

## ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**В. С. Писарев**

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, Россия*

*ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова»*

*Российской академии наук, г. Москва, Россия*

**Аннотация:** Описаны этапы геотехнического мониторинга сооружений нефтяного месторождения, измерений вертикальных деформаций контрольных точек контуров днищ резервуаров и контрольных точек зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** маркшейдерские работы, нефтяное месторождение, геотехнический мониторинг, ГНСС, гравиметрические измерения, опорные пункты, устойчивость реперов, анализ деформаций

**Для цитирования:** Писарев В. С. Геотехнический мониторинг при эксплуатации нефтегазовых месторождений // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 67-71. [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2024\\_4\\_67\\_71](https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_67_71).

## GEOTECHNICAL MONITORING DURING OPERATION OF OIL AND GAS FIELDS

**V. S. Pisarev**

*Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation*

*Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

**Abstract:** The article briefly describes the stages of deformation monitoring of oil field structures, measurements of vertical deformations of control points of tank bottoms contours, and control points of buildings and structures.

**Keywords:** surveying, oil field, geotechnical monitoring, GNSS, gravimetric measurements, reference points, stability of reference points, deformation analysis

**For citation:** Pisarev V. S. Geotechnical monitoring during operation of oil and gas fields. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):67-71. (In Russ.). [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2024\\_4\\_67\\_71](https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_67_71).

### Введение

Нефтегазовый комплекс России играет значительную роль как в экономическом развитии страны, так и в целом на мировом энергетическом рынке. Углеводородные ресурсы России являются наиболее конкурентными отраслями национальной экономики с точки зрения их интеграции в систему мировых экономических взаимосвязей, особенно это стало актуально в последнее десятилетие.

Добыча нефти и газа — это сложный и достаточно затратный производственно-технологический процесс, в котором решается большой комплекс научных и производственных задач как отдельно на локальных месторождениях, так и системно в едином нефтегазовом комплексе страны.

Для того чтобы сырье приняло товарный вид, его надо тщательно к этому подготовить. Неслучайно в процессе очистки нефти задействовано в два — три раза больше персонала, чем при добыче.

Геотехнический мониторинг в обязательном порядке должен проводиться в зоне добычи полезного ископаемого

в процессе вскрытия и подготовки месторождения или его части к разработке.

Наблюдение и контроль состояния горного отвода (мониторинг горного отвода) включают в себя:

- контроль соблюдения предусмотренных проектной документацией мест заложения, направлений и параметров горных выработок, технологических схем проходки, размеров предохранительных целиков и нормативов потерь;
- проведение опережающей эксплуатационной разведки и других геологических работ;
- проведение наблюдений за проявлением горного давления, сдвижением горного массива, деформациями охраняемых зданий и сооружений и другими явлениями, возникающими при разработке месторождения [1].

Для сбора и подготовки нефти используется система сооружений и оборудования, включающая промысловые технические средства и установки, соединенные трубопроводами. Чаще всего на месторождениях используется напорная герметизированная система сбора и подготовки нефтепродук-

тов, которая практически исключает потерю углеводородов.

Наземные резервуары с нефтью и нефтепродуктами объемом 5 тыс. м<sup>3</sup> и более подлежат защите АУПТ (тушение воздушно-механической пеной средней и низкой кратности) [2].

Далее нефтепродукты поступают на замерные установки, где выполняется подсчет количества нефти и газа с каждой скважины. Потом продукт нефтедобычи поступает на дожимные насосные станции (ДНС) или установки предварительного сброса воды (УПСВ). На следующем этапе осуществляется первая ступень сепарации, и газ отводится на газоперерабатывающий завод.

Следует отметить, что на центральный пункт подготовки нефти (ЦППН) поступает нефть с разных ДНС, образуя смесь, которую также требуется очистить от воды и разгазировать, но уже более тщательно, до товарной кондиции. Основными задачами ЦППН являются сбор и подготовка нефти до установленных требований с дальнейшей откачкой ее потребителю в соответствии с производственными планами, подготовка сточных вод для направления их в нагнетательные скважины.

**Цель исследования:** изучение методологии и выполнение маркшейдерско-геодезических работ при мониторинге геодинамических нефтегазоконденсатных месторождений [3].

Геотехнический мониторинг необходим на всех этапах разработки нефтегазоносных месторождений.

Материал и методы исследований

На территории ЦППН располагаются резервуары нефти достаточно больших объемов (5 тыс. куб. м) (рис.).



Рис. Резервуары для хранения нефтепродуктов объемом 5 тыс. куб. метров  
Fig. Storage tanks for petroleum products with a volume of 5000 cub. meters

Своевременный геотехнический контроль деформаций сооружений позволяет предотвращать аварии, пожары, загрязнение почвы, воды и воздуха. Следует отметить, что сложные конструктивные исполнения сооружений и суровые природно-климатические условия приводят к существенным затруднениям при выполнении деформационного мониторинга. По итогам многолетних наблюдений замечено, что деформации сооружений зависят от сезонных колебаний температур и промерзания грунтов. Кроме того, значения деформаций резервуаров вертикальных стальных (РВС) зависят от уровня их наполнения, в связи с этим в ходе анализа эти параметры также учитываются. Особое внимание уделяется внедрению и усовершенствованию систем ав-

томатизированного мониторинга, а также разработке методик и оборудования для контроля объектов. Первостепенной задачей является использование оборудования, позволяющего выполнять мониторинговые измерения, производить контроль результатов измерений непрерывно или через короткие промежутки времени [4].

При эксплуатации промышленных объектов должны выполняться следующие требования:

- проверка числовых значений и графической части проектных чертежей;
- перенесение геометрических элементов проекта в натуру;
- контроль соблюдения установленного проектом соотношения геометрических элементов зданий, сооружений.

Геодезические работы по выносу геометрических элементов в натуру производятся с пунктов опорных геодезических сетей. Разбивка зданий, сооружений и задание направлений выполняется по проектным чертежам. Проектную документацию проверяют сопоставлением рабочих чертежей зданий и сооружений с генеральным планом, а также сопоставлением с расположением существующих сооружений и рельефом местности [5–6].

Кроме того, в исследовании используются методы интерпретации спутниковых изображений и ГИС для создания обновленных карт, таких как структурная карта [7].

Отклонения строительных конструкций и технологического оборудования от проектного положения не должны превышать установленные значения.

Все измерения, выполняемые при разбивках, фиксируются в журнале разбивок. В журнале приводятся:

- схема разбивки;
- данные, относящиеся к исходным точкам;
- номера проектных чертежей;
- расстояния и размеры, по которым выполнена разбивка и ориентировка объектов относительно осей промплощадки или осей сооружения.

После вынесения в натуру заданных углов, расстояний, высотных отметок производятся контрольные измерения. Для отражения застройки поверхности и положения инженерных коммуникаций составляются исполнительные чертежи. Положение фундаментов, колонн, технологического оборудования, подкрановых путей и подземных коммуникаций наносятся на рабочие чертежи проекта с указанием отклонений. Съёмка инженерных коммуникаций выполняется в процессе строительства объектов (в открытых траншеях и котлованах) [8–9].

Перед выполнением разбивочных работ проверяется неизменность положения пунктов опорной геодезической сети посредством измерения углов, длин или контроля створности пунктов.

Состав работ по нулевому циклу:

- вынос в натуру проектных осей зданий и сооружений;
- разбивка осей примыкающих к ним подземных коммуникаций;
- определение высотных отметок реперов;
- контроль глубины котлована;
- проверка горизонтальности подушки фундамента, размеров и формы фундамента;
- проверка правильности установки опалубки и анкерных проемов.

Разбивка контура котлована под ленточный фундамент прямоугольной формы, а также верхней части свайных и

столбчатых фундаментов производится способом перпендикуляров. Полученные точки проектного контура закрепляются временными знаками.

Далее определение и анализ деформаций сооружений цеха по переработки и перекачки нефти ЦППН на месторождениях согласно требованиям нормативных документов выполняются два раза в год. Полученные в ходе деформационного мониторинга данные необходимы для обеспечения надежности и безопасной эксплуатации данных объектов, а также для планирования ремонта и других мероприятий, повышающих эксплуатационную надежность и долговечность. Своевременный деформационный мониторинг позволяет выявлять опасные значения смещений контрольных точек, закрепленных на сооружениях.

Маркшейдерско-геодезическое обеспечение требуется на всех этапах освоения нефтяных месторождений, в связи с этим их содержание довольно разнообразно. В перечень основных функций маркшейдерской службы горного предприятия входят следующие виды работ:

- выполнение маркшейдерских съемок территории месторождения;
  - определение рациональных и эффективных схем разработки;
  - создание маркшейдерских опорных и съемочных сетей;
  - производство комплекса маркшейдерско-геодезических инструментальных измерений и расчетов;
  - составление и редактирование графической документации, а также решение разных горно-геометрических задач;
  - вынос в натуру проектного положения устьев скважин, инженерных сооружений и соответствующих коммуникаций, местоположения границ безопасного производства горных работ, в том числе барьерных и предохраняющих целиков;
  - систематический мониторинг геометрических параметров инженерных сооружений, зданий и оборудования добычи при эксплуатации;
  - планирование и выполнение инструментальных измерений для контроля процессов сдвижения горных пород, деформаций земной поверхности территории месторождения, проявления горного давления, деформации зданий и сооружений, устойчивости уступов, бортов карьеров и отвалов;
  - определение норм потерь и разубоживания полезного ископаемого (ПИ) в процессе разработки;
  - расчет объемов горных и строительно-монтажных работ (объемов добычи и потерь ПИ, полноты отработки запасов и др.);
  - маркшейдерское обеспечение работ в опасных зонах и контроль мероприятий по производственной безопасности.
- Вышеописанные виды работ должны сопровождаться предрасчетами точности для дальнейшего выбора наиболее эффективных методов измерений и расчетов, а также выполнением анализа точности маркшейдерско-геодезических работ.
- Графическая часть маркшейдерской документации при разработке нефтяных месторождений отображает:
- рельеф местности, гидрографию и населенные пункты;
  - пункты государственной геодезической и маркшейдерской сетей;
  - скважины геологоразведочные и эксплуатируемые при добыче;
  - магистральные трубопроводы;
  - инженерные коммуникации;

- компрессорные установки и иные сооружения, используемые при добыче, переработке и транспортировке нефти;
- геологические чертежи (геологические нарушения и особенности, требующие учета при разработке).

При проведении плановых топографо-геодезических работ на месторождении геодезист обследует участок работ с целью проверки наличия и состояния пунктов государственной геодезической сети (ГГС), а при обнаружении изменений в состоянии пункта эта информация заносится в специальный реестр пунктов ГГС.

Главный маркшейдер формирует общекорпоративную базу данных, содержащую информацию о состоянии пунктов ГГС, которая регулярно обновляется на основании годовых отчетов. А затем ежеквартально на маркшейдерские планы вносятся все текущие изменения, которые были зафиксированы на месторождении. Когда топографическая ситуация территории меняется более чем на 35 % в сравнении с ее отображением на исходном плане, требуется выполнить новую маркшейдерско-геодезическую съемку местности. Редактирование картографической документации может осуществляться с применением технологий воздушного и наземного лазерного сканирования, построением ортофотокарт по данным аэрокосмосъемок.

Отклонения положения на плане объектов контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших пунктов съемочного обоснования не должны иметь значения более 0,5 мм, для труднодоступных и горных территорий – 0,7 мм. На участках с капитальными и многоэтажными зданиями максимальные ошибки взаимного положения не должны быть более 0,4 мм.

Анализ точности планов и карт выполняют по расхождениям положения контуров, высот точек, рассчитанных по горизонталям, с результатами контрольных измерений. Максимальные ошибки не должны превышать утроенных величин погрешностей.

Горно-графическая маркшейдерская документация должна вестись в государственной системе координат с учетом принятых картографических проекций. В случае использования местной системы координат требуется выполнить работы для приведения ее к государственной системе, выполнив привязку к государственной не менее трех знаков местной системы координат.

При выполнении маркшейдерских работ по определению деформаций сооружений и технологического оборудования нефтяных месторождений используются теодолиты, цифровые нивелиры, электронные тахеометры, а также лазерные сканеры. Приборы для работ выбираются исходя из указаний проектных и нормативных документов или задания на производство маркшейдерских работ. Используемые приборы и инструменты должны соответствовать требуемой точности и технологии производства работ [10–13].

Для быстрого и точного определения расстояний, а также горизонтальных и вертикальных углов применяются электронные тахеометры.

Для выполнения работ по геометрическому и техническому нивелированию используются электронные цифровые нивелиры. Данные приборы подходят для наблюдения за деформациями различных конструкций, зданий, инженерных сооружений и производственного оборудования как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации.

В конструкцию цифровых нивелиров входят специализированные программно-аппаратные устройства (процессор и

ПО), что позволяет в автоматическом режиме обрабатывать и сохранять материалы измерений. Автоматическая работа прибора исключает возможные ошибки (ошибки наблюдателя). Точность цифровых нивелиров находится в диапазоне от 0,3 до 1,3 мм на 1 км двойного хода.

Маркшейдерские наблюдения позволяют получить актуальную информацию о деформациях исследуемых объектов.

Данные работы осуществляются согласно утвержденному руководством проекту, в котором представлены:

- перечень объектов наблюдения;
- схемы геодезической и маркшейдерской сетей;
- схемы расположения деформационных точек (марок);
- цикличность наблюдений;
- требуемая точность;
- список отчетных документов.

### Выводы

В процессе маркшейдерских наблюдений за деформациями зданий, сооружений, оборудования и других объектов нефтяного месторождения необходимо оформлять соответствующие ведомости величин деформаций и их анализа, исполнительные схемы, журналы полевых измерений и др.

При выполнении инженерных изысканий для обустройства нефтегазовых месторождений особое внимание следует уделять определению границ наземной и подземной состав-

ляющих миграционных бугров пучения с ядром из многолетнемерзлых пород [14–16].

Деформационный мониторинг включает наблюдения за вертикальными смещениями (осадками) подрабатываемой поверхности, ее горизонтальными перемещениями на территории месторождения, а также вблизи него.

Перечень этапов маркшейдерских работ на месторождении:

- изучение схем расположения опорных пунктов, схем расположения контрольных марок и схем нивелирования;
- обследование месторождения опорных пунктов и контрольных точек на территории, определение их сохранности и внешнего физического состояния;
- проложение ходов нивелирования II класса с целью определения высот опорных пунктов, проверки устойчивости опорных пунктов, а также сгущения пунктов;
- проложение ходов нивелирования III класса и нивелирование контрольных точек;
- обработка результатов нивелирования, вычисление абсолютных высот (отметок) контрольных точек, оценка устойчивости зданий и сооружений.

Для определения фактической геометрической формы РВС и определения величины отклонений от проектных требований выполнены работы по нивелированию оснований РВС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении правил охраны недр: Постановление от 30 июля 2004 г. N 401 / О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. — <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=458976#h149>
2. Хабибуллин Р. З. Нефтегазоперерабатывающие предприятия требуют усиленного контроля за противопожарным режимом / Р. З. Хабибуллин // Промышленная и экологическая безопасность. Охрана труда. — 2017. — № 7 (125).
3. Писарев, В. С. Маркшейдерско-геодезические работы при создании геодинамических полигонов / В. С. Писарев // Маркшейдерия и недропользование. — 2020. — № 2 (106). — С. 35–40.
4. Владыкина, А. В. Разработка программного обеспечения для целей инженерных изысканий и мониторинга искусственных сооружений / А. В. Владыкина, В. Н. Никитин, В. С. Писарев // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2023. — Т. 1, № 1. — С. 54–59.
5. Ахмедов, Б. Н. Построение цифровых трехмерных моделей геопространства / Б. Н. Ахмедов // Инженерная графика и трехмерное моделирование: сб. науч. докл. молодежн. науч.-практ. конф. — Новосибирск: СГУГиТ, 2016. — С. 9–13.
6. Оценка геомеханического состояния подработанных пород массива при выемке слепого рудного тела на Таштагольском месторождении / А. А. Еременко, А. Г. Гаврилов, В. А. Штирц [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2023. — № 2. — С. 48–56.
7. Басаргин, А. А. Применение методов геоинформатики для изучения и оценивания риска последствий землетрясений // Вестник СГУГиТ. — 2022. — Т. 27, № 6. — С. 89–97.
8. Антонов, Ю. В. Плотностные неоднородности в земной коре / Ю. В. Антонов // Геофизика. — 2005. — № 1. — С. 62–68.
9. Панжин, А. А. Геодинамический мониторинг и моделирование поля деформаций на коркинском угольном месторождении / А. А. Панжин, Б. Т. Мазуров, Н. А. Панжина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2021. — № 2. — С. 94–109.
10. Мазуров, Б. Т. Обзор развития геодинамики и геодезических методов решения геодинамических задач / Б. Т. Мазуров, В. И. Кафтан // Геодезия и картография. — 2020. — Т. 81, № 2. — С. 25–39.
11. Карпик, А. П. О взаимодействии наук о земле в развитии нефтегазового комплекса страны / А. П. Карпик, В. Б. Жарников // Вестник СГУГиТ. — 2022. — Т. 27, № 2. — С. 173–183.
12. Середович, В. А. Исследование точности создания цифровых моделей рельефа и вычисления объемов насыпи и выемки горных пород на основе данных лазерного сканирования // Известия высших учебных заведений / В. А. Середович, М. А. Алтынцев, Р. А. Попов // Геодезия и аэрофотосъемка. — 2015. — № 5. — С. 66–71.
13. Алтынцев, М. А. Методика предварительной обработки данных воздушного лазерного сканирования, полученных с применением беспилотных воздушных судов / М. А. Алтынцев // Геодезия и картография. — 2023. — Т. 84, № 6. — С. 30–41.
14. Некрестов, Я. А. Технология визуального позиционирования для решения геодезических задач / Я. А. Некрестов, Е. Г. Гиенко // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. — 2023. — № 2. — С. 20–24.
15. Анализ технологических схем создания геодезического обоснования на промплощадке / Г. А. Уставич, А. Г. Неволин, В. А. Падве [et al.] // Записки Горного института. — 2021. — Т. 249. — С. 366–376.
16. Репин, А. С. О методике геопространственного мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород / А. С. Репин // Вестник СГУГиТ. — 2021. — Т. 26, № 3. — С. 28–35.

### REFERENCES

1. On approval of the rules for the protection of mineral resources: Resolution No. 401 of July 30, 2004 / On the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision [Electronic resource]. — <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=458976#h149> (In Russ.).

2. *Khabibullin RZ.* Oil and gas processing enterprises require enhanced control over the fire protection regime. Industrial and environmental safety. Labor protection. 2017;7(125) (In Russ.).
- Pisarev VS. Geodesic and mine surveying works when developing geodynamic field sites. Mine surveying and subsurface use. 2020;2(106):35-40 (In Russ.).
3. *Vladykina AV, Nikitin VN, Pisarev VS.* Software development for engineering surveys and monitoring of artificial structures. Interexpo Geo-Siberia. 2023;1(1):54-9 (In Russ.).
4. *Ahmedov BN.* Construction of digital three-dimensional models of geospatial. Collection of scientific reports of the youth scientific-practical conference «Engineering graphics and three-dimensional modeling». Novosibirsk, 2016:9-13 (In Russ.).
5. *Eremenko AA, Gavrilov AG, Stirts VA, et al.* Assessment of the geomechanical state of the rock column between the Earth's surface and the roof of the worked-out space during the development of a blind ore body at the Sheregeshevsky deposit. Mining Journal. 2022;2:48-56 (In Russ.).
6. *Basargin AA.* (2022) Application of geoinformatics methods for studying and assessing the risk of earthquake consequences. Bulletin of SGUGiT. 2022;27(6):89-97. (In Russ.).
7. *Antonov YuV.* Density inhomogeneities in the Earth's crust. Geophysics. 2005;1:62-8 (In Russ.).
8. *Panzhin AA, Mazurov BT, Panzhina NA.* Geodynamic monitoring and modeling of the deformation field at the Korkinsky coal deposit. News of Tula State University. Earth Sciences. 2021;2:94-109 (In Russ.).
9. *Mazurov BT, Kaftan VI.* Review of the development of geodynamics and geodetic methods for solving geodynamic problems. Geodesy and cartography. 2020;81(2):25-39 (In Russ.).
10. *Karpik AP, Zharnikov VB.* On the interaction of earth sciences in the development of the country's oil and gas complex. Bulletin of SGUGiT. 2022;27(2):173-83 (In Russ.).
11. *Seredovich VA, Altyntsev MA, Popov RA.* Investigation of the accuracy of creating digital relief models and calculating the volumes of embankment and excavation of rocks based on laser scanning data. News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. 2015;5:66-71 (In Russ.).
12. *Altyntsev MA.* Methodology of preliminary processing of aerial laser scanning data obtained using unmanned aircraft. Geodesy and cartography. 2023;84(6):30-41 (In Russ.).
13. *Nekrestov YaA, Gienko EG.* Technology of visual positioning for solving geodetic problems. Regulation of land and property relations in Russia: legal and geospatial support, real estate valuation, ecology, technological solutions. 2023;2:20-4 (In Russ.).
14. *Ustavich GA, Nevolin AG, Padve VA, et al.* Analysis of technological schemes for creating a geodetic justification at an industrial site. Notes of the Mining Institute. 2021;249:366-76 (In Russ.).
15. *Repin AS.* On the methodology of geospatial monitoring of the heave mounds of permafrost rocks. Bulletin of SGUGiT. 2021;26(3):28 (In Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



**Писарев Виктор Семенович** – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск, Россия; старший научный сотрудник лаборатории геолого-структурного моделирования, ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова» Российской академии наук, г. Москва, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-0199-496X>, e-mail: [v.s.pisarev@sgugit.ru](mailto:v.s.pisarev@sgugit.ru)

## ABOUT THE AUTHOR

**Viktor S. Pisarev** – Ph. D, Associate Professor of Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation; Senior Researcher at the Laboratory of Geological and Structural Modeling, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0003-0199-496X>, e-mail: [v.s.pisarev@sgugit.ru](mailto:v.s.pisarev@sgugit.ru)