

УДК [629.783:528]:621.643

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-28-42

## МОНИТОРИНГ НАДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ПОМОЩЬЮ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

*Андрей Сергеевич Елизаров*

АО «Мессояханефтегаз», 625048, Россия, г. Тюмень, ул. 50 лет Октября, 8Б, главный специалист, e-mail: Elizarov.AS@tmn.gazprom-neft.ru

*Анна Николаевна Курчатова*

АО «Мессояханефтегаз», 625048, Россия, г. Тюмень, ул. 50 лет Октября, 8Б, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, e-mail: Kurchatova.AN@tmn.gazprom-neft.ru

Рассмотрены перспективы применения глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга надземных трубопроводов в труднодоступных арктических районах. Выполнен анализ существующих методик режимных наблюдений на напорном нефтепроводе Восточно-Мессояхского месторождения протяженностью 100 км, расположенного в южной части Гыданского полуострова. Проведено сравнение геометрического нивелирования и альтернативных методов измерения деформаций на линейных объектах в тундровой зоне. Разработан и апробирован метод измерения высотных отметок с применением глобальных навигационных спутниковых систем для определения деформаций свайных опор надземного трубопровода, состоящий из двух этапов: 1) создание каркаса высотной сети линейного объекта по грунтовым реперам от референцной станции; 2) определение высот деформационных марок методом RTK. На конкретных примерах показана возможность применения спутникового нивелирования для контроля развития опасных экзогенных геологических процессов и рекультивации нарушенных участков.

**Ключевые слова:** глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), метод RTK, радиолокационная интерферометрия, лазерное сканирование, геометрическое нивелирование, геотехнический мониторинг, надземный нефтепровод, вечномёрзлые грунты (ВМГ).

### *Введение*

Появление новых технологий приводит как к расширению области их применения, так и к изменению подхода к выполнению геодезических работ. Спутниковые технологии наиболее перспективны в решении задач пространственной навигации: совершенствуются программы обработки спутниковых данных, международная земная отсчетная основа (ITRF2014) [1], увеличиваются группировки спутников. В настоящее время на территории России осуществляется проект глобальной спутниковой системы связи «Сфера», предназначенной для дистанционного зондирования Земли, телефонной связи, интернета, мониторинга транспорта и беспилотных аппаратов, в рамках проекта запланирован запуск более 600 малых спутников связи и дистанционного зондирования Земли; проходит поэтапная интеграция сетей Государственной геодезической сети в международную систему ITRF, что в дальнейшем образует единую Международную геодезическую сеть высокой точности. Это позволит решать научные и практические задачи геодинамики, геофизики, геологии, моделирования атмосферных процес-

сов, промышленного освоения территорий, то есть самых различных областей знаний и экономики, требующих точного пространственного позиционирования.

Трубопроводный транспорт является сложной системой, безопасное функционирование которой регламентировано законодательными и нормативными документами различного уровня: от федеральных законов до отраслевых стандартов, определяющих, в том числе, необходимость контроля пространственного положения линейного объекта. Изменение географии добычи нефти ведет к расширению трубопроводной сети на территорию распространения вечномерзлых грунтов, где процесс строительства магистральных и напорных нефтепроводов регулируется строительными правилами (СП). СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» [2] определяет требования к проектированию фундаментов и оснований инженерных сооружений на основе двух принципов использования ВМГ для наземных трубопроводов. Принцип I – использование грунта в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации. Принцип II – использование грунта в оттаявшем или оттаивающем состоянии. На этапе проектирования, независимо от выбора принципа использования ВМГ, разрабатывается программа режимных наблюдений за состоянием грунтов оснований и фундаментов, в том числе, за их температурой и деформациями как в процессе строительства, так и в период эксплуатации сооружений – геотехнический мониторинг.

В представленной работе на примере геотехнического мониторинга напорного нефтепровода Восточно-Мессояхского месторождения рассматриваются альтернативные методы определения деформаций опор свайного фундамента, приводится сравнительный анализ их эффективности в производстве.

### ***Физико-географическая характеристика района***

Трасса напорного нефтепровода проходит по территории Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области в южной части Гыданского полуострова, ближайший населенный пункт – п. Тазовский – расположен в 70 км от трассы на юго-запад (рис. 1). Дорожная сеть присутствует в виде зимних автомобильных дорог IV категории от федеральной трассы в направлении на северо-восток на Пяяхинское, Западно-Мессояхское, Восточно-Мессояхское месторождения. Проезд возможен при наличии вездеходной техники, а в зимний период – по временным автозимникам.

Климат территории характеризуется продолжительной и суровой зимой: лето короткое, но теплое, поздние весенние и ранние осенние заморозки. По данным метеостанции Тазовский, среднегодовая температура воздуха минус 9,1 °С, среднемесячная температура воздуха наиболее холодного месяца (январь) – минус 27,0 °С, а самого теплого (июль) – 14,0 °С. Средняя продолжительность безморозного периода – 85 дней; продолжительность периода с отрицательной температурой – до 288 суток. Дата перехода средних суточных температур через 0 °С – 31 мая и 1 октября. Рассматриваемый район относится к зоне избыточного ув-

лажнения. Осадков за год выпадает 363 мм, за теплый период осадков выпадает больше, чем за холодный. Среднее количество дней с осадками – 190. Средняя дата образования устойчивого снежного покрова – 8 октября, его разрушение – 30 мая. Среднемноголетняя максимальная высота снежного покрова – 60 см на открытом пространстве.

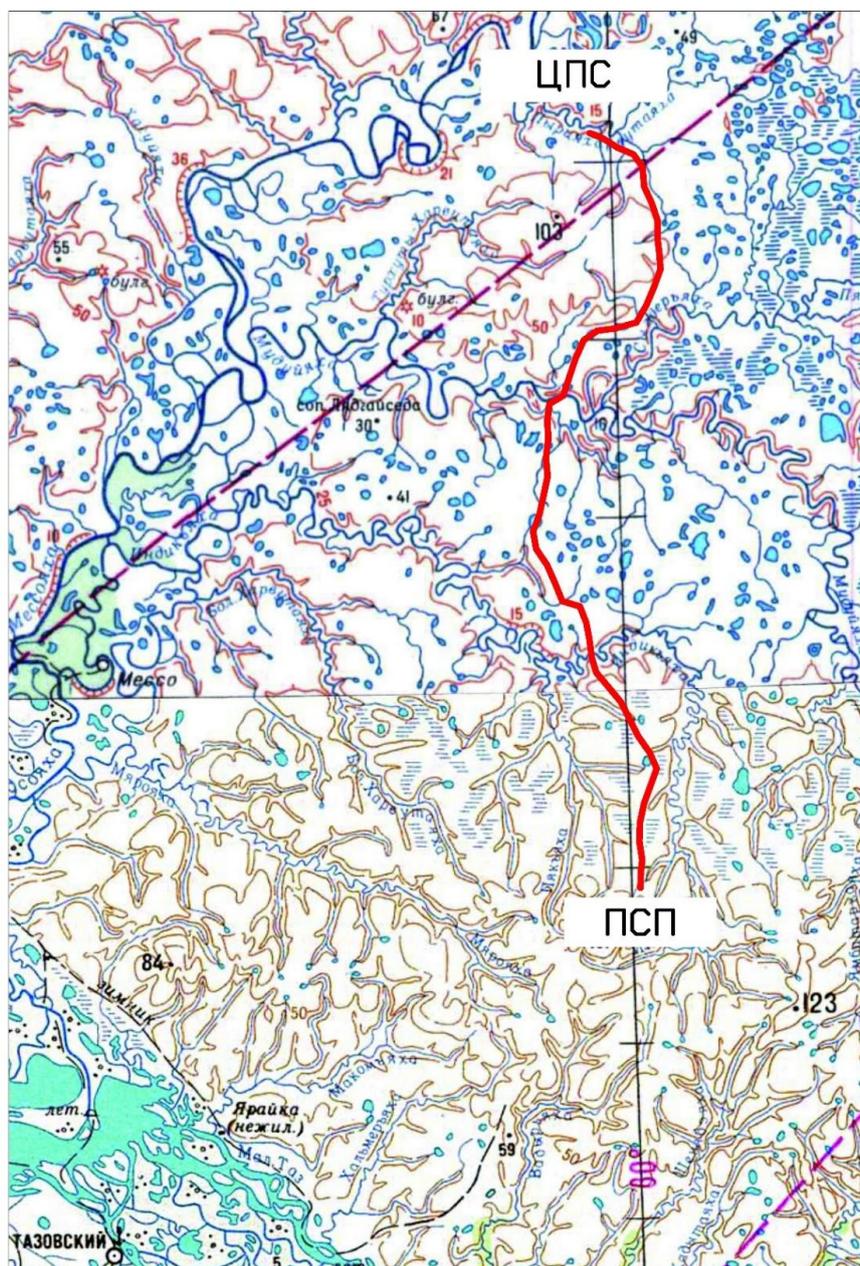


Рис. 1. Ситуационный план напорного нефтепровода Восточно-Мессояхского месторождения

В геоморфологическом отношении территория трассы приурочена к Мессояхской низменности и представляет собой пологоволнистую и плоскую озерно-аллювиальную равнину с абсолютными отметками земной поверхно-

сти 30–60 м. Геокриологические условия трассы нефтепровода характеризуются сплошным развитием вечномерзлых грунтов сливающегося типа. Среднегодовая температура грунтов колеблется в интервале от минус 2 до минус 4 °С. Грунты представлены торфом сильнольдистым, супесями и суглинками от слабольшдистых до льдистых, песками мелкими слабольшдистыми. Для территории характерно развитие разнообразных криогенных процессов – термоэрозия, термокарст, криогенное пучение, солифлюкция, подтопление и заболачивание, воздействие которых на грунты основания нефтепровода может значительно снизить их несущую способность и привести к аварийным ситуациям.

### *Геотехнический мониторинг напорного нефтепровода*

На Восточно-Мессояхском лицензионном участке в 2016 г. введен в эксплуатацию «Напорный нефтепровод ЦПС Восточно-Мессояхского месторождения – ПСП» надземной конструкции со свайным фундаментом протяженностью 100 км от пункта добычи до пункта сдачи в ПАО «Транснефть». Свайные фундаменты построены из стальных труб диаметром 219 мм (длина в грунте 7 790 и 9 790 мм) и диаметром 325 мм (длина в грунте 7 480 и 8 780 мм). На участках развития грунтов, не обеспечивающих устойчивость свай против сил морозного пучения, а также в местах размещения опор балочных переходов проектом предусмотрена установка одиночных вертикальных и наклонных термостабилизаторов.

Вдоль всей трассы напорного трубопровода построена геотехническая наблюдательная сеть:

- грунтовые реперы расположены через 2 км по длине трассы, 50 шт.;
- деформационные марки расположены на каждой свае опор фундамента, 12 495 шт.;
- термометрические скважины расположены через 50 м, 1 946 шт. глубиной 11 м, на участках водных переходов – 121 шт. глубиной 15 м.

Проектным институтом разработана программа выполнения геотехнического мониторинга, на основании СП 25.13330.2012 принят II класс точности измерения деформаций. Согласно ГОСТ 24846–2012 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» [3] точность измерения вертикальных деформаций II класса – 2 мм – может быть достигнута классическими методами:

- точным геометрическим нивелированием III класса и выше (I и II классы точности);
- точным тригонометрическим нивелированием.

Программой работ установлена периодичность измерений:

- в начальный период эксплуатации рекомендуется выполнять инструментальные замеры два раза в год: в периоды максимально высоких температур грунта (сентябрь – октябрь) и минимальных температур грунта (апрель – май);

– в дальнейшем, после стабилизации температурного режима грунтов – один раз в пять лет;

– обнаружение вертикальных деформаций является основанием для увеличения периодичности замеров до двух и более раз в год (одновременно с термокаротажем скважин).

Основными факторами, определяющими устойчивость оснований и фундаментов, являются состав и физико-механические свойства грунтов, способ, глубина и качество погружения свай, температура грунтов в диапазоне глубины заложения свай, глубина слоя сезонного оттаивания. Основными критериями диагностики состояния грунтов оснований опор нефтепровода являются соответствие их теплового режима проектному и обеспечение несущей способности основания и фундаментов.

В качестве основного численного критерия надежности грунтов оснований использовано значение средней температуры грунта по глубине заложения свайного фундамента в вечномёрзлых грунтах. Данный критерий является превентивным источником информации о негативных процессах, развитие которых может привести к отказу оснований и росту деформаций. Для рассматриваемого сооружения измеренные в период эксплуатации температуры грунтов, средние в интервале 3–10 м, должны быть не выше минус 2,3 °С.

В качестве критерия надежности опор нефтепровода использованы «относительные деформации». Проектным институтом также выполнен расчет допустимых значений предельных деформаций в период эксплуатации в соответствии с технологическими требованиями –  $\pm 100$  мм. В большинстве случаев причинами деформаций являются не предусмотренные проектом изменения геокриологических условий после строительства инженерного сооружения: увеличение глубины оттаивания вследствие изменения состава грунтов деятельного слоя и ликвидации напочвенных покровов, что резко увеличивает касательные силы морозного пучения и приводит к сезонному и многолетнему выпучиванию свайных фундаментов, а также повышению температуры и неравномерным деформациям льдистых грунтов основания.

### ***Анализ методики режимных наблюдений на линейном объекте***

Как уже отмечалось, устойчивость сооружений на вечномёрзлых грунтах, построенных по I принципу, определяется согласно СП 25.13330.2012 обеспечением проектного температурного режима грунтов на весь период эксплуатации. Контроль температуры грунтов оснований выполняется на основании режимных замеров в наблюдательных термометрических скважинах, количество которых должно быть не менее 2 % от общего числа свай. Однако, напорный нефтепровод – это линейный объект, температурные скважины находятся на расстоянии 50 м друг от друга, в то время как свайные опоры расставлены через 18 м. Следует также отметить высокую неоднородность верхней части разреза вечномёрзлых грунтов и значительный разброс физико-механических характе-

ристик грунтов как в плане, так и по глубине. Таким образом, температурный разрез, построенный по данным режимных измерений, может не отражать всю полноту информации, необходимой для оценки состояния сооружения (рис. 2).

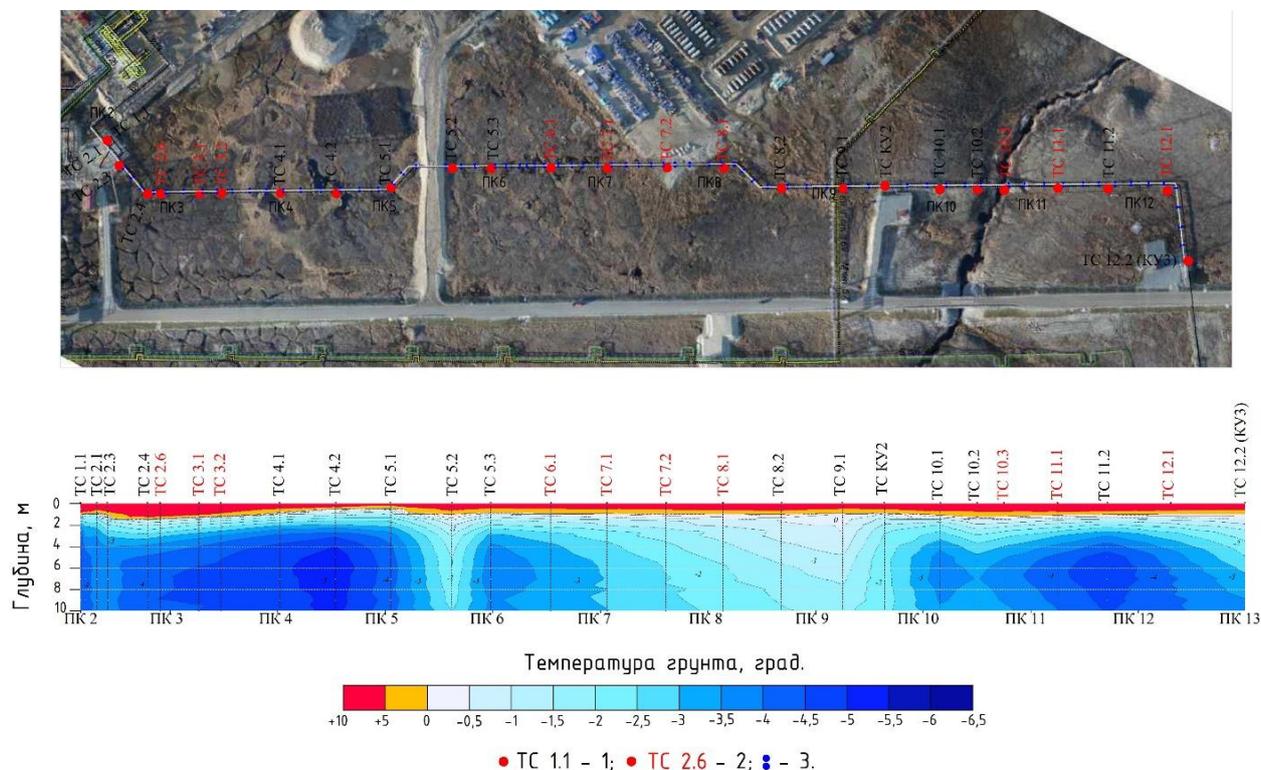


Рис. 2. Ситуационный план (вверху) и температурный разрез грунтов основания (внизу) участка напорного нефтепровода КУ1–КУ3:

1 – термометрическая скважина, измерение температур проведено; 2 – термометрическая скважина, измерение температур не проводилось; 3 – местоположение деформационных марок на свайной опоре

Кроме того, в соответствии с ГОСТ 25358-2012 «Метод полевого определения температуры» [4], для получения кондиционных результатов время выдержки гирлянды датчиков в скважине перед проведением измерений составляет до 2 ч для набора температуры окружающей среды. Учитывая протяженность нефтепровода и ограниченность количества термометрического оборудования, выполнение замеров в автономных условиях превращается в полноценную экспедицию.

Следует отметить, что проектные значения  $\pm 100$  мм – это максимально допустимые деформации между ближайшими сваями; стабилизация положения фундамента в начальный период эксплуатации занимает от 2 до 5 лет. Согласно ГОСТ 24846–2012 установлены параметры точности II класса (2 мм), а в соответствии с таблицей № 3 «Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования» эта точность определена для измерения

деформаций отдельных зданий и промышленных площадных объектов, то есть при значительном количестве точек нивелирования на коротких расстояниях. Для линейного объекта протяженностью 100 км такие условия не приемлемы, так как замыкание нивелировочного хода/полигона корректнее считать от пройденного расстояния, а не от количества штативов.

Установленные параметры точности, продиктованные проектно-технической документацией напорного нефтепровода, достижимы, но учитывая сложность полевых работ в автономных условиях, потребуются серьезная техническая база и значительные финансовые затраты. Существует объективная специфика выполнения геодезических работ на линейном объекте в Арктике, прежде всего это касается климата и существования вечной мерзлоты:

- для установки штатива в неподвижное положение на заболоченных моховых участках арктической тундры металлические костыли забиваются в мерзлоту на 10–30 см, а после проведения измерений на станции их необходимо извлечь для последующего использования;

- выполнение работы цифровыми и оптическими приборами при сильном ветре, высокой влажности, плохой видимости, метели, высокой солнечной активности запрещены, так как такие измерения несут большие ошибки и приравниваются к браку;

- использование цифровых и оптических приборов для проведения точных измерений при отрицательных температурах возможно до минус 20 °С.

В таких условиях работы возникает большая зависимость от погоды, транспорта, профессиональной квалификации исполнителей, включая их физическую подготовку. Для выполнения геодезических измерений с указанным объемом работ в течение ограниченного по времени методикой геолого-технических мероприятий срока – 1 месяц, необходимо организовать две бригады по семь человек в каждой, четыре единицы вездеходной техники, оснащенные средствами безопасности, связи и организации быта в полевых условиях.

При анализе предельно допустимых значений и точности определения высотного положения деформационных марок фундаментных конструкций на заболоченной тундровой поверхности возникает вопрос об эффективности и экономической целесообразности достижения точности измерений 2 мм для выявления деформаций в пределах и более 100 мм. Увеличение допуска по точности в 10 раз оправдывает и цель, и средства ее достижения, что дает возможность использовать инновационные методы и приборы, с помощью которых производство работ будет менее затратным в отличие от классических геодезических методов. Такую точность и выше возможно получить с помощью современных технологий: спутникового нивелирования, лазерного сканирования, радиолокационной интерферометрической съемки. Однако в случае выявления предельных деформаций циклы наблюдений необходимо увеличивать и применять нивелирование геометрическим способом. Проведение работ по измерению деформаций на участках мостовых переходов, крановых узлах также следует выполнять геометрическим либо тригонометрическим нивелированием.

## Альтернативные методы измерения деформаций

### 1. Лазерное сканирование.

Лазерное сканирование, мобильное лазерное сканирование являются наиболее затратными способами наблюдений по следующим причинам:

- высокая стоимость оборудования (сканер, программное обеспечение, мощные графические станции);
- организация полевой работы с применением лазерного сканера в условиях Арктики;
- необходимость геодезических измерений по грунтовым реперам;
- высокая квалификация и опытность персонала при проведении полевых работ в арктических условиях;
- временной период камеральной обработки протяженных линейных объектов – не менее 1 месяца.

### 2. Радиолокационная интерферометрическая съемка.

Интерферометрические измерения проводятся с использованием парных снимков территории, полученных со смещением положения сенсора. Принципиальное преимущество дифференциальной радиолокационной интерферометрии перед другими методами мониторинга вертикальных и плановых деформаций – это возможность выполнять контроль деформаций территорий/объектов (в том числе значительных по площади и протяженности) с точностью 20–30 мм прямым измерением смещений рельефа, произошедших за период между двумя и более съемками. Точечная калибровка полученных на карте смещений земной поверхности может осуществляться по данным спутниковых геодезических наблюдений.

Получаемая на выходе карта смещений поверхности, помимо ответа на вопрос о наличии и величине деформаций, содержит информацию о природной и техногенной геодинамике и может использоваться для оценки геодинамической и экологической безопасности разработки месторождения, прогноза рисков, мониторинга промышленных сооружений и трубопроводов и т. д. Следует отметить, что данный метод наиболее информативен для построения цифровых карт и мониторинга экзогенных геологических процессов на исследуемой территории, но стоимость выполнения комплекса работ также высокая [5].

### 3. Спутниковое нивелирование с применением ГНСС.

Спутниковое нивелирование с применением глобальных навигационных спутниковых систем является наименее затратным способом получения данных, так как для производства работ достаточно трех комплектов оборудования, двух единиц вездеходной техники и наличия двух инженеров.

Методика выполнения состоит из двух этапов (рис. 3):

Этап 1. Спутниковое нивелирование по грунтовым реперам – создание каркаса высотной сети линейного объекта.

Для достижения высокой точности измерений по грунтовым реперам, расположенным через 2 км, необходимо:

- выполнять измерения мультисистемной многочастотной аппаратурой, а также использовать лицензионное программное обеспечение одного производителя;

- выполнять запись установки приемника над грунтовым репером в журнале спутниковых измерений;
- связывать полигоном каждый грунтовой репер, образуя сеть из непрерывных треугольников. Для этого требуется обеспечить одновременную работу не менее трех ГНСС станций в течение 40 мин с дискретностью записи 5 с. При одновременной работе больше 3 ГНСС станций необходимо увеличить период измерения на время одновременной работы пропорционально расстоянию от дальних станций;
- для «жесткости» каркасной сети выполнить одновременные статические наблюдения в течение 24 ч на пяти грунтовых реперах, расположенных через 20 км по трассе нефтепровода, с дискретностью записи 30 с. Временной интервал (24 ч) обусловлен необходимостью максимального исключения в сигнале спутников «шумов», имеющих медленный характер определения, а также применения достаточного набора качественных поправок орбит и точного времени спутников [6–8];
- ориентировать антенну на истинный север при статических измерениях;
- учитывать благоприятные условия для планирования ГНСС-наблюдений (количество спутников, геометрия их расположения);
- использовать при уравнивании каркасной сети данные точных орбит, точного времени спутников, предоставляемых ресурсами IGS, SOPAC, NASA [9–11].



а)

б)

Рис. 3. Измерение высотных отметок с применением ГНСС для определения деформаций свайных опор надземного трубопровода:

- а) установка ГНСС-аппаратуры Trimble R10 над грунтовым репером (этап 1);  
б) выполнение наблюдений в РТК радиорежиме (этап 2); 1 – ГНСС-приемник Trimble R10; 2 – адаптер для установки прибора на вежу; 3 – диск металлический (для болгарки); 4 – геодезическая вежа для отражателей и приемников; 5 – деформационная марка; 6 – ростверк; 7 – напорный нефтепровод

Метод является «относительным методом» определения нормальных высот, где высоты определяются по результатам измерений, выполненных на физической поверхности Земли, они не зависят от выбора эллипсоида, а высота передается от начальной точки (референцной станции).

Согласно «Руководству по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03» п. 2.1.2.2.1 «Спутниковые сети» [12] созданная сеть из грунтовых реперов является каркасной сетью и имеет допустимые параметры точности (таблица).

Классификация городских спутниковых систем

Тип сети	Точность определения координат, см	Относительная ошибка определения линий, не грубее	Значения средних погрешностей взаимного положения пунктов, мм
Исходный пункт (ИП)	1–2	1 : 1 000 000	–
Каркасная сеть (КС)	1–2	1 : 500 000	15
Спутниковая городская геодезическая сеть 1-го класса (СГГС-1)	1–2	1 : 150 000	20
Спутниковая городская геодезическая сеть 2-го класса (СГГС-2)	1–2	1 : 150 000	–

Точность каркасной сети означает, что любой пункт может иметь погрешность 15 мм относительно остальных пунктов внутри уравниваемой сети независимо от расстояния, так как спутниковая сеть – это однородное построение в трехмерном пространстве. В геометрическом нивелировании допустимая точность зависит от расстояния, и чем больше расстояние, тем больше допустимая ошибка в полигоне. Замкнутый полигон с общей длиной хода 200 км уже будет иметь допустимую ошибку 70,7 мм (допустимая невязка в полигоне II класса нивелирования –  $5\text{ мм}\sqrt{L}$ ).

Схема сети, расстановка и распределение станций остаются неизменными для следующих циклов наблюдений (рис. 4).

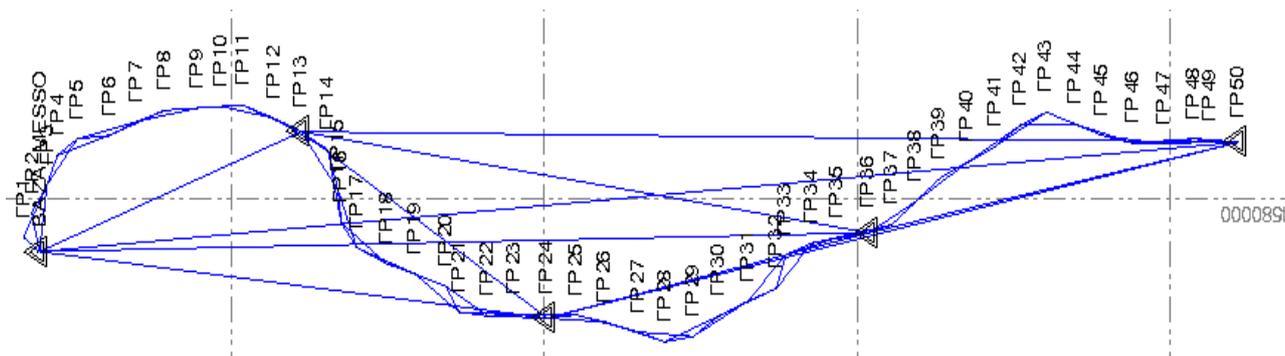


Рис. 4. Схема каркасной сети напорного нефтепровода

Этап 2. Определение высот деформационных марок с помощью «кинематики реального времени» в радиорежиме.

После завершения работы по высокоточным наблюдениям по каркасной сети выполняют наблюдения по определению высотных отметок деформационных марок методом РТК (Real Time Kinematic – «кинематика реального времени» в радиодиапазоне). Этот метод оптимален для выполнения работы в труднодоступных арктических районах и заключается в следующем:

- выполнение наблюдений только с грунтовых реперов;
- точность установки ретранслятора над грунтовым репером в плане и высоте – не более 2 мм;
- мощность радиосигнала ретранслятора – не менее 2 Вт;
- установка ретранслятора с мощностью радиосигнала 2 Вт – оптимально через один грунтовой репер;
- единые параметры трансляции поправок в формате CMR+;
- геометрия спутников при наблюдениях должна быть не более величины «2» PDOP (PDOP – фактор снижения точности по местоположению,  $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$ , где HDOP (Horizontal Dilution of Precision) – снижение точности в горизонтальной плоскости, VDOP (Vertical) – снижение точности в вертикальной плоскости);
- запись данных регулируется ГНСС-контроллером;
- позиционирование ровера (принимающее устройство) с точностью по высоте до 20 мм;
- контроль наблюдений следует производить на стыках зон работы от разных грунтовых реперов путем набора контрольных измерений на деформационной марке;
- камеральный анализ и уравнивание единого проекта;
- сравнение циклов измерений с нормативным положением фундамента трубопровода.

Достижимая точность определения координат по методике точного дифференциального позиционирования (Precise Point Positioning) в настоящее время при обработке результатов суточных сеансов измерений находится на уровне от нескольких миллиметров до 1,5 см по каждой плановой координате и около 2 см по геодезической высоте. Недостатком является зависимость от источника поправок, их качества; отсутствие замкнутых фигур-полигонов, внешнего контроля, а также невозможность оценить величину систематической погрешности [13, 14].

Метод спутникового нивелирования является универсальным, так как одновременно с высотными отметками вычисляется плановое положение грунтовых реперов и деформационных марок, которые могут служить исходными данными для привязки аэрофото- и космосъемки, радиолокационной интерферометрической съемки, ортофотопланов. Наряду с другими достоинствами, спутниковое нивелирование можно применять для контроля развития опасных экзогенных геологических процессов. Анализ ортофотопланов разных периодов позволяет количественно определить скорость развития опасных процессов, а также объем грунта, необходимого для рекультивации (рис. 5).

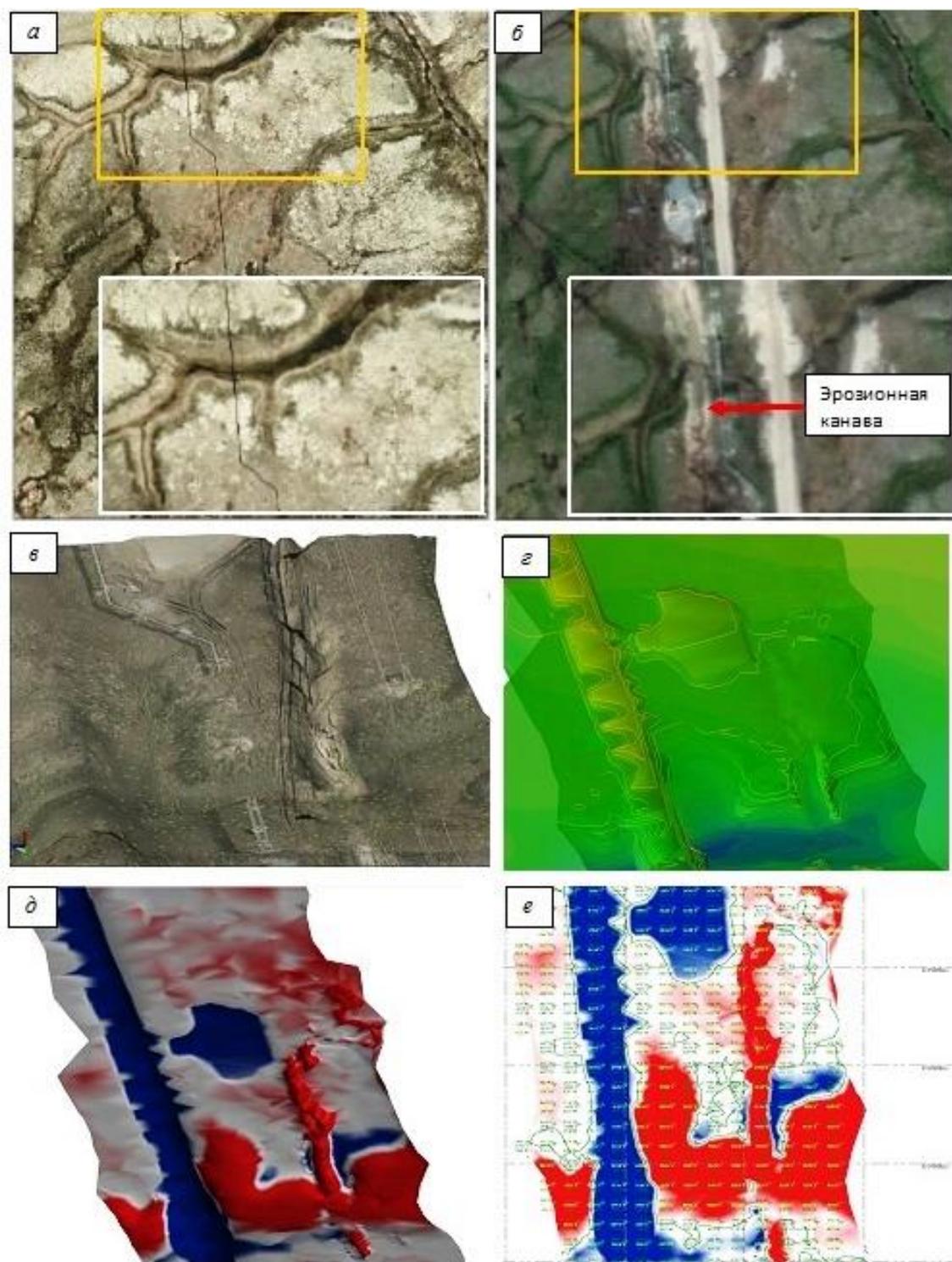


Рис. 5. Анализ развития термоэрозионных процессов вдоль трассы напорного нефтепровода на участке кранового узла № 9:

а) космоснимок 2014 г.: желтый прямоугольник – участок работ, белый – увеличенный масштаб участка; б) космоснимок 2017 г.; в) совмещение космоснимка 2015 г. и геодезической съемки 2018 г.: стрелками показан уклон поверхности; г) модель поверхности 2018 г.; д) 3D-модель смещения грунта за период 2013–2018 гг.; е) картограмма объемов смещения грунта за период 2013–2018 гг.

### Заключение

По результатам геотехнического мониторинга напорного нефтепровода протяженностью 100 км, расположенного на юге Гыданского полуострова в труднодоступных условиях арктической тундры, разработан и апробирован метод измерения высотных отметок для определения деформаций свайных опор надземного трубопровода с применением глобальных навигационных спутниковых систем. Технология выполнения работ состоит из двух этапов: 1) создание каркаса высотной сети линейного объекта по грунтовым реперам от референцной станции; 2) определение высоты деформационных марок на свайных опорах трубопровода методом РТК.

Представленный метод обеспечивает полноценную информацию о состоянии линейного сооружения и имеет ряд преимуществ по сравнению с геометрическим нивелированием.

1. Снижение финансовых затрат на производство работ (минимальное количество специалистов, компактность и небольшой вес оборудования).

2. Отсутствие зависимости от времени суток, видимости между пунктами измерений; погодных условий на производство работ, поскольку современная аппаратура ударопрочна и герметична, защищена от атмосферных явлений: низких температур до  $-40^{\circ}\text{C}$ , осадков, сильного ветра.

3. Использование спутниковых технологий регламентируется ФЗ № 431 «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», ГКИНП (ОНТА)-01-271-03 «Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS (утв. Приказом Роскартографии от 13.05.2003 № 84-пр) п. 2.1.2.2.1 «Спутниковые сети».

4. Возможность определения координат с помощью международной сети ITRF2014 через доступные онлайн-сервисы при контроле высокоточного определения местоположения удаленных грунтовых реперов.

5. Комплексный мониторинг состояния линейного объекта, включая контроль за развитием опасных экзогенных геологических процессов, совместимый с беспилотными летательными аппаратами, аэрофото- и космоснимками, соответствующий требованиям цифровой диагностики геотехнических систем.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF / В. С. Вдовин, В. Д. Дворкин, А. П. Карпик, Л. А. Липатников, С. Д. Сорокин, Г. М. Стеблов // Вестник СГУиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 6–27.

2. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. – М. : Стандартинформ, 2013.

3. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – М. : Стандартинформ, 2013.

4. ГОСТ 25358-2012. Грунты. Методы полевого определения температуры. – М. : Стандартинформ, 2013.

5. Результаты мониторинга смещений земной поверхности зданий и сооружений в г. Новых Уренгой по данным TerraSAR-X / Ю. И. Кантемиров, В. В. Билянский, С. Э. Никифоров, В. Г. Грязнов, Р. Ланцл // Геоматика. – 2010. – № 1. – С. 73–79.
6. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 1. – М. : Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
7. Кравчук И. М. Особенности вычисления нормальных высот по результатам спутниковых измерений // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 4. – С. 35–40.
8. Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. – М. : Картгеоцентр, 2004. – 355 с.
9. International GNSS Service (IGS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://igs.org/>.
10. Scripps Orbit and Permanent Array Centre (SOPAC) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sopac-csrc.ucsd.edu/>.
11. National Aeronautics and Space Administration (NASA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cddis.nasa.gov/>.
12. ГКИНП-01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS.
13. Липатников Л. А. Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования с использованием глобальных навигационных спутниковых систем : дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2014. – 144 с.
14. Мельников А. Ю. Анализ точности метода Precise Point Positioning для оценки возможности его применения в геодинамических исследованиях // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – № 6 (62). – С. 605–615.

Получено 16.08.2019

© А. С. Елизаров, А. Н. Курчатова, 2020

## MONITORING OF ELEVATED PIPELINES USING GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS

*Andrey S. Elizarov*

JSC Messoyakhaneftegas, 8B, 50 let Oktyabrya St., Tyumen, 625048, Russia, Chief Specialist, e-mail: [Elizarov.AS@tmn.gazprom-neft.ru](mailto:Elizarov.AS@tmn.gazprom-neft.ru)

*Anna N. Kurchatova*

JSC Messoyakhaneftegas, 8B, 50 let Oktyabrya St., Tyumen, 625048, Russia, Ph. D., Head of Department, e-mail: [Kurchatova.AN@tmn.gazprom-neft.ru](mailto:Kurchatova.AN@tmn.gazprom-neft.ru)

The prospects of using global navigation satellite systems for monitoring of elevated pipelines in remote Arctic regions are considered. An analysis of existing techniques for regime geodetic observations on oil pipeline of the Vostochno-Messoyakhskoye field with a length of 100 km located in the southern part of the Gydan Peninsula is carried out. A comparison of geometric leveling and alternative subsidence monitoring techniques for linear infrastructure projects is made. A method for elevation measuring using global navigation satellite systems to determine the deformations of piles of an elevated pipeline has been developed and tested. Measurement consists of the 2 stages: 1) create the local precise geodetic network of benchmarks along pipeline from the reference station; 2) height determinate of the control marks on the pipeline piles using RTK technique. The possibility of using satellite leveling to monitor the development of dangerous exogenous geological processes and the restoration of disturbed areas on the real examples is shown.

**Key words:** global navigation satellite systems (GNSS), RTK technique, radar interferometry, terrestrial laser scanner, geometrical leveling, geotechnical monitoring, elevated oil pipeline, permafrost.

## REFERENCES

1. Vdovin, V. S., Dvorkin, V. V., Karpik, A. P., Lipatnikov, L. A., Sorokin, S. D., & Steblou, G. M. (2018) Current state and future development of active satellite geodetic networks in Russia and their integration into ITRF. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 6–27 [in Russian].
2. SP 25.13330.2012. (2013). Soil bases and foundations on permafrost soils. The updated version Construction norms and regulations 2.02.04-88. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
3. GOST 24846-2012. (2013). Soils. Methods of measuring the strains of structure and building bases. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
4. GOST 25358-2012. (2013). Soils. Field method of determining the temperature. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
5. Kantemirov, U., Baranov, U., Bilyanskiy, V., Kiselevskiy, E., Nikoforov, S., & Lanzl, R. (2010). Earth's surface shifts and deformations of buildings and constructions in New Urengoy city monitoring results based on TerraSAR-X data. *Geomatika [Geomatics]*, 1, 73–79 [in Russian].
6. Antonovich, K. M. (2005). *Ispol'zovanie sputnikovyh radionavigacionnyh sistem v geodezii: T. 1 [Using satellite radio-navigation satellite systems in geodesy: Vol. 1]*. Moscow: Cartgeocentr Publ., 334 p. [in Russian].
7. Kravchuk, I. M. (2010). Features of calculating the normal altitudes based on the results of satellite measurements. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 35–40 [in Russian].
8. Genike, A. A., & Pobedinsky G. G. (2004). *Global'nye sputnikovye sistemy opredeleniya mestopolozheniya i ih primenenie v geodezii [Global satellite positioning systems and their application in geodesy]*. Moscow: Cartgeocentr Publ., 335 p. [in Russian].
9. International GNSS Service (IGS) (n. d.). Режим доступа: <http://igs.org/>.
10. Scripps Orbit and Permanent Array Centre (SOPAC) (n. d.). Retrieved from: <http://sopac-csrc.ucsd.edu/>.
11. National Aeronautics and Space Administration (NASA) (n. d.). Retrieved from: <https://cddis.nasa.gov/>.
12. GKNP (GNTA)-01-271-03. (2003). Guide to the creation and reconstruction of urban geodetic networks using satellite systems GLONASS. GPS. Moscow: CNIIGAiK Publ., 66 p. [in Russian].
13. Lipatnikov, L. A. (2014). Sovershenstvovanie metodiki tochnogo differencial'nogo pozicionirovaniya s ispol'zovaniem global'nyh navigacionnyh sputnikovyh system [Improvement of precise point positioning with global navigation satellite systems]. *Candidate's thesis*. Novosibirsk [in Russian].
14. Melnikov, A. Yu. (2018). The accuracy analysis of the Precise Point Positioning method for assessment of the possibility of its application in geodynamic researches. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 62(6), 605–615 [in Russian].

Received 16.08.2019

© A. S. Elizarov, A. N. Kurchatova, 2020