

УДК 528

**АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ НА ПРОЕКТЕ ПЛОТИНА СУЛТАНА, ОБЛАСТЬ ГАЗНИ – АФГАНИСТАН**

<sup>1,2</sup>Сафари М.А., <sup>2</sup>Льонг Т.Л., <sup>3</sup>Елшеви М.А.

<sup>1</sup>*Кабульский политехнический университет, Кабул, e-mail: safaryamin1361@gmail.com;*

<sup>2</sup>*Государственный университет по землеустройству, Москва;*

<sup>3</sup>*Университет Аль-Азхар, Каир*

Результатом геодезических работ по определению положения объекта с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) являются его координаты в геоцентрической системе координат и высоты относительно общеземного эллипсоида. Однако для выполнения большинства геодезических работ необходимо знать высоты пунктов относительно принятой уровенной поверхности (нормальные высоты). Точность данных, полученных с помощью измерений ГНСС, зависит от вида измерения, вида процесса данных и квалификации специалистов. В Афганистане в настоящее время инженерные геодезические проекты имеют множество проблем из-за отсутствия государственной сети и нехватки специалистов для обработки полевых данных ГНСС. Для решения данной проблемы в статье предусмотрены анализ и оценка обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов. На сегодняшний день на рынке существует несколько бесплатных онлайн-сервисов, которые имеют свои особенности. Таким образом, основной целью данной статьи является сравнение и оценка точности обработки плановой и высотных координат пункта на территории плотина Султана, область Газни, Афганистан, с использованием онлайн-сервисов и программы Trimble Business Center (TBC), выбор наиболее точного и оптимального онлайн-сервиса для постобработки ГНСС-данных. В данном исследовании изложены положения по определению координат пункта ВМ1, осуществляемому службой обработки онлайн GPS (Australian Online GPS Processing Service AUSPOS) (версия: AUSPOS 2.4), канадским онлайн-сайтом постобработки (Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning CSRS-PPP), пользовательским Сервисом онлайн-позиционирования (Online Positioning User Service OPUS) и программой TBC, а также сравнение точности получения координат пункта ВМ1 разными способами. Результаты обработки программного обеспечения при помощи интернет-сервисов и TBC показывают минимальное значение для погрешности этих пунктов (приблизительно 1 см) и максимальное (приблизительно 1,3 см) и плановые координаты 1,2 и 6,4 см на геодезическую высоту.

**Ключевые слова:** ГНСС, онлайн-сервисы, AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS и TBC

**ANALYSIS AND EVALUATION OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM DATA PROCESSING USING ONLINE SERVICE AT THE SULTAN DAM PROJECT, GHAZNI REGION – AFGHANISTAN**

<sup>1,2</sup>Safari M.A., <sup>2</sup>Luong T.L., <sup>3</sup>Elshevy M.A.

<sup>1</sup>*Kabul Polytechnic University, Kabul, e-mail: safaryamin1361@gmail.com;*

<sup>2</sup>*State University of Land Use Planning, Moscow;*

<sup>3</sup>*Al-Azhar University, Cairo*

The result of geodetic work to determine the position of an object using global navigation satellite systems (GNSS) are its coordinates in the geocentric coordinate system and heights relative to the Earth ellipsoid. However, for most geodetic work, you need to know the heights of points relative to the accepted level surface. The accuracy of the data depends on the type of measurement, data processing and the skill of the specialists. Currently, in the Afghanistan, to the engineering projects have many problems due to the lack of government geodetic network and insufficient of specialists. To solve this problem, the article provides analysis and evaluation of GNSS data processing using online services. Thus, the main purpose of this article is to compare and evaluate the accuracy of processing the grid and high-altitude coordinates of BM1, using online services and Trimble Business Center (TBC) program. This study sets out the provisions for determining the coordinates of the BM1, carried out by the online GNSS processing service (Australian Online GPS Processing Service AUSPOS), the Canadian online post-processing site (Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning CSRS-PPP), the Online Positioning User Service OPUS, and comparing the accuracy of obtaining the coordinates of the BM1 in different ways. The results of TBC software processing and Internet services show the minimum value for the error of these points (approximately 1 cm) and the maximum (approximately 1.3 cm) in the grid coordinates, 1.2 and 6.4 cm in the elevations.

**Keywords:** GNSS, online-services, AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS & TBC

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) обеспечивает самостоятельное геопространственное определение местоположения с глобальным охватом. Наиболее известной и широко используемой системой ГНСС является Глобаль-

ная система позиционирования NAVSTAR (GPS) США.

Российские системы ГЛОНАСС постоянно модернизируются при помощи новых и усовершенствованных спутников, предоставляющих новые сигналы, новые часто-

ты и новые функциональные возможности. Кроме того, в настоящее время разрабатываются многие другие системы ГНСС и дополнения, такие как спутниковая система Европейского союза GALILEO, японская спутниковая система Quasi-Zenith, индийская региональная навигационная спутниковая система (IRNSS) или спутниковая система Компаса Китая.

Поскольку GPS обеспечивает высокоточное позиционирование экономически эффективным образом, оно нашло применение во многих промышленных областях, заменив в большинстве случаев традиционные методы, например коммунальные службы, аэрофотосъемка, мониторинг структурных деформаций и гражданское строительство.

С 1994 г. Международная служба ГНСС (International GNSS Service IGS) предоставляет научному сообществу точную орбитальную продукцию GPS с повышенной точностью и своевременностью [1].

IGS – это добровольная федерация, объединяющая более 200 агентств во всем мире, которые объединяют ресурсы и данные станций GPS и ГЛОНАСС для создания точных продуктов GPS и ГЛОНАСС. IGS стремится предоставлять данные и продукцию самого высокого качества в качестве стандарта для ГНСС в поддержку научных исследований Земли, междисциплинарного применения и образования.

В настоящее время IGS включает GPS, ГЛОНАСС и другие спутниковые навигационные системы с постоянно работающими базовыми станциями, расположенными по всему миру [2].

Развитие современных технологий спутникового позиционирования поставило задачу модернизации высотно-координатной основы. Для этого в первую очередь необходимо решить задачу определения высокоточной модели квазигеоида. В последние годы наметилась тенденция использования данных современных планетарных моделей гравитационного поля Земли для построения цифровой модели геоида и замены дорогостоящего классического геометрического нивелирования спутниковым ГНСС-нивелированием. Точность определения высот геоида над общеземным эллипсоидом WGS84 по этим моделям для данной территории определяется типом, подробностью и точностью данных, которые были использованы при расчете данной модели [3].

Было проведено множество исследований по оценке точности данных ГНСС; продолжительность наблюдения является критическим фактором при определении базовой длины [4]. Предлагаемое время может быть сокращено за счет увеличения количества спутников слежения с использованием дифференциально-статической техники [5].

При наблюдении базовых линий протяженностью до 5,0 км с использованием измерений фазы, несущей L1 точность будет составлять 0,5–2 см для прошедшего времени 20 мин, 40 мин и 60 мин [6]. Время сеанса в качестве направляющих должно составлять около 10 минут + 1 мин/км для одночастотных приемников [7].

На сегодняшний день на рынке существует несколько бесплатных онлайн-сервисов постобработки, которые имеют свои особенности при использовании и отличаются точностью определения конечных координат. Таким образом, актуальным является выбор наиболее точного и оптимального онлайн-сервиса для постобработки GNSS-данных [1].

В связи с вышесказанным задачами данного исследования являются анализ и оценка обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов с использованием Программного обеспечения ТВС и онлайн-службы AUSPOS, CSRS-PPP и OPUS для исследуемой территории, которая расположена на территории Афганистана в области Газни, плотины Султана.

В Афганистане в настоящее время инженерные геодезические проекты имеют множество проблем из-за отсутствия государственной сети и нехватки специалистов для обработки полевых данных ГНСС. Для решения данной проблемы в статье предусмотрен анализ и оценка обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов. Таким образом, основной целью данной статьи является сравнение и оценка точности обработки плановой и высотных координат пункта на территории плотины Султана, область Газни, Афганистан, с использованием онлайн-сервисов и программы ТВС, выбор наиболее точного и оптимального онлайн-сервиса для постобработки ГНСС-данных.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследуемая территория включает в себя территории плотины Султана в провинции Газни Афганистана (N33°45'24" и E68°22'47"), на рис. 1 показано место исследования.

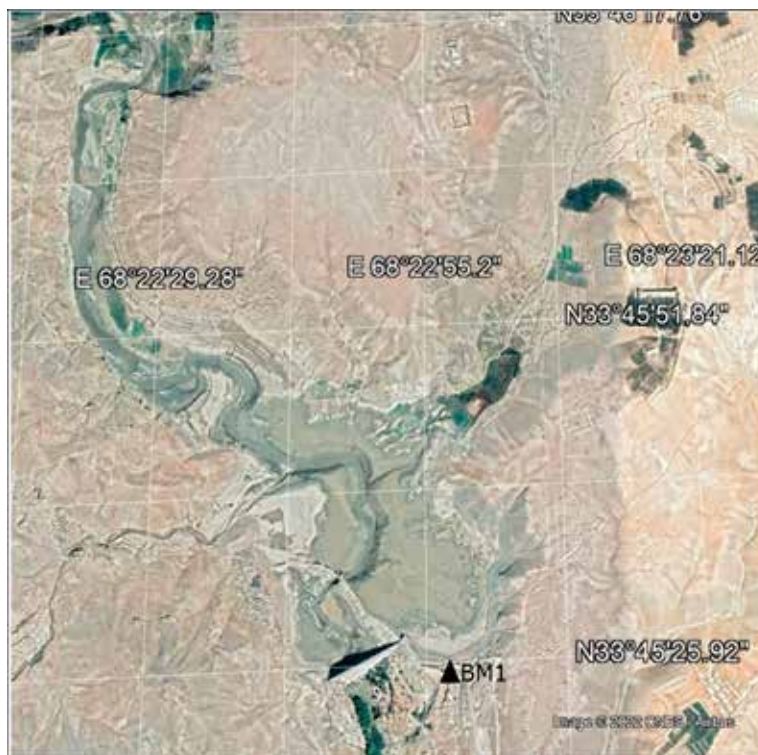


Рис. 1. Плотина Султана в провинции Газни Афганистана

Доступный ГНСС-приемник Leica, Дифференциальный ГНСС-1200 (двухчастотный) используется для сбора GPS-наблюдений. AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS и TBC используются для обработки всех ГНСС-данных.

Определение координат точки BM1, которая наблюдалась в течение 9 ч на 21.01.2021. службой обработки онлайн ГНСС AUSPOS (версия: AUSPOS 2.4), канадским онлайн-сайтом постобработки CSRS-PPP, пользовательским Сервисом онлайн-позиционирования OPUS и TBC программ.

**AUSPOS:** Онлайн-служба обработки ГНСС (AUSPOS) Geo-science Australia (ранее Австралийская геодезическая и земельная информационная группа (AUSLIG)) была официально запущена в конце 2000 г. и с тех пор непрерывно обрабатывает геодезические данные для двухчастотных приемников ГНСС, расположенных в любой точке Земли. AUSPOS был разработан и эксплуатировался для следующих целей и задач:

- его можно легко использовать с интерфейсом веб-страницы;
- возможность обработки двухчастотных геодезических данных ГНСС;
- данные загружаются в веб-браузер либо напрямую, либо через ftp.

При обработке данных используются самые высокие стандарты качества, сервис доступен пользователям в течение всего дня, быстрая обработка, < 15 мин/файл, результаты, полученные по ftp-серверу или электронной почте, доступны в любой точке мира; и GDA94, совместим для австралийских пользователей, ITRF в других регионах мира.

AUSPOST использовал метод дифференциального GPS-позиционирования, основанный на ближайших трех или более станциях Международной службы ГНСС (IGS), и использует информацию о точной орбите IGS. AUSPOST, разработанный для удобства использования в различных приложениях, включает в себя:

- позиционирование опорной станции ДГНСС;
- позиционирование на очень длинной базовой линии;
- дистанционное позиционирование станции ГНСС;
- подключение ГНСС к станциям IGS;
- высокоточное позиционирование [8].

**CSRS Precise Point Positioning (CSRS-PPP)** – это оценочная услуга, которую предлагает Министерство природных ресурсов Канады (Natural Resources Canada NRCAN).

Представленный онлайн-сервис для пользователей ГНСС в Канаде (и за рубежом) может достигать точного позиционирования, отправляя ГНСС-наблюдения с одного приемника через интернет. Результирующая точность сравнима с ГНСС с разностью фаз без необходимости доступа или обработки данных, собранных одновременно на базовой станции, или для обеспечения правильной привязки координат базовой станции. CSRS-PPP может обрабатывать GPS-наблюдения с одно- или двухчастотных ГНСС-приемников, работающих в статическом или кинематическом режиме [2].

В зависимости от пользовательского оборудования динамика приемника и продолжительность сеанса наблюдения этого приложения может улучшить результаты определения местоположения в 2–100 раз по сравнению с неоткорректированным позиционированием точки с использованием широковегательных ГНСС-орбит. Этот уровень улучшения часто может быть достигнут при снижении затрат и повышении операционной эффективности за счет устранения необходимости для пользователей ГНСС получать данные от базовых станций. Ключом к этому подходу PPP является использование точных данных ГНСС-орбиты и часов, созданных в результате международного сотрудничества, которые обычно в 100 раз лучше, чем те, которые содержатся в широковегательном навигационном сообщении ГНСС [9].

**Online Positioning User Service (OPUS)** – это интернет-сервис оценки данных, основанный Американским национальным управлением океанических и атмосферных исследований. Файл данных, используемый в сервисе Opus, должен содержать данные продолжительностью не менее 2 ч, записанных стационарной антенной. С другой стороны, данные, собранные одночастотным приемником, не обрабатываются Opus, а данные, собранные двухчастотными приемниками на 1, 2, 3, 5, 10, 15 и 30 интервалов, оцениваются. Сервис предлагает различные методы оценки, такие как статические и быстрые статические, в зависимости от типа сбора данных. В статическом методе длина файла данных должна составлять от 2 ч до 48 ч, в то время как данные от 15 мин до 2 ч оцениваются в быстром статическом методе. В отчете, вдобавок к значениям геоцентрических координат точки, также содержится такая информация, как используемое программное

обеспечение, время остановки и окончания файла данных, тип и высота антенны, имя файла [10].

**Программное обеспечение Trimble Business Center (TBC).** Это офисный программный пакет Trimble Business Center, который имеет высокую степень автоматизации и предназначен для обработки и управления данными оптических, ГНСС и фотограмметрических измерений. Уникальные возможности TBC, такие как обработка ГНСС или фотограмметрических измерений, позволяют геодезистам немедленно начать обработку полевых данных после окончания съемки. Также можно быстро внести изменения в проектную документацию и передать полевой бригаде данные для разбивки.

Для контроля качества результатов наблюдений TBC имеет средства, позволяющие обеспечить качественный и надежный результат и быстро выявить некачественные измерения. Программа TBC создает отчеты в формате HTML, который легко открывается в текстовых редакторах и браузерах [11].

В этом исследовании для анализа и оценки обработки данных GNSS с использованием онлайн-сервисов были реализованы следующие шаги:

- Установлены и закреплены точки BM1 на местности плотина Султана, Афганистан (рис. 1).
- Наблюдения данных BM1 в течение 9 ч с помощью двухчастотного ГНСС-приемника Leica-1200.
- Загружены исходные данные на компьютер и конвертированы в RINEX.
- Обработаны данные ГНСС с помощью программы TBC и переданы RINEX данные в онлайн-службу для обработки.
- Получены результаты обработки от онлайн-сервисов и TBC.
- И наконец по следующему уравнению оценена точность результатов онлайн-процесса с помощью программы TBC

$$\begin{cases} \Delta X = X_{TBC} - X_{OP} \\ \Delta Y = Y_{TBC} - Y_{OP} \\ \Delta h = h_{TBC} - h_{OP} \end{cases}$$

где  $X_{TBC}, Y_{TBC}, h_{TBC}$  – скорректированная трехмерная координата BM1 с помощью TBC,

$X_{OP}, Y_{OP}, h_{OP}$  – скорректированная трехмерная координата BM1 с помощью онлайн-процесса. Представленные выше этапы четко показаны на рис. 2.



Рис. 2. Методика исследования

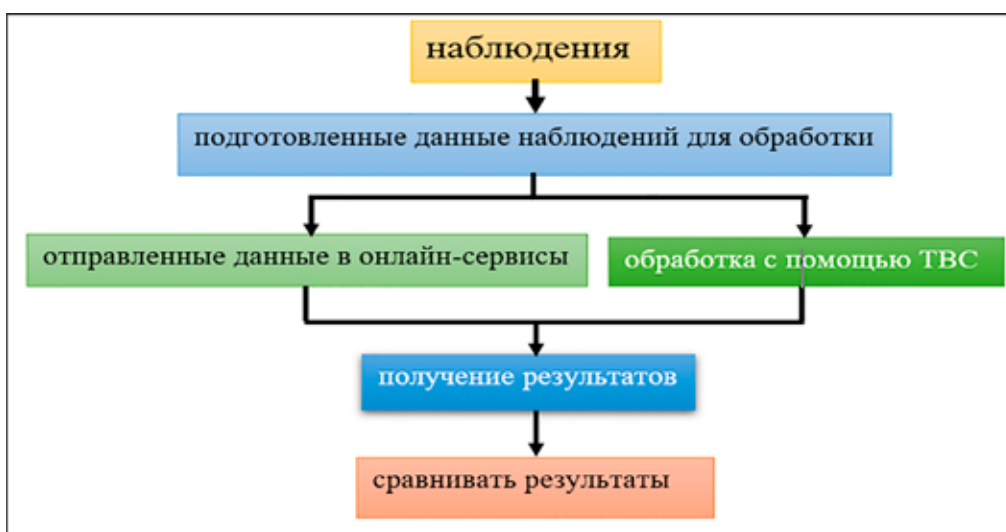


Рис. 3. Использование глобальных опорных станций

### Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с приведенными выше объяснениями можно сделать вывод, что каждый из сервисов имеет свои особенности. В свою очередь, большинство сервисов, например AUSPOS, CSRS-PPP, и OPUS,

работает с IGS-данными, что позволяет использовать при обработке точные данные орбит и часов [1].

В рамках данного исследования для выполнения постобработки исходными данными являются GNSS измерения за BM1GNSS-сутки десять постоянно действующих базовых станций (БС) в фор-

мате ITRF. На рис. 3 показано использование глобальных опорных станций для обработки ВМ1.

Для выбора наиболее точного сервиса постобработки необходимо проанализировать значение средней квадратической погрешности (СКП) определения координат БС. В качестве положения БС было принято положение ВМ1 в результате обработки 9-часовых ГНСС-данных с помощью сервисов AUSPOS, CSRS-PPP, OPUS и TBC. Результаты математической обработки представлены в табл. 1.

Эти координаты были преобразованы в координаты проекции (Universal Transverse Mercator UTM), в 6-градусной системе центральный меридиан зоны был

принят за 69°, и его различия были рассчитаны для всей системы результатов обработки СКП и UTM координат можно увидеть в табл. 2.

Как видно выше, результаты 9-часовых данных RINEX, которые были оценены во всех четырех системах, похожи друг на друга. Разница значений всех координат составляет около сантиметра. Это значит, что результаты не имеют существенной разницы для координат, полученных из 9-часовых данных, независимо от того, какая система используется.

Разницу в UTM-координатах точки ВМ1 между онлайн-процессом и программой TBC можно наглядно увидеть в табл. 3.

Таблица 1

Результаты математической обработки геодезических координат ВМ1

Сервис	Широта	Долгота	Ортометрическая высота (m)
AUSPOS	33° 45' 25.04508"	68° 22' 54.94285"	2379.839
CSRS-PPP	33° 45' 25.04494"	68° 22' 54.94278"	
OPUS	33° 45' 25.04498"	68° 22' 54.94314"	
TBC	33°45'25.04533"	68°22'54.94298"	2378.960

Таблица 2

Полученные значения средней квадратической погрешности по универсальным трансверсальным координатам Меркатора ВМ1

Сервис	X (m)	СКП по X (мм)	Y (m)	СКП по Y (мм)	h (m)	СКП по h (мм)
AUSPOS	442759.973	8	3735379.940	6	2353.823	22
CSRS-PPP	442759.971	4	3735379.935	4	2353.460	19
OPUS	442757.903	6	3735379.466	6	2353.530	12
TBC	442759.976	9	3735379.947	13	2353.455	64

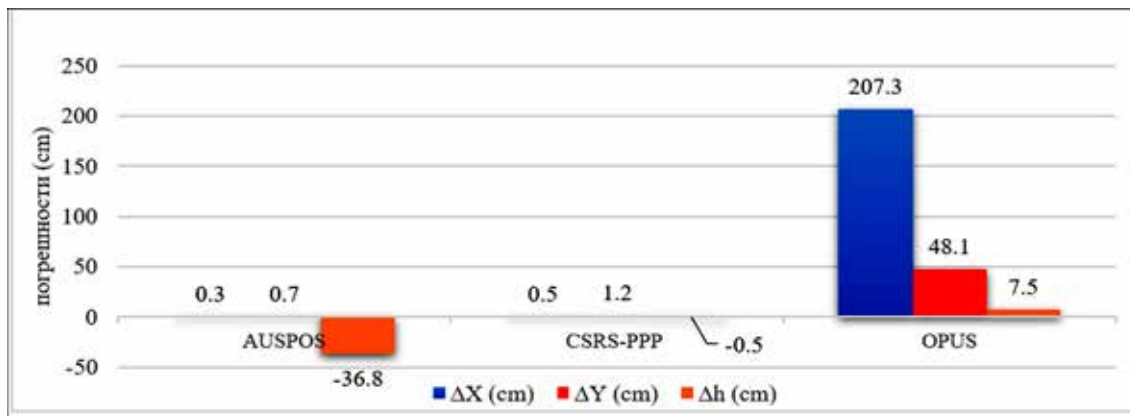


Рис. 4. Оценка точности трехмерной координаты ВМ1, результатов онлайн-процесса с использованием программы TBC

В этом приложении AUSPOS, CSRS-PPP и системы OPUS были оценены с помощью TBC. Как видно в табл. 3, рис. 4, AUSPOS и CSRS-PPP имеют более похожие результаты в плановой системе координат UTM, и OPUS дает неприемлемые результаты по отношению к другим. Обратное значение при сравнении погрешности высот, OPUS дают такую же хорошую точность, как AUSPOS и CSRS-PPP (рис. 4).

**Таблица 3**

Разница в универсальных трансверсальных координатах Меркатора точки BM1

	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta h$ (cm)
TBC-AUSPOS	0,3	0,7	-36,8
TBC-CSRS-PPP	0,5	1,2	-0,5
TBC-OPUS	207,3	48,1	-7,5

В результате можно сказать, что OPUS дает как непроверяемые результаты процесса, так и очень короткий отчет для обработки, CSRS-PPP являются точными и переменными, но также дают неполный отчет, и AUSPOS дают как переменные результаты обработки и полный отчет о том, что необходимо в геодезическом инженерном проекте.

### Заключение

Точность координаты, которую мы получили с помощью онлайн-сервиса на опорном пункте BM1, является ответом на геодезические задачи в большинстве инженерных проектов. В последние годы одной из интересных и сложных задач в области геодезических проектов является точное определение ортометрических высот по данным ГНСС-измерений. Таким образом, это исследование было осуществлено для анализа и оценки обработки данных ГНСС с использованием онлайн-сервисов на территории плотины Султана в провинции Газни Афганистана. В результате мы можем использовать BM1 как базовый контрольный пункт для создания геодезических опорных пунктов для выполнения геодезических работ, измерения геодезической высоты с точностью до 2 см, для построения локальной модели геоида.

Поскольку сегодня методы PPP приобретают все большее значение, начали широко использоваться услуги оценки при помощи интернет-сервисов. Наиболее

важным преимуществом этих систем является то, что результаты могут быть получены одним приемником. Это в значительной степени упрощает вычисления. С другой стороны, то, что услуги бесплатны и просты в использовании, дает преимущество с точки зрения затрат и рабочей силы. В этих системах предотвращаются ошибки, возникающие в результате действий пользователей без достаточных знаний, поскольку другое программное обеспечение требует специальных знаний и опыта в области ГНСС.

Интернет-сервисы автоматически выбирают станции рядом с областью приложения в процессе поступления заявки. Когда условия обеспечиваются одним приемником ГНСС с точки зрения достаточного количества спутников и периода наблюдения, точность достигается в сантиметрах. Эта система может быть эффективно использована при наличии национальной сети, состоящей из стационарных станций ГНСС-частот. Таким образом, можно сказать, что услуги оценки, основанные на интернет-сервисах, обеспечивают достаточную точность и обеспечивают больше преимуществ с точки зрения времени и затрат, чем классический метод для топографических инженерных приложений.

В результате данного исследования мы пришли к выводу, что система AUSPOS имеет следующие преимущества перед двумя другими системами:

- Используется больше CORS для обработки.
- Принимаются все файлы данных наблюдений, которые могут быть собраны статически или кинематически с интервалами в 1, 5, 10, 15 и 30 с.
- Дает полный отчет о том, что необходимо в геодезическом инженерном проекте.

### Список литературы

1. Богданец Е.С., Черёмухина О.О., Зырянов А.Р. Анализ точности онлайн-сервисов постобработки GNSS-данных // Технические науки – от теории к практике. 2017. № 1 (61). С. 5–11.
2. Терещенко В.Е., Лагутина Е.К. Сравнение относительных смещений пунктов сети ПДБС НСО, полученных с использованием различных онлайн-сервисов обработки спутниковых измерений // Вестник СГУГиТ. 2019. № 2. С. 76–95.
3. Сурнин Ю.В. Регулярный подход к оцениванию орбитальных, геодезических и геодинамических параметров по результатам спутниковых измерений // Вестник СГУГиТ. 2015. № 1 (29). С. 6–14.
4. Малютина К.И., Шевчук С.О. Сравнение бесплатной программы RTKLib с коммерческим программным обеспечением для постобработки ГНСС-измерений // Новосибирск: СГУГиТ. 2017. № 2. С. 113–125.

5. Kashani I., Wielgosz P., Grejner-Brzezinska D., Mader G.L. A new network-based rapid-static module for the NGS online positioning user service–OPUS-RS. NAVIGATION. Journal of the Institute of Navigation. 2008. Sep 1. No. 55 (3). P. 225–234.
6. Лагутина Е.К. Апробация методики включения сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области в государственную геодезическую сеть // Вестник СГУГиТ. 2016. № 3 (35). С. 35–40.
7. El-Shazly A., Abdel-Maguid R. Efficient GPS Relative Positioning Based on Optimum Time Window Determination CERM. Al-Azhar University magazine. 2004. No. 3. P. 1390–1399.
8. Minghai J., John D., Michael M. AUSPOS: Geoscience Australia's on-line GPS Positioning Service. Geoscience Australia, Canberra. [Электронный ресурс]. URL: Australia [https://www.researchgate.net/publication/288575085\\_AUSPOS\\_Geoscience\\_Australia's\\_online\\_GPS\\_positioning\\_service](https://www.researchgate.net/publication/288575085_AUSPOS_Geoscience_Australia's_online_GPS_positioning_service) (дата обращения: 24.05.2022).
9. Tariq M., Hadi A., Hafedh H. Accuracy assessment of different GNSS processing software. Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR). 2017. No. 3 (10). P. 469–478.
10. Reha M.A., Veli İ.Ç., Murat O.T. Web-based GNSS Data Processing Services as an Alternative to Conventional Processing Technique .Christchurch, New Zealand. 2016. Vol. 91. No. 6. P. 132–144.
11. Шевчук С.О., Косарев Н.С., Антонович К.М. Сравнение коммерческих программ постобработки измерений ГНСС в режиме кинематики для геодезического обеспечения аэрогеофизических работ // Вестник СГУГиТ. 2016. № 3 (35). С. 79–102.