

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

Кафедра космической и физической
геодезии

Выпускная квалификационная работа
соответствует установленным требованиям
и направляется в ГЭК для защиты

Заведующий кафедрой _____ И. Г. Ганагина

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Программа магистратуры
21.04.03 – Геодезия и дистанционное зондирование

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
СТАЦИОНАРНЫХ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ

Выпускник _____ А. В. Давыдов

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент

_____ Е. Г. Гиенко

Нормоконтролер _____ И. Г. Ганагина

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой _____ И.Г.Ганагина

(подпись)

“ _____ ” _____ 2020г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Обучающемуся Давыдову Алексею Владимировичу

Группа ЗМГ Институт дистанционного обучения

Направление подготовки 21.04.03 – Геодезия и дистанционное зондирование
(код, наименование)

Тема ВКР Совершенствование методики геодезического мониторинга стационарных морских платформ

Руководитель Гиенко Елена Геннадьевна

Ученое звание, ученая степень руководителя доцент, к.т.н.

Место работы, должность руководителя ФГБОУ ВО «СГУГиТ», кафедра космической и физической геодезии, доцент

Срок сдачи полностью оформленного задания на кафедру 02.12.2019

Задание на ВКР (перечень рассматриваемых вопросов):

Обзор технологий геодезического мониторинга морских сооружений, изучение и анализ действующей методики предприятия, внесение предложений по усовершенствованию методики, проведение экспериментальной апробации предложений по усовершенствованию, формирование выводов.

Перечень графического материала с указанием основных чертежей и (или) иллюстративного материала (формат А1):

Исходные данные к ВКР (перечень основных материалов, собранных в период преддипломной практики или выданных руководителем)

Нормативная документация, результаты ГНСС-измерений, технические отчеты по производству мониторинга морских сооружений.

ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР

№ эт апа	Этапы ВКР	Срок исполне- ния
1	Начало выполнения ВКР	02.12.2019
2	Подбор литературы и исходных материалов	05.12.2019
3	Выполнение исследовательских, <u>экспериментальных, расчетных работ</u> (нужное подчеркнуть)	10.12.2019
4	Выполнение графических (иллюстративных) работ	
5	Текстовая часть ВКР (указать ориентировочные названия разделов и конкретные сроки их написания)	
5. 1	Обзор технологий геодезического мониторинга морских стационарных платформ	16.12.2019
5. 2	Геодезический мониторинг морских нефтяных платформ на шельфе о.Сахалин	22.12.2019
5. 3	Экспериментальная апробация усовершенствованной методики	31.12.2019
6	Первый просмотр руководителем	06.01.2020
7	Второй просмотр руководителем	20.01.2020
8	Срок сдачи ВКР на кафедру	24.01.2020

“ ___ ” _____ 20__ г.

Руководитель _____ /Гиенко Е.Г.
(подпись)

Задание принял к исполнению и с графиком согласен _____
(подпись обучающегося)

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа содержит описание усовершенствованной методики геодезического мониторинга морских стационарных сооружений. Выполнен обзор современных технологий геодезического мониторинга нефтяных платформ, проведен анализ действующей методики мониторинга на шельфе Охотского моря, внесены предложения по усовершенствованию действующей методики, приведены результаты эксперимента по оценке возможности обработки измерений относительно сети станций IGS с помощью сервиса AUSPOS, сделаны выводы о применимости предложений по усовершенствованию.

ANNOTATION

The final qualifying work contains a description of an improved methodology for geodetic monitoring of offshore fixed assets. A review of modern technologies for geodetic monitoring of oil platforms is carried out, an analysis of the current monitoring technique on the shelf of sea of Okhotsk , suggestions to improve the current methodology were made, the results of an experiment to evaluate the possibility of processing measurements from IGS station network using the AUSPOS service and conclusions on the applicability of the improvement suggestions are presented.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ	10
1.1 Основные понятия геодезического мониторинга	10
1.2 Современные технологии геодезического мониторинга	12
1.2.1 ГНСС технологии	12
1.2.2 Линейно-угловые методы	13
1.2.3 Нивелирование	14
1.2.4 Анализ состояния вопроса применения ГНСС технологий в геодезическом мониторинге	15
1.2.5 Источники ошибок ГНСС на морских платформах	18
1.2.6 Международная ГНСС служба (служба IGS)	21
1.2.7 Общие сведения о координатных системах отсчета	23
1.2.8 Литосферное строение региона и сейсмоактивность	26
2 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МОРСКИХ НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМ НА ШЕЛЬФЕ О.САХАЛИН	28
2.1 Описание объекта исследования	28
2.2 Сведения о применяемой методике геодезического мониторинга	29
2.2.1 Общие положения методики	29
2.2.2 Применяемое оборудование и требования к персоналу	30
2.2.4 Алгоритм сбора геодезических данных	31
2.2.5 Этапы обработки геодезических измерений	34
2.2.6 Анализ существующей методики мониторинга с использованием ГНСС	34
2.2.7 Анализ результатов обработки ГНСС-измерений, выполненных по существующей методике	37
2.3 Предложения по усовершенствованию методики	38
2.3.1 Использование сети IGS в качестве исходной сети пунктов	38
2.3.2 Применение онлайн сервисов обработки данных	39
2.3.3 Оптимизация сбора данных и схемы деформационных марок	39
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ	43
3.1 План экспериментальных исследований	43
3.2 Описание выполненных экспериментальных исследований	43
3.3 Выводы по результатам экспериментального исследования	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А (Справочное) КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТАХ МОНИТОРИНГА	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Справочное) ОБЗОРНАЯ СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА	60
ПРИЛОЖЕНИЕ В (Справочное) ФОТОГРАФИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ МАРОК	61

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (Справочное) ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.1 (Обязательное) ОТЧЕТ ПО ОБРАБОТКЕ БАЗОВЫХ ЛИНИЙ	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.2 (Обязательное) КОНТРОЛЬ ЗАМЫКАНИЯ ПОЛИГОНОВ	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.3 (Обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ УРАВНИВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ. ВАРИАНТ 1. .	67
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.4 (Обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ УРАВНИВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ. ВАРИАНТ 2. .	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Е (Обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ТРЕХ ЦИКЛОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА 2016-2018 ГГ.	71
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж (Справочное) КОПИЯ ОТЧЕТА AUSPOS ПО ОБРАБОТКЕ ЦИКЛА ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ ЗА 2018 ГОД	76

ВВЕДЕНИЕ

Данная выпускная квалификационная работа является результатом исследования по разработке усовершенствованной методики геодезического мониторинга местоположения стационарных морских платформ, проводимого с помощью измерений методами глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

Актуальность темы заключается в том, что контроль стабильности потенциально опасных объектов и прогнозирование их поведения являются очень важной задачей. Существует большое количество уже построенных стратегически важных объектов, таких как плотины, дамбы, ГЭС, АЭС, телевизионные вышки, старение конструкций которых требует особого внимания. Одним из эффективных методов обеспечения сохранности исторических памятников, строений, уникальных сооружений, стратегически важных объектов и потенциально опасных объектов является контроль местоположения, проводимый с помощью геодезических измерений, либо геодезического мониторинга.

Кроме того, на перечисленные выше объекты могут оказывать влияние такие природные явления как движения земной коры, оползни, вулканы, землетрясения. Данные явления также нуждаются в изучении и разработке методов прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций. Мониторинг состояния природных объектов и искусственных сооружений в наши дни является необходимостью и неотъемлемой частью системы обеспечения безопасности.

Новизна исследования состоит в том, что добыча углеводородов на шельфе морей в Российской Федерации ведется сравнительно недавно, а потенциально опасные объекты нефтегазовой промышленности требуют особого внимания с точки зрения сохранения целостности и стабильности, чтобы обеспечить не только надежное функционирование производства и безопасность работников стационарных морских платформ, но и с целью не навредить уязвимой морской среде обитания, не допустить аварий, разрушения объектов. Кроме того, контроль положения подобных объектов является частью обязательных требований Ростехнадзора РФ – Федеральной службы по экологическому, технологическому и

атомному надзору.

В процессе трудовой профессиональной деятельности на предприятии «Сахалин Энерджи» была изучена действующая методика геодезического мониторинга морских стационарных платформ. В то же время специалистами сектора наземных изысканий рассматривается возможность усовершенствования данной методики с целью сокращения экономических и трудовых затрат без ухудшения точности получаемых результатов. Дополнительно рассматриваются вопросы организации системы автоматизированного геодезического мониторинга для этих объектов.

Целью научного исследования является усовершенствование методики геодезического мониторинга местоположения стационарных морских платформ, проводимого с помощью измерений методами ГНСС.

Поставленные задачи:

- обзор существующих технологий геодезического мониторинга нефтяных платформ;
- анализ технологии геодезического мониторинга нефтяной платформы на шельфе о.Сахалин;
- внесение предложений по усовершенствованию существующей методики;
- экспериментальные исследования;
- анализ результатов экспериментов и формирование рекомендаций по методике геодезического мониторинга.

Объектом исследования является геодезический мониторинг морских стационарных платформ. Предметом исследования является методика проведения геодезического мониторинга методами ГНСС на нефтегазодобывающей платформе «Пильтун-Астохская-Б», эксплуатируемой на шельфе Охотского моря в Сахалинской области Российской Федерации.

Научная новизна исследования заключается в получении научно обоснованных достоверных данных, подтверждающих преимущества усовершенствованной методики.

Практическая значимость работы заключается в сокращении экономических

и трудозатрат на проведение мониторинга, в возможности применения усовершенствованной методики для интерпретации результатов исследования перемещения и осадки шельфовых сооружений в научных исследованиях смежных дисциплин – геофизики, геодинамики, геотехники и океанологии.

Данное научное исследование также имеет свою практическую значимость для геодезии и дистанционного зондирования, как средство применения геодезических технологий, дающее стабильное и точное решение в вопросах контроля местоположения объектов.

Достоверность исследований подтверждена многочисленными разнообразными экспериментами, выполняемыми на реальных объектах с реальными геодезическими и ГНСС-измерениями. Результаты исследований докладывались на двух научных конференциях. По материалам исследования опубликованы две статьи.

1 ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

1.1 Основные понятия геодезического мониторинга

Вопросы методики определения деформаций оснований зданий и сооружений на территории Российской Федерации регламентирует Межгосударственный стандарт ГОСТ 24846-2012 [12].

Определение деформаций грунта оснований фундаментов и сооружений проводятся в целях:

- определения относительных и абсолютных значений деформаций;
- определения причин деформаций и степени их опасности;
- принятия своевременных мер по устранению критических значений деформаций;
- получения характеристик устойчивости оснований и фундаментов.

Мониторинг проводится в течение периода строительства и в период последующей эксплуатации объекта до достижения стабилизации деформаций, в соответствии с расчетами, устанавливаемыми проектной или эксплуатирующей организацией. В то же время, рассматривая уникальный или особо опасные производственные объекты, периодичность эксплуатации может быть назначена на весь срок эксплуатации сооружения.

В процессе мониторинга деформаций определяются следующие величины:

- вертикальные перемещения (осадки, просадки, подъемы, прогибы);
- горизонтальные перемещения (сдвиги);
- наклоны (крены).

Геодезический мониторинг деформаций сооружений является важной частью градостроительной деятельности и эксплуатации опасных промышленных сооружений.

Согласно [12] мониторинг деформации стационарных морских платформ включает в себя следующие этапы:

- разработка программы мониторинга;
- создание исходной геодезической сети высотной и плановой основы;
- определение плановых координат и высот пунктов исходной геодезической сети в нулевой цикл и контроль стабильности положения исходной сети при последующих циклах измерений;
- выбор конструкции и установка деформационных марок на объекте исследования;
- инструментальные определения координат и высот пунктов в нулевой цикл наблюдений и последующие циклы измерений;
- обработка измерений, определение вертикальных и горизонтальных перемещений, наклонов и анализ результатов.

Обзор нормативной документации, регламентирующей вопросы геодезического мониторинга морских стационарных платформ представлен ниже:

Государственные стандарты РФ [16,17,19] регламентируют общие требования к морским платформам для нефтегазодобычи, общие принципы проектирования и оценки состояния морских платформ, подверженных воздействию известных или предполагаемых нагрузок., устанавливают основные требования по обитаемости на морских сооружениях для освоения нефтегазовых месторождений, к числу которых относятся морские платформы – морские стационарные платформы, плавучие буровые установки, морские плавучие нефтегазодобывающие комплексы.

Свод правил [33] распространяется на проектирование морских стационарных платформ (в том числе ледостойких), устанавливаемых на континентальном шельфе, в территориальном море и внутренних морских водах Российской Федерации для нового строительства.

Методики выполнения топографо-геодезических работ, топографо-геодезические работы на шельфе, методы измерения деформаций оснований и сооружений, геодезические приборы и геодезические измерения регламентированы в [8, 10, 20, 26, 32].

Правила по технике безопасности при выполнении топографо-геодезических

работ описаны в [28].

В изученном списке нормативной документации подробно описаны и регламентированы глобальные спутниковые навигационные системы, методы и способы контроля деформаций, технологий слежения за осадками и перемещениями, аппаратура пользователей, используемые системы координат, а также специфика требований по обеспечению безопасных условий работы на стационарных морских объектах нефтегазовой промышленности.

1.2 Современные технологии геодезического мониторинга

1.2.1 ГНСС технологии

Стремительное развитие глобальных навигационных спутниковых систем за последние десятилетия, повышение точности измерений, развитие сетей постояннодействующих базовых станций, удешевление измерительной аппаратуры повлекло за собой массовое использование ГНСС технологий при проведении геодезического мониторинга.

Определение перемещений стационарных морских сооружений, удаленных от побережья на километры, на сантиметровом уровне возможно лишь при использовании ГНСС технологий.

Спутниковые измерения могут проводиться в относительном и дифференциальном методах наблюдений. Наибольшей точностью обладает относительный метод. Важно соблюдение условия беспрепятственного распространения спутникового сигнала, что является важной задачей при выборе мест закрепления деформационным марок на морской платформе ввиду высокой плотности расположенных конструкций, среди которых могут быть буровые мачты, операционные модули, вертолетная площадка или факельные мачты.

При проведении геодезического мониторинга с применением ГНСС-технологий могут выполняться:

- периодические циклы измерений;

– постоянные наблюдения.

Производство периодических наблюдений дает возможность определения величин смещения между циклами наблюдений. Преимущества данного решения в экономической выгоде, однако трудно определить момент перемещения, так как определяется только величина перемещений, зафиксированная между циклами наблюдений.

Постоянные наблюдения на деформационных марках предоставляют возможности определения момента перемещений и скорость изменения, что является значительным преимуществом при проведении геодезического мониторинга. В то же время, внедрение постоянной системы ГНСС мониторинга на промышленных объектах зачастую является трудноосуществимой задачей со стороны экономической целесообразности и наличия коммуникационной инфраструктуры для реализации удаленного управления системой мониторинга и сбора данных для последующей обработки.

В данной работе методика геодезического мониторинга основывается на применении ГНСС технологии в комбинации с традиционными методами геодезических измерений – линейно-угловыми и нивелированием.

1.2.2 Линейно-угловые методы

Среди линейно-угловых методов измерения, применимых для геодезического мониторинга морских стационарных сооружений, следует выделить:

- способ полярных координат;
- способ прямой линейно-угловой засечки;
- способ обратной линейно-угловой засечки;
- проложение теодолитного хода.

Перечисленные методы подразумевают использование электронных тахеометров. Методика линейно-угловых измерений актуальна для измерений координат и высот деформационных марок непосредственно на объекте мониторинга и способна предоставлять точные результаты, однако не применима для связи с ис-

ходной сетью пунктов.

Сложностями при проведении линейно-угловых измерений на морских платформах являются ограничения в видимости. В то же время, доступность методики позволяет применять линейно-угловые измерения для определения положения марок, на которых не проводятся ГНСС измерения, и использовать эти значения в качестве контрольных при проведении уравнивания геодезических измерений.

1.2.3 Нивелирование

1.2.3.1 Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование зачастую применяется в качестве основного метода при проведении измерений вертикальных перемещений. Однако в рамках мониторинга стационарных морских платформ данная технология актуальна только для локальных измерений внутри объекта исследования, либо для контроля исходной сети. Рассматривать применение геометрического нивелирования для связи исходной сети пунктов и деформационных марок не приходится ввиду невозможности применения способа работы в акваториях морей.

Для определения локальных превышений между деформационными марками геометрическое нивелирование является одним из наиболее точных и производительных методов с широким применением в геодезическом мониторинге зданий и сооружений.

1.2.3.2 Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование актуально в применении при высоких перепадах высот на объекте наблюдений. Это весомое преимущество данной технологии, так как многоуровневые сооружения платформ и частое отсутствие прямой видимости затрудняют применение геометрического нивелирования при определении вертикальных перемещений деформационных марок.

Тригонометрическое нивелирование предоставляет возможности получения величин вертикальных и горизонтальных перемещений деформационных марок с высокой точностью, при условии качественного выполнения измерений расстоя-

ний и вертикальных углов с помощью современных электронных тахеометров.

Данная технология должна рассматриваться как обязательная часть при проведении геодезического мониторинга морских платформ с целью проведения дополнительного контроля ГНСС измерений, либо в качестве одного из этапов работы при комбинировании методов в рамках одной программы.

1.2.3.1 Гидростатическое нивелирование

Применение гидростатического нивелирования также актуально лишь для локальных измерений вертикальных перемещений деформационных марок.

Реализация данной технологии возможна в виде стационарной или временной гидростатической системы при условии, что проведение измерений не должно проводиться в период динамических нагрузок и иных воздействий.

Гидростатическое нивелирование оправдано при затрудненных условиях для проведения измерений другими способами нивелирования и для получения высокоточных величин вертикальных перемещений.

Внедрение данной технологии для мониторинга стационарных морских сооружений возможно, однако несет в себе высокие экономические затраты, а также сопровождается сложностями в обслуживании системы.

1.2.4 Анализ состояния вопроса применения ГНСС технологий в геодезическом мониторинге

Сфера применения ГНСС технологий в геодезическом мониторинге достаточно разнообразна. Ниже перечислены основные направления применения систем геодезического мониторинга, с которых следует начать литературный обзор:

- наблюдения за деформациями уникальных объектов, например гидротехническими сооружениями, плотинами, мостами, морскими платформами и др.;
- наблюдение за движением земной поверхности вблизи стратегических объектов;
- наблюдения за сейсмически опасными зонами.

Близкой по теме и применению спутникового мониторинга является публи-

кация «Спутниковый мониторинг деформаций морской ледостойкой стационарной платформы» автора Горбунова О.Н.[9], в которой описаны основные результаты разработки и внедрения системы спутникового мониторинга деформаций с помощью сервиса LeicaCrossCheck относительно постоянно действующих базовых станций IGS на примере морской стационарной платформы ЛСП-1 в Каспийском море.

В статье [23] анализируется явление осадки как ключевого негативно-го фактора в условиях строительства на неустойчивом грунте, а также применение стандартных способов оценки и измерений осадки зданий и сооружений на суше, осложняющихся в условиях морского строительства.

Результаты математического моделирования процессов деформирования горного массива и земной поверхности при добыче нефти на месторождении им. Ю. Корчагина освещены в статье [24], где также определен основной принцип построения системы геодезического мониторинга с использованием ГНСС-технологий и даны результаты выполнения первой серии наблюдений.

В статье [25] предложена организация системы геодинамического мониторинга на морском нефтегазоконденсатном месторождении с применением новейших технологий и традиционных методов наблюдений. Рассмотрены методы мониторинга деформаций и осадок морской буровой платформы, оборудование и их область применения.

В публикации [6] описана методика проведения геодезического обеспечения эксплуатации причального сооружения на о. Сахалин, содержание которой полезно для оценки проведения экспериментального исследования в аналогичных метеорологических и физико-географических условиях.

Весомый практический интерес представляют результаты исследования по автоматизации процедуры мониторинга планового положения строительных конструкций, описанной в статье [5].

Одним из возможных направлений исследования является изучение методики, концепция которой заключается в мониторинге деформаций методом кинематики в режиме реального времени (RTK) с использованием ГНСС. В статье [22]

представлены результаты мониторинга деформации набережной в Гонконге, которые демонстрируют эффективность службы ГНСС сети в режиме реального времени с использованием одночастотных приемников ГНСС в регионе, где влияние ионосферной рефракции является значительным и непредсказуемым.

Важной частью исследования является оценка возможности определения координат опорных точек относительной станций IGS в системе ITRF. Статья [34] о возможности применения системы координат ITRF для геодезического обеспечения Новосибирской области является одной из публикаций по оценке применения системы ITRF для решения геодезических задач.

В то же время, необходимо подробно изучить характер движения литосферных плит, и оценку его влияния на результаты мониторинга. В статье [4] дано краткое описание математических моделей расчета пространственного положения точки земной поверхности с учетом движения литосферных плит. Приведены результаты эксперимента по вычислению координат наземной точки радиочастотных наблюдений спутников систем глобальной спутниковой навигации на заданную эпоху двумя способами. Исследования основываются на данных измерений GNSS-приемников постоянно действующих базовых станций, которые находятся на Евразийской литосферной плите в границах РФ. Определены погрешности вычислений по моделям и сделан вывод о возможности применения рассмотренных способов для обновления координат геодезического пункта без проведения повторных ГНСС-наблюдений на нем.

Помимо статей и публикаций изучены монографии и научные труды по вопросам использования ГНСС технологий и разработки методик усовершенствованных измерений [1-2, 4, 27, 29, 31].

Обзор публикаций по теме спутникового мониторинга стационарных объектов показал невысокую степень освещенности и применения в практическом исполнении систем геодезического мониторинга на морских объектах. Подробное исследование данной темы среди российских источников освещено лишь в двух публикациях, что подтверждает актуальность вопроса геодезического мониторинга морских платформ и необходимости более подробного исследования вопроса.

1.2.5 Источники ошибок ГНСС на морских платформах

Среди наиболее важных источников погрешностей следует выделить задержку сигнала при прохождении тропосферы, а также влияние многопутности и шумов, принимаемых спутниковым приемником во время измерений.

Тропосферная задержка возникает из-за рефракции радиоволн в нейтральной атмосфере, что приводит к их торможению и преломлению. Величина тропосферной задержки не зависит от частоты, она одинакова как для кодовых, так и для фазовых измерений. Тропосферную задержку T представляют в виде двух компонент: гидростатического T_h (или сухого компонента) и влажного компонента T_w :

$$T = T_h + T_w. \quad (1)$$

Значение гидростатической составляющей для зенитного направления $T_{h,z}$ составляет на уровне моря около 2.1 м и зависит только от давления, а величина влажной зенитной составляющей $T_{w,z}$ может колебаться от нескольких сантиметров примерно до 40 сантиметров и зависит от температуры и, главным образом, от влажности.

Тропосферная задержка зависит от профиля плотности воздуха вдоль пути сигнала. Два приемника, участвующие при относительных измерениях и разнесенные на несколько километров, могут находиться в различных погодных условиях. Содержание паров воды показывает значительную пространственную и временную изменчивость. Остаточная ошибка после введения дифференциальной поправки обычно больше для спутников на малых высотах над горизонтом. При расстояниях между приемниками 10 км остаточная ошибка может быть 0.1-0.2 м. Для больших расстояний или при значительной разности высот нужно отдавать предпочтение разделённому введению поправок за тропосферу на опорном и пользовательском приемнике. Для низких спутников остаточная ошибка может быть 2-7 мм на каждый метр в разности высот.

Погрешности, вызванные многопутностью и шумами, являются некоррели-

рованными между опорным и мобильным приемниками и не могут исправляться в относительном методе. Пользователь будет получать эти ошибки, введенные на опорной станции, и поэтому важно их уменьшать путем тщательного выбора и установки оборудования и на опорной станции, и на пользовательской станции.

Многопутность, или переотражение спутникового сигнала, возникает во время приема антенной одновременно прямого сигнала спутника и сигнала, отраженного от окружающих ее поверхностей, как, например, показано на рисунке 1. Сильное отражение вызывают стены и крыши зданий, водная и снежная поверхность, листья деревьев. Искаженное многопутностью расстояние оказывается длиннее неискаженного. Многопутность для псевдодальности определяется тактовой частотой дальномерных кодов и является функцией их длины. Тактовая частота кодов устанавливает естественный предел для максимальной многопутности. Чем выше тактовая частота, тем меньше максимальная ошибка. В соответствии с этим общим правилом, ожидаемая многопутность Р-кодовых псевдодальностей (частота 10.23 МГц) меньше, чем для С/А-кодовых псевдодальностей (частота 1.023 МГц). Теоретическое максимальное смещение из-за многопутности в псевдодальности может доходить до половины длины чипа, то есть 150 м для С/А кода и 15 м для Р-кода. Типичные ошибки обычно меньше 10 м. Влияние многопутности на фазу несущей не превышает примерно $\frac{1}{4}$ от длины волны. Влияние многопутности изменяется по синусоидальному закону и обычно усредняется за период от нескольких минут до четверти часа или больше.

Поскольку геометрия между спутниками GPS и специфическим положением приемника повторяется каждые звездные сутки, многопутность оказывается одной и той же в последующие дни. Это повторение может быть полезным для того, чтобы убедиться в присутствии многопутности, анализируя наблюдения разных дней. Для определения или предсказания влияния многопутности на позиционное решение не существует общей математической модели, однако ее влияние на расстояния можно измерить по комбинации фазовых данных фазы несущей для L1 и L2 и кодовых псевдодальностей.

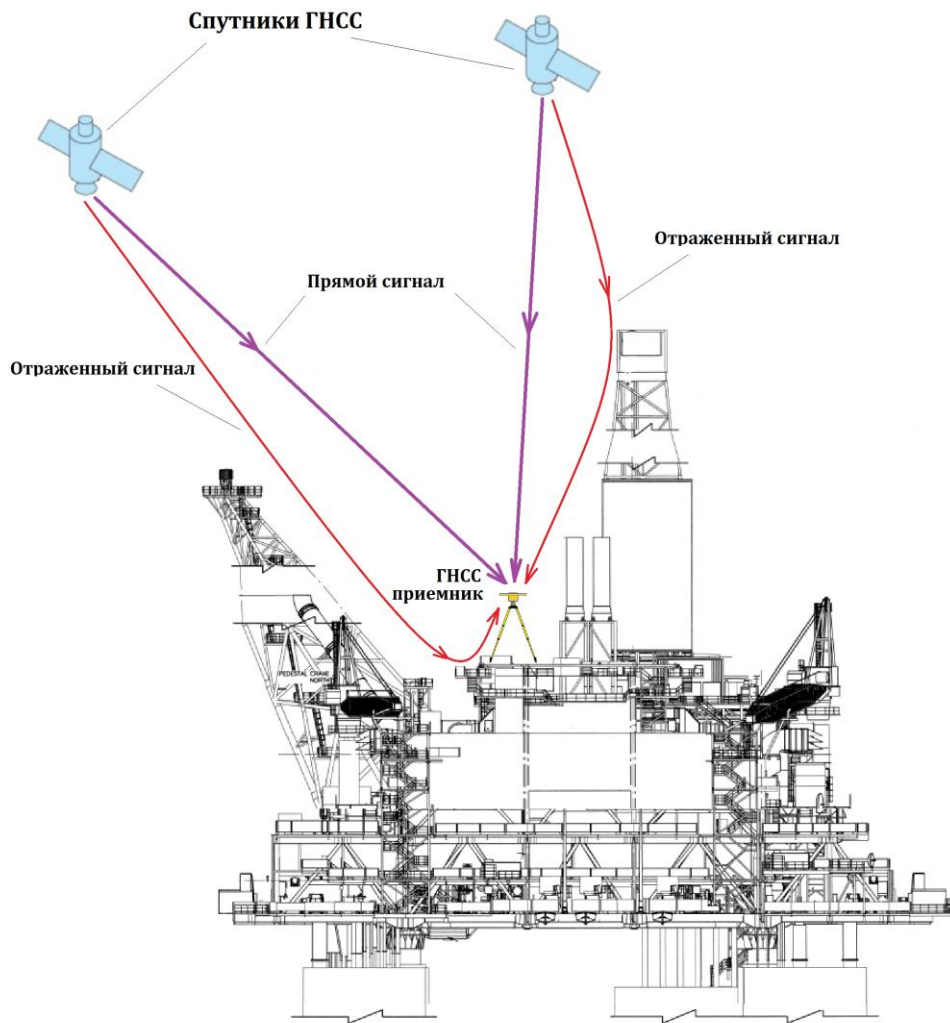


Рисунок 1 – Явление многопутности сигналов ГНСС на платформе

Сильно отражающие поверхности изменяют правостороннюю круговую поляризацию сигналов на левостороннюю. Антенны, которые запроектированы для сигналов с правосторонней поляризацией, будут ослаблять сигналы с противоположной поляризацией. Примером таких антенн являются антенны с заглушающими кольцами choke-ring.

Наблюдатель может повлиять на качество измерений, выбирая места для установки приемника вдали от неблагоприятного окружения. Другой способ уменьшения влияния многопутности – удаление из обработки спутников с большим уровнем шума из-за многопутности, обычно на углах высоты менее 15° [1, 8].

1.2.6 Международная ГНСС служба (служба IGS)

Международная служба ГНСС (далее служба IGS) предоставляет в открытом доступе данные, продукты и услуги ГНСС самого высокого качества в поддержку наземной системы отсчета, наблюдения и исследования Земли; позиционирование, навигация и синхронизация; и другие приложения, которые приносят пользу науке и обществу.

Международная служба ГНСС обеспечивает открытый доступ, высококачественные продукты данных ГНСС с 1994 года. Эти продукты обеспечивают доступ к окончательной глобальной эталонной системе для научных, образовательных и коммерческих приложений - огромное преимущество для общественности и ключевая поддержка элемент для научных достижений.

Добровольная федерация из более чем 200 хозрасчетных агентств, университетов и исследовательских учреждений в более чем 100 странах; работать вместе, чтобы обеспечить высокую точность спутниковых орбит GPS в мире. На рисунке 2 представлена организационная структуры службы IGS.

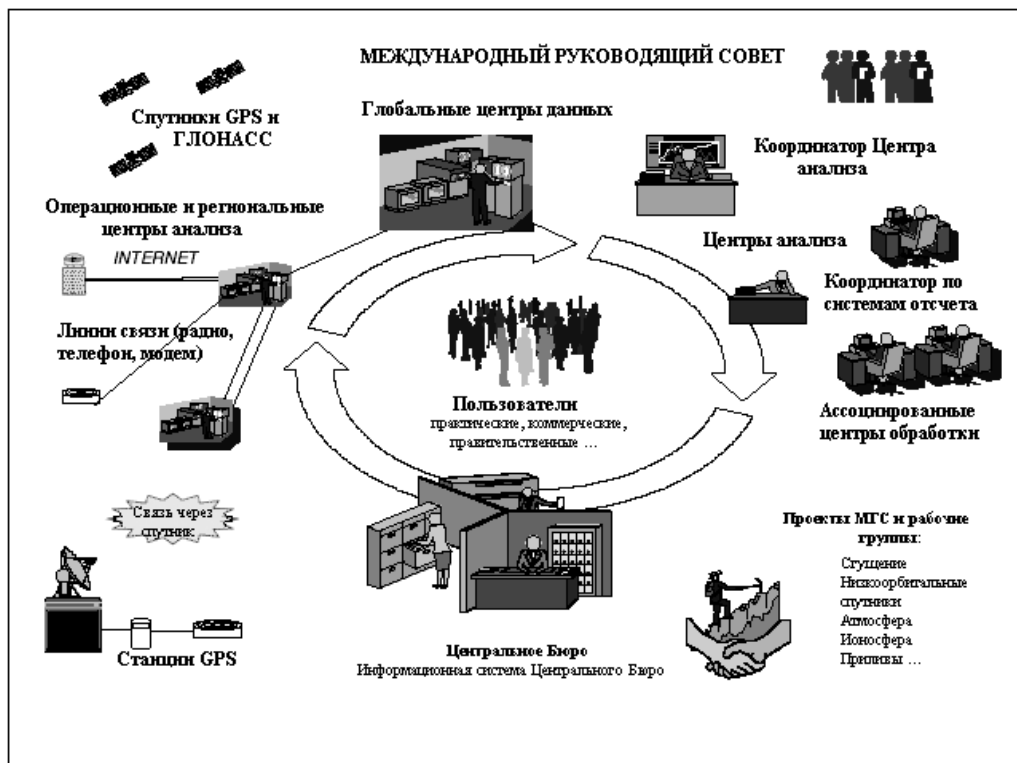


Рисунок 2 – Организация Международной ГНСС службы

Основой службы IGS является глобальная сеть из более чем 400 постоянных, постоянно работающих станций, отслеживающих глобальные навигационные системы GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, QZSS и SBAS. Глобальная сеть станций постоянно действующих станций IGS представлена на рисунке 3.

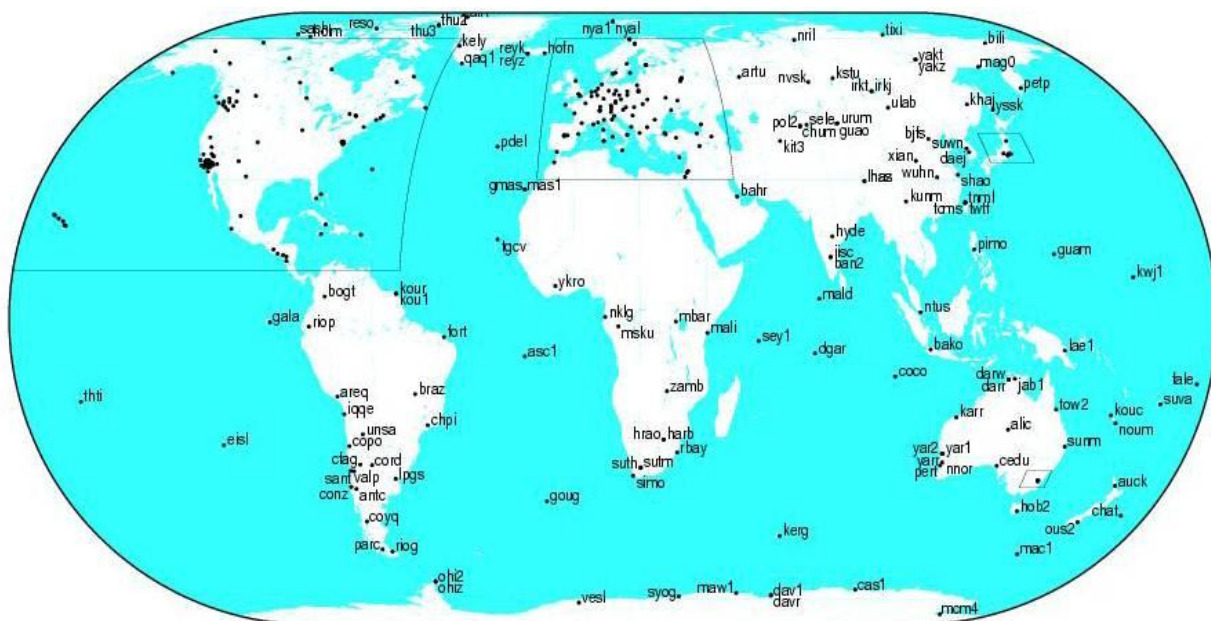


Рисунок 3 – Глобальная сеть станций службы IGS

Наблюдения на станциях IGS выполняются двухчастотными фазовыми приемниками с регистрацией P(Y)-кодовых псевдодальностей с интервалом 30 с. Сжатые и заархивированные результаты измерений хранятся в RINEX-формате.

Основными задачами Международной ГНСС службы являются:

- обеспечение свободного и открытого доступа к высокоточным продуктам, доступным для научного прогресса и общественного блага. Эти продукты поддерживают широкий спектр приложений, которые затрагивают миллионы пользователей практически во всех сегментах мировой экономики;

- производство продуктов, которые поддерживают реализацию Международной наземной системы отсчета, обеспечивая при этом доступ к данным отслеживания с более чем 400 опорных станций по всему миру;

- работать над непрерывной разработкой новых приложений и продуктов через рабочие группы и пилотные проекты;

- поддержка геодезических исследований и научных публикаций.

Продуктами службы IGS являются:

- спутниковые эфемериды ГНСС;
- параметры вращения Земли;
- координаты и скорости станций IGS;
- зенитные оценки задержки тропосферного пути;
- глобальные карты ионосферы.

1.2.7 Общие сведения о координатных системах отсчета

В процессе навигационных измерений происходит передача координат от станций слежения наземного сегмента (или подсистемы контроля и управления) через спутники ГНСС к пользователям. В основе этого процесса лежит орбитальный метод космической геодезии [23]. Поэтому в качестве координатной основы для решения задач навигации используются геоцентрические общеземные (глобальные) системы отсчета.

Положения станций слежения ГНСС задаются с помощью координатной системы отсчета (reference system), под которой понимается система координат, связанная с Землей исходной геодезической датой. Системой координат или координатной системой (coordinate system) называют набор математических правил, описывающих, как координаты должны быть соотнесены с точками пространства, то есть это чисто математическое, абстрактное понятие. В описании системы координат указывается положение начала, основные плоскости или отсчетная поверхность, направления координатных осей. Для решения задач навигации используются прямоугольные и геодезические системы координат, как показано на рисунке 4.

В космической навигации по системам ГЛОНАСС, GPS применяются следующие трёхмерные координатные системы отсчета:

- Параметры Земли ПЗ-90 (Россия);
- Мировая геодезическая система отсчета 1984 г. WGS-84 (США);

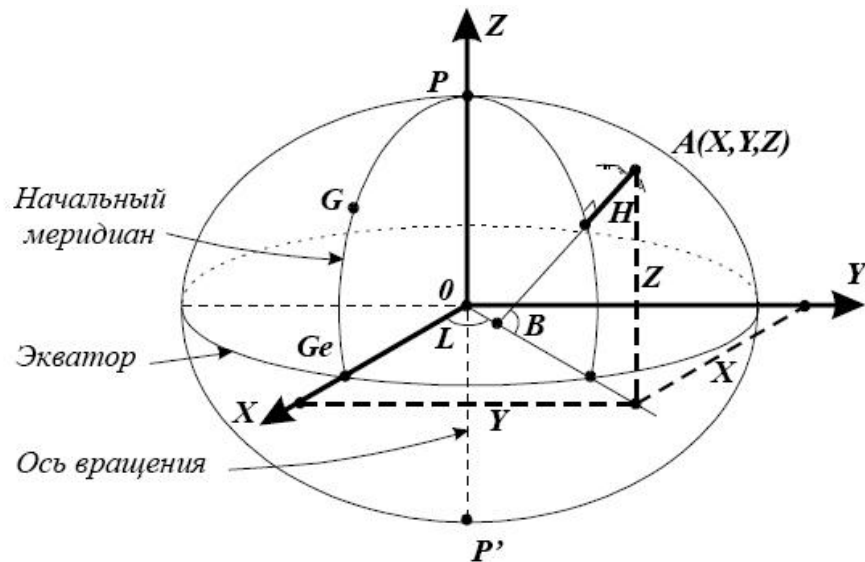


Рисунок 4 – Прямоугольная (X, Y, Z) и геодезическая (B, L, H) системы координат

– Международная земная система отсчета ITRS (Международная служба вращения Земли и систем отсчета, МСВЗ).

Первые две из этих систем отсчета используются для передачи положений в навигационных сообщениях соответственно для систем ГЛОНАСС и GPS, третья система используется для обработки глобальной сети МСВЗ, решения задач глобальной геодинамики и вычисления и представления точных эфемерид.

Из составных систем отсчета отметим систему плоских координат в проекции Меркатора, очень близкую к проекции Гаусса-Крюгера, которые обычно объединяются с вертикальной системой отсчета, например, Балтийской системой нормальных высот.

При установлении систем координат ПЗ-90, WGS-84 и ITRS использовались одни и те же теоретические положения. Однако при практической реализации этих положений между указанными системами координат обнаруживаются небольшие расхождения, которые могут быть объяснены различием в составе и объеме использованной измерительной информации и методическими особенностями.

Физическая реализация координатной системы отсчета производится через геодезическую отсчетную основу (reference frame), которая представляет собой

совокупность геодезических пунктов (или иных объектов – носителей координат) и соответствующих значений координат. В настоящее время практически все координатные системы отсчета имеют по несколько реализаций отсчетных основ, относящихся к разным эпохам, отличающихся количеством пунктов и точностью взаимных положений.

Переход из одной координатной системы отсчета в другую систему отсчета, основанную на других геодезических датах, выполняется с помощью операции трансформирования координат. При этом могут использоваться параметры, определенные опытным путем по наборам координат пунктов, общих для обеих координатных систем отсчета.

Международная земная система отсчета (International Terrestrial Reference System, ITRS) была принята Международным Астрономическим Союзом (МАС) в 1991 г. Началом отсчета является центр масс Земли (геоцентр), включая океан и атмосферу. Система не является инерциальной, она вращается вместе с Землей. В прямоугольной системе координат ось Z является средней осью вращения Земли и направлена в опорный полюс МСВЗ (IRP, IERS Reference Pole). Ось X лежит в плоскости опорного меридиана МСВЗ (IERS Reference Meridian, IRM). Ось Y дополняет систему до правой. Единицей длины является метр в системе SI, шкалой времени – шкала TCG (Geocentric Coordinate Time – геоцентрическое координатное время). Ориентация осей определяется из наблюдений, выполняемых МСВЗ, она согласуется с параметрами ориентирования Земли (Earth Orientation Parameters, EOP) на соответствующую эпоху. Для этого используются наблюдения спутников ГНСС, радио интерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ), лазерная локация спутников Земли и Луны, и доплеровская орбитографическая система DORIS, при этом каждая из систем вносит определённый вклад в её построение. Например, начало земной системы отсчёта определено по лазерным наблюдениям искусственных спутников Земли, масштаб – по РСДБ и лазерным наблюдениям, ориентация – по совокупности данных всех измерений.

Ориентировка осей ITRS изменяется со временем, она имеет нулевые величины остаточного вращения в плоскости горизонта станций по отношению к зем-

ной коре. Достигается это посредством учёта движения тектонических плит и ряда других геофизических явлений.

ITRS представляет собой набор договоренностей и основополагающих принципов построения земных систем отсчёта.

Международная земная отсчетная основа (International Terrestrial Reference Frame, ITRF) является реализацией земной системы координат ITRS с помощью декартовых координат ряда опорных пунктов на Земле. В ITRF для опорных пунктов приводятся их прямоугольные координаты (X , Y , Z) и скорости по соответствующим координатным осям V_x , V_y , V_z .

Перечень пунктов обновляется каждые несколько лет. К 2019 году создано 13 версий ITRF, начиная с ITRF88 и заканчивая ITRF2014, каждая из них заменяла своего предшественника [6]. Сеть станций ITRF постоянно улучшается со временем из-за увеличения числа пунктов, а также их распределения на земном шаре. К примеру, ITRF88 насчитывала около 100 пунктов, сеть ITRF2008, содержит 580 пунктов, среди которых на 105 пунктах располагаются по несколько инструментов, в число которых входят радиоинтерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ), дальнометры для лазерной локации спутников Земли и Луны, приемники сигналов ГНСС, а также радиомаяки системы DORIS.

1.2.8 Литосферное строение региона и сейсмоактивность

Исследуемый регион – Сахалинская область – расположен в зоне с высокой сейсмической активностью, на границе Тихоокеанской и Евразийской тектонических плит. На рисунке 5 приведена карта скоростей горизонтальных смещений в модели ITRF2014, с границами литосферных плит.

Землетрясения магнитудой в 3-4 балла фиксируются на территории Сахалинской области регулярно. Наиболее разрушительное землетрясение за историю наблюдений магнитудой в 7.6 балла произошло в 1995 г. в поселке Нефтегорск, полностью разрушив большинство строений и повлекшее гибель 2040 человек.

Принимая наличие высокого риска землетрясений, проведение геодезическо-

го мониторинга стационарных платформ является важной задачей по своевременному фиксированию деформаций, перемещений или крена морских сооружений.

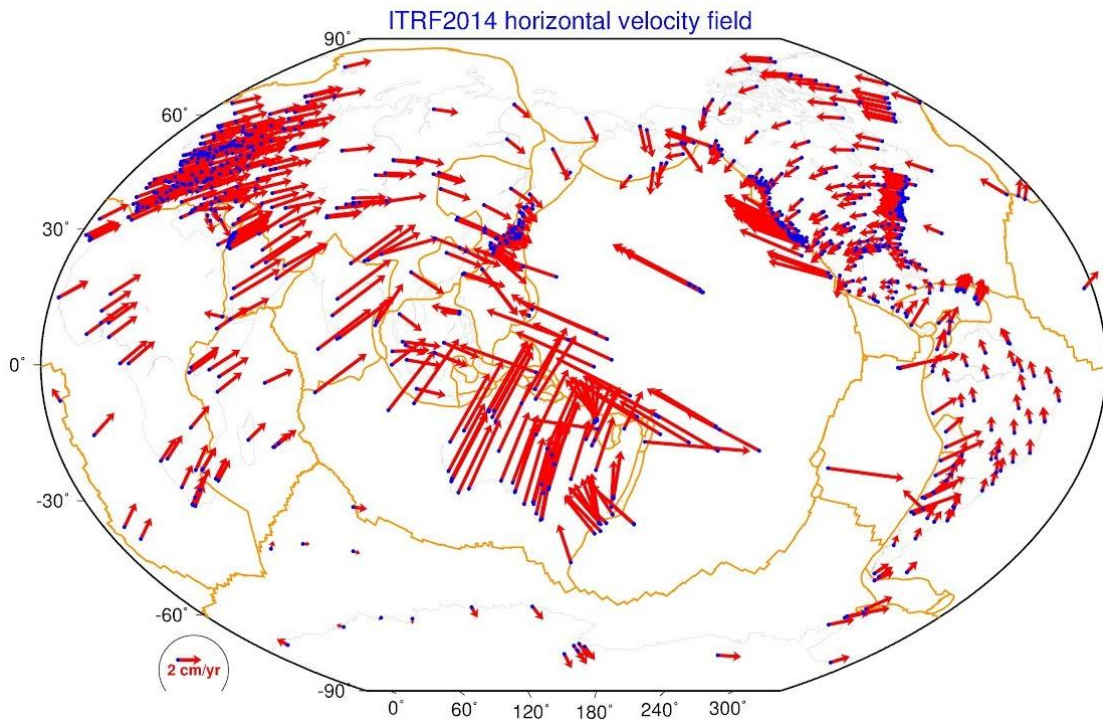


Рисунок 5 – Карта горизонтальных скоростей пунктов IGS, <http://itrf.ign.fr/>

2 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МОРСКИХ НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМ НА ШЕЛЬФЕ О.САХАЛИН

2.1 Описание объекта исследования

Объектом для наблюдений выбрана морская стационарная нефтегазодобывающая платформа «Пильтун-Астохская-Б», эксплуатируемая на шельфе Охотского моря в Сахалинской области Российской Федерации. Оператором данной платформы является компания «Сахалин Энерджи», ведущая деятельность по добыче, переработке, транспортировке и последующей реализации углеводородов.

«Сахалин Энерджи» ведет добычу на трех стационарных морских платформах, установленных на морском шельфе в 15-20 км от линии побережья северной части острова Сахалин. Обзорная схема расположения объектов представлена в Приложении 1.

Платформа «Пильтун-Астохская-Б» - представляет собой сооружение, состоящее из двух крупных модулей: гравитационное основание и верхней части платформы. Фото объекта исследования представлено на рисунке 6.

Гравитационное основание опирается на грунт морского шельфа на глубинах 25 метров от среднего уровня моря. Основание выполнено в виде монолитной железобетонной площадки размерами 80 на 80 метров высотой 10 метров с возвышающимися вверх из четырьмя опорами высотой 35 метров, на которые опирается верхняя часть платформы.

Верхняя часть платформы – конструкция, выполненная из стального каркаса габаритными размерами приблизительно 60 метров в ширину, 100 метров в длину и высотой основной части около 30 метров, содержащей 8 уровней-палуб.

Краткие сведения и технические характеристики платформы приведены в приложении А.



Рисунок 6 – Нефтегазодобывающая платформа Пильтун-Астохская-Б

2.2 Сведения о применяемой методике геодезического мониторинга

2.2.1 Общие положения методики

Предприятие, эксплуатирующее морские нефтегазодобывающие платформы, ставит перед собой цель в безопасной и эффективной эксплуатации опасного производственного объекта. Одной из задач по достижению этой цели является выполнение обязательства по проведению регулярного геодезического мониторинга морских сооружений.

Данные о положении и деформациях морских сооружений, получаемая по результатам геодезического мониторинга платформ, являются важной информацией для последующего анализа и выводах о состоянии сооружения, рекомендаций для последующей эксплуатации.

Обязательства по выполнению геодезического мониторинга также прописа-

ны в ежегодных планах маркшейдерско-геодезических работ по эксплуатации горных отводов, утверждаемых Ростехнадзором.

Действующая методика проведения геодезического мониторинга применима для четырех морских объектов предприятия, среди которых три морские стационарные платформы и одно выносное причальное устройство для отгрузки сырой нефти. Перечисленные морские объекты являются стационарными, установленными на дне шельфовой зоны и имеют удаленность от прибрежной линии 15-20 километров для морских нефтегазодобывающих платформ и 4 километра для выносного причального устройства.

В основе процесса проведения геодезического мониторинга стационарных морских сооружений служит применение определения положения деформационных марок с помощью технологии ГНСС.

2.2.2 Применяемое оборудование и требования к персоналу

Проведение геодезического мониторинга морских сооружений предполагает использование следующего оборудования:

- семь двухчастотных ГНСС-приемников;
- тахеометр;
- портативный компьютер с предустановленным программным обеспечением;
- штативы, трегеры, кабели связи, аккумуляторные батареи, зарядные устройства и другое вспомогательное оборудование.

Все оборудование должно быть сертифицировано и иметь акты проверок. Технические характеристики оборудования представлены в приложении Б.

Для выполнения работ на морской платформе требуется привлечение как минимум двух геодезистов. Важным требованием является допуск по состоянию здоровья, а также успешное прохождение курсов по покиданию затонувшего вертолета и выживанию в холодной воде.

Персоналу, задействованному для работ в прибрежной зоне, требуется до-

пуск по состоянию здоровья для работ в полевых условиях.

2.2.4 Алгоритм сбора геодезических данных

Мониторинг морских сооружений состоит из контроля стабильности исходной геодезической основы и определения положения деформационных марок относительно исходной основы.

В процессе проведения геодезического мониторинга одновременно участвуют 7 спутниковых приемников: 4 приемника устанавливаются на опорных точках платформ и 3 на базовых береговых пунктах.

Проведение контроля исходной сети пунктов в прибрежной зоне включается в себя следующие этапы:

- доставка персонала и оборудования к месту проведения работы;
- прохождение инструктажа по охране труда;
- рекогносцировка, проверка и оценка состояния пунктов исходной сети;
- производство спутниковых наблюдений на пунктах исходной сети не менее 24 часов с интервалом записи 15 секунд;
- проведение измерений базовых линий между пунктами исходной сети и деформационными марками в течение 12 часов с интервалом записи в 15 секунд.

На рисунке 7 показана схема расположения пунктов исходной сети в прибрежной зоне.

В качестве пунктов исходной сети используются пункты полигонометрии 3 класса государственной геодезической сети.

Работы по определению положения деформационных марок на морской платформе включают в себя следующие этапы:

- доставка персонала с оборудованием посредством авиа или морского транспорта;
- проведение обязательного инструктажа по охране труда как обязательное требование для присутствия и проведения любых работ на опасном производственном объекте;

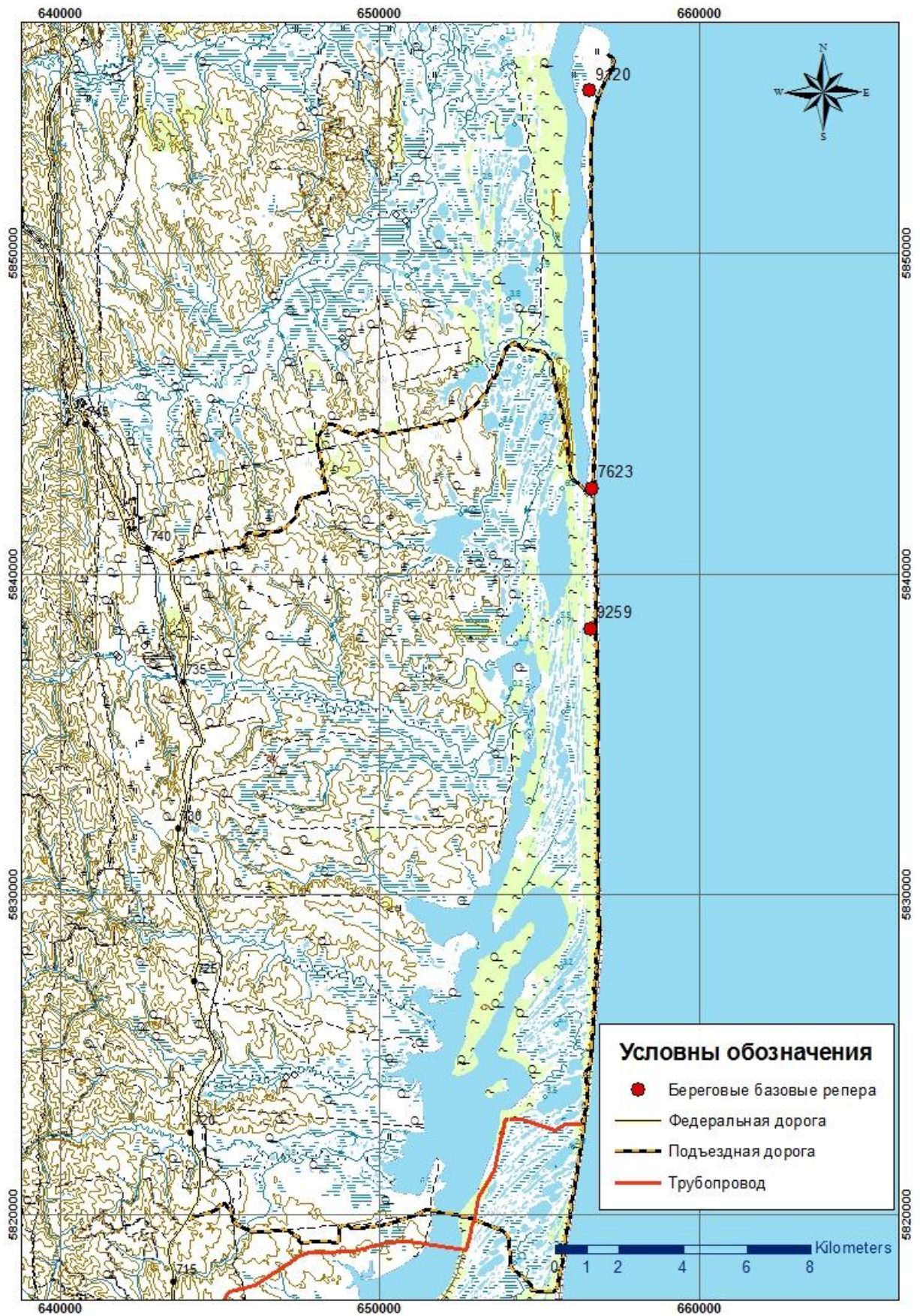


Рисунок 7 –Схема расположения пунктов исходной сети в прибрежной зоне

- получение допуска на выполнение работ в соответствии с планом производства работ;
- производится проверка взаимного положения опорных пунктов линейно-угловыми методами;
- выполнение рекогносцировки, проверки состояния опорных пунктов для установки антенн-приемников;
- запись спутниковых сигналов на антенны-приемники в течение 12 часов с интервалом записи сигнала в 15 секунд;
- проверка полевых измерений в программном обеспечении Trimble Business Center (ТВС).

Расположение деформационных марок на примере морской платформы «Пилтун-Астохская-Б» представлено на рисунке 8.

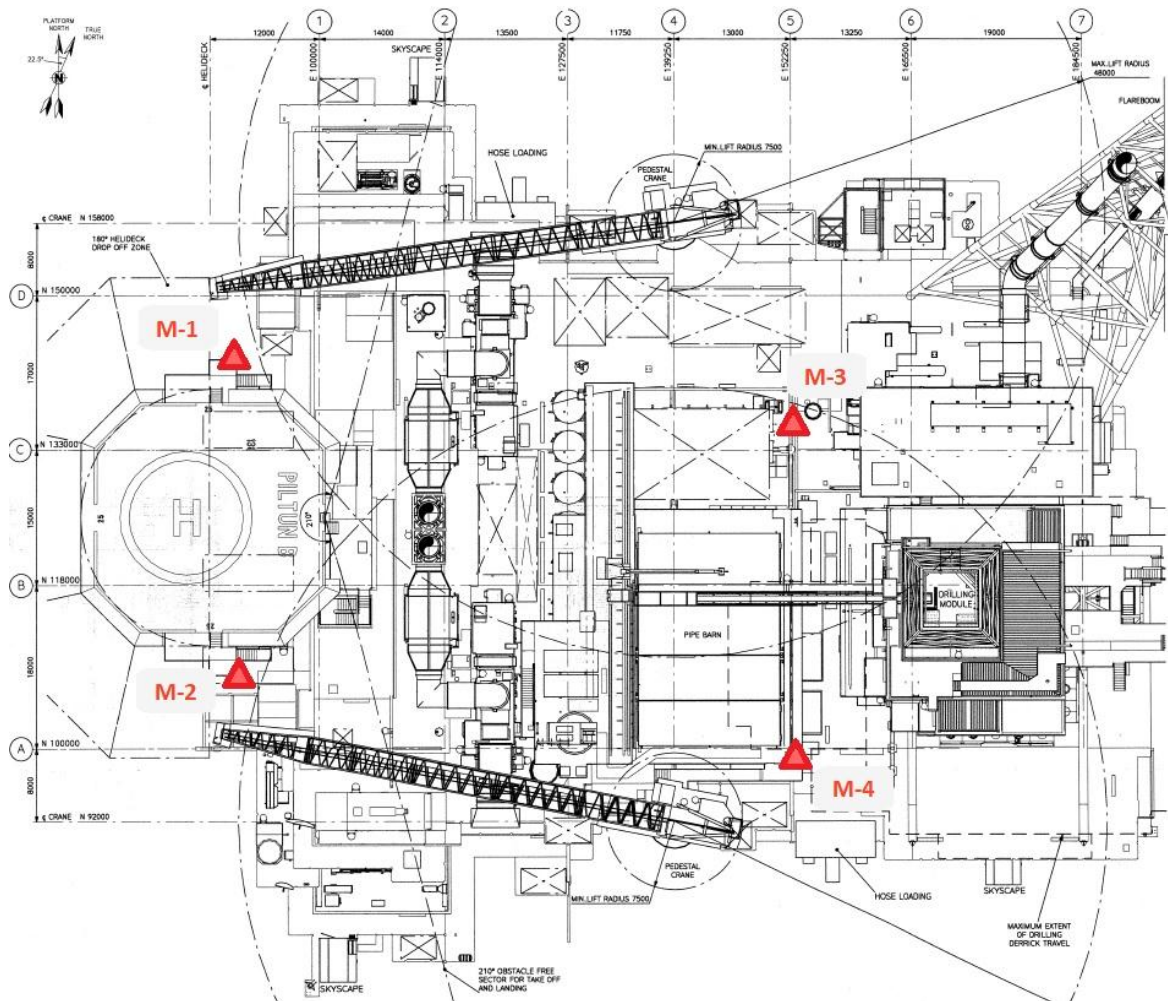


Рисунок 8 – Схема расположения деформационных марок на платформе ПА-Б

2.2.5 Этапы обработки геодезических измерений

Обработка данных геодезических измерений по действующей методике производится посредством использования программного обеспечения TGO Trimble Geomatics Office или Trimble Business Centre (TBC) и включает в себя следующие этапы:

- обработка базовых линий;
- уравнивание сети;
- оценка точности и контроль качества данных;
- импорт и экспорт измерений;
- перевычисление из различных систем координат;
- сбор и экспорт ГИС данных;
- трансформации систем координат;
- составление отчета по проекту;
- руководство проектом измерений.

После подтверждения стабильности положения исходной сети пунктов в прибрежной зоне определяется пункт, принимаемый за основной, относительно которого определяются координаты деформационных марок на объекте наблюдения.

Результаты каждого цикла наблюдения сравниваются с предыдущим и нулевым, в результате чего определяются значения вертикальных и горизонтальных смещений деформационных марок, установленных на объекте.

2.2.6 Анализ существующей методики мониторинга с использованием ГНСС

Практические результаты описанной выше методики контроля положения морских стационарных объектов удовлетворяют требованиям по задаче определения положения морских стационарных объектов. Стоит отметить ее достоинства:

- методика позволяет получать стабильные результаты, определяя координа-

ты марок с точностью не грубее 5 см в плане и по высоте, в зависимости от условий наблюдения на марке;

– наличие четырех деформационных марок на платформе позволяет отбраковать возможные грубые измерения на отдельной марке.

Тем не менее, существует ряд проблем методического и технического характера, более детальное изучение которых может улучшить действующую методику геодезического мониторинга.

Развитие постоянно действующих базовых станций позволяет задуматься об определении координат контрольных пунктов без синхронных измерений на пунктах исходной сети, установленных на побережье, что в свою очередь снизит затраты на проведение полевых работ на 40%.

Практические результаты показывают, что некоторые контрольные пункты, участвующие в ГНСС-измерениях, имеют нестабильные значения определяемых координат, ошибки которых, вероятно, вызваны близкорасположенными затеняющими конструкциями и сооружениями, ограничивающими распространение сигналов от спутников ГНСС. Актуальными задачами являются пересмотр схемы размещения пунктов, разработка критериев выбора месторасположения и способов закрепления.

Одним из недостатков действующей методики также является скорость получения результатов обработки. Развитие систем постоянного слежения и мониторинга позволяют практически реализовать постоянно действующую систему геодезического мониторинга на подобных объектах с возможностью удаленного сбора данных и обработки, а также с системой автоматизированного анализа и оповещения при фиксировании критических значений изменения положения контрольных пунктов.

Достоинства действующей методики геодезического мониторинга позволяют решать задачу определения местоположения контрольных марок с высокой точностью и невысокими трудозатратами. Тем не менее, постоянное стремление к увеличению эффективности производства, заключающееся в снижении затрат и повышении качества выполняемых работ, оставляет открытым вопрос об усовер-

шенствовании данной методики проведения геодезического мониторинга платформ с целью повышения оперативности получения данных, точности измерений, качества данных и снижения экономических затрат.

Можно обозначить также следующие особенности действующей методики геодезического контроля морских нефтяных платформ на шельфе о.Сахалин с применением ГНСС-технологий [7]:

– ввиду того, что платформа располагается в сейсмически активном районе, необходим соответствующий выбор системы отсчета и указание времени наблюдения для корректного получения координат. Наиболее подходящей системой отсчета для задания опорных координат и интерпретации повторных измерений является общеземная система ITRS и ее реализации ITRF****. Эти реализации получены различными технологиями космической геодезии, имеют наивысшую точность, а в координатах учитывается движение литосферных плит;

– существующие береговые базовые станции устанавливаются над центрами традиционных геодезических пунктов, без принудительного центрирования антенны, вследствие чего при измерениях (особенно повторных) возникают ошибки измерения высоты антенны и центрирования. Так, в отчете по замыканию полигона невязки в плане достигают 5 см, а по высоте 8 см, что свидетельствует о грубых ошибках центрирования и измерения высоты антенны на береговых станциях, поскольку на морской платформе организовано принудительное центрирование;

– размеры морской платформы много меньше расстояния до береговой базовой станции, что создает неблагоприятную геометрию расположения исходных береговых и определяемых деформационных марок на платформе, из-за чего небольшие погрешности в положении базовой станции могут привести к более весомым изменениям положения контрольных точек;

– «фиксирование» координат всех исходных береговых пунктов при ограниченном уравнивании спутниковой геодезической сети не предоставляет надежного решения: за счет плохой геометрии сети ошибки центрирования и измерения высоты антенны на береговых пунктах вносят значительные погрешности в опре-

деление координат деформационным марок, несмотря на то, что уравнивание проходит статистические тесты.

2.2.7 Анализ результатов обработки ГНСС-измерений, выполненных по существующей методике

В приложениях Д.1 – Д.4 приведены результаты обработки ГНСС-измерений по определению координат деформационных марок относительным методом от береговых базовых станций. Измерения производились по описанной выше методике. Обработка выполнялась в ПО Trimble Business Center.

По результатам обработки базовых линий, представленных в приложении Д.1, погрешности векторов в плане не превышают 1,5 см, а по высоте – не более 1,8 см. Все решения имеют фиксированный тип, длины линий находятся в пределах от 21 – 50 м (между марками на платформе), и до береговых базовых станций расстояние около 15 км. Перечисленные данные свидетельствуют о приемлемом качестве непосредственно ГНСС-измерений.

Внешний контроль обработки ГНСС-измерений по замыканию полигонов, приведенный в приложении Д.2, показал, что наихудшая невязка в плане составляет величину 5 см, а по высоте 8 см, что существенно превышает СКП обработки базовых линий. Это показатель либо ошибок центрирования и измерения высоты антенны, либо наличия многопутности на деформационных марках.

Для получения координат деформационных марок было выполнено два варианта уравнивания ГНСС-сети.

В первом варианте уравнивания были зафиксированы положения трех береговых базовых станций (их координаты считались безошибочными) согласно приложению Д.3. Из-за неудачной геометрии геодезической сети такой вариант уравнивания привел к неправдоподобным значениям уравненных геодезических высот, и также их погрешностям. Эллипс ошибок в плане имеет величину 0,8 м, что также недопустимо.

Во втором варианте были оставлены неизменными координаты единственной

базовой станции, выполнено минимально ограниченное уравнивание. Результаты приведены в приложении Д.3. Средние квадратические погрешности уравненных координат всех определяемых пунктов не превышают 1,5 см, что согласуется с СКП обработки базовых линий. А расхождения уравненных и исходных координат двух остальных базовых станций составляют величину 1 – 7 мм в плане и 10 – 16 мм по высоте. Следовательно, такой вид уравнивания, безусловно, более надежен, чем уравнивание с фиксацией координат всех береговых базовых станций. В этом случае стоит вопрос о необходимости выполнения ГНСС-измерений на всех трех базовых станциях вместо одной.

Таким образом, наиболее актуальными направлениями совершенствования методики являются пересмотр расположения деформационных марок на морской платформе, а также выбор береговых опорных пунктов и грамотное производство уравнивания спутниковой геодезической сети.

2.3 Предложения по усовершенствованию методики

2.3.1 *Использование сети IGS в качестве исходной сети пунктов*

Одним из направлений по оптимизации полевых наблюдений может стать замена исходной сети пунктов, используемых в качестве исходной основы и расположенных в прибрежной зоне, на сеть пунктов IGS.

Важным условием является наличие и достаточность пунктов IGS, доступных для последующих определений координат и высот антенн ГНСС оборудования на объекте исследования. Данное условие выполнимо для объекта наблюдения и для всей территории Сахалинской области, так как постоянно действующие станции IGS равномерно расположены вокруг объекта наблюдения на расстоянии от 600 до 2500 километров. Наиболее близкой станцией является пункт IGS в Южно-Сахалинске под индексом YSSK. Расстояние до нее 658 километров.

Отказ от проведения полевых измерений на пунктах исходной сети в прибрежной зоне позволяет сократить прямые затраты на проведения полевых работ

на 40%. Данное решение может стать наиболее значимым с точки зрения усовершенствования методики в экономическом плане.

2.3.2 Применение онлайн сервисов обработки данных

Развитие мирового интернета и сервисов обработки геодезических данных позволяет рассматривать онлайн сервисы по обработке данных как перспективный инструмент для решения прикладных задач инженерно-геодезических работ.

Среди наиболее распространенных сервисов следует отметить:

– AUSPOS – некоммерческий онлайн GPS-сервис обработки данных, поддерживаемый австралийской государственной организацией по наукам о Земле Geoscience Australia, реализующий относительный метод ГНСС, где положения определяемых пунктов вычисляются относительно ближайших пунктов сети IGS [35];

– GAPS – сервис обработки ГНСС-измерений методом точного точечного позиционирования (Precise Point Positioning), разработанный в университете Нью-Брунсвик, Канада [36];

– автоматический сервис точного точечного позиционирования, NASA [37];

– система дифференциальной коррекции и мониторинга СДКМ, предоставляющая возможности постобработки ГНСС-измерений [30].

Несмотря на доступность онлайн сервисов по обработке данных, рекомендуется продолжать вычисления с помощью программных продуктов, применяемых в действующей методике. Как минимум 3 цикла последующих наблюдений должны подтвердить надежность использования онлайн-сервисов для вычисления координат и высот деформационных марок.

2.3.3 Оптимизация сбора данных и схемы деформационных марок

Согласно результатам многолетних наблюдений и оценки расположения деформационных марок, не все деформационные марки имеют расположение на

платформе, достаточное для надежного приема сигналов от спутников.

Риск проведения некачественных ГНСС-измерений на некоторых деформационных марках крайне высок: сооружения на платформе – буровая мачта, факельная мачта, операционные модули – создают значительное количество помех и переотраженных сигналов.

Одним из способов решения данной проблемы является применение дополнительных измерений на морской платформе в комбинации с ГНСС измерениями.

Применение линейно-угловых измерений и нивелирования сети деформационных марок дает весомое преимущество как для контроля ГНСС-измерений, так и для сокращения списка деформационных марок, координаты и высоты которых определяются спутниковыми методами.

Предложение по оптимизации сбора геодезических данных и схемы деформационных марок состоит в следующем:

- использовать ГНСС наблюдения только на наиболее благоприятных участках расположения марок, с максимально открытым радиогоризонтом и отсутствии объектов для создания помех. Для морской платформы наиболее надежными для измерений марками являются две деформационные марки, закрепленные на уровне вертолетной площадки. Именно этот базис следует принять за основной, так как многолетние наблюдения подтверждают наиболее качественные измерения в данных участках объекта исследования;

- при наличии благоприятных условий наблюдений на других марках следует также проводить ГНСС измерения хотя бы на одной из них с целью контроля основного базиса, а также на случай грубых измерений на базисном пункте, либо отказе оборудования;

- сокращение ГНСС-измерений следует компенсировать дополнительными линейно-угловыми измерениями. Наиболее применимыми методами определения плановых координат марок в условиях морской платформы следует рассматривать обратную линейно-угловую засечку и теодолитный ход при отсутствии прямой видимости для обратной линейно-угловой засечки;

- определение превышений между деформационными марками рекомендует-

ся проводить тригонометрическим нивелированием с помощью тахеометра, так как использование более точного геометрического нивелирования затрудняется большими перепадами высот между марками до нескольких метров и необходимостью использования дополнительного оборудования для проведения геометрического нивелирования;

– с целью получения дополнительной информации о состоянии объекта необходимо расширить сеть деформационных марок. Четырех деформационных марок недостаточно для фиксации локальных деформаций в конструкции сооружения. Рекомендуется произвести установку дополнительных марок по периметру сооружения на верхнем уровне платформы в угловых зонах и на пересечении основных осей стального каркаса платформы.

2.3.4 Анализ изменений приращений координат и длин базовых линий при цикловых измерениях

В качестве основных контрольных величин при повторных измерениях предлагается использовать не координаты определяемых точек на морской платформе, а вектора базовых линий, получаемые относительным методом ГНСС. В этом случае не будет сказываться влияние движения литосферных плит, глобальное по природе. А также могут сняться вопросы, связанные с преобразованием координат на требуемую эпоху.

На платформе определять положения деформационных марок (базиса) относительно опорной базовой станции сети IGS, в количестве минимум двух.

Вектор базовой линии $[DX \ DY \ DZ]^T$, получаемый в общеземной экваториальной системе координат, преобразовывать в горизонтальную систему координат одной из точек базиса на морской платформе $[E \ N \ U]^T$ по формуле:

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} = \mathbf{R}_A \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad \text{где} \quad \mathbf{R}_A = \begin{bmatrix} -\sin L & \cos L & 0 \\ -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix}. \quad (2)$$

где B – геодезические широта начальной точки морской платформы в обще-земной системе отсчета;

L – геодезическая долгота начальной точки морской платформы в обще-земной системе отсчета.

Для обеспечения миллиметровой точности преобразования в горизонтальную систему координат, при расстоянии морской платформы от берега 15 км, достаточно задать геодезические координаты B и L с точностью 0.01".

Анализ изменений приращений в горизонтальной системе координат даст возможность отслеживания положения точек морской платформы в плане и по высоте, не зависимо от выбора системы координат, системы высот и эпохи наблюдения.

2.3.5 Изучение тропосферной рефракции в районе работ

В относительном методе ГНСС полагается, что для близко расположенных станций влияние тропосферы сводится к минимуму, однако случай, когда базовая станция расположена на берегу, а измеряемые точки – в море, требует специальных исследований влияния данного фактора на результаты высокоточных ГНСС-измерений.

Для оценки влияния тропосферы на результаты ГНСС-измерений рекомендуется выполнить определение зенитной тропосферной задержки на береговой и морской станциях, с помощью специализированного ПО (например, RTKLib), или воспользоваться онлайн сервисами, например, GAPS. Если расхождения значений задержек, полученных синхронно для моря и берега, превышают погрешности ГНСС-измерений, необходимо вносить соответствующие поправки [7].

Внедрение перечисленных выше предложений в методику геодезического мониторинга позволит получить дополнительную информацию о деформациях сооружения, снизить издержки на проведение ГНСС измерений.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ

3.1 План экспериментальных исследований

Целью эксперимента является подтверждение возможности проведения геодезического мониторинга морской стационарной платформы ПА-Б без использования исходной сети опорных реперов в прибрежной зоне. Для проведения экспериментальных исследований из приведенного в разделе 2 списка предложений были выбраны следующие:

- использование в качестве исходной сети пунктов международной сети станций IGS;
- применение онлайн сервиса AUSPOS для определения координат деформационных марок.

В качестве исходных данных использованы отчетные материалы по геодезическому мониторингу платформ, RINEX-файлы, данные о высотах антенн за три последних цикла измерений с 2016 по 2018 гг.

В плане экспериментов предусматривается:

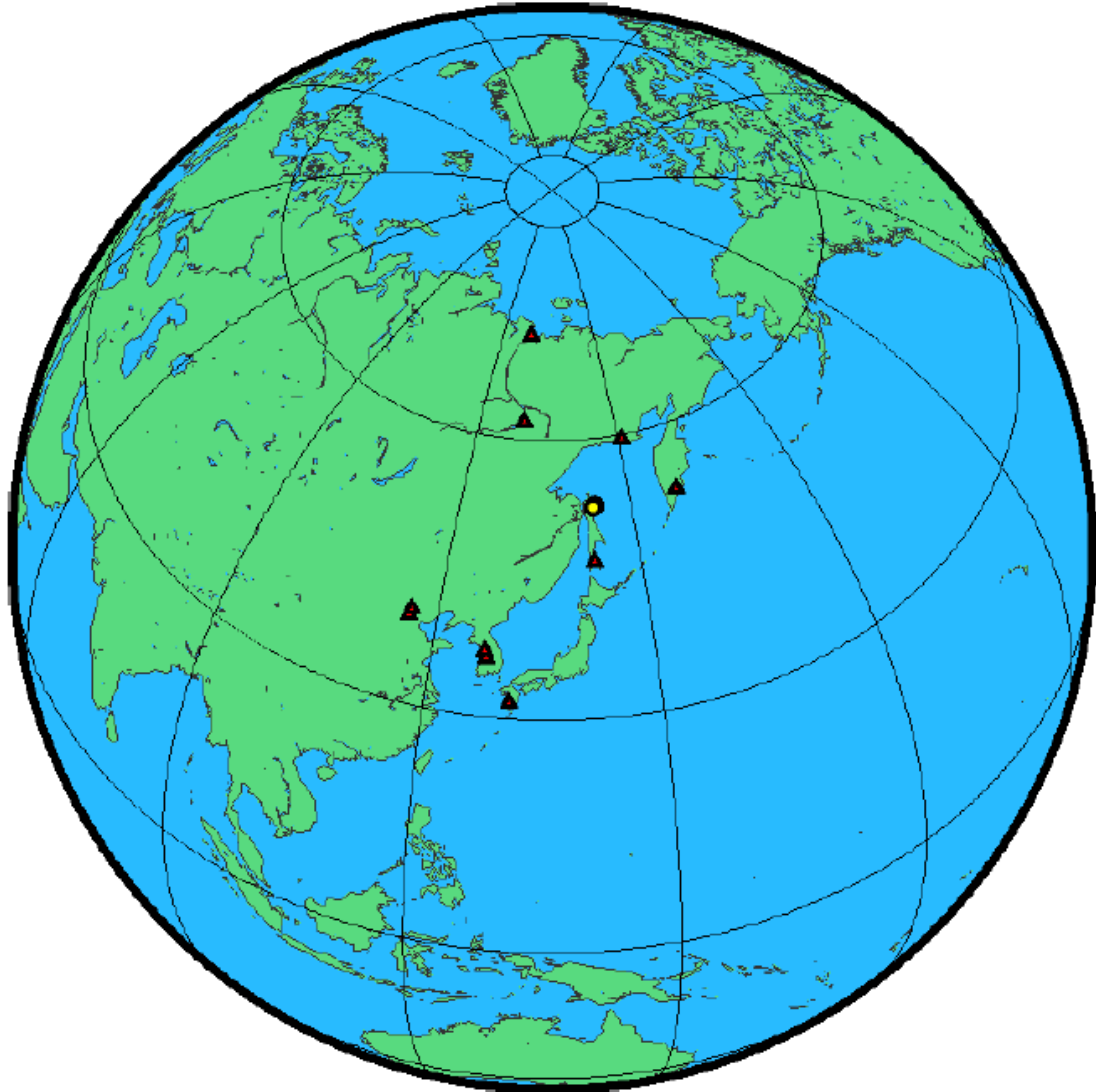
- обработка трех циклов ГНСС-измерений в ПО ТВС и с помощью сервиса AUSPOS, сравнение полученных результатов;
- расчет векторов базовых линий и расстояний от ближайшей станции IGS до каждой деформационной марки и сравнение полученных результатов со значениями, вычисленными по существующей методике;
- анализ изменений координат и длин векторов между циклами измерений.

3.2 Описание выполненных экспериментальных исследований

В соответствии с запланированным экспериментом, произведена обработка трех ежегодных циклов ГНСС-измерений на деформационных марках морской платформы и береговом опорном репере Рп.9120 с помощью ПО ТВС и онлайн-

службы AUSPOS (относительно двенадцати ближайших пунктов IGS).

В результате экспериментальных исследований было произведено сравнение длин векторов между опорным репером исходной сети и деформационными марками, вычисленные по результатам отчетов действующей методики и отчетов сервиса AUSPOS, представленное в таблице 1. Схема размещения и список участвующих в обработке станций IGS представлена на рисунке 9.



Date	User Stations	Reference Stations	Orbit Type
2016/10/07 05:48:00	0831 1762 2261 5049 7623 9120 9259	AIRA BJFS BJNM DAEJ MAGO OSN3 PETS SEJN SUWN TIXI YAKT YSSK	IGS final

Рисунок 9 – Положение станций IGS, участвующих в обработке.

Таблица 1 – Сравнение длин векторов между опорным репером 9120 и деформационными марками, вычисленные по результатам обработки в ТВС и с помощью сервиса AUSPOS

Дата	Названия линий	ΔN , м	ΔE , м	ΔH , м	2D, м	3D, м	2D (ТВС), м	3D (ТВС), м	Примечание
07.10.2016	M-1 - Rp9120	12616.306	11289.456	61.173	16929.944	16930.054	-0.004	-0.005	
	M-2 - Rp9120	12645.767	11276.034	61.155	16942.974	16943.084	-0.005	-0.006	
	M-3 - Rp9120	12631.481	11350.178	72.961	16981.780	16981.937	-0.491	-0.426	Отсутствует фиксированное решение в отчете AUSPOS
	M-4 - Rp9120	12665.833	11335.257	63.614	16997.393	16997.512	0.000	0.000	
11.10.2017	M-1 - Rp9120	12616.317	11289.474	61.159	16929.964	16930.074	0.022	0.021	
	M-2 - Rp9120	12645.782	11276.052	61.128	16942.997	16943.107	0.019	0.018	
	M-3 - Rp9120	-	-	-	-	-	-	-	Файл не обработан сервисом AUSPOS
	M-4 - Rp9120	12665.836	11335.269	63.544	16997.403	16997.522	0.019	0.018	
01.10.2018	M-1 - Rp9120	12616.319	11289.470	61.192	16929.963	16930.073	0.002	0.002	
	M-2 - Rp9120	12645.785	11276.043	61.175	16942.993	16943.104	-0.001	-0.002	
	M-3 - Rp9120	12633.222	11349.003	55.862	16982.290	16982.382	0.009	0.008	Наихудшие условия наблюдения на марке
	M-4 - Rp9120	12665.836	11335.261	63.603	16997.398	16997.517	0.001	0.000	

По результатам отчетов и данным в таблице 1 были сделаны следующие выводы:

– произведенные измерения на марке М-3 за 2016 и 2018 год не выдали фиксированного решения при обработке с помощью сервиса AUSPOS. Причина заключается в крайне неблагоприятных условиях наблюдения. Рекомендовано исключить данную марку из программы наблюдений, либо произвести установку дополнительной марки на объекте с учетом создания условия качественного приема спутниковых сигналов для возможности получения фиксированного решения посредством сервиса AUSPOS;

– длины векторов между опорным пунктом и деформационными марками, вычисленные с помощью сервиса AUSPOS для марок со стабильными и фиксированными решениями за три последних цикла наблюдений не отличаются от длин векторов, определенных с помощью ТВС, более чем на 0.021м, среднее значение составляет 0.005м.

Таким образом, два различных программных приложения по обработке ГНСС-измерений показали расхождения координатных определений в пределах СКП, что говорит о том, что сервис AUSPOS и Trimble Business Center предоставляют близкие результаты для всех циклов измерений.

Помимо сравнения длин векторов по результатам отчетов двух разных методик вычисления были определены приращения геоцентрических координат по результатам отчетов AUSPOS между отдельной деформационной маркой и опорным репером, а также маркой и ближайшей постоянно действующей базовой станции IGS под индексом YSSK (г. Южно-Сахалинск, Россия). Вычислены значения длин векторов. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Приращения геоцентрических координат деформационных марок относительно опорного репера и постоянно действующей базовой станции YSSK в системе ITRF2014

Название марки / репера	Приращения координат относительно rp9120			Приращение координат относительно ПДБС YSSK				
	dX	dY	dZ	R(9120)	dX	dY	dZ	R(YSSK)
1-й цикл измерений от 07.10.2016								
M-1	822.60	-15191.51	-15191.51	16931.50	368412.03	-346439.71	422020.79	658672.48
M-2	849.16	-15195.75	-15195.75	16944.53	368438.59	-346443.96	422038.80	658701.11
M-3	Отсутствует фиксированное решение			Отсутствует фиксированное решение				
M-4	823.89	-15251.55	-15251.55	16998.97	368413.31	-346499.76	422051.61	658724.54
Опорный репер 9120					367589.43	-331248.20	414589.97	645547.98
2-й цикл измерений от 11.10.2017								
M-1	822.60	-15191.53	-15191.53	16931.52	368412.01	-346439.71	422020.79	658672.47
M-2	849.18	-15195.79	-15195.79	16944.56	368438.58	-346443.96	422038.80	658701.11
M-3	Отсутствует фиксированное решение			Отсутствует фиксированное решение				
M-4	823.92	-15251.59	-15251.59	16998.98	368413.32	-346499.77	422051.57	658724.52
Опорный репер 9120					367589.40	-331248.18	414589.98	645547.96
3-й цикл измерений 01.10.2018								
M-1	822.59	-15191.52	-15191.52	16931.52	368412.00	-346439.72	422020.79	658672.48
M-2	849.16	-15195.76	-15195.76	16944.55	368438.57	-346443.97	422038.81	658701.12
M-3	798.94	-15248.77	-15248.77	16983.82	368388.35	-346496.97	422025.47	658692.36
M-4	823.90	-15251.56	-15251.56	16998.97	368413.31	-346499.77	422051.59	658724.52
Опорный репер 9120					367589.41	-331248.20	414589.95	645547.96

По данным таблицы 2 определена разница приращений координат и разница значений длин векторов между разными циклами наблюдений. Вычисления представлены в таблице 3. Изменения высот деформационных марок в графической форме показано на рисунке 10.

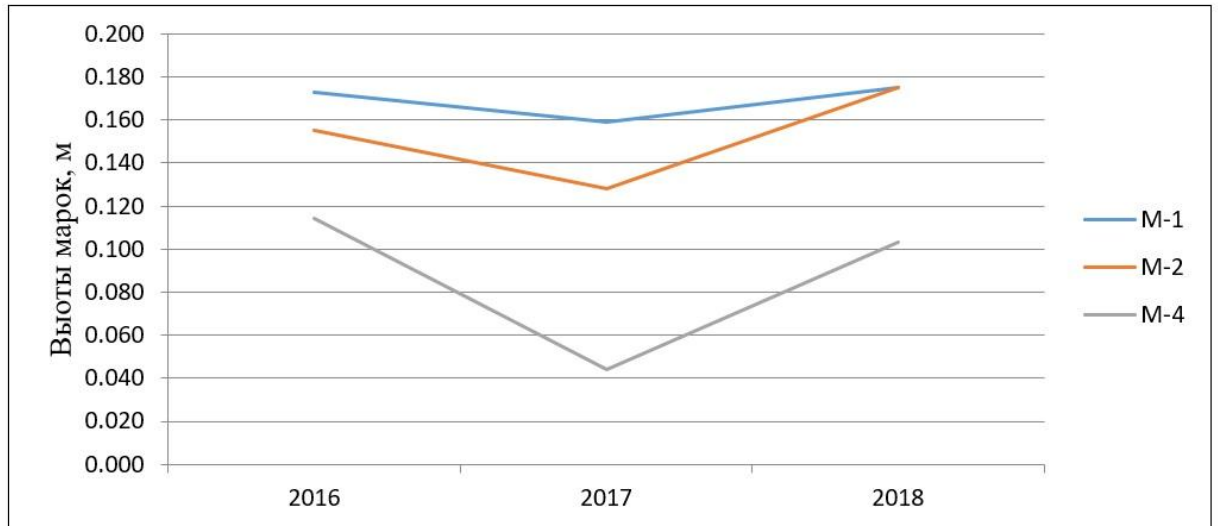


Рисунок 10 – Изменение высот деформационных марок в трех циклах измерений

Разницы приращений геоцентрических координат деформационных марок относительно опорного репера и относительно постоянно действующей базовой станцией YSSK, вычисленные по результатам отчетов сервиса AUSPOS, для трех циклов наблюдений не превышают значения в 0.029м. Предполагая то, что в течение 2-х лет сооружение платформы и исходной сети опорных реперов не было подвержено перемещениям, результаты сравнения длин векторов, вычисленные с помощью AUSPOS, подтверждают допустимость использования данного сервиса и получения фиксированного значения координат деформационных марок без контроля исходной сети опорных реперов при условии закрепления марок на платформе с хорошими условиями для получения спутниковых сигналов на момент ГНСС измерений, дающими стабильное и фиксированное решение.

Таблица 3 – Разница значений приращений геоцентрических координат деформационных марок относительно опорного репера и постоянно действующей базовой станции YSSK в системе ITRF2014 между различными циклами измерений

Название марки / репера	Разница приращений относительно rp9120			Разница приращений относительно ПДБС YSSK				
	$\Delta X, \text{ м}$	$\Delta Y, \text{ м}$	$\Delta Z, \text{ м}$	$\Delta R(9120), \text{ м}$	$\Delta X, \text{ м}$	$\Delta Y, \text{ м}$	$\Delta Z, \text{ м}$	$\Delta R(YSSK), \text{ м}$
Разница значений между 3-им и 1-ым циклом наблюдений								
М-1	-0.009	-0.011	-0.011	0.019	-0.024	-0.011	0.005	-0.004
М-2	-0.003	-0.010	-0.010	0.021	-0.018	-0.010	0.011	0.002
М-3	Отсутствует фиксированное решение			Отсутствует фиксированное решение				
М-4	0.006	-0.010	-0.010	0.006	-0.009	-0.010	-0.024	-0.015
Опорный репер 9120					-0.015	0.000	-0.017	-0.019
Разница значений между 3-им и 2-ым циклом наблюдений								
М-1	-0.011	0.013	0.013	0.000	-0.004	-0.013	-0.002	0.003
М-2	-0.015	0.021	0.021	-0.002	-0.008	-0.005	0.012	0.006
М-3	Отсутствует фиксированное решение			Отсутствует фиксированное решение				
М-4	-0.022	0.026	0.026	-0.004	-0.015	0.000	0.018	0.003
Опорный репер 9120					0.007	-0.026	-0.029	-0.001

В результате выполненных экспериментальных исследований решены следующие запланированные задачи:

– произведена обработка трех циклов ГНСС-измерений в ПО Trimble Business Centre и с помощью сервиса AUSPOS, проведено сравнение полученных результатов;

– выполнен расчет векторов базовых линий и расстояний от ближайшей станции IGS до каждой деформационной марки и сравнение полученных результатов со значениями, вычисленными по действующей методике;

– произведен анализ изменений координат и длин векторов между циклами измерений.

По результатам исследований совместно с руководителем ВКР Е.Г. Гиенко были сформулированы выводы об опыте использования результатов ГНСС-измерений на пунктах IGS для мониторинга морских нефтяных платформ на шельфе о.Сахалин и были подготовлены материалы доклада и публикации статьи для XV Международного научного конгресса «ИНТЕРЭКСПО Гео-Сибирь», Новосибирск, Россия.

Статья содержит описание методики геодезического мониторинга морских стационарных сооружений, на примере нефтегазовой платформы ПА-Б, расположенной на северо-восточном шельфе о.Сахалин в Охотском море. Проведение мониторинга опасных производственных объектов является критически важным для безопасной эксплуатации объекта, охраны труда и защиты окружающей среды. Усовершенствование методики проведения геодезических измерений является основной задачей данной работы. Приведены результаты эксперимента по оценке возможности обработки измерений относительно сети станций IGS с помощью сервиса AUSPOS. Выводы о применимости данного метода для морских стационарных платформ зафиксированы в данной работе.

3.3 Выводы по результатам экспериментального исследования

Выводы по результатам эксперимента следующие:

- применение сервиса AUSPOS для определения перемещений стационарной морской платформы возможно с высокой степенью надежности результатов;
- обеспечение фиксированных решений возможно при расположении деформационных марок на платформе вне зон источников возникновения многопутности и вдали от оборудования, перекрывающего распространение спутниковых сигналов;
- обработка данных в AUSPOS повторила обработку в ТВС в пределах запрашиваемой для данного вида работы точности, что в свою очередь подтверждает надежность обоих методик вычисления.

Данные выводы подтверждают основную цель эксперимента – проведение геодезического мониторинга морских стационарной платформы ПА-Б возможно без использования исходной сети опорных реперов, используя только сеть станций IGS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геодезический мониторинг стационарных морских платформ – это надежный способ получения информации об изменениях положения и деформациях опасных производственных объектов, который дает возможность обеспечивать безопасную эксплуатацию. На данный момент развития геодезической и информационной отрасли использование спутниковых измерений является высокоэффективным и высокопроизводительным методом.

По результатам экспериментальных исследований по усовершенствованию методики геодезического мониторинга морских нефтегазодобывающих платформ предприятия «Сахалин Энерджи» были успешно подтверждены следующие предложения:

- принятие в качестве опорного пункта (с безошибочными координатами) одной береговой базовой станции из трех. При использовании трех близко расположенных береговых станций как опорных пунктов значительно ухудшается геометрия сети, и малым погрешностям береговых ГНСС-измерений соответствуют большие погрешности в положениях деформационных марок;

- применение в качестве исходных пунктов для мониторинга ближайших станций Международной сети IGS (с индексами AIRA, BADG, BJFS, BJNM, DAEJ, GAMG, IRKJ, KGNI, MAG0, MTKA, OSN3, TIXI, YAKT и YSSK) вместо береговых базовых станций. Расположение таких пунктов обладает лучшей геометрией. Пункты IGS – постоянно действующие, без ошибок центрирования и высоты антенны, доступ к файлам измерений открыт, координаты пунктов IGS имеют наивысшую точность. Результаты координатных определений показали, что такой подход обеспечивает более надежное решение, на уровне точности 2-3 см. Отказ от береговых базовых станций существенно сокращает трудозатраты.

- использование онлайн сервиса AUSPOS для определения координат деформационных марок в качестве контроля координатных определений с помощью коммерческого ПО обработки ГНСС-измерений. Сравнение результатов обработки в двух программных продуктах показало практически одинаковые результаты;

– использование технологии ГНСС-измерений рекомендуется только на наиболее благоприятных участках расположения марок, с максимально открытым радиогоризонтом и отсутствии объектов для создания помех. Наблюдения на неподходящих марках сопровождаются ошибками из-за многопутности, что приводит либо к погрешностям в координатах порядка до нескольких дециметров, либо к отсутствию фиксированного решения.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что применение усовершенствованной методики не снижает точности выполнения ГНСС-измерений на марках с благоприятными условиями измерений. Для определения координат, неблагоприятных для проведения спутниковых измерений, необходимо применять линейно-угловые методы. В связи с этой особенностью предлагается также расширить сеть деформационных марок на объекте наблюдения с целью получения наиболее полной информации о деформациях сооружения.

В рамках исследования были опубликованы следующие работы:

– Давыдов А.В., Гиенко Е.Г. Опыт использования результатов ГНСС-измерений на пунктах IGS для мониторинга морских нефтяных платформ на шельфе о.Сахалин //Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч.конгр., 24-26 апреля 2019 г., Новосибирск: сб. материалов в 9 т. Т.1 : Междунар. науч. конф. "Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия". - Новосибирск: СГУГиТ, 2019. №1. - С.62 - 70. DOI: 2618-981X-2019-1-1;

– Гиенко Е.Г., Шендрик Н.К., Давыдов А.В. Особенности геодезического контроля морских нефтяных платформ на шельфе о. Сахалин по результатам ГНСС-измерений// Нефтегазовый комплекс: проблемы и решения: Материалы Первой национал. науч.-практ. конференции. - Южно-Сахалинск, СахГУ, 2018. – С.29-30.

Все поставленные задачи выполнены, цель выпускной квалификационной работы достигнута.

В качестве продолжения исследований по совершенствованию методики мониторинга рекомендуется:

– протестировать комплексное применение ГНСС-измерений на двух дефор-

мационных марках с наилучшим радиогоризонтом и линейно-угловых измерений на остальных марках;

– рассмотреть вопросы влияния тропосферы на ГНСС-измерения при мониторинге морских платформ;

– рассмотреть вопросы учета глобальных геодинамических изменений в районе работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография : в 2 томах / К. М. Антонович ; ГОУ ВПО Сибирская государственная геодезическая академия. – Москва : Картгеоцентр, 2005. – Т. 1, 2. – Текст : непосредственный.
- 2 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография : в 2 томах / К. М. Антонович. – Москва : Картгеоцентр, 2005. – Т. 1, 2. – Текст : непосредственный.
- 3 Антонович, К. М. Космическая навигация : учебное пособие / К. М. Антонович. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 233 с. – Текст : непосредственный.
- 4 Войтенко, А. В. Сравнение способов вычисления пространственного положения геодезических пунктов с учетом движения литосферных плит / А. В. Войтенко. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 1. – С. 23–28.
- 5 Гарибин, П. А. Разработка методики и аппаратуры для автоматизированного мониторинга планового положения морских причальных сооружений / П. А. Гарибин, Е. О. Ольховик. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – 2016. – № 2 (34). – С. 55–64.
- 6 Геодезическое обеспечение эксплуатации причала отгрузки сжиженного природного газа на Сахалине / В. Кашпурович, П. П. Мурзинцев, В. А. Середович, А. В. Середович – Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь : VIII Международный научный конгресс, 10-12 апреля 2012 г., Новосибирск : Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сборник материалов в 3 т. – Новосибирск : СГГА, 2012. – Т. 1, № 1. – С. 195–200.
- 7 Гиенко Е.Г., Шендрик Н.К., Давыдов А.В. Особенности геодезического контроля морских нефтяных платформ на шельфе о. Сахалин по результатам ГНСС-измерений// Нефтегазовый комплекс: проблемы и решения: Материалы Первой национал. науч.-практ. конференции. - Южно-Сахалинск, СахГУ, 2018. – С.29-30.
- 8 ГКИНП-11-140-81. Топографо-геодезические работы на шельфе и внутренних водоемах термины и определения : руководящий технический материал : утвержден ГУГК при Совете Министров СССР от 7 апреля 1981 г. – Москва : ЦНИИГАИК, 1981. – Текст : непосредственный.
- 9 Горбунов, О. Н. Спутниковый мониторинг деформаций морской ледостойкой стационарной платформы / О. Н. Горбунов. – Текст : непосредственный // Геопрофи. – 2013. – № 4 (600). – С. 9–13.
- 10 ГОСТ 21830-76. Приборы геодезические. Термины и определения : государственный стандарт Союза ССР : введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 17 мая 1976 г. №1209 : дата введения 1977-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1977. – 28 с. – Текст : непосредственный.

11 ГОСТ 22268-76. Геодезия. Термины и определения : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 21 декабря 1976 г. № 2791: дата введения 1978-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1977. – 32 с. – Текст : непосредственный.

12 ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований и сооружений : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 октября 2012 г. № 599-ст : дата введения 2013-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 18 с. – Текст : непосредственный.

13 ГОСТ 31380-2009. Глобальные навигационные спутниковые системы. Аппаратура потребителей. Классификация : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 июля 2011 г. № 191-ст : дата введения 2011-10-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 15 с. – Текст : непосредственный.

14 ГОСТ 32453-2013. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 апреля 2014 г. № 354-ст : дата введения 2014-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 15 с. – Текст : непосредственный.

15 ГОСТ Р 52928-2010. Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 ноября 2010 г. № 353-ст : дата введения 2011-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2011. – Текст : непосредственный.

16 ГОСТ Р 54483-2011. Нефтяная и газовая промышленность. Платформы морские для нефтегазодобычи. Общие требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 28 октября 2011 № 503 ст : дата введения 2012-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 23 с. – Текст : непосредственный.

17 ГОСТ Р 54594-2011. Платформы морские. Правила обитаемости. Общие требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 декабря 2011 г. № 719-ст : дата введения 2012-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 6 с. – Текст : непосредственный.

18 ГОСТ Р 55024-2012. Сети Геодезические : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2012 г. № 470-ст : дата введения 2011-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – Текст : непосредственный.

19 ГОСТ Р 55311-2012. Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Термины и определения : национальный стан-

дарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. № 1579-ст : дата введения 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 8 с. – Текст : непосредственный.

20 ГОСТ Р 55535-2013. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Общие технические требования к системам геодезического мониторинга : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 августа 2013 г. № 600-ст : дата введения 2014-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 11 с. – Текст : непосредственный.

21 Давыдов А.В., Гиенко Е.Г. Опыт использования результатов ГНСС-измерений на пунктах IGS для мониторинга морских нефтяных платформ на шельфе о.Сахалин //Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч.конгр., 24-26 апреля 2019 г., Новосибирск: сб. материалов в 9 т. Т.1 : Междунар. науч. конф. "Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия". - Новосибирск: СГУГиТ, 2019. №1. - С.62 - 70.

22 Кроненброк, Д. В. Применение технологий ГНСС для деформационного мониторинга сооружений / Д. В. Кроненброк. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – 2012. – № 1 (17). – С. 29–40.

23 Лагутина, И. Ю. Мониторинг осадки морских платформ в Китае / И. Ю. Лагутина. – Текст : электронный // Молодой ученый. — 2017. — № 3. — С. 116–118. — URL <https://moluch.ru/archive/137/38541/> (дата обращения 17.01.2020).

24 Мониторинг горизонтальных и вертикальных сдвижений морской ледостойкой платформы при разработке месторождения нефти им. Ю. Корчагина / Ю. А. Кашников, А. А. Согорин, Е. С. Богданец [и др.]. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 96–98.

25 Организация системы геодинамического мониторинга на месторождении имени Ю. Корчагина / О. Н. Горбунов. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2011. – № 2 (82). – С. 24–37.

26 ОСТ 68-15-01. Измерения геодезические. Термины и определения : стандарт отрасли : утвержден приказом по Роскартографии № 93-пр от 24 апреля 2001 г. – дата введения 2001-07-01. – Москва : ЦНИИГАИК, 2001. – 18 с. – Текст : непосредственный.

27 Поклад, Г. Г. Геодезия : учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – Москва : Академический проект, 2007. – 592 с. – Текст : непосредственный.

28 ПТБ-88. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах : утверждены Коллегией ГУГК при Совете Министров СССР от 9 февраля 1989 г. № 2/21. – Москва : Недра, 1991. – Текст : непосредственный.

29 Серапинас, Б. Б. Глобальные системы позиционирования : учебник / Б. Б. Серапинас. – Москва : Каталог, 2002. – 106 с. – Текст : непосредственный.

30 Система дифференциальной коррекции и мониторинга СДКМ. – URL : www.sdkm.ru (дата обращения 17.01.2020). – Текст : электронный.

31 Скрипников, В. А. Совершенствование методики выполнения измерений спутниковыми геодезическими приемниками при определении горизонтальных смещений инженерных сооружений / В. А. Скрипников. – Текст : непосредственный // Современные проблемы геодезии и оптики : тезисы докладов 51 научно-технической конференции преподавателей СГГА, 16-19 апреля 2001 г. – Новосибирск : СГГА, 2001. – С.112.

32 СП 126.13330.2012. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 : Свод правил : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 декабря 2011 г. № 635/1 : дата введения 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2013. – Текст : непосредственный.

33 СП 369.1325800.2017. Платформы морские стационарные. Правила проектирования : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 декабря 2017 г. № 1670-пр : дата введения 2018-06.15. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 27 с. – Текст : непосредственный.

34 Шендрик, Н. К. О возможности применения системы координат ITRF для геодезического обеспечения Новосибирской области / Н. К. Шендрик. – Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь : VIII Международный научный конгресс, 10-12 апреля 2012 г., Новосибирск : Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сборник материалов в 3 т. – Новосибирск : СГГА, 2012. – Т. 1, № 2. – С. 205–209.

35 AUSPOS – Online GPS Processing Service. – URL : <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos> (дата обращения 17.01.2020). – Текст : электронный.

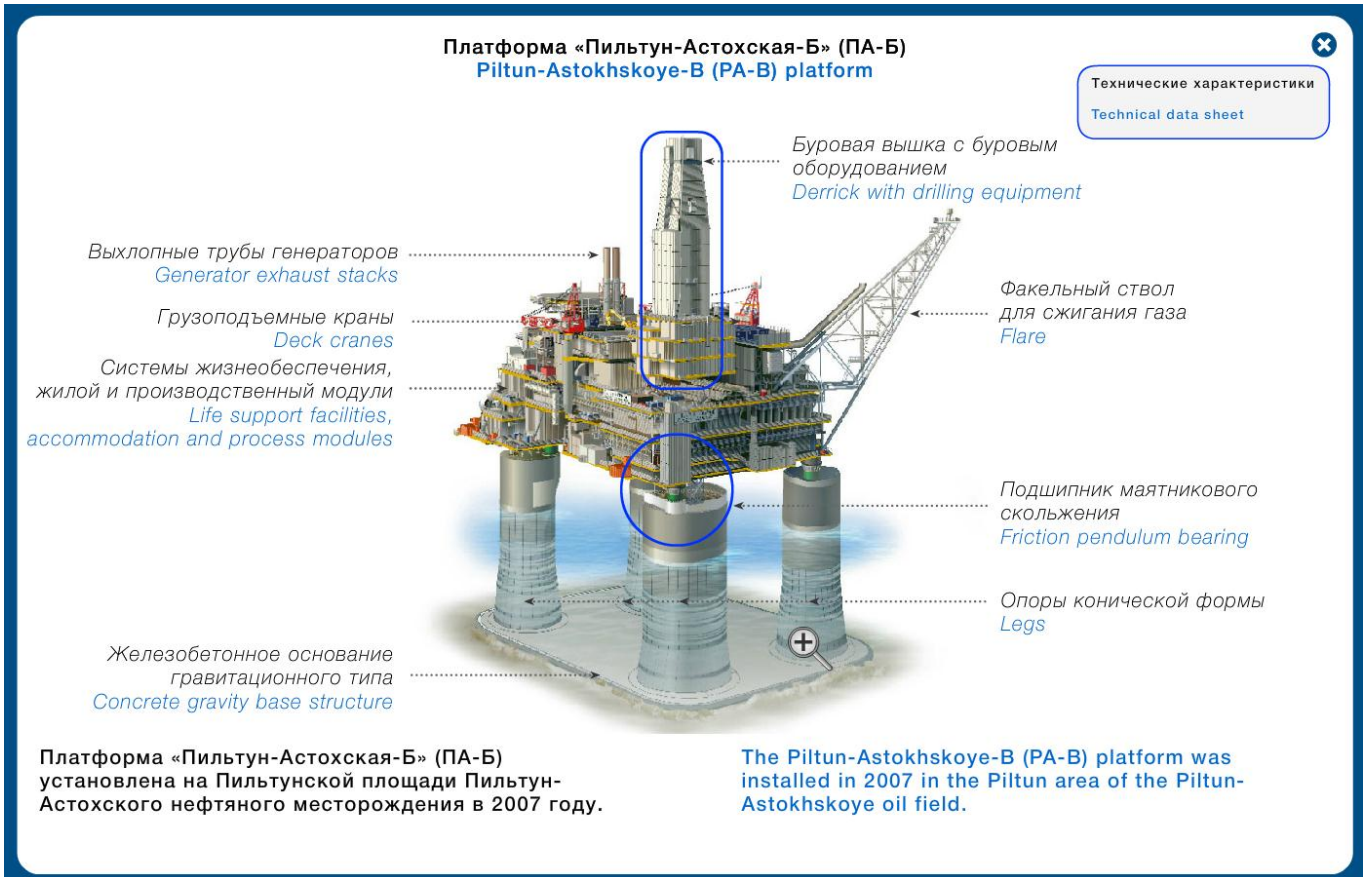
36 GNSS analysis and positioning software. – URL : <http://gaps.gge.unb.ca/> (дата обращения 17.01.2020). – Текст : электронный.

37 The automatic precise positioning service of the global differential system. – URL : <http://apps.gdgps.net> (дата обращения 17.01.2020). – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Справочное)

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТАХ МОНИТОРИНГА



Технические характеристики платформы «Пильтун-Астохская-Б» (ПА-Б)

Железобетонное основание

Вес	90000 т
Диаметр опоры	24 м
Размеры опорной плиты	94x91,5x11,5 м
Общая высота	53 м

Верхние строения

Вес	28000 т
Высота факельного ствола	98,6 м
Количество буровых окон	45
Количество эксплуатационных скважин	33
Количество персонала	140 чел.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(Справочное)

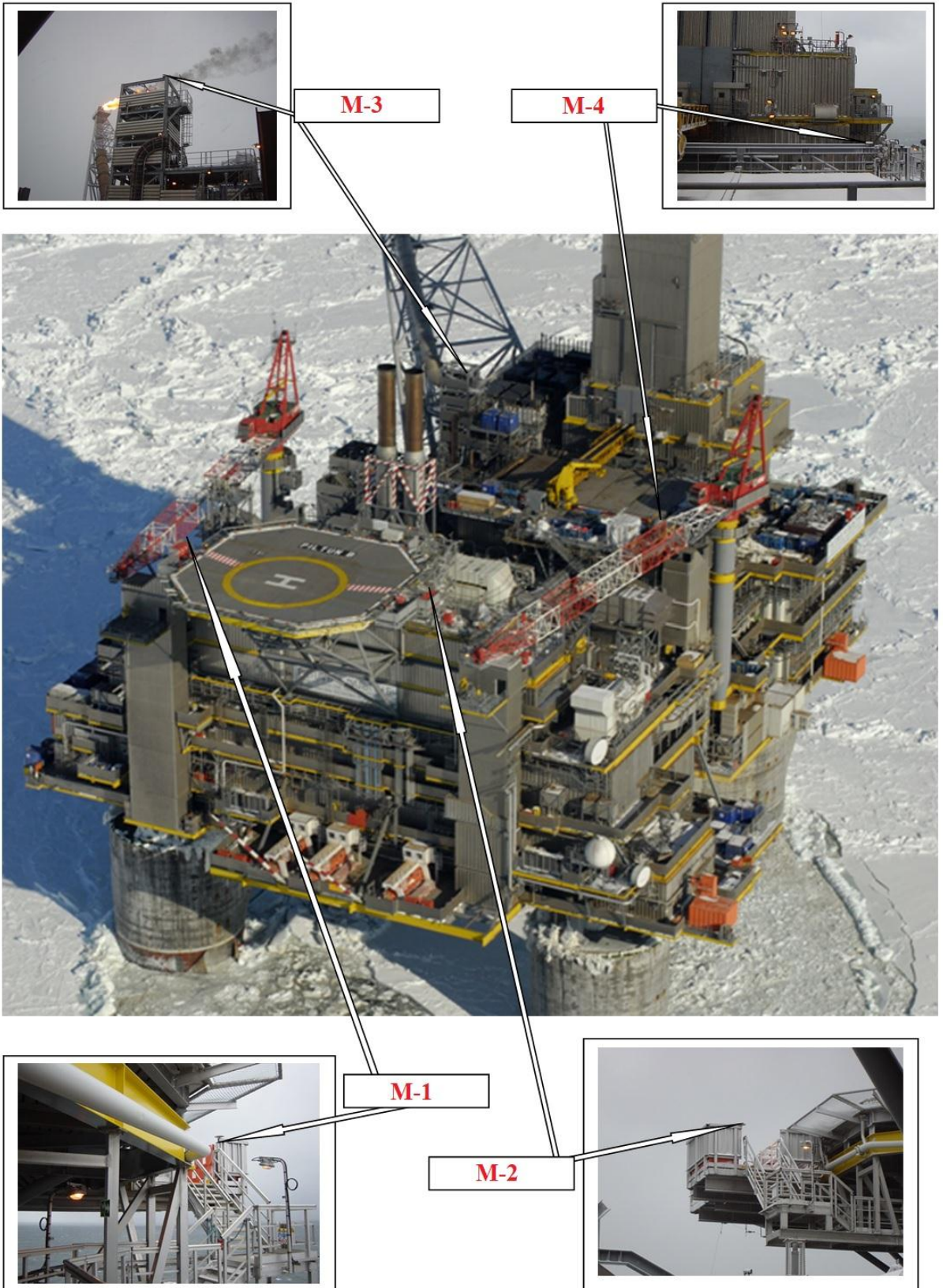
ОБЗОРНАЯ СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА



ПРИЛОЖЕНИЕ В

(Справочное)

ФОТОГРАФИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ МАРК



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(Справочное)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

ПРИЕМНИК TRIMBLE R8 GNSS

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Измерения

- Технология Trimble R-Track
- Усовершенствованный GNSS-чип Trimble Maxwell 6 Custom Survey с 220 каналами
- Высокоточный множественный коррелятор измерений псевдодальностей GNSS
- Нефильтрованные и неслаженные измерения псевдодальностей для обеспечения низких шумов, малых ошибок многолучевости, малой временной области корреляции и высоких динамических характеристик
- Измерения фаз несущих частот GNSS с очень низким уровнем шумов и точностью <1 мм в полосе частот 1 Гц
- Отношения сигнал-шум указываются в дБ-Гц
- Проверенная в поле технология Trimble для отслеживания спутников с малыми
- Одновременно отслеживаемые сигналы спутников:
 - GPS: L1C/A, L2C, L2E (Технология Trimble отслеживания L2P), L5
 - ГЛОНАСС: L1C/A, L1P, L2C/A (только ГЛОНАСС М), L2P
 - SBAS: L1C/A, L5
 - Galileo GIOVE-A и GIOVE-B

Дифференциальная кодовая GPS-съёмка¹

В плане 0,25 м + 1 мм/км СКО
 По высоте 0,50 м + 1 мм/км СКО
 Точность дифференциального позиционирования WAAS² обычно <5 м (3 СКО)

Статическая и быстростатическая GPS-съёмка¹

В плане 3 мм + 0,1 мм/км СКО
 По высоте 3,5 мм + 0,4 мм/км СКО

Кинематическая съёмка¹

В плане 10 мм + 1 мм/км СКО
 По высоте 20 мм + 1 мм/км СКО
 Время инициализации³ обычно <10 секунд
 Надежность инициализации⁴ обычно >99,9%

АППАРАТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Физические характеристики

Размеры (Ш×В) 19 см × 11,2 см, включая разъемы
 Вес 1,34 кг, включая внутреннюю батарею, встроенный радиомодем и стандартную УВЧ-антенну.
 3,70 кг весь RTK-ровер, включая батарею, веху, контроллер и кронштейн

Температура⁵

Эксплуатации от -40 до +65 °С

Хранения от -40 до +75 °С

Влажность 100%, с конденсацией

Влаго- и пылезащитенность IP67, защита от временного погружения на глубину 1 м

Ударо- и вибростойкость протестирован и соответствует следующим стандартам по защите от воздействия окружающей среды:

Ударопрочность в выключенном состоянии: выдерживает падение

с веши высотой 2 м на бетон. в рабочем состоянии: до 40 Г, 10 мс, пилообразно

Вибростойкость MIL-STD-810F, FIG 514.5C-1

Электрические характеристики

- Вход внешнего питания 11 – 28 В постоянного тока с защитой от перенапряжения на Порту 1 (7-контактный Lemo)
- Акумуляторная, съемная литий-ионная батарея напряжением 7,4 В и емкостью 2,4 Ач во внутреннем батарейном отсеке. Потребляемая мощность составляет менее 3,2 Вт в режиме RTK-ровера со встроенным радиомодемом. Время работы от внутренней батареи:
 - с модемом 450 МГц только на прием 5,8 ч⁷
 - с модемом 450 МГц на прием и передачу 3,7 ч⁸
 - с GSM/GPRS-модемом 4,1 ч⁷
- Сертификат FCC класс В части 15, 22, 24; GSM/GPRS-модем 850/1900 МГц. Класс 10 GSM/GPRS-модем. Сертификаты CE Mark и C-tick

Связь и хранение данных

- 3-проводной последовательный интерфейс на Порту 1 (7-контактный Lemo). Полный последовательный интерфейс RS-232 на Порту 2 (9-контактный D-sub)
- Полностью интегрированный и герметичный встроенный приемопередающий радиомодем 450 МГц:
 - мощность передачи: 0,5 Вт
 - дальность⁶: 3 – 5 км типовой; 10 км при хороших условиях
- Полностью интегрированный и герметичный встроенный GSM/GPRS-модем⁷
- Полностью интегрированный и герметичный интерфейс связи на частоте 2,4 ГГц (Bluetooth)⁹
- Поддержка сотовых модемов GSM/GPRS/CDPD для работы в сетях RTK и VRS
- Хранение данных во внутренней памяти объемом 57 Мб: 40,7 дня записи данных сырых измерений (около 1,4 Мб в день) от 14 спутников (в среднем) при записи с интервалом 15 секунд
- Позиционирование с интервалами 1 Гц, 2 Гц, 5 Гц, 10 Гц и 20 Гц
- Ввод и вывод CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1
- вывод 16 сообщений NMEA, вывод в форматах GSOFF, RT17 и RT27. Поддержка формата BINEX и сглаживания несущей

¹ Точность и надежность зависят от многолучевости сигналов, наличия препятствий, геометрии спутников и атмосферных условий. Всегда следуйте рекомендуемым инструкциям выполнения геодезической съемки.

² Зависит от состояния систем WAAS/EGNOS.

³ Зависит от атмосферных условий, многолучевости сигналов, наличия препятствий и геометрии спутников.

⁴ Зависит от атмосферных условий, многолучевости сигналов и геометрии спутников. Надежность инициализации непрерывно контролируется для обеспечения максимального качества.

⁵ Приемник сохраняет работоспособность при температуре до -40 °С, минимальная температура эксплуатации встроенных батарей составляет -20 °С.

⁶ Зависит от условий местности и работы.

⁷ Зависит от температуры.

⁸ Зависит от температуры и скорости беспроводной передачи данных.

⁹ Требования разрешений на использование Bluetooth регламентируются

законодательством каждой страны. Обратитесь к региональному авторизованному дистрибьютору продукции Trimble для получения дополнительной информации.

Производитель вправе вносить в спецификацию изменения без предварительного уведомления.



Электронный тахеометр Leica FlexLine TS06

Гибкость имеет значение!

	Угловые измерения (Hz, V)		
	Точность (Ст. отклонение по ISO-17123-3)	2" (0.6 мгон), 3" (1 мгон), 5" (1.5 мгон)	Опционно
	Метод считывания	Абсолютный, непрерывный, диаметральный	
	Индикация на дисплее	0.1" / 0.1 мгон / 0.01 мил	
	Компенсатор	Электронный Четырехосевой, отключаемый	
	Настройка компенсирования	0.5", 1", 1.5"	
	Измерения на отражатель		
	Круглый отражатель GPR1	3 500 м	
	Отражающая пленка (60 мм x 60 мм)	250 м	
	Точность / Время измерения (Ст. отклонение по ISO-17123-4)	Стандарт: 1.5 мм+2 ppm / обычно. 2.4 сек, Быстро: 3 мм+2 ppm / обычно. 0.1 сек, Трекинг: 3 мм+2 ppm / обычно. менее <0.15 сек	
	Безотражательные измерения		
	Расстояние до объекта с 90% отраж. способностью FlexPoint	30 м	
	PinPoint – Power	400 м	Опция
	PinPoint – Ultra	1000 м	Опция
	Точность (Ст. отклонение по ISO-17123-4) / Время измерения	2 мм+2 ppm ² / обычно 3 сек	
	Размер лазерного пятна	На 30 м: примерно 7 мм x 10 мм. На 50 м: примерно. 8 мм x 20 мм	
	Объем памяти / связь		
	Расширенная внутренняя память	Макс: 100 000 точек, Макс: 60 000 измерений	
	USB-флэшка	1 Гб, Скорость передачи до 1 000 точек в секунду	Опция
	Интерфейсы	Серийный порт (от 1 200 до 115 200 бод)	Опции
	Форматы данных	Тип USB: А и мини-В, Bluetooth® GSI / DXF / LandXML / заданные пользователем ASCII-форматы	
	Указатель створа (EGL)		
	Рабочий диапазон в обычных атмосферных условиях:	От 5 до 150 м	Опция
	Точность позиционирования	5 см на 100 м	Опция
	Общие характеристики		
	Зрительная труба		
	Увеличение	30 ^x	
	Разрешающая способность	3"	
	Поле зрения	1°30' (1.66 град) / 2.7 м на расстоянии 100 м	
	Диапазон фокусировки	От 1.7 м до бесконечности	
	Сетка нитей	С подсветкой, 5 уровней яркости	
	Клавиатура и дисплей		
	Дисплей	Графический, 160 x 280 пикселей, с подсветкой, 5 уровней яркости	
	Клавиатура	Буквенно - цифровая Дополнительная клавиатура	Опция
	Операционная система		
	Windows CE	5.0 Core	
	Лазерный отвес		
	Тип	Лазерная точка с пятью уровнями регулирования яркости	
	Точность центрирования	1.5 мм при высоте инструмента 1.5 м	
	Аккумулятор		
	Тип	Литий-ионный	
	Время работы без подзарядки	Около 20 часов ¹	
	Вес		
	Тахеометр с GEB211 и триггером	5.1 Kg	
	Условия окружающей среды		
	Рабочий температурный диапазон	-20°C +50°C Версия Arctic: -35°C + 50°C	Опция
Герметичность по нормам IEC 60529	IP55		
Допустимая влажность	95%, без конденсата		
	ПО FlexField		
	Прикладные программы	Ориентирование и Съемка, Разбивка, Обратная засечка, Передача отметки, Стрительство, Площадь (Плоскость и Поверхность), Расчет объема, Недоступное расстояние (N.M), Отметка недоступных точек, Скрытая точка, Смещения, Опорная линия, Опорная дуга, Опорная плоскость, Координатная геометрия (COGO), Road 2D	
	Прикладные программы	Roadworks 3D, TraversePRO	Опция

¹ Однократные измерения каждые 30 секунд при 25°C с аккумулятором GEB221. Время работы без подзарядки может быть меньшим, если аккумулятор не новый.

² Диапазон >500 м, 4 мм+2 ppm

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.1

(Обязательное)

ОТЧЕТ ПО ОБРАБОТКЕ БАЗОВЫХ ЛИНИЙ

Данные из отчета об уравнивании сетей

Измерение	Тип решения	Точность в плане (Метр)	Точность по высоте (Метр)	Элл. рас- стояние (Метр)
Protochnoe --- Dalniy (B17)	Фиксированное	0.001	0.004	3528.943
Protochnoe --- Figurnoye (B18)	Фиксированное	0.002	0.007	7059.967
Protochnoe --- 2261 (B23)	Фиксированное	0.003	0.013	13985.319
Protochnoe --- 5049 (B28)	Фиксированное	0.004	0.013	13994.650
Protochnoe --- 7389 (B34)	Фиксированное	0.014	0.018	14049.938
2261 --- 0831 (B22)	Фиксированное	0.001	0.001	57.760
2261 --- 5049 (B26)	Фиксированное	0.001	0.001	21.653
0831 --- 5049 (B27)	Фиксированное	0.001	0.001	48.662
Dalniy --- Figurnoye (B16)	Фиксированное	0.001	0.004	3531.025
0831 --- 7389 (B33)	Фиксированное	0.004	0.005	50.258
5049 --- 7389 (B31)	Фиксированное	0.004	0.005	67.982
2261 --- 7389 (B32)	Фиксированное	0.004	0.005	87.587
Dalniy --- 2261 (B24)	Фиксированное	0.003	0.013	14211.278
Dalniy --- 5049 (B29)	Фиксированное	0.004	0.013	14225.160
Figurnoye --- 2261 (B25)	Фиксированное	0.004	0.013	15277.294
Figurnoye --- 5049 (B30)	Фиксированное	0.004	0.014	15294.583
Dalniy --- 7389 (B35)	Фиксированное	0.014	0.018	14288.506
Figurnoye --- 7389 (B36)	Фиксированное	0.014	0.018	15361.865
Dalniy --- 0831 (B20)	Фиксированное	0.004	0.014	14268.841

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.2

(Обязательное)

КОНТРОЛЬ ЗАМЫКАНИЯ ПОЛИГОНОВ

Сторон в полигоне: 3

Число контуров: 26

Число принятых: 23

Число ошибочных: 3

	Длина (Метр)	ΔB плане (Метр)	Δ По выс. (Метр)	РРМ
Критерии пригодности		0.050	0.050	
Наилучшая		0.002	0.000	0.147
Наихудший		0.052	0.084	396.131
Среднее по полигонам	25620.747	0.010	0.018	31.905
Стандартная ошибка	11600.153	0.029	0.012	99.110

Неудачные полигоны

Контур: 0831-5049-7389

Имя вектора	От	До	Время начала	
0831 --> 5049 (V27)	0831	5049	07.10.2015 9:17:15	
5049 --> 7389 (V31)	5049	7389	07.10.2015 9:25:00	
0831 --> 7389 (V33)	0831	7389	07.10.2015 9:25:00	
V27-V31-V33	Длина = 168.236 м	ΔB плане = 0.035 м	Δ По выс. = -0.057 м	РРМ = 396.131

Контур: 0831-2261-7389

Имя вектора	От	До	Время начала	
2261 --> 0831 (V22)	2261	0831	07.10.2015 8:00:30	
2261 --> 7389 (V32)	2261	7389	07.10.2015 9:25:00	
0831 --> 7389 (V33)	0831	7389	07.10.2015 9:25:00	
V22-V32-V33	Длина = 196.517 м	ΔB плане = 0.041 м	$\Delta По$ выс. = -0.055 м	PPM = 348.787

Контур: Dalniy-0831-7389

Имя вектора	От	До	Время начала	
Dalniy --> 0831 (V20)	Dalniy	0831	07.10.2015 8:00:30	
0831 --> 7389 (V33)	0831	7389	07.10.2015 9:25:00	
Dalniy --> 7389 (V35)	Dalniy	7389	07.10.2015 9:25:00	
V20-V33-V35	Длина = 28608.010 м	ΔB плане = 0.052 м	$\Delta По$ выс. = 0.084 м	PPM = 3.463

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.3

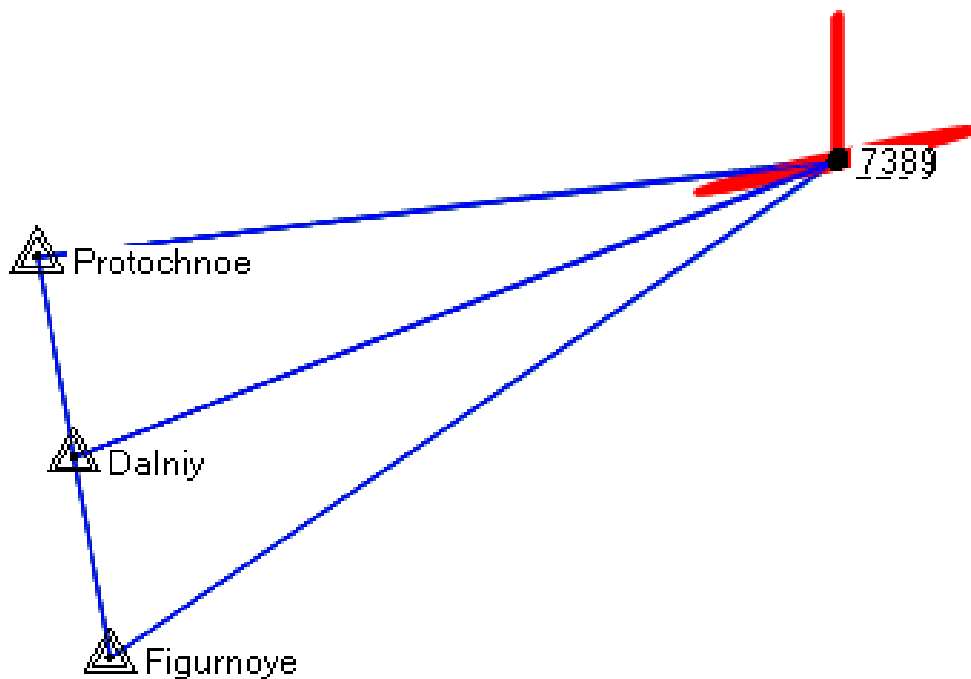
(Обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ УРАВНИВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ.

ВАРИАНТ 1.

Схема сети

(3 зафиксированных пункта исходной сети)



Отчет об уравнивании сети

Ошибки установки

GNSS

Ошибка в высоте антенны: 0.008 м

Ошибка центрирования: 0.008 м

Количество итераций для правильного уравнивания:	3
Опорный коэффициент сети:	0.99
Проверка по критерию Хи-квадрат (95%):	Пройдено
Доверит. вероятность для точности:	95%
Степеней свободы:	41

Уравненные геодезические координаты

Имя точки	Широта	Долгота	Высота (Метр)	Высота, Ошибка (Метр)
0831	N51°24'54.1723934"	E143°39'42.5330005"	149.6933	66.451
2261	N51°24'53.7120202"	E143°39'39.6346053"	156.2324	66.180
5049	N51°24'54.3670295"	E143°39'40.0322896"	157.0451	66.230
7389	N51°24'55.7939750"	E143°39'42.7128440"	147.6052	66.503
Dalniy	N51°22'23.1138300"	E143°28'05.1527000"	25.6210	фикс
Figurnoye	N51°20'30.0523600"	E143°28'31.4842800"	25.2880	фикс
Protochnoe	N51°24'16.0842000"	E143°27'38.5599900"	27.7850	фикс

Компоненты эллипса ошибок

Имя точки	Большая полуось (Метр)	Малая полуось (Метр)	Азимут
0831 (М-1)	0.818	0.034	77°
2261 (М-2)	0.855	0.033	77°
5049 (М-3)	0.860	0.033	78°
7389 (М-4)	0.805	0.033	77°

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.4

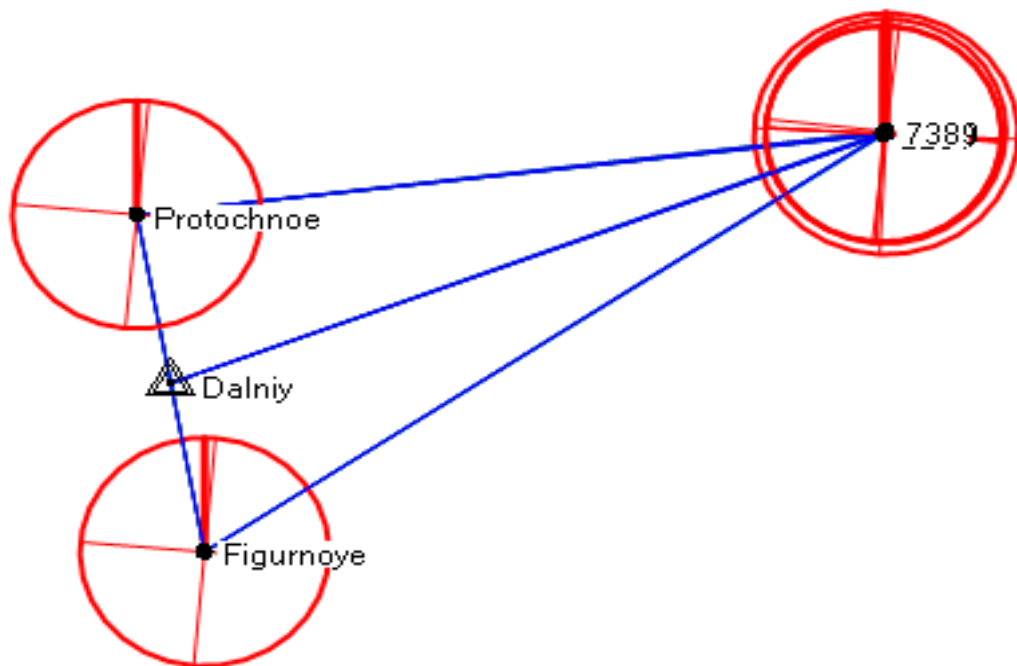
(Обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ УРАВНИВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ.

ВАРИАНТ 2.

Схема сети

(1 зафиксированный пункт)



Отчет об уравнивании сетей

Ошибка в высоте антенны: 0.008 м

Ошибка центрирования: 0.008 м

Статистика по векторам после обработки

Опорный коэффициент: 1.01

Показатель избыточности: 39.00

Априорный скаляр: 1.00

Сравнение опорных координат

Имя точки	Δ Север X (Метр)	Δ Восточное указание (Метр)	Δ Высота (Метр)
Figurnoye	-0.002	-0.001	-0.010
Protochnoe	-0.007	0.001	-0.016

Уравненные геодезические координаты

Имя точки	Широта	Долгота	Высота (Метр)	Высо- та Ошибка (Метр)
0831	N51°24'54.1770890"	E143°39'42.5609941"	72.7197	0.014
2261	N51°24'53.7168941"	E143°39'39.6644534"	79.5744	0.013
5049	N51°24'54.3719327"	E143°39'40.0623588"	80.3294	0.013
7389	N51°24'55.7986606"	E143°39'42.7402370"	70.5736	0.013
Dalniy	N51°22'23.1138300"	E143°28'05.1527000"	25.6210	фикс
Figurnoye	N51°20'30.0524317"	E143°28'31.4843478"	25.2979	0.013
Protochnoe	N51°24'16.0844253"	E143°27'38.5599441"	27.8011	0.013

Компоненты эллипса ошибок

Имя точки	Большая полуось (Метр)	Малая полуось (Метр)	Азимут
0831 (М-1)	0.016	0.016	3°
2261 (М-2)	0.014	0.014	4°
5049 (М-3)	0.014	0.014	3°
7389 (М-4)	0.015	0.014	6°
Figurnoye	0.015	0.015	5°
Protochnoe	0.015	0.015	5°

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(Обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ТРЕХ ЦИКЛОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА 2016-2018 ГГ.

Дата наблюдений: 01.10.2018

Обработка AUSPOS

	UTM 54N GRS80 Ellipsoid, ITRF2014 на эпоху 2018.75				Ортометрическая высота (EGM-2008), м	
№ марки	N, м	СКП	E, м	СКП	H, м	СКП
ВМРТ-В1	15867710.922	0.004	667831.224	0.005	68.112	0.011
ВМРА-В2	15867740.388	0.004	667817.797	0.005	68.095	0.011
ВМРА-SE	15867727.825	0.017	667890.757	0.017	62.782	0.060
ВМРТ-NE	15867760.439	0.008	667877.015	0.008	70.523	0.027
Опорный репер 9120	15855094.603	0.003	656541.754	0.005	6.920	0.008

Вычисление длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом (по данным обработки AUSPOS)

Базовая линия	ΔN , м	ΔE , м	ΔH , м	2D, м	3D, м
ВМРТ-В1 - 9120	12616.319	11289.470	61.192	16929.963	16930.073
ВМРА-В2 - 9120	12645.785	11276.043	61.175	16942.993	16943.104
ВМРА-SE - 9120	12633.222	11349.003	55.862	16982.290	16982.382
ВМРТ-NE - 9120	12665.836	11335.261	63.603	16997.398	16997.517

Обработка TRIMBLE Business Center (данные из отчета мониторингу морских сооружений)

	UTM 54N ITRF2000 на эпоху 2018.75				Ортометрическая высота (EGM-2008), м	
№ марки	N, м	СКП	E, м	СКП	H, м	СКП
ВМРА-В1	5867711.128		667831.042		67.972	
ВМРА-В2	5867740.596		667817.618		67.944	
ВМРТ-SE	5867728.030		667890.567		62.572	
ВМРТ-NE	5867760.646		667876.834		70.378	
Опорный репер 9120	5855094.806		656541.579		6.585	

Вычисление длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом (по данным отчета ежегодного мониторинга)

Базовая линия	ΔN , м	ΔE , м	ΔH , м	2D, м	3D, м
BMPT-B1 - 9120	12616.322	11289.463	61.387	16929.960	16930.072
BMPT-B2 - 9120	12645.790	11276.039	61.359	16942.994	16943.106
BMPT-SE - 9120	12633.224	11348.988	55.987	16982.281	16982.374
BMPT-NE - 9120	12665.840	11335.255	63.793	16997.397	16997.517

Разница значений длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом, вычисленными по данным отчета ежегодного мониторинга и по данным обработки AUSPOS

Длины линий	2D(AUSPOS) - 2D(TBC)	3D(AUSPOS) - 3D(TBC)	Примечание
BMPT-B1 - 9120	0.002	0.002	
BMPT-B2 - 9120	-0.001	-0.002	
BMPT-SE - 9120	0.009	0.008	Наихудшие условия наблюдения на марке
BMPT-NE - 9120	0.001	0.000	

Дата наблюдений: 09.10.2017

Обработка AUSPOS

	UTM 54N GRS80 Ellipsoid, ITRF2014 на эпоху 2017.78				Ортометрическая высота (EGM-2008), м	
№ марки	N, м	СКП	E, м	СКП	H, м	СКП
BMPT-B1	15867710.93	0.008	667831.198	0.008	68.116	0.024
BMPT-B2	15867740.4	0.005	667817.776	0.006	68.085	0.011
BMPT-SE	Отсутствует фиксированное решение					
BMPT-NE	15867760.45	0.011	667876.993	0.01	70.501	0.034
Опорный репер 9120	15855094.61	0.003	656541.724	0.005	6.957	0.008

Вычисление длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом (по данным обработки AUSPOS)

Базовая линия	ΔN , м	ΔE , м	ΔH , м	2D, м	3D, м
BMPT-B1 - 9120	12616.317	11289.474	61.159	16929.964	16930.074
BMPT-B2 - 9120	12645.782	11276.052	61.128	16942.997	16943.107
BMPT-SE - 9120	Отсутствует фиксированное решение				
BMPT-NE - 9120	12665.836	11335.269	63.544	16997.403	16997.522

Обработка TRIMBLE Business Center (данные из отчета мониторингу морских сооружений)

UTM 54N ITRF2000 на эпоху 2017.78					Ортометрическая высота (EGM-2008), м	
№ марки	N, м	СКП	E, м	СКП	H, м	СКП
BMPT-B1	5867711.098		667831.048		67.986	
BMPT-B2	5867740.566		667817.627		67.959	
BMPT-SE	5867727.978		667890.579		62.618	
BMPT-NE	5867760.62		667876.844		70.396	
Опорный репер 9120	5855094.806		656541.579		6.585	

Вычисление длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом (по данным отчета ежегодного мониторинга)

Базовая линия	ΔN , м	ΔE , м	ΔH , м	2D, м	3D, м
BMPT-B1 - 9120	12616.292	11289.469	61.401	16929.942	16930.053
BMPT-B2 - 9120	12645.760	11276.048	61.374	16942.978	16943.089
BMPT-SE - 9120	12633.172	11349.000	56.033	16982.251	16982.343
BMPT-NE - 9120	12665.814	11335.265	63.811	16997.384	16997.504

Разница значений длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом, вычисленными по данным отчета ежегодного мониторинга и по данным обработки AUSPOS

Длины линий	2D(AUSPOS) - 2D(TBC)	3D(AUSPOS) - 3D(TBC)	Примечание
BMPT-B1 - 9120	0.022	0.021	
BMPT-B2 - 9120	0.019	0.018	
BMPT-SE - 9120			Отсутствует фиксированное решение по AUSPOS
BMPT-NE -	0.019	0.018	

9120			
------	--	--	--

Дата наблюдений: 07.10.2016

Обработка AUSPOS

	UTM 54N GRS80 Ellipsoid, ITRF2014 на эпоху 2016.77				Ортометрическая высота (EGM-2008), м	
№ марки	N, м	СКП	E, м	СКП	H, м	СКП
ВМРТ-В1	15867710.948	0.005	667831.180	0.006	68.109	0.012
ВМРА-В2	15867740.409	0.005	667817.758	0.006	68.091	0.011
ВМРА-SE	15867726.123	2.018	667891.902	12.509	79.897	23.533
ВМРТ-NE	15867760.475	0.009	667876.981	0.009	70.550	0.025
Опорный репер 9120	15855094.642	0.003	656541.724	0.005	6.936	0.008

Вычисление длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом (по данным обработки AUSPOS)

Базовая линия	ΔN , м	ΔE , м	ΔH , м	2D, м	3D, м
ВМРТ-В1 - 9120	12616.306	11289.456	61.173	16929.944	16930.054
ВМРА-В2 - 9120	12645.767	11276.034	61.155	16942.974	16943.084
ВМРА-SE - 9120	Отсутствует фиксированное решение				
ВМРТ-NE - 9120	12665.833	11335.257	63.614	16997.393	16997.512

Обработка TRIMBLE Business Center (данные из отчета мониторингу морских сооружений)

	UTM 54N ITRF2000 на эпоху 2016.77				Ортометрическая высота (EGM-2008), м	
№ марки	N, м	СКП	E, м	СКП	H, м	СКП
ВМРА-В1	5867711.098		667831.048		67.986	
ВМРА-В2	5867740.566		667817.627		67.959	
ВМРТ-SE	5867727.978		667890.579		62.618	
ВМРТ-NE	5867760.62		667876.844		70.396	
Опорный репер 9120	5855094.806		656541.579		6.585	

Вычисление длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом (по данным отчета ежегодного мониторинга)

Базовая линия	ΔN , м	ΔE , м	ΔH , м	2D, м	3D, м
BMPT-B1 - 9120	12616.292	11289.469	61.401	16929.942	16930.053
BMPT-B2 - 9120	12645.760	11276.048	61.374	16942.978	16943.089
BMPT-SE - 9120	12633.172	11349.000	56.033	16982.251	16982.343
BMPT-NE - 9120	12665.814	11335.265	63.811	16997.384	16997.504

Разница значений длин базовых линий между деформационными марками и исходным пунктом, вычисленными по данным отчета ежегодного мониторинга и по данным обработки AUSPOS

Длины линий	2D(AUSPOS) - 2D(TBC)	3D(AUSPOS) - 3D(TBC)	Примечание
BMPT-B1 - 9120	0.002	0.001	
BMPT-B2 - 9120	-0.004	-0.005	
BMPT-SE - 9120			Отсутствует фиксированное решение по AUSPOS
BMPT-NE - 9120	0.009	0.008	

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(Справочное)

КОПИЯ ОТЧЕТА AUSPOS ПО ОБРАБОТКЕ ЦИКЛА ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ ЗА
2018 ГОД

AUSPOS GPS Processing Report

March 25, 2019

This document is a report of the GPS data processing undertaken by the AUSPOS Online GPS Processing Service (version: AUSPOS 2.3) . The AUSPOS Online GPS Processing Service uses International GNSS Service (IGS) products (final, rapid, ultra-rapid depending on availability) to compute precise coordinates in International Terrestrial Reference Frame (ITRF) anywhere on Earth and Geocentric Datum of Australia (GDA) within Australia. The Service is designed to process only dual frequency GPS phase data.

An overview of the GPS processing strategy is included in this report.

Please direct any correspondence to geodesy@ga.gov.au

Geoscience Australia
Cnr Jerrabomberra and Hindmarsh Drive
GPO Box 378, Canberra, ACT 2601, Australia
Freecall (Within Australia): 1800 800 173
Tel: +61 2 6249 9111. Fax +61 2 6249 9929
Geoscience Australia
Home Page: <http://www.ga.gov.au>

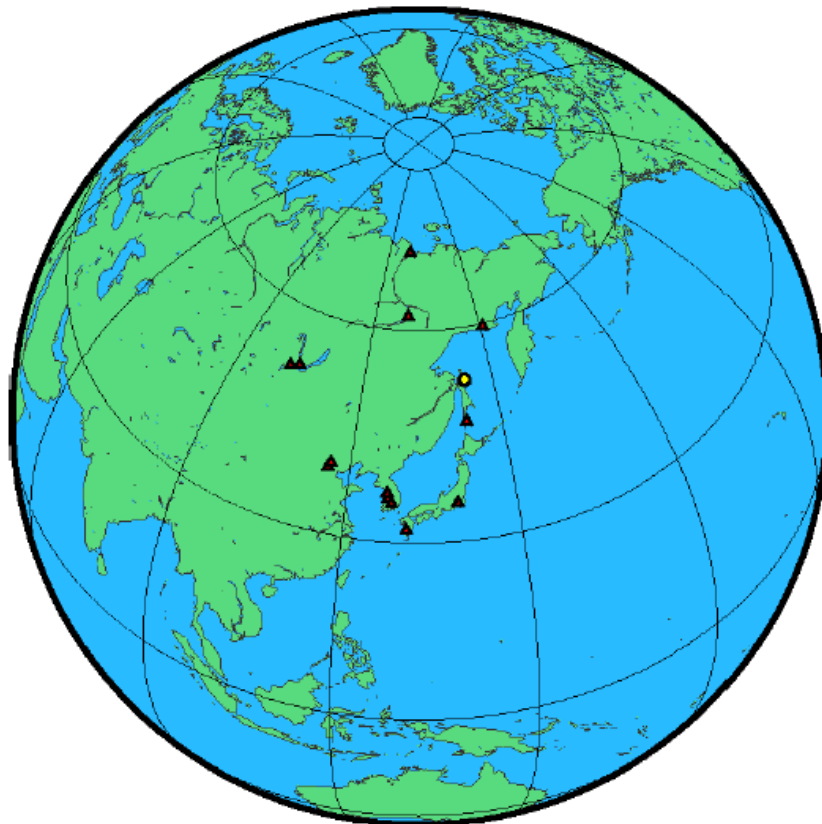


1 User Data

All antenna heights refer to the vertical distance from the Ground Mark to the Antenna Reference Point (ARP).

Station (s)	Submitted File	Antenna Type	Antenna Height (m)	Start Time	End Time
0831	08312740.18o	NONE NONE	0.042	2018/10/01 21:41:00	2018/10/03 00:01:00
1762	17622740.18o	NONE NONE	1.577	2018/10/01 01:55:30	2018/10/02 01:49:00
2261	22612740.18o	NONE NONE	0.042	2018/10/01 21:26:00	2018/10/03 00:10:30
5049	50492741.18o	NONE NONE	0.042	2018/10/01 22:02:00	2018/10/02 02:50:30
7389	73892740.18o	NONE NONE	0.042	2018/10/01 21:29:30	2018/10/03 00:15:00
7415	74152740.18o	NONE NONE	1.101	2018/10/01 02:45:30	2018/10/03 00:39:00
9120	18582741.18o	NONE NONE	1.782	2018/10/01 00:47:30	2018/10/03 02:15:00

2 Processing Summary



Date	User Stations	Reference Stations	Orbit Type
2018/10/01 00:47:30	0831 1762 2261 5049 7389 7415 9120	AIRA BADG BJFS BJNM DAEJ GAMG IRKJ KGNI MAGO MTKA OSN3 TIXI YAKT YSSK	IGS final



3 Computed Coordinates, ITRF2014

All coordinates are based on the IGS realisation of the ITRF2014 reference frame. All the given ITRF2014 coordinates refer to a mean epoch of the site observation data. All coordinates refer to the Ground Mark.

3.1 Cartesian, ITRF2014

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	ITRF2014 @
0831	-3096932.825	2291772.326	5066110.780	01/10/2018
1762	-3105477.186	2313181.255	5051154.447	01/10/2018
2261	-3096882.599	2291825.331	5066124.118	01/10/2018
5049	-3096907.865	2291769.531	5066136.893	01/10/2018
7389	-3096909.169	2291829.575	5066106.098	01/10/2018
7415	-3108153.897	2315421.845	5048502.575	01/10/2018
9120	-3097731.760	2307021.095	5058675.255	01/10/2018
AIRA	-3530185.826	4118797.214	3344036.718	01/10/2018
BADG	-838282.032	3865777.333	4987624.576	01/10/2018
BJFS	-2148744.511	4426641.174	4044655.808	01/10/2018
BJNM	-2154287.737	4373439.986	4098885.598	01/10/2018
DAEJ	-3120042.377	4084614.698	3764026.791	01/10/2018
GAMG	-3191607.921	4096899.814	3691839.213	01/10/2018
IRKJ	-968328.935	3794426.512	5018167.200	01/10/2018
KGNI	-3941949.587	3368155.975	3702214.879	01/10/2018
MAGO	-2825810.555	1581232.913	5477005.340	01/10/2018
MTKA	-3947763.146	3364399.477	3699428.523	01/10/2018
OSN3	-3068341.175	4066863.836	3824756.877	01/10/2018
TIXI	-1264873.474	1569455.765	6031003.401	01/10/2018
YAKT	-1914999.247	2308241.463	5610225.501	01/10/2018
YSSK	-3465321.170	2638269.297	4644085.306	01/10/2018

3.2 Geodetic, GRS80 Ellipsoid, ITRF2014

Geoid-ellipsoidal separations, in this section, are computed using a spherical harmonic synthesis of the global EGM2008 geoid. More information on the EGM2008 geoid can be found at <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>.



Station	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Ellipsoidal Height(m)	Derived Above Geoid Height(m)
0831	52 55 58.45234	143 29 53.00290	80.773	62.782
1762	52 42 40.30783	143 19 07.05562	21.774	3.845
2261	52 55 58.94064	143 29 49.12225	86.085	68.095
5049	52 55 59.52229	143 29 52.32832	88.514	70.523
7389	52 55 57.97283	143 29 49.78583	86.102	68.112
7415	52 40 18.63480	143 18 56.52292	24.854	6.914
9120	52 49 22.28814	143 19 23.79324	24.811	6.920
AIRA	31 49 26.61299	130 35 58.54653	314.635	282.779
BADG	51 46 10.93595	102 14 05.95943	811.427	850.195
BJFS	39 36 30.95983	115 53 32.96491	87.455	97.496
BJNM	40 14 43.16634	116 13 26.87459	109.117	118.577
DAEJ	36 23 57.93835	127 22 28.14240	116.843	91.830
GAMG	35 35 24.25318	127 55 10.77949	927.955	900.287
IRKJ	52 13 08.47120	104 18 58.27449	502.049	540.491
KGNI	35 42 37.23092	139 29 17.25741	123.627	85.705
MAGO	59 34 32.70538	150 46 12.08517	361.838	345.065
MTKA	35 40 46.25341	139 33 41.00741	109.053	71.788
OSN3	37 04 57.68084	127 02 00.91489	64.448	40.935
TIXI	71 38 04.09958	128 51 59.13710	47.086	53.940
YAKT	62 01 51.45052	129 40 49.10898	103.404	108.870
YSSK	47 01 47.04016	142 43 00.20156	91.298	66.097



3.3 UTM Grid, GRS80 Ellipsoid, ITRF2014

Station	East (m)	North (m)	Zone	Ellipsoidal Height (m)	Derived Above Geoid Height(m)
0831	667890.757	15867727.825	54	80.773	62.782
1762	656628.857	15842666.309	54	21.774	3.845
2261	667817.797	15867740.388	54	86.085	68.095
5049	667877.015	15867760.439	54	88.514	70.523
7389	667831.224	15867710.922	54	86.102	68.112
7415	656572.013	15838283.357	54	24.854	6.914
9120	656541.754	15855094.603	54	24.811	6.920
AIRA	651387.016	13522048.760	52	314.635	282.779
BADG	309225.252	15739041.828	48	811.427	850.195
BJFS	404924.642	14384902.980	50	87.455	97.496
BJNM	434009.403	14455275.032	50	109.117	118.577
DAEJ	354232.613	14029479.481	52	116.843	91.830
GAMG	402128.315	13939019.852	52	927.955	900.287
IRKJ	453285.610	15785618.999	48	502.049	540.491
KGNI	363236.838	13952875.262	54	123.627	85.705
MAGO	374043.513	16606279.156	56	361.838	345.065
MTKA	369814.603	13949356.284	54	109.053	71.788
OSN3	325216.541	14105854.304	52	64.448	40.935
TIXI	495302.709	17948166.908	52	47.086	53.940
YAKT	535596.059	16877815.609	52	103.404	108.870
YSSK	630441.050	15209898.368	54	91.298	66.097



3.4 Positional Uncertainty (95% C.L.) - Geodetic, ITRF2014

Station	Longitude(East) (m)	Latitude(North) (m)	Ellipsoidal Height(Up) (m)
0831	0.017	0.017	0.060
1762	0.005	0.005	0.011
2261	0.005	0.004	0.011
5049	0.008	0.008	0.027
7389	0.005	0.004	0.011
7415	0.005	0.004	0.008
9120	0.005	0.003	0.008
AIRA	0.006	0.004	0.013
BADG	0.005	0.003	0.008
BJFS	0.004	0.003	0.007
BJNM	0.005	0.003	0.007
DAEJ	0.004	0.003	0.007
GAMG	0.005	0.003	0.007
IRKJ	0.005	0.003	0.007
KGNI	0.005	0.004	0.010
MAGO	0.005	0.003	0.007
MTKA	0.005	0.003	0.008
OSN3	0.005	0.003	0.007
TIXI	0.004	0.004	0.008
YAKT	0.004	0.003	0.007
YSSK	0.005	0.003	0.007



4 Ambiguity Resolution - Per Baseline

Baseline	Ambiguities Resolved	Baseline Length (km)
GAMG - OSN3	96.6 %	183.750
BJFS - BJNM	96.1 %	76.171
7415 - 9120	100.0 %	16.813
KGNI - MTKA	98.1 %	7.461
DAEJ - OSN3	93.9 %	81.708
5049 - 7389	95.0 %	0.068
0831 - 7389	70.8 %	0.062
BJFS - GAMG	96.8 %	1149.249
2261 - 9120	100.0 %	16.945
OSN3 - YSSK	88.8 %	1694.041
BADG - IRKJ	89.6 %	151.446
BJFS - IRKJ	96.9 %	1655.536
AIRA - OSN3	74.0 %	668.647
GAMG - MTKA	94.6 %	1052.799
MAGO - YAKT	96.4 %	1172.973
1762 - 7415	100.0 %	4.384
MAGO - YSSK	95.3 %	1489.985
9120 - YSSK	97.1 %	645.548
2261 - 7389	100.0 %	0.032
TIXI - YAKT	93.5 %	1070.291
AVERAGE	93.7%	556.895

Please note for a regional solution, such as used by AUSPOS, ambiguity resolution success rate of 50% or better for a baseline formed by a user site indicates a reliable solution.



5 Computation Standards

5.1 Computation System

Software	Bernese GNSS Software Version 5.2.
GNSS system(s)	GPS only.

5.2 Data Preprocessing and Measurement Modelling

Data preprocessing	Phase preprocessing is undertaken in a baseline by baseline mode using triple-differences. In most cases, cycle slips are fixed by the simultaneous analysis of different linear combinations of L1 and L2. If a cycle slip cannot be fixed reliably, bad data points are removed or new ambiguities are set up. A data screening step on the basis of weighted postfit residuals is also performed, and outliers are removed.
Basic observable	Carrier phase with an elevation angle cutoff of 7° and a sampling rate of 3 minutes. However, data cleaning is performed a sampling rate of 30 seconds. Elevation dependent weighting is applied according to $1/\sin(e)^2$ where e is the satellite elevation.
Modelled observable	Double differences of the ionosphere-free linear combination.
Ground antenna phase centre calibrations	IGS14 absolute phase-centre variation model is applied.
Tropospheric Model	A priori model is the GMF mapped with the DRY-GMF.
Tropospheric Estimation	Zenith delay corrections are estimated relying on the WET-GMF mapping function in intervals of 2 hour. N-S and E-W horizontal delay parameters are solved for every 24 hours.
Tropospheric Mapping Function	GMF
Ionosphere	First-order effect eliminated by forming the ionosphere-free linear combination of L1 and L2. Second and third effect applied.
Tidal displacements	Solid earth tidal displacements are derived from the complete model from the IERS Conventions 2010, but ocean tide loading is not applied.
Atmospheric loading	Applied
Satellite centre of mass correction	IGS14 phase-centre variation model applied
Satellite phase centre calibration	IGS14 phase-centre variation model applied
Satellite trajectories	Best available IGS products.
Earth Orientation	Best available IGS products.



5.3 Estimation Process

Adjustment	Weighted least-squares algorithm.
Station coordinates	Coordinate constraints are applied at the Reference sites with standard deviation of 1mm and 2mm for horizontal and vertical components respectively.
Troposphere	Zenith delay parameters and pairs of horizontal delay gradient parameters are estimated for each station in intervals of 2 hours and 24 hours.
Ionospheric correction	An ionospheric map derived from the contributing reference stations is used to aid ambiguity resolution.
Ambiguity	Ambiguities are resolved in a baseline-by-baseline mode using the Code-Based strategy for 180-6000km baselines, the Phase-Based L5/L3 strategy for 18-200km baselines, the Quasi-Ionosphere-Free (QIF) strategy for 18-2000km baselines and the Direct L1/L2 strategy for 0-20km baselines.

5.4 Reference Frame and Coordinate Uncertainty

Terrestrial reference frame	IGS14 station coordinates and velocities mapped to the mean epoch of observation.
Australian datums	GDA2020 and GDA94.
Derived AHD	For stations within Australia, AUSGeoid2020 (V20180201) is used to compute AHD. AUSGeoid2020 is the Australia-wide gravimetric quasigeoid model that has been a posteriori fitted to the AHD. For reference, derived AHD is always determined from the GDA2020 coordinates. In the GDA94 section of the report, AHD values are assumed to be identical to those derived from GDA2020.
Above-geoid heights	Earth Gravitational Model EGM2008 released by the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) EGM Development Team is used to compute above-geoid heights. This gravitational model is complete to spherical harmonic degree and order 2159, and contains additional coefficients extending to degree 2190 and order 2159.
Coordinate uncertainty	Coordinate uncertainty is expressed in terms of the 95% confidence level for GDA94, GDA2020 and ITRF2014. Uncertainties are scaled using an empirically derived model which is a function of data span, quality and geographical location.