

УДК 528.498

© Ю.И. Вронский, С.Д. Головки, В.И. Диковенко, А.В. Третьяк

МОДЕРНИЗАЦИЯ СПОСОБА ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОВ И ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ

© Yu. Vronskiy, S. Holovko, V. Dykovenko., A. Tretjak

MODERNIZATION OF THE METHOD OF TRIGONOMETRICAL LEVELING AT THE USE A LIGHTRANGEMETERS AND ELECTRONIC TOTAL STATIONS

Розглянуто можливість модернізації існуючого способу тригонометричного нівелювання у підземних гірничих виробках при використанні сучасних світловіддалемірів у комплексі із точними теодолітами, та сучасних електронних тахеометрів. Запропоновано до використання у виробництві модернізований спосіб тригонометричного нівелювання, який збільшує продуктивність польових маркшейдерських робіт при збереженні необхідної точності. Зроблено висновки щодо доцільності розширення діапазону застосування тригонометричного нівелювання в умовах підземних гірничих виробок.

Рассмотрена возможность модернизации существующего способа тригонометрического нивелирования в подземных горных выработках при использовании современных светодальномеров в комплексе с точными теодолитами, и современных электронных тахеометров. Предложено к использованию в производстве модернизированный способ тригонометрического нивелирования, который увеличивает производительность полевых маркшейдерских работ при сохранении требуемой точности. Сделаны выводы о целесообразности расширения диапазона применения тригонометрического нивелирования в условиях подземных горных выработок.

Введение. Современное экономическое состояние Украины характеризуется отсутствием полноценной энергетической независимости. Такое положение требует значительного увеличения объемов добычи каменного угля в украинских шахтах. Тенденция к увеличению годовой добычи каменного угля в Украине наблюдается последние три года. Для сохранения устойчивого роста объемов добычи в настоящее время идет подготовка новых добычных участков на большинстве действующих угольных шахт. При этом интенсивно осуществляется проведение новых участков капитальных и подготовительных горных выработок. Скоростные темпы проходки горных выработок и активное использование конвейерного транспорта предъявляют повышенные требования к точности выполнения полевых маркшейдерских работ. В то же время на угольных шахтах Украины постоянно происходит уменьшение численности маркшейдерских отделов. Совокупность этих двух факторов привела к значительному увеличению объемов полевых маркшейдерских работ на одну штатную единицу. Частично увеличение нагрузки на маркшейдеров возможно компенсировать

применением в полевых работах современных электронных тахеометров или более устаревших, но достаточно точных светодальномеров и точных теодолитов. Использование этих приборов позволяет совершенствовать способы выполнения некоторых видов полевых работ. При этом резко возрастает производительность маркшейдерских работ при сохранении их точности, а в некоторых случаях позволяет даже повысить точность. Поэтому маркшейдеры, работающие на горных предприятиях и учёные, работающие в горной отрасли, ведут постоянный поиск новых способов и приёмов выполнения полевых и камеральных работ.

Актуальность работы. Увеличение объёмов годовой добычи каменного угля связано с подготовкой новых участков шахтного поля. Учитывая специфику месторождений каменного угля, подготовка новых участков приводит к значительному увеличению протяжённости капитальных и подготовительных горных выработок. Для качественного маркшейдерского обеспечения строительства новых выработок и новых участков действующих горных выработок требуется выполнение очень большого объёма полевых измерений. В условиях современных угольных шахт Украины обычными являются полигонометрические ходы длиной 3...6 км, уже частыми стали ходы длиной до 10 км, в некоторых случаях эти ходы могут достигать 20 км. Естественно, что с увеличением длин полигонометрических ходов накапливаются ошибки многочисленных измерений и значительно повышаются погрешности определения планового положения маркшейдерских пунктов, а значит – и горных выработок. Такая же закономерность свойственна ходам геометрического и тригонометрического нивелирования. Увеличение погрешностей определения пространственного положения маркшейдерских пунктов в горных выработках приводит к значительному усложнению решения задачи обеспечения сбойки встречных забоев. Существующие способы и методы выполнения полевых маркшейдерских работ уже не могут обеспечить качество и своевременность маркшейдерского обеспечения горного производства. Поэтому в настоящее время на горных предприятиях Украины всё большее распространение получают электронные тахеометры. В условиях шахт, опасных по взрывам метана и угольной пыли электронные тахеометры могут быть заменены на взрывобезопасные светодальномеры типа МСД-1М, которые применяются в комплексе с точными оптическими теодолитами типа Т5 или Т2. Но применение этих приборов не позволяет полностью компенсировать увеличение объёмов полевых маркшейдерских работ, если не усовершенствовать способы выполнения многих видов измерений. Соответственно, актуальной является задача модернизации существующих способов и приёмов выполнения полевых маркшейдерских работ. Одним из видов работ, требующих совершенствования методики их выполнения, является передача высотных отметок по подземным горным выработкам. Наиболее перспективным, по мнению авторов, является применение тригонометрического нивели-

рования в более широком диапазоне внешних условий, а также по усовершенствованной схеме, позволяющей повысить точность конечного результата.

Цель и задачи исследования. Целью исследований является внедрение в производство новых приёмов и способов передачи высотных отметок в подземных горных выработках, которые позволят значительно увеличить скорость выполнения полевых маркшейдерских работ при сохранении необходимой точности, а в некоторых случаях – и повысить точность передачи высотных отметок.

Поставленная цель достигается решением следующих задач: выработкой усовершенствованного способа выполнения тригонометрического нивелирования в подземных горных выработках с углом наклона от 0° до 50° ; выполнением экспериментальных и производственных измерений по предложенной методике тригонометрического нивелирования; выполнением оценки точности предложенной методики и результатов полевых работ.

Результаты исследований. Согласно требованиям маркшейдерских инструкций [1, 2], в подземных горных выработках при определении высот пунктов опорной маркшейдерской сети выполняется нивелирование технической точности. При этом рекомендуется геометрическим способом выполнять нивелирование в выработках с углами наклона менее 5° . В выработках с углами наклона 5° и более предусмотрено выполнение тригонометрического нивелирования.

При выполнении тригонометрического нивелирования [1, 2] углы необходимо измерять теодолитами по точности не ниже, чем типа Т15 одним приёмом в прямом и обратном направлениях. Расхождение значений места нуля не должно превышать $1,5'$. Стороны хода предусмотрено измерять с погрешностью не выше, чем $1/3000$, высоты прибора и визирных сигналов измерять дважды, отсчёты брать до миллиметров. Разность превышений для одной и той же линии не должна быть более $0,4s$, мм, где s – длина линии, м. Для всего хода расхождение в превышениях должно быть не более $100\sqrt{L}$, мм, где L – длина хода, км.

Превышение между репером и точкой стояния вычисляется по формуле (1).

$$h = s \cdot \sin \delta + i - v \quad (1)$$

где s – наклонная длина линии, м; δ – угол наклона линии визирования;

i – высота прибора, м; v – высота сигнала, м.

Из формулы (1) видно, что источниками ошибок при передаче высотных отметок являются:

1. Погрешность измерения наклонных расстояний.
2. Погрешность измерения углов наклона.
3. Погрешность измерения высоты прибора.
4. Погрешность измерения высоты сигнала.

В практике выполнения полевых измерений исполнители часто стремятся к равенству высоты визирования и высоты сигнала, то есть значений i и v ($i = v$). Тогда вычисления становятся более простыми, так как формула (1) принимает вид:

$$h = s \cdot \sin \delta \quad (2)$$

Однако упрощение вычислений не уменьшает погрешности конечного результата, так как не исключает необходимости измерения высоты прибора и высоты сигнала. Указанная в нормативных документах методика выполнения тригонометрического нивелирования учитывает, что вычисленное среднее арифметическое значение между значениями, определёнными при двух положениях вертикального круга, и между значениями, определёнными в прямом и обратном направлениях, практически в каждом случае даёт наиболее вероятный и приближенный к истинному значению результат. Суммирование средних арифметических значений в прямом и обратном (или проложенных дважды) ходах тригонометрического нивелирования показывает достаточную ответственность выполнения полевых работ [3].

В современном геодезическом и маркшейдерско-геодезическом производстве всё более широкое применение нашли электронные тахеометры. Эти приборы характеризуются качественной угломерной частью, соответствующей по точности, заявленной в характеристике прибора, а также – высокоскоростным импульсным светодайномером высокой точности. Кроме того, электронные тахеометры снабжены встроенным компьютером, позволяющим решать различные виды инженерно-геодезических задач – от простейших до сложных, в зависимости от программного обеспечения и технических решений производителя прибора. Одной из простых задач, решаемых всеми электронными тахеометрами, является измерение наклонных расстояний, вычисление горизонтальных проложений и превышений. Превышения тахеометром вычисляются по формулам (1) или (2) – в зависимости от используемой исполнителем методики измерений. Вычисленные в компьютере электронного тахеометра превышения можно использовать для выполнения тригонометрического нивелирования.

В практике выполнения маркшейдерско-геодезических работ частой ошибкой является переоценка возможностей современных геодезических приборов – например, GPS приёмников, сканеров и электронных тахеометров. Все эти приборы имеют высокое качество и технологичность, и выполняют поставленные перед ними задачи. Но проблемой является то, что пользователь может применять тот или иной прибор не по назначению (то есть – для решения несвойственных для данного прибора видов геодезических задач), а также – несоблюдение той технологии выполнения полевых работ, которая необходима для решения определённого вида задачи. Подобное отношение к способам ведения полевых геодезических и маркшейдерско-геодезических работ недопустимо, и обязательно приводит к возникновению грубых ошибок в работе. Поэтому абсолютно необходимо соблюдение технологии выполнения полевых ра-

бот. Классическая схема тригонометрического нивелирования предполагает выполнение работ в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1 [4].

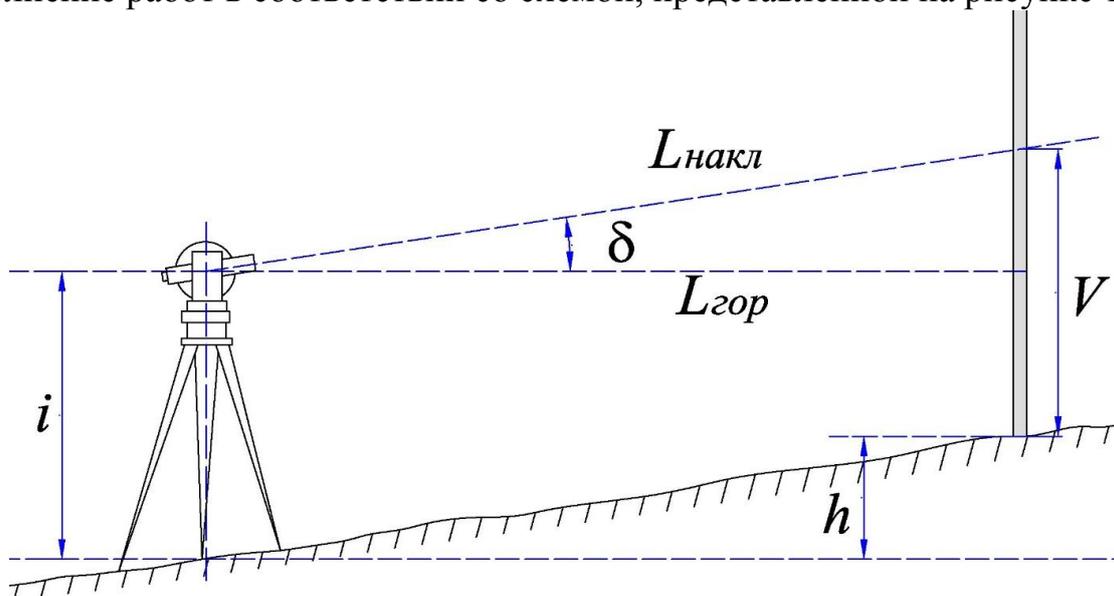


Рис. 1. Классическая схема тригонометрического нивелирования

При этом погрешность определения превышения между двумя точками (реперами) на каждой стороне тригонометрического нивелирования выражается формулой (3).

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{m_\delta^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \delta + m_S^2 \sin^2 \delta + m_i^2 + m_V^2} \quad (3)$$

где m_S – средняя квадратическая ошибка измерения наклонной длины S ; m_δ – средняя квадратическая ошибка измерения угла наклона δ ; m_i и m_V – соответственно средние квадратические ошибки измерения высот инструмента и сигнала [5].

Тригонометрическое нивелирование по этой – классической схеме – рекомендуется выполнять одновременно с проложением теодолитного хода. При этом известно, что тригонометрическое нивелирование является достаточно сложным видом полевых геодезических и маркшейдерско-геодезических работ. Это связано, прежде всего, с тем, что наиболее трудоёмким этапом геодезических и маркшейдерско-геодезических работ является процесс измерения длин сторон хода, так как в большинстве случаев для этого применялась металлическая компарированная рулетка. Поэтому измерение длин занимало основную часть рабочего времени в полевых работах, а исполнители всегда стремились к сокращению затрат времени. В случае выполнения тригонометрического нивелирования параллельно с проложением теодолитного хода продолжительность работы на станции увеличивается приблизительно в два раза. Однако при использовании для данного вида работ электронного тахеометра процесс измере-

ния длин сторон светодальномером занимает несколько секунд и почти не влияет на время выполнения полевых работ. В связи с этим темпы выполнения полевых работ при проложении теодолитных ходов значительно увеличились и основную часть рабочего времени на станции исполнители тратят на заполнение полевого журнала.

В случае если в текущий период работы предприятия перед маркшейдерской службой не стоит задача создания обеспечения высотным обоснованием, то выполнение работ по передаче высотных отметок выполняется отдельно – без привязки к работам по проложению теодолитного хода. Кроме того, при создании высотного обоснования в горных выработках, кроме ходов тригонометрического нивелирования, в горизонтальных выработках обязательно прокладываются ходы геометрического нивелирования. Поэтому чаще всего создание высотного обоснования в горных выработках шахт выполняется как отдельный вид работ. В таких случаях наиболее целесообразным является следующий способ выполнения тригонометрического нивелирования, схема которого приведена на рисунке 2.

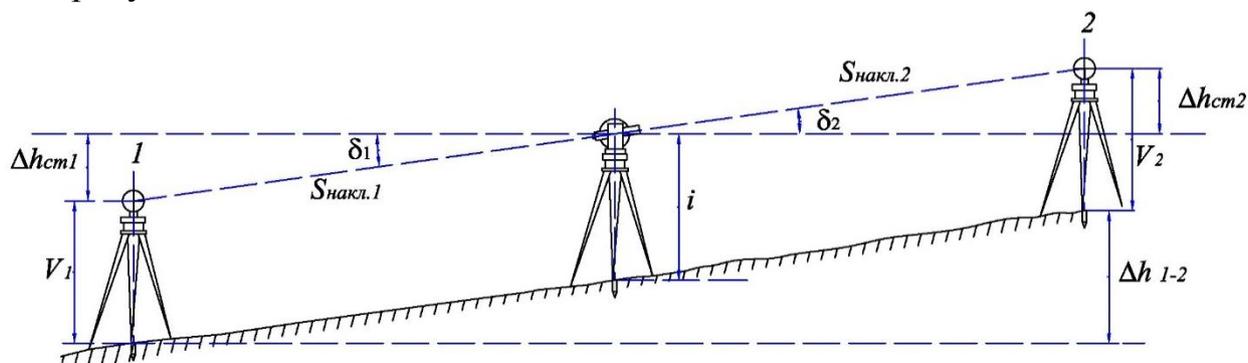


Рис. 2. Тригонометрическое нивелирование из середины по трёхштативной схеме

Данный способ можно сформулировать, как тригонометрическое нивелирование из середины. Выполняется оно по так называемой трёхштативной системе. При этом электронный тахеометр устанавливается между двумя штативами – задним и передним. На заднем и переднем штативе в качестве сигнала устанавливается отражатель. Задний и передний штативы могут устанавливаться как под маркшейдерскими пунктами (или над ними), так и в произвольных – удобных для этого местах. Электронный тахеометр также может быть установлен как на маркшейдерской точке, так и в произвольном месте. Если для создания высотного обоснования необходима та или иная точка, то на этих пунктах выполняется измерение высоты прибора или высоты сигнала. Если пункт (репер) находится выше горизонта прибора, то домеру i или v присваивается знак минус и эти значения записываются в полевой журнал. Во всех случаях высота прибора и высота сигнала не используются в вычислениях превышений. Таким образом, тахеометр вычисляет превышение по формуле (2) и выдаёт значение

превышения между осью вращения зрительной трубы тахеометра и горизонтальной осью вращения отражателя. В дальнейшем – при необходимости вычислить высотную отметку маркшейдерского пункта (репера) – к высотной отметке горизонтальной оси прибора (тахеометра или отражателя) прибавляется значение домера i или v . Например, в соответствии со схемой, представленной на рис. 2, превышение между закреплёнными пунктами вычисляется по формуле (4).

$$\Delta h_{1-2} = \Delta h_{cm1} + \Delta h_{cm2} + V_1 - V_2 \quad (4)$$

То есть, высота прибора i не принимает участия в вычислениях. Высотная отметка пункта 2 вычисляется по стандартной формуле:

$$Z_2 = Z_1 + \Delta h_{1-2} \quad (5)$$

После выполнения измерений при одном положении вертикального круга (например, при КЛ) зрительная труба тахеометра поворачивается через зенит и измерения повторяются при другом положении вертикального круга. В качестве результата принимается среднее арифметическое значение превышений, определённых при КЛ и при КП. После этого необходимо изменить высоту инструмента (поменять горизонт тахеометра) и повторно выполнить тот же цикл измерений. Конечным результатом значения превышения является среднее арифметическое, полученное при двух различных горизонтах инструмента. После этого снимается задний сигнал, снимается электронный тахеометр, и оба штатива (задний и средний) переносятся вперёд – далее по ходу. Таким образом, темпы выполнения тригонометрического нивелирования значительно увеличиваются, а точность полученных результатов возрастает благодаря уменьшению количества измерений высот инструмента и высот сигналов. Если сторона хода тригонометрического нивелирования является свободной (не опирающейся на жёсткие точки или реперы), то на такой стороне погрешность определения превышения между горизонтальной осью вращения сигнала и горизонтальной осью вращения зрительной трубы выражается формулой (6).

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{m_\delta^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \delta + m_S^2 \sin^2 \delta} \quad (6)$$

В ходах тригонометрического нивелирования значительной протяжённости отсутствие накопления погрешностей m_i и m_v значительно повышает точность самого хода. То есть, с более высокой точностью определяются высотные отметки горизонтальных осей вращения сигналов и тахеометров. А при вычислении высотных отметок реперов – к погрешности определения высотной отметки горизонтальной оси вращения сигнала или тахеометра добавляются не более двух погрешностей определения высоты сигнала и (или) тахеометра. При этом на погрешность определения высотной отметки репера не влияют погрешности m_i и m_v , полученные при измерениях на всех остальных реперах или жёстких точках.

Выводы. При решении задач, поставленных данными исследованиями, был модернизирован существующий способ тригонометрического нивелирования в горных выработках, с учётом применения современных электронных тахеометров, а также светодальномеров в комплексе с точными оптическими теодолитами. Предложенный способ был исследован в экспериментальных условиях и применён в условиях действующих предприятий с целью обеспечения сбойки встречных забоев в шахтах ДТЭК “Павлоградуголь”, а также в шахтоуправлении “Покровское”.

В ходе дальнейших исследований возможностей применения тригонометрического нивелирования современными электронными тахеометрами в горных выработках с любыми углами наклона будет выполнен анализ точности предложенного способа выполнения полевых работ. Ожидается, что этот способ позволит применять тригонометрическое нивелирование наравне с геометрическим нивелированием с сохранением точности передачи высотных отметок на реперы, закреплённые в горных выработках. В таком случае производительность выполнения полевых работ при передаче высотных отметок в горных выработках значительно возрастёт при сохранении качества результатов.

Перелік посилань

1. (2001). Marksheyders'ki roboty na vuhil'nykh shakhtakh ta rozrizakh. Instruktsiya. Kyiv: Min-topenerho Ukrayiny.
2. (1987). Instruktsiya po proizvodstvu marksheyderskih rabot. Moskva: Nedra.
3. Vronskiy, Yu., Holovko, S., & Dykovenko, V., & Tretjak, A. (2017). Obosnovanie sposoba ob sledovaniya vzaimnogo polozheniya geometricheskikh elementov kanatno-lentochnogo konveyera v ekspluatatsionnyiy period. Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho hirnychoho universytetu. Vypusk 52. Dnipro: NGU. 280-286.
4. Borsch-Komponiets, V. (1989). Geodeziya. Marksheyderskoe delo: Uchebnik dlya vuzov. Moskva: Nedra.
5. Dikovenko, V. (1978). Primenenie svetodalnometra MSD-1 dlya nablyudenyi za sdvizheniem bortov karerov. Razrabotka mestorozhdeniy poleznyih iskopaemyh. Respublikanskiy mezhvedomstvennyiy nauchno-tehnicheskiiy sbornik. Vypusk 50. Marksheyderskoe delo. Kiev: Tehnika”.

ABSTRACT

Purpose. Development and introduction into production of an improved method of trigonometric leveling using modern electronic total stations.

The methodology of research consists in the theoretical development of an improved method of trigonometric leveling, in experimental measurements and in testing at operating mines.

Findings. As a result of the research, the existing method of trigonometric leveling in the mine gateroads was modernized, taking into account the use of modern electronic total stations or lightrangemeters in combination with precise optical theodolites. Theoretical studies are confirmed as a result of experimental measurements and in conditions of operating mines.

The originality consists in trigonometric leveling from the middle with the use of a three-time system, which avoids the accumulation of errors by measuring the heights of the device and the heights of the signal and significantly increases the speed of surveying in the mine gateroads.

Practical implications. The results of the research allow us to apply an improved method of trigonometric leveling in the mine gateroads of operating mines, which will significantly reduce the time for mine surveying while maintaining the specified accuracy.

Keywords: *transfer of height marks in horizontal and inclined mine gateroads, trigonometric leveling in mine gateroads, electronic total stations, lightrangemeters, surveying measurements*

УДК 622.831

© В.Н. Федоренко, Ю.И. Вронский, А.В. Третьяк

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ПОСЛЕ
ПРОХОДА ЛАВЫ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ “БЕЛИЦКАЯ”
ООО “ДТЭК ДОБРОПОЛЬЕУГОЛЬ”**

© V. Fedorenko, Yu. Vronskiy, A. Tretjak

**INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF THE MOUNTAIN MASSIVE
AFTER THE LAVA PASSAGE IN THE CONDITIONS OF THE MINES
"BELITSKAYA" LLC "DTEK DOBROPOLEUGOL"**

Розглянуто методику дослідження поведінки гірського масиву після проходу лави в геологічних умовах, що існують на шахті “Білицька” ТОВ “ДТЕК Добропіллявугілля”. Наведено результати обробки натурних маркшейдерських вимірювань на спостережній станції. Приведений стислий аналіз поведінки гірського масиву навколо гірничої виробки в період проведення очисних робіт в лаві. Надані стислі висновки щодо несучої здібності кріплення виробки, необхідні для підготовки рекомендацій щодо застосування анкерного кріплення для збільшення відсічі гірському тиску.

Рассмотрена методика исследования поведения горного массива после прохода лавы в геологических условиях, существующих на шахте “Белицкая” ООО “ДТЭК Добропольеуголь”. Приведены результаты обработки натурных маркшейдерских измерений на наблюдательной станции. Приведен краткий анализ поведения горного массива вокруг горной выработки в период проведения очистных работ в лаве. Предоставлены краткие выводы о несущей способности крепи, необходимые для подготовки рекомендаций по применению анкерной крепи для увеличения отпора горному давлению.

Введение. Современное состояние угледобывающей промышленности Украины напрямую зависит от решения вопроса энергетической безопасности государства. Потеря управления и контроля над значительным количеством угольных шахт украинского Донецкого бассейна привела к необходимости