

*Ассистент Моисеенко Е. В.
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина)*

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НЕФТЕПРОВОДОВ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПРИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ШАХТ

Реструктуризация шахт приводит до подтопления территорий та до активізації процесу зрушення гірничих порід та земної поверхні. При цьому стійкість нафтопроводів в краевій частині мульди зрушення різко погіршуються. В цих умовах для спостереження посування земної поверхні запропоновано метод тригонометричного нівелювання реперів, що розташовані не традиційно по краям лінії, а по сітці квадратів, на значно пересічній місцевості. Аналізується її точність та запропоновано метод спостережень та розрахунків.

Введение

Современное состояние земной поверхности на территории Луганской области претерпевает значительные изменения. Причиной тому явилась реструктуризация шахт с прекращением откачки подземных вод. Выход вод на вышележащие горизонты спровоцировал процесс подтопления промышленных сооружений, железных дорог, сельхозугодий, а также склонов балок с перепадом высот до сотен метров, по которым проложены ветки нефтепроводов, газопроводов и водопроводов. Во многих случаях значительная часть указанных территорий ранее подрабатывалась или подрабатывается в настоящее время. Ранее произведенные наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности в условиях откачки вод послужили основой для разработки мер охраны сооружений для ранее существовавших условий. Резкое изменение физико-механических свойств горных пород в период подтопления привело к нарушению устойчивости сооружений, к разрыву нефтепроводов, к нарушению экологического состояния значительных территорий. В создавшихся условиях прежние методы маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности и устойчивостью нефтепроводов оказались недостаточными. На основе восемнадцатилетнего опыта наблюдений был разработан, проанализирован и внедрен метод усовершенствованного тригонометрического нивелирования на пересеченной мест-

ности по сетке квадратов с использованием высокоточных электронных тахеометров и усовершенствованной методикой обработки результатов с учетом рефракции.

Обзор публикаций по теме

Попов В.Н. [1] приводит результаты тригонометрического нивелирования при наблюдении за осадками передвижных железнодорожных путей на деформируемых отвалах на участках их подъема и спуска при перепаде высот 35-40м. Длины измерялись параллактическим методом с постоянным базисом равным 24м. Зенитные расстояния измерялись двумя теодолитами Т2 одновременно в прямом и обратном направлениях по трем нитям.

После обработки измерений получены результаты: средняя квадратическая ошибка параллактического угла $0,24 - 0,64''$, средняя квадратическая ошибка определения длин линий $0,25 - 1,39$ мм при длинах от 70 до 103 м, средняя квадратическая ошибка зенитного расстояния $0,47 - 0,82''$, средняя квадратическая ошибка превышения, полученного из тригонометрического нивелирования, $0,5 - 2,1$ мм, при заданной по нормативным документам 5мм. Результаты показывают, что в труднодоступных местах тригонометрическое нивелирование короткими лучами можно использовать совместно с геометрическим нивелированием на горизонтальных участках при наблюдении за осадками рельсовых передвижных путей на деформируемых отвалах с удовлетворительной точностью без применения дорогостоящих электронных тахеометров.

Обзор литературы по вопросам нивелирования

Тригонометрическое нивелирование применялось для наблюдений за подвижками земной поверхности в районе вулкана Толбачик. Автор В.И. Кафтан [2] отмечает, что на основании долговременных исследований движения земной коры тригонометрическим нивелированием установлено, что в гористой местности благодаря применению особой методики, точность его гораздо повышается. Автор отмечает также, что „оно используется редко и недостаточно эффективно”. Далее отмечается, что тригонометрическое нивелирование „позволяет получать достоверную информацию о движении земной поверхности”. Тем не менее имеются вполне убедительные доказательства эффективности применения тригонометрического нивелирования с применением точных приборов при изучении „быстрых вертикальных движений земной поверхности, особо в районах активного вулкана”. Вертикальные сдвигения в таких районах достигают „нескольких дециметров и даже метров”. При этом автор ссылается как на отечественных исследователей, так и на зарубежных.[3,4,5,6,7]

Тригонометрическое нивелирование с успехом применялось при исследованиях на Камчатке [6], в исследованиях [5,7] и рекомендуется Методическим руководством [3]. Точность тригонометрического нивелирования на равнинной местности гораздо ниже геометрического нивелирования. Это отмечают практически все исследователи [2,7]. Однако, применение геометрического нивелирования на плоскостях с углом падения $2 - 8^\circ$ резко снижает его точность, увеличивается количество стоянок, ухудшаются условия взятия отсчетов. Играет отрицательную роль и временной характер. Если тригонометрическое нивелирование можно снять с 4–5 точек за 1 час, то геометрическим – 2.

Исследователями Изотовым А. А. [4] и Градилеком Л. [8] установлены закономерности уменьшения колебаний атмосферной рефракции с увеличением эквивалентных и абсолютных высот линии визирования. Определено время суток, в течение которого коэффициент рефракции изменяется в наименьшей степени. Следовательно, в период выгоднейшего времени наблюдений в гористой и резко пересеченной местности определение вертикальных смещений тригонометрическим нивелированием может быть произведено „с более высокой точностью, чем на равнине”. [2]

Гипотеза о „постоянстве угла рефракции одного и того же направления от эпохи к эпохе” была проверена путем статистического анализа 298 полных углов рефракции на трех геодинамических полигонах в течение двух, трех, и четырех эпох наблюдений с интервалом 14 лет. Исследования показали тесную взаимную корреляцию смежных по времени значений σ . Результаты статистического анализа подтвердили возможность определения долгосрочных вулканических движений тригонометрическим нивелированием.

Изотов А. А. предложил особую обработку тригонометрических данных – уравнивание разности повторных измерений [4] для определения движений земной поверхности. Этот метод был применен при обработке плановых сетей по результатам тригонометрического нивелирования.

На основе способа уравнивания разработана методика поэтапного анализа поверхности методом тригонометрического нивелирования с равной векторной картиной смещений по нескольким группам пунктов: малоустойчивым, среднеустойчивым и взаимоустойчивым. Основой для анализа являются пункты устойчивой сети.

Применим метод тригонометрического нивелирования и для определения объемных величин сдвигения, что позволяет решать задачи устойчивости откосов. Так Кафтан В. И. дает решение задачи объемов сдвижений по треугольнику с оценкой точности. Полученные объемы

масс сдвижения легко увязываются с так называемыми резервуарами воды над, которыми идет сдвижение. Эти же объемы легко увязать с объемами выемки угля в шахтах.

Изотов А. А., Кафтан В. И., Герасименко М. Д., Градилек Л., Торж В. [3 - 8] утверждают, что при значительных вертикальных подвижках. Достигающих 0,5 и более метров точность тригонометрического нивелирования на пересеченной местности может составить 5 – 7% по сравнению с геометрическим нивелированием, где точность должна быть гораздо выше. Однако таких сравнений в работах указанных авторов нет. В целом, анализируемые работы отмечают, что применение тригонометрического нивелирования для научных целей связанных со сдвижением земной поверхности возможно и дает хорошие результаты, особенно с точки зрения динамики процесса. По мнению авторов, применение актуальных методов наблюдений, позволяющих производить уравнивания на высоком уровне, с применением высокоточных приборов, применение тригонометрического нивелирования более экономично по времени производства.

Хренов Л.С. в статье «Электронно-оптические приборы» по материалам 167 заседания семинара секции инженерной геодезии и маркшейдерии НТС ГУГК, отмечает, что доклад Разумцева С.В. «Применение электронных светодальномеров и тахеометров при геодезических измерениях» был рассмотрен и одобрен. Светодальномеры (на 1991г) СТ-5, МДГМ, Та-3, Ренота, Рета, Геодиметр 14А обеспечивают точность измерения длин 1 – 10мм. Эти тахеометры находят широкое применение для создания плано-высотной основы для карьеров (Диковенко В. И., Гавриленко Ю. К.), для наблюдений за деформациями сооружений. За последние 15 – 20 лет иностранные фирмы выпустили ряд тахеометров с высокой производительностью и точностью измерения горизонтальных, вертикальных углов, расстояний и превышений.

Калучин Ю.В. [9] утверждает, что в практике тригонометрического нивелирования короткими лучами (до 100м) расстояния измерять светодальномерами, на которые указывает Хренов Л. С. – нерентабельно. В этих случаях расстояния удобно определять по вертикальному базису. По измеренным зенитным расстояниям можно вычислять превышения. Погрешность измерения расстояния зависит, как от величины и точности измерения базиса, так и от величины зенитных расстояний и точности их измерения. Автором установлено, что погрешность определения длин (при базисе 2,5 м, при измерении зенитного расстояния с ошибкой $m_{\Delta Z}=2''$ и при погрешности отсчитывания $m_b=0,05$) составляет порядка 2-4 мм. Автор утверждает, что тригонометрическое нивелирование с

использованием вертикального базиса можно шире применять в геодезических работах.

К аналогичным выводам пришел и болгарский геодезист Димитров Г., используя вертикальную базу при определении расстояния и превышения [10].

Авторы Гайрабеков И. Г., Сианисян С. С., Абрамова М. Е. [11], на основании работ на чечено-ингушском геодинамическом полигоне установили, что влияние рефракции тем сильнее, чем больше превышение по секции, однако оно практически исключается при нивелировании замкнутых полигонов. Наиболее благоприятным временем наблюдений авторы считают до 11 часов и с 16 часов. Оптимальной, при незначительном влиянии рефракции порядка 1 мм, является длина визирного луча до 50м. Поправки за рефракцию определяют по специальным формулам с учетом длины плеча, температуры. Утверждают, что специальных полевых измерений не надо, однако, при длине луча более 50м, такое утверждение некорректно.

Выводы по обзору литературных источников:

1. При наблюдениях за сдвижением земной поверхности на пересеченной местности, метод тригонометрического нивелирования дает сравнительно высокие по точности результаты, экономичен во времени и с меньшими затратами труда.

2. При усовершенствовании методик наблюдений, возможно повышение точности, получаемых результатов определения относительных сдвижений реперов.

3. Метод тригонометрического нивелирования позволяет применять высокоточные электронные приборы, а также вертикальные базисные рейки.

4. Производство дополнительных измерений позволяет учесть влияние атмосферных условий и рефракций на результаты.

Постановка задачи исследований

Нефтепровод представляет собой сложное конструктивное сооружение из отдельных отрезков труб длиной от 500 до 1200 м и диаметром 600 -1200 мм, диаметр стенок до 15мм. Трубы, слагающие участок, сварены под различными углами, в зависимости от плановых поворотов. Вертикальная амплитуда по профилю достигает 40 – 80 м. Одновременно прямолинейный участок сваренных труб может находиться как на синклинальной, так и на высоте антиклинальной складки. Кроме этого, этот же участок может проходить на подрабатываемой территории, так и на неподрабатываемой. Просадки земной поверхности над горными работами, сдвигание по складкам оползнеопасных участков, попадание в целом всей нитки нефтепровода под влияние подтопления, приводит к

разрушению трубопровода. За последние 20 лет на участке Лисичанск – Россия было 4 крупных разрушения: над горными работами шахты Тошковская, разрушение без разлива нефти над горными работами шахты Ворошиловская и над горными работами г. Краснодона. Все разрывы проходили по краевым частям мульды сдвижения практически у границ шахтного поля, т.е. на контакте с барьерным целиком между шахтами. В трех из четырех случаях разрывы происходили на крыльях антиклинальных складок. 10 серий опытов на разрыв ленты из бумаги в 99.5 случаях показали на разрыв в месте зажатия бумаги, а не в середине.

В течение восьми лет на шести участках нефтепровода Лисичанск – Россия и на трех участках Лисичанск – Кременчуг проводились наблюдения геометрическим нивелированием за устойчивостью земной поверхности и откосов. Расстояние между реперами принято 30м. На отдельных участках по балкам между двумя реперами производились три установки штатива. Анализ точности показал, что среднеквадратическая погрешность передачи отметки или определения превышения составляет 3.75мм. Особо неблагоприятные условия при ветре и ветреном солнце. Как обычно по балкам имеется значительная травяная растительность высотой до 0.45 – 0.55 м, что уменьшает обзорность реек.

Под руководством докт. техн. наук Буянова А. Д. научный коллектив кафедры маркшейдерии ДонГТУ, г. Алчевска произвел обследование 175 км трассы нефтепровода, дал анализ геологического, тектонического и стратиграфического состава пород, а также современных гидрогеологических процессов. Дополнительно намечено пять особо опасных мест по трассе, как подработанных горными работами, так и водозаборами. Установлено, что применяемая маркшейдерской службой методика определения деформаций земной поверхности по линиям реперов по простирацию и по падению не отражает действительного состояния процесса сдвижения, особенно на пересеченной местности и в краевой части мульды сдвижения.

Исходя из вышеизложенного и из обзора литературы, ставится научная задача разработки принципиально новой как схемы наблюдения, так и методики наблюдения различными приборами с учетом рефракции. Как исходный должен быть принят метод расчета превышений и их анализ.

Предлагаемые схемы наблюдений

Выше было отмечено [1,2,5], что в определенных условиях тригонометрическое нивелирование по точности не уступает геометрическому нивелированию. Для этого необходимо создать целый комплекс или механизм, способствующий получению достоверных исходных данных

в поле. Способствующим этому является рельеф по трассе нефтепровода именно в тех местах, где необходимо производить исследования. В большинстве случаев по трассе границами разработок являются ослабленные зоны в массиве, вызванные определенными тектоническими явлениями. На поверхности такие ослабления проявляются в виде балок, через которые проходит нефтепровод. Это способствует тому, что опасный участок на одном склоне наблюдается с противоположного, незатронутого процессом сдвижения от подземных работ. Тогда предлагается для наблюдения несколько схем.

Схема 1. На опасном склоне закладывается площадная наблюдательная станция с расстоянием между реперами 30 – 50 м. В зависимости от размеров откоса это будет участок от 250×250 до 400×350 м, что в целом представит станцию от 25 до 50 реперов. Каждый репер закладывается в соответствии с существующими требованиями. Исходя из опыта, по непахотным и не покосным склонам закладка рабочих реперов упрощается. Для этого используются уголки, металлические штыри и деревянные колья длиной до 60 м, забивные, не бетонированные. Угловые реперы всех квадратов и базовый репер на вершине другого, противоположного склона бетонированы, глубина закладки 1.1 м, ниже уровня промерзания. По этой схеме наблюдения ведутся с установкой приборов на базовый репер, а на рабочие репера устанавливают или отражатели или при съемке электронными тахеометрами, или базовые рейки, при съемке длин и зенитных расстояний теодолитом 2Т2. При этом, методом тригонометрического нивелирования снимаются только контурные реперы, а методом геометрического нивелирования – реперы по горизонтальным линиям. Все работы производятся дважды. Для исключения влияния рефракции производят соответствующие определения между угловыми точками и базовой точкой. Обработка производится по формулам тригонометрического и геометрического нивелирования с уравниванием по контуру и по горизонтальным линиям сетки квадратов. Такая схема приемлема в том случае, если есть возможность применить геометрическое нивелирование.

Схема 2. Отличие второй схемы от первой заключается в том, что на противоположном склоне закладываются два опорных репера, т.к. конфигурация сдвигающейся поверхности в краевой части мульды затруднительна для охвата наблюдениями всех угловых точек квадратов и линия квадратов вытянута вдоль границ мульды сдвижения. Тогда наблюдения ведутся с двух опорных реперов с включением дополнительных средних реперов по верхней и нижней линии квадратов. При возможности наблюдения ведутся по полной программе с каждого репера с нивелированием реперов по горизонтальным линиям или тригономет-

рическим или геометрическим способом. Обработка результатов ведется с двух базовых реперов с использованием весов, отражающих расстояния от базовых реперов до реперов на сетке квадратов.

Схема 3. Особенностью этой схемы является схема квадратов, вытянутая по границе мульды сдвижения с учетом активизации процесса сдвижения от соседних лав и наличия второй нитки нефтепровода, проложенной на расстоянии до 150 м от первой. В данном случае наблюдения ведутся с трех базовых реперов с обработкой наблюдений как трех составляющих: по схеме 1, как двух квадратов, составляющих контур всей площадной станции, по схеме 2 или по схеме 3, как сложная система с различными весами и с усреднением результатов.

К настоящему времени произведены испытания схемы 1 с одной стоянки. Измерение расстояний и превышений производилось электронным тахеометром на 1 и 3 отражателя. Измерения производились только по верхней кромке откоса со станции на противоположном берегу одного из заливов водохранилища с целью определения подвижек береговой линии, расположенной по одному из сторон ослабленной зоны тектонического нарушения. Между конечными реперами проложен нивелирный ход. Разница между отметками конечных реперов двумя способами составила 3,6 см, что говорит о том, что методику измерений необходимо совершенствовать.

Выводы

Целью настоящей статьи явилось решение проблемы использования тригонометрического нивелирования для устойчивости нефтепроводов и земной поверхности на подрабатываемых территориях при реструктуризации шахт. Произведен обзор литературных источников по указанной теме. Многие авторы занимались вопросом применения тригонометрического нивелирования в различных областях геодезических исследований и пришли к мнению, что в определенных условиях применение тригонометрического нивелирования индивидуально или совместно с геометрическим нивелированием приносит положительные результаты как с точки зрения экономии времени, так и с точностных оценок. На основании некоторого опыта и собственных соображений для наблюдения за сдвижением земной поверхности и нефтепровода в краевой части мульды сдвижения предложено три схемы наблюдений по площадным станциям реперов. При этом предложено три схемы: с одной, двумя и тремя базовыми точками с определением отметок контурных реперов тригонометрическим нивелированием, и по горизонтальным линиям – геометрическим нивелированием с обработкой как равноточных, так и неравноточных наблюдений с использованием весов

и наблюдений, способствующих уменьшать влияние рефракции. Теоретическая часть схемы 1 прошла практическое испытание при определении подвижек береговой линии водохранилища.

Реструктуризация шахт ведет к подтоплению территории и к активизации процесса сдвижения горных пород и земной поверхности. При этом устойчивость нефтепроводов в краевой части мульды сдвижения резко ухудшается. В этих условиях для наблюдений подвижек земной поверхности предложен метод тригонометрического нивелирования реперов, расположенных не традиционно по прямым линиям, а по сетке квадратов, на значительно пересеченной местности. Анализируется его точность и предложены методы усовершенствования наблюдений и расчетов.

The re-structuring of mines conducts to underflooding of territory and to activization of process strata movement and terrestrial surface. Thus the stability of oil pipelines in a regional part subsidence trough is sharply worsened. In these conditions for supervision of motions a earth surface the method trigonometrical levelling of points, located not traditionally on direct lines, and on a grid of squares, on the considerably crossed district is offered. Its accuracy is analyzed and the methods of improvement of supervision and accounts are offered.

Библиографический список

1. Попов В.Н. Наблюдения за осадками железнодорожных путей на деформируемых отвалах. // Геодезия и картография. - 1990. -, №11. - с.9.

2. Кафтан В.И. Анализ тригонометрического нивелирования в районе вулкана Толбачек // Геодезия и картография. №1, 1991, ГУГК и ВОТАК, с. 32 – 36.

3. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах: Метод. Руков. – М.: изд. ЦНИИГА и К, 1985, - 113с.

4. Изотов А.А., Пеллинек Л.П. Исследование земной рефракции и методы геодезического нивелирования// Тр. ЦНИИГА и К. – 1955. – Вып. 102. – 176 с.

5. Torge W/ Regional local vertical crystal movements in Northern Iceland, 1965 – 1980 // Journal of geophysical research. – 1985/ - Vol. 90, NB 12/ - P/ 10.173 – 10.177/

6. The study of deformations of the earth's surface on Kamchatka Peninsula by repeated geodetic measurements / S.A. Fedotov, S.B. Zolotarskaya,

M.A. Maquskin et al / Journal of geodynamics. – 1988/ - Vol. 9. N 2 – 4. – P. 237/

7. *Bjornsson A. Dynamics of crustal rifting in NE Iceland. // Journal of geophysical research/ - 1985/ - Vol. 90, NB 12 – P. 10.151 – 10.162.*

8. *Hrdilek L. Three – dimensional terrestrial triangulation/ - Stuttgart^ Konrad Wittewerlag/ 1986/ - 250 p.*

9. *Калугин Ю.В. О точности расстояний по вертикальному базису. // Известия ВУЗ. Геодезия и аэросъемка. М.: МИИГА и К, №2, 1984г. – с. 35 – 39.*

10. *Димитров Г. Върху няком грешки при паралактическом определении на къси расстояния и превышения с вертикална база. – Геод. Картограф. Землеустройство, 1975, 15, №4 – с. 17 – 19.*

11. *Гайрабеков И.Г., Сианисян С.С. , Абрамова М.Е. Учет влияния рефракции при нивелировании на геодинимических полигонах // Геодезия и картография, №9 – 10, Геодиздат, 1992. – с. 24 – 26.*