

Метод полевого трассирования полосы отвода линейных сооружений, имеющей сложную и дугообразную форму, относительно магнитных меридианов местного геомагнитного поля

Трофимов / Trofimov A.

Александр Андреевич
(79219615535@yandex.ru)
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий, механики
и оптики» (НИУ ИТМО),
аспирант кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Кравченко / Kravchenko V.

Владимир Александрович
(vovin84@mail.ru)
НИУ ИТМО,
магистрант кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Карманова / Karmanova N.

Наталья Андреевна
(karmanov.nip@gmail.com))
НИУ ИТМО,
лаборант кафедры ГИС.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: инженерные изыскания – engineering survey; магнитное поле – magnetic field; местный магнитный азимут – local magnetic azimuth; охранная зона – buffer zone.

В данной статье рассматривается возможность использования местного магнитного поля Земли при полевом трассировании линейных объектов в ходе выполнения инженерных изысканий со сложными границами, такие как дуги. В частности приводятся результаты полевого трассирования на границе Ленинградской и Новгородской области, участка проектируемой скоростной платной автомобильной дороги М-11 Москва – Санкт-Петербург, протяженностью 15 км с использованием местного магнитного азимута вместо дирекционного угла местной системы координат при определении направления продольных и дугообразных элементов данного линейного объекта. Также производится оценка возможности использования для данных работ международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-11 на основании полученных результатов.

There is a possibility of using the local magnetic field of the Earth in field tracing linear objects in the course of engineering survey with complex boundaries, such as arc. You can find the results of the field of tracing in the Saint-Petersburg region, which are projected by plot high-speed toll road M-11 Moscow - Saint Petersburg, a 15 km using the local magnetic azimuth direction angle instead of the local coordinate system. There is a possibility of appraisal of using these works for an international model of the main magnetic field of the Earth IGRF-11 on the basis of the results obtained.

В процессе воплощения в жизнь любого линейного инженерного объекта изыскатели и проектировщики решают множество производственных задач, от решения которых зависит качественная и своевременная реализация объекта. В данной статье рассматривается возможность использования местного магнитного поля Земли в ходе выполнения инженерных изысканий при полевом трассировании линейных объектов со сложными и дугообразными границами охранных зон. В частности приводятся результаты полевого трассирования на границе Ленинградской и Новгородской областей участка проектируемой скоростной платной автомобильной дороги М-11 Москва – Санкт-Петербург, протяженностью 15 км, с использованием местного магнитного азимута вместо дирекционного угла местной системы координат при определении направления продольных и дугообразных элементов данного линейного объекта. Также проводится оценка возможности использования для данных работ международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-11 на основании полученных результатов.

Проектируемая трасса М-11 в перспективе будет соединять два крупных мегаполиса, Москву и Санкт-Петербург. Этот проект нацелен разгрузить существующую трассу М-10. Расположение объекта представлено на рис. 1

Рассматриваемый участок проектируемой магистрали проходит по болотистой лесной местности, дорожная сеть района работ развита очень слабо, что создает дополнительные сложности при развитии геодезии

ческого обоснования и использования оптического геодезического оборудования. Карта расположения объекта отображена на рис. 2

При проектировании автомагистралей, проходящих преимущественно по лесным массивам, нередко возникает задача сверки соответствия нанесения охранной зоны нового линейного объекта на лесные планшеты масштаба 1:10 000. Также сверки каталога геодезических координат, задающего положение охранной зоны, полученного также камеральным способом. При этом выполнение полевого трассирования с рубкой створа невозможно вследствие отсутствия договора аренды лесных участков под выполнение изысканий, в том числе и ввиду отсутствия утвержденной лесничествами прохождения трассы на лесных планшетах. Таким образом, по причине невозможности рубки визирок усложняется задача полевого трассирования с использованием классического оборудования, требующего горизонтальной видимости (теодолиты, электронные тахеометры) в целях вышеуказанной сверки, в том числе и ввиду сжатости сроков на выполнение таких работ.

Перед авторами статьи встала задача, как выполнить работу в сжатые сроки без применения для выноса оптического оборудования. Также требовалось сократить финансовые и временные издержки по составлению договора аренды на лесные участки. Для выполнения данной работы классическим геодезическим методом необходимо было оформить договор аренды под вырубку визирных направлений шириной 1,0 м, а после всех утверждений проекта, снова составить договор аренды, но уже на проектную ширину. Все эти манипуляции приводят к двойной работе.

Для решения задачи полевого трассирования магистрали без пилки визирных просек авторами статьи

был применен комбинированный метод, сочетающий использование спутникового геодезического оборудования в режиме кинематики в реальном времени, геодезической буссоли и нитяного дальномера. Суть метода заключается в том, что для определения направлений проектируемых осей на местности используется вычисленный магнитный азимут и геодезическая буссоль вместо вычисленного дирекционного угла и оптического геодезического оборудования. Для позиционирования на линию в таком случае применяется спутниковое геодезическое оборудование. Перед началом работ производится калибровка района работ для возможности работы спутниковым геодезическим оборудованием в местной системе координат. Далее в районе объекта на открытых участках, примерно через 10 км по долготе, закрепляется пункт геодезической сети с четырьмя ориентирными пунктами, определяются их координаты в местной системе и вычисляются дирекционные углы (α) данных четырех направлений, при этом расстояние между точкой и ориентирными пунктами должны быть порядка трехсот метров. После чего с пункта при помощи геодезической буссоли с точностью не хуже 0,3 углового градуса определяются магнитные азимуты (A_m) в прямом и обратном направлении на ориентирные пункты. Далее на основании формулы (1) определяется поправка направления ПН.

$$\pm \text{ПН} = \alpha - A_m \quad (1)$$

Для устранения ошибок при определении величины и знака поправки направления нужно пользоваться схемой взаимного расположения направлений магнитного меридиана и вертикальной линии координатной сетки. Далее на каждом пункте вычисляется среднее значение ПН. Полученные значения



Рис. 1. Обзорная схема объекта

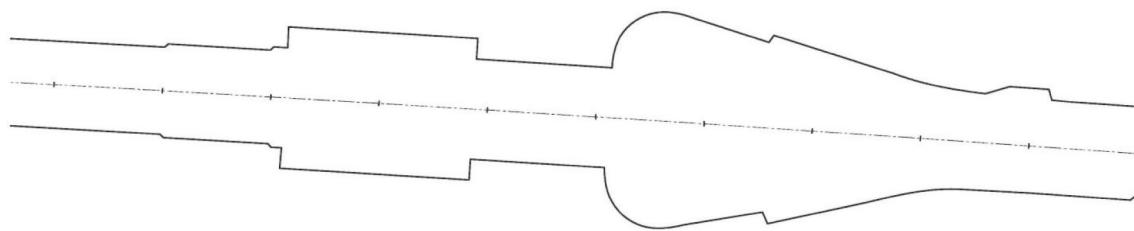


Рис. 3. Фрагмент полосы отвода магистрали

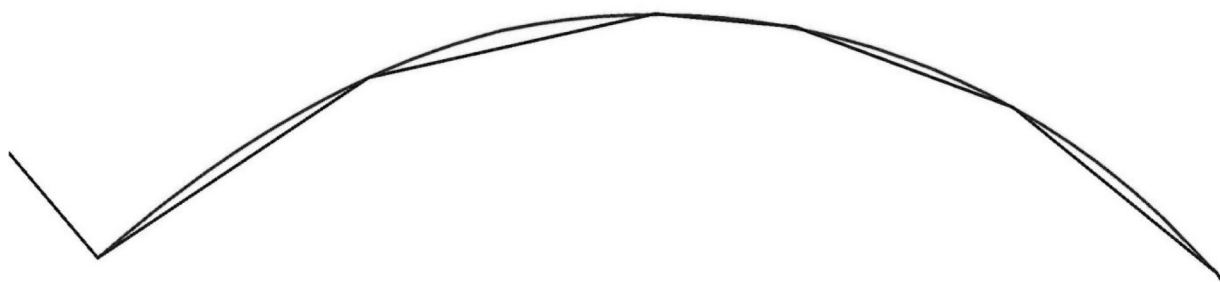


Рис. 4. Фрагмент генерализации границы полосы отвода магистрали

фрагментов трассы между закрепленными точками. Для решения этой задачи применяется геодезическая буссоль. Однако для возможности ее использования предварительно должны быть вычислены магнитные азимуты всех прямолинейных участков, составляющих трассу. Теперь необходимо рассчитать точность определения данного азимута. Положим, что среднее расстояние между деревьями составляет 2,0 метра, тогда ошибка, с которой будет провязана маркерной лентой граница, по которой будет осуществляться в дальнейшем рубка охранной зоны, не должна превышать данной величины [1]. Ошибка выноса отдельных точек по створу в режиме РТК сантиметровая, поэтому ей можно пренебречь. Геодезическая буссоль Suunto KB-14, используемая авторами статьи, имеет точность определения магнитного азимута $1/3$ углового градуса [3]. При длине линии в 100 метров ошибка выноса с ее использованием составит не более 0,5 метра. Таким образом, для выноса 100-метровой линии буссолью с ошибкой не более 2,0 метра потребуется таблица магнитных азимутов, определенных с ошибкой не более 1 углового градуса. Отсюда следует, что для вычисления такой таблицы также можно использовать буссоль Suunto KB-14.

На основании данного теоретического обоснования были начаты работы. Во-первых, перед началом работ была составлена ведомость дирекционных углов, задающая направления в местной системе координат каждого

участка трассы. Также на данном этапе была выполнена калибровка района работ для возможности использования спутникового геодезического оборудования в режиме кинематики в реальном времени.

Для определения магнитных азимутов необходимо было определить отклонения магнитной стрелки от направления оси абсцисс местной системы координат. Для чего в начале участка ($B=59.210^\circ$; $L=31.261^\circ$) была выбрана открытая местность, на которой были закреплены точка опорной геодезической сети и четыре ориентирных направления. Их координаты были также определены в местной системе координат. На основании координат были вычислены дирекционные углы от опорной точки (т. 1) на каждое ориентирное направление (ОРП). После чего были измерены буссолью Suunto KB-14 магнитные азимуты тех же направлений в прямом и обратном направлениях (с т. 1 на каждое ОРП и с каждого ОРП на т. 1). На основании данных определений было получено четыре значения поправки направления, отличающиеся один от другого на величину не более ошибки буссоли. За поправку направления (ПН) [2] было принято среднее значение, равное $-12,0$ (знак минус указывает на необходимость дальнейшего вычитания ПН из значения дирекционных углов для получения магнитных азимутов) градусов. Схематично описанный процесс можно рассмотреть на рис. 5

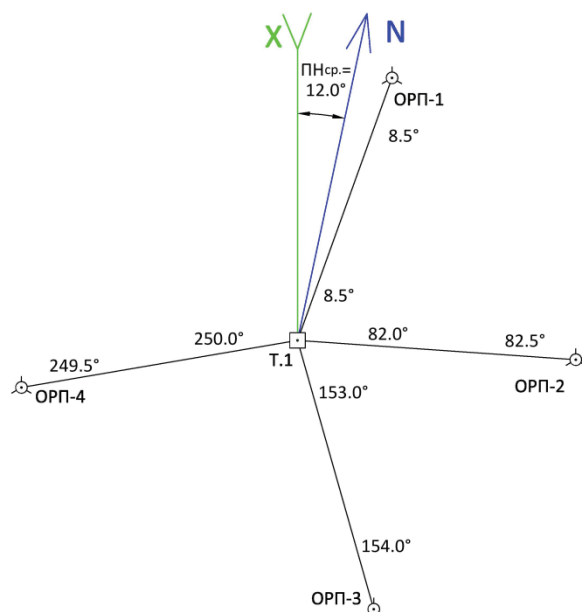


Рис. 5. Определение поправки направления

Далее подобные наблюдения были выполнены в конце трассы ($B=59.044^\circ$; $L=31.152^\circ$). Значение ПН было определено в размере $-11,5$ градусов. Таким образом, разница между значениями ПН в начале и конце объекта составила $0,5$ градуса. В связи с этим было принято решение о достаточности определения значений ПН. Полученные значения сведены в табл. 1

На основании полученных значений таблица дирекционных углов была сведена к таблице магнитных азимутов, причем значения ПН были интерполированы с учетом разности $0,5^\circ$ в начале и конце. Фрагмент трассы, на котором показаны значения магнитных азимутов криволинейных участков, граница полосы отвода, представлен на рис. 6.

После получения данной таблицы, на основании каталога координат вершин углов поворота, авторы статьи приступили непосредственно к выносу в натуру полосы отвода проектируемой М-11 при помощи спутникового геодезического оборудования и геодезических бусселей Suunto KB-14. Также, вследствие наличия большого числа углов поворота трассы, применялся нитяной дальномер Walktax фирмы Haglöf Sweden с ошибкой определения $0,2\%$, позволяющий в случае невозможности позиционирования на вершине угла определить его местоположение промером по створу от предыдущей точки позиционирования. Протяженность трассы М-11 по данным изысканий составила около 15 км. Работы по отводу охранной зоны общей протяженностью 33 км были выполнены одной геодезической бригадой, включающей три человека, за 11 рабочих дней. Таким образом, производитель-

ность метода составила около 3 км в день. На основании выполненной работы специалистами участковых лесничеств была сверена охранный зона трассы М-11 с планом трассы, разработанной на лесных планшетах. В результате были выявлены неточности отображения, которые были своевременно исправлены. Таким образом, дальнейшая работа по рубке просеки под строительство М-11 была выполнена в строгом соответствии с договором аренды лесных участков. Фрагмент разрушенной просеки представлен на рис. 7

В ходе строительства проводится съемка просеки. Данная съемка показала, что максимально отклонение границы просеки отличалось в среднем на $1,2$ метра при максимальном отклонении $1,8$ метра. Таким образом, поставленные задачи авторами статьи были достигнуты.

После получения результатов работ и их точностной оценки по результатам съемки авторы статьи заинтересовались возможностью использования международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-11 [4] для целей нахождения поправок направления на различные районы работ. С этой целью авторы на основании широт и долгот, указанных в табл. 1, вычислили магнитные склонения на дату проведения работ по последней версии IGRF (12 поколение, переработанное в 2014 году), для чего был использован официальный калькулятор IGRF, представленный Британской геологической службой на сайте данной организации [5]. После расчета магнитных склонений к меридианам WGS-84 на основании калибровки района работ они были сведены к поправкам направлений координатной сетки местной системы координат.

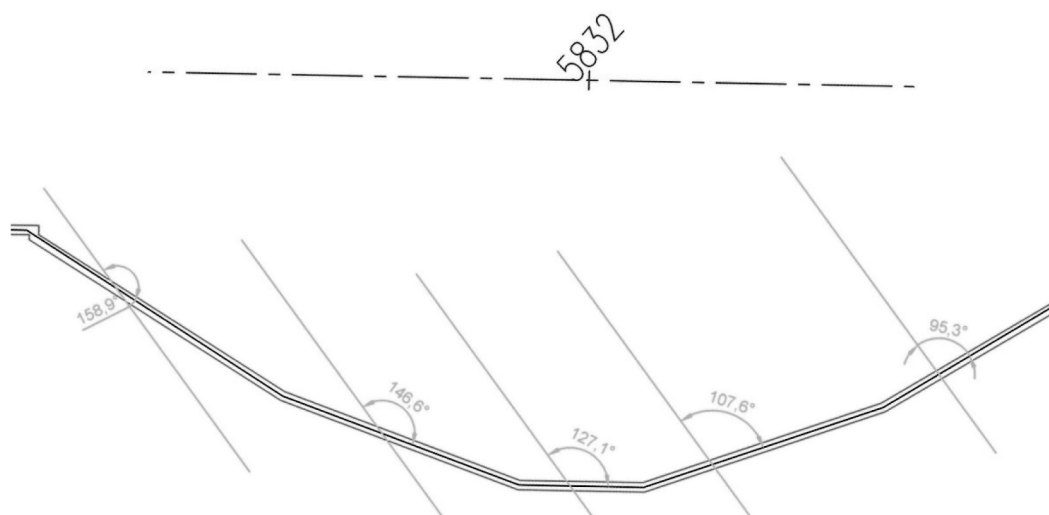


Рис. 6. Значение магнитных азимутов направлений



Рис. 7. Фрагмент трассы СПАД М-11

Таблица 1

Значения поправок направления

Точка	Поправки направления (практически)	B, WGS-84	L, WGS-84
1	-12.0°	N59.210°	E31.261°
2	-11.5°	N59.044°	E31.152°

Таблица 2

Значения магнитных склонений к меридианам WGS-84 и поправок направлений к МСК

Точка	δ (теоретически)	$\alpha - A$	Поправки направлений (теоретически)	B	L
1	2	3	4	5	6
1	10.21°	0.27°	-10.48°	N59.210°	E31.261°
2	10.11°	0.17°	-10.28°	N59.044°	E31.152°

Полученные результаты сведены в табл. 2.

На основании сопоставления значений ПН, вычисленных из наблюдений и полученных из вычислений по модели главного магнитного поля Земли, видно, что использование модели ITRF для нужд полевого трассирования невозможно вследствие сильных отклонений в значениях (применительно к рассматриваемому району работ до 2,0°), а допустимо только в целях грубой оценки значения ПН.

Литература

1. Николаев, А. С. Военная топография / А.С. Николаев – Москва: Воениздат, 1977. – 332 с.
2. ВСН 208-89. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог. / Главное научно-техническое управление Минтрансстроя СССР. – Москва, 1990. – 146 с.
3. SUUNTO KB-14/360R DG. RFC SS030518000 [Электронный

ресурс] / Официальный сайт ф. Suunto. – Режим доступа: <http://www.suunto.com/ru-RU/Products/compasses/Suunto-KB-14/Suunto-KB-14360R-G>, свободный. – Загл. с экрана.

4. Международное геомагнитное аналитическое поле, версия 2010 [Электронный ресурс] / Рабочая группа V МАГА. – Режим доступа: <http://serv.izmiran.ru/webff/igrf.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

5. Синтез форма IGRF (12 Поколение, переработанное 2014) [Электронный ресурс] / Британская геологическая служба. – Режим доступа: http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/igrf_form.shtml, свободный. – Загл. с экрана.