого не превышает 15". При использовании теодолита с погрешностью измерения угла 30" длина хода не должна превышать 3-х км. Если длина хода больше 3-х км, то нужно, либо использовать гирокомпас, либо производить измерение углов тремя, четырьмя приемами. Т.к. согласно Инструкции [3] среднеквадратическая ошибка наиболее удаленного пункта не должна превышать 0,6 м.

Увеличение погрешности определения дирекционного угла начальной стороны приводит, к тому, что для коротких и для длинных ходов это почти не сказывается. Например, для хода, в котором измерения производились рулеткой и теодолитом, погрешность измерения угла которого 5" и состоящего из 22 сторон с периметром 2212 м, среднеквадратическая ошибка удаленного пункта отличается на 3 %, т.е. уменьшилась с 0,470 м до 0,454 м; для хода, состоящего из 33 сторон с периметром 3288 м, среднеквадратическая ошибка удаленного пункта отличается на 2,3%, т.е. уменьшилась погрешность измерения угла с 0,835 м до 0,816 м; для хода, состоящего из 44 сторон с периметром 4350 м, среднеквадратическая ошибка удаленного пункта отличается на 2%, т.е. уменьшилась с 1,257 м до 1,235 м. Т.е. среднеквадратическая погрешность наиболее удаленного пункта для коротких ходов даже больше, чем для длинных.

Из вышесказанного можно вывести следующие основные выводы:

1. Использование светодальномера не уменьшает существенно погрешность удаленного пункта при длинах сторон порядка 50 метров. Разница в погрешности удаленного пункта будет не более 50 мм; В тоже время на больших длинах 150-200 метров светодальномер уменьшает погрешность удаленного пункта до 40%;
2. Использование гирокомпаса очень (в разы) существенно влияет на погрешность удаленного пункта. При этом все 3 вида хода по протяженности (22, 33, 44 стороны) для всех рассматриваемых схем всегда входят в допуск 0.6м для погрешности наиболее удаленного пункта;
3. Использование более точных теодолитов существенно влияет на определение СКП удаленного пункта, а использование гирокомпаса обеспечивает необходимую точность. Использование теодолита Т30 (с 1 приемом) без гироскопических вставок возможно в

- вісячих ходах с 22 сторонами, в разомкнутых ходах с 49 сторонами и в замкнутых ходах с 54 сторонами. Для более протяженных ходов необходимо увеличивать количество приемов;
4. Использование теодолита Т5 (с 1 приемом) без гироскопических вставок всегда приводит к выполнению нормативного допуска в 0,6м;
 5. Среднеквадратическая погрешность удаленного пункта зависит от различных конфигураций ходов следующим образом: с увеличением изогнутости хода погрешность положения пункта уменьшается. В формулах фигурируют радиус-векторы R. Когда ход вытянутый, то радиус-вектора увеличиваются, а когда ход изогнутый, то радиус вектора растут до определенного предела, а потом они начинают уменьшаться в другую сторону. Этим объясняются наименьшие погрешности удаленного пункта в случаях П-образного всячего хода. Погрешность удаленного пункта в П-образном всячем ходе до 50% меньше, чем в других видах ходов;
 6. Увеличение погрешности (с 20" до 30") определения дирекционного угла начальной стороны приводит к тому, что для коротких и для длинных ходов это почти не сказывается.

Выполненные исследования можно использовать при решении маркшейдерских задач, например при планировании горных работ, а также для уточнения требований Инструкции [3] относительно количества пусков на пункте в зависимости от применяемого теодолита и протяженности хода.

Бібліографічний список

1. Белан Н.А. Накопление погрешности в подземных полигонометрических ходах произвольной формы / Н.А. Белан // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 1992. – Выпуск 91. – С. 29–34.
2. Передерий А.А. К вопросу о систематических ошибках угловых измерений в подземных теодолитных ходах / А.А. Передерий // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техніка, 1972. – С. 119–120.
3. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція: КД 12.06.203-2000. – Київ: Мінпаливенерго України, 2001. – 264 с.
4. Методические указания по построению и обработке подземных маркшейдерских опорных сетей / [Е. И. Рыхлюк, Н.Н. Николаев, Л. А. Смирнова, А.И. Колесников]. - Л., 1975. – 126 с.

Надійшла до редакції 27.05.2013

М. М. Грищенко, А. М. Грищенко

УкрНДМІ НАН України, Донецьк, Україна

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Дослідження впливу різних видів вимірювальних засобів і різних конфігурацій ходів на похибку визначення пунктів теодолітних і полігонометричних ходів

У статті досліджено вплив різних видів вимірювальних засобів на похибку визначення пунктів полігонометричних ходів. Встановлено залежності цієї похибки для ходів різної протяжності та конфігурації. Розрахунок похибки найбільш віддалених пунктів має актуальне значення, оскільки визначає критерій точності ходу. Результати дослідження можна використовувати при вирішенні маркшейдерських завдань, наприклад при плануванні та розвитку підземних маркшейдерських мереж.

Ключові слова: похибка, конфігурації, точність, підземні маркшейдерські мережі.

N. N. Grishchenkov, A. N. Grishchenkov

Ukrainian Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics and Survey of NAS of Ukraine, Donetsk, Ukraine

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

The influence of various types of measuring instruments and various configurations of traverses on the error of determining theodolite and polygonometric traverse points

The article considers the influence of various measuring tools on the error of determination of polygonometric traverse points. We established the dependences of this error for traverses of different lengths and configurations. Calculation of the error of the most remote points is important as it determines the traverse accuracy criterion. The results of the research can be used when solving surveying tasks, for example in planning and development of underground surveying networks.

Keywords: error, configuration, accuracy, underground surveying networks.