

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.2/550.834

ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Ю.Г. СЕНЬКО

*(Управление полевых сейсморазведочных работ РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
Полоцкий государственный университет)*

М.В. ВОЛОШИНА

(Полоцкий государственный университет)

В работе описана общая последовательность выполнения топографо-геодезических работ при сейсмической разведке, их назначение, требования к точности выполнения, применяемые геодезические приборы, методы, программное обеспечение.

Ключевые слова: сейсморазведка, разбивочно-привязочные работы, сейсмические профили, ГНСС-оборудование, программные продукты.

Введение. Такие геофизические методы как электроразведка, сейсморазведка, магнитная и гравиметрическая разведки широко используются при выполнении инженерно-геологических изысканий [1; 2]. При этом сейсморазведка является основным геофизическим методом при изучении глубинного строения Земли, поисках и разведке полезных ископаемых, инженерных изысканиях. Она основана на изучении распространения возбуждаемых искусственно упругих волн в земной коре и верхней мантии [2; 3].

Организация сейсморазведочных работ осуществляется таким образом, чтобы при наименьших затратах времени и средств получить максимально достоверные геологические результаты. Типичная структура сейсморазведочной партии включает следующие отряды (бригады): топографические, собственно сейсмические, взрывные, буровые, камеральные, административно-хозяйственные [3; 4].

Основными задачами топографо-геодезического обеспечения сейсморазведочных работ являются:

- своевременное и качественное обеспечение топографическими картами (планами), аэрокосмическими материалами, топографическими основами специальных карт;
- подготовка на местности сети точек геологоразведочных наблюдений и соответствующее сопровождение этих наблюдений в процессе геологоразведочного производства;
- определение плано-высотного положения объектов сейсморазведочных наблюдений, геофизических и других пунктов и точек [5].

В соответствии с указанными задачами выполняются следующие виды работ при топографо-геодезическом обеспечении геологоразведочных работ [5]:

- создание геодезической основы для геологоразведочных работ;
- топографические съемки в масштабах 1:5000 и крупнее;
- разбивочно-привязочные работы;
- маркшейдерские работы;
- создание топографических основ;
- разные сопутствующие работы.

Эффективность сейсморазведки непосредственно зависит от качества его топографо-геодезического обеспечения, т.е. насколько точно определено в координатном пространстве положение точек взрыва и сейсмоприемников, настолько точно будет определено положение геоструктур (отражающих горизонтов, разломов, блочных структур и т.д.) [6; 7]. В связи с этим в последние годы нормативные требования к качеству геодезического обеспечения сейсморазведки ужесточены [7].

Целью данной статьи является изучение требований технических нормативно-правовых актов, анализ методов и технологии геодезического сопровождения сейсморазведочных работ с использованием современных геодезических приборов и программных продуктов для обработки данных.

Основная часть. Основными техническими нормативно-правовыми актами, регулирующими порядок выполнения сейсморазведочных работ, их топографо-геодезического обеспечения в Республике Беларусь являются ТКП 17.04-26-2011, ТКП 17.04-24-2010, ТКП 17.04-51-2013 и др.

Согласно ТКП 17.04-26-2011 [3], в зависимости от типа используемых волн различают метод отраженных волн и метод преломленных волн. В свою очередь эти методы подразделяются на моноволновые методы, т.е. основанные на регистрации волн одного типа, и многоволновые, т.е. предусматривающие совместное использование волн различных типов. В зависимости от условий проведения работ, характера решаемых задач, приемов регистрации, обработки и интерпретации волнового поля сейсморазведка бывает сухопутная и мор-

ская, наземная и скважинная, профильная и площадная, двумерная и трехмерная, многокомпонентная и поляризованная. По целевому назначению различают сейсморазведку нефтегазовую, рудную, угольную и инженерно-геологическую [2; 3]. Двумерная сейсморазведка (2D) предназначена для изучения строения земной коры по отдельным направлениям (профилям) или по сети профилей, трехмерная сейсморазведка (3D) проводится в основном на этапе детализационных исследований для получения непрерывных пространственных характеристик изучаемых объектов. Топографо-геодезические и картографические материалы применяются на всех стадиях сейсмогеологических работ: при проектировании сети профилей, выносе в натуру проектного положения, планово-высотной привязке в полевых условиях, построении геологических отчетных карт, обработке данных [7].

Топографо-геодезические работы в сейсмической партии заключаются в первую очередь в подготовке, разбивке на местности и привязке сети профилей с обозначением на них пунктов возбуждения (взрыва) (ПВ) и пунктов расположения сейсмоприемников – пунктов приема (ПП), определении координат и высот этих точек и составлении вертикального разреза по линии профиля, в составлении топографической основы для сейсмических карт и профилей, а также подготовке трасс и просек для передвижения сейсмической аппаратуры, бурового и взрывного оборудования [5].

Требования к точности, согласно [5], зависят от применяемого метода сейсморазведки, этапа и вида работ. При сейсморазведочных работах должны соблюдаться условия, приведенные в таблице.

Таблица. – Средняя квадратическая погрешность (СКП) определения планового и высотного положения пунктов наблюдений при сейсморазведочных работах [5]

Методы	СКП определения положения пунктов наблюдения	
	в плане (мм в м-бе отчетной карты)	по высоте, м
КМПВ, сейсмозондирование, МПЗ	0,8	5
МОВ, ОГТ, ВСП сейсмокаротаж	0,8	2
Объемная сейсморазведка	0,8	1,5

Примечание. Величины погрешностей взаимного положения сейсмоприемников обосновываются в проекте на сейсморазведочные работы. Для методов малоглубинной высокоразрешающей сейсморазведки СКП определения положения пунктов наблюдения обосновывается в проекте.

Однако, учитывая возможности современных геодезических приборов и методов, работы выполняются значительно точнее. Кроме того, заказчик может быть заинтересован в более высокой точности выполнения работ, тогда соответствующие дополнительные расчеты приводятся в проектно-сметной документации.

Рассмотрим последовательность топографо-геодезических работ при сейсморазведке современными методами. Сейсморазведочные работы осуществляются по проектам. Основанием для проектирования сейсморазведочных работ является геологическое и техническое задания на конкретный объект [3; 4]. Геологическое задание является основанием для выдачи технического задания [3]. Техническое задание на проектирование полевых сейсморазведочных работ включает основание выдачи задания, границы объекта геологического интереса, параметры методики полевых наблюдений и их величины, точность плановой привязки ПП и ПВ и т.п. Для проектирования необходимы сведения о наличии водоохранных зон, ареалов произрастания ценных пород деревьев, охранных зон технических объектов, объектов подземной и наземной инфраструктуры. Используя эти сведения, а также топокарты необходимого масштаба, выполняют подготовку, а затем в поле разбивку и привязку сети сейсмопрофилей и просек [1].

Для оптимального размещения проектных сейсмических профилей и обеспечения последующей точной привязки пунктов геофизических наблюдений производится сбор и анализ топогеодезических данных [3]:

- топографических карт масштаба не мельче М 1:50 000;
- топографо-геодезических материалов работ прошлых лет;
- современных аэро- и космических снимков;
- данных лесохозяйственных организаций о местоположении квартальных лесных просек, характеристике лесного покрова и т.д.;
- данных природоохранных ведомств о расположении охранных зон;
- современных данных о техногенных эксклюзивных зонах;
- других сведений, позволяющих оптимизировать систему наблюдений и технологию работ.

Одновременно с составлением проекта проводят необходимые согласования с землепользователями и другими заинтересованными организациями, объекты которых расположены в районе работ (трубопроводы, электрические линии, кабели, мелиоративные системы, леса и т.д.).

На этапе подготовительных топографо-геодезических работ выполняется рекогносцировка местности участка предстоящих работ и определение параметров перехода систем координат. Рекогносцировка осуществляется для осмотра местности, поиска пунктов государственной геодезической сети. Результаты рекогносцировки местности используются при проектировании сети (систем) профилей и отдельных пунктов наблюдений. Рекогносцировка выполняется приблизительно за 2 недели до предстоящих разбивочных работ. Если по требо-

ванию заказчика топографо-геодезические работы проводятся в СК-42, то осуществляется определение параметров перехода в СК-42. Для этого на не менее чем четырех пунктах государственной геодезической сети производятся измерения для определения координат в ITRF-2005.

Обработку результатов измерений и определение параметров перехода систем координат возможно выполнять в ПО Trimble Business Center или аналогичных программных продуктах. Сначала производится свободное уравнивание сети без фиксирования исходных пунктов и применения модели геоида, затем уравнивание сети с исходным пунктом ПДП, настройка системы координат проекта, калибровка по наборам пар координат исходных пунктов в обеих системах координат, сохранение параметров перехода, импорт проекта с полученными параметрами связи в полевые контроллеры, импортирование модели геоида для обеспечения вычисления нормальных высот.

В состав собственно разбивочно-привязочных работ входят [5]:

- перенесение на местность проектного положения магистральных и профильных линий, а также объектов геологоразведочных наблюдений;
- проложение на местности магистральных и профильных линий с разбивкой пикетажа;
- определение плановых координат и высотных отметок пунктов геологоразведочных наблюдений.

На этапе выполнения разбивочно-привязочных работ осуществляется вынос на местность пунктов наблюдений и проведение разбивочно-привязочных работ сейсмических профилей. Основной задачей является подготовка сети наблюдений для съемки 3Д. При этом раздельно подготавливаются сети ПП и ПВ. Для их выноса на местность и определения планового положения в виде профиля используется, как правило, спутниковый метод, съемка в режиме РТК с точностью, указанной в техническом задании. На залесенных участках, где нестабилен прием спутникового сигнала, применяются электронные тахеометры. Выполнение сейсмических исследований в залесенных районах всегда сопровождается большим объемом работ по прорубке просек, что является наиболее слабым звеном во всем комплексе полевых работ. Прорубка просек ведется при инструментальном или глазомерном вешении. Ширина просеки должна соответствовать техническому проекту на выполнение работ [6; 8].

На местности ПГН закрепляются кольями, на которых указывается тип и номер линии, а также номер пикета. При разбивке профиля ведется пикетажный журнал.

Инструментальная привязка плано-высотного положения профилей – наиболее ответственный момент. Он производится после полевых сейсмических исследований и информирует об их фактическом положении [7]. При выполнении разбивочно-привязочных работ осуществляется контроль качества полевых и камеральных работ.

На сегодняшний день для выполнения привязочно-разбивочных работ в сейсморазведке чаще всего используются современные геодезические спутниковые приемники, например, ГНСС-приемники Trimble R7, R8, R10. Рассмотрим некоторые современные дополнительные возможности моделей ГНСС-приемников, способствующие повышению эффективности и производительности работ. Например, приемник Trimble R7 оснащен интерфейсом Bluetooth для беспроводной связи с контроллерами Trimble. Он разработан в соответствии с концепцией Trimble Integrated Surveying. В приемнике Trimble R8 используется технология R-Track, разработанная для точного и надежного позиционирования с ограниченной видимостью неба или под кронами деревьев, что весьма актуально для территорий, где производится сейсморазведка. Основным программным обеспечением в комплекте полевого оборудования Trimble R8 и Trimble R10 в контроллере TSC3 является ПО Trimble Access с модулем Сейсморазведка. Оно разработано специально для геодезического обеспечения наземной сейсморазведки. Основные его достоинства: мощные функции разбивки, включающие навигацию на базе сетки и выбор смещений без вычислений, просмотр запретных зон прямо в поле, уведомления и предупреждения при нахождении оператора в зонах отчуждения [9].

В случае невозможности (наличие препятствий, небезопасности) размещения ПВ и ПП в их проектном положении они могут быть смещены, руководствуясь специальными правилами. На рисунке представлен экран контроллера ГНСС-приемника при выносе точки на Северо-Надвинском участке. Зеленый цвет величин отклонения вдоль и поперек в верхнем правом углу экрана указывает на достижение заданной точности разбивки. Красный цвет сообщения говорит о нахождении точки в зоне отчуждения.



Рисунок. – Вынос проектной точки

С помощью программ Trimble Survey Controller и Trimble Access данные ГНСС и оптической съемки объединяются в едином проекте, а затем файл всего проекта передается в программу обработки, например, в ПО Trimble Business Center [10]. После разбивки данные из программных продуктов Trimble Access и Trimble Business Center можно импортировать непосредственно в GPSeismic.

Для обработки ГНСС-измерений существует достаточно много программных продуктов, среди которых коммерческие (Trimble Business Center, Justin, Leica Geo Office, Topcon/Magnet Tools, Spectrum Survey, Credo GNSS, Ashtech Solutions), научные (Bernese) и некоммерческие (RTK Lib, GPS TK), а также online-сервисы [11]. Однако, при обработке ГНСС-данных, полученных приемником определенного производителя, используют зачастую соответствующее коммерческое программное обеспечение, т.к. оно часто входит в комплект поставки с ГНСС-системой. Так, для обработки данных с приемника Trimble R8 использовалось программное обеспечение Trimble Business Center.

Если сейсморазведка проводится на покрытой лесом территории, то при разбивке профилей целесообразно использовать электронный тахеометр для выноса точек и определения координат, к примеру, Trimble M3 DR. Trimble M3 имеет программное обеспечение для топографии, выноса в натуру, приложения для решения задач координатной геометрии; дальномер может работать как в стандартном режиме при измерении на призму, так и в безотражательном режиме; при включении безотражательного режима работы включается видимый лазерный указатель. Для камеральной обработки полевых данных, полученных при работе с электронным тахеометром, используется программа КРЕДО ДАТ. Она осуществляет камеральную обработку геодезических измерений и результатов постобработки спутниковых измерений разных классов точности [12].

До появления современных геодезических методов и приборов, а именно спутниковых приемников, электронных тахеометров, работы выполнялись значительно более трудозатратными методами. В этом случае при сейсмических исследованиях вешение профилей и отложения на них линий определенной длины (разбивка пикетажа) осуществлялись глазомерно, с помощью бинокля, различных приборов, имеющих диоптры, или теодолита. Разбивка пикетажа выполнялась путем отложения расстояний вдоль профилей с помощью стальных мерных лент, рулеток и тросов. К используемым инструментальным способам относились и относятся засечки, проложения теодолитных и тахеометрических ходов, а также геометрическое и тригонометрическое нивелирование. Традиционные технологии выполнения большинства топографо-геодезических работ характеризовались сложностью их организации и меньшей точностью и производительностью труда. Следствием являлись высокая стоимость и большая продолжительность всего цикла традиционных геодезических работ [8].

К преимуществам применения спутниковых технологий и электронных тахеометров для геодезического обеспечения сейсморазведки среди прочего можно отнести быстрое развитие сетей сгущения геодезической основы, вынос профилей с высокой точностью на местность, автоматизация измерений и обработки данных, возможности производства работ в сложных физико-географических и климатических условиях [8].

Заключение. В целом, к топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ устанавливаются все более высокие требования, точность планово-высотной привязки повышается, сроки получения готовых результатов сокращаются [7]. Использование спутниковых технологий позволяет повысить эффективность топографо-геодезических работ при выполнении сейсморазведки. Погрешности измерения параметров физических полей и их дальнейшую количественную интерпретацию необходимо рассматривать лишь в тесной взаимосвязи с точностью определения координат и высот. На всех этапах работ используется высокоэффективное программное обеспечение: для проектирования съемок в сейсморазведке широко используется программный продукт MESA Professional; при обработке ГНСС-данных – специализированное программное обеспечение, зачастую от производителя ГНСС-приемника, как, например, Trimble Business Center; для обработки полевых данных при работе с электронными тахеометрами – КРЕДО ДАТ и т.д. Говоря о современном уровне автоматизации выполнения полевых работ, обработки данных, системного подхода к представлению и анализу разносторонних данных, нельзя не упомянуть о возможностях географических информационных систем для интегрирования данных топографо-геодезической, геолого-геофизической изученности территории, представленных серией карт, геондикационных исследований геодезических данных посредством географических информационных систем. Как отмечается рядом авторов [7; 13], такое представление информации характеризуется комплексностью данных, удобством ее хранения, визуализации, анализа, построения прогнозных моделей.

Что касается технологии геодезического обеспечения сейсморазведочных работ в Республике Беларусь и за рубежом, то во всем мире она имеет схожую структуру, отличается системами координат, применяемыми для производства работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодезические работы при геофизической разведке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mobigeo.ru/geodezicheskie-raboty-pri-geofizicheskoi-razvedke.html>. – Дата доступа: 10.06.2021.
2. Третьяк, А.Я. Применение современных методов сейсморазведки с целью поиска месторождений углеводородного сырья / А.Я. Третьяк, Р.С. Новиков // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. – 2007. – № 3. – С. 93–96.
3. Охрана окружающей среды и природопользование. Недр. Правила проведения сейсморазведочных работ = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарастанне. Нетры. Правілы выканання сейсмаразведачных работ : ТКП 17.04-26-2011 (02120). – Введ. 01.05.11. – Минск : Минприроды, 2011. – 71 с.

4. Бондарев, В.И. Сейсморазведка : учеб. для вузов / В.И. Бондарев. – Екатеринбург : Урал. гос. горн. ун-т, 2007. – 698 с.
5. Охрана окружающей среды и природопользование. Недр. Правила по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарастанне. Нетры. Правілы па тапографо-геадэзічнаму забеспячэнню геалагаразведачных работ : ТКП 17.04-24-2010 (02120). – Введ. 01.03.11. – Минск : Минприроды, 2011. – 56 с.
6. Бударова, В.А. Технология автоматизированной обработки результатов геодезического обеспечения 3D сейсморазведки в Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32 / В.А. Бударова ; Сиб. гос. геодез. акад. – Новосибирск, 2010. – 23 с.
7. Архипова, Т.Д. Топографо-геодезическое обеспечение сейсморазведочных работ / Т.Д. Архипова // Первые междунар. Косыгинские чтения : сб. науч. тр. / Рос. гос. ун-т им. А.Н. Косыгина. – М., 2017. – С. 246–249.
8. Бунцев, И.А. Технология геодезического обеспечения сейсморазведочных работ в залесенной местности : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.32 / И.А. Бунцев ; Сиб. гос. геодез. акад. – Новосибирск, 2006. – 28 с.
9. TRIMBLE ACCESS – модуль Land Seismic (Сейсморазведка) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kmcgeo.com/Products/TrimbleAccess_LandSeismic.htm. – Дата доступа: 04.06.2021.
10. GNSS системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trimblegnss.ru/catalog/gnss-sistemy/>. – Дата доступа: 04.06.2021.
11. Малютина, К.И. Сравнение бесплатной программы RTKLIB с коммерческим программным обеспечением для постобработки ГНСС-измерений / К.И. Малютина, С.О. Шевчук // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnienie-besplatnoy-programmy-rtklib-s-kommercheskim-programmnyim-obespecheniem-dlya-postobrabotki-gnss-izmereniy/viewer>. – Дата доступа: 10.06.2021.
12. КРЕДО ДАТ 5.3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/239-credo-dat-professional-naznachenie.html>. – Дата доступа: 10.06.2021.
13. Martynova, N. Technology of processing of results of geodetic support of 3D seismic survey in the territories of oil and gas fields [Electronic resource] / N. Martynova [et al.] // Revista Espacios. – 2019. – Vol. 40, № 34. – Mode of access: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n34/a19v40n34p30.pdf>. – Date of access: 10.06.2021.

Поступила 14.09.2021

TOPOGRAPHIC-GEODETIC SUPPORT OF SEISMIC EXPLORATION WORKS

Y. SENKO, M. VALOSHYNA

The paper describes the general sequence of topographic and geodetic works in seismic exploration, their purpose, the requirements for accuracy of performance used geodetic instruments, methods, software.

Keywords: *seismic exploration, alignment works, seismic profiles, GNSS equipment, software products.*