

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 6 / 2023, Vol. 15, Iss. 6 <https://esj.today/issue-6-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/73NZVN623.pdf>

2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Варфоломеев, Ю. А. Экспертная оценка практикуемых систем геодезического мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации резервуаров с нефтью / Ю. А. Варфоломеев, Д. Н. Черепанов, Ю. В. Марков // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/73NZVN623.pdf>

**For citation:**

Varfolomeev Yu.A., Cherepanov D.N., Markov Yu.V. Expert assessment of practiced geodetic monitoring systems to ensure safe operation of oil tanks. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(6): 73NZVN623. Available at: <https://esj.today/PDF/73NZVN623.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 624.953

**Варфоломеев Юрий Александрович**

ФГБУ «Российской академии архитектуры и строительных наук в Архангельске», Архангельск, Россия  
Начальник Представительства  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: nil-se@mail.ru

**Черепанов Денис Николаевич**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»  
E-mail: cherepanovden@mail.ru

**Марков Юрий Валерьевич**

ФГБУ «Российской академии архитектуры и строительных наук в Архангельске», Архангельск, Россия  
Представительство  
Инженер-строитель по специальности «Промышленное и гражданское строительство»  
ООО «Станция проверки аварийно-спасательного имущества», Архангельск, Россия  
Главный инженер проектов  
E-mail: markov\_y\_v@mail.ru

**Экспертная оценка практикуемых систем  
геодезического мониторинга для обеспечения безопасной  
эксплуатации резервуаров с нефтью**

**Аннотация.** На территориях России и других стран Содружества Независимых Государств в настоящее время эксплуатируется более 40 000 крупных резервуаров, в которых хранят различные вещества повышенных классов опасности. Значительная часть резервуарного парка для хранения нефти эксплуатируется с превышением нормативных сроков эксплуатации. Для обеспечения безопасной эксплуатации объектов необходимо своевременно предусматривать и реализовывать комплекс работ по наблюдению, техническому обслуживанию и проведению необходимых ремонтов. Особенное внимание стоит уделять объектам с истекающим или уже истекшим сроком, а также рассмотрению возможностей по их продлению. Работа по планированию выполнения этих мероприятий в большинстве случаев системно не выполняется. Исключением являются крупные предприятия, имеющие штат аттестованных в установленном порядке специалистов и обладающие сертифицированным оборудованием. Однако даже у них эти решения часто запаздывают или выполняются с нарушением нормативных сроков, что подтверждают случающиеся масштабные техногенные катастрофы.

На основании анализа открытых источников информации экспертно оценены отечественные и импортные измерительные приборы и технологии, применяемые в России для высокоточного геодезического мониторинга. Системный мониторинг позволяет снизить риски возникновения чрезвычайных ситуаций, обеспечить безопасную эксплуатацию резервуаров с нефтью. В настоящее время в связи с эскалацией экономических санкций резко ограничен импорт в Россию высокотехнологичного оборудования, расходных материалов, программного обеспечения. Для сохранения суверенитета России необходимо ускорить создание отечественных лазерных технологий и измерительных приборов на российской территории на уровне лучших мировых стандартов.

**Ключевые слова:** нефть; хранение; резервуар; чрезвычайная ситуация; риски; мониторинг геометрических параметров; измерительные приборы; технологии

На территориях стран Содружества Независимых Государств (СНГ), в том числе в Российской Федерации (РФ), ныне эксплуатируется более 40 000 крупных резервуаров, относящихся к пожаро-взрывоопасным строительным объектам повышенной экологической опасности и имеющих сложное напряженно-деформированное состояние, в результате природных и техногенных нагрузок, в которых хранят различные вещества повышенных классов опасности [1]. Значительная часть резервуарного парка РФ эксплуатируется с превышением нормативных сроков эксплуатации [2]. Аварии с резервуарами, разлив, горение нефтепродуктов всегда наносят ущерб природе и экологическим системам на планете Земля. Наиболее сложно устранять последствия чрезвычайных ситуаций (ЧС) в экстремальных природных условиях Арктической зоны и приграничных к ней районов, в состав которой включены отдалённые, труднодоступные северные территории РФ.

В 1953 году 2 февраля на НПЗ в г. Уфа в результате перепада температур произошло мгновенное разрушение стенки резервуара и воспламенение сырой нефти, в результате мощного огненного потока произошло возгорание еще 3-х резервуаров, погибло 28 человек.

В 1960 году в Ростовской области на нефтебазе Каменская произошла одна из первых катастроф, РВС в результате переполнения бензином разрушился и взорвался, горящий бензин попал в результате уклона попал в реку Северный Донец. В результате аварии погиб 41 человек.

В Красноярском крае в 1983 году произошел аналогичный случай с крупным пожаром в г. Дудинка, общая площадь разлива составила 30 га, пожар развивался с эффектом «домино», погибли 2 человека.

Катастрофа общемирового масштаба, которая произошла 29 мая 2020 года в арктической зоне РФ в г. Норильске в результате которой произошел самый крупный разлив нефтепродуктов в истории Северной зоны практически убив все живое вокруг, при разрушении резервуара в результате просадки фундамента.

В настоящей работе рассмотрены резервуары вертикальные стальные (РВС), на которые одновременно воздействует гидростатическое давление хранимого нефтепродукта и комплекс природных факторов: значительный перепад температур, ветровой, снеговой нагрузок, уровня грунтовых вод (УГВ), неравномерные осадки оснований и фундаментов, а в сейсмоопасных районах — динамические нагрузки разной величины. Специфика эксплуатации РВС обусловлена: (а) геодинамическими процессами подъема и опускания территории в ходе разработки месторождения; (б) эксплуатацией системы поддержания пластового давления методом закачки воды в пласт взамен добытых нефти и газа [2]. Безопасность объектов

недвижимого имущества, находящихся в эксплуатации, по требованиям технического регламента.<sup>1</sup>

должна обеспечиваться посредством технического обслуживания: различные проверки, в том числе контрольные, визуальные осмотры, геодезический контроль оснований и фундаментов, а также своевременное проведение соответствующих ремонтов. Одним из основных методов мониторинга состояния строительных объектов является системный контроль за изменением их геометрических параметров в процессе эксплуатации [3–5]. Это позволяет снизить аварийность, риски возникновения ЧС [6], а также выявить причины обрушения зданий и сооружений [7], оптимизировать работы по восстановлению.

Цель исследований — на основании анализа открытых источников информации экспертно оценить отечественные и импортные измерительные приборы и технологии, применяемые в РФ при выполнении высокотехнологичного, высокоточного геодезического мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации резервуаров с нефтью.

Задачи: (а) выполнить анализ нормативной документации и иных доступных источников информации в сфере геодезического мониторинга резервуаров с нефтью; (б) разработать предложения по развитию в РФ технологий геодезического мониторинга, созданию отечественной индустрии современных измерительных приборов с учётом стремительно изменяющихся реалий жизни настоящего времени.

В настоящей статье рассмотрены методы системных геодезических наблюдений за деформациями РВС. Инструментальный контроль просадки резервуара с использованием нивелирования окрайки днища и центра резервуара следует выполнять не реже 1 раза в год в первые пять лет эксплуатации. Согласно ГОСТ 24846-2019<sup>2</sup> традиционными способами мониторинга является метод геометрического и тригонометрического нивелирования либо их комбинирование. Наблюдения за изменением геодезических параметров резервуара проводится не реже 1 раза в 5 лет (если срок эксплуатации не более 20 лет), а при сверхнормативном сроке эксплуатации — не реже 1 раз за 4 года. Проверку вертикальности стенки для резервуаров вместимостью 2 000 м<sup>3</sup> и более следует выполнять в период подготовки к ремонту. Однако, если визуально выявлено изменение геометрической формы РВС, то, независимо от его объёма, выполняют внеплановые геодезические измерения. Традиционным способом наблюдений за вертикальностью стенок РВС является метод с применением безотражательных тахеометров. Для обеспечения безопасности жизнедеятельности в РФ ведётся системная работа по актуализации соответствующих нормативных актов с учётом изменяющихся реалий жизни, например, приказ Ростехнадзора от 14.11.2023, № 407 об утверждении руководства по обеспечению безопасности на опасных производственных объектах.

Выше перечисленные методы геометрического и тригонометрического нивелирования по ГОСТ 24846-2019 [8] относятся соответственно к I–IV и II–IV классу точности измерений. Деформации в вертикальной и горизонтальной плоскости возможно измерять с допуском для I–IV класса в пределах: от  $\leq 1$  мм до  $\leq 10$  мм — вертикальные; от  $\leq 2$  мм до  $\leq 15$  мм горизонтальные. Требованиями ГОСТ 24846-2019 не регламентирован выбор конкретного геодезического оборудования. Поэтому оборудование следует выбирать, исходя из точности

<sup>1</sup> Федеральный закон РФ от 30.12.2009, № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». С измен. от 02.07.2013, № 185-ФЗ.

<sup>2</sup> Межгосударственный стандарт ГОСТ 24846-2019 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» // «МК (ИСО/ИНФКО МКС) 001-96. Межгосударственный классификатор стандартов» / Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 11–12.04.1996 № 9-96).

измерений, установленной проектом, заказчиком, либо контролирующими органами. Ряд требований к точности измерений утверждены приказом Ростехнадзора от 19.05.2023, № 186.<sup>3</sup> Нивелирные ходы между грунтовыми реперами опорными, исходными (наблюдательной станции) прокладываются нивелированием II класса. Наблюдения за деформацией объектов капитального строительства, расположенных на земной поверхности в границах горного отвода, должны соответствовать проектной документации на производство маркшейдерских работ, включая периодичность. При этом периодичность определяют с учётом абсолютных значений деформаций и скорости их изменения, но не реже 1 раза в 5 лет, если нет требований иных нормативных правовых актов. Для РВС менее 50 м<sup>3</sup> наблюдения выполняются по решению пользователя недр и не являются обязательными.

Автором ниже рассмотрены геодезические инструменты, применяемые для традиционных методов наблюдений.

**Геометрическое нивелирование.** Современные нивелиры по конструкции делят на три вида: оптические, цифровые и лазерные. Согласно требованиям ГОСТ 10528-90<sup>4</sup> оптические нивелиры подразделяются на три группы: высокоточные, точные и технические.

На рынке имеется большое разнообразие нивелиров отечественного и зарубежного производства, в том числе фирм Spectra Precision, Trimble, Nikon, ADA, VEGA, Sokkia, ИПЗ, YOMЗ, АМО, Bosch, Leica, RGK и другие. В таблице 1 даны сведения о точности и ценах моделей нивелиров отечественного и иностранного производства (для сравнения), применяемых в РФ.

Таблица 1

**Основные данные о точности и ценах отечественных и иностранных нивелиров, применяемых в РФ**

1.1 Нивелиры оптические высокоточные				
Бренд	Марка	Страна изготовитель	Точность	Цена, тыс. руб.**
1.	2.	3.	4.	5.
ИПЗ	H-05	Россия	±0,4 мм/км	55
RGK	RGK N-32	Россия	0,7 мм/км	62
	RGK N-38		0,7 мм/км	38
	RGK N-55		0,7 мм/км	63
Sokkia	Sokkia B20	Япония	0,7 мм/км	151
Leica	Leica NA 730 plus	Швейцария	0,7 мм/км	135
Nikon	Nikon AS-2C	Япония	±0,40 мм/км	259
1.2 Нивелированные цифровые высокоточные				
Leica	Leica LS15/LS10	Швейцария	±0,2 мм	1 460
Trimble	Trimble DiNi	США	±0,3 мм	900
GeoMax	GeoMax ZDL700	Швейцария	±0,7 мм	238
2.1 Нивелиры оптические точные				
Бренд	Марка	Страна изготовитель	Точность	Цена, тыс. руб.**
RGK	RGK N-32	РФ	1,5 мм/км	22
	RGK C-32		1,5 мм/км	17
	RGK C-20		2 мм/км	14
АМО	АМО 32Х	-	2 мм/км	10
Leica	Leica NA 724	Швейцария	2 мм/км	84

<sup>3</sup> Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023, № 186 "Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности" (зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 № 73638).

<sup>4</sup> Межгосударственный стандарт ГОСТ 10528-90 «Нивелиры. Общие технические условия». Утверждён и введён в действие Постановлением Госстандарта СССР от 22.06.1990, № 1756. Дата введения 01.07.1991. С изменением № 1, утв. в июле 1999 г.

1.1 Нивелиры оптические высокоточные				
Бренд	Марка	Страна изготовитель	Точность	Цена, тыс. руб.**
Sokkia	Sokkia B40A	Япония	±2,0 мм	45
УОМЗ	4Н-2КЛ	РФ	±2,0 мм	258
2.2 Нивелиры цифровые точные				
Leica	Leica Sprinter 50	Швейцария	±2 мм	235
Sokkia	Sokkia SDL50	Япония	±1,5 мм	335
Spectra Precision	Spectra Precision FOCUS DL-15	Швеция	±1,5 мм	102
3. Нивелиры оптические технические (ныне относят к морально устаревшим)				
Бренд	Марка	Страна изготовитель	Точность	Цена, тыс. руб.**
Bosch	Bosch GOL 20D	Германия	±3,0 мм	21
УОМЗ	4Н-3КЛ	РФ	±2,5 мм	17–132

Составлено автором

**Тригонометрическое нивелирование** — применяют при оценке вертикальности РВС, используя электронные тахеометры. В РФ в производственной практике широко распространены электронные тахеометры заводов-изготовителей УОМЗ (РФ), а также зарубежных фирм Trimble, Sokkia, Leica, Topcon и др. В таблице 2 приведены их точность и цена (для сравнения).

Таблица 2

#### Характеристики электронных тахеометров отечественного и зарубежного производства

Бренд	Марка	Страна изготовитель	Точность	Цена, тыс. руб.**
УОМЗ	УОМЗ 6Та3	РФ	3"	615
Leica	Leica TS09/TS03	Швейцария	5"/3"	1 379
Topcon	Topcon GM-55	Япония	5"	890
Sokkia	Sokkia IM-102	Япония	2"	1 650
	Sokkia iM-55	Япония	5"	960
Trimble	Trimble C3 5"	США	5"	950

Составлено автором

Особо следует отметить высокую точность и информативность мониторинга, основанного на применении технологий наземного лазерного сканирования (НЛС) в сравнении с традиционными методами [1]. При этом программный комплекс предусматривает визуализацию полученных результатов: (а) построение пространственной модели в формате «3D»; (б) выявленные отклонения поверхности РВС от предусмотренной проектом поверхности «идеального цилиндра» изображаются на модели с использованием цветовой гаммы (по условной шкале цветов, учитывающей величину отклонений) [9]. В итоге результаты сложных измерений методом НЛС легко воспринимаются визуально.

В Федеральном законе «Об обеспечении единства измерений»<sup>5</sup> указано, что «измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками», однако методика НЛС для геомониторинга за деформациями РВС в настоящее время не нормирована. В РФ отсутствуют отраслевые нормативные документы с детализированными методиками, технологиями лазерного сканирования, нормативами для обработки и оформления высокоточных и высокотехнологичных измерений строительных объектов. В действующем СП 47.13330.2016<sup>6</sup> не совсем определенно прописано, что

<sup>5</sup> Федеральный закон РФ № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» // Принят Государственной Думой РФ 11.06.2008, одобрен Советом Федерации от 18.06.2008. С измен. от 29.12.2022, № 580-ФЗ.

<sup>6</sup> Свод правил СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96». Утверждён и введён в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30.12.2016 № 1033/пр. Дата введения 01.07.2017. С измен. от 30.12.2020 № 909/пр.

инженерно-геодезические изыскания следует вести по методикам, указанным в руководствах по эксплуатации геодезических приборов, включая спутниковое оборудование, лазерные сканеры, электронные тахеометры, нивелиры и иные приборы. При этом в ходе инженерно-гидрометеорологических изысканий в лавиноопасных районах обязателен анализ карт лавиноопасных зон в соответствующих масштабах, дешифрирование с обработкой данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), в том числе результатов лазерного сканирования.

**Комплексная оценка геометрических параметров РВС** — выполняется с применением лазерных сканеров и сканирующих тахеометров. В таблице 3 даны основные показатели их точности и стоимости.

Таблица 3

### Характеристики лазерных сканеров

Бренд	Марка	Страна изготовитель	Точность угловых измерений	Цена, тыс. руб.**
Trimble	Trimble SX10	США	1"	8 100
Leica	Leica RTC360	Швейцария	8"	9 600
	Leica ScanStation P30	Швейцария	8"	14 000
TOPCON	TOPCON GLS-2000	Япония	6"	—

\*\* По данным Интернет-ресурсов. Составлено автором

### Выводы

(1) Результаты анализа показали, что значительная часть резервуарного парка РФ эксплуатируется с превышением нормативных сроков эксплуатации. Системный геотехнический мониторинг с применением современного высокоточного геодезического оборудования позволяет значительно снизить риски возникновения чрезвычайных ситуаций. (2) В настоящее время в РФ широко применяют импортные измерительные приборы и технологии. В связи с эскалацией экономических санкций со стороны блока недружественных стран резко ограничен импорт современного высокотехнологичного геодезического оборудования, расходных материалов, необходимого программного обеспечения. (3) Для обеспечения суверенитета РФ необходимо: (а) экстренно разработать отечественные лазерные технологии и оборудование на уровне лучших мировых стандартов, оценить их социально-экономическую значимость; (б) создать на территории РФ производства изобретённого высокотехнологичного, высокоточного оборудования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Носков, И.В. Комплексный геомониторинг оснований и фундаментов резервуаров вертикальных стальных (РВС) на основе лазерного сканирования при разработке нефтяных месторождений / И.В. Носков, Д.Н. Черепанов // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 4. — 13 с. ISSN 2588-0101. Режим доступа: URL: <https://esj.today/PDF/03NZVN422.pdf> (18.11.2023).
2. Ханухов Х.М. Анализ причин аварий стальных резервуаров и повышение безопасности их эксплуатации / Химическое и нефтегазовое машиностроение. — М., № 10, 2003. — С. 49–52. ISSN 0023-1126.

3. Варфоломеев, Ю.А. Обеспечение нормативных сроков безопасной эксплуатации объектов капитального строительства / Ю.А. Варфоломеев, Ю.В. Марков, А.Н. Попов, А.И. Рогов // Научная дискуссия: инновации в современном мире. Сб. ст. по материалам LX междунар. науч.-практич. конф. — № 16(59). — М.: Изд. «Интернаука», декабрь 2016. — С. 11–13. ISSN 2309-1959; Н 34. Режим доступа: URL: [https://www.internauka.org/archive2/inno/16\(59\).pdf](https://www.internauka.org/archive2/inno/16(59).pdf) (18.11.2023).
4. Schwarz Willfried Moderne Messverfahren in der Ingenieurgeodasie und ihr praktischer Einsatz. Flächenmanag. Und Bodenordn. — 2002. 64, — № 2. — P. 87–97. (Шварц Виллфрид Современные методы измерения в инженерной геодезии и их практическое использование. Flächenmanag. И Bodenordn. — 2002. 64. — № 2. — С. 87–97).
5. Bryś Henryk. Meßverfahren zum Bestimmen der Geometrie der Verformung von Brückenkran und Kranbahnschienen. Allg. Vermess.-Nachr. 2000. 107. — № 11-12. — P. 391–396. (Брайс Генрик. Измерительный метод определения геометрии деформации мостовых кранов и подкрановых путей. ALLG. VERMESS.-NACHR. 2000. 107. — № 11–12. — С. 391–396).
6. Кузьмин Ю.О. Оценка геодинамического риска объектов нефтегазового комплекса. // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности, — М.: Наука, 2000, с. 334–344.
7. Дмитриева Т.Л., Кудрин В.Г., Деордиев С.В. Пути повышения эффективности исследований по авариям сооружений из стали // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 28–39. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-28-39>.
8. Fabiankowitsch Johannes, Kahmen Heribert, Matt Phillip. Evaluation of vibrational spectrum of high slim towers with wind electrical turbines // VGI: Osterr. Z. Vermess. und Geoinf. — 2003. 91, № 1. — P. 77–84. (Йоханнес Фабианкович, Камен Хериберт, Мэтт Филлип. Оценка спектра колебаний высоких тонких башен с ветроэлектрическими турбинами // VGI: Osterr. Z. Vermess. und Geoinf. — 2003. 91, № 1. — С. 77–84).
9. Касьянова Н.А., Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса. // Предисловие акад. А.Л. Яншина. — М.: Геоинформмарк, 1996. — 56 с.

**Varfolomeev Yuri Alexandrovich**

Russian Academy of Architecture and Building Science, Arkhangelsk, Russia  
E-mail: nil-se@mail.ru

**Cherepanov Denis Nikolaevich**

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia  
E-mail: cherepanovden@mail.ru

**Markov Yuri Valerievich**

Russian Academy of Architecture and Building Science, Arkhangelsk, Russia  
Inspektion Station Emergency Rescue Property, Arkhangelsk, Russia  
E-mail: markov\_y\_v@mail.ru

## **Expert assessment of practiced geodetic monitoring systems to ensure safe operation of oil tanks**

**Abstract.** There are currently more than 40 000 large tanks in operation on the territories of Russia and other countries of the Commonwealth of Independent States, which store various substances of elevated hazard classes. A significant part of the oil storage tank farm is operated beyond the standard operating time. To ensure the safe operation of facilities, it is necessary to timely provide and implement a range of monitoring, maintenance and necessary repairs. Special attention should be paid to facilities with expiring or already expired terms, as well as considering the possibilities for their extension. In most cases, the work on planning the implementation of these activities is not systematically carried out. The exception is large enterprises that have a staff of duly certified specialists and have certified equipment. However, even for them, these decisions are often delayed or executed in violation of regulatory deadlines, which is confirmed by the occurrence of large-scale man-made disasters.

Based on the analysis of open sources of information, the domestic and imported measuring instruments and technologies used in Russia for high-precision geodetic monitoring are expertly evaluated. System monitoring helps to reduce the risks of emergency situations and ensure the safe operation of oil tanks. Currently, due to the escalation of economic sanctions, imports of high-tech equipment, consumables, and software to Russia are sharply limited. In order to preserve Russia's sovereignty, it is necessary to accelerate the creation of domestic laser technologies and measuring instruments on Russian territory at the level of the best world standards.

**Keywords:** oil; storage; reservoir; emergency; risks; monitoring of geometric parameters; measuring instruments; technology; methodology